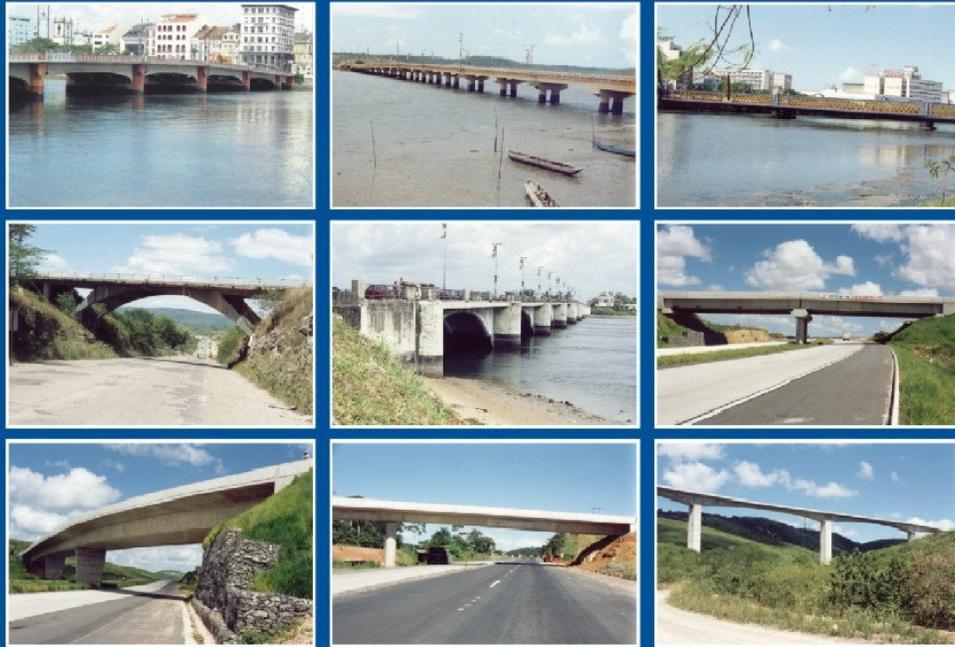


AFONSO VITÓRIO



PONTES RODOVIÁRIAS

Fundamentos, Conservação e Gestão

PONTES RODOVIÁRIAS
Fundamentos, Conservação e Gestão

AFONSO VITÓRIO

Publicação

Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia de Pernambuco – CREA-PE

1ª Edição – 2002 - tiragem 1.000 exemplares

Projeto visual da capa: Márcio Santana

Fotografias da capa: Paulo Amâncio

Desenhos do texto: Marco Antônio Silva

Digitação do texto: José Ednildo de Araújo

Revisão do texto: Sandra de Barros Correia Vitório

Editoração eletrônica: Mayra Melo

Ficha catalográfica

V845p Vitório, José Afonso Pereira
Pontes rodoviárias: fundamentos, conservação e gestão.
Recife, CREA-PE, 2002.

140p
Ilustrações, gráficos
Bibliografia

1. Engenharia Civil – estruturas,
 2. Pontes rodoviárias – construção,
 3. Estruturas (engenharia civil – concreto armado – conservação).
- CDU 624.86
-

Dedico este trabalho aos meus filhos Sandra, Henrique e Luíza.

APRESENTAÇÃO

O Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA-PE, publica este livro como parte integrante do seu Programa de Valorização Profissional e das comemorações do dia do engenheiro e do arquiteto. É também uma homenagem ao engenheiro Afonso Vitório, pela sua dedicação à Engenharia e ao compromisso com este Conselho, do qual foi conselheiro e presidente por dois mandatos.

A presente obra não é um tratado que pretende esgotar o assunto de forma definitiva, mas um livro prático que busca atender os anseios de estudantes e profissionais que necessitam do conhecimento básico sobre o tema.

Revela, também, a preocupação do autor com a manutenção e gestão das pontes, permitindo aos administradores públicos reorientar a visão, ora vigente, da importância da realização do novo e de um quase total desprezo com a conservação.

É o resultado da experiência do engenheiro Afonso Vitório, adquirida ao longo do exercício profissional como engenheiro e como professor. É uma obra para servir de consulta pela clareza da abordagem, pela indicação das normas técnicas e pela farta ilustração. É mais uma contribuição do companheiro Afonso Vitório à engenharia pernambucana.

Eng. Telga de Araújo Filho

Presidente do CREA-PE

INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais primitivos, quando o homem usava um tronco de árvore para superar os obstáculos naturais e continuar seu trajeto, até os tempos atuais, em que estruturas desafiam a lei da gravidade e a própria imaginação humana pela ousadia de seus vãos, as pontes representam uma das mais belas formas de expressão da capacidade criadora da engenharia.

O grande avanço tecnológico e o desenvolvimento de novos métodos na área do cálculo estrutural, cada vez mais precisos, têm permitido superar as limitações e dificuldades inerentes à concepção e execução dessas obras fundamentais da engenharia civil, de modo tal que algumas delas figuram na relação das obras físicas mais notáveis do planeta, como é o caso da ponte Golden Gate, com 1.280m de vão livre, concluída em 1937, em São Francisco, nos Estados Unidos.

Um aspecto importante e que nunca deve ser esquecido é que uma ponte não deve servir apenas para ligar duas margens opostas de um curso d'água, ou para vencer qualquer outro tipo de obstáculo. Ela precisa estar integrada à paisagem onde for edificada de modo a proporcionar um efeito visual agradável, obtido através de um projeto que considere, também, a beleza e a leveza das formas

Sempre me senti fascinado por essas obras da engenharia que, não por acaso, são chamadas no meio técnico de obras de arte especiais. A esse fascínio, juntei minha experiência de 26 anos como engenheiro de estruturas, parte deles dedicado à elaboração de projetos e vistorias de pontes, para escrever o texto que ora chega, graças ao apoio do Conselho Regional de Engenharia Arquitetura e Agronomia de Pernambuco, às mãos do público interessado no assunto.

O principal objetivo deste trabalho é oferecer uma contribuição aos profissionais da engenharia sobre um tema tão carente de literatura especializada no Brasil. Não se trata de um livro para especialistas, mas sim de um trabalho dirigido aos engenheiros cujas atividades profissionais, ainda que eventualmente, exijam conhecimento básico sobre pontes.

O texto está dividido em três partes. A primeira, intitulada *Fundamentos*, aborda os princípios gerais, tais como definições conceituais e as tipologias estruturais e construtivas. Ainda nessa parte são apresentadas as diretrizes básicas para a elaboração de projetos.

A segunda parte, denominada *Conservação e Gestão*, trata das questões relacionadas à identificação dos principais danos estruturais a partir do conhecimento das suas causas (incluindo ilustrações — desenhos esquemáticos e fotografias). Ainda nessa parte, estão os procedimentos para a realização de vistorias e um capítulo específico sobre procedimentos sistemáticos de manutenção e gestão de pontes, incluindo-se referências internacionais.

A terceira e última parte, *As pontes de Pernambuco*, faz breve referência a pontes da malha rodoviária estadual de Pernambuco e às pontes mais importantes do Recife. Embora as informações disponíveis sejam escassas, são apresentados alguns dados relevantes para que melhor se conheça parte da história das pontes construídas em Pernambuco.

Espero que este trabalho traga alguma contribuição para a prática da engenharia pernambucana. Críticas e sugestões serão bem-vindas para suprir possíveis lacunas ou omissões a serem evitadas numa possível futura edição.

Finalmente, agradeço a todas as pessoas que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho. Evito citá-las nominalmente para não correr o risco de cometer uma indelicadeza pela não inclusão involuntária de algum nome. Em especial, agradeço ao CREA-PE, através do seu Presidente, engenheiro Telga Araújo Filho, pela publicação deste trabalho.

Recife, novembro de 2002

Afonso Vitório

Sumário**PARTE I – Fundamentos 8****Capítulo 1 - Classificação das Pontes 9**

- 1.1 Definição **9**
- 1.2 Elementos componentes das pontes **9**
 - 1.2.1 Superestrutura
 - 1.2.2 Mesoestrutura
 - 1.2.3 Infraestrutura
 - 1.2.4 Encontros
- 1.3 Classificação das pontes **10**
 - 1.3.1 Classificação quanto à finalidade
 - 1.3.2 Classificação quanto aos materiais
 - 1.3.2.1 Pontes de madeira
 - 1.3.2.2 Pontes de pedras
 - 1.3.2.3 Pontes metálicas
 - 1.3.2.4 Pontes em concreto armado
 - 1.3.2.5 Pontes em concreto protendido
 - 1.3.2.6 Pontes pré-moldadas
 - 1.3.3 Classificação quanto ao sistema estrutural
 - 1.3.3.1 Pontes em laje
 - 1.3.3.2 Pontes em vigas
 - 1.3.3.3 Pontes em estrado celular
 - 1.3.3.4 Pontes em grelhas
 - 1.3.3.5 Pontes em pórticos
 - 1.3.3.6 Pontes em arco
 - 1.3.3.7 Pontes pênses
 - 1.3.3.8 Pontes estaiadas

Capítulo 2 - Elementos componentes das estruturas das pontes 17

- 2.1 Elementos da Superestrutura **17**
 - 2.1.1 Lajes do tabuleiro
 - 2.1.2 Vigamento do tabuleiro
 - 2.1.3 Passeios de pedestres, guarda-corpos e barreiras
 - 2.1.4 Cortinas e alas
 - 2.1.5 Placa de transição
 - 2.1.6 Juntas de dilatação
 - 2.1.7 Sistema de drenagem
 - 2.1.8 Faixa de rolamento
- 2.2 Elementos da mesoestrutura **21**
 - 2.2.1 Pilares
 - 2.2.2 Aparelhos de apoio
- 2.3 Elementos da infraestrutura **22**
 - 2.3.1 Fundações superficiais
 - 2.3.2 Fundações profundas
- 2.4 Encontros **24**
- 2.5 Terra armada **25**
- 2.6 Pontes especiais **26**
 - 2.6.1 Pontes esconsas
 - 2.6.2 Pontes curvas

Capítulo 3 - Diretrizes para a elaboração do projeto de uma ponte 28

- 3.1 Projeto geométrico **28**
 - 3.2 Estudos hidrológicos **28**
 - 3.3 Estudos geotécnicos **29**
 - 3.4 Estudos complementares **29**
 - 3.5 Carregamentos / solicitações **29**
 - 3.6 Normas brasileiras **31**
-

Parte II – Conservação e gestão 32**Capítulo 4 - Principais problemas nas estruturas das pontes 33**

- 4.1 Classificação das principais falhas estruturais **33**
 - 4.1.1 Falhas congênicas
 - 4.1.2 Falhas adquiridas durante a construção
 - 4.1.3 Falhas motivadas por causas acidentais
 - 4.1.4 Falhas adquiridas devido às condições de exposição
- 4.2 Conceituação dos danos mais comuns **33**
 - 4.2.1 Fissuras
 - 4.2.2 Carbonatação
 - 4.2.3 Desagregação
 - 4.2.4 Disgregação
 - 4.2.5 Segregação
 - 4.2.6 Perda de aderência
 - 4.2.7 Corrosão das armações
 - 4.2.8 Corrosão do concreto
 - 4.2.9 Movimentações estruturais
 - 4.2.10 Calcinação
- 4.3 Identificação das causas que provocam os danos estruturais **35**
 - 4.3.1 Tipos de fissuras
 - 4.3.2 Casos de fissuração mais observados nas estruturas das pontes
 - 4.3.2.1 Fissuração na superestrutura
 - 4.3.2.2 Fissuração na mesoestrutura
 - 4.3.3 Ilustrações fotográficas de avarias em pontes
 - 4.3.4 Falhas na infraestrutura
 - 4.3.5 Ilustrações fotográficas de problemas na infraestrutura

Capítulo 5 - Vistorias de pontes 52

- 5.1 Conceituação **52**
- 5.2 Tipos de vistorias **52**
 - 5.2.1 Vistoria cadastral
 - 5.2.2 Vistoria rotineira
 - 5.2.3 Vistoria especial
- 5.3 Roteiro básico para a realização de uma vistoria **53**
 - 5.3.1 Inspeção da obra
 - 5.3.2 Análise do projeto
 - 5.3.3 Relatório final
- 5.4 Qualificação e habilitação profissional necessárias **57**
- 5.5 Equipamentos utilizados em uma vistoria **58**
- 5.6 Ensaios **58**
- 5.7 Anexos **60**

Capítulo 6 - Gestão de pontes 61

- 6.1 Conceituação **61**
- 6.2 A gestão de pontes no Brasil **63**
- 6.3 A gestão de pontes em outros países **65**
- 6.4 Conclusões **68**

Parte III – As pontes de Pernambuco 69**Capítulo 7 – As pontes das rodovias estaduais e as pontes de Recife 70**

- 7.1 As pontes das Rodovias Estaduais **70**
- 7.2 As pontes do Recife **77**

Bibliografia 82

PARTE I
Fundamentos

CAPITULO 1 - CLASSIFICAÇÃO DAS PONTES RODOVIÁRIAS.**1.1 Definição**

A literatura existente sobre o tema apresenta diversas definições para uma ponte. De modo geral, todas estão corretas, diferenciando-se entre si apenas pela forma como estão redigidas.

Genericamente, ponte é toda a obra necessária para manter a continuidade de uma via quando existe algum tipo de obstáculo.

Especificamente, denomina-se ponte a obra de transposição, quando o obstáculo é constituído por água, cabendo-lhe estabelecer a ligação entre duas margens. Quando o obstáculo transposto não é constituído por água, denomina-se a obra de viaduto.

1.2 Elementos componentes das pontes

As pontes em geral são compostas dos seguintes elementos (Fig. 1.1):

- superestrutura;
- mesoestrutura;
- infraestrutura.

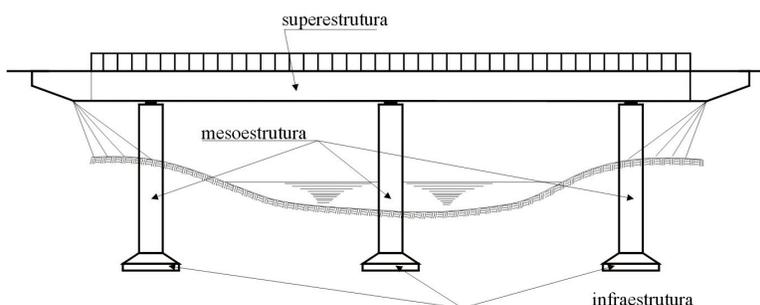


Fig. 1.1 Elementos componentes de uma ponte

1.2.1 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 ou estrado, sendo composta de vigamento longitudinal (vigas principais ou longarinas), de vigamento transversal (transversinas) e das lajes superior, e inferior (no caso de estrado celular).

1.2.2 Mesoestrutura

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

1.2.3 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).

1.2.4 Encontros

Os encontros, utilizados em determinados tipos de obras, são elementos que, além de receberem as cargas provenientes da superestrutura, fazem a contenção dos aterros nas extremidades da ponte, recebendo, também, os empuxos horizontais causados por esses aterros (Fig. 1.2).

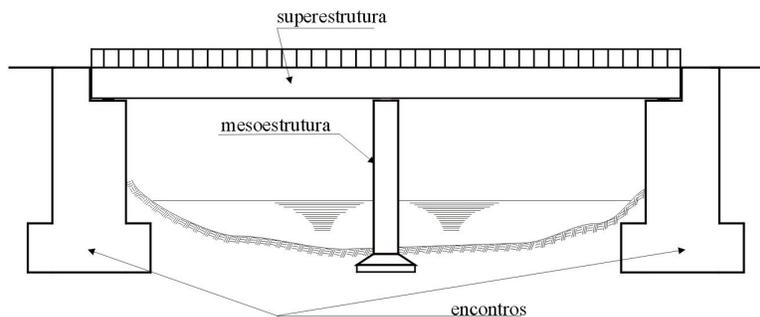


Fig. 1.2 Ponte com encontros nas extremidades

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;
- 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:

1.3.2.1 Pontes de madeira

Foram as primeiras pontes registradas na história e tiveram o seu período áureo entre o século XVI e o início do século XIX. Na Europa e nos Estados Unidos foram construídas obras que resistiram durante séculos.

Com o tempo, as pontes de madeira foram sendo substituídas por outras, construídas com os novos materiais que foram surgindo. Atualmente a madeira é utilizada apenas na construção de pontilhões para a travessia de riachos e córregos, em caráter provisório, ou em estradas da zona rural com reduzido volume de tráfego e pequenas cargas. A exceção é para a região amazônica, onde a abundância de madeira faz com que esse material predomine na construção das pontes, que chegam a ter comprimentos de até 50m.

1.3.2.2 Pontes de pedra

As pedras naturais foram, no passado, muito utilizadas na construção de pontes, com excelentes resultados em pilares, abóbadas e encontros.

Foram os etruscos que construíram as primeiras pontes de pedra, mas foram os romanos quem melhor desenvolveram e difundiram essa técnica na Europa, onde foram construídas inúmeras obras desse tipo nos territórios por eles conquistados.

No Brasil, as principais pontes de pedras foram construídas entre 1700 e 1850, destacando-se as pontes da Cadeia (1798) e do Rosário (1800) em São João Del-Rei, MG e diversas obras em Ouro Preto, MG, a cidade com maior número de pontes de pedras no País.

A pedra continua sendo um excelente material de construção - devido à grande resistência, inclusive à ação do tempo -, além de ter uma boa aparência, que contribui para a qualidade estética das obras.

Atualmente esse material, ainda é utilizado na forma de alvenaria de pedra argamassada na construção dos encontros de determinados tipos de pontes. Na malha rodoviária de Pernambuco, existem muitos exemplares de pontes com muitas décadas de uso, com seus encontros e alas de alvenaria de pedra muito bem executadas e em excelente estado.

1.3.2.3 Pontes metálicas

As pontes metálicas surgiram no final do século XVIII, com as estruturas de ferro fundido. Com o início das ferrovias, tornaram-se necessárias grandes obras para suportar elevadas cargas, que passaram a ser erguidas com os novos materiais de construção que eram então as novidades daquela época: o ferro forjado e o aço. Começara então o período das grandes pontes tipo pênseis e em treliças metálicas, como a ponte ferroviária sobre o Firth of Forth (1883) na Escócia, com vãos de 512m.

Com a revolução industrial e a competitividade dos produtos siderúrgicos, as pontes em aço estrutural passaram a ser largamente utilizadas a partir do final do século XIX, com destaque para as pontes pênseis. Após a segunda Guerra Mundial começaram a ser construídas as pontes estaiadas. No Brasil, a ponte Hercílio Luz (1926), localizada em Florianópolis – SC, merece destaque na literatura técnica sobre pontes pênseis. O viaduto Santa Efigênia (1913), localizado em São Paulo, é uma estrutura metálica que se constitui um dos cartões-postais do centro da cidade.

No Recife, a ponte Seis de Março, também conhecida como ponte Velha, e a ponte da Boa Vista (1876) são exemplos de obras metálicas que há mais de um século estão incorporadas à paisagem urbana da capital pernambucana.

1.3.2.4 Pontes em concreto armado

As primeiras pontes em concreto armado surgiram no final do século XIX, tendo sido registrada como a primeira do mundo a construída na França em 1875, no parque do palácio do Marquês Tihene de Chazedet em forma de abóboda com 16,50m de vão e 4m de largura. A partir de 1900 foram construídas na forma de arcos triarticulados, tendo o concreto apenas a função de substituir a pedra como material de construção. Naquela época o concreto armado foi usado inicialmente nas lajes dos tabuleiros e logo depois nas nervuras dos arcos. Aproximadamente uma década depois começaram a ser construídas as pontes em vigas e pórticos para vãos de até 30m. No mesmo período pontes em arco de concreto armado atingiam vãos cada vez maiores, como foi o caso da ponte de Sandö, na Suécia, com 280m de vão livre.

O concreto armado continua sendo um dos principais materiais de construção das pontes, tendo, nas últimas décadas, alcançado um elevado nível de qualidade, resultante do aprimoramento do seu controle tecnológico e da sofisticação dos processos de dimensionamento estrutural. As limitações existentes para a sua utilização em grandes vãos nas superestruturas de pontes foram superadas com o advento do concreto protendido, continuando o concreto armado a ser largamente utilizado nas fundações e mesoestruturas. Nas superestruturas ele é economicamente competitivo para vigas com vãos máximos da ordem de 20m.

1.3.2.5 Pontes em concreto protendido

As pontes em concreto protendido surgiram na década de 30, na Alemanha, porém o seu desenvolvimento e a sua utilização em larga escala se deram somente após a segunda Guerra Mundial, devido, em grande parte, ao engenheiro francês Eugène Freyssinet. Através de estudos, ensaios e observações, Freyssinet deu um importante passo ao associar concretos de excelente qualidade com aços de elevada resistência, introduzindo na estrutura um estado prévio de tensões e aumentando a sua resistência às solicitações, permitindo, também, a execução de grandes vãos livres com expressiva redução do peso próprio.

A partir de 1948 começaram a ser construídas grandes pontes em vigas de concreto protendido, com até 250m de vão. A primeira obra com esse processo construtivo nas Américas foi a ponte do Galeão, inaugurada em 1949 para dar acesso ao aeroporto internacional do Rio de Janeiro e ainda em uso. A segunda ponte em concreto protendido no Brasil foi a rodoferroviária do Juazeiro, inaugurada em 1952, cujo nome oficial é Ponte Presidente Dutra. Esta ponte cruza o Rio São Francisco, ligando os Estados de Pernambuco e Bahia. Ambas as obras foram projetadas por Eugène Freyssinet e foram à época recordes mundiais em área de tabuleiro (ponte do Galeão) e em mais longa viga contínua (ponte do Juazeiro).

O concreto protendido é atualmente o material mais empregado nas superestruturas das pontes rodoviárias. A sua competitividade se deve a uma série de vantagens sobre o concreto armado convencional, sendo uma das principais

a possibilidade de vencer vãos bem maiores com redução de altura das vigas e das quantidades necessárias de concreto e aço, devido à utilização eficiente de materiais de alta resistência.

1.3.2.6 Pontes pré-moldadas

De modo geral, as pontes apresentam características favoráveis para serem construídas com elementos pré-moldados, como é o caso das antigas pontes metálicas que eram montadas a partir de componentes produzidos em um outro local.

O advento do concreto armado (e protendido), assim como as necessidades impostas pelo progresso, de se vencerem maiores vãos com obras cada vez mais arrojadas, reforça a idéia da utilização desse sistema construtivo. Afinal, nas pontes quase toda a construção é a própria estrutura, que pela própria natureza apresenta condições apropriadas para a padronização e, em geral, são obras executadas em larga escala, condição fundamental para a viabilização econômica de uma estrutura pré-moldada.

No Brasil, a aplicação do concreto pré-moldado tem-se limitado a alguns componentes da superestrutura das pontes, como é o caso das vigas principais em concreto protendido e das placas pré-moldados conhecidas como pré-lajes que funcionam também como formas para o complemento da laje concretada “in loco”.

O concreto protendido presta-se muito bem à pré-moldagem, porque evita a fissuração na fase construtiva.

Outro processo utilizando o concreto protendido, consiste em dividir o tabuleiro da ponte em aduelas pré-moldadas, que são fixadas por meio de cabos de protensão. Este processo, conhecido como balanços sucessivos é geralmente empregado em obras de grande porte, como foi o caso da ponte Rio-Niterói. Em Pernambuco um exemplo recente de sua aplicação foi no viaduto com 455,00m de extensão na duplicação da BR-232.

Não há conhecimento no Brasil de pontes de concreto com as meso e infraestruturas pré-moldadas, porém nos Estados Unidos e diversos países da Europa existem referências de pontes com tabuleiros, encontros e demais componentes pré-moldados, desde a década de 60.

1.3.3 Classificação quanto ao sistema estrutural

1.3.3.1 Pontes em laje

As pontes com superestruturas em lajes maciças representam um sistema estrutural destituído de qualquer viga (Fig. 1.3). Trata-se de solução adotada para o caso de pequenos vãos (no máximo 15m), apresentando algumas vantagens como:

- pequena altura de construção;
- grande resistência à torção;
- grande resistência ao fissuramento;
- simplicidade e rapidez de construção;
- boa solução para obras esconsas.

Apesar das vantagens citadas, as pontes em laje apresentam uma grande desvantagem, que é o elevado peso próprio, o que inviabiliza a sua utilização para grandes vãos. Nesses casos, podem ser empregadas lajes ocas com formas tubulares perdidas, reduzindo assim o peso próprio (Fig. 1.4).

A esbeltez ℓ/h dessas obras deve atender aos seguintes valores:
15 a 22, para concreto armado;
18 a 30, para concreto protendido;
onde ℓ é o vão da obra e h a espessura da laje.

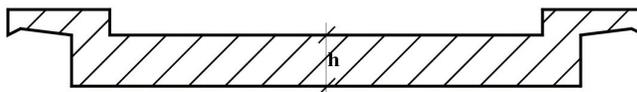


Fig. 1.3 Seção transversal de ponte em laje maciça



Fig. 1.4 Seção transversal de ponte em laje oca

1.3.3.2 Pontes em vigas

- Pontes em vigas simplesmente apoiadas.

São formadas por um sistema estrutural estaticamente determinado. As vigas simplesmente apoiadas podem ter seção constante ou variável e são muito utilizadas para vencer um vão com um único tramo (Fig. 1.5) ou em pontes onde o vão pode ser vencido através de uma série de vigas assentes sobre apoios sucessivos (Fig. 1.6), constituindo-se em solução vantajosa, do ponto de vista da facilidade de execução e da economia, quando são utilizadas peças pré-moldadas.

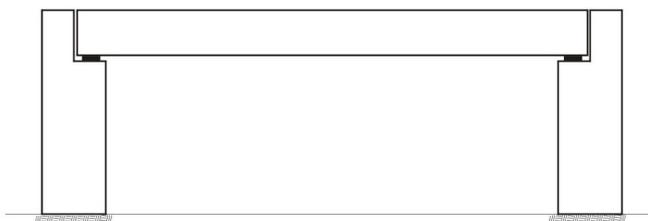


Fig. 1.5 Ponte em viga simplesmente apoiada com um único vão

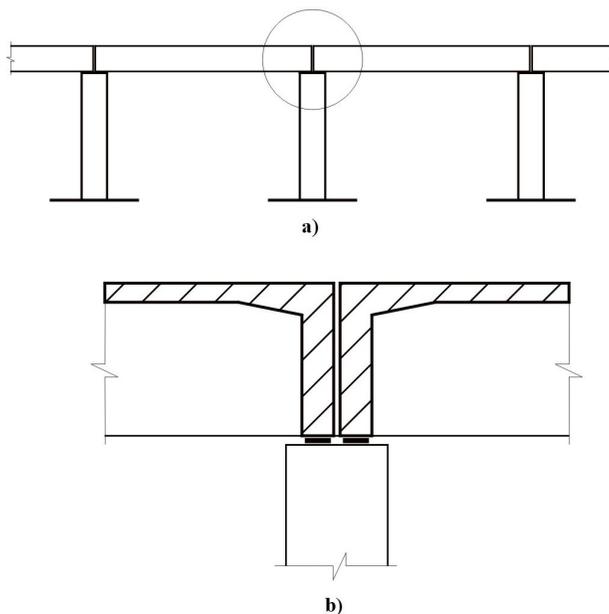


Fig. 1.6 Ponte em vigas simplesmente apoiadas com diversos vãos:
 a) esquema longitudinal;
 b) detalhe dos apoios

Algumas pontes são constituídas por vigas simplesmente apoiadas com extremos em balanços (Fig. 1.7), visando reduzir o momento positivo no meio do vão através dos momentos negativos introduzidos nos apoios. O comportamento dos balanços é de tal ordem que passam a garantir uma conveniente relação entre os momentos positivos e negativos máximos.

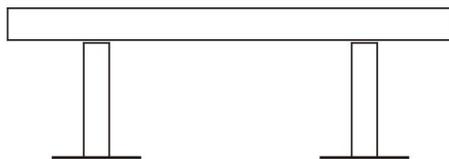


Fig. 1.7 Esquema de ponte em viga simplesmente apoiada com extremidades em balanço.

- Pontes em vigas contínuas

As pontes em vigas contínuas (Fig. 1.8) são bastante utilizadas devido às vantagens de ordem estética, funcional e estrutural. As vigas podem ter inércia constante ou variável. A inércia constante é empregada no caso de vãos pequenos, enquanto a inércia variável é utilizada para grandes vãos, com a finalidade de permitir uma boa distribuição dos esforços solicitantes, além de proporcionar uma melhor aparência para a obra, e a diminuição do peso próprio.

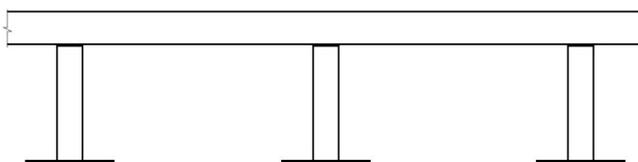


Fig. 1.8 Esquema de ponte em viga contínua

- Pontes em vigas Gerber

Obras bastante utilizadas no passado, mas atualmente em desuso, as pontes em vigas Gerber (Fig. 1.9), embora aparentem ser constituídas de vigas contínuas, são na realidade estruturas isostáticas insensíveis aos recalques de apoio. Foram muito utilizadas quando, necessitando-se de uma grande quantidade de apoios, não havia maiores conhecimentos sobre o comportamento do terreno de fundação.

Esse tipo de estrutura deixou de ser adotado devido a algumas desvantagens, a maioria delas referentes às articulações, como a execução, o comportamento e a manutenção dos dentes Gerber.

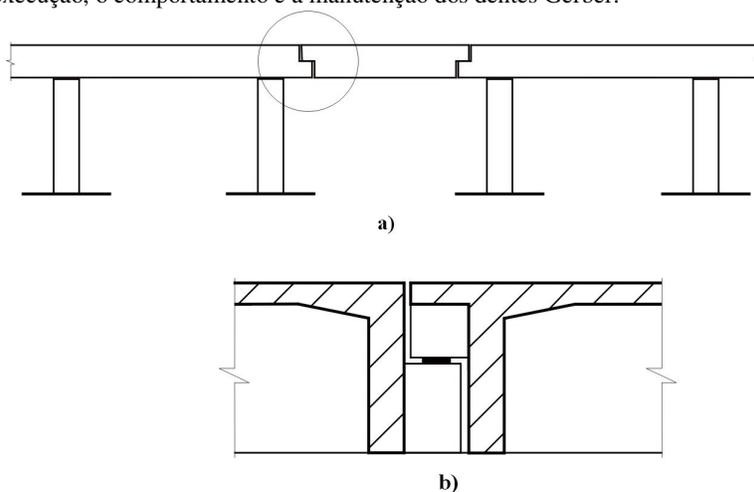


Fig. 1.9 Ponte em viga Gerber: a) esquema longitudinal; b) detalhe do dente Gerber

1.3.3.3 Pontes em estrado celular

A superestrutura de pontes formada por duas lajes, uma superior e outra inferior, interligadas por vigas longitudinais e transversais denomina-se estrado celular ou caixão celular (Fig. 1.10). 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. A sua utilização é normalmente condicionada à análise comparativa com outras soluções do ponto de vista econômico.

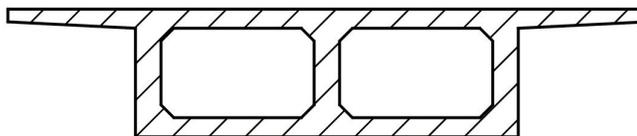


Fig. 1.10 Seção transversal de um estrado celular

1.3.3.4 Pontes em grelha

Denomina-se ponte em grelha o sistema estrutural constituído por três ou mais vigas longitudinais, com transversinas intermediárias e de apoio (Fig. 1.11). As transversinas fazem com que as vigas longitudinais trabalhem em conjunto, regulando a distribuição dos carregamentos entre as vigas.

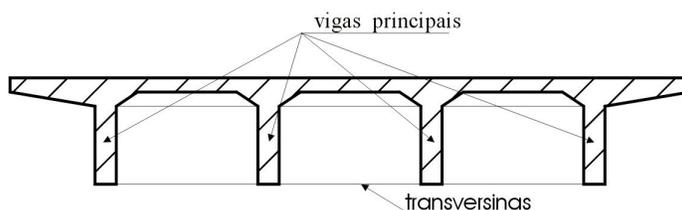


Fig. 1.11 Seção transversal de tabuleiro em grelha

1.3.3.5 Pontes em pórticos

Nas 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.

Como as extremidades da viga são engastadas nos encontros, os momentos negativos de engastamento reduzem o momento positivo, possibilitando a redução de altura no vão.

Os pórticos de concreto armado mais usuais são: biengastados e biarticulados (Fig. 1.12).

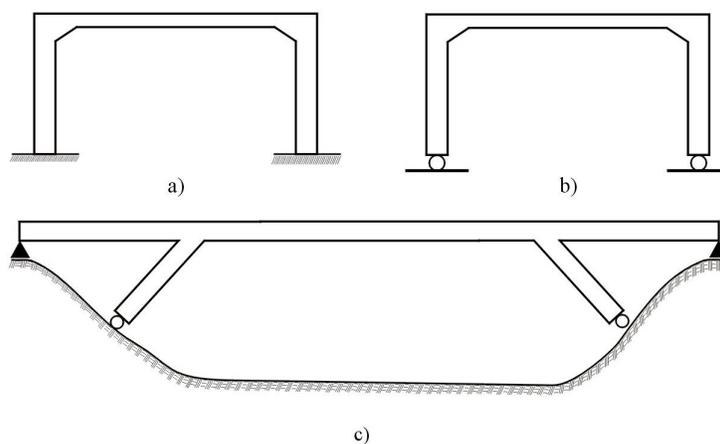


Fig. 1.12 Esquemas de pontes em pórticos: a) biengastados; b) biarticulados; c) biarticulados com montantes inclinados.

1.3.3.6 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 (Fig. 1.13).

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.

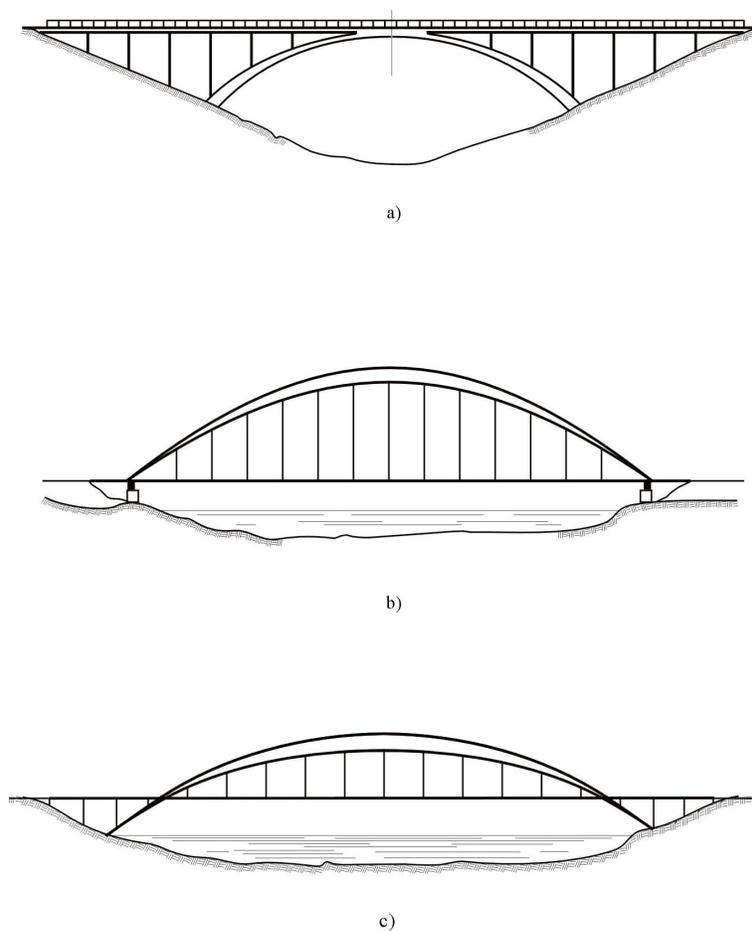


Fig. 1.13 Pontes em arcos: a) com tabuleiro superior; b) com tabuleiro inferior; c) com tabuleiro intermediário.

1.3.3.7 Pontes pênséis

As pontes pênséis são constituídas por cabos dispostos parabolicamente e pendurais verticais (Fig. 1.14). 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.

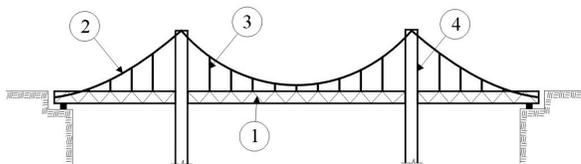


Fig. 1.14 Esquema de uma ponte Pênsil: ① viga metálica; ② cabo portante; ③ pendurais de suspensão de vigamento no cabo portante; ④ torres de apoio do cabo portante.

1.3.3.8 Pontes estaiadas

Nas pontes estaiadas o tabuleiro é suspenso através de cabos inclinados fixados em torres (Fig. 1.15). 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.

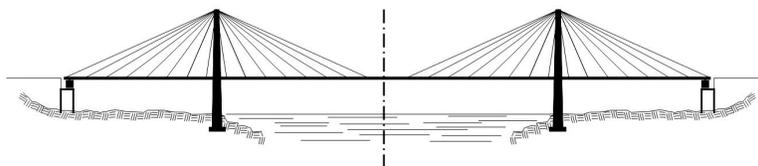


Fig. 1.15 Ponte estaiada com cabos dispostos em leque

CAPITULO 2 - ELEMENTOS COMPONENTES DAS ESTRUTURAS DAS PONTES

2.1 Elementos da Superestrutura

A superestrutura das pontes rodoviárias são geralmente constituídas dos seguintes elementos:

- lajes do tabuleiro;
- vigamento do tabuleiro;
- passeios de pedestres, guarda-corpos e barreiras;
- cortinas e alas;
- placa de transição;
- juntas de dilatação;
- sistema de drenagem;
- pista de rolamento dos veículos.

2.1.1 Lajes do Tabuleiro

As lajes são os elementos que suportam diretamente as pistas de rolamento e os passeios de pedestres. São geralmente executadas em concreto armado e, eventualmente, em concreto protendido. Atualmente, tem sido muito utilizado o sistema conhecido por pré-laje, que constitui-se de lajetas pré-moldadas que apóiam-se sobre as vigas principais (geralmente vigas protendidas pré-moldadas) e funcionam como forma, sem necessidade de escoramento para as lajes concretadas *in loco*. As armações das pré-lajes estão incluídas no dimensionamento total da laje do tabuleiro (Fig. 2.1a).

2.1.2 Vigamento do tabuleiro

O vigamento do tabuleiro é constituído pelas vigas longitudinais (vigas principais ou longarinas) e pelas vigas transversais (transversinas). As vigas principais suportam as cargas atuantes sobre a superestrutura, transferindo-as para os pilares ou encontros. As transversinas podem ser ligadas ou separadas da laje e têm a função de contraventamento, além de colaborar na distribuição das cargas do tabuleiro para o vigamento principal, como é o caso das pontes em grelha (Fig. 2.1b).

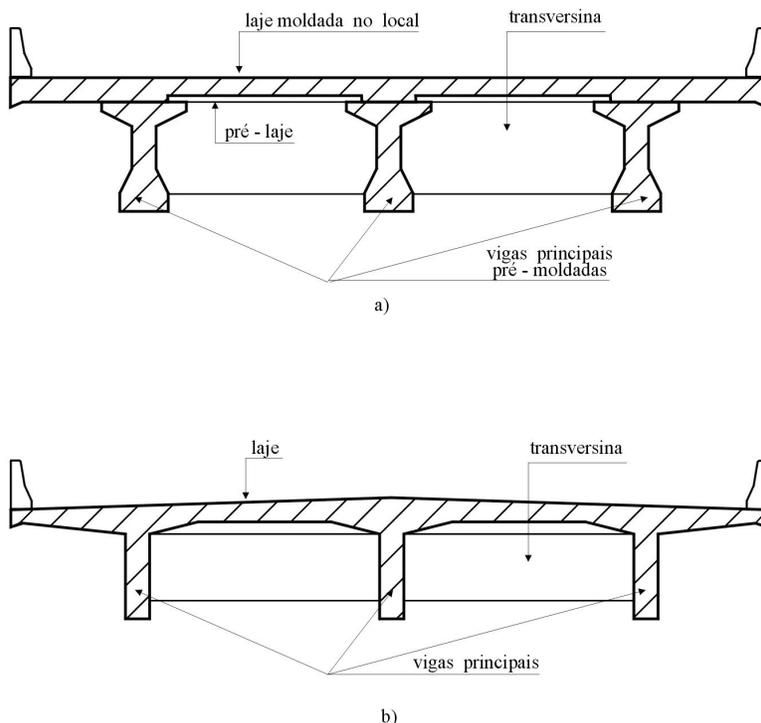


Fig. 2.1 Lajes e vigas do tabuleiro de pontes: a) laje concretada no local sobre pré-lajes apoiadas em vigas pré-moldadas; b) laje em concreto armado apoiada nas vigas principais.

2.1.3 Passeios para pedestres, guarda-corpos e barreiras de proteção

Os passeios são as partes do tabuleiro destinadas ao tráfego de pedestres. Têm em geral largura de 1,00m para pontes em áreas rurais e de 1,50m para pontes nas rodovias em áreas urbanas. Nas obras situadas dentro das cidades a largura dos passeios pode variar de acordo com cada caso específico.

Os guarda-corpos são peças laterais de proteção aos pedestres. São fixados nas extremidades dos passeios com altura geralmente variando de 0,75m (áreas rurais) a 1,10m (áreas urbanas). Nas pontes rodoviárias os guarda-corpos são normalmente de concreto armado, devido a menor necessidade de manutenção.

As barreiras de proteção são obstáculos, geralmente de concreto, com a finalidade de impedir a saída dos veículos da pista de rolamento. São dimensionados para conter o impacto de um veículo desgovernado.

A figura 2.2 mostra os tipos mais usuais de passeios, guarda-corpos e barreiras.

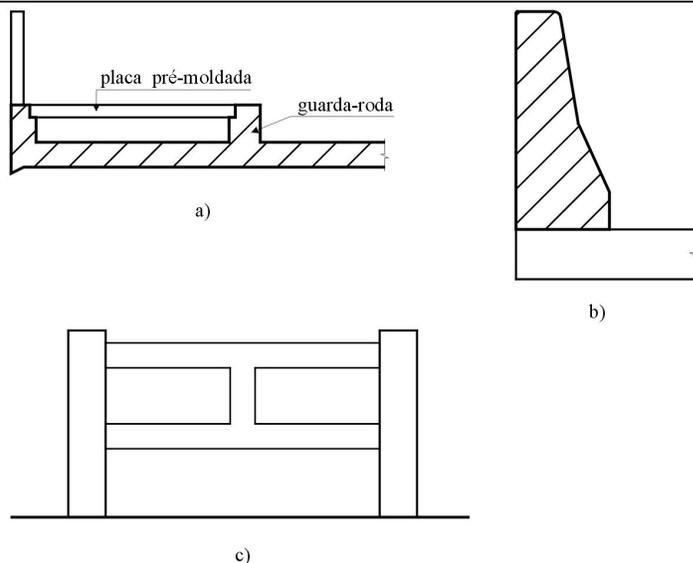


Fig. 2.2 a) Passeio de pedestres; b) barreira de proteção; c) Guarda-corpo tipo

2.1.4 Cortinas e alas

As extremidades das pontes são geralmente dotadas de alas laterais com a função de melhorar as condições de contenção lateral dos aterros. As pontes com vigas em balanço também são dotadas de cortinas extremas (Fig. 2.3).

2.1.5 Placa de transição

A placa de transição é constituída de uma laje de concreto armado apoiada, de um lado, numa extremidade da ponte, e do outro lado, apoiada no terrapleno. A finalidade da placa de transição é amenizar a diferença de nível entre o aterro das cabeceiras e o estrado da ponte, provocada por recalques do terrapleno ao longo do tempo (Fig. 2.3).

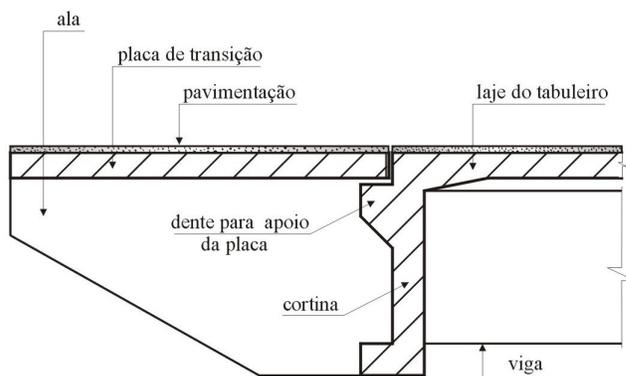


Fig. 2.3 Cortina extrema, alas e placas de transição para o caso de pontes com extremidades em balanço

2.1.6 Juntas de dilatação

Nos projetos de pontes com grande comprimento são previstas interrupções estruturais no tabuleiro, de modo a permitir os movimentos provocados pela variação de temperatura, retração e fluência do concreto.

Nos locais das juntas do vigamento principal são colocadas as juntas de dilatação, cujos detalhes estão indicados na fig. 2.4.

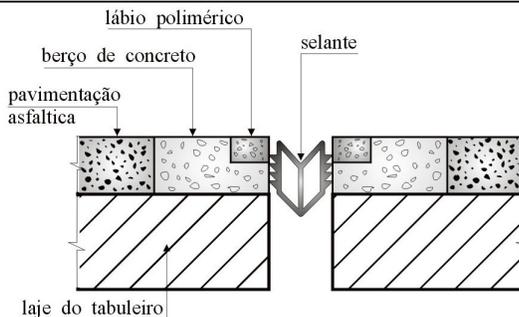


Fig. 2.4 Juntas de dilatação do tabuleiro

2.1.7 Sistema de drenagem

Um especial cuidado com um eficiente sistema de drenagem do tabuleiro é de fundamental importância para um bom desempenho com maior vida útil da obra.

O escoamento das águas das chuvas sobre a ponte é geralmente feito através de drenos executados com tubos de PVC de 75 mm, ou 100mm, espaçados ao longo das bordas da pista de rolamento. A inclinação transversal da pista (mínimo de 2%) conduz a água para as bordas onde se encontram os drenos (Fig. 2.5).

Nas pontes em caixão celular, deve-se também colocar tubos de drenagem na laje inferior, com a finalidade de evitar o acúmulo de água no interior das células.

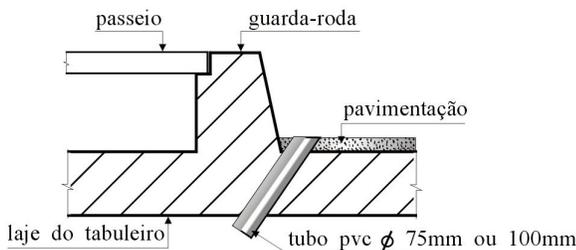


Fig. 2.5 Detalhe da drenagem do tabuleiro

2.1.8 Faixa de rolamento

Nas pontes com superestrutura em concreto podem ser adotadas três soluções para a faixa de rolamento:

- pavimentação com asfalto (CBUQ);
- revestimento fino de concreto sobre a laje;
- laje estrutural sem revestimento.

A solução em pavimentação asfáltica é a mais utilizada, por apresentar bom desempenho e fácil manutenção. A largura da plataforma da ponte é definida pelas faixas de rolamento ou de tráfego. A largura mínima de uma faixa de rolamento é de 3,00m, sendo usualmente adotada 3,50m. Além das faixas de rolamento, a plataforma também pode ser composta de faixa de segurança, acostamentos e passeios (Fig. 2.6).

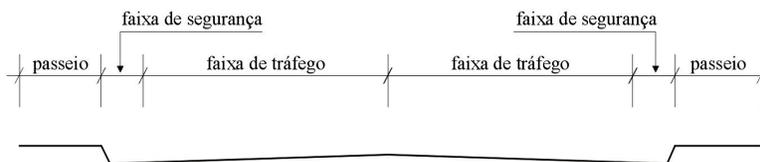


Fig. 2.6 Plataforma de uma ponte com duas faixas de tráfego

2.2 Elementos da mesoestrutura

A mesoestrutura das pontes tem a função de transmitir as cargas da superestrutura para a infraestrutura, e é constituída pelos pilares, travessas, aparelhos de apoio e vigas de contraventamento.

2.2.1 Pilares

Os pilares são localizados a cada linha de apoio transversal do tabuleiro. Suas quantidades, formas e dimensões dependem de diversos fatores como a altura da obra, a largura da superestrutura e o tipo de fundação.

Até o início do século XX os pilares eram construídos em alvenaria de pedra. Porém, com o surgimento do concreto armado, passou esse material a ser o mais utilizado nos pilares de pontes.

Nas pontes em pórticos, os pilares e vigas têm ligações monolíticas, formando nós rígidos. Nas pontes em lajes e vigas, as reações são transmitidas aos pilares através de aparelhos de apoio.

A fig. 2.7 mostra algumas soluções para pilares de pontes de concreto armado ou protendido.

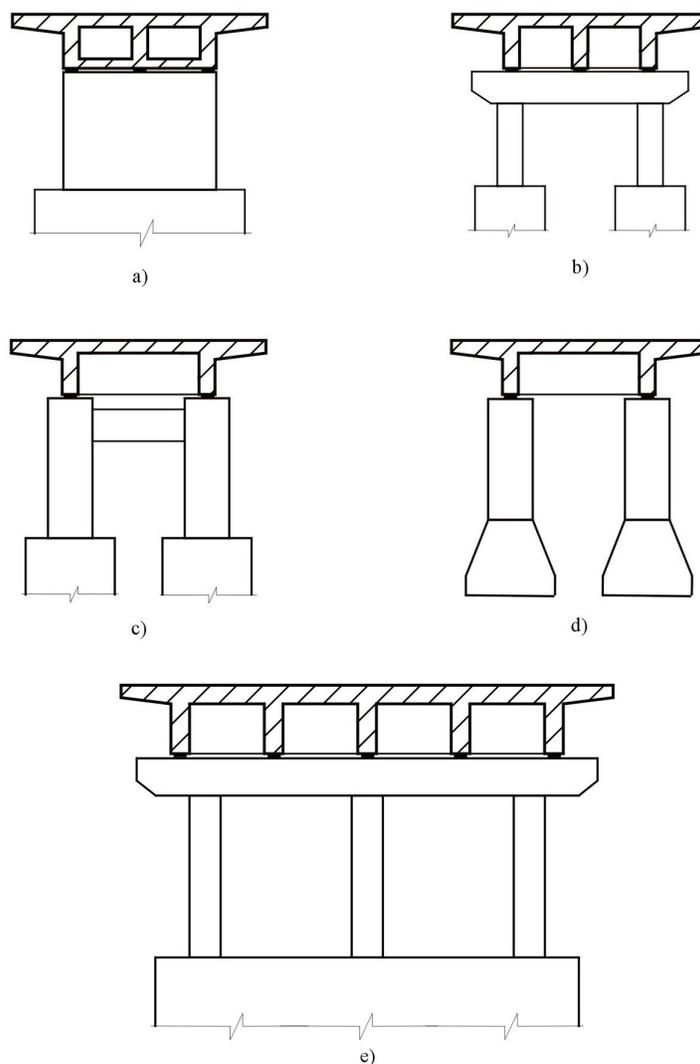


Fig. 2.7 Algumas soluções para pilares de pontes: a) pilar parede (maciço ou celular); b) dois pilares ligados por travessa no topo; c) dois pilares com viga de contraventamento; d) tubulões de fundação funcionando como pilares; e) três pilares ligados por travessa no topo (caso de multiplas vigas no tabuleiro)

2.2.2 Aparelhos de apoio

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

Os aparelhos de apoio podem ser classificados em fixos, móveis e elastoméricos (Fig. 2.8).

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.

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

Os apoios elastoméricos são aparelhos elásticos de borracha fretada (Neoprene) que permitem pequenos movimentos horizontais e rotações. São constituídos de camadas de Neoprene coladas a chapas metálicas de pequena espessura.

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

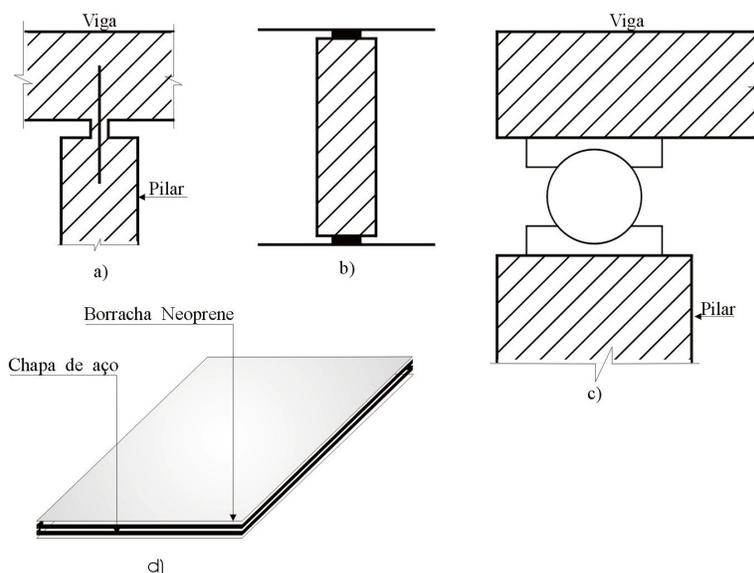


Fig. 2.8 Aparelhos de apoio: a) apoio fixo conhecido como articulação Freyssinet; b) apoio móvel em pêndulo de concreto; c) apoio móvel em rolo metálico; d) apoio elastomérico em neoprene fretado

2.3 Elementos da infraestrutura

A infraestrutura ou fundação de uma ponte pode ser do tipo superficial ou profunda.

A escolha do tipo de fundação depende de diversos fatores que precisam ser analisados na fase do projeto, sendo, porém, de fundamental importância o conhecimento do tipo de solo do local onde será executada a obra.

2.3.1 Fundações superficiais

As fundações superficiais ou diretas são utilizadas quando o solo de boa qualidade é encontrado a pequena profundidade. Dividem-se em dois tipos: blocos e sapatas (Fig. 2.9).

Os blocos de fundação são elementos de grande altura, dispensando a armação na face inferior. São geralmente construídos em alvenaria de pedra ou concreto ciclópico.

As sapatas de fundação são geralmente executadas em concreto armado e podem ser isoladas - quando projetadas para cargas concentradas devido a pilares isolados - ou corridas - quando recebem cargas distribuídas ao longo de sua extensão.

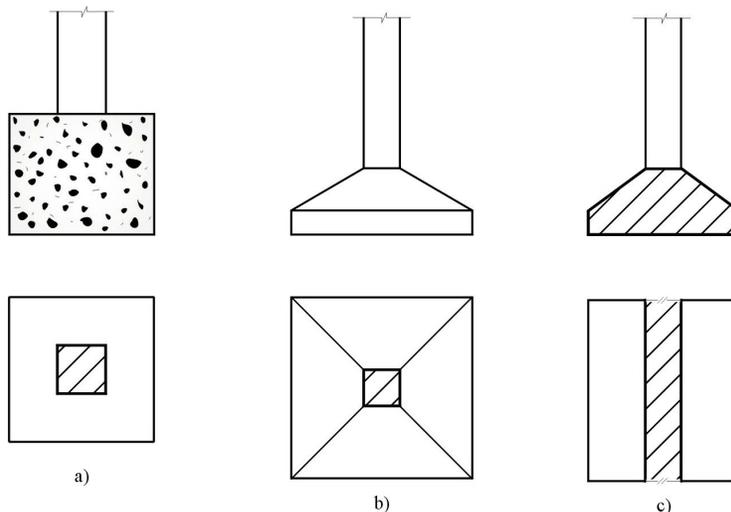


Fig. 2.9 Fundações diretas: a) bloco isolado de concreto ciclópico ou alvenaria de pedra; b) sapata isolada; c) sapata corrida

2.3.2 Fundações profundas

As fundações profundas são adotadas quando o solo com boa qualidade de suporte está situado a uma profundidade média ou grande. Nas pontes, as estacas e tubulões são as fundações de uso mais correntes.

- Estacas

As estacas são elementos estruturais em concreto, aço ou madeira, cravados por equipamentos apropriados (fig. 2.10).

As estacas de concreto podem ser pré-moldadas ou moldadas no local.

As estacas de aço são formadas por perfis laminados, simples ou compostos. São também muito utilizadas as estacas formadas por trilhos.

As estacas de madeira são formadas por peças roliças, sendo geralmente de eucalipto, aroeira ou ipê.

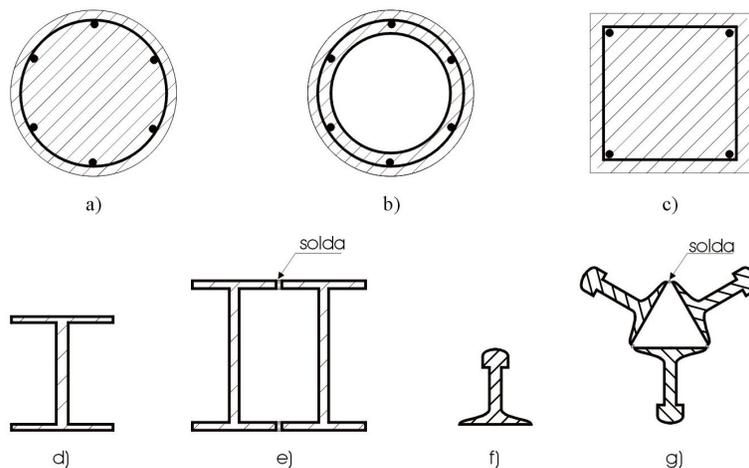


Fig. 2.10 Exemplos de seções transversais de estacas: a) estaca circular de concreto; b) estaca circular oca de concreto; c) estaca quadrada de concreto; d) perfil metálico H ou I; e) perfil metálico duplo I; f) trilho simples; g) perfil formado por três trilhos soldados

• Tubulões

São fundações profundas, moldadas *in situ*, executadas por escavação a céu aberto ou com a utilização de ar comprimido no interior de camisas metálicas ou de concreto armado.

Os tubulões são constituídos das seguintes partes (Fig. 2.11)

- camisa – de aço ou de concreto pré-moldado;
- fuste – executado no local;
- base – alargada ou não.

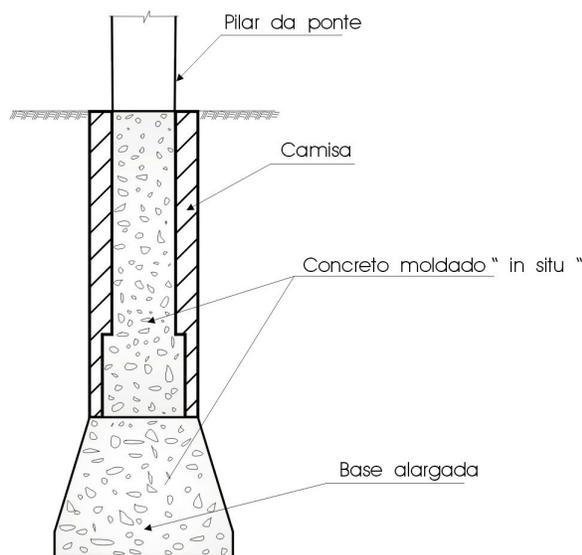
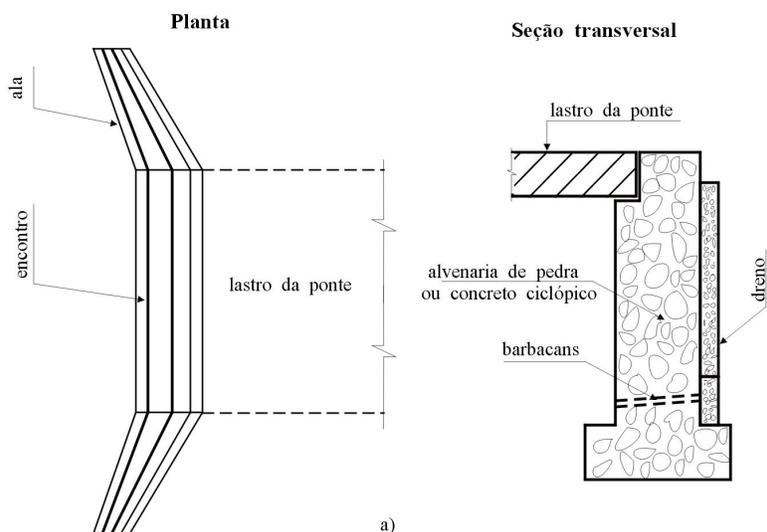


Fig. 2.11 Corte esquemático de um tubulão

2.4 Encontros

São elementos localizados nas extremidades de alguns tipos de pontes e funcionam como ligação entre a estrutura e o terrapleno. São geralmente dimensionados para absorver os esforços da superestrutura e os empuxos dos aterros das cabeceiras.

Nas obras antigas ou até nas obras atuais, dependendo das condições de cada local, - em especial dos parâmetros geotécnicos e topográficos - os encontros são constituídos de alvenaria de pedra, concreto ciclópico ou concreto armado (Fig. 2.12).



a)

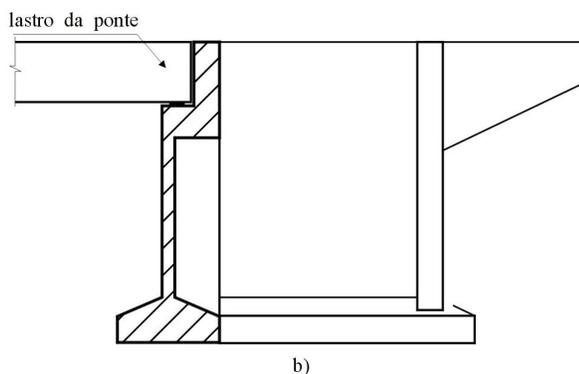


Fig. 2.12 Encontros de pontes: a) em alvenaria de pedras ou concreto ciclópico;
b) em concreto armado

Em alguns casos, em especial nas pontes rodoviárias de pequeno e médio porte, é usual a eliminação dos encontros, que são substituídos por balanços nas extremidades da superestrutura. É previsto, nesses casos, taludes com inclinação e proteção adequadas para os aterros de acesso (Fig. 2.13).

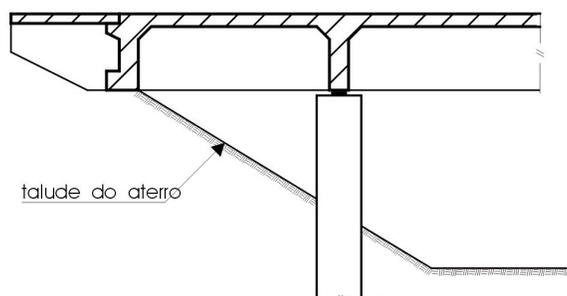
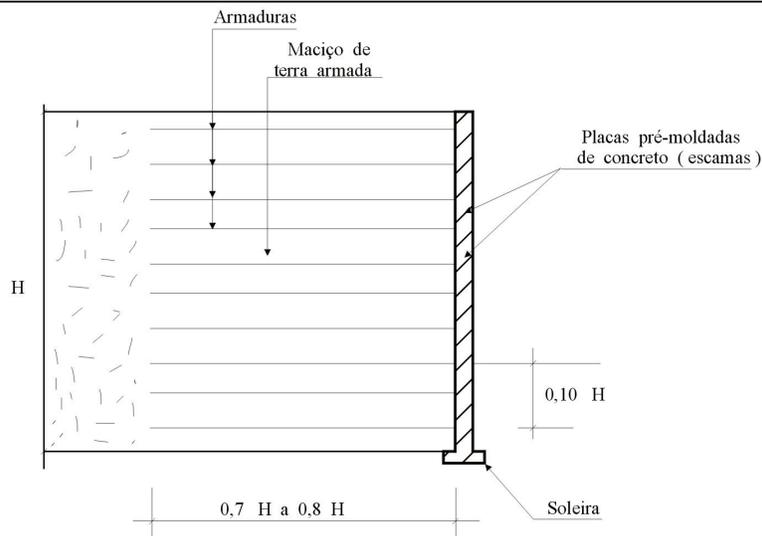


Fig. 2.13 Ponte com balanços nas extremidades, em substituição aos encontros

2.5 Terra armada

A técnica construtiva denominada Terra Armada foi desenvolvida no Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Paris, 1967), e tem sido utilizada para a execução de muros de arrimo e encontros de viadutos, especialmente em obras urbanas, onde os espaços reduzidos para a contenção dos maciços e a necessidade de um bom aspecto para as rampas de acesso limitam o emprego de soluções convencionais.

O sistema consiste na utilização da resistência interna do solo associada à de materiais de construção convencionais (concreto e aço), constituindo maciços auto-equilibrados. A aderência da armadura (tiras de aço) com o solo garante a estabilidade das placas pré-moldadas encaixadas entre si (fig. 2.14), que garantem a contenção do maciço. A solução exige a execução de um aterro rigorosamente controlado.



Vista frontal

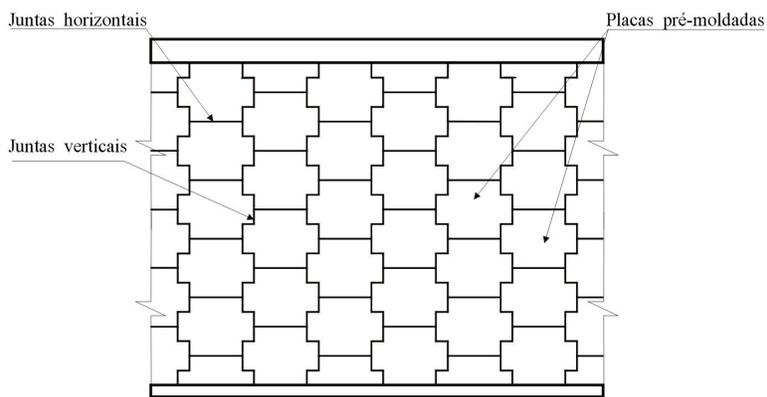


Fig. 2.14 Detalhe da contenção dos aterros das cabeceiras com terra armada

2.6 Pontes especiais

2.6.1 Pontes esconsas

As pontes esconsas são utilizadas quando não ocorre um cruzamento normal no traçado de uma estrada ou de uma via de tráfego (Fig. 2.15).

A esconsidade é determinada pelo ângulo α .

De modo geral, as pontes esconsas podem ser enquadradas nos sistemas estruturais e construtivos citados neste capítulo, ressaltando que, para pequenos vãos, as soluções em laje maciça apresentam uma série de vantagens.

As linhas de pilares, aparelhos de apoio e faces dos encontros devem acompanhar a orientação da esconsidade.

O cálculo dos esforços nas pontes esconsas apresentava, no passado, algumas dificuldades. Porém, com o avanço dos programas de computadores, esse problema está atualmente superado.

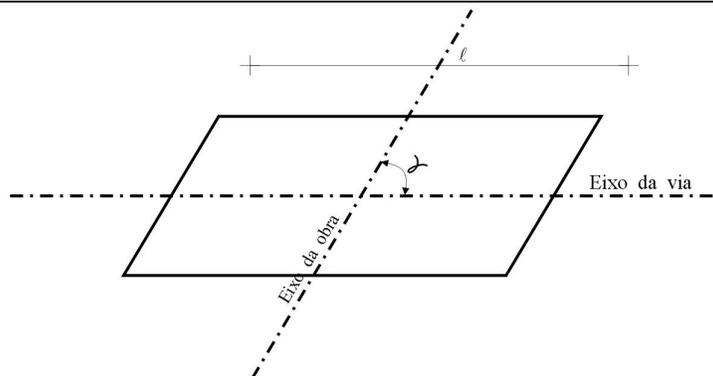


Fig. 2.15 Esquema da escondidade de uma ponte

2.6.2 Pontes curvas

O traçado geométrico de uma rodovia impõe, com certa frequência, a necessidade do projeto de pontes em curva. Existem pontes em curva de um só vão ou pontes contínuas com trechos retos e curvos com diferentes raios de curvatura.

Nas pontes curvas a torção representa uma solicitação de importância fundamental. Por isso, utiliza-se normalmente o estrado celular.

Outro aspecto importante neste tipo de obra é que a seção transversal do tabuleiro deve ter superelevação e superlargura. A superelevação para garantir a estabilidade do veículo à força centrífuga na curva. A superlargura para impedir que o veículo saia da faixa de tráfego na curva (Fig. 2.16).

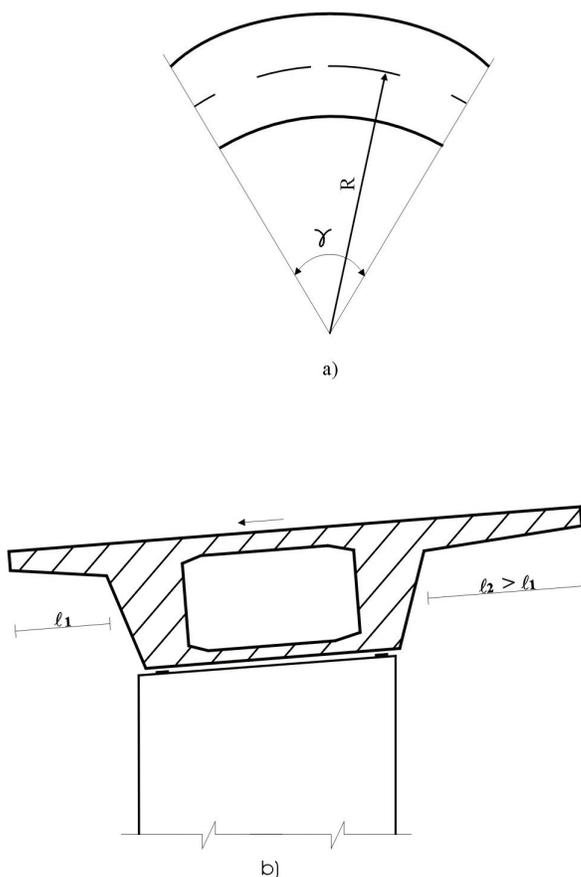


Fig. 2.16 Pontes curvas: a) esquema de traçado em planta;
b) seção transversal com superelevação e super-largura

CAPÍTULO 3 - DIRETRIZES PARA A ELABORAÇÃO DO PROJETO DE UMA PONTE

O projeto de uma ponte, ou de um viaduto, está diretamente relacionado ao projeto da rodovia ou da via urbana onde ela será construída.

A escolha do local da ponte envolve sempre particularidades inerentes a cada caso, pois cada travessia apresenta suas próprias características, exigindo soluções adequadas. Enquanto para a superestrutura é possível padronizar determinados sistemas estruturais, evidentemente condicionados aos comprimentos dos vãos a transpor, no caso da infraestrutura, cada solução deverá ser individualizada de acordo com a configuração determinada pela interação ponte / solo / rio / rodovia.

É necessário, portanto, o conhecimento das características físicas e geométricas do local da obra, que deverão ser obtidas através de estudos apropriados e fornecidas ao projetista na forma de relatórios técnicos que permitam escolher a opção que agregue maior economia, funcionalidade, eficiência estrutural e estética.

A seguir estão relacionados os principais estudos que devem ser realizados para subsidiar o projeto de uma ponte.

3.1 Projeto geométrico

Trata-se da definição do traçado da rodovia ou via urbana onde a ponte será edificada, devendo constar dos seguintes elementos:

- a) levantamento topográfico plani-altimétrico constando de desenhos em planta com a locação da obra e do perfil ao longo do eixo locado. Deverá também apresentar a seção do curso d'água no local, com as cotas de fundo do eixo do rio ou canal;
- b) largura total da plataforma, com indicação das faixas de tráfego, passeios de pedestres e canteiro central, quando for o caso;
- c) Todas as cotas do greide de pavimentação;
- d) Declividades e/ou raios de curvaturas, no caso de pontes em rampas ou em curva.

3.2 Estudos hidrológicos

Os estudos hidrológicos são de fundamental importância para a obtenção de um bom desempenho da obra ao longo da sua vida útil. Considerável parte dos problemas ocorridos com pontes rodoviárias e urbanas deve-se ao dimensionamento insuficiente da seção de vazão. Para evitar esses problemas, os estudos de natureza hidrológica se constituem pré-requisitos para a definição do vão total da ponte, devendo ser feitos por profissionais especializados. De modo geral, devem constar do seguinte:

- a) área da bacia hidrográfica a montante da seção de implantação da obra;
- b) níveis máximo e mínimo das águas;
- c) precipitação média anual das chuvas;
- d) informações sobre vazão, declividade, permeabilidade do solo, existência de vegetação, rugosidade, depressões, etc;
- e) informações sobre intervenções já realizadas no trecho como: dragagem, retificação do leito do rio, proteção das margens, etc;
- f) observações de outras obras existentes no curso d'água, com indicações de comprimento, seção de vazão, ocorrência de erosões, etc.

3.3 Estudos geotécnicos

Os estudos geotécnicos são, também, de fundamental importância para a definição do tipo de fundação de uma ponte. Para fins de projeto e execução, as investigações de natureza geotécnica em solo ou rocha podem compreender, dependendo de cada caso, a realização de sondagens e de diversos tipos de ensaios e até provas de carga. Porém, independentemente das investigações feitas, nunca devem deixar de ser realizadas as sondagens de reconhecimento do subsolo, que podem ser do tipo *a percussão* (casos dos solos), ou *rotativas* (casos das rochas).

O resultado das sondagens deve ser fornecido na forma dos seguintes elementos:

- a) planta de locação dos furos referida ao eixo da obra;
- b) perfil individual de cada furo, assinalando as diversas camadas atravessadas com as respectivas espessuras, classificação e número de golpes a cada metro de perfuração;
- c) posição de nível d'água;
- d) cota da boca de cada furo em relação a um RN bem determinado.

Visando a possibilidade de futuros esclarecimentos, o responsável pela execução da sondagem deverá manter, durante pelo menos 15 dias a contar da entrega do relatório, as amostras da sondagem feita.

No caso de sondagem rotativa, deverão ser obtidas amostras (ou testemunhos) para a realização dos ensaios de laboratório que determinem a natureza e a estrutura do maciço rochoso.

A qualidade da rocha é avaliada pela porcentagem de recuperação do testemunho, definida pela razão entre o comprimento do testemunho recuperado e o comprimento da perfuração.

De modo geral, os furos de sondagem devem ser em número e profundidade suficientes a permitir um bom conhecimento sobre a natureza do solo de fundação. No caso das pontes, recomenda-se a execução de pelo menos dois furos sob cada linha de apoios, com a profundidade mínima de 8m por furo.

3.4 Estudos complementares

São informações de caráter geral que podem ser de grande interesse para a concepção do projeto e definição do sistema construtivo, como por exemplo:

- a) agressividade da água e do meio ambiente em geral;
- b) condições de acesso ao local da obra;
- c) disponibilidade de materiais na região;
- d) infraestrutura disponível no local;
- e) informações sobre o período chuvoso e o regime do rio;
- f) outras peculiaridades locais que facilitem (ou dificultem) a execução e possam influenciar no custo da obra e no sistema construtivo adotado.

3.5 Carregamentos/solicitações

Nos projetos das pontes rodoviárias são considerados os seguintes carregamentos, os quais implicam no surgimento de esforços solicitantes:

- a) Carga permanente

A carga permanente compreende o peso próprio dos elementos estruturais. A importância do peso próprio nas solicitações depende do material utilizado e do vão livre da ponte.

A seguir os pesos específicos, em tf/m^3 , dos principais materiais utilizados nas construções de pontes:

Concreto armado	2,50
Concreto simples	2,20
Concreto ciclópico	2,20
Alvenaria de pedra	2,20
Aço	7,85
Pavimentação asfáltica	2,20
Areia, brita ou terra fofa	1,60
Areia, brita ou terra compactada :	1,90

b) Carga móvel

A carga móvel é constituída pelo peso dos veículos e pessoas (multidão) que transitam sobre a ponte.

As cargas dos veículos e multidão são definidas pelas normas e são colocadas nas posições mais desfavoráveis, de modo a obter-se as solicitações máximas e mínimas na estrutura.

O movimento dos veículos e as irregularidades das pistas produzem acréscimos nas cargas atuantes que são denominados efeitos de impacto.

Os veículos também produzem, no tabuleiro, esforços horizontais longitudinais devidos à frenagem e aceleração.

Nas pontes em curva, o movimento dos veículos faz aparecerem esforços horizontais transversais causados pela força centrífuga.

Para levar em conta a ação dinâmica das cargas móveis, os esforços solicitantes correspondentes são majorados através de um coeficiente de impacto vertical. Esse coeficiente é estabelecido em função do vão, do sistema estrutural, da categoria da ponte e da natureza do material.

c) Cargas devidas aos elementos naturais

A água, o vento, a terra, quando em contato com a ponte, exercem empuxos sobre a estrutura gerando solicitações que devem ser consideradas no dimensionamento da estrutura.

Os empuxos da água são consideráveis no uso de pontes com pilares no leito de rios sujeitos a grandes enchentes.

O efeito da pressão do vento é de grande importância no dimensionamento dos pilares, especialmente nas pontes de grande altura.

Os empuxos de terra nas cabeceiras das pontes produzem esforços horizontais que são absorvidos pelos encontros ou pilares e cortinas.

d) Deformações internas

No projeto de uma ponte são consideradas as solicitações produzidas pelas deformações internas dos materiais. Tais deformações são devidas a variações de temperatura, retração e fluência do concreto.

Os efeitos devidos à variação de temperatura e retração são principalmente considerados no cálculo da mesoestrutura. Esses efeitos podem ser aliviados pela introdução de juntas de dilatação e pela adoção de um adequado plano de concretagem.

O fenômeno da fluência, também denominada deformação lenta, é de fundamental importância na obra de concreto protendido devido a sua influência direta nas perdas de protensão.

3.6 Normas brasileiras

Qualquer atividade técnica relacionada a uma ponte, seja ela projeto, construção ou vistoria, deverá estar de acordo com os procedimentos previstos pelas Normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

As normas relativas às pontes e viadutos atualmente em vigor são as seguintes:

NBR 7189/87 – Projeto e Execução de Pontes em Concreto Armado e Protendido.

NBR 7188/84 – Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestre.

NBR 7197/89 – Projeto de Estruturas em Concreto Protendido.

NBR 6118/78 – Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Armado.

NBR 6122/96 – Projeto e Execução de fundações.

NBR 9454/86 – Vistoria de Pontes e Viadutos de concreto.

PARTE II
Conservação e Gestão

CAPITULO 4 - PRINCIPAIS PROBLEMAS NAS ESTRUTURAS DAS PONTES

As estruturas das pontes, assim como os seres humanos, podem sofrer os efeitos de males congênitos e adquiridos, são vulneráveis a acidentes e também deterioram-se e debilitam-se com o passar do tempo.

Mesmo considerando-se que, de modo geral, essas obras têm dado verdadeiros exemplos de grande durabilidade, muitas vezes em condições totalmente adversas, convém lembrar que elas não têm vida útil infinita.

A garantia de maior vida útil, com satisfatório desempenho funcional e estrutural, depende basicamente de uma adequada manutenção ao longo do tempo. Essa manutenção, tanto preventiva como corretiva, deverá fazer parte de um processo mais amplo de gestão das rodovias com suas respectivas obras de arte, compreendendo vistorias periódicas que visem identificar as falhas estruturais porventura existentes, diagnosticando-as e em seguida definindo as ações de recuperação, caso necessárias.

Os tipos de vistoria, bem como os procedimentos a serem adotados nas inspeções e na elaboração dos relatórios, serão abordados no próximo capítulo. Os principais problemas que ocorrem nas pontes de concreto armado e protendido serão agora analisados, classificados (genericamente) e identificados na especificidade de cada caso.

4.1 Classificação das principais falhas estruturais**4.1.1 Falhas congênitas**

- a) decorrentes da concepção do projeto;
- b) devidas a inadequado estudo das condições do local onde a obra foi executada;
- c) devidas à inobservância das normas técnicas vigentes.

4.1.2 Falhas adquiridas durante a construção

- a) devidas ao uso de materiais impróprios ou com características diferentes daquelas especificadas no projeto;
- b) decorrentes da adoção de equipamentos e métodos construtivos inadequados;
- c) devidas à utilização de mão-de-obra não especializada;
- d) causadas pela falta de entrosamento nos diversos níveis, envolvendo projetista, construtora, fornecedores, fiscalização e proprietário.

4.1.3 Falhas motivadas por causas acidentais

- a) carregamento excessivo;
- b) utilização inadequada da estrutura;
- c) mudanças repentinas das condições originais do leito do rio, como é o caso das enchentes e erosões.

4.1.4 Falhas adquiridas devido às condições de exposição

- a) obras situadas em meio-ambiente agressivo.

4.2 Conceituação dos danos mais comuns

As causas relacionadas anteriormente tendem a causar os seguintes danos nas estruturas das pontes de concreto armado ou protendido.

4.2.1 Fissuras

Um dos danos mais observados nas estruturas é o fissuramento causado pela baixa resistência à tração do concreto.

As fissuras podem ser classificadas de duas formas: estáveis - ou passivas - e em movimentação - ou ativas

As fissuras passivas, quando chegam à sua máxima amplitude, estabilizam-se devido ao cessamento da causa que as geraram, como é o caso das fissuras de retração hidráulica ou das provocadas por um recalque diferencial de fundação que esteja estabilizado.

As fissuras ativas são produzidas por ações de magnitude variáveis que provocam deformações também variáveis no concreto. É o caso das fissuras de origem térmica e das de flexão provocadas por ações dinâmicas.

4.2.2 Carbonatação

Uma das causas mais frequentes da corrosão em estruturas de concreto armado, a carbonatação é a transformação do hidróxido de cálcio, com alto PH, em carbonato de cálcio, que tem um PH mais neutro.

A perda de PH do concreto representa um problema, pois em seu ambiente alcalino - PH variando de 12 a 13 -, as armaduras estão protegidas da corrosão, mas, abaixo de 9,5, tem-se o início do processo de formação de células eletroquímicas de corrosão, começando a surgir, depois de algum tempo, fissuras e desprendimentos da camada de cobrimento.

A existência de umidade no concreto influencia bastante o avanço da carbonatação. Outros fatores que também contribuem para que o fenômeno se desenvolva com mais rapidez são: a quantidade de CO₂ do meio ambiente, a permeabilidade do concreto e a existência de fissuras.

4.2.3 Desagregação

É a deterioração, por separação de partes do concreto, provocada, em geral, pela expansão devido à oxidação ou dilatação das armaduras, e também pelo aumento de volume do concreto quando este absorve água. Pode ocorrer também devido às movimentações estruturais e choques.

4.2.4 Disgregação

Caracteriza-se pela ruptura do concreto, em especial nas partes salientes da estrutura. O concreto disgregado geralmente apresenta as características originais de resistência, porém não foi capaz de suportar a atuação de esforços anormais.

4.2.5 Segregação

É a separação entre os elementos do concreto - a brita e a argamassa - logo após o lançamento.

4.2.6 Perda de aderência

Pode ocorrer entre a armação e o concreto ou entre dois concretos. A perda de aderência entre o concreto e o aço ocorre geralmente nos casos de oxidação ou dilatação da ferragem.

4.2.7 Corrosão das armações

A porosidade do concreto, a existência de trincas e a deficiência no cobrimento fazem com que a armação seja atingida por elementos agressivos, acarretando, desta maneira, a sua oxidação. A parte oxidada aumenta o seu volume em cerca de 8 vezes e a força da expansão expõe o concreto do cobrimento, expondo totalmente a armadura à ação agressiva do meio. A continuidade desse fenômeno acarreta a total destruição da armação.

4.2.8 Corrosão do concreto

O concreto, mesmo sendo bastante resistente quando de boa qualidade, está sujeito a sofrer danos em presença de agentes agressivos. Normalmente, o concreto mais atacado é o de má qualidade, permeável, segregado, etc.

Os agentes ácidos, os sulfatos, o cloro e seus compostos, os nitratos e nitritos são os principais fatores destrutivos do concreto. Mesmo a água totalmente pura, como é o caso das águas de chuvas nas pontes, pode atacar o concreto através da infiltração e do acúmulo ao longo do tempo, devido à ausência de pingadeiras e da deficiência das juntas e da drenagem do tabuleiro.

4.2.9 Movimentações estruturais

Podem ser provocadas por recalques diferenciais, desníveis, vibrações excessivas, variações de temperatura, etc..

4.2.10 Calcinação

É o ressecamento das camadas superficiais do concreto devido à ocorrência de incêndios.

4.3 Identificação das causas que provocam os danos estruturais

O conhecimento profundo das causas geradoras dos defeitos em uma estrutura é pré-requisito fundamental para a definição do melhor tipo de intervenção que venha garantir a sua recuperação e funcionalidade com maior vida útil.

A esse respeito, a eng^a Maria Aparecida de Azevedo Noronha escreveu no seu trabalho *Diagnóstico dos males e terapia das estruturas*:

“O tratamento das estruturas exige do técnico dele encarregado, atributos e conhecimentos semelhantes daqueles exigidos do médico. Antes, e mais que qualquer outro atributo, o engenheiro que se propõe a curar estruturas deve a elas dedicar carinho, amizade e respeito. É ainda indispensável que conheça a fundo as causas geradoras dos males, que saiba através dos sintomas visíveis ou auscultáveis por meio de ensaios, emitir diagnóstico seguro. É preciso ainda que conheça os remédios e a sua posologia, que seja capaz de acompanhar o tratamento ajustando os remédios, as doses e os meios de aplicação às condições reais da estrutura que, por vezes, se mostra durante o tratamento, diferente daquelas de início vislumbradas”.(1978).

A analogia entre um defeito estrutural e uma enfermidade em um ser humano é bastante pertinente, pois uma obra de engenharia, dependendo da gravidade dos problemas patológicos estruturais e da ausência de um tratamento adequado (reparo ou reforço), poderá vir a apresentar um quadro irreversível e até vir a morrer (casos de desabamento ou necessidade de demolição).

No caso das pontes, tal situação é particularmente delicada, pois se a simples interdição de uma de suas faixas de tráfego já causa transtornos de toda espécie para os usuários, imagine-se então se a natureza dos problemas implicar na necessidade da interdição total da obra, numa situação extrema em que ela possa vir a atingir a ruptura.

Ocorreram no Brasil vários acidentes estruturais em pontes e viadutos. Alguns fazem parte dos anais de congressos e da literatura técnica disponível.

A maioria dos acidentes estruturais nas pontes rodoviárias foi divulgada apenas do ponto de vista da mídia, muitas vezes de forma sensacionalista, ficando o conhecimento técnico das suas causas, de fundamental importância para evitar novas ocorrências, sem a devida atenção, o que dificulta bastante a elaboração de dados estatísticos que possam subsidiar os procedimentos de manutenção preventiva.

Um caso recente, amplamente divulgado pela imprensa nacional, e que chamou a atenção da comunidade técnica sobre a segurança das pontes e viadutos foi o acidente ocorrido em 1998 com a Ponte dos Remédios, na cidade de São Paulo. A possibilidade de um colapso estrutural devido a graves danos provocados por falta de manutenção ao longo de anos e a repercussão no tráfego de significativa parte daquela cidade, devido à interdição da obra para reparos de emergência, gerou à época um sentimento de insegurança, ou pelo menos de dúvidas, quanto ao estado das pontes e viadutos nas demais cidades brasileiras. Com o passar do tempo, o assunto foi caindo no esquecimento e continuamos sem uma estatística sobre os acidentes e sem uma sistemática para manutenção das obras de pontes e viadutos.

Os problemas existentes em uma estrutura avariada que se pretende recuperar ou reforçar podem ser vários e muito complexos.

Existem defeitos localizados e de pouca importância que não afetam o resto da estrutura. Por isso, os reparos não são difíceis e podem ser realizados imediatamente, sem depender de maiores estudos e de resultados de ensaios de laboratório.

Outros defeitos, porém, são de tal ordem que necessitam, antes da reparação, de um conhecimento global da obra, envolvendo ainda todo o histórico da estrutura, a análise do projeto e todas informações que possam identificar as causas que motivaram a sua patologia.

O estudo dos sintomas apresentados pela estrutura implica na análise das causas que produziram os defeitos ou lesões existentes. Nesse sentido, a localização e o tipo de fissuras são da maior importância nessa análise, bastando

muitas vezes a observação do quadro de fissuração para se chegar às conclusões que permitam diagnosticar os problemas existentes.

4.3.1 Tipos de fissuras

F. Leonhardt (1979) define os seguintes tipos de fissuras (Fig. 4.1):

- a) microfissuras e fissuras na estrutura interna - fissuras muito finas e curtas, parcialmente na argamassa e parcialmente entre os agregados e a argamassa, na maioria visíveis apenas ao microscópio. Estas fissuras podem se formar devido a tensões intrínsecas ou devido a mudanças no fluxo das tensões;
- b) fissuras de separação - são fissuras que atravessam toda a seção transversal da peça. Ocorrem nos casos de tração centrada ou tração com pequena excentricidade;
- c) fissuras de flexão - são fissuras que começam no bordo tracionado de uma peça fletida e terminam na linha neutra;
- d) fissuras de convergência - dependendo da densidade de armadura, no caso de zonas de bordo fortemente armadas, tais como banzos de vigas fletidas ou peças espessas solicitadas à tração, apenas umas poucas fissuras (fissura de convergência) avançam em direção à linha neutra ou para o interior da peça, enquanto as demais fissuras ficam limitadas à região com armadura;
- e) fissuras intermediárias e fissuras de aderência - são as fissuras intermediárias finas que, na maioria dos casos, atingem apenas a camada mais externa da armadura. Elas podem originar-se de fissuras superficiais iniciais ou de pequenas fissuras de aderência internas;
- f) fissuras de cisalhamento - são fissuras inclinadas que surgem devido às tensões principais de tração e se desenvolvem obliquamente em relação ao eixo da barra;
- g) fissuras longitudinais ao longo das barras de armação - são causadas pela pega do concreto fresco ou pelo aumento de volume da barra de armação devido à corrosão. Este tipo de fissura também ocorre devido à ação de uma tração transversal no caso de tensões de aderência elevadas (fissuras de fendilhamento) e podem avançar até a superfície da peça (no caso do espaçamento entre barras ser pequeno), mas podem também se desenvolver paralelamente à superfície, rompendo o cobrimento de concreto;
- h) fissuras superficiais ou fissuras em rede - são fissuras que originam-se de tensões intrínsecas, provocadas por retração, carbonatação e/ou variação de temperatura. Tais fissuras podem aparecer em qualquer direção (fissuras em rede), ou também em uma direção aproximadamente paralela.

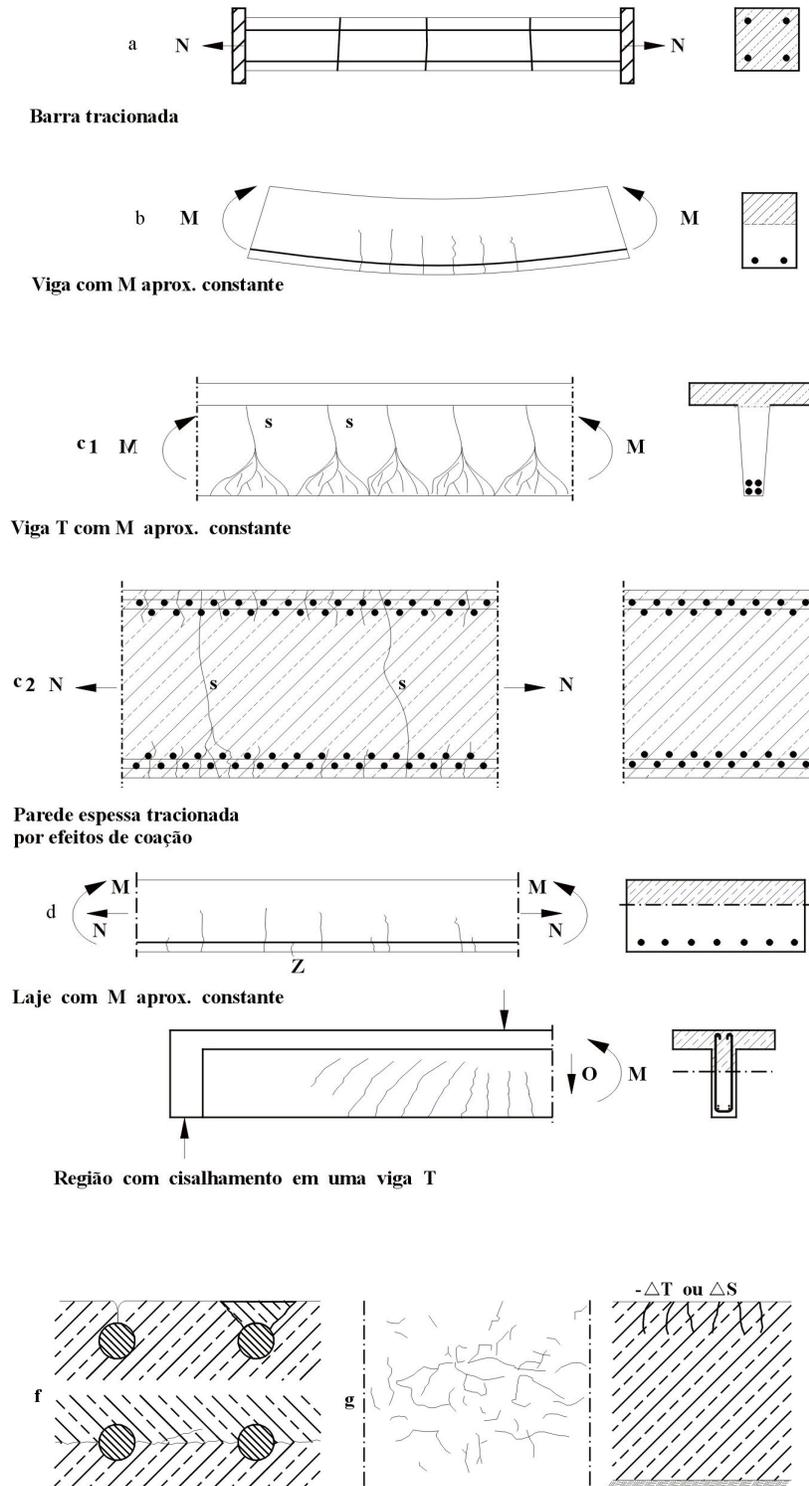


Fig. 4.1 Tipos de fissuras segundo F. Leonhardt: a) fissuras de separação no caso de tração; b) fissuras de flexão; c) fissuras de convergência (S); d) fissuras intermediárias ou secundárias (Z); e) fissuras de cisalhamento; f) fissuras longitudinais ao longo das barras da armadura; g) fissuras superficiais ou rede.

4.3.2 Casos de fissuração mais observadas nas estruturas de pontes

Nas pontes, os efeitos da fissuração podem, na maioria dos casos, ter conseqüências bastante danosas devido à própria natureza das obras, sempre expostas às intempéries, muitas vezes localizadas em meio agressivo, submetidas a carregamentos variáveis (e até excessivos) e geralmente carentes de qualquer tipo de manutenção.

Isso faz com que a estrutura seja mais facilmente atingida pelos agentes agressivos que causam a sua deterioração, comprometendo assim o bom funcionamento e diminuindo a vida útil.

A seguir serão mostrados vários dos casos mais correntes de fissuração nas estruturas das pontes rodoviárias. Parte deles consta, mesmo que de modo disperso, da literatura técnica sobre o tema, sendo alguns baseados nos estudos e artigos publicados pelo prof^o Eduardo Thomas, que tem dado importante contribuição nessa área.

4.3.2.1 Fissuração na superestrutura

a) Articulações Gerber em vigas de pontes e viadutos

As articulações Gerber, também conhecidas como dentes Gerber, sofrem normalmente fissuras inclinadas a 45° que partem do canto interno (Fig. 4.2).

Tais fissuras são causadas pelo mau dimensionamento das armaduras horizontais e de suspensão. A infiltração de água através das fissuras provoca a corrosão das armaduras, o que pode levar o dente Gerber à ruptura.

Na maioria dos casos é recomendável fazer reforço estrutural devido à dificuldade de recuperação das fissuras.

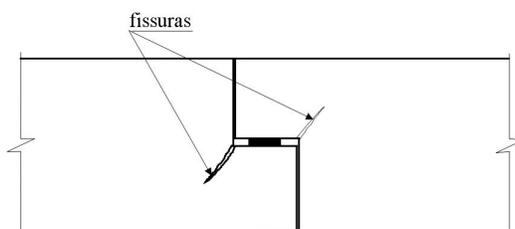


Fig. 4.2 Fissuras em dentes Gerber

b) Fissuras de flexão em vigas principais

As fissuras de flexão ocorrem geralmente no trecho central do vão. Nascem na fibra inferior, sobem pela alma da viga, a princípio verticalmente, e depois inclinam-se devido a influência do esforço cortante quando se aproximam dos apoios.

Tais fissuras são ativas e podem ser causadas por armação de flexão insuficiente (passiva no caso de concreto armado ou ativa no caso de concreto protendido).

Grandes variações de temperatura também provocam importantes solicitações, gerando deformações no tabuleiro que se traduzem em um aumento dos momentos positivos em uma viga contínua. Este fenômeno pode causar em certas seções efeitos comparáveis aos das cargas de serviço.

Outra causa desse tipo de fissuração pode ser a aplicação de cargas móveis superiores àquelas previstas no projeto, caso muito comum atualmente, especialmente em pontes projetadas há várias décadas.

O aumento do peso próprio da superestrutura devido à pavimentação e acréscimos de passeios também está entre as causas que devem ser investigadas. A fig. 4.3 mostra esquematicamente esse tipo de fissuração.

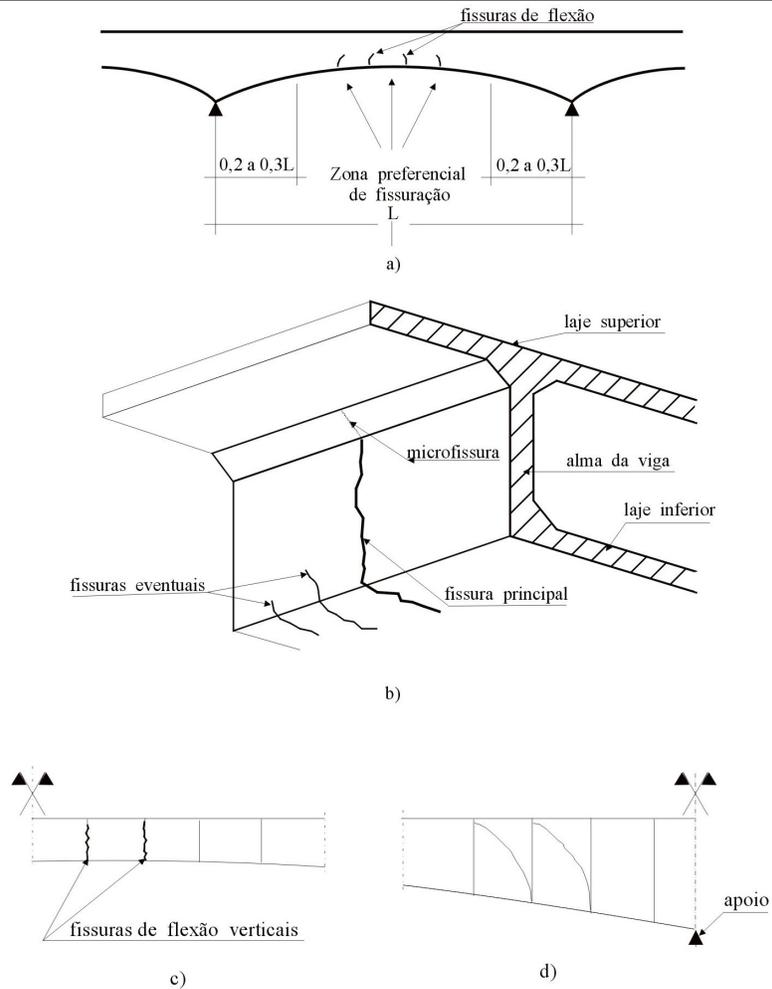
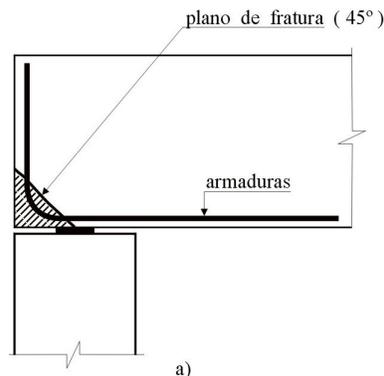


Fig. 4.3 Fissuras de flexão em vigas de pontes: a) zona preferencial de fissuração de flexão; b) detalhe de fissuras de flexão; c) incidência do esforço cortante no traçado das fissuras de flexão; d) fissuras mistas de flexão /cisalhamento nas zonas próximas aos apoios.

c) Cantos inferiores extremos das vigas

Nas vigas de pontes, em especial as de grande porte, o canto inferior extremo tende a se romper devido ao aparecimento de fissuras inclinadas a 45° tangentes à armadura dobrada ou à placa de ancoragem no caso de vigas protendidas.

A causa desse problema é a falta de armadura no canto da viga, região submetida a altas tensões de compressão (Fig. 4.4).



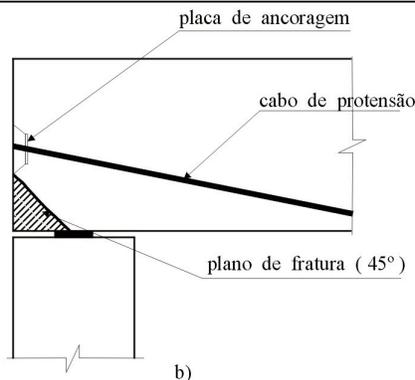


Fig. 4.4 Fissuras nos cantos inferiores extremos das vigas: a) vigas de concreto armado; b) vigas de concreto protendido

d) Fissuras verticais a meia altura das vigas

Esse tipo de fissuração é geralmente causado pela insuficiência da “armadura de pele” distribuída na alma da viga, na zona tracionada. É essa armadura que resiste aos esforços de tração liberados pela ruptura da camada periférica do concreto que lhe é adjacente.

As fissuras são praticamente nulas junto à armadura principal de flexão e crescem atingindo valores máximos à meia altura, voltando a crescer junto à linha neutra. No caso de pontes com cargas variáveis bem maiores que as cargas permanentes, essas fissuras são ativas com grande variação (Fig. 4.5).

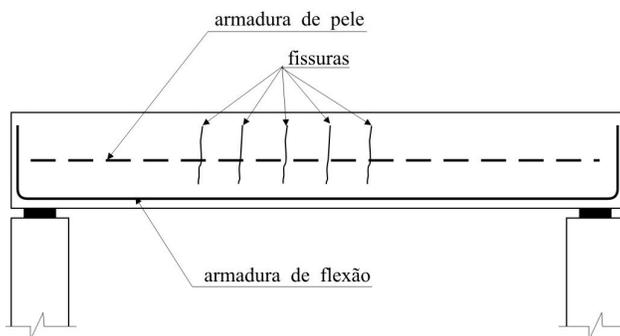


Fig. 4.5 Fissuras verticais a meia altura das vigas

e) Fissuras nas lajes superiores

São fissuras que ocorrem junto aos apoios, geralmente causadas pela falta de armadura longitudinal nas lajes (Fig. 4.6).

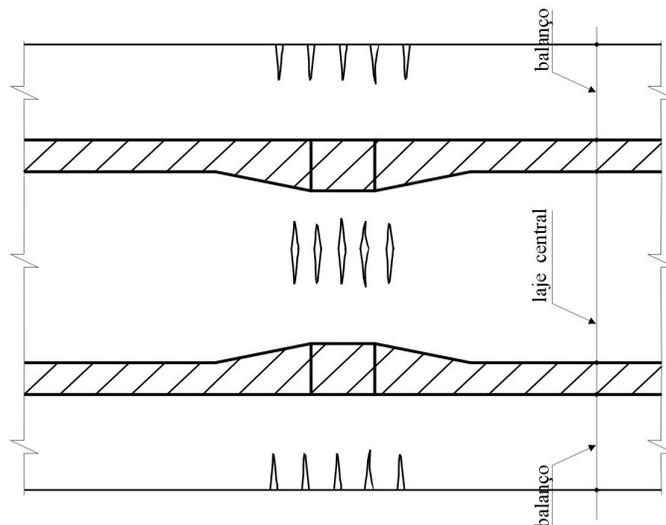


Fig. 4.6 Fissuras nas lajes juntos aos apoios

f) Fissuras verticais no bordo inferior junto aos apoios intermediários de vigas contínuas protendidas

Tais fissuras são causadas por protensão excessiva e por uma avaliação incorreta do hiperestático de protensão, situação encontrada geralmente nas pontes mais antigas cujos projetos eram deficientes quanto a essa questão.

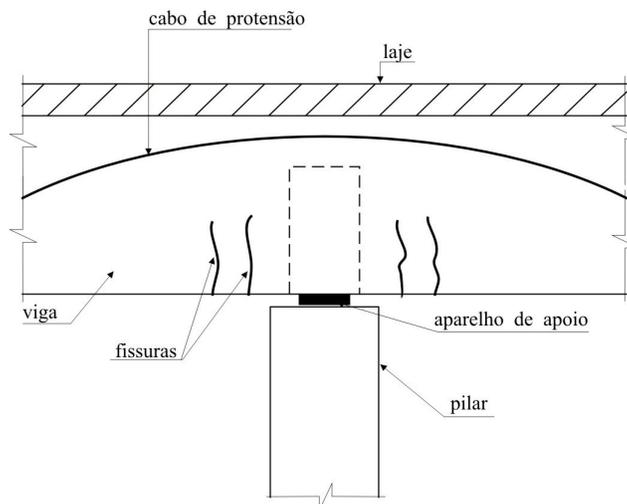


Fig. 4.7 Fissuras verticais em vigas protendidas

g) Fissuras longitudinais ao longo das armaduras

O aumento de volume da barra de armação, devido à corrosão, produz fissuras paralelas à superfície da peça que tendem a romper o cobrimento de concreto.

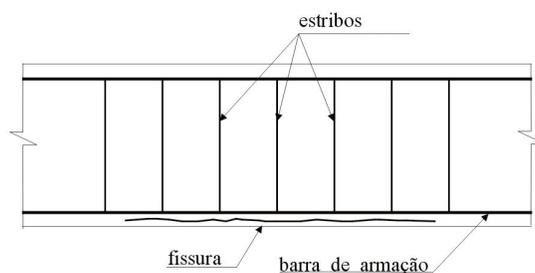


Fig. 4.8 Fissuras causadas pela corrosão das armaduras

h) Exposição de armadura devido a falha de concretagem

A falta de cobrimento adequado das armaduras levam à exposição das armaduras, facilitando o processo de corrosão.

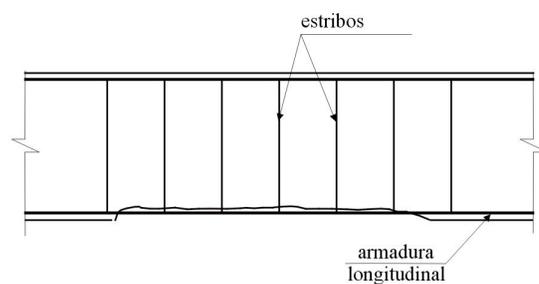


Fig. 4.9 Exposição de armaduras devido a falhas de concretagem

4.3.2.2 Fissuração na mesoestrutura

a) Fissuras de tração em encontros

Os encontros de alvenaria de pedra ou concreto ciclópico não têm resistência à tração e tendem a fissurar quando submetidos a movimentos estruturais que podem ter diversas origens, entre elas deformações no solo, carregamentos excessivos, variação de temperatura, etc.

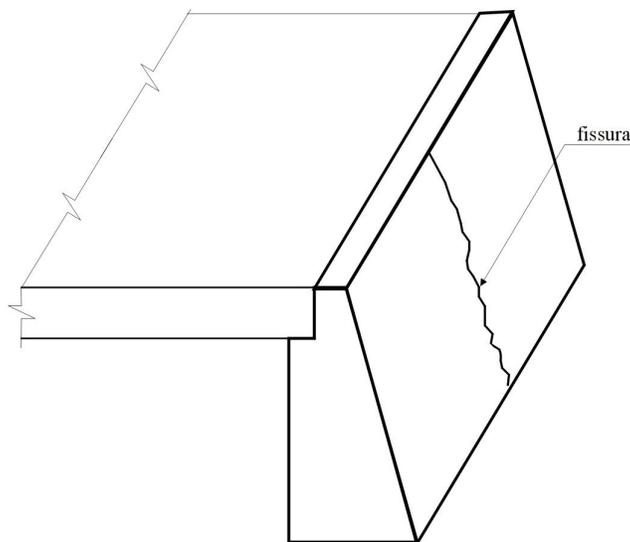


Fig. 4.10 Fissuras de tração em encontros de pontes em alvenaria de pedra ou concreto ciclópico

b) Fissuras nos pilares de pontes dentro de rios

Nos pilares, os trechos localizados dentro da água sofrem desagregação do concreto de cobrimento, em especial nos rios com muito material sólido carregado.

A exposição e oxidação das armaduras longitudinais provocam o aparecimento de fissuras ao longo das barras acima do nível das águas.

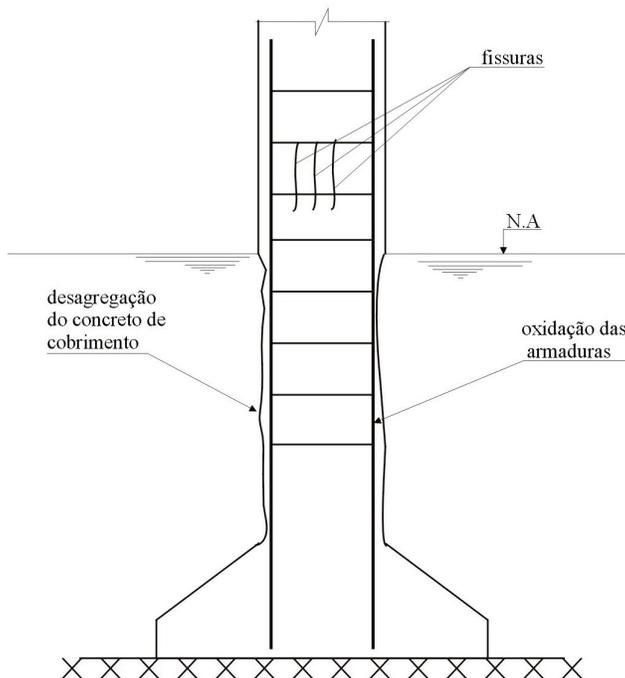


Fig. 4.11 Danos em pilares de pontes em rios com grande velocidade ou com muito material sólido

c) Fissuras em pilar-parede de pontes e viadutos

Nos pilares-parede com várias vigas no topo podem surgir fissuras verticais próximas ao topo do pilar causadas por armadura insuficiente.

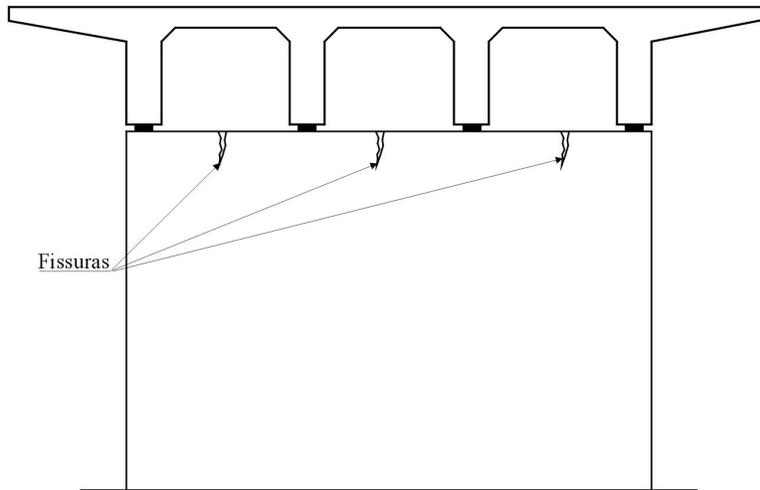


Fig. 4.12 Fissuras verticais em pilar-parede

d) Articulações tipo Freyssinet

Neste tipo de articulação podem ocorrer fissuras nas partes laterais devidas às elevadas tensões sem confinamento lateral. Também pode acontecer ruptura nos cantos da articulação causada pela falta de armadura de fretagem.

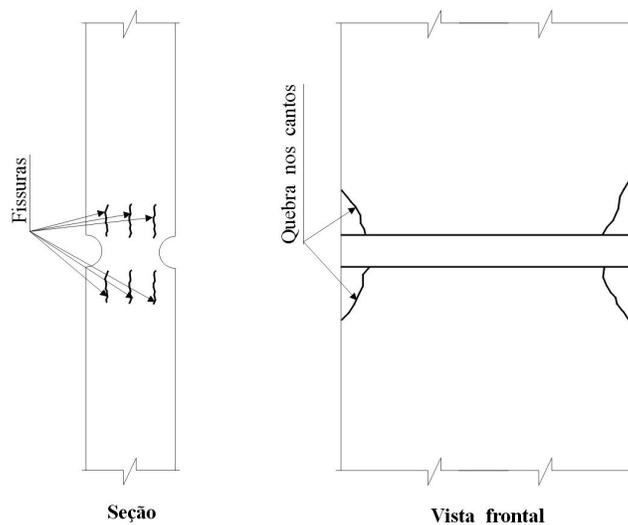


Fig. 4.13 Fissuras nas faces laterais e quebra nos cantos das articulações Freyssinet

e) Fissuras em pilares e encontros provocadas por recalque

A consolidação não uniforme de camadas de argila mole provoca recalques diferenciais que, por sua vez, podem gerar deformações e fissuração na estrutura.

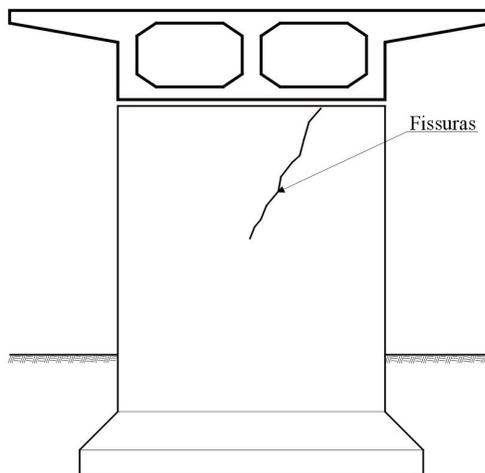


Fig. 4.14 Fissuras em pilares ou encontros provocadas por recalque diferencial

4.3.3 Ilustrações fotográficas de avarias em pontes

A seguir são ilustrados através de fotos alguns dos danos mais comuns nas estruturas das pontes rodoviárias. A grande maioria desses danos são causados pela falta de manutenção das obras ao longo dos anos, o que faz com que pequenas avarias, que poderiam, ao iniciarem-se, ser corrigidas rapidamente e com baixos custos, transformem-se em graves problemas capazes de comprometer a segurança e a funcionalidade da obra.



Foto 4.3.1 – avarias em vigas principais – exposição de armaduras, especialmente estribos na face inferior. As demais partes da viga não apresentam problemas de cobrimento. Torna-se necessário a realização de reparos para que a integridade da peça não seja comprometida

Foto do autor



Foto 4.3.2 – **avarias em vigas principais** – estágio muito avançado de deterioração da viga situada em meio ambiente agressivo. A forte corrosão das armaduras expostas e a deterioração do concreto reduziram a resistência à flexão da viga, o que implica nesses casos na necessidade urgente de reparos sob pena do risco iminente à estabilidade da obra.

Foto do autor



Foto 4.3.3 – **avarias em lajes centrais do tabuleiro** – laje em avançado estado de deterioração, com armadura positiva exposta e oxidada. Tais problemas são geralmente causados pela má impermeabilização do tabuleiro associada à porosidade do concreto e meio ambiente agressivo.

Foto: Contécnica



Foto 4.3.4 – **avarias nas lajes em balanço** – as principais causas dos danos às lajes em balanço são a falta de pingadeiras no bordo inferior e a má qualidade do concreto. A constante umidade pode comprometer a integridade da laje ao longo do tempo.

Foto do autor



Foto 4.3.5 – **avarias nos estrados em lajes maciças** – ausência de pingadeiras nos bordos, infiltração d’água no tabuleiro, concreto poroso e meio ambiente agressivo podem causar o avançado estado de deterioração, com maior intensidade junto aos bordos da laje.

Foto do autor



Foto 4.3.6 – **deficiência de juntas de dilatação** – falha de execução, berço de fixação danificado ou inexistente, falta de vedação e abertura excessiva são os principais problemas das juntas de dilatação no tabuleiro, contribuindo para a infiltração de água e suas conseqüências danosas.

Foto: Contécnica



Foto 4.3.7 – **falhas na pavimentação** – as trincas, desgastes e irregularidades no pavimento são geralmente provocadas pelo tráfego de veículos, infiltração de água, retração do concreto, quebra de juntas e desgastes superficiais ou ondulações, no caso de pavimentações asfálticas. Tais deficiências representam riscos imediatos aos usuários e contribuem para a deterioração estrutural do tabuleiro.

Foto do autor



Foto 4.3.8 – **acúmulo de água sobre o tabuleiro** – a obstrução dos drenos e a falta de declividade para escoamento, fazem com que as águas das chuvas acumuladas no tabuleiro se infiltrem e provoquem a deterioração da superestrutura.

Foto do autor



Foto 4.3.9 – **avarias em guarda-corpos** – os principais problemas detectados nos guarda-corpos de concreto nas pontes rodoviárias são concreto de má qualidade, falta de cobrimento das armaduras, ataque de agentes agressivos, ação predatória humana e choque de veículos.

4.3.4 Falhas na infraestrutura

No projeto e na execução de uma ponte, especial atenção deverá ser dada às fundações dos pilares e dos encontros e aos aterros das cabeceiras.

Pelo fato de serem elementos estruturais que trabalham abaixo do nível do terreno, e conseqüentemente não acessíveis a vistorias periódicas, os defeitos apresentados pelas fundações não são facilmente detectados de forma direta, mas através das repercussões que produzem sobre a estrutura como um todo.

São muitos os problemas que podem aparecer nas fundações e nem sempre é fácil solucioná-los. O solo, fim último das cargas por elas transmitidas, é um material complexo, cuja natureza pode implicar em uma variação muito ampla de suas características.

As falhas mais freqüentes nas fundações de pontes são causadas por recalque ou ruptura do solo, deterioração dos materiais, erosão, etc. As fundações em concreto se deterioram pelo ataque de sulfatos ou outros agentes agressivos, comprometendo as armaduras por corrosão. Já as fundações em estacas metálicas podem ser atacadas pela oxidação, principalmente nas regiões marítimas ou em outros meios agressivos.

Por tratar-se de tema específico, já abordado na ampla literatura disponível, e por fugir às finalidades deste trabalho, não serão aqui tratadas as questões relativas ao funcionamento dos diversos tipos de fundações. A breve análise a seguir será limitada ao fenômeno da erosão e aos aterros de acesso às obras de arte.

Erosão

Um dos fatores que mais influenciam no aparecimento dos problemas na infraestrutura de uma ponte é a erosão do solo, responsável pela maioria dos acidentes ocorridos com esse tipo de estrutura.

A erosão e a sedimentação são fenômenos complexos que requerem estudos especializados sobre a natureza do solo, das margens e do leito do rio.

Os trechos curvos dos rios representam situações de risco devido à tendência à erosão na margem externa e à sedimentação na margem interna, devendo-se, nesses casos, sempre que possível, fazer a locação da obra no trecho entre as curvas.

A erosão também pode ser causada por uma cheia através da rápida elevação do nível da água, com movimentação e rebaixamento do leito do rio. Essa forma de erosão é mais acentuada nos rios estreitos ou limitados por taludes altos. No caso de rios mais largos, a água tende a se espalhar por uma grande superfície, diminuindo assim os efeitos da erosão.

Outra forma de erosão é aquela causada pela obstrução da calha do rio, muitas vezes pelos próprios pilares da ponte. Esse fenômeno ocorre devido à redução da seção de vazão, que provoca uma perturbação no escoamento da água com aumento da velocidade e, conseqüentemente, da intensidade da zona de erosão em torno dos pilares, podendo haver risco à estabilidade das fundações. Levantamentos realizados sobre o tema apontam este problema como o responsável por vários e sérios acidentes com estruturas de pontes em todo o mundo.

Os estudos e trabalhos técnicos disponíveis indicam que além da natureza do solo, a intensidade da erosão é diretamente influenciada pela redução da seção de vazão do rio, pela forma dos pilares e pela escondidade em relação à direção da corrente. A quantidade de sedimentos retidos pela ponte também interfere no processo erosivo.

É importante observar que mesmo as fundações em estacas são vulneráveis à erosão. Portanto, no cálculo da profundidade necessária das estacas deve-se levar em conta o eventual rebaixamento do leito do rio por efeito de erosão, o que poderá reduzir a capacidade portante do estaqueamento.

Nos projetos de fundações de pontes, quando não se dispõe de elementos que permitam prever os efeitos da erosão, e as camadas não erodíveis do solo estiverem a uma grande profundidade, recomenda-se o emprego da regra empírica de Terezaghi e Peck, a qual estipula uma cota de fundação a uma profundidade abaixo do leito do rio pelo menos igual a quatro vezes a máxima diferença entre o nível mínimo de água e o de máxima enchente.

Às vezes também se torna necessário proteger as fundações contra a erosão; isso geralmente é feito com a execução de enrocamentos ou cortinas de estacas-prancha.

Aterros de acesso

Observa-se, com certa freqüência, a ruptura local de taludes e aterros junto às cabeceiras das pontes. Isso ocorre devido às perturbações do equilíbrio das terras junto a essas descontinuidades do maciço e à infiltração de água que ocorre entre o terrapleno e a estrutura.

Para evitar tais rupturas, é necessário que a junção da obra d'arte com o aterro funcione de tal modo que um recalque deste só tenda a comprimir ainda mais as terras contra a estrutura. Para isso devem ser projetadas cortinas e alas, além de uma excelente compactação dos aterros.

Como a ponte e os aterros de acesso recalcam de forma diferente e, principalmente se o terreno for constituído de material muito compressível, poderá haver um desnivelamento nas cabeceiras gerando desconforto para o tráfego. Tal situação é contornada com a execução de uma placa de transição apoiada na extremidade da obra e no próprio aterro. O apoio sobre o aterro deverá ser de tal modo que permita nivelar a placa, compensando os recalques ao longo do tempo.

4.3.5 Ilustrações fotográficas de problemas na infraestrutura.

Foto: Contécnica



Foto 4.3.5.1 – exposição do trecho superior de estacas metálicas, mostrando a ausência de confinamento lateral. O problema foi causado pela erosão do solo no leito do rio e pode pôr em risco a estabilidade da obra, devido à diminuição da capacidade de carga das estacas.

Foto do autor



Foto 4.3.5.2 – descalçamento da fundação de encontro provocado pela baixa resistência à erosão da rocha tipo Micaxista.

Foto do autor



Foto 4.3.5.3 – descalçamento da fundação de encontro, provocado por erosão no leito do rio.

Foto: Contécnica



Foto 4.3.5.4 – fissura de tração em encontro de concreto ciclópico. Observa-se, também, forte umidade causada pela infiltração de água através da junta do tabuleiro.

Foto do autor



Foto 4.3.5.5 – efeito da lixiviação no concreto do pilar e bloco de estacas, causado, provavelmente, pela presença de agentes agressivos na água do rio.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 4.3.5.6 – descalçamento de fundações, provocado pela erosão no leito do rio. Observa-se, também, os pilares danificados com exposição de armaduras em processo de oxidação, devido a desagregação da camada de cobrimento do concreto.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 4.3.5.7 – obstrução da calha do rio, aumentando a intensidade da erosão em torno dos pilares.

Foto: Romero Torres Nunes



Foto 4.3.5.8 – destruição dos aterros das cabeceiras de uma ponte provocada por uma grande enchente no rio.

Foto do autor



Foto 4.3.5.9 – fuga do material de aterro sob as cortinas separando-o fisicamente do tabuleiro da ponte. Ocorre, ainda, o abatimento entre o maciço e a ponte, agravado pela inexistência de placas de aproximação.

CAPITULO 5 - VISTORIAS DE PONTES**5.1 Conceituação**

Conceitualmente, a conservação de uma estrutura, inclusive das pontes rodoviárias, é definida pelo conjunto de ações necessárias para que ela se mantenha com as características resistentes, funcionais e estéticas para as quais foi projetada e construída.

A primeira fase dessas ações é representada pelo conjunto de procedimentos técnicos, realizados de acordo com um planejamento prévio, que fornece todos os dados sobre a obra em um determinado instante. É o que se denomina inspeção ou vistoria.

De modo geral, as vistorias das obras de arte devem ser constituídas das seguintes etapas: exame local da obra, análise do projeto original (ou das modificações, se for o caso) e relatório final.

No Brasil, as vistorias devem ser feitas conforme a NBR-9452/86 da ABNT, que dispõe sobre “*Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto*”.

5.2 Tipos de vistorias

A grande maioria dos programas de conservação de pontes adotados em diversos países estabelece níveis de inspeção que se diferenciam pela finalidade, frequência, meios humanos e materiais necessários, etc.

No Brasil, a NBR-9452/86 considera os seguintes tipos de vistorias:

- a) vistoria cadastral - trata-se de uma vistoria de referência, quando são anotados os principais elementos relacionados à segurança e durabilidade da obra. Este tipo de vistoria é complementado com o levantamento dos principais documentos e informes construtivos da obra vistoriada;
- b) vistoria rotineira - é uma vistoria destinada a manter atualizado o cadastro da obra, devendo ser realizada a intervalos de tempo regulares 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.

5.2.1 Vistoria Cadastral

A NBR-9452/86 estabelece que uma vistoria cadastral deve ser constituída dos seguintes elementos:

- 1) **registro de vistoria cadastral** - deve ser feito de acordo com roteiro pré-estabelecido.
- 2) **documentos e informações construtivas** - são todos os elementos necessários para a caracterização, vistoria e conservação da obra. Os documentos e informes construtivos que devem constar da vistoria cadastral, ou serem referenciados são os seguintes:
 - a) os elementos de projeto, tais como levantamentos topográficos, geotécnicos, hidrológicos e outros;
 - b) os desenhos de projeto, memoriais descritivos e de cálculo, especificações de serviços e materiais, e outros;
 - c) programa de execução abrangendo planos de execução de fundações, concretagens, cimbramentos, discrimbramentos e desformas;
 - d) diário da obra;
 - e) relatórios de fiscalização e/ou supervisão da obra;
 - f) contrato de construção com o termo de recebimento da obra;
 - g) contrato de fiscalização e/ou supervisão da obra;
 - h) registro das alterações ocorridas na fase de construção;

- i) relatórios de ensaios dos materiais utilizados na obra;
 - j) registro de protensão e injeção;
 - l) registro de contrato de execução das fundações;
 - m) referências topográficas deixadas na estrutura para controle de deformações a longo prazo;
 - n) registro de eventuais reforços, reparos, recuperações e qualquer modificação de projeto e utilização;
- 3) **anotações adicionais** - são as anotações consideradas importantes para a complementação da vistoria cadastral, como por exemplo: esquemas de vigamentos principais, contraventamentos, aparelhos de apoio, fissuras e outras anomalias, etc;
- 4) **documentário fotográfico** - deve constar de conjunto de fotos que permitam visualizar a obra como um todo, desde o sistema estrutural até as anomalias por ventura existentes.

5.2.2 Vistoria rotineira

A vistoria rotineira não precisa ser realizada por especialista. Ela é essencialmente visual, não dependendo de instrumentos de precisão ou equipamentos especiais. Recomenda-se que o relatório de vistoria rotineira seja feito, no que for cabível, de acordo com o roteiro da NBR-9452/86, juntando-se ainda o documentário fotográfico.

5.2.3 Vistoria especial

Trata-se de vistoria mais profunda e detalhada, devendo ser realizada por um ou mais engenheiros especialistas sempre que julgado necessário, com base nas constatações das vistorias rotineiras. A sua frequência pode variar de acordo com a importância, complexidade e antecedentes da obra, porém, nunca deve ser superior a cinco anos.

O procedimento para uma vistoria especial deverá atender ao fluxograma da NBR-9452/86 apresentado no anexo deste capítulo.

A seguir uma proposta de roteiro para vistoria especial em pontes rodoviárias de concreto armado ou protendido:

5.3 Roteiro para a realização de uma vistoria

A vistoria deve ser realizada de modo a atender as seguintes etapas:

- inspeção da obra;
- análise do projeto (original e das modificações, se for o caso);
- relatório final.

5.3.1 Inspeção da obra

Trata-se de detalhada inspeção da ponte, com minuciosa observação de todas as suas partes. Nessa ocasião deverão ser feitas todas as anotações com base no roteiro adotado, de modo que não escape qualquer detalhe que possa ser útil para a interpretação do comportamento da estrutura, bem como do diagnóstico a ser emitido no relatório final da vistoria. Também nessa ocasião deverão ser feitas as fotografias que irão compor o relatório e que terão importante papel na elucidação das anomalias porventura existentes na obra.

A seqüência de inspeção deverá compreender a análise da infraestrutura (fundações), da mesoestrutura (pilares, encontros, aparelhos de apoio), da superestrutura (vigamento, lajes, cortinas, etc.), dos acabamentos (guarda-corpo, pavimentação, sinalização) e dos acessos.

a) Inspeção da infraestrutura

Devem ser observados os seguintes elementos:

- tipo de fundação adotada, citando, se possível, material, dimensões, condições de prumo, fissuras, trincas, indícios de punção ou de esmagamento e descalçamento de sapatas;
- no caso de fundações em estacas, verificar o estado de conservação dos blocos, vigas de amarração e das próprias estacas, descrevendo se estão expostas, partidas ou com corrosão, no caso de perfis metálicos;

- características do terreno de fundação, ocorrência de erosão, empuxos de terra ou de água, condições dos taludes das cabeceiras, tipo e condições da proteção adotada;
- avaliação do processo construtivo adotado, indicando a qualidade de execução.

b) Inspeção da mesoestrutura**b1) Encontros**

Na inspeção dos encontros devem ser verificados:

- tipo estrutural e materiais adotados (alvenaria de pedras, concreto ciclópico, concreto armado, outros);
- geometria (normais ou esconsos);
- condições atuais (prumo, alinhamento, fissuras, trincas, infiltração d'água, umidade, falhas de concretagem, cobrimento e exposição das armaduras);
- sistema de drenagem (funcionamento dos drenos e barbacans, água acumulada no encontro);
- contenção das terras (atuação dos empuxos de terras sobre as diversas paredes, fugas de aterro, solapamento / descalçamento das fundações, ação de enchentes sobre aterros);
- no caso das pontes com extremidades em balanço, observar as condições das cortinas, alas laterais e placas de transição. Verificar a ocorrência de deslizamento de terras dos aterros de acesso sob as cortinas;
- no caso de encontros de grande altura, implantados em encosta ou meia encosta, verificar a possibilidade de ruptura do maciço, bem como de deslizamento ou tombamento.

b2) Pilares

Os pilares devem ser inspecionados tanto isoladamente como em conjunto, de modo a se verificar se as rigidezes definidas no projeto estão de acordo com as condições reais na obra.

Deverão ser registrados os seguintes elementos:

- tipo de pilar (pilar isolado, pilar parede, seção transversal, maciço ou vazado, de seção constante ou variável, comprimento, prumo, inclinação);
- hipótese estrutural adotada (pórtico, pilar esbelto, extremidade livre, montante, pêndulo);
- estado atual (cobrimento, deterioração do concreto, fissuras, trincas, armaduras expostas, anomalias provocadas por flambagem, esmagamento, contraventamento, condições de ligação com as fundações);
- desgaste devido às condições ambientais (erosão hidráulica, meio ambiente agressivo, vibrações, impacto de veículos ou embarcações, proximidade de linha férrea);
- impedimento à livre rotação (para o caso de pilares pêndulos).

b3) Aparelhos de apoio

Condições a serem observadas:

- tipos do 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.

c) Inspeção da superestrutura

A inspeção da superestrutura deverá contemplar todas as suas peças, estabelecendo critérios e tolerâncias conforme a maior ou menor importância estrutural de cada peça examinada, devendo constar do seguinte:

- sistema estrutural (pontes em laje, em vigas retas, vigas curvas, vigas Gerber, inércia constante ou variável, estrado celular, em grelha, em pórtico, em arco);
- material empregado (concreto armado, concreto protendido, estrutura mista, metálica, de madeira);
- número de vãos, especificando dimensões de cada um, comprimento total da obra, largura da pista de rolamento, dos passeios e demais peças da plataforma;
- definição das dimensões das peças examinadas como comprimento, altura, largura, se seção cheia ou vazada, etc;
- exame detalhado das vigas principais, transversinas, cortinas, lajes centrais, lajes em balanço, lajes inferiores (tabuleiros celulares) e dentes, visando definir as condições atuais do concreto, das armaduras e do cobrimento;
- verificação da ocorrência de fissuras ou trincas, caracterizando-as de acordo com a configuração, a abertura, a intensidade e o posicionamento nas peças examinadas;
- verificação, nas estruturas de concreto protendido, da ocorrência de fissuras ou anomalias decorrentes de protensão inadequada, injeção deficiente, falhas nas ancoragens passivas ou ativas, perdas de protensão, deformação lenta, etc;
- análise de flecha, grau de vibração e deformações acentuadas, diagnosticando, sempre que possível, as suas causas (escoramento, dimensionamento, rotação nos apoios, desníveis por recalques, etc.);
- deficiências de concretagem (juntas, saliências, ninchos, brocas, trincas, etc.);
- fissuras na junção de duas ou mais peças, especialmente com a laje inferior no caso dos tabuleiros celulares (característica de falhas na concretagem);
- infiltração d'água no tabuleiro, em especial nas lajes inferiores das estruturas celulares;
- fissuras ou linhas de ruptura nos painéis de lajes (características de majoração das cargas móveis);
- esmagamentos, trincas, desagregação de concreto e exposição de armaduras em dentes Gerber;
- verificação de anomalias decorrentes de recalques de fundação.

d) Inspeção dos acabamentos

Numa ponte são considerados acabamentos as partes que tenham função de natureza estética ou de proteção, tais como: guarda-corpo, guarda-rodas, pavimentação, drenagem, sinalização, cantoneiras de proteção, pintura, iluminação, etc.

A inspeção de tais componentes deve constar do seguinte:

- análise do estado dos guarda-corpos, registrando a necessidade de substituição ou reparos;
- verificação da ocorrência de danos na pavimentação asfáltica ou de concreto sobre a ponte;

- análise da vedação, fixação e desgaste das juntas de dilatação do tabuleiro;
- análise do sistema de drenagem (insuficiência e/ou obstrução de drenos, declividade insuficiente, empoçamento e infiltração de água no tabuleiro);
- verificação de desgaste nos guarda-rodas e nos passeios de pedestres;
- observação de falhas e/ou ausência do sistema de sinalização.

e) Inspeção dos acessos

Os aterros das cabeceiras constituem-se em elementos importantes para a funcionalidade e segurança da obra, bem como da integridade dos usuários. Numa inspeção recomenda-se observar os seguintes itens:

- ocorrência de desníveis entre a ponte e o aterro de acesso (indicativo de ausência de placa de transição);
- abatimentos e trincas no pavimento sobre os aterros;
- situação dos taludes dos aterros (ocorrência de erosão, tipo de proteção, canaletas de drenagem, etc.);
- ocorrência de erosão no maciço, comprometendo a faixa de rolamento;
- existência ou não de acostamento;
- existência ou não de sinalização;
- condições do sistema de sinalização dos acessos.

5.3.2 Análise do projeto

A análise do projeto, compreendendo a concepção original e eventuais modificações realizadas, é de fundamental importância para se obter um diagnóstico preciso sobre o comportamento da obra e subsidiar as decisões a serem tomadas com base nas conclusões do relatório de vistoria. O projeto geralmente é composto por:

- planta de locação;
- plantas de forma e armação das fundações;
- plantas de forma e armação da mesoestrutura;
- plantas de forma e armação da superestrutura;
- detalhes especiais, quando necessário;
- detalhes de escoramentos especiais, quando for o caso;
- memória de cálculo contendo as hipóteses de cálculo formuladas e o dimensionamento de toda a estrutura;
- relatório de sondagens utilizado para a definição das fundações adotadas;
- levantamento topográfico plani-altimétrico do local da obra;
- estudos hidrológicos utilizados para definir seção de vazão e o vão da obra.

Todos os elementos utilizados para a elaboração do projeto representam importante fonte de consulta e contribuem para que a vistoria alcance melhor nível de eficiência.

Todas as possíveis falhas detectadas no projeto devem ser assinaladas, de modo que o especialista responsável pela análise tenha condições de concluir se elas têm ou não influência nos problemas existentes na obra.

A seguir algumas das incorreções mais verificadas nos projetos de pontes de concreto armado e protendido:

- seção de vazão insuficiente;
- adoção de fundações inadequadas e/ou vulneráveis à erosão;
- contenção inadequada para os aterros de acesso;
- inexistência de placas de transição;
- comprimento total da obra insuficiente;
- locação da obra inadequada;
- condições de apoio da superestrutura inadequadas ou insuficientes;

- distribuição inadequada dos comprimentos dos tramos;
- disposição inadequada de armaduras (passivas ou ativas), o que dificulta o lançamento do concreto e uma eficiente vibração;
- traçados inadequados de cabos de protensão;
- peças com seções transversais incompatíveis;
- esconsidade e curvatura da obra não consideradas no projeto estrutural;
- insuficiência na largura da plataforma (faixas de rolamento e passeios);
- drenagem inadequada (ausência ou insuficiência de drenos, falta de declividade no pavimento e a não previsão de pingadeiras);
- proteção insuficiente ao tráfego e pedestres (guarda-rodas, guarda-corpos, etc.);
- utilização de taxa de trabalho insuficiente (ou exagerada) para os materiais empregados;
- falta de uma estética apropriada, o que provoca impactos negativos à paisagem rural ou urbana onde a ponte ou viaduto foi edificada.

5.3.3 Relatório final

O relatório final representa a última etapa da vistoria, devendo, portanto, para atender à sua finalidade, ser objetivo e apresentado em linguagem técnica adequada, com disposição racional de textos e ilustrações. Devem ser evitados parágrafos longos que possam parecer inconclusivos e de difícil interpretação.

Devem ser feitas apenas as considerações que não suscitem qualquer dúvida de natureza técnica e que estejam respaldadas por observações e conceituações evidentes, além de amparadas pela literatura existente sobre o tema. Afinal, este documento passará a representar o diagnóstico sobre o comportamento atual da obra e será o principal indicador para definir os tipos de futuras intervenções que deverá receber, seja de recuperação, de reforço, de alargamento, ou até de demolição. O texto também servirá de referência para os casos de demanda judicial envolvendo a obra vistoriada.

A NBR-9452/86 recomenda os seguintes itens para o relatório final de vistoria:

- a) índice;
- b) introdução;
- c) relatórios preliminares, fichas cadastrais e rotineiras;
- d) registros das observações de campo;
- e) relatório técnico complementar (análise, estudos estruturais, hidrológicos ou geotécnicos, instrumentações, provas de carga, etc.);
- f) parecer final;
- g) recomendações;
- h) bibliografia.

5.4 Qualificação e habilitação profissional necessárias

A eficácia de uma inspeção depende, em grande parte, da qualificação e experiência profissional do engenheiro vistoriador.

Alguns países, como é o caso dos Estados Unidos e França, definem um perfil que deve ser atendido pelo profissional responsável por tais atividades. A AASHT – *American Association of State Highway and Transportation Officials* - destaca em seu manual de manutenção de pontes que os serviços de inspeção, informação e inventário devem ser feitos por quem tem formação de engenheiro, registrado na respectiva entidade profissional, tenha experiência em serviços de inspeção e tenha realizado um curso completo de preparação baseado no Manual de Formação de Inspectores de Pontes. Essa pessoa será responsável pela exatidão das inspeções de campo, pela análise de tudo o que for decorrente das mesmas, pelas recomendações para corrigir os defeitos encontrados e poderá, também, impor limitações de tráfego, seja de carga ou velocidade, quando necessário. Na França e nos Estados Unidos, os cursos para formação de inspetores de pontes têm duração entre 2 e 4 semanas.

Não temos conhecimento de que no Brasil exista algum curso para formação de profissionais em vistorias de pontes. Tal atividade está prevista de forma genérica no artigo 1º da Resolução nº 218 de 29-06-1973 do CONFEA (atividade 06 – Vistoria, perícia, avaliação, arbitramento, laudo e parecer técnico) devendo ser exercida por engenheiro civil (art 7º). O Decreto Federal nº 23.569 de 11-12-1932 também prevê em seu artigo 28 esta atividade como sendo de competência do engenheiro civil.

Normalmente, as inspeções das obras de arte especiais são realizadas de acordo com as necessidades decorrentes dos problemas que vão aparecendo ao longo do tempo nas estruturas das pontes e viadutos das vias federais, estaduais e municipais, e são feitas geralmente pelos engenheiros dos órgãos responsáveis pelos respectivos trechos rodoviários ou das empresas de consultoria. Porém, não existe uma uniformização dos procedimentos a serem adotados nessas vistorias, nem tampouco um treinamento visando uma melhor capacitação dos profissionais que têm a responsabilidade de vistoriar, avaliar e informar sobre as condições estruturais e funcionais das pontes no Brasil.

5.5 Equipamentos utilizados em uma vistoria

Uma rigorosa observação visual da obra feita por profissional bem preparado e experiente continua sendo, sem dúvida alguma, o meio mais eficaz de apontar as deficiências na estrutura de uma ponte.

Muitas vezes, porém, torna-se necessário a utilização de equipamentos para melhorar a capacidade de análise e diagnóstico dos problemas detectados em uma vistoria.

De modo geral, recomenda-se o emprego dos seguintes instrumentos:

- máquina fotográfica de boa qualidade, de preferência digital;
- lupa óptica com capacidade de ampliação de 25 a 50 vezes;
- fissurômetro mecânico para medição das aberturas de fissuras;
- talhadeira, ponteiro, martelo, etc. para fazer prospecções no concreto quando necessário;
- esclerômetro para avaliação da resistência superficial à compressão do concreto;
- paquímetro para medição do cobrimento existente das armaduras.

Mesmo considerando-se que nas pontes a estrutura está bastante visível, em muitos casos torna-se difícil uma observação detalhada de todas as peças a serem vistoriadas devido a peculiaridades de cada obra como a altura dos pilares, o tipo de superestrutura (tabuleiros celulares, por exemplo) cursos d'água navegáveis ou não, condições locais de tráfego etc. Torna-se então necessário o uso de equipamentos auxiliares que permitam ou facilitem o acesso dos profissionais responsáveis pela inspeção.

Os equipamentos mais utilizados são:

- andaimes tubulares;
- escadas (telescópicas, de marinho, etc.);
- caminhões (tipo plataforma, com dispositivos hidráulicos, etc.);
- guindastes;
- flutuantes ou barcos.

5.6 Ensaios

Após a análise visual e/ou instrumental da ponte vistoriada, torna-se necessário em algumas ocasiões a realização de ensaios destinados a fornecer valores relacionados às condições de resistência e ruptura das peças de concreto e aço, bem como de caracterização do solo de fundação.

A decisão de realização ou não de ensaios fica a cargo do especialista responsável pelo diagnóstico da obra, sendo de modo geral os seguintes:

a) Não destrutivos

- esclerometria;
- carbonatação;
- controle de fissura com selos de gesso ou vidro;
- ultra-sonografia;
- gamagrafia;

b) Destrutivos

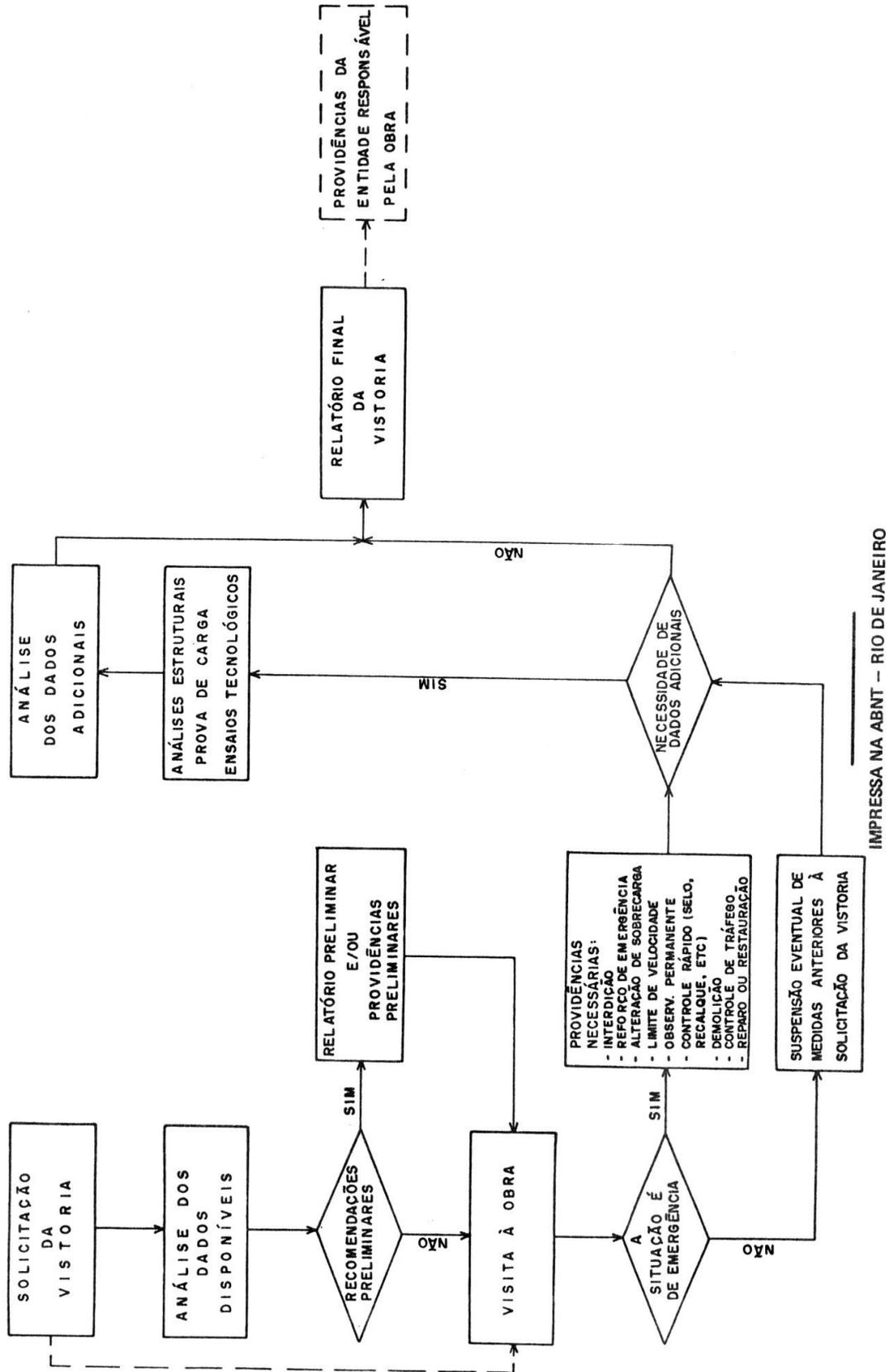
- resistência à compressão axial em testemunhos de concreto retirados da estrutura;
- resistência à tração por compressão diametral em testemunhos de concreto retirados da estrutura;
- módulo de deformação do concreto;
- reconstituição do traço de concreto;

- massa específica, permeabilidade e absorção d'água;
 - teor de cloretos;
 - determinação do escoamento a tração em amostra de armaduras retirada da estrutura;
 - determinação do potencial de corrosão de amostras de armadura retiradas da estrutura.
- c) No solo de fundação
- sondagens;
 - ensaios de caracterização da capacidade de suporte.
- d) No curso d'água
- caracterização do nível de agressividade da água do rio, do mar, pluvial ou do lençol freático.
- e) Ensaios estruturais

São aqueles que, através de simulações ou solicitações de cargas móveis previamente conhecidas, fornecem o comportamento elástico da estrutura. Tais ensaios são importantes como subsídios para a decisão sobre a necessidade de reforçar ou não a ponte.

Outros ensaios estruturais são os dinâmicos e a análise modal, os quais servem para a determinação de parâmetros estruturais como: rigidez, frequências naturais, vibração, amortecimentos, condições de vinculação etc., permitindo a avaliação das características estruturais em serviço e suas modificações ao longo do tempo.

NBR 9452/1986



IMPRESSA NA ABNT – RIO DE JANEIRO

CAPITULO 6 - GESTÃO DE PONTES**6.1 Conceituação**

Existe 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 esse tipo de obra, sempre associada à robustez e solidez, enfim, uma estrutura quase eterna.

A realidade mostra, porém, que uma ponte, como qualquer outra edificação, começa a deteriorar-se no mesmo instante em que é posta em funcionamento, iniciando um ciclo de vida cuja duração dependerá de diversos fatores relacionados com as condições de uso e conservação ao longo do tempo, de modo a garantir-lhe segurança, funcionalidade e durabilidade com o menor custo possível.

A publicação de trabalhos e a realização de estudos e eventos técnicos internacionais na última década apontam para uma necessidade comum: a implantação de adequados sistemas de gestão de pontes, especialmente nos países que ainda não adotam um procedimento sistemático para essa questão.

Um sistema de gestão de pontes representa para as instituições responsáveis pela administração das redes viárias um precioso instrumento, por permitir decisões rápidas e eficazes baseadas em parâmetros técnicos e científicos voltados à otimização dos custos de manutenção desses importantes patrimônios públicos.

A preocupação com este tema, algo relativamente novo em todo o mundo, iniciou-se nos anos setenta na Europa e nos Estados Unidos, merecendo, a partir de então, crescente atenção da comunidade técnica internacional através de ações concretas visando o estabelecimento de padrões aceitáveis para o gerenciamento das pontes existentes.

Os maiores beneficiários desse tipo de procedimento serão os usuários em particular e a sociedade em geral, ao considerar-se que tais obras foram, e ainda são em sua grande maioria, construídas com recursos públicos, implicando sua falta de conservação (além de transtornos, prejuízos e riscos para quem nelas necessita transitar) também em desperdício de verbas aplicadas em obras corretivas, obras essas que muitas vezes talvez nem precisassem ser realizadas caso existisse um programa de manutenção preventiva adequado.

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

Nesse sentido, a constante interação ente as atividades seguintes garantirão a eficácia do sistema:

- a) desenvolvimento de um arquivo de dados;
- b) atualização permanente das informações cadastrais;
- c) utilização dos dados obtidos para identificar os tipos de intervenção por obra, quando serão feitas e com estimativas de custos.

O estágio de avanço tecnológico atual permite imensas possibilidades de se adotarem sistemas de gestão totalmente informatizados e de fácil manuseio no que se refere à introdução de dados e acesso às informações armazenadas.

A fig.6.1 apresenta o diagrama de um sistema típico de gestão de pontes rodoviárias:

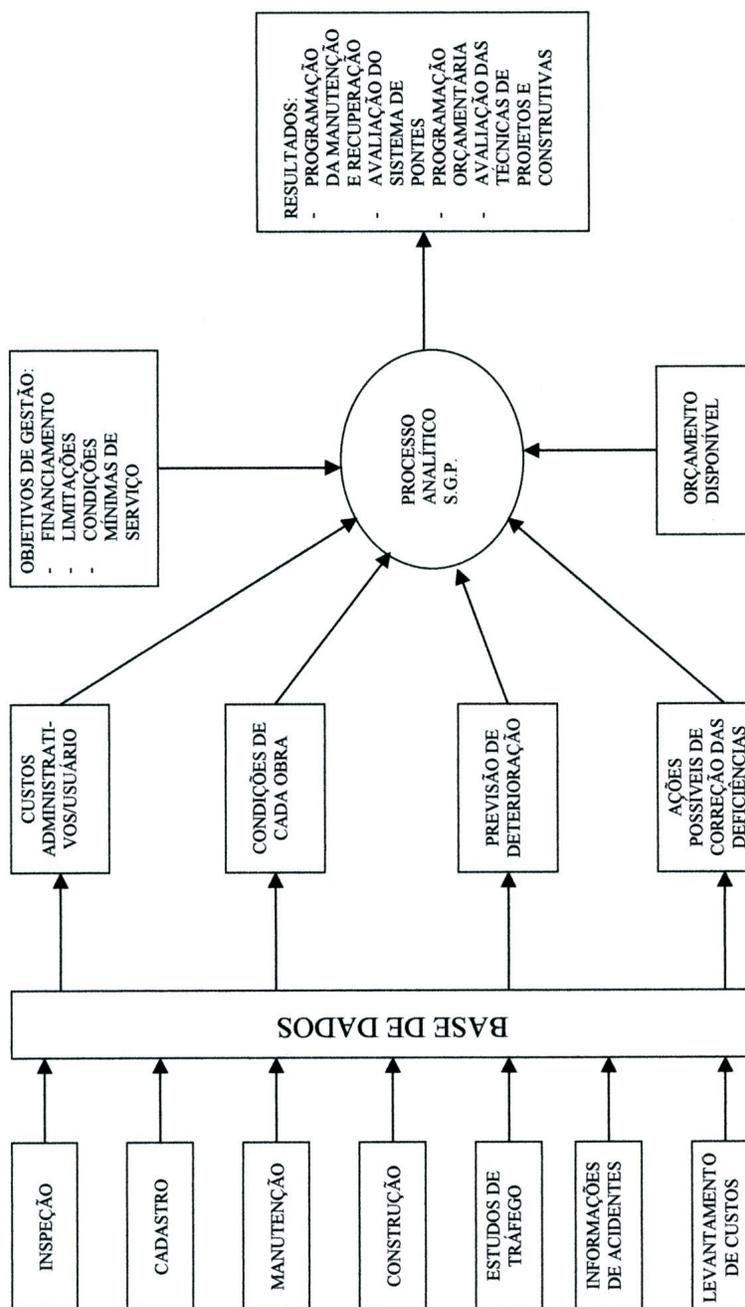


Figura 6.1 – diagrama de um sistema típico de gestão de pontes rodoviárias. (Fonte: Luis M^a Ortega)

Considerando que a gestão das pontes pertencentes a uma determinada malha rodoviária deve compreender todas as atividades relacionadas com essas obras, desde a construção até o momento em que não sejam mais utilizadas, o sistema a ser adotado deve ter versatilidade suficiente para que possa passar pelas adequações e atualizações às necessidades próprias que vão surgindo ao longo do tempo.

Do ponto de vista conceitual, algumas idéias básicas devem ser comum para um sistema de gestão:

- base de dados mais completa possível, facilmente acessível e permanentemente atualizada;
- qualificação, através de treinamento, do pessoal técnico e administrativo que irá operar o sistema;
- O planejamento das inspeções que irão abastecer o banco de dados com todas as informações cadastrais deverá prever equipes de engenharia nas diversas especializações como estruturas, transportes, hidrologia, fundações, sinalização, etc., de modo a se definir um perfil para cada obra, classificando-as a partir de parâmetros relacionados a segurança estrutural, comportamento hidrológico, adequação da obra, traçado da rodovia, enfim todas as condições que permitam uma avaliação da situação atual das pontes do sistema,

subsidiando assim todo um planejamento de curto, médio e longo prazos para as intervenções a serem realizadas;

- informações sobre itinerários alternativos para carregamentos especiais que excedam aqueles para os quais as obras foram projetadas;
- a gestão das pontes deverá fazer parte de uma política de gestão da malha viária como um todo.

6.2 A gestão de pontes no Brasil

As rodovias federais, estaduais e municipais que compõem a malha rodoviária brasileira não contam com sistemas de gestão para as suas pontes e viadutos. Na realidade, não contam (com raras exceções) sequer com procedimentos sistemáticos para inspeção e manutenção. Isso tem gerado um quadro preocupante a partir da constatação da ocorrência de processo de deterioração dessas pontes, que vem evoluindo ao longo dos anos, chegando a verificar-se, em alguns casos, uma situação próxima da ruína estrutural.

Tal situação é agravada nas obras mais antigas, muitas delas com mais de quarenta anos de construídas, que foram projetadas para suportar carregamentos móveis cujos valores estão totalmente superados pelos transmitidos pelos veículos atuais.

Além dos problemas de natureza estrutural, muitas pontes apresentam, também, gabarito inadequado às condições atuais de tráfego, transformando-se em pontos críticos, responsáveis por estrangulamento do fluxo e pela ocorrência de acidentes.

Algumas iniciativas vêm sendo tomadas nos últimos anos no sentido de adotar procedimentos para a conservação das obras de arte especiais nos âmbitos federal, estadual e municipal; porém tratam-se de ações isoladas que pouco representam diante da magnitude e da importância dessa questão.

Um exemplo foi o trabalho desenvolvido na cidade de Porto Alegre na forma de convênio entre a Prefeitura local e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul através do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais. Esse trabalho, apresentado na XXV Jornada Sul-Americana de Engenharia Estrutural em novembro de 1991, sob o título “Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte”, estabeleceu um método para a execução de vistorias sistemáticas nas pontes, viadutos e túneis da malha viária urbana de Porto Alegre, objetivando averiguar o estado de conservação, classificando as obras em função da gravidade de seus problemas e definindo um grau de risco.

Na ocasião foram vistoriadas diversas obras de arte, cujos dados obtidos dessas inspeções foram processados em programa de computador desenvolvido para essa finalidade, obtendo-se a classificação das estruturas em escalas de baixo, médio, alto grau de risco e estado crítico. A partir dessa classificação foi desenvolvida a segunda etapa do trabalho, que correspondeu a uma análise mais aprofundada das obras com problemas sérios, objetivando a elaboração dos projetos de intervenção.

Mesmo sem se tratar de um programa de gestão de obras de arte especiais, esse trabalho foi uma importante iniciativa, tanto pela qualidade técnica incorporada à sua concepção, desenvolvimento e aplicação, quanto pela iniciativa de pô-lo em prática.

Como dito anteriormente, não temos conhecimento, no Brasil, de procedimentos sistemáticos visando a avaliação das pontes e viadutos, sejam das vias urbanas ou rurais.

A falta de uma cultura de manutenção, em especial a preventiva, fez com que o setor público responsável pelas obras viárias do país nos três níveis de poder tenha se preocupado ao longo do tempo apenas em construir tais obras, sem definir políticas e estratégias para a conservação das mesmas que, com o passar do tempo, começam a envelhecer e apresentar as manifestações patológicas decorrentes desse processo de envelhecimento. Esse descuido traz, além dos riscos de segurança e funcionalidade, um ônus ao erário público que muitas vezes poderia ser evitado ou, pelo menos, diminuído.

O DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, órgão responsável pelas rodovias federais do país, está implantando desde 1994 o Sistema de Gerenciamento de Obras de Arte Especiais – SGO. O sistema não se encontra ainda totalmente implantado, mas quando estiver operando na forma definitiva se constituirá em um instrumento de fundamental importância para a implementação de uma política de preservação desse valioso patrimônio público representado pelas pontes e viadutos da malha rodoviária federal.

A concepção do SGO segue o modelo típico de gestão apresentado na fig. 6.1, de eficácia comprovada em outros países, adotando os conceitos que são considerados determinantes para um sistema de gestão de pontes, que são:

criação de um cadastro eficiente, avaliação sistemática das condições das obras, identificação das necessidades de recuperação e melhorias e o apoio no planejamento das intervenções nas obras.

A implantação do SGO será de muita utilidade para os engenheiros rodoviários em geral, sejam do DNER ou das empresas de consultoria que atuam no setor, pois poderão contar com parâmetros adequados definidos no manual do sistema, que permitirão uma avaliação mais objetiva das condições de uma ponte mesmo que os engenheiros não sejam especialistas em estruturas.

O sistema prevê dois tipos de inspeção, denominadas de rotineira extensiva e rotineira simplificada, que avaliam as condições estruturais e obtêm as informações que irão prover o banco de dados. Tais inspeções são realizadas com o uso de fichas cujos campos contêm as informações de cadastro e de condições da obra, com as anomalias que poderão ser detectadas na vistoria.

A gravidade dos problemas é avaliada através de uma nota técnica, atribuída à obra pelo encarregado da inspeção. Tal nota, que varia de 1 (um) a 9 (nove), tem a finalidade de refletir o grau de urgência requerido para o reparo daqueles componentes que se apresentam mais problemáticos. A nota será tão menor quanto mais grave for o problema.

O SGO possui ainda um módulo de custos na inspeção rotineira extensiva que calcula e fornece de modo automático o orçamento estimativo necessário para as obras de recuperação.

Também as rodovias das malhas rodoviárias estaduais, a cargo dos Departamentos de Estradas de Rodagem DERs, e as vias municipais, sob a responsabilidade das prefeituras, não contam com um sistema de gerenciamento de suas obras de arte especiais. Temos conhecimento da realização de vistorias e intervenções localizadas, quando determinada obra apresenta situação de colapso iminente, ou então de serviços de alargamento do tabuleiro, visando a adequação das pontes de determinados trechos de rodovias que estão sendo ampliadas ou restauradas.

A adoção de procedimentos sistemáticos para o gerenciamento de pontes e viadutos das malhas rodoviárias estaduais tem acontecido apenas nos trechos sob concessão, como é o caso do Estado de São Paulo que conta com uma Comissão de Concessões Rodoviárias. Essa comissão elaborou um manual intitulado “Controle das Condições Estruturais, Funcionais e de Durabilidade das Obras de Arte Especiais”, cujo conteúdo define as condições de gerenciamento para as obras das rodovias sob concessão.

O Sistema, cujo fluxograma está indicado na fig.6.2, prevê o controle das OAE's existentes e das OAE's novas, definindo, para o primeiro caso, todos os procedimentos que vão desde o cadastramento inicial até a conservação de rotina. No caso das obras novas, o Sistema contempla o planejamento e controle desde a fase de construção até a conservação de rotina.

O gerenciamento das informações é realizado através de *software* específico que contém arquivo eletrônico ou banco de dados, recursos de localização das obras e recursos de desenvolvimento gráfico.

intervenção, geralmente preventiva, de modo a não permitir que a evolução dos problemas venha a comprometer a integridade da obra.

A vigilância de pontes e túneis é feita normalmente por especialistas, com o auxílio de instrumentos e equipamentos apropriados.

Na terceira fase é feita a elaboração do projeto específico de intervenção, sempre priorizando os aspectos preventivos, ou seja, as ações devem ser realizadas enquanto a obra ainda não se encontra em avançado estado de degradação ou em condições de risco.

A quarta fase corresponde às intervenções realizadas para a recuperação das obras com o emprego de técnicas construtivas que, além de sanar os problemas existentes, garantem maior durabilidade e em consequência um maior prazo até a intervenção seguinte.

O modelo de gestão na Itália, ao priorizar os aspectos preventivos, com ênfase para a vigilância, consegue otimizar as ações de manutenção, minimizando os custos das intervenções e garantindo alta eficiência para a infraestrutura viária do país.

Estados Unidos

O relatório bi-anual da FHWA – “*Federal Highway Administration, Washington, DC.*”, apresentado ao Congresso em 1991, informava que os Estados Unidos gastavam aproximadamente 17,5% do seu PIB com transportes, a maior parte por meio rodoviário. Constava ainda do mesmo relatório que aproximadamente 40% das pontes rodoviárias estavam deficientes.

Diante de tal desafio, a busca por melhores métodos para equacionar tais problemas levou ao empenho no aperfeiçoamento dos sistemas de gestão de pontes, cujos conceitos começaram a surgir em 1983 a partir de trabalhos desenvolvidos nos estados da Carolina do Norte, de Wisconsin e da Pensilvânia. Até então eram utilizados métodos classificatórios convencionais baseados em critérios técnicos. Visando promover no país o interesse pelo tema, a FHWA lançou um projeto piloto em meados dos anos 80 com conceitos fundamentais, de modo a incentivar os estados a criarem seus próprios sistemas. O projeto estabelecia, entre outras coisas, uma base analítica que incorporava a avaliação dos custos para o usuário da estrada (acidentes, tempo do trajeto, custos com os veículos, etc.), em um sistema que atribuía prioridades de classificação para as pontes, com a otimização de aplicação de recursos.

A FHWA também criou um modelo de simulação que define e qualifica as necessidades de substituição, reabilitação e alargamento de pontes a longo prazo em escala nacional, fundamentado nas condições mínimas toleráveis e empregando regra matricial decisória para selecionar as melhorias. A Carolina do Norte também implantou um modelo de simulação de longo prazo que determina a opção ótima e o momento apropriado para realizar a manutenção, reabilitação e substituição de pontes com base em custos minimizados para o usuário e na vida útil da obra.

Em meados de 1992 foi implantado na Califórnia o sistema de gestão denominado PONTIS, patrocinado pela FHWA, que incorporou modelos dinâmicos e probabilísticos e uma ampla base de dados com condições de prever todas as necessidades de manutenção e melhorias, além de subsidiar os programas e projetos para uma política mais ampla voltada para o setor rodoviário.

O sistema PONTIS inclui vários sub-modelos inter-relacionados que correspondem às diferentes partes de análise de programação de manutenção e dos recursos necessários. Todos eles extraem os dados de uma base central e enviam os resultados a essa mesma base, de modo que toda a comunicação entre os sub-modelos se faz através da base de dados.

Os quatro componentes principais do sistema são:

- base de dados composta de todos os dados do inventário e estado das pontes, modelos de custos, viabilidade das ações de intervenção, registros de tráfegos e acidentes;
- modelo de otimização de manutenção, contendo as previsões de custos para definir as estratégias de intervenção com custos mínimos para um total de 160 componentes distintos das pontes, incluindo a recuperação ou até reposição por outras pontes do mesmo tipo;
- modelo de melhorias que identifica e determina uma ordem de prioridades para as possíveis ações de melhorias. Tais decisões se fundamentam em critérios técnicos e econômicos;
- modelo de integração que combina os resultados das inspeções dos elementos das pontes e os projetos de recuperação em um programa único de recomendações para cada ponte, baseado nas recomendações dos especialistas e nos ajustes que se façam necessários com base nas informações da base de dados.

Os sistemas de gestão de pontes adotados nos Estados Unidos têm sido considerados pela FHWA como instrumentos vitais para otimizar as ações de manutenção dessas obras com racionalização dos recursos disponíveis.

Portugal

As obras de arte especiais têm merecido especial atenção em Portugal nos últimos anos. Um dos motivos é a participação daquele país na Comunidade Européia, fato que tem gerado uma série de atividades econômicas que implicam na necessidade da melhoria da infraestrutura de transportes, em particular da sua malha rodoviária.

Isso pode ser constatado pela construção de um número significativo de pontes e viadutos de grande porte, além da restauração e ampliação de muitas obras antigas que estão sendo atualizadas para as novas demandas de tráfego.

Nesse sentido, as comunidades técnica e acadêmica, bem como as autoridades governamentais, têm desenvolvido uma série de ações relacionadas com a gestão de pontes. Um exemplo disso foi o Encontro Nacional Sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas – REPAR –, realizado em Lisboa em junho de 2000, que teve sete trabalhos apresentados sobre os temas inspeção, restauração, manutenção e gestão de pontes e viadutos.

Tais trabalhos mostraram um panorama de como essa questão vem sendo tratada em Portugal, onde o antigo e o novo convivem harmonicamente, como é o caso das pontes D. Maria Pia e D. Luiz I sobre o rio D'Ouro na cidade do Porto, obras históricas e totalmente inseridas na paisagem local (e em pleno uso); e a ponte Vasco da Gama sobre o rio Tejo em Lisboa, inaugurada em 1998 e uma das mais modernas do mundo.

Existem no país alguns modelos desenvolvidos por empresas de consultorias e pesquisadores que definem estratégias para inspeção, manutenção e gestão de pontes. Um deles, denominado Sistema GOA, está atualmente implantado na Prefeitura de Lisboa, em uma concessionária de auto-estradas e na Rede Ferroviária Nacional.

O Sistema GOA tem muitos pontos em comum com os modelos de gestão utilizados em outros países, inclusive com o SGO, atualmente em fase de implantação pelo DNER. É constituído por módulos que permitem a instalação de um sistema básico, passível de ampliação por módulos adicionais no futuro.

O Sistema prevê as seguintes atividades:

- inventários;
- inspeção principal;
- classificação por prioridade e otimização;
- lista de preços (preços unitários referentes aos serviços de recuperação);
- estimativas de custos;
- manutenção.

Também em Portugal, na ponte Vasco da Gama, encontra-se implantado um dos sistemas de manutenção estrutural computadorizado mais avançados da atualidade, o SCANPRINT.

Esse sistema, utilizado pela empresa ARMOL-FREYSSINET, que será responsável pelos trabalhos de inspeção e manutenção da obra durante os próximos 30 anos, é uma poderosa ferramenta pela capacidade de permitir o conhecimento progressivo do comportamento da estrutura, subsidiando os projetistas e analistas em cada etapa do processo de inspeção e avaliação estrutural.

O sistema inclui diferentes bases de dados que classificam:

- relação de defeitos conhecidos de qualquer tipo de estrutura;
- lista das patologias associadas às estruturas;
- dados do projeto (desenhos, fichas de manutenção, arquivos, orçamentos);
- fichas de inspeção do projeto (defeitos encontrados, fichas de manutenção, etc.).

Para todos esses dados, o sistema propõe ferramentas específicas para a preparação, armazenamento, criação automática de relatórios e análise de dados.

O SCANPRINT também propõe ações para os planos de inspeção, cria os dados e define o programa de manutenção. Como o sistema é baseado no *software* de *AutoCAD*, permite que os defeitos sejam gravados através de desenho pelos inspetores no próprio local da inspeção. Os registros de manutenção também são automaticamente gravados no local.

Os relatórios são gerados automaticamente através de um resumo, uma lista de defeitos e parâmetros, desenhos e fotos com anotações.

O sistema dispõe também de um módulo de análise que aceita qualquer questão e cria planos, curvas de evolução dos problemas e histogramas para ajudar o projetista a formular a solução da maneira mais correta e rápida possível.

As atividades de inspeção são realizadas por profissionais, denominados inspetores, equipados com computadores manuais resistentes a todas as condições atmosféricas. Os computadores contêm todas as informações relativas aos elementos a serem vistoriados e estão habilitados a emitir os resultados das observações efetuadas. Todas as manhãs o computador é carregado com o programa de inspeção diária e, ao final do dia, a informação é transmitida para um computador central que a analisa, permitindo assim a apresentação automática dos resultados através de relatório e análise.

6.4 Conclusões

De modo geral, a gestão de pontes e viadutos vem despertando nas últimas décadas, pela importância que essas obras têm para a infraestrutura dos países, a atenção das autoridades responsáveis pela administração das estradas de rodagem das diversas nações em todos os continentes.

Durante os últimos 40 anos os veículos aumentaram consideravelmente as suas capacidades de transporte de cargas cada vez mais pesadas, mas as estradas e pontes não acompanharam essa evolução.

Hoje constata-se que percentual considerável das pontes e viadutos precisam passar por análise rigorosa, visando definir a que tipo de manutenção deverão ser submetidas para se adequarem às condições atuais de tráfego, isso sem contar com as condições adversas de uso e muitas vezes a agressividade do meio ambiente.

Do ponto de vista dos administradores públicos e das concessionárias isso significa a aplicação de recursos para impedir a destruição desse significativo patrimônio, cujo valor é incalculável se visto pela sua importância na infraestrutura sócio-econômica do país.

É nesse cenário que os sistemas de gestão de pontes vêm sendo implantados ao longo do mundo. Mesmo que as suas arquiteturas básicas guardem semelhanças entre si, eles se diferenciam pelos graus de sofisticação dos *softwares* em que estão baseados e, sobretudo, pela forma como as ações básicas necessárias para torná-los eficientes são conduzidas pelos gestores.

Enfim, não é mais possível ignorar os problemas decorrentes do envelhecimento e da falta de conservação das obras de arte que compõem o sistema viário brasileiro. O exemplo de outros países mostra que, além de não serem ignorados, tais problemas não podem continuar sendo tratados de forma empírica ou pontual, mas através de ações sistemáticas que incorporem o avanço tecnológico atual e os conhecimentos técnico e científico disponíveis sobre o tema.

PARTE III

As pontes de Pernambuco

CAPITULO 7 - AS PONTES DAS RODOVIAS ESTADUAIS E AS PONTES DO RECIFE

7.1 AS PONTES DAS RODOVIAS ESTADUAIS

A referência mais antiga de que se tem conhecimento acerca de levantamento de dados sobre as pontes de Pernambuco, foi publicada da seguinte forma no Boletim nº 9 do Clube de Engenharia, editado em dezembro de 1932: “Pernambuco já construiu para as suas estradas 155 pontes em concreto armado, num total de 4.861,50m e 48 pontilhões em concreto armado num total de 193,80m”.

Até a criação do Departamento de Estradas de Rodagem – DER-PE, através do Decreto-Lei nº 1463 de 17 de setembro de 1946, as rodovias do Estado e suas respectivas obras de arte, eram construídas pela Diretoria de Viação e Obras públicas da Secretaria de Viação e Obras Públicas de Pernambuco – S.V.O.P.

Em 1946, o Boletim Volume XIV, nº 1 da S.V.O.P., publicou artigo do chefe da Seção Central de Estatística, João Alfredo Feire no qual faz o registro das obras de arte realizadas no período 1938 – 1944. Trata-se de levantamento detalhado e meticoloso composto dos seguintes elementos: despesa anual, acumulada e total de cada obra, construtor e fiscal responsáveis, seção de vazão, sobrecarga, autoria do projeto, curso d’água atravessado, volumes de escavação, de alvenaria e de concreto, o diretor da repartição e o interventor federal na época da construção.

O levantamento estatístico mostrou que naquele período a S.V.O.P. construiu 1098 obras de arte incluindo os respectivos custos (Fig. 7.1).

139 pontes	Cr\$ 14.545,97
115 pontilhões	Cr\$ 1.602.757,56
16 mata-burros	Cr\$ 65.261,18
36 bueiros duplos capeados	Cr\$ 351.180,79
3 bueiros duplos tubulares	Cr\$ 30.362,30
439 bueiros simples capeados	Cr\$ 1.417.823,83
46 bueiros simples de placa	Cr\$ 165.197,01
211 bueiros simples tubulares	Cr\$ 324.662,08
70 drenos	Cr\$ 96.399,39
19 muros de arrimo	Cr\$ 63.351,30
4 paçadiças	Cr\$ 241.323,40

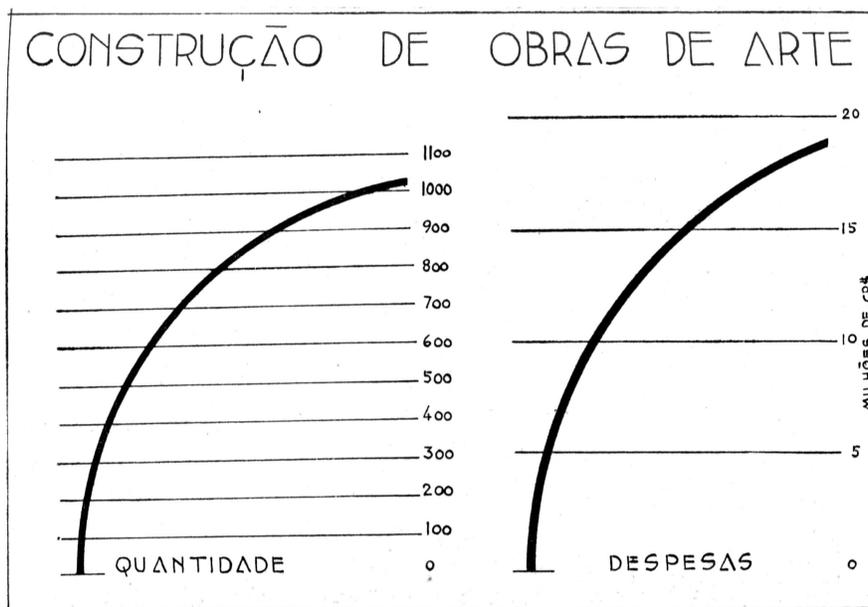


Figura 7.1 – Gráfico demonstrativo da construção e custos das obras de arte entre 1938 e 1944 (Fonte: Boletim S.V.O.P. Vol. XIV, nº 1, 1946, cópia do original)

Após a sua implantação, em 01-11-46, o DER-PE elaborou o seu primeiro plano rodoviário, estabelecendo assim as diretrizes para a execução das rodovias de Pernambuco.

Durante os primeiros nove anos de existência (1946 – 1955) o DER-PE construiu 168,69km de rodovias pavimentadas, com 116 obras de arte especiais que totalizavam 2.712m. Recebeu ainda delegação do DNER para projetar e construir obras como a ponte do Pina no Recife e a ponte de 220m sobre o rio Pajeú, na então rodovia PE-BR 26, nas imediações da cidade de Floresta.

Foi naquele período que teve início a “Batalha da Pavimentação”, movimento iniciado em 1951, cujo objetivo foi viabilizar verbas para custear os serviços de implantação de estradas. Isso foi conseguido através do empenho do governo, de setores da sociedade e do poder legislativo na promulgação de diversas leis, criando taxas e impostos destinados às obras rodoviárias.

Outra ação decorrente da “Batalha da Pavimentação” foi o estabelecimento de contato com grandes construtoras do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais para que elas viessem atuar em Pernambuco na construção das estradas.

Algumas das principais pontes de Pernambuco

Ao longo de sua história, o DER-PE, mesmo com as dificuldades inerentes ao serviço público, sempre contou com profissionais do mais alto nível em seu quadro técnico.

Todos os projetos eram elaborados e desenvolvidos pela própria equipe do órgão, que era composta por especialistas nos diversos campos da engenharia rodoviária.

Para o projeto das obras de arte especiais o DER contava com diversos engenheiros calculistas de estruturas, desenhistas especializados, equipes de sondagens, laboratoristas, etc., que, através de um trabalho integrado, elaboravam projetos de excelente qualidade e muito contribuíram para o desenvolvimento da engenharia estrutural no nosso Estado.

A malha rodoviária estadual de Pernambuco conta atualmente com 546 pontes construídas pelo DER-PE e distribuídas nos oito Distritos Rodoviários conforme quadro a seguir:

DISTRITO / SEDE	QUANTIDADE DE PONTES
1º DRO – RECIFE	53
2º DRO – CARPINA	44
3º DRO – CARUARU	23
4º DRO – RIBEIRÃO	123
5º DRO – SERTÂNIA	163
6º DRO – SALGUEIRO	65
7º DRO – GARANHUNS	50
8º DRO – PETROLINA	25
TOTAL	546

Tais obras, as mais antigas projetadas pelos próprios engenheiros do DER, e as mais recentes por empresas de consultoria, vêm resistindo bravamente ao efeito do tempo, ao acréscimo de cargas, à ação predatória humana, às intempéries e à falta de conservação, tudo indicando que ainda continuarão a contribuir por muito tempo para o desenvolvimento do Estado.

Seria impossível e também fugiria à finalidade deste trabalho listar todas as pontes construídas em Pernambuco, porém algumas obras têm importância especial, seja pela época em que foram construídas, seja pelo vão, pelo sistema construtivo, enfim, por algum aspecto relevante que tenha caracterizado a sua realização.

A seguir, alguns exemplos em ordem cronológica dessas obras de arte, baseados nas poucas informações disponíveis sobre as pontes de Pernambuco, podendo haver evidentemente, omissões de obras importantes que deixam de ser citadas pela falta de registros disponíveis sobre elas.

Ponte Getúlio Vargas (Ponte de Itamaracá)

Inaugurada em 1939, a ponte Getúlio Vargas, construída para ligar a ilha de Itamaracá ao Continente, foi considerada à época uma obra imponente e motivo de orgulho para os engenheiros da Secretaria de Viação e Obras Públicas – S.V.O.P. e fez parte de um programa de pontes e estradas do Estado Novo, com a aplicação de recursos provenientes de saldos orçamentários.

Em 1995 a ponte situada na PE-35 passou por intervenções de reforço estrutural e alargamento do tabuleiro para adequar-se à grande demanda atual de tráfego.

A obra original apresentava as seguintes características técnicas:

- comprimento.....: 372,40m, dividido em 17 vãos intermediários de 20,00m e dois vãos extremos de 16,20;
- largura.....: 5,50m;
- superestrutura....: em concreto armado, constituída por laje apoiada em duas vigas principais com inércia variável;
- infraestrutura....: pilares fundados sobre estacas de concreto armado ou tubulões;
- encontros.....: em alvenaria de pedras sobre estacas de concreto armado;
- aterro de acesso: extensão de 727,00m com taludes protegidos por enrocamentos laterais de altura superior à maré máxima.

O projeto foi de autoria do engenheiro Miguel Bilro, chefe da Seção Técnica da Diretoria de Viação e Obras Públicas, e a execução da obra ficou a cargo do engenheiro Manuel Cisan de Moraes Rego, tendo a construção da ponte custado a quantia de 1.200 contos e a do aterro 500 contos.



Foto 7.1 – Ponte Getúlio Vargas após alargamento do tabuleiro.

Ponte Governador Agamenon Magalhães (Ponte do Pina)

Iniciada em 1949 e inaugurada em 1953, a ponte do Pina constituiu-se, à época, em uma das mais importantes obras de engenharia em Pernambuco.

Essa obra resolveu um dos principais problemas de tráfego da capital Pernambucana, tornando possível o deslocamento de grande parte da população para zonas ainda pouco habitadas no bairro de Boa Viagem.

O Edital da Concorrência para a apresentação de anteprojetos foi publicado em março de 1947, estabelecendo uma série de exigências que teriam que ser atendidas pelos concorrentes.

O julgamento dos trabalhos foi feito através de relatório baseado nas seguintes condições exigidas pelo edital:

- a) beleza arquitetônica;
- b) racionalidade estrutural;
- c) condições técnicas gerais tais como: seção de vão, perfil longitudinal, etc.;
- d) condições econômicas, tais como: custo da obra, prazo de construção, etc.

O projeto escolhido foi o do engenheiro Glebe Saharov, apresentando as seguintes características técnicas:

- comprimento total : 424,00m;
- largura total : 19,20m;
- plataforma: duas pistas de rolamento, com 7,00m de largura cada uma; dois passeios laterais e um central com 1,50 de largura cada um;
- tabuleiro: em concreto armado, apoiado por meio de vigas e transversinas a quatro filas de arcos biengastados, formando ao todo nove vãos simétricos em relação ao meio da ponte. cada arco está engastado em caixões de concreto armado, com 3,00m de comprimento por 2,00m de largura, exceto os caixões de apoio dos arcos do vão central que medem 4,00m x 4,00m.

Em 15 de outubro de 1949 foi solenemente lavrado o contrato de empreitada da obra entre o DER-PE, por delegação de encargos que lhe foram conferidos pelo DNER, e a Construtora Leão Ribeiro S.A., em ato realizado no Palácio do Campo das Princesas, presentes o Governador do Estado, Barbosa Lima Sobrinho, o Diretor Geral do DER, Engº Antônio Bezerra Baltar e um grande número de autoridades.

Em virtude de a construtora ter entrado em concordata, a obra esteve paralisada até 27 de dezembro de 1950, quando foi lavrado no DER o termo aditivo de transferência de contrato para a firma Edgard Roja Gabaglia (Escritório Técnico Roja Gabaglia Engenheiros Civis), que assumiu a obra, concluindo-a em 1953.

Os dados a seguir mostram o vulto da obra e o que ela representou na época para a engenharia de Pernambuco:

cravação de estacas pré-moldadas de concreto.....:	6.120,00m
aço estrutural.....:	603,00t
concreto estrutural.....:	5.700,00m ³
formas.....:	33.000,00m ²
consumo de cimento.....:	60.000,00 sacos
custo total.....:	cr\$ 31.000.000,00

Foto: Paulo Amâncio



Foto 7.2 – Ponte Governador Agamenon Magalhães (Ponte do Pina)

Em 1978 foi concluída a Ponte Paulo Guerra com 451,00m de comprimento, paralela à ponte do Pina, ligando a rua Saturnino de Brito à av. Herculano Bandeira.

Pontes na BR-101-Norte (antiga PE-BR-11)

As obras de arte especiais da antiga PE-BR-11, no trecho entre Igarassu e a divisa PE/PB, foram projetadas e construídas pelo DER-PE entre 1957 e 1959, merecendo destaque as seguintes pontes:

- ponte sobre o rio capibaribe mirim com 40,00m;
- ponte sobre o canal de goiana com 97,00m;
- ponte sobre o rio tracunhaém com 56,00m;
- ponte sobre o rio arataca com 54,00m.

Essas obras têm características semelhantes em suas superestruturas de concreto armado, como as vigas contínuas com inércia variável (variação parabólica) e as extremidades em balanço, merecendo destaque os balanços das vigas da ponte sobre o rio Capibaribe Mirim, que medem 9,00m, e os pêndulos nas mesoestruturas das pontes sobre o Canal de Goiana e rio Tracunhaém.



Foto 7.3 – Ponte sobre o Canal de Goiana.



Foto 7.4 – Ponte sobre o rio Tracunhaém

Ponte sobre o rio Brígida

Ponte em concreto armado construída pelo DER, em 1967, com 340,00m de extensão sobre o rio Brígida, na antiga PE-82, atual BR-428, no trecho Cabrobó – Santa Maria da Boa Vista. O comprimento da obra foi dividido em 12 vãos com 25,00m e um vão central com 40,00m.

A superestrutura é em tabuleiro do tipo caixão celular, com duas células e três vigas, sendo o vão central com inércia variável e os demais vãos com inércia constante.

A plataforma tem largura total de 10,00m, sendo 8,00m de faixa de rolamento e dois passeios laterais para pedestres com 1,00m cada.

A mesoestrutura é composta por dois encontros vazados nas extremidades e 12 pilares-parede com 0,60m de espessura e 6,20m de altura, sendo a transmissão de cargas da superestrutura feita através de aparelhos de apoio tipo Neoprene e articulações Freyssinet.

A infraestrutura é constituída por fundações diretas tipo sapatas isoladas assentes sobre rocha.

Foto do autor



Foto 7.5 – Ponte sobre o rio Brígida

Viadutos do Complexo de Salgadinho (PE-01)

Concluídos pelo DER no final da década de 70, essas obras são de fundamental importância para a ligação Recife – Olinda na rodovia PE-01.

O primeiro viaduto tem 215,00m de extensão com superestrutura em tabuleiro celular de concreto protendido, dividido em dois vãos extremos de 37,00m, dois vãos intermediários de 50,00m e um vão central com 50,00m. A plataforma tem largura total de 12,50m.

A mesoestrutura é em pilares-parede, com dois encontros em concreto armado nas extremidades. A infraestrutura é em fundação profunda do tipo estacas.

O segundo viaduto, também com superestrutura em tabuleiro celular em concreto protendido, tem dois vãos extremos de 37,50m, dois vãos intermediários de 50,00m e um vão central de 50,00m, além de estruturas de acesso dos dois lados em concreto armado com 41,00m cada, totalizando uma extensão de 307,00m.

A obra é complementada ainda por muros de arrimo de concreto armado, fazendo com que o seu comprimento total, incluindo os aterros, atinja 415,00m.

A plataforma mede 12,50m de largura e um dos destaques desse viaduto, que tem o nome de Luiz Delgado, é o desenho dos pilares, que garante beleza adicional à obra.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 7.6 – Viaduto Luiz Delgado do Complexo de Salgadinho.

Ponte-viaduto sobre o rio Capibaribe, a linha férrea e a BR-408

Concluída pelo DER em 1985, na cidade de São Lourenço da Mata, a obra tem superestrutura em estrado celular de concreto protendido, com 220,00m de comprimento, dividida em dois vãos extremos de 48,00m e dois vãos intermediários de 62,00m. A largura total do tabuleiro é de 13,00m, compreendendo pista de rolamento com 8,00m e dois passeios laterais para pedestres com 2,50m cada.

A mesoestrutura é formada por pilares de concreto armado e a infraestrutura é em fundações diretas do tipo sapatas isoladas assentes sobre rocha.

Também faz parte da obra uma ponte de acesso em concreto armado com 35,00m de comprimento.

Obras de arte da BR-232

Sob a responsabilidade do DER-PE, a duplicação da Rodovia BR-232 no trecho entre Recife e Caruaru, compreendendo aproximadamente 130,00km, demandou 61 obras de arte especiais (excluindo os bueiros celulares).

Trata-se da execução de pontes e viadutos na parte duplicada e do reforço e alargamento das obras no trecho a ser restaurado.

Essas obras de arte projetadas por empresas de consultoria e executadas por construtoras contratadas pelo DER, representam o que há de mais moderno em termos de concepção de projetos e de técnicas construtivas, merecendo destaque o túnel com 370,00m de extensão na Serra das Russas e o viaduto com 454,90m, também na Serra das Russas (Foto 7.7), cujas principais características estão descritas a seguir.

Viaduto da Serra das Russas

Obra com superestrutura em concreto protendido, executada pelo sistema de balanços sucessivos em aduelas. Sua extensão total é 454,90m, com dois vãos extremos de 62,45m e dois vãos intermediários de 110,00m. A largura total da plataforma é de 12,10m.

A mesoestrutura é constituída por pilares de concreto armado que chegam a atingir o comprimento de 46,50m, no caso dos pilares que limitam o vão central. A infraestrutura é em fundações diretas do tipo sapatas assentes sobre rocha.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 7.7 – Viaduto da Serra das Russas na BR-232.

7.2 AS PONTES DO RECIFE

O Recife é uma cidade cuja paisagem está intimamente ligada à presença da água. Além do mar, há oito rios e vinte e seis canais que a recortam. Possui numerosas pontes que, além de cumprirem a função de interligarem as vias e bairros, compõem, também, um importante acervo da engenharia, do urbanismo e da própria história da cidade.

A primeira ponte de que se tem referência no Recife foi construída sobre o rio Capibaribe pelo Conde Maurício de Nassau. Iniciada em 1640 e concluída em 1643, a ponte media trezentos passos de comprimento (mais de mil palmos), assentada parte em pedras e parte em esteios de madeira forte.

O povo compareceu em massa à festa de inauguração em 28 de fevereiro de 1643, pagando cada pessoa duas placas para atravessar a ponte, o que rendeu dois mil florins.

Denominada Ponte de Recife, a obra passou por uma série de reformas e reconstruções ao longo do tempo, sendo o primeiro serviço em 1683. Depois, foi reconstruída entre 1742 e 1743. Em 1865 houve nova reconstrução e finalmente outra em 1917, no governo Manoel Borba, passando a denominar-se ponte Maurício de Nassau.

Essa obra iniciou uma significativa mudança na vida da cidade, tornando-a mais movimentada e provocando, inclusive, a transferência de muitas famílias que vieram de outros locais para morar no Recife.

Em 1643, Maurício de Nassau mandou construir a que seria a segunda ponte do Recife, ligando a ilha de Antônio Vaz ao Bairro da Boa Vista que então surgia. Uma das extremidades da ponte ficava no pátio fronteiro do Palácio da Boa Vista, próximo de onde funcionou a Casa de Detenção e hoje funciona a Casa da Cultura. A outra extremidade da obra ficava na continuação de uma rua que seria a primeira a ser aberta no novo bairro: Rua da Ponte Velha. Essa ponte viria a ser reconstruída em 1921, quando tomou o nome oficial de Ponte Seis de Março, porém continuou sendo chamada até hoje de Ponte Velha.

Outras pontes foram sendo construídas sobre o rio Capibaribe, na parte central da cidade, formando o conjunto de obras de arte que é uma das principais características urbanísticas da capital de Pernambuco.

A seguir, as pontes mais importantes com algumas informações técnicas relevantes.

Ponte Maurício de Nassau

Primeira ponte do Recife, ligando a av. Marquês de Olinda com a rua 1º de março, teve a sua última reconstrução concluída em 18 de dezembro de 1917.

A superestrutura em concreto armado é constituída por quatro vigas contínuas, com comprimento total de 180,95m, e sete vãos, sendo os dois extremos de 13,55m e os cinco intermediários de 30,77m.

A plataforma tem faixa de rolamento de 11,00m e dois passeios laterais com 2,40m cada.



Foto: Paulo Amâncio

Foto 7.8 – Ponte Maurício de Nassau.

Ponte Seis de Março (Ponte Velha)

A obra que liga os bairros da Boa Vista e São José teve a última reconstrução da parte original em 1921.

Trata-se de uma ponte metálica com 140,00m de comprimento divididos em dez vãos iguais de 14,00m. A superestrutura é constituída por vigas metálicas de alma cheia, simplesmente apoiadas, em número de seis em cada vão.

A seção transversal do tabuleiro é definida por faixa de rolamento com 8,30m de largura e dois passeios laterais com 2,00m cada.

Os apoios da superestrutura são constituídos por linhas de seis pilares tubulares de ferro fundido, preenchidos com concreto e contraventados com perfis metálicos em diagonal.



Foto: Paulo Amâncio

Foto 7.9 – Ponte Seis de Março (Ponte Velha)

Ponte da Boa Vista

A primeira construção da Ponte da Boa Vista aconteceu em meados do século XVIII. Em 1815 passou por uma reconstrução, recebendo gradis de ferro e calçamento de pedra.

A atual ponte foi inaugurada em 2 de dezembro de 1876, sendo responsável pela ligação entre as ruas Nova e da Imperatriz. O autor do projeto foi o engenheiro Francisco Pereira Passos, e a construção ficou a cargo da empresa inglesa Watson & Smith.

A obra é toda em ferro batido e tem 145,35m de extensão (dois vãos com 48,40m e um vão com 48,55m). A faixa de rolamento mede 7,70m de largura e os dois passeios laterais medem 2,00m cada.

O viga principal é constituído por duas vigas treliçadas simplesmente apoiadas (invertidas).

As transversinas são vigas metálicas de alma cheia, prolongando-se em balanço para a sustentação dos passeios.

A infraestrutura é formada por encontros nas duas cabeceiras e duas linhas de apoio, dentro do rio, cada uma com dois pilares octogonais.

A ponte da Boa Vista sofreu ao longo do tempo os impactos das grandes cheias do rio Capibaribe, em especial a de 1966, que a deixou bastante danificada, e que provocou a sua interdição durante mais de um ano, sendo reaberta para o tráfego em 15 de novembro de 1967.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 7.10 – Ponte da Boa Vista.

Ponte Buarque de Macedo

Ligação entre os bairros do Recife e de Santo Antônio, a ponte Buarque de Macedo, concluída em 1923, é uma obra em concreto armado com 283,30m de extensão, sendo dois vãos com 20,65m e dez com 24,20m, com quatro vigas principais.

A plataforma tem faixa de rolamento com 11,30m de largura e dois passeios de pedestres com 1,50m cada.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 7.11 – Ponte Buarque de Macedo.

Ponte Duarte Coelho

Concluída em 1944, a ponte Duarte Coelho estabelece a ligação entre as avenidas Conde da Boa Vista e Guararapes. É uma obra em concreto armado, com tabuleiro em grelha com 13 vigas contínuas. A sua extensão total é de 115,60m, dividida em dois vãos extremos de 31,00m e um vão intermediário de 53,60m.

A largura do tabuleiro é constituída por uma faixa de rolamento com 15,90m e dois passeios de pedestres com 4,30m cada.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 7.12 – Ponte Duarte Coelho.

Ponte Princesa Isabel

Ligação entre a Praça da República e a Rua Princesa Isabel, a Ponte Princesa Isabel foi concluída em 1951.

Trata-se de obra em concreto armado, com tabuleiro em grelha com nove vigas contínuas. Sua extensão é de 139,50m, dividida em dois vãos extremos de 24,85m e três vãos intermediários de 29,95m.

A faixa de rolamento mede 14,90m de largura e os dois passeios laterais medem 3,00m de largura cada.

Foto: Paulo Amâncio

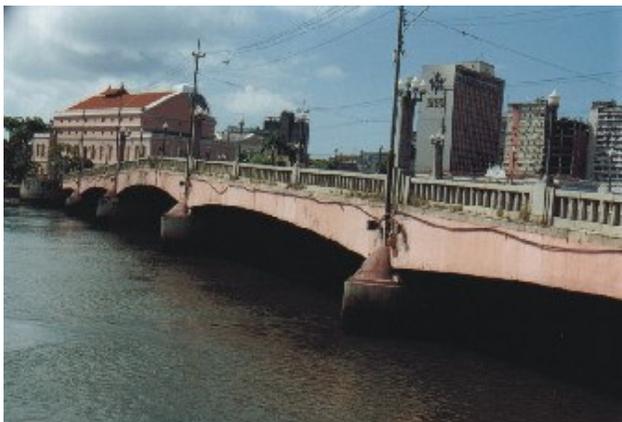


Foto 7.13 – Ponte Princesa Isabel.

Ponte do Limoeiro.

A primeira construção da ponte do Limoeiro data de 1881, e era destinada ao tráfego dos trens que saíam da antiga estação do Brum com destino à cidade de Limoeiro, no interior pernambucano.

Em 30 de julho de 1966 foi inaugurada a atual ponte em concreto armado, estabelecendo ligação entre o Bairro do Recife e a Avenida Norte.

A obra tem extensão total de 119,60m, com dois vãos extremos de 32,20m e um vão central de 55,20m. A plataforma tem faixa de rolamento com 16,00m e dois passeios laterais para pedestres com 3,50m cada.

Foto: Paulo Amâncio

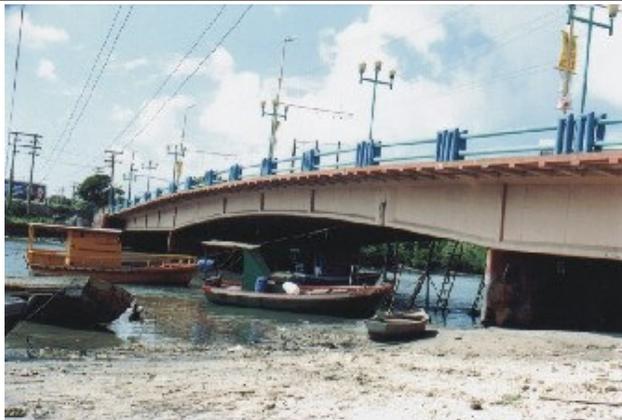


Foto 7.14 – Ponte do Limoeiro.

Ponte Doze de Setembro (Ponte Rodoferroviária)

Executada pelo DER-PE em 1968 no Cais de Santa Rita, através de convênio com a Administração do Porto do Recife, a Ponte Rodoferroviária tem 196m de extensão com dois vãos extremos de 35,75m e três vãos intermediários de 41,50m.

Sua superestrutura é em caixão celular de concreto protendido, com duas faixas de rolamento de 8,00m cada, um canteiro central de 1,00m e dois passeios laterais de pedestres com 3,00m cada.

Foto: Paulo Amâncio



Foto 7.15 – Ponte Doze de Setembro (Ponte Rodoferroviária)

Outras pontes também merecem destaque pela importância que tiveram na evolução urbana da cidade, como é o caso das pontes da Torre, ponte da Capunga e ponte de Caxangá, entre outras.

Entre as pontes suburbanas do Recife, a de Caxangá merece destaque especial por ter sido originada da primeira ponte pênsil construída na América do Sul, em 1841, no governo do Conde da Boa Vista.

A ponte original foi destruída por uma grande enchente do rio Capibaribe em 1869, sendo reconstruída em 1871 e novamente destruída pela cheia de 1966. Após nova reconstrução, a obra foi reaberta ao tráfego com 110,00m de comprimento e 27,30m de largura, passando a ter o nome oficial de Ponte Marechal Humberto Castelo Branco.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT. NBR-7187 – **Projeto e Execução de Pontes em Concreto Armado e Protendido** – 1987.
- ABNT. NBR-7188 – **Carga Móvel em Ponte Rodoviária e Passarela de Pedestres** – 1984.
- ABNT. NBR-9452 – **Vistorias de Pontes e Viadutos de Concreto** – 1986.
- ARCILA, M. Torres – **Puentes** – Atrium Internacional de México, S. A. de C. V., México, 2002.
- BAUER, L. A. Falcão – **Acidentes em obras de concreto e sua recuperação** – Colóquio Patologia do Concreto, IBRACON, São Paulo, 1978.
- BAUER, L. A. Falcão – **Materiais de Construção** – 5ª ed., vol. 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, 2001.
- BERNARDO, Glauco – **Pontes** – Grêmio Politécnico USP, São Paulo, 1980.
- BEZERRA, J.E.B. – **Estruturas de Concreto Armado – Patologia e recuperação** – CREA-CE, Fortaleza, 1998.
- CAMOMILLA, G. – **Críterios de gestion programada de puentes y túneles de carretera** – Simpósio Nacional sobre conservacion, rehabilitacion y gestion de puentes, Mdrid, 1991.
- CÁNOVAS, M. Fernandez – **Patologia e Terapia do Concreto Armado** – Editora Pini Ltda., São Paulo, 1988.
- CAPUTO, H. P. – **Mecânica dos Solos e suas aplicações** – 3ª ed, vol 2, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Rio de Janeiro, 1974.
- CARDOSO, J. L., REGO, M. J. B. – **Roteiro Para Vistoria de Obras de Arte** – Revista Estrutura nº 103, Rio de Janeiro, 1983.
- CASADO, C. Fernandez – **Puentes de Hormigon Armado Pretensado** – Vol. 1 e Vol. 2, Editorial Dossat S. A., Madrid, 1961.
- CHATELAINI, J., CHAWSSINI, R., COSTE, J. F., POINEAU, D. – **La Reparation de Puentes de Hormigon Pretensado, métodos, ejemplos** - Simpósio Nacional sobre conservacion, rehabilitacion y gestion de puentes, Madrid, 1991.
- CHEQUER, J. Chequer. - **S.G.O. – Sistema de Gerenciamento de Obras de artes especiais** – IPR – Jornada de Estradas e Pontes dos países de língua portuguesa, Lisboa, 2001.
- CLUBE DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO – **Boletim de Engenharia** – nº 9, Recife, 1932.
- COMISSÃO DE CONCESSÕES RODOVIÁRIAS – **Controle das condições estruturais e de durabilidade das obras de arte especiais** – São Paulo, 1999.
- DER-PE – **9 anos de realizações 1946 – 1955** - Recife, 1955.
- D.N.E.R. – **Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias** – Rio de Janeiro, 1980.
- ECHEVERRY, F. B., LÓPEZ, J. H. – **Investigacion de Puentes** – República da Colombia, 1990.
- EL DEBS, M.K. – **Concreto pré-moldado: Fundamentos e aplicações** – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Paulo, 2000.
- FERREIRA, S. Gonçalves – **A Tecnologia de Recuperação das Estruturas de Concreto Armado** – JATOCRET Engenharia Ltda., São Paulo, 1978.
- FUSCO, P. Brasiliense – **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto Armado** – Editora Pini Ltda., São Paulo, 1994.

- KLEIN, D. L. GASTAL, F.P.S.L., CAMPAGNOLO, J.L., SILVA FILHO. L.C.P. – **Critérios adotados na vistoria e avaliação de obras de arte** – XXV Jornada Sul-Americana de Engenharia Estrutural, Porto Alegre, 1991.
- LÉMON, P. M., ORTEGA, R. T. – **Guia para el Mantenimiento Rutinario de Puentes de Concreto Y Metálicas** – Segunda Version, República da Colombia, 1990.
- LEONHARDT, Fritz – **Construções de Concreto** – Vol.4 e vol.6, Editora Interciência Ltda., Rio de Janeiro, 1979.
- MARREY, Brenard – **Lês Ponts Modernes 20^o Siecle** – Picard Editeur, Paris, 1995.
- MASON, Jaime – **Pontes em Concreto Armado e Protendido** – Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Rio de Janeiro, 1977.
- MENDONÇA, T., VILLAR, M., BRITO, V. – **Sistema de Gestão de Obras de Arte** – Encontro Nacional Sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Lisboa, 2000.
- MOLITERNO, Antônio – **Caderno de Muros de Arrimo** – Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1980.
- NORONHA, A.Alves – **As Pontes em quadro, de aço e concreto** – Ed. Rodrigues & Cia, Rio de Janeiro, 1939.
- NORONHA, M. A. Azevedo – **Diagnóstico dos Males e Terapia das Estruturas** – Colóquio Patologia do Concreto, IBRACON, São Paulo, 1978.
- O’CONNOR, Daniel S. - **La gestion de puentes en Estados Unidos** – Simpósio Nacional sobre conservacion, rehabilitacion y gestion de puentes, Madrid, 1991.
- ORTEGA, L. M. – **Inspeccion e inventário de puentes** – Simpósio Nacional sobre conservacion, rehabilitacion y gestion de puentes, Madrid, 1991.
- PARAHYM, Orlando – **Algumas Pontes do Recife** – Separata da revista nº 8 do Departamento de Cultura da Secretaria de Estado de Educação e Cultura, Pernambuco, 1973.
- PFEIL, Walter – **Pontes em Concreto Armado** – Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Rio de Janeiro, 1979.
- PFEIL, Walter – **Pontes: Curso Básico** – Editora Campus Ltda, Rio de Janeiro, 1983.
- PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE – **Cadastro das obras d’arte da cidade do Recife** – 1ª edição, 1984.
- RODRIGUES, José – **Carbonatação. O inimigo esquecido do concreto** – Revista Recuperar nº 25, pág. 32-34, Rio de Janeiro, 1998.
- SANTOS, S. BRITO, J. – **Estratégias de Inspeção / Manutenção de Obras de Arte** – Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Lisboa, 2000.
- SECRETARIA DE VIAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS – **Boletim Técnico** – Volume XIV, nº 1, Recife, 1946.
- SILVA, J. Pereira – **Pontes e Grandes Estruturas** – Escola de Engenharia do Rio Grande do Norte., 1966.
- STUBLIER, J., DOMAJE, J. B., YODAN, D. – **Instrumentos de Observação e Avaliação de estruturas** - Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, LNEC, Lisboa, 2000.
- THOMAZ, Eduardo – **Fissuração – Casos Reais** – DER-Rio de Janeiro, 1987.
- VASCONCELOS, A. Carlos – **Pontes Brasileiras – Viadutos e Passarelas Notáveis** – Editora Pini Ltda., São Paulo, 1993.
- VITÓRIO, J. A. P., RAMOS, J. R. – **Inspeção e Diagnóstico para Recuperação de Pontes Rodoviárias** – DER-Pernambuco, 1992.
- WITTFONT, Hans – **Puentes, Exemplos Internacionales** – Editorial Gustavo Gili S. A., Barcelona, 1975.

Este trabalho tem por objetivo oferecer uma contribuição aos profissionais e estudantes de Engenharia sobre um tema que, no Brasil, carece de literatura especializada.

Não se trata de publicação para especialistas e sim de trabalho dirigido aos que, mesmo eventualmente, atuam em atividades que exijam conhecimento básico sobre pontes.



**CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA,
ARQUITETURA E AGRONOMIA DE PERNAMBUCO**