

# INTRODUÇÃO

## 1

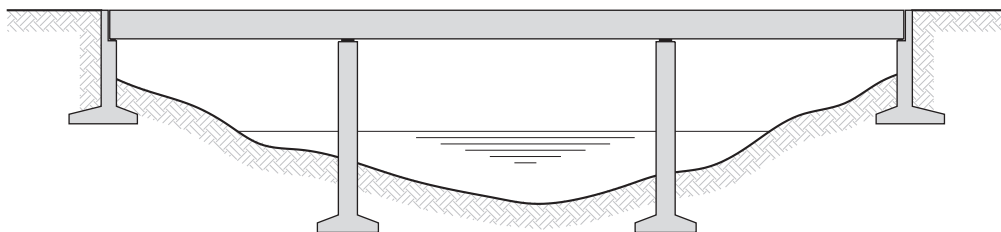
### 1.1 Preliminares

#### 1.1.1 Definições

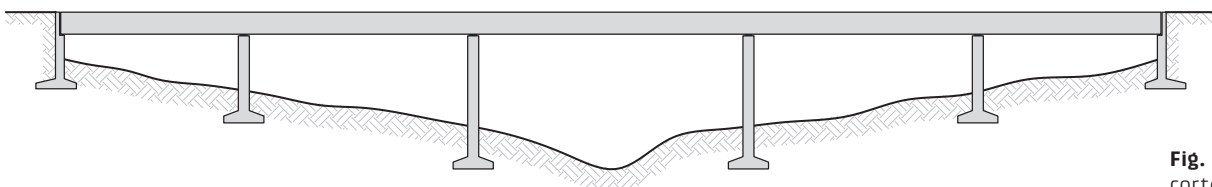
Ponte é uma construção destinada a estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza. Nos casos mais comuns, e que são tratados neste livro, a via é uma rodovia, uma ferrovia ou uma passagem para pedestres.

O obstáculo a ser transposto pode ser de natureza diversa, e, em função dessa natureza, são associadas as seguintes denominações: *ponte*, *viaduto* e *passarela*.

- *Ponte* (propriamente dita): quando o obstáculo é constituído de curso de água ou outra superfície líquida, como um lago ou um braço de mar (Fig. 1.1).
- *Viaduto*: quando o obstáculo é um vale ou uma via (Fig. 1.2). Os viadutos podem receber a seguinte denominação:
  - » *Viaduto de acesso*: viaduto que serve para dar acesso a uma ponte (Fig. 1.3).
- *Passarela*: quando se trata de construção destinada exclusivamente para pedestres e/ou ciclistas.



**Fig. 1.1** Ponte:  
corte longitudinal



**Fig. 1.2** Viaduto:  
corte longitudinal

Existe ainda um tipo de construção que, em determinadas situações, pode ser enquadrado na categoria de pontes, que são as galerias.

Também denominadas bueiros, as galerias são obras completamente ou parcialmente enterradas que fazem parte do sistema de drenagem, permanente ou não, das vias ou são obras destinadas a passagens inferiores.

A Fig. 1.4a mostra uma situação em que a galeria apresenta as características das pontes. Já a Fig. 1.4b exibe outra situação em que as características fogem muito daquelas apresentadas pelas pontes. Evidentemente, existem situações intermediárias, para as quais o porte e a altura de terra sobre a galeria conferem a esse tipo de obra características que a aproximam mais ou menos das pontes. Em face do exposto, tem-se outra definição:

- *Pontes enterradas*: correspondem às galerias com características de pontes de pequenos vãos (uma definição mais detalhada pode ser vista no Cap. 9).

Os órgãos governamentais utilizam a denominação *obras de arte especiais* (OAEs) para pontes e viadutos e *obras de arte correntes* (OACs) para obras de drenagem, como os bueiros.

Existem ainda as seguintes denominações, conforme o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP, 2005b): *passagem inferior*, que é uma obra destinada à transposição sobre uma via, permitindo a continuidade do leito normal da via principal, e *passagem superior*, que é uma obra destinada à transposição sob uma via, permitindo a continuidade do leito normal da via principal.

As pontes podem também ser classificadas em: pontes móveis, como a Tower Bridge, em Londres, citada na

sequência deste capítulo, e pontes flutuantes. Esses dois tipos particulares de pontes não fazem parte do escopo deste livro.

### 1.1.2 Particularidades

Ao comparar as pontes com os edifícios, pode-se estabelecer certas particularidades das pontes em relação aos edifícios. Essas particularidades podem ser agrupadas da seguinte forma:

- *Ações*: devido ao caráter da carga de utilização das pontes, torna-se necessário considerar alguns aspectos que normalmente não são levados em conta nos edifícios. Nas pontes, em geral, deve-se considerar o efeito dinâmico das cargas e, em virtude de estas serem móveis, é preciso determinar a envoltória dos esforços solicitantes e verificar a possibilidade de fadiga dos materiais.
- *Técnicas construtivas*: em razão de adversidades do local de implantação, que são comuns na construção das pontes, existem técnicas de construção que, em geral, são específicas para pontes ou que assumem importância fundamental no projeto.
- *Composição estrutural*: a composição estrutural utilizada nas pontes difere da empregada em edifícios, em razão da carga de utilização, dos vãos a serem vencidos e do processo de construção.
- *Análise estrutural*: na análise estrutural existem simplificações e recomendações em função da composição estrutural, como o cálculo da estrutura em grelha considerando elementos indeformáveis na direção transversal.

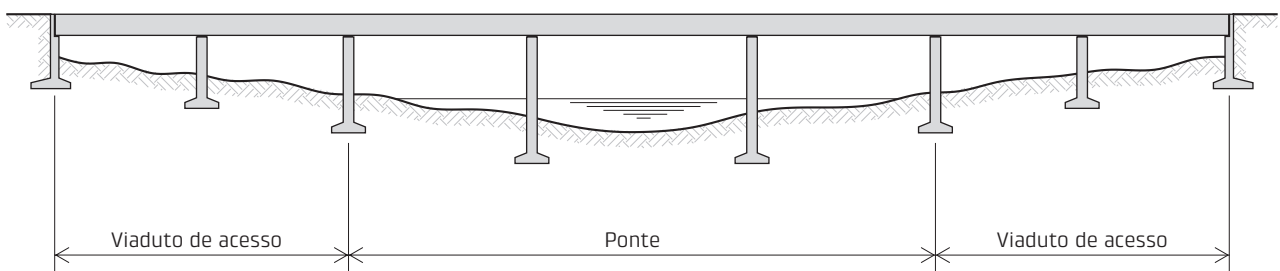
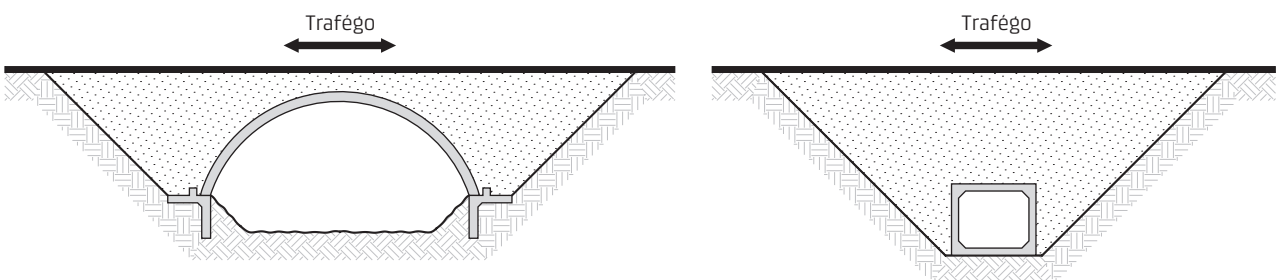


Fig. 1.3 Ponte com viadutos de acesso: corte longitudinal



a) Galeria com características das pontes (ponte enterrada)

b) Galeria com características distintas das pontes

Fig. 1.4 Galeria: corte transversal ao seu eixo (longitudinal à via)

### 1.1.3 Nomenclatura

Conforme Freitas (1981), as pontes podem ser subdivididas, em relação aos aspectos estruturais, nos seguintes elementos (Fig. 1.5):

- superestrutura { estrutura principal  
                          estrutura secundária
- aparelho de apoio
- infraestrutura { suporte  
                          fundação

Essa classificação é normalmente utilizada nas publicações internacionais.

A *superestrutura* é a parte da ponte destinada a vencer o obstáculo. Ela pode ser subdividida em duas partes:

- *estrutura principal* (ou sistema estrutural principal ou simplesmente sistema estrutural), que tem a função de vencer o vão livre;
- *estrutura secundária* (ou tabuleiro ou estrado), que recebe a ação direta das cargas e a transmite para a estrutura principal.

O *aparelho de apoio* é o elemento colocado entre a infraestrutura e a superestrutura, destinado a transmitir as reações de apoio e permitir determinados movimentos da superestrutura.

A *infraestrutura* é a parte da ponte que recebe as cargas da superestrutura através dos aparelhos de apoio e as transmite ao solo. Ela pode ser subdividida em suportes e fundações.

Os suportes podem ser separados em:

- *encontro*: elemento situado nas extremidades da ponte, na sua transição com o aterro da via, e que tem a dupla função de suporte e de arrimo do solo;
- *pilar*: elemento de suporte, normalmente situado na região intermediária, e que não tem a finalidade de arrimar o solo.

Cabe destacar que, além da classificação aqui apresentada, encontra-se na literatura nacional outra subdivisão: *superestrutura*, *mesoestrutura* (aparelho de apoio, pilar e encontro) e *infraestrutura* (fundação), conforme pode ser visto em Pfeil (1979). Aliás, essa é a nomenclatura usada pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

(DNER, 1996), extinto em 2001 e cujas atribuições em relação às pontes passaram para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Salienta-se que determinados tipos de pontes não apresentam separação nítida entre as partes que as compõem, o que torna a aplicação da nomenclatura, para ambas as subdivisões apresentadas, não muito clara, como no caso das pontes enterradas.

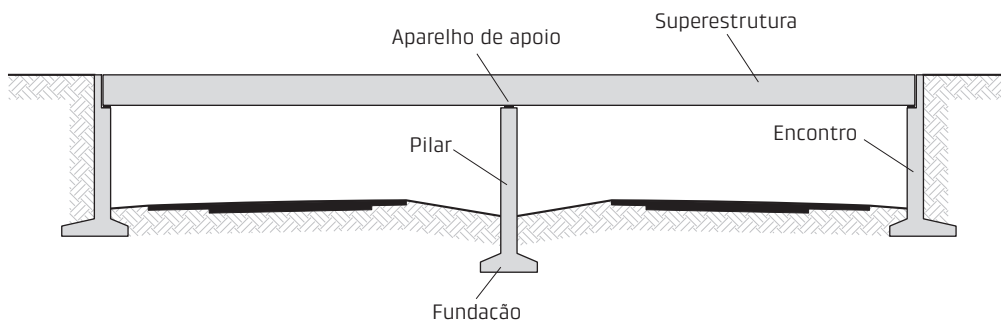
Merece ainda ser destacado o emprego da denominação *pontes integrais* para as situações em que a ligação da superestrutura com a infraestrutura, nas extremidades da ponte, é feita sem aparelhos de apoio. O interesse do caso será apresentado oportunamente.

Com relação à seção transversal, podem aparecer os seguintes elementos (Fig. 1.6):

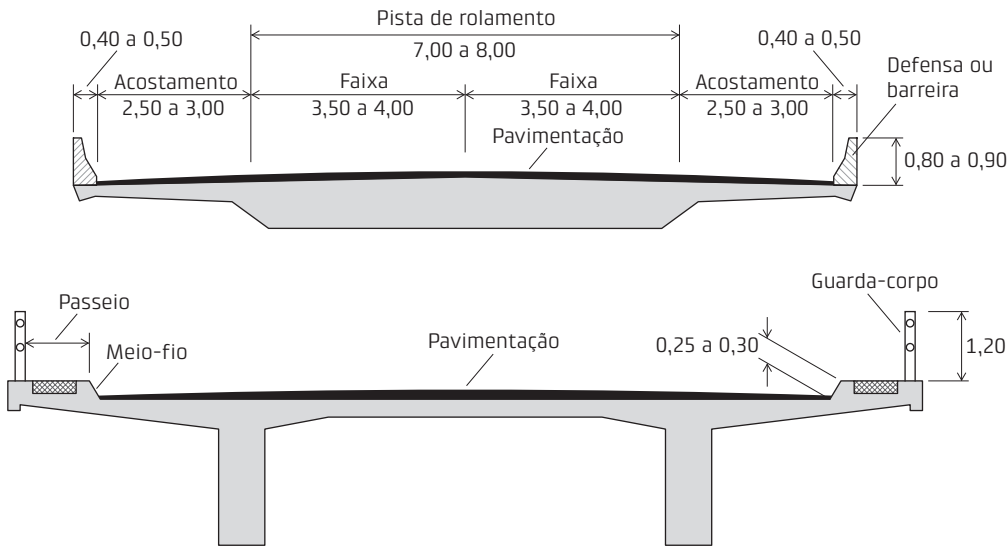
- *pista de rolamento*: largura disponível para o tráfego normal dos veículos, que pode ser subdividida em faixas;
- *acostamento*: largura adicional à pista de rolamento destinada à utilização pelos veículos em casos de emergência;
- *barreira ou defesa*: elemento de proteção aos veículos colocado lateralmente ao acostamento;
- *passeio*: largura adicional destinada exclusivamente ao tráfego de pedestres;
- *meio-fio ou guarda-roda*: elemento destinado a impedir a invasão dos passeios pelos veículos;
- *guarda-corpo*: elemento de proteção aos pedestres.

Com relação à seção longitudinal, têm-se as seguintes denominações (Fig. 1.7):

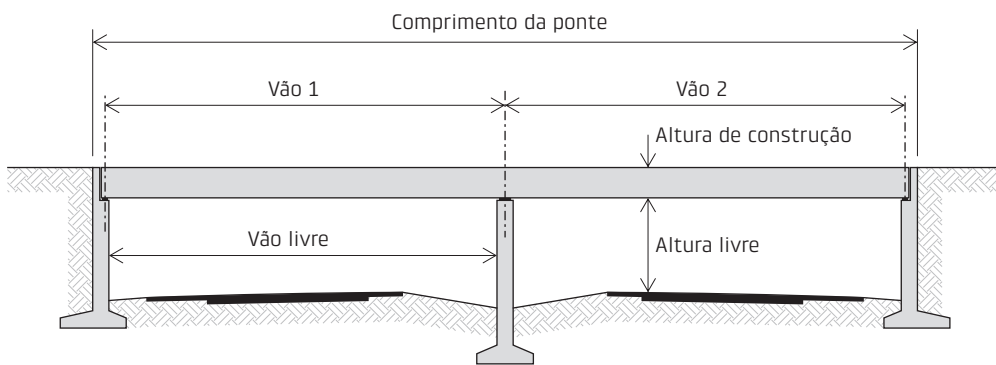
- *comprimento da ponte* (também chamado de *vão total*): distância, medida horizontalmente segundo o eixo longitudinal, entre as seções extremas da ponte;
- *vão* (também chamado de *vão teórico e de tramo*): distância, medida horizontalmente, entre os eixos de dois suportes consecutivos;
- *vão livre*: distância entre as faces de dois suportes consecutivos;
- *altura de construção*: distância entre o ponto mais baixo e o mais alto da superestrutura;
- *altura livre*: distância entre o ponto mais baixo da superestrutura e o ponto mais alto do obstáculo.



**Fig. 1.5** Corte longitudinal com a composição das pontes



**Fig. 1.6** Denominações dos elementos relativos à seção transversal



**Fig. 1.7** Denominações dos elementos relativos à seção longitudinal

## 1.2 Classificação

As pontes podem ser classificadas segundo vários critérios. Os mais importantes, relacionados à superestrutura, são os seguintes:

- material da superestrutura;
- comprimento;
- natureza do tráfego;
- desenvolvimento planimétrico;
- desenvolvimento altimétrico;
- sistema estrutural;
- seção transversal;
- posição do tabuleiro;
- técnica construtiva.

Apresenta-se a seguir a classificação das pontes de acordo com cada um dos critérios relacionados. Com essa apresentação, visa-se também ampliar a relação dos termos técnicos empregados no projeto e na construção das pontes.

### 1.2.1 Material da superestrutura

Segundo o material da superestrutura, as pontes se classificam em:

- pontes de madeira;
- pontes de alvenaria;
- pontes de concreto simples;

- pontes de concreto armado;
- pontes de concreto protendido;
- pontes de aço;
- pontes mistas (concreto e aço).

Apesar de existir a denominação *concreto estrutural*, que engloba o concreto simples, o concreto armado e o concreto protendido, está sendo mantida a divisão por ainda ser usual no meio técnico.

Cabe ainda registrar o desenvolvimento recente de superestruturas de polímero reforçado com fibras (*fiber reinforced polymer*, FRP), tendo em vista principalmente obras emergenciais (Keller, 2003).

Na infraestrutura das pontes, emprega-se normalmente o concreto armado, portanto não será feita a classificação segundo o material da infraestrutura.

### 1.2.2 Comprimento

Segundo o seu comprimento, as pontes podem ser classificadas em:

- *bueiros*: de 2 m a 3 m;
- *pontilhões*: de 3 m a 10 m;
- *pontes*: acima de 10 m.

Essa classificação tem importância apenas para apresentar as denominações que as pontes recebem em função

do seu comprimento ou porte, embora não exista consenso – nem grande importância – sobre as faixas de valores aqui indicadas. Destaca-se que o termo *galerias* é usado como sinônimo de *bueiro*. No entanto, neste livro, conforme colocado na seção 1.1.1, esse termo não está de acordo com essa classificação.

Propõe-se aqui uma divisão para as pontes de concreto, também de contornos não muito definidos, que é:

- pontes de pequenos vãos: até 20 m;
- pontes de médios vãos: de 20 m a 60 m;
- pontes de grandes vãos: acima de 60 m.

O limite superior das pontes de pequenos vãos (20 m) corresponde aos vãos atingidos pelas pontes enterradas. Já o limite superior das pontes de médios vãos (60 m) está relacionado com a ordem de grandeza dos máximos comprimentos das vigas de concreto pré-moldado (CPM) atualmente empregadas na construção das pontes (ver técnica construtiva com vigas pré-moldadas na seção 1.2.9). Cabe destacar que está sendo feito um ajuste em relação à faixa de vãos apresentada em El Debs (2017).

### 1.2.3 Natureza do tráfego

Segundo a natureza do tráfego, as pontes podem ser classificadas em:

- pontes rodoviárias;
- pontes ferroviárias;
- passarelas (pontes para pedestres);
- pontes aeroviárias;
- pontes aquedutos;
- pontes mistas.

Essas denominações são associadas ao tipo de tráfego principal. As pontes mistas são aquelas destinadas a mais de um tipo de tráfego, como é o caso da ponte rodoferroviária, que serve para estabelecer a continuidade de uma rodovia e de uma ferrovia.

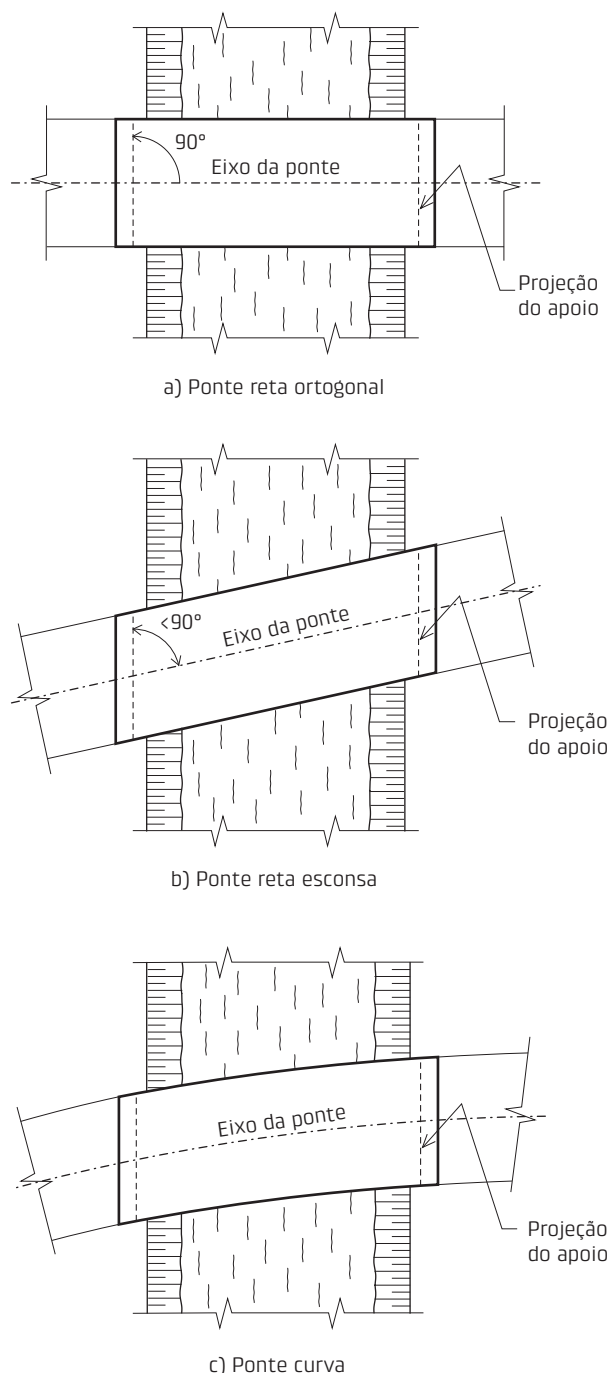
### 1.2.4 Desenvolvimento planimétrico

Segundo o desenvolvimento em planta do traçado, as pontes podem ser classificadas em:

- pontes retas  $\left\{ \begin{array}{l} \text{ortogonais} \\ \text{esconsas} \end{array} \right.$
- pontes curvas

As pontes retas, como o próprio nome diz, são aquelas que apresentam eixo reto. Em função do ângulo que o eixo da ponte forma com a linha de apoio da superestrutura, essas pontes podem ser divididas em ortogonais, quando o ângulo é de  $90^\circ$  (Fig. 1.8a), e esconsas, quando o ângulo é diferente de  $90^\circ$  (Fig. 1.8b).

As pontes curvas são aquelas que apresentam eixo, em planta, curvo (Fig. 1.8c).



**Fig. 1.8** Classificação das pontes segundo o desenvolvimento em planta

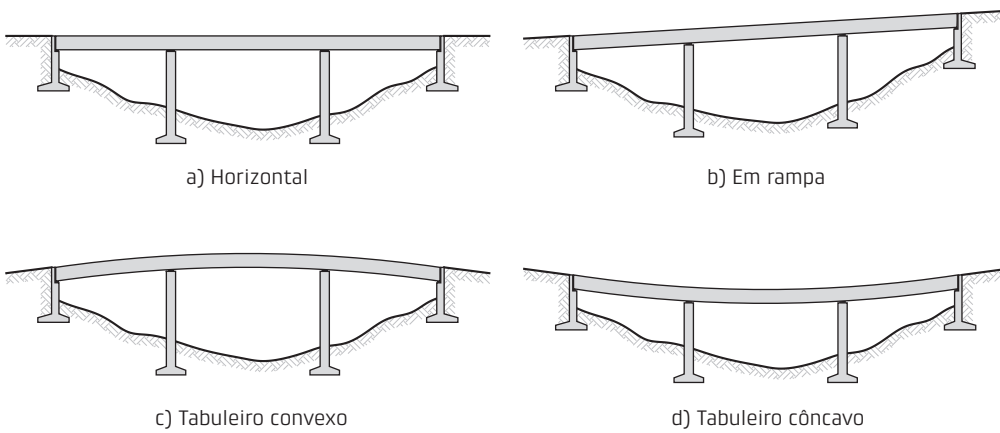
### 1.2.5 Desenvolvimento altimétrico

Segundo o seu desenvolvimento altimétrico, as pontes se classificam em (Fig. 1.9):

- retas  $\left\{ \begin{array}{l} \text{horizontal} \\ \text{em rampa} \end{array} \right.$
- curvas  $\left\{ \begin{array}{l} \text{tabuleiro convexo} \\ \text{tabuleiro côncavo} \end{array} \right.$

### 1.2.6 Sistema estrutural

Quanto ao sistema estrutural da superestrutura, as pontes podem ser classificadas em (Fig. 1.10):



**Fig. 1.9** Classificação das pontes segundo o desenvolvimento altimétrico

- ponte em viga;
- ponte em pórtico;
- ponte em arco;
- ponte pênsil;
- ponte estaiada.

É comum nessa classificação incluir as chamadas *pontes em laje*. A sua não inclusão aqui é justificada na próxima seção.

As pontes podem apresentar subdivisões em função dos tipos de vinculação dos elementos estruturais, como ponte em viga simplesmente apoiada, ponte em arco biarticulado etc. Essas subdivisões serão tratadas posteriormente.

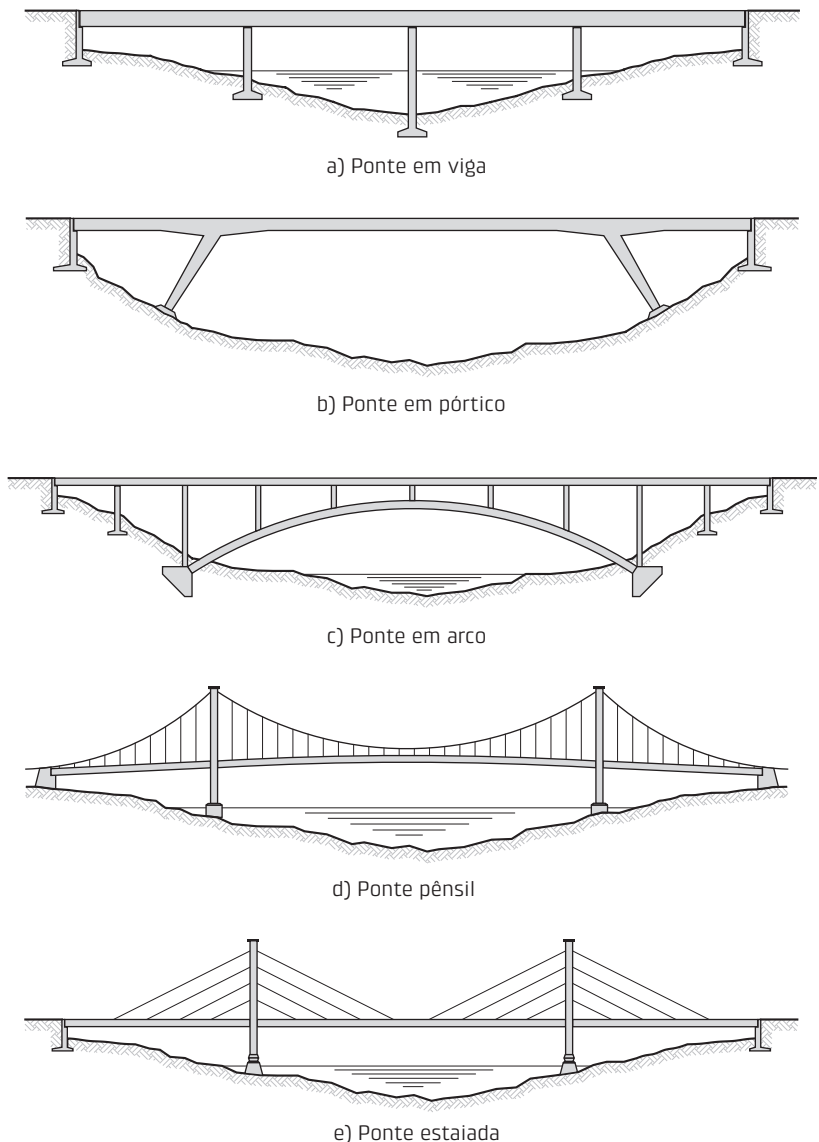
### 1.2.7 Seção transversal

Quanto à seção transversal, as pontes de concreto se classificam em (Fig. 1.11):

- ponte de laje  $\left\{ \begin{array}{l} \text{maciça} \\ \text{vazada} \end{array} \right.$
- ponte de viga  $\left\{ \begin{array}{l} \text{seção T} \\ \text{seção celular} \end{array} \right.$

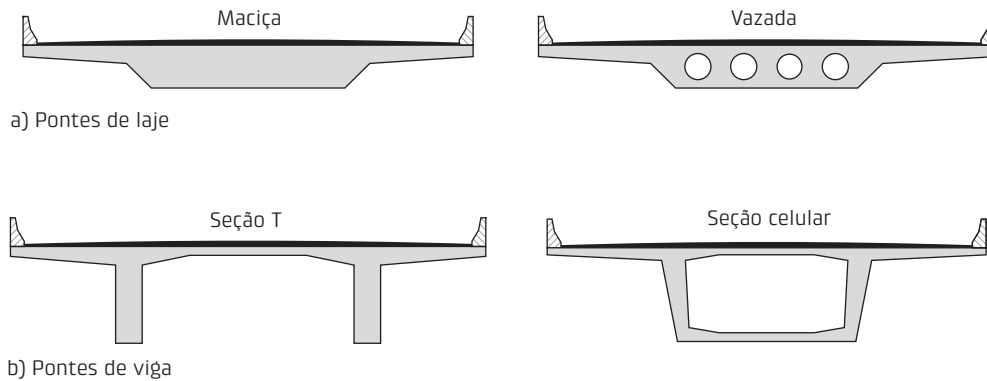
Observe-se que está sendo feita uma distinção na classificação das pontes quanto ao sistema estrutural da superestrutura e quanto à seção transversal, através da preposição que segue a palavra *ponte*. Assim, *ponte em viga* refere-se ao sistema estrutural da superestrutura em viga qualquer que seja a seção transversal, e *ponte de viga* refere-se à seção transversal em viga, independentemente do sistema estrutural da superestrutura.

Dessa forma, o termo *ponte de laje* é usado para referir-se à seção transversal, enquanto *ponte em laje* é associado ao comportamento estrutural de laje, no qual a distribuição transversal dos esforços localizados é bastante pronunciada. Com isso, numa primeira aproximação, pode-se tratar o comportamento estrutural em relação à



**Fig. 1.10** Sistemas estruturais da superestrutura (adaptado de Leonhardt, 1979)

direção longitudinal separadamente das seções transversais. Essa nomenclatura também se justifica pelo fato de que, com o emprego do CPM, a distribuição transversal dos esforços está mais relacionada com a forma das ligações transversais da ponte, a qual pode conferir comportamento estrutural variando das lajes às vigas.



**Fig. 1.11** Seções transversais das pontes de concreto (adaptado de Leonhardt, 1979)

Salienta-se ainda que essas denominações não são de uso comum nem na literatura nacional nem na prática da Engenharia Civil no Brasil, mas foram julgadas adequadas principalmente com o uso do CPM.

### 1.2.8 Posição do tabuleiro

Quanto à posição do tabuleiro, as pontes se classificam em (Fig. 1.12):

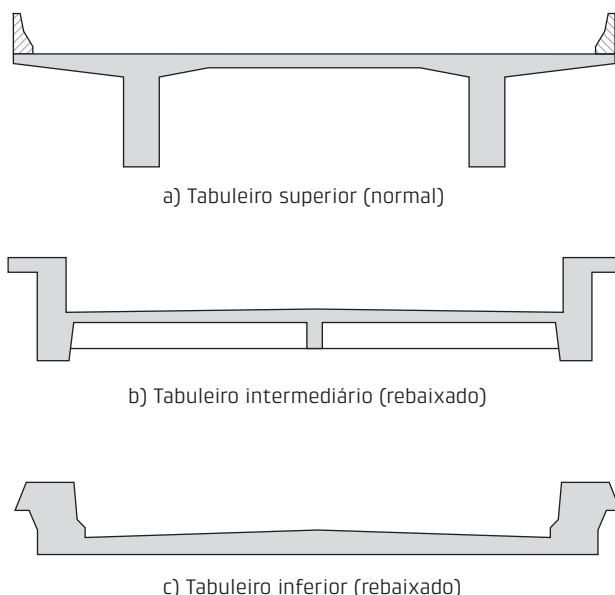
- ponte com tabuleiro superior;
- ponte com tabuleiro intermediário;
- ponte com tabuleiro inferior.

As pontes com tabuleiro superior recebem também a denominação *pontes com tabuleiro normal*, e as pontes com tabuleiro intermediário e inferior são também chamadas de *pontes com tabuleiro rebaixado*.

Salienta-se que, para as pontes pênseis e para as pontes estaiadas, o tabuleiro é sempre inferior.

### 1.2.9 Técnica construtiva

As técnicas construtivas apresentadas referem-se às pontes de concreto. O assunto é aqui tratado de forma bastante



**Fig. 1.12** Seções transversais mostrando as posições do tabuleiro

sucinta, com caráter introdutório, sendo desenvolvido de maneira mais completa no Apêndice AP19.

Assim, tendo em vista as técnicas construtivas, as pontes são aqui classificadas em:

- construção com concreto moldado no local (CML), com cimbramento fixo;
- construção com vigas pré-moldadas;
- construção com balanços sucessivos;
- construção com deslocamentos incrementais.

A construção com CML, com cimbramento fixo, é a denominação aqui utilizada para o tipo tradicional de execução de concreto armado e que consiste na concretagem da superestrutura no local, com o emprego de fôrmas apoiadas em cimbramento fixo.

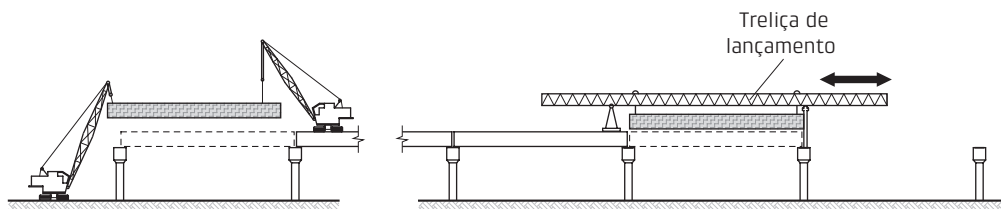
A construção com vigas pré-moldadas, na sua forma mais comum, consiste no lançamento dessas vigas por meio de dispositivo adequado, seguido, em geral, da aplicação de parcela adicional de CML, em fôrmas que se apoiam nas vigas pré-moldadas, eliminando, ou reduzindo drasticamente, o cimbramento (Fig. 1.13).

Em linhas gerais, a construção das pontes em balanços sucessivos é feita a partir dos lados dos pilares, em segmentos. A fôrma para a moldagem de cada segmento é sustentada pelo segmento anterior, sendo, portanto, necessário que o concreto desse segmento anterior esteja com a resistência adequada. Também, nesse caso, elimina-se, ou reduz-se drasticamente, o cimbramento (Fig. 1.14). Existe a alternativa de fazer esses segmentos pré-moldados.

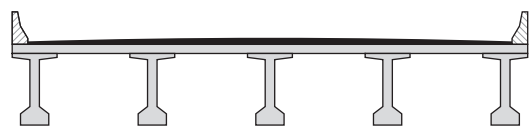
A construção com deslocamentos incrementais, ou deslocamentos progressivos, consiste na execução da ponte em segmentos, em local apropriado junto à cabeceira da ponte. À medida que o concreto de cada segmento vai adquirindo a resistência adequada, a ponte é deslocada para o local definitivo, também eliminando, ou reduzindo drasticamente, o cimbramento (Fig. 1.15).

## 1.3 Considerações preliminares para projeto, construção e uso

Como toda construção, as pontes devem ser analisadas tendo em vista as etapas do ciclo de vida, da concepção à

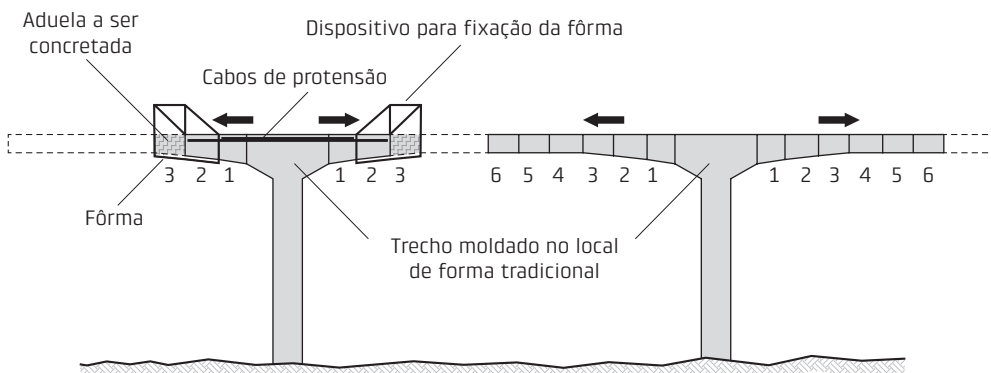


a) Esquema de colocação dos elementos pré-moldados

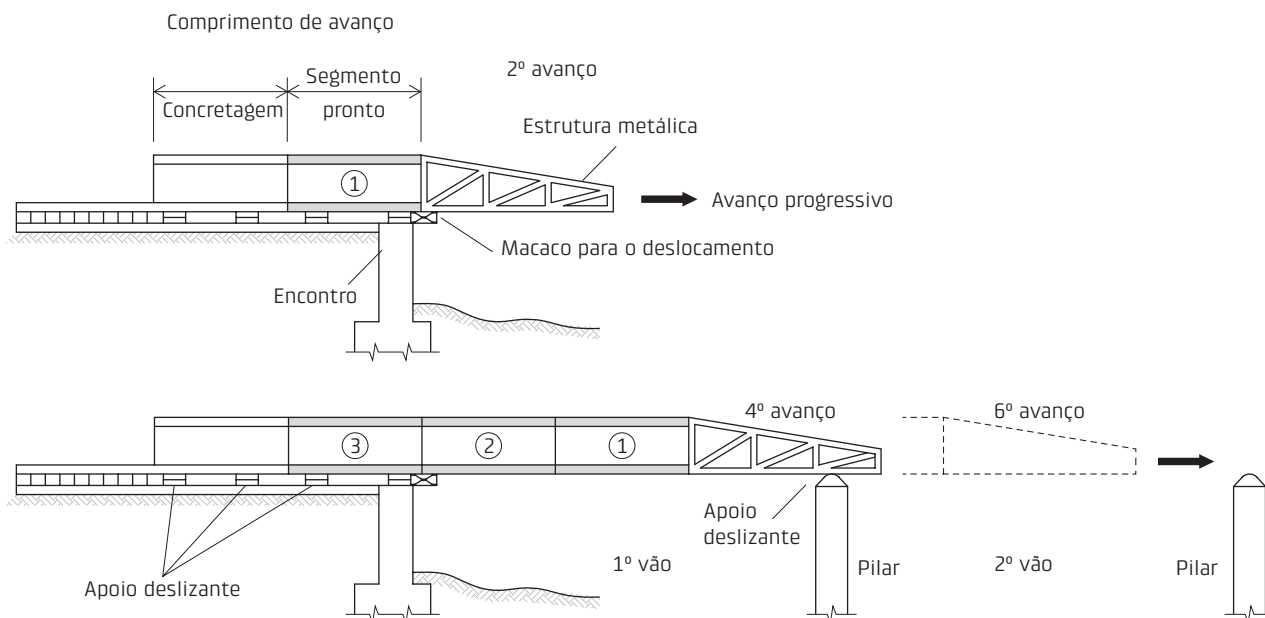


b) Seção transversal final

**Fig. 1.13** Construção de pontes com o emprego de elementos pré-moldados



**Fig. 1.14** Construção de pontes em balanços sucessivos



**Fig. 1.15** Esquema ilustrativo de construção de pontes com deslocamentos incrementais (adaptado de Leonhardt, 1979)

desativação, o que inclui as etapas de projeto, construção, exploração e demolição.

Em relação ao projeto, pode-se ter as seguintes etapas: estudo preliminar ou anteprojeto, projeto básico e projeto detalhado (DER-SP, 2005b).

O estudo preliminar ou anteprojeto é feito com base em:

- *Informações sobre a geometria:* características do projeto geométrico da via da qual a ponte vai fazer parte, características geométricas da ponte (tais como largura de faixas e de acostamentos, fornecida pelos órgãos

competentes, e gabaritos de transposição sob a ponte a serem obedecidos) etc.

- *Informações topográficas*: situação em planta indicando as construções existentes e o obstáculo a ser transposto, levantamento topográfico em escalas apropriadas, batimetria (quando for o caso) etc.
- *Informações hidráulicas/hidrológicas*: no caso de pontes sobre rios, informações sobre fluxo de água, seção de vazão, nível máximo da água, altura de lâmina de água etc.
- *Informações geotécnicas*: sondagens e, eventualmente, relatórios geológicos etc.
- *Informações das condições locais*: condições de acesso, disponibilidade de materiais e serviços, impacto ambiental, agressividade do ambiente, limitações de qualquer natureza etc. Merece registro o acidente em 2016 na ciclovia Tim Maia, na cidade do Rio de Janeiro. Esse acidente poderia ter sido evitado se tivesse sido levado em conta que a parte da ciclovia correspondia a uma passarela em área sujeita a fortes ressacas.

Nas publicações do DNER (1996) e do DER-SP (2005b), encontra-se um maior detalhamento desse assunto.

Com base nessas informações, o projetista elabora o estudo preliminar ou anteprojeto, de forma a definir o traçado da ponte, a seção transversal, o perfil longitudinal, o sistema estrutural, com o posicionamento dos apoios, encontros etc. Merece especial atenção o caso de pontes sobre rios, em que é necessário levar em conta os riscos de solapamento da fundação e erosão nas cabeceiras, devido às condições de escoamento de água. Uma boa parte dos problemas das pontes é consequência desses aspectos, como pode ser visto em Vitório (2007).

O DER-SP (2005b) recomenda que “devem ser estudadas, no mínimo, duas soluções estruturais exequíveis, prevalecendo a escolha da alternativa menos onerosa”.

No projeto básico são analisadas as alternativas estruturais do estudo preliminar. Conforme o DER-SP (2005b),

Deve-se projetar obra esteticamente compatível com o local e com outras obras existentes, quando for o caso. [...] O projeto básico de obra de arte especial deve ser constituído pela escolha da solução que melhor atenda aos critérios técnicos, econômicos e administrativos e aos requisitos operacionais da rodovia. Também são analisados os aspectos arquitetônicos e paisagísticos da obra. Deve ser realizado o pré-dimensionamento de no mínimo duas alternativas propostas, definindo as principais seções e elementos de relevância da estrutura. O projeto básico também deve conter as verificações de resistência e o quantitativo de materiais da obra. Assim, será possível selecionar a alternativa que melhor atenda às necessidades do DER-SP. Para efeito de levantamento

de custos nesta etapa do projeto, os quantitativos são obtidos por metro quadrado de tabuleiro.

O projeto executivo corresponde ao detalhamento da solução apresentada no projeto básico, considerando, se for o caso, informações mais precisas. Ainda de acordo com o DER-SP (2005b),

O projeto executivo é constituído pelos estudos da obra; suas peças estruturais e acessórias são perfeitamente definidas em relação às dimensões e às posições. Devem ser apresentadas as locações definitivas, obedecendo aos traçados em planta e em perfil da via, aos gabaritos e às demais especificações previamente estabelecidas. Os documentos elaborados nesta etapa devem possibilitar a execução da obra e de todos os seus complementos.

As dimensões relativas à seção transversal e os detalhes construtivos podem ser vistos nas citadas publicações do DNER (1996) e do DER-SP (2005b).

Recomenda-se ter em conta as indicações da NBR 7187 (ABNT, 2021), cuja seção 5 se refere aos requisitos e à apresentação de projeto e cuja seção 6 é relativa aos requisitos gerais de qualidade e de avaliação da conformidade do projeto.

Ainda relacionado com o projeto, cabe destacar a documentação *as built* (“como construído”), que objetiva registrar o que foi efetivamente executado. Apesar de estar nesta seção, o *as built* diz respeito à parte final de construção e é de fundamental importância para a manutenção e o uso da obra (ver Apêndice AP20).

A concepção das pontes envolve uma série de fatores e circunstâncias, como pode ser visto em Grattesat (1981), em que são apresentadas indicações do sistema estrutural em função de várias faixas de vãos.

Cabe salientar que, assim como as demais construções, as pontes devem ser projetadas para atender aos seguintes quesitos: segurança, funcionalidade, estética e, naturalmente, economia. Mais recentemente, tem sido incluído ainda o quesito da sustentabilidade.

Uma abordagem mais abrangente sobre essa questão pode ser encontrada em Dette e Sigrist (2011), que inclui uma proposta para a quantificação de parte dos aspectos envolvidos.

O projeto das pontes deve atender às verificações dos estados-limites últimos e dos estados-limites de serviço. As combinações das ações devem ser de acordo com a NBR 8681 (ABNT, 2003b), em que é possível observar que as pontes podem ter coeficientes de ponderação específicos (ver Apêndice AP2).

No projeto das pontes, deve-se visar ao atendimento das condições de uso, bem como à previsão de inspeções e

manutenção, buscando, assim, evitar transtornos de uma interrupção do tráfego, que em determinadas situações pode se tornar calamitosa. Até há certo tempo, as pontes de concreto eram consideradas duráveis, como as antigas pontes de arco de pedra dos romanos. No entanto, a realidade tem mostrado que essa associação não é mais aceitável. Exemplos recentes de problemas de manutenção apontam para a importância desse aspecto no projeto e no sistema de manutenção.

Para determinadas pontes, localizadas em ambientes nos quais o impacto visual é importante, a estética assume um papel de grande destaque e deve ser levada em conta, conforme consta das recomendações do DER-SP (2005b) citadas anteriormente. A estética da estrutura pode ser aliada à utilização de luzes, o que amplifica a sua presença na paisagem urbana.

Esse aspecto passa pela seguinte questão: até quando vale a pena levar em conta o ônus de uma melhor estética? Essa decisão passa por diversos critérios, como a visibilidade da ponte, bem como questões culturais e sociais.

Com respeito a esses quesitos, destaca-se a recomendação de O'Connor (1971) indicando que é aceitável um projeto com ônus de 20% em benefício da funcionalidade e da aparência, mas que seria incorreto recomendar um projeto baseado na aparência sem, primeiro, estimar o ônus que possa ocorrer.

Destacam-se aqui as publicações de Leonhardt (1982) e NSW Government (2019), que focam a importância da estética.

Um exemplo emblemático de ponte admirada por sua estética é a ponte de Salginatobel (ver <https://w.wiki/3D2q>), projetada por Robert Maillart (ver <https://w.wiki/3D2r>), que hoje é usada como logomarca da International Federation for Structural Concrete (fib).

Em relação à economia, não se deve ter em conta apenas o custo direto e imediato. É preciso levar em consideração os custos indiretos e ao longo da vida útil da ponte, tais como os custos com a manutenção e com a desativação da construção.

Nas pontes, como em qualquer tipo de construção, deve-se procurar minimizar o custo, que é a soma dos custos da infraestrutura, dos aparelhos de apoio e da superestrutura. Diversos fatores influem no seu custo, alguns de ordem técnica e outros não, sendo, portanto, difícil estabelecer regras gerais para considerá-los.

Para uma ponte com determinado comprimento, um dos fatores mais importantes que influenciam o custo são os vãos. Quanto maior é o vão, maior é o custo da superestrutura e menor é a soma dos custos da infraestrutura e dos aparelhos de apoio, e vice-versa; ou seja, quanto menor é o vão, menor é o custo da superestrutura e maior é a soma dos custos da infraestrutura e dos aparelhos de

apoio, como mostra a Fig. 1.16 para uma situação genérica. Contudo, cabe mencionar que nem sempre há liberdade para a escolha dos vãos.

Numa primeira aproximação, o vão indicado é aquele em que o custo da superestrutura resulta aproximadamente igual ao custo da infraestrutura.

Este livro trata basicamente do projeto estrutural. No entanto, cabe destacar que o projeto das pontes deve incluir também: a) dispositivos de proteção (defensas, guarda-corpos etc.), b) dispositivos de transição (por exemplo, laje de transição), c) juntas de dilatação (quando for o caso), d) drenagem (elementos de captação, drenagem interna, pingadeiras etc.) e e) pavimentação. Os citados manuais do DNER (1996) e do DER-SP (2005b), assim como Leonhardt (1979), trazem detalhes sobre esses aspectos.

Em relação à construção, as pontes se destacam pelas técnicas construtivas tanto em CML como em CPM, conforme adiantado na seção 1.1.3.

A opção pelo emprego de CPM já é normalmente considerada na concepção de pontes e tem sido viável em grande parte das situações. A eliminação total ou parcial do cimbramento, característica dos sistemas construtivos em CPM, é em geral bastante significativa nas pontes, afetando muito o custo direto. Contudo, outras características do CPM, como apresentado em detalhes em El Debs (2017) e no Cap. 6, podem refletir em benefícios indiretos. A rapidez da construção é, geralmente, a principal delas e tem um impacto importante na redução da perturbação ao meio ambiente, que afeta principalmente as regiões urbanas, diminuindo as inconveniências e os riscos de obras de desvios.

O emprego do CPM em pontes de pequenos e médios vãos é tratado com mais detalhes nos Caps. 6 a 10.

Embora esteja fora do escopo deste livro, o controle da construção é uma parte importante, tendo em vista o seu uso. Ele deve fazer parte da documentação *as built*, de forma a registrar o que foi efetivamente realizado. Naturalmente, a sua importância é proporcional à importância da ponte.

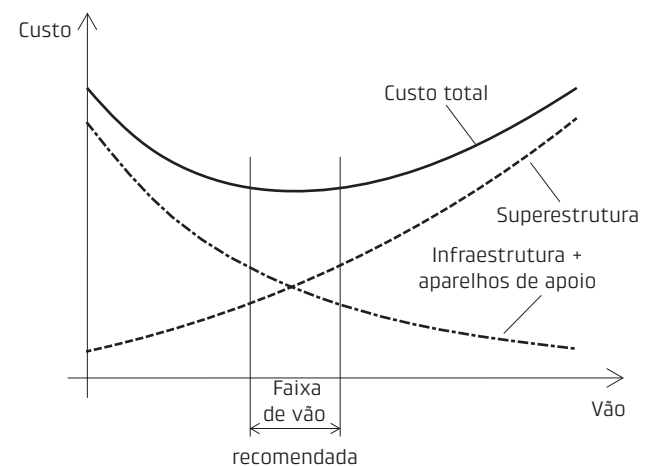


Fig. 1.16 Composição dos custos em função do vão

Em relação ao uso, as pontes de concreto não são tão duráveis como se imaginava, conforme já adiantado.

Em função disso, o gerenciamento do uso, incluindo medidas de manutenção, vem ganhando importância na engenharia de pontes. Nesse sentido, cabe destacar a criação, em 1999, da International Association for Bridge Maintenance and Safety (IABMAS), cuja missão é tornar-se a principal organização internacional para o avanço do estado da arte nos campos de manutenção, segurança e gerenciamento de pontes.

No Brasil, desde 2016 existe uma norma da ABNT relacionada com a manutenção das pontes. A versão atual é a NBR 9452 (ABNT, 2019), que especifica os requisitos exigíveis na realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto e na apresentação de resultados dessas inspeções.

No Apêndice AP20, esse assunto é tratado com mais detalhes.

Cabe destacar a importância econômica que as pontes possuem na infraestrutura de transportes. Alguns números nos Estados Unidos, da década de 1980, fornecem uma ideia: a) existiam 584 mil pontes, b) a rede de rodovias interestaduais totalizava 73.200 km de estrada e 54,8 mil pontes e c) a estimativa de custo para reparo e recuperação das pontes era de US\$ 400 bilhões (de 1985 a 2000). A soma das pontes estruturalmente deficientes e funcionalmente obsoletas totalizava 153,5 mil, da ordem de um quarto das pontes existentes. Informações mais recentes do desempenho estrutural das pontes do US National Bridge Inventory, de 2013, podem ser vistas em Farley (2017).

Além do custo direto da construção, principalmente em recuperação e substituição de pontes, deve-se também levar em conta o custo indireto da perturbação do tráfego. De acordo com um relatório do Texas Transportation Institute, os custos relacionados à passagem de veículos pela região dos trabalhos podem ser de US\$ 10 mil a US\$ 20 mil por dia. Naturalmente, esse valor depende de vários fatores. Outro relatório americano aponta que esse custo pode chegar a US\$ 50 mil por dia em região urbana. De qualquer forma, esses valores indicam que o custo dessa perturbação merece ser levado em conta pelos órgãos públicos.

## 1.4 Desenvolvimento e importância

As pontes sempre despertaram admiração ao longo da evolução da raça humana, por representar o domínio sobre a natureza e, conseqüentemente, o desenvolvimento da civilização.

Sobre a importância das pontes, Wittfoht (1975, tradução livre) coloca que

Desde que o homem habita este mundo, as pontes são a expressão de sua vontade de superar os obstáculos que encontra no caminho para atingir o seu objetivo.

As pontes são testemunho do progresso, poder e decadência; nos falam da cultura dos povos e de sua mentalidade. Desde a obra modesta, somente funcional, até o monumento de formas aperfeiçoadas – mais ou menos carregados artisticamente – encontramos tal multiplicidade de expressões.

Dessas palavras, pode-se observar três características importantes nas pontes: a) desenvolvimento, b) patrimônio e c) importância da estética das pontes.

O desenvolvimento das pontes de concreto e de suas técnicas pode ser analisado tendo em vista os aspectos mostrados a seguir:

- histórico { material  
sistemas estruturais  
técnicas construtivas
- desenvolvimento { recorde do vão principal  
das pontes { exibição de desenvolvimento

Em relação ao *material* empregado na sua construção, as pontes podem ser colocadas na ordem cronológica, segundo Leonhardt (1979), da seguinte forma:

- *Pontes de madeira*: a madeira tem sido utilizada desde a Antiguidade na construção de pontes, inicialmente com arranjos estruturais bastante simples. Destaca-se que, com esse material, chegou-se a construir pontes com vãos consideráveis, como uma ponte construída em 1758, sobre o rio Reno, com 118 m de vão.
- *Pontes de pedra*: a pedra, assim como a madeira, é empregada desde a Antiguidade na construção de pontes. Os romanos e os chineses já construíam abóbadas em pedra antes de Cristo. Os romanos chegaram a construir pontes em forma de arco semicircular com até 30 m de vão. Foi grande o número de pontes em pedra construídas por eles. A maior parte dessas pontes desabaram, principalmente por problemas de fundação, ou então foram demolidas por questões bélicas. No entanto, algumas permanecem até os dias de hoje, como a Ponte Sant'Angelo, em Roma (ver <https://w.wiki/3D2s>), e a Pont du Gard, sobre o rio du Gard, no sul da França (ver <https://w.wiki/3D2t>). Na Idade Média, as abóbadas ficaram mais abatidas, chegando a atingir vãos da ordem de 50 m.
- *Pontes metálicas*: embora as primeiras pontes metálicas tenham surgido no final do século XVIII, com a The Iron Bridge (ver <https://w.wiki/3D2u>), em ferro fundido, foi a partir da metade do século seguinte que floresceu o emprego do aço na construção das pontes, em razão do desenvolvimento das ferrovias, que transportavam cargas bem mais elevadas que as que ocorriam até então. Cabe destacar que a partir de 1850 já se construíam pontes em treliça com 124 m de vão.

- *Pontes de concreto armado*: conforme Leonhardt (1979), as primeiras pontes em concreto apareceram no início do século XX. Eram pontes de concreto simples em arco triarticulado, com esse material substituindo a pedra. Embora já se empregasse o concreto armado na execução do tabuleiro das pontes de concreto simples, foi a partir de 1912 que começaram a ser construídas as pontes de viga e de pórtico em concreto armado, com vãos de até 30 m. Por outro lado, Wittfoht (1975) aponta que a primeira ponte de concreto armado do mundo é de 1875, na França, com 16,5 m de vão. Um exemplo notável do início das pontes de concreto é a Ponte del Risorgimento, em Roma (ver <https://w.wiki/3D2v>), finalizada em 1911 e com vão de 159 m, próxima à Ponte Sant'Angelo, também no rio Tibre, com cinco vãos e comprimento total de 135 m (Fig. 1.17).
- *Pontes de concreto protendido*: embora as primeiras pontes em concreto protendido tenham sido feitas já a partir de 1938, foi após a Segunda Guerra Mundial que esse material começou a ser empregado com grande frequência, por causa da necessidade de se reconstruir rapidamente um grande número de pontes destruídas durante a guerra.

O concreto armado e o concreto protendido não devem ser vistos como materiais diferentes, como já é feito há certo tempo na NBR 6118 (ABNT, 2014). A distinção realizada aqui visa apenas realçar um avanço tecnológico importante na construção das pontes.

Em relação às pontes de concreto, cabe destacar o desenvolvimento de concretos de alto e altíssimo desempenho, principalmente em elementos de CPM feitos em fábricas (ver Cap. 6). No que se refere à armadura, merece registro o aumento da resistência de ruptura das cordoalhas de protensão, que passou, em aproximadamente meio século,

de 1.400 MPa para 2.100 MPa. Ainda em relação à armadura, cabe mencionar o desenvolvimento de armaduras não metálicas denominadas FRP (ver seção 6.2), que teriam a grande vantagem de não sofrer corrosão, como ocorre na armadura metálica. Por outro lado, o preço dessa armadura ainda não viabiliza a sua utilização em larga escala.

Quanto ao sistema estrutural, as pontes de concreto podem ser ordenadas cronologicamente da seguinte forma:

- *Pontes em arco*: o concreto foi substituindo as pedras como material de construção e, naturalmente, foi utilizado nas pontes na forma de arco, conforme já adiantado.
- *Pontes em viga/pórticos*: à medida que foi se desenvolvendo, o concreto armado foi sendo empregado em sistemas estruturais com predominância da flexão.
- *Pontes estaiadas*: as primeiras aplicações desse sistema estrutural em superestrutura de concreto, pelo que se tem notícia, são da década de 1950. No entanto, as aplicações mais parecidas com as atuais são da década de 1980, quando o sistema teve um grande desenvolvimento.

A parte de técnicas construtivas está apresentada com mais detalhes no Apêndice AP19. Seu ordenamento cronológico é o seguinte:

- *Concreto moldado no local, com cimbramento fixo*: trata-se do primeiro processo construtivo das pontes de concreto, como consequência natural da substituição da pedra pelo concreto nos arcos.
- *Com vigas pré-moldadas*: esse sistema construtivo remonta ao início das aplicações do concreto armado. Conforme Wittfoht (1975), já havia sido construída uma ponte com vigas pré-moldadas de concreto protendido, com vão de 33 m, antes da Segunda Guerra Mundial.



Ponte del Risorgimento: em CA, com vão de 159 m, concluída em 1911



Ponte Sant'Angelo: em pedra, com cinco vãos totalizando o comprimento total de 135 m, concluída em 134

**Fig. 1.17** Comparação da Ponte del Risorgimento com a Ponte Sant'Angelo

- *Com balanços sucessivos de concreto moldado no local*: a primeira obra feita com esse sistema construtivo foi a ponte sobre o rio do Peixe, no Brasil, em 1930, pelo notável engenheiro Emílio H. Baumgart (ver <https://w.wiki/3D2w>).
- *Balanços sucessivos com aduelas pré-moldadas*: a substituição dos segmentos moldados no local por aduelas pré-moldadas é do final da década de 1950 e início da década de 1960.
- *Com deslocamentos incrementais*: pelo que se tem notícia, as primeiras aplicações são da década de 1950.

O desenvolvimento das técnicas construtivas, em particular de equipamentos, constitui uma das principais formas de evolução tecnológica das pontes.

O outro aspecto importante no desenvolvimento das pontes é o maior vão alcançado para um determinado sistema estrutural, que é registrado como *recorde mundial* e normalmente motivo de orgulho nacional. Em geral, esses recordes são apresentados para o vão principal dos sistemas estruturais. Dessa forma, podem ser encontrados os maiores vãos para, por exemplo, pontes em viga, pontes em arco, pontes estaiadas e pontes pênséis. Atualmente, o maior vão do mundo é o da ponte Akashi-Kaikyo, no Japão, inaugurada em 1998, com 1.991 m de vão principal (ver <https://w.wiki/3D2x>).

Conforme foi adiantado, as pontes são muitas vezes utilizadas para a *exibição do desenvolvimento*, como uma vitrine para mostrar a capacitação e o desenvolvimento tecnológico de uma civilização ou país. Como exemplos, pode-se citar a Ponte da Torre (Tower Bridge), em Londres (ver <https://w.wiki/3D2y>), a Ponte do Brooklyn, em Nova York (ver <https://w.wiki/3D2z>), e a Ponte Golden Gate, em São Francisco (ver [https://w.wiki/3D2\\$](https://w.wiki/3D2$)).

Quanto ao fato de as pontes poderem fazer parte do *patrimônio* de uma civilização, de um país ou de uma cidade, é possível notar que muitas vezes elas representam o cartão-postal de muitas cidades, como a citada Ponte da Torre, em Londres, a Ponte Nova (Pont Neuf), em Paris (ver <https://w.wiki/3D32>), e a Ponte do Porto (Harbour Bridge), em Sydney (ver <https://w.wiki/3D34>).

No Brasil, merecem destaque a Ponte Juscelino Kubitschek, em Brasília (ver <https://w.wiki/3D35>), e a Ponte Octávio Frias de Oliveira (Ponte Estaiada), em São Paulo (ver <https://w.wiki/3D36>). No livro do professor Augusto Carlos de Vasconcelos (2012), a principal referência das pontes notáveis brasileiras, podem ser vistos exemplos de pontes que fazem parte do patrimônio nacional.