

## **PONTES E GRANDES ESTRUTURAS – PEF 3404**

### **PRINCÍPIOS DA CONCEPÇÃO.**

O objetivo nas análises que se seguem é de desenvolver a sensibilidade de modo a otimizar a concepção, detectar seus pontos condicionantes e desenvolver o conhecimento na arte do detalhamento, aspecto condicionante no desempenho das estruturas e da sua vida útil.

Os princípios que se seguem são baseados na intuição, capacidade de observação do comportamento estrutural e fundamentados na teoria das estruturas.

#### **1º PRINCÍPIO (Caminhamento das cargas)**

Nos sistemas estruturais é fundamental acompanhar o caminhamento de carga desde o seu ponto de aplicação até as fundações, identificando seus pontos críticos de modo a controlar os seguintes aspectos:

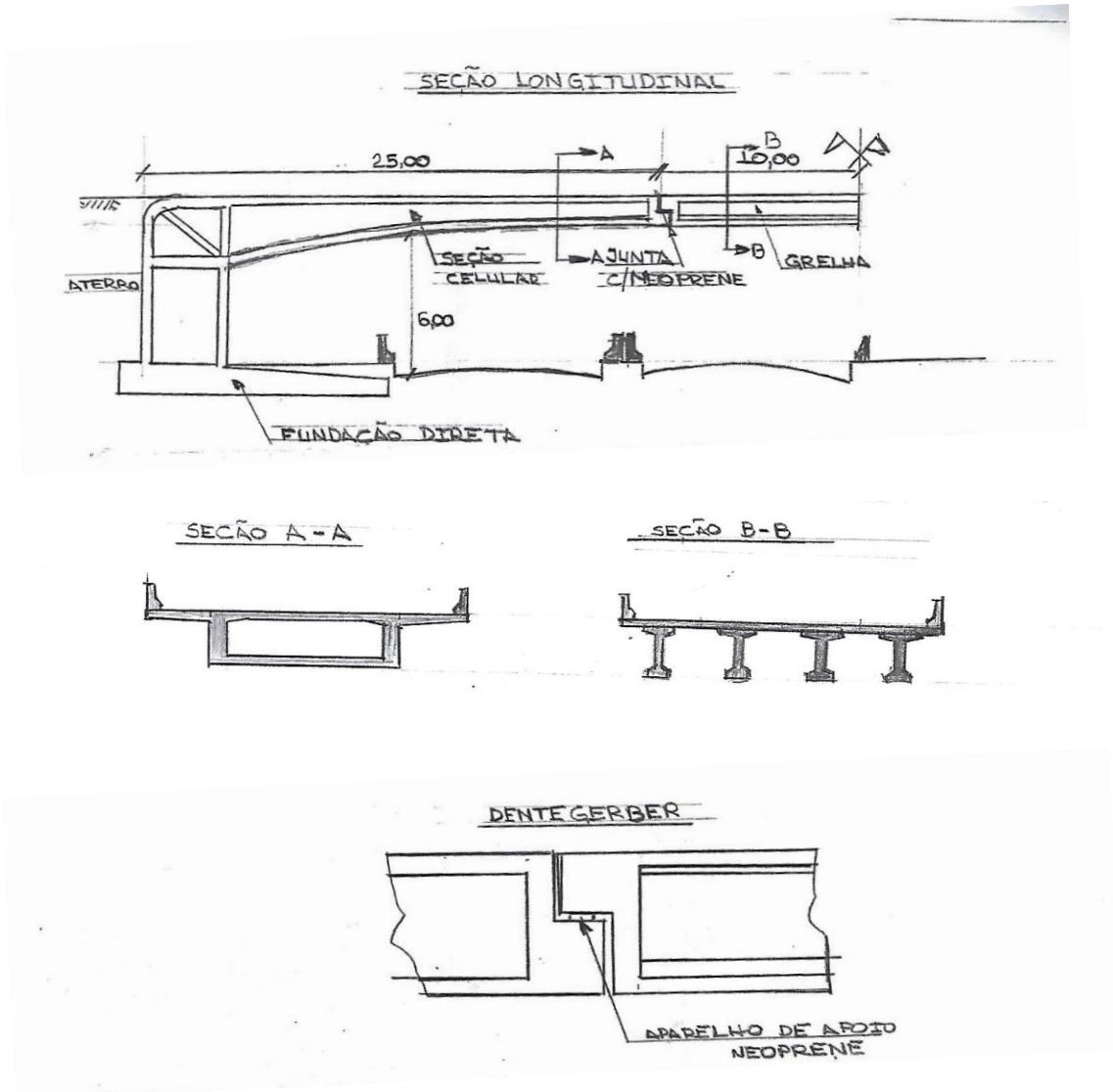
- a) Campo de deslocamentos.
- b) Capacidade resistente compatível com as premissas e Normas afins.
- c) Detalhamento aderente ao estado do conhecimento e compatível com a vida útil prevista.
- e) Nas estruturas submetidas a ações dinâmicas (pontes, portos, torres de transmissão, estruturas em áreas com ação sísmica, etc), proceder análise modal para conhecer as frequências próprias do sistema afim de compará-la com as fontes de excitação.
- f) Funcionalidade e acessibilidade para manutenção.

#### **2º PRINCÍPIO (Centro de gravidade das cargas e das fundações)**

O desempenho dos sistemas estruturais é mais eficiente quando nas fundações o seu centro de gravidade é próximo do centro de gravidade das cargas.

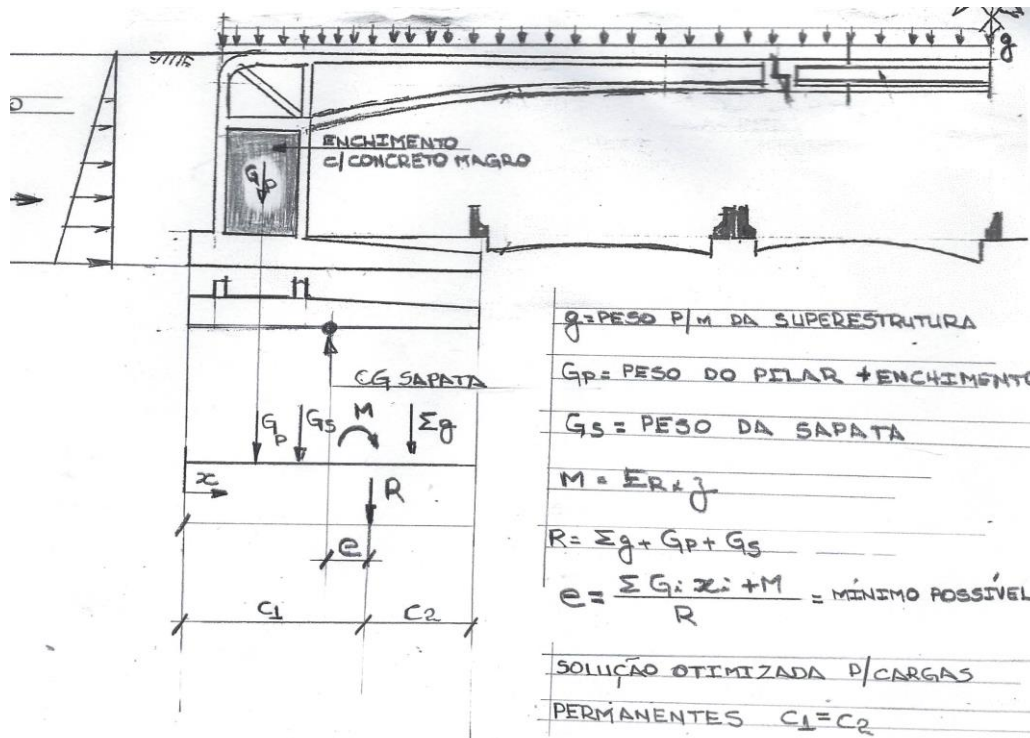
Observar que nas estruturas onde a carga variável é predominante, principalmente onde as cargas horizontais são elevadas com relação as cargas verticais, a concepção para atingir o princípio pode não ser imediata (p.ex dolphins nas áreas portuárias para amarração/atracação de navios, pontes de pequeno vão, muros de arrimo, torres de transmissão, etc).

Exemplo: Viaduto sobre a Via Anhanguera no km 39



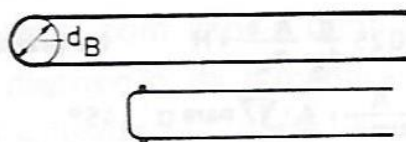
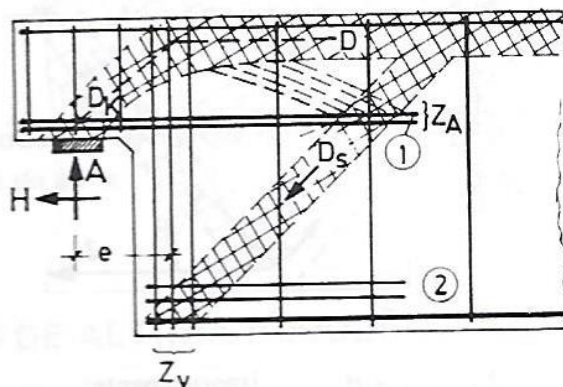
Pontos Críticos no caminhamento das cargas:

- 1- Dimensionamento e detalhamento das cargas
- 2- Dimensionamento e detalhamento dos aparelhos de apoio
- 3- Dimensionamento e detalhamento da conexão da superestrutura com o pilar
- 4- Dimensionamento e detalhamento da conexão do pilar com a fundação



### Detalhes de alguns pontos críticos:

#### Dente Gerber



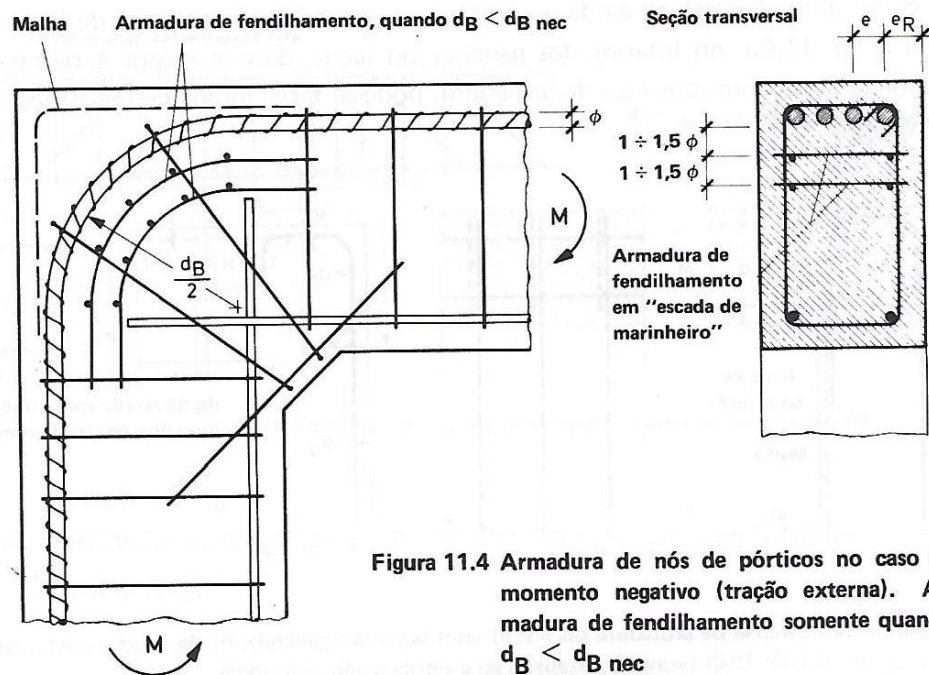
Grampos ①

Grampos ②

#### Pontos críticos:

- Armadura de suspensão de carga, indicada  $Z_v$  no desenho.
  - Ancoragem da armadura de tirante, lado direito, indicada por  $Z_a$  no desenho.
  - Ancoragem da armadura de tirante, lado esquerdo, ver croquis dos grampos.
- Verificação da biela de compressão, indicada por  $D_k$  no desenho

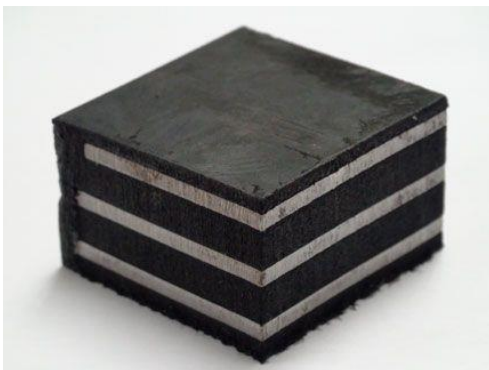
## Nos de pórticos



### Pontos críticos:

- Continuidade da armadura negativa.
- Perda de braço de alavanca no nó.
- Emenda das armaduras de flexão.
- Armaduras de controle de fissuração.

### Aparelho de apoio de neoprene fretado.



### Pontos críticos:

- Nivelamento do berço de montagem.
- Verificações relativas ao aparelho (distorção, rotação, tensões normais máxima e mínima , etc)

### 3º PRINCÍPIO. (Caminho mais curto)

A solução que tende a ser a mais econômica na concepção dos sistemas estruturais é a que reduz o caminhamento de carga entre o ponto de aplicação e as fundações.

São fatores condicionantes a serem observados:

- A funcionalidade do sistema deve ser mantida, ou seja o menor caminho de carga é condicionado pela manutenção de gabaritos vertical e horizontal.
- A concepção arquitetônica pode ser condicionante ante a economia.
- A solução de menor caminho de cargas deve atender as restrições de métodos construtivos.

São exemplos:

As pontes em vigas pré moldadas, onde os vãos de modo geral não superam 45,00 m, apresentam menor custo que uma obra estaiada de 180,00 m comparada com 4 vãos de 45,00 m, apesar do maior número de pontos de fundação.

Observar que nas obras em viga as cargas tem caminho mais curto, apesar do pior desempenho do sistema que trabalha a flexão, cortante e torção, menos eficiente que na estaiada onde a força normal é condicionante, porém com maior caminhamento de carga até chegar as fundações uma vez que caminha do tabuleiro para o mastro através dos estais, para caminhar para a fundação.

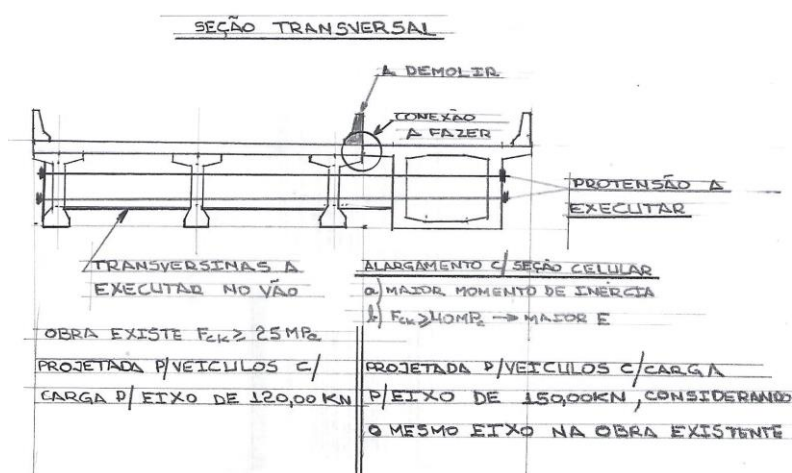
### 4º PRINCÍPIO. (da rigidez)

Nas estruturas isostáticas, o caminhamento de carga fica definido pelas equações de equilíbrio, nas estruturas hiperestáticas, a rigidez relativa entre elementos do sistema estrutural é fator condicionante no caminhamento. Entre dois caminhos possíveis, o caminho de maior rigidez é preferencial, isto é, os elementos estruturais mais rígidos recebem maior parcela das cargas.

Nos sistemas estruturais são possíveis  $(g+1)$  caminhos de carga, onde  $g$  é o grau de hiperestaticidade do sistema.

Exemplos:

#### 1) Alargamento de pontes para aumento do número de faixas de rolamento.



Na seção transversal acima, a parte em vigas pré-moldadas representa a obra original que precisa ser alargada devido ao aumento de fluxo de veículos. A obra original foi projetada com cargas variáveis menores que as hoje atuam (carga por eixo dos caminhões), estando já com segurança reduzida ante o requerido por Norma, além do concreto, executado com resistência mais baixa que atuais em função do estado do conhecimento na época da execução.

De modo a transferir mais carga para a região do alargamento, as soluções para o seu aumento transversal de rigidez são:

- a) Maior rigidez da seção geométrica com uso de seção celular (maior momento de inércia por metro transversal com relação a concepção original por possuir laje inferior).
- b) Uso de concreto de maior resistência a compressão para aumentar o módulo de elasticidade (aumento do produto  $EI$ ).
- c) Uso de protensão transversal em alguns pontos do vão para aumentar a rigidez transversal e facilitar a transferência de carga para a seção celular.

## 2) Reforço/recuperação com protensão externa.

A obra abaixo representa foi executada em concreto armado e recuperada e reforçada com os seguintes objetivos:

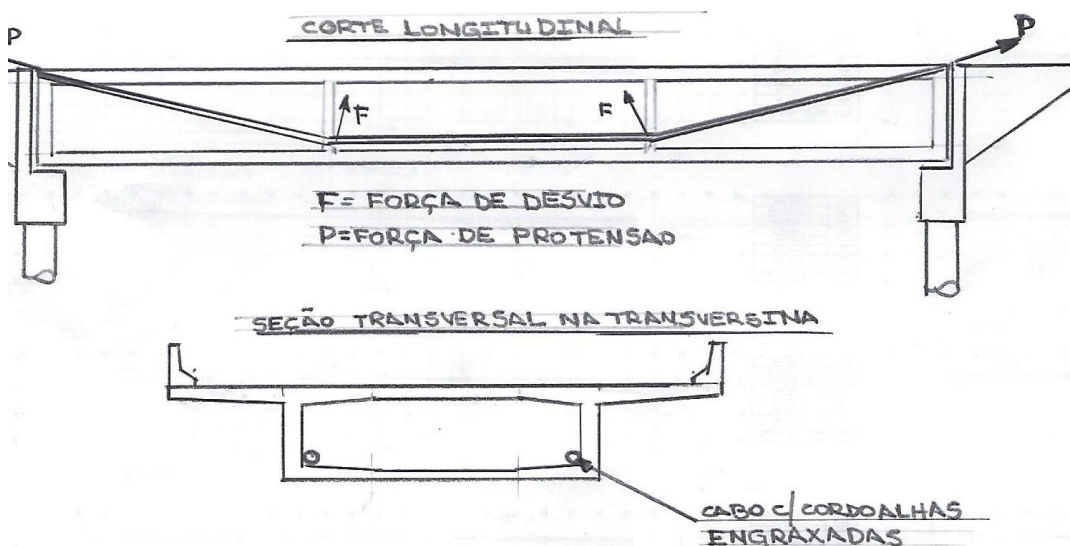
- a) Aumento da carga de veículos.
- b) Recuperar parte do campo vertical permanente de deslocamentos devido a fluência do concreto.

A ação da protensão traz os seguintes benefícios:

-Incremento de rigidez por redução da fissuração devida a componente horizontal da força de desvio.

-A componente vertical força de desvio nas transversinas intermediárias reduz o campo de deslocamentos.

-Altera a frequência própria na vertical.

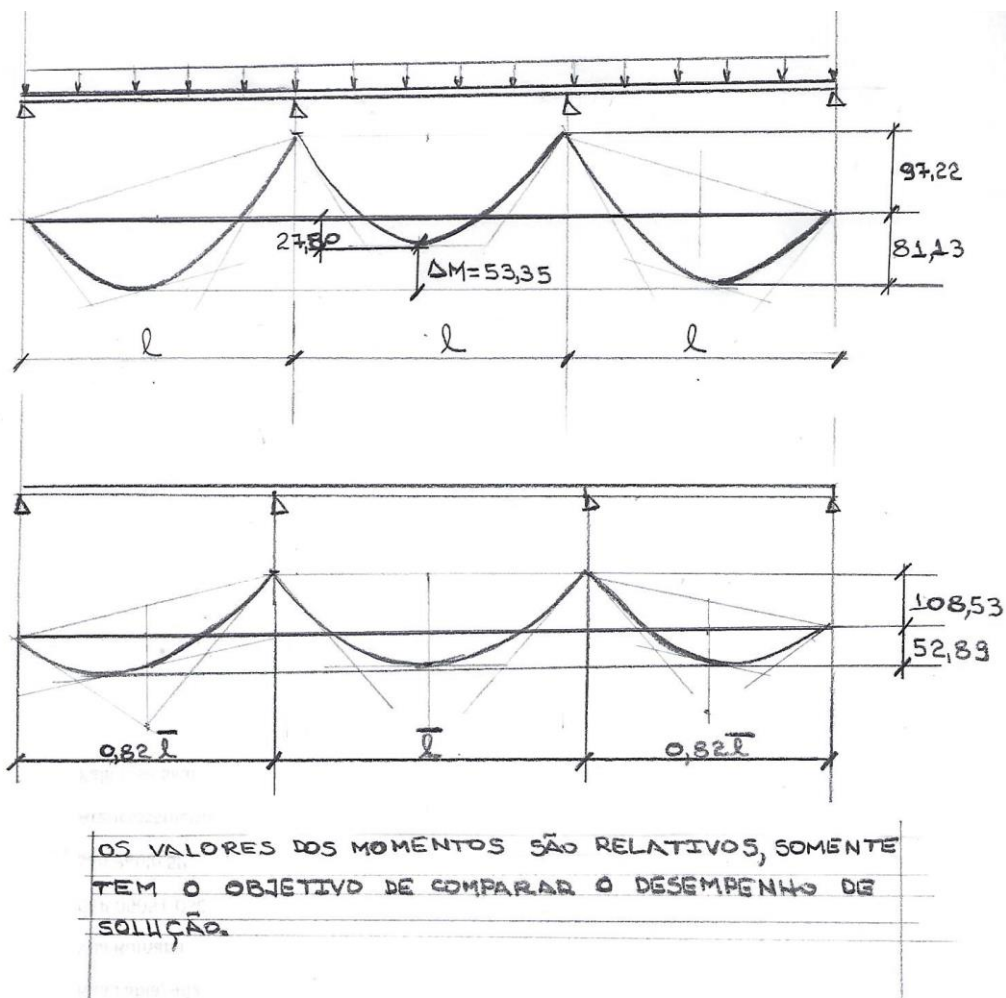


## 5º PRINCÍPIO (Distribuição dos vãos)

A modulação adequada dos vãos de um sistema estrutural hiperestático condiciona a concepção e o desempenho.

A figura abaixo mostra o caminho para a modulação otimizada, nem sempre possível de ser obtida pelo que se segue:

- A implantação está condicionada as interferências da vias inferiores, por exemplo, modulação das pistas, sendo somente viável colocação de pilares nos canteiros centrais.
- Viabilidade de desapropriações nas extremidades das obras.
- Aspectos relacionados ao método construtivo.
- Inteirações entre os itens acima citados.



## 6º PRINCÍPIO (Eficiência dos elementos estruturais em função da solicitação)

Os modos de solicitação dos elementos estruturais também influem no seu desempenho.

Decresce como se segue:

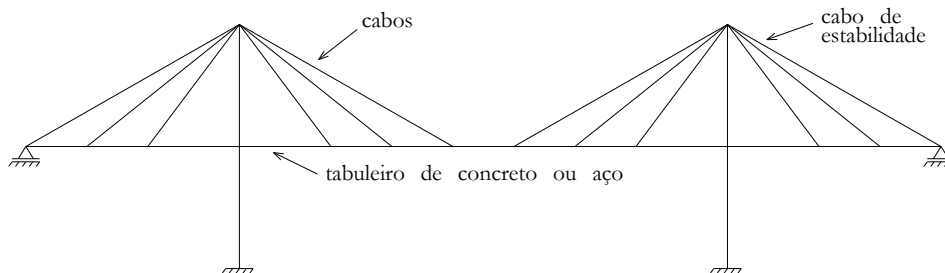
### -Força Normal.

Nos elementos estruturais sujeitos a forças normais, o campo de tensões, na seção transversal, é uniforme, otimizando o uso da mesma.

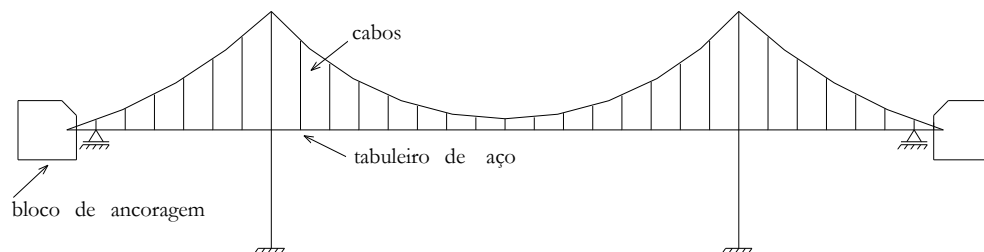
Os elementos estruturais de concreto com força normal à compressão tendem a ter melhor desempenho pela redução da fissuração e conseqüente aumento de rigidez, por exemplo nas pontes estaiadas (tabuleiro comprimido pela componente horizontal da força nos estais), pilares, estruturas aporticadas, etc. Mas a tensão de compressão deve ser limitada não somente as tensões resistentes como também as tensões de flambagem que podem a levar a perda de estabilidade do elemento estrutural.

O mesmo vale para os elementos estruturais em aço, as regiões comprimidas, tendem a apresentar problemas de estabilidade que devem ser controlados com a concepção de enrijecedores locais (flambagem da mesa, da alma, por flexo-torção, etc), além do controle da fadiga nas obras com carga variável (pontes, pontes rolantes, eixo de máquinas, etc).

Por outro lado, os elementos estruturais em aço sujeitos a esforços de tração, apresentam excelente desempenho, pois tem a utilização plena da seção transversal, e não estão sujeitas a perda de estabilidade por flambagem. Como exemplo de aplicação destes elementos, podemos citar os estais de pontes estaiadas e os tirantes das pontes pênséis, lembrando que verificações adicionais são necessárias como a verificação da fadiga e efeitos dinâmicos devido a atuação das cargas de vento.



Ponte Estaiada

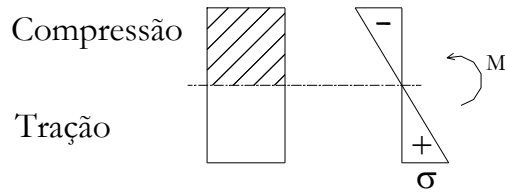


Ponte Pênsil



-Momento Fletor/Força Cortante.

As seções retangulares têm menor aproveitamento, sendo quando possível, seções tipo I ou seções celulares, casos nos quais a espessura da alma fica condicionada ao controle do cisalhamento, detalhamento adequado e condições favoráveis de concretagem.



-Momento Torçor.

As seções maciças apresentam pior desempenho, uma vez que a parte central pouco contribui para o equilíbrio do esforço aplicado. As seções vazadas são de melhor desempenho, principalmente em obras curvas em planta, na qual boa parte dos esforços de torção são decorrentes do peso próprio da superestrutura.

