

# Dimensionamento

A partir da informação das cargas inicia-se o dimensionamento dos elementos estruturais.

O dimensionamento é feito após a identificação dos esforços atuantes sobre cada elemento que compõe a estrutura. Escolhe-se o material mais indicado para absorver as cargas, considerando aspectos construtivos, econômicos, arquitetônicos, segurança, durabilidade e manutenção.

Os esforços abaixo ilustrados são:

a- Tração

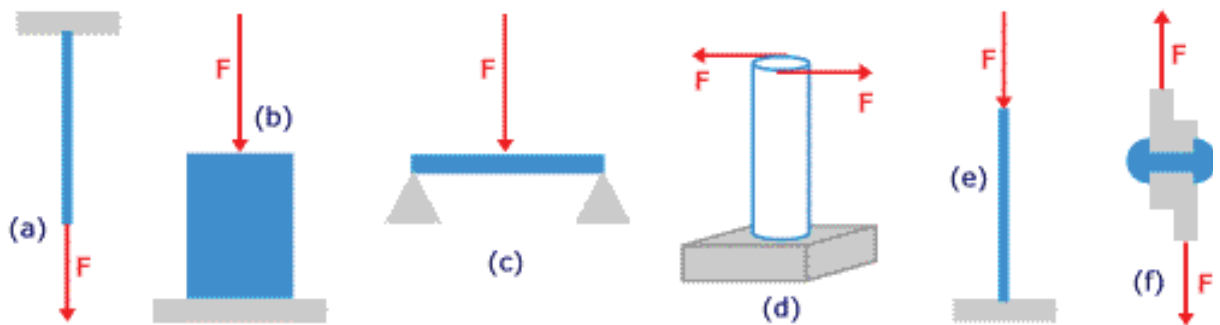
b- Compressão

c- Flexão

d- Torção

e- Flambagem

f- Cisalhamento ou corte



## Esforços de Tração e Compressão

Nos esforços de tração e compressão as forças externas são axiais (perpendiculares a seção transversal), e causam alongamento ou encurtamento da barra.



### Alongamento ( $\Delta L$ )

$$(1) \Delta L = L1 - L0$$

### Deformação unitária ( $\varepsilon$ )

$$(2) \varepsilon = \Delta L / L0$$

O alongamento mede o aumento ou diminuição no comprimento da peça submetida a tração ou compressão, a deformação unitária relaciona este alongamento com o comprimento inicial da peça.

### Tensão ( $\sigma$ )

A tensão expressa a resistência que o material oferece a sua deformação.

Para tração e compressão, o seu valor é definido pela razão entre força externa e área da seção transversal.

$$(3) \sigma = P / A$$

### **Exemplos numéricos:**

1- Calcular o alongamento de uma barra que ao ser tracionada passou de um comprimento de 40 cm , para 40,01 cm.

$$\Delta L = 40,01 - 40 = 0,01 \text{ cm}$$

2- Qual a deformação unitária para estes mesmos dados numéricos?

$$\varepsilon = 0,01 \text{ cm} / 40 \text{ cm} = 0,00025$$

( observação: deformação unitária não tem unidade )

3- qual a tensão gerada em uma barra de 2 cm de diâmetro que foi tracionada por uma força de 3000 kgf ?

$$\sigma = P / A \quad \sigma = 3000 \text{ kgf} / \pi \times (2 \text{ cm})^2 / 4 = 9.424,8 \text{ Kgf /cm}^2$$

**O dimensionamento das estruturas submetidas a tração ou compressão será feito em função da resistência de cada material e da carga externa atuante.**

4 – Dimensionar um pilar quadrado com um furo de dois centímetros que será submetido a uma carga de 800 Kgf.

Tensão admissível ( resistência ) = 100 kgf / cm<sup>2</sup>

$$\sigma = P / A \quad A = P / \sigma = 800 / 100 = 8 \text{ cm}^2$$

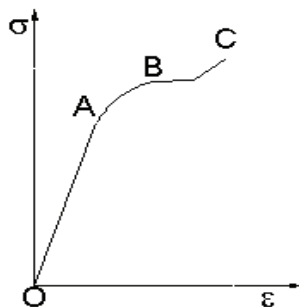
$$A = a^2$$

$$8 \text{ cm}^2 = a^2 - \pi \times (2)^2 / 4$$

$$a = (8 + \pi)^{1/2} = 3,33 \text{ cm}$$

O dimensionamento aos esforços de tração ou compressão se resume a calcular dados que resultem na área necessária para que a tensão que ocorrer, não seja superior a tensão admissível. (a tensão admissível é obtida da divisão da tensão de ruptura pelo coeficiente de segurança)

### Diagrama tensão deformação



Este gráfico ilustra o comportamento de um material submetido a um esforço de tração, relacionando as tensões geradas pela aplicação de uma força de intensidade variável e as deformações correspondentes.

Observa-se que inicialmente as deformações são proporcionais as tensões.

A partir de um determinado valor as deformações passam a ocorrer com maior intensidade que as forças que as geram.

Em um determinado momento as deformações ocorrem sem um aumento sensível de tensão (escoamento), logo após ocorre a ruptura.

Verifica-se experimentalmente, que na região identificada entre os pontos **O** e **A**, as deformações são reversíveis e esta região é chamada de **zona elástica**. A partir do ponto **A** as deformações são permanentes e esta região **AC** é chamada de **zona plástica**. No ponto **B** ocorre a **tensão de escoamento** e no ponto **C** ocorre a **tensão de ruptura**.

A linha reta entre A e B forma um triângulo retângulo com os eixos do gráfico.

Chamando de alfa o ângulo formado com o eixo das deformações temos que a tangente de alfa será igual a divisão entre tensões e deformações.

Este ângulo e conseqüentemente a sua tangente tem valor proporcional a resistência que o material oferece a sua deformação. Ao valor desta tangente se dá o nome de **Módulo de Elasticidade** que expressa uma propriedade que varia de material para material conforme dados abaixo:

E aço = 2.100.000 kgf/cm<sup>2</sup>

E concreto = 210.000 kgf/cm<sup>2</sup>

E madeira de pinho = 106.000 kgf/cm<sup>2</sup>

Do triângulo do diagrama tiramos a expressão ( 4 )  $\sigma = E \epsilon$  (**Lei de HOOKE**)

Conhecendo-se o Módulo de Elasticidade de um material é possível estabelecer limites para as forças externas a serem aplicadas e, também, para as deformações que poderão ocorrer sobre ele.

Conhecendo-se também o coeficiente de dilatação é possível estabelecer limites para as deformações térmicas para que não ocorram dilatações que possam causar danos as estruturas.

**Juntas de dilatação** São folgas deixadas nas estruturas para evitar ou diminuir as tensões que serão geradas por dilatações ou retrações causadas por variações de temperatura.

$\alpha$  = coeficiente de dilatação linear  $\Delta t$  = variação de temperatura L = comprimento da peça  $\Delta L$  = variação do comprimento

$$5) \alpha = \Delta L / L \Delta t$$

$$\alpha \text{ aço} = 1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad \alpha \text{ concreto} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

**x = comprimento da junta de dilatação** A fórmula abaixo é deduzida das anteriores.

$$x = \alpha L \Delta t - \sigma L / E$$

Comparação das tensões em duas barras de mesmo comprimento submetidas a mesma variação de temperatura (40°C)

**Observação:** Para ocorrerem tensões em estruturas submetidas a variações de temperatura elas tem que estar impedidas de se deformar.

$$\sigma = E \Delta L / L \quad \Delta L = \alpha L \Delta t \quad \sigma = E \alpha L \Delta t / L \quad \sigma = E \alpha \Delta t$$

$$\sigma_{\text{aço}} = 2,1 \times 10^6 \times 1,2 \times 10^{-5} \times 40 = 1008 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{concreto}} = 2,1 \times 10^5 \times 1,0 \times 10^{-5} \times 40 = 84 \text{ kgf/cm}^2$$

Como se pode observar a variação de temperatura causa maiores tensões no aço que no concreto

## Pilares ( Flambagem )

Os pilares são estruturas submetidas a compressão, flexão (cargas excêntricas ou oblíquas) e flambagem.

Diferentemente do que ocorre nos esforços de tração e compressão, na flambagem e na flexão a forma da seção transversal tem influência na sua resistência porque, ao invés da área, a resistência depende do **Momento de Inércia**.

$\pi = 3,1415\dots$  ( Os valores numéricos após as letras são expoentes ) altura elevada ao cubo diâmetro na quarta potência

## Fórmula de Euler (Carga máxima de flambagem)

$P_{cr}$  = É a carga limite, acima da qual pode ocorrer flambagem

$$P_{cr} = \pi^2 E I_{min} / L^2 \quad P_{cr} = 9,87 \times E \times I_{min} / L^2$$

(dois significa elevado ao quadrado)

E = Módulo de Elasticidade do material  $I_{min}$  = Momento de Inércia Mínimo  $\pi = 3,14$  L = comp. de flambagem

$I_{min}$  significa o menor Momento de Inércia da seção, para seções retangulares o menor valor é que deve ser elevado ao cubo.

valor da carga crítica é proporcional ao Módulo de Elasticidade e como o aço resiste grandes cargas a compressão, podendo ter menores dimensões na seção transversal, os comprimentos limites são menores que os do concreto.

**Se comprova, através dos cálculos, que as seções transversais mais eficientes a flexão e flambagem são as que tem maior concentração de material na periferia. Na flambagem as seções ocas são mais eficientes ( nas peças de concreto moldado "inloco" dificilmente se utiliza em função da dificuldade na confecção das formas e conseqüentemente dos custos de execução )**

**A seguir apresenta-se algumas considerações de NORMA para a execução de pilares de concreto armado:**

Dimensão mínima para seção transversal igual a 20 cm.

Os pilares de concreto armado terão taxa de armadura ( $A_f / A_c$ ) entre 0,5% e 6,0%.

Deve se estar atento para as considerações de NORMA tais como espaçamentos máximos e mínimos entre barras da armadura

Os estribos terão diâmetro mínimo de 5 mm e espaçamento não superior a:

30 cm ;

12d ;

190 dest / 2/d dest = diâmetro do estribo d= diâmetro longitudinal

Abaixo apresenta-se **fórmula para dimensionamento de pilares** de concreto armado com índice de esbeltez menor que quarenta:

Índice de Esbeltez é determinado pela divisão do raio de giração pelo comprimento de flambagem.

raio de giração é calculado pela raiz quadrada do quociente entre o momento de inércia e a área da seção transversal.

$$P \times 1,4 = A_c \times f_{ck} \times 1,4 + A_f \times 4000 \text{ ( Para ferros tipo CA 50 A )}$$

P = carga atuante (Kgf )

$A_c$  = área do concreto (cm<sup>2</sup>)

$A_f$  = área da armadura utilizada (cm<sup>2</sup>)

$f_{ck}$  = resistência de cálculo para o concreto ( Kgf/cm<sup>2</sup> )

## **Dimensionamento a flexão**

**Grande parte dos elementos estruturais usuais na construção civil são submetidos ao esforço de Flexão.**

**As vigas, lajes, marquises, sacadas, beirais, reservatórios, escadas e até alguns pilares se submetem a flexão.**

**A deformação de flexão é uma rotação, em torno de um eixo longitudinal, das seções transversais das peças submetidas a Momentos Fletores. O eixo é denominado de linha neutra e todas as fibras longitudinais não coincidentes com a linha neutra sofrem deformações de tração ou compressão dependendo da sua posição acima ou abaixo da referida linha.**

**A linha neutra coincide com o centróide da seção transversal e, para a sua localização serão utilizados formulários próprios.**

**Pode se afirmar que os Momentos Fletores são a causa da Flexão.**

Seus valores dependem dos valores, tipos (concentradas ou distribuídas) e posicionamento das cargas atuantes, do tipo de vinculação nas extremidades (apoio, rótula ou engaste) bem como dos vãos das peças, sendo normalmente variável ao longo do seu comprimento.

Diferentemente dos esforços de tração e compressão, a resistência aos esforços de Flexão depende do formato da seção transversal, pois varia em função do Momento de Inércia.

Momento de Inércia é uma grandeza que representa a resistência que uma seção transversal oferece a sua rotação. Quanto maior o momento de Inércia de uma seção, maior a sua resistência a flambagem e flexão.

Os valores dos Momentos de Inércia são calculados em formulário próprio e, quando são utilizados perfis metálicos padronizados os seus valores são encontrados em tabelas fornecidas pelos fabricantes.

Para seção retangular  $I = b h^3 / 12$

Para seção circular  $I = \pi \times d^4 / 64$

Para seção circular oca  $I = \pi \times ( D^4 - d^4 ) / 64$