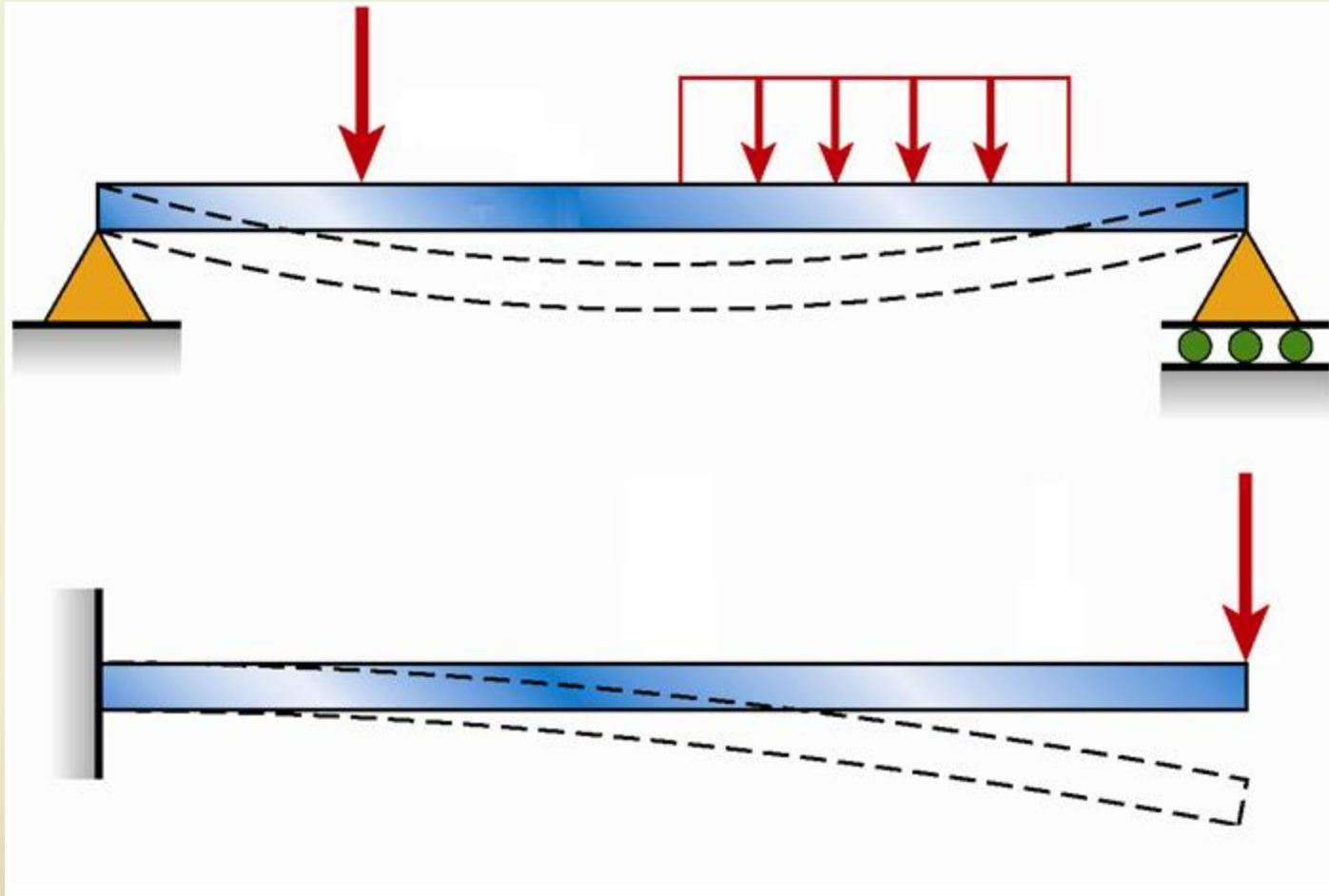


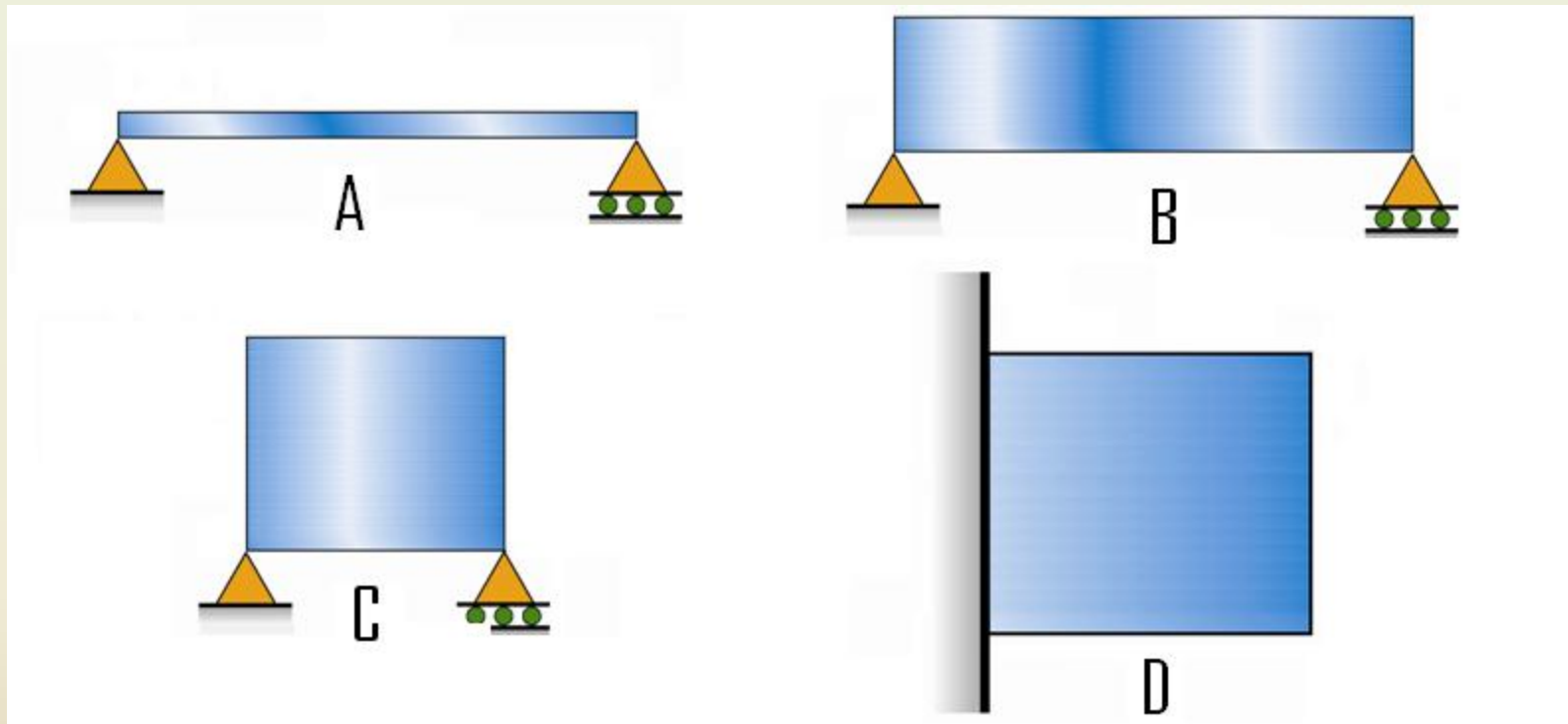


# **Vigas Altas em Alvenaria Estrutural**

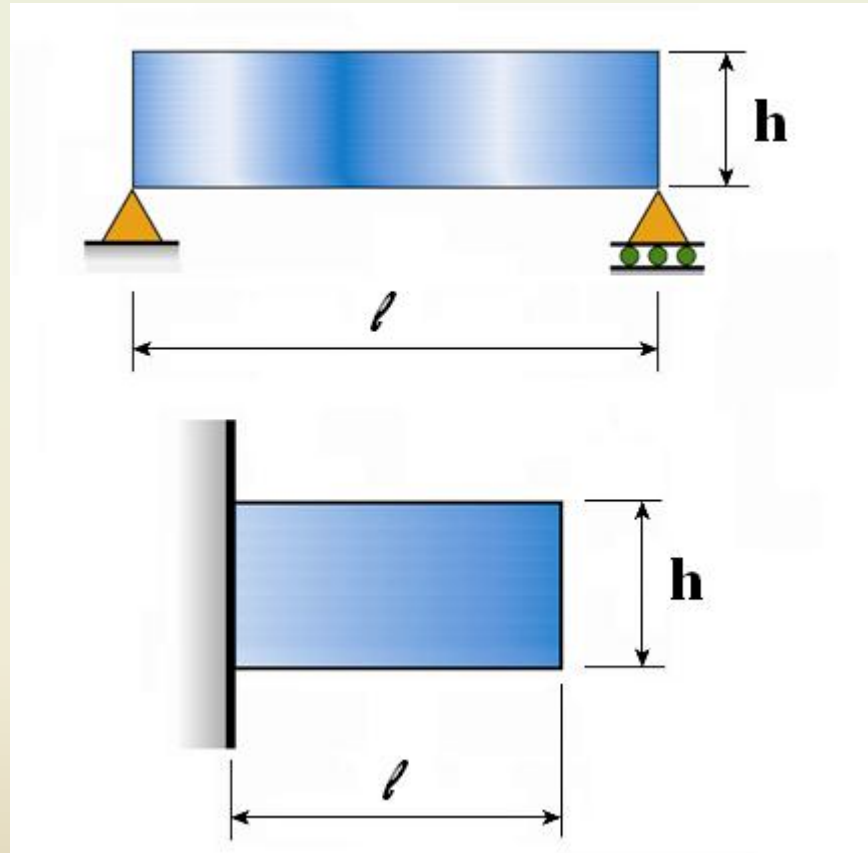
**Fernando Fonseca, Ph.D., S.E.**

**Brigham Young University - Utah - USA**





**(essa é uma pegadinha)**

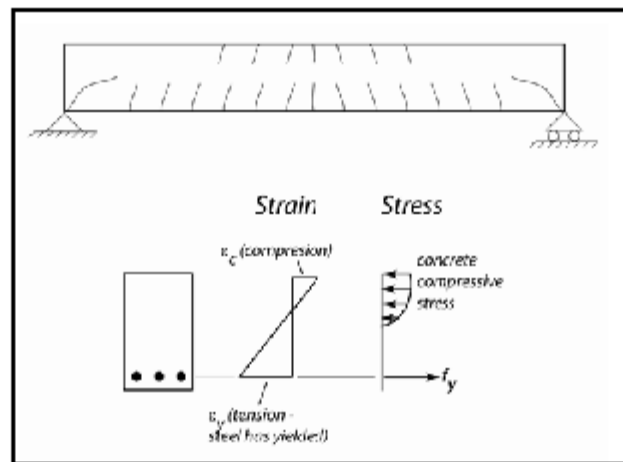
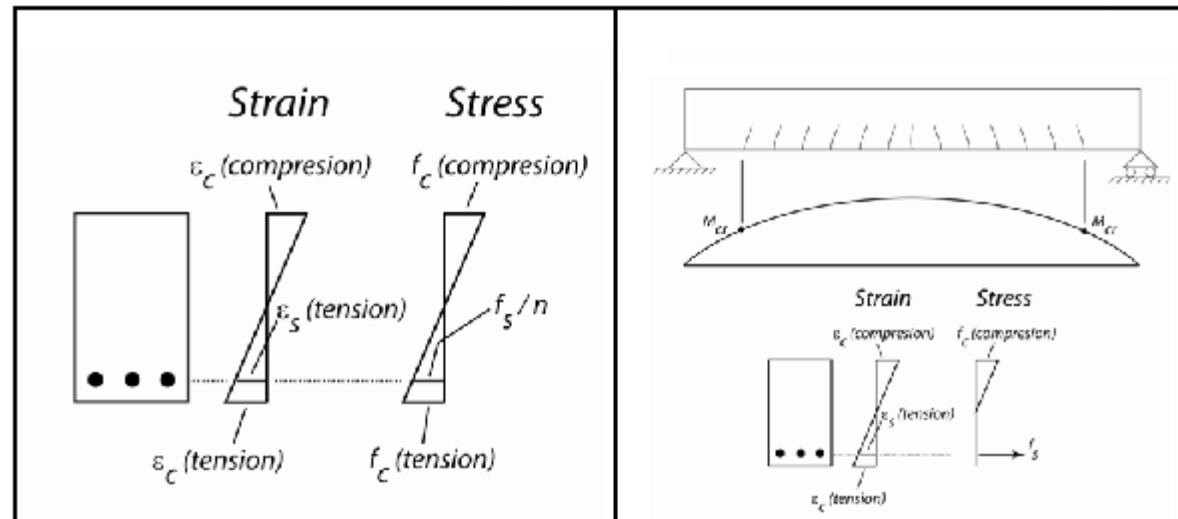




**Qual é o problema se a viga é alta?**

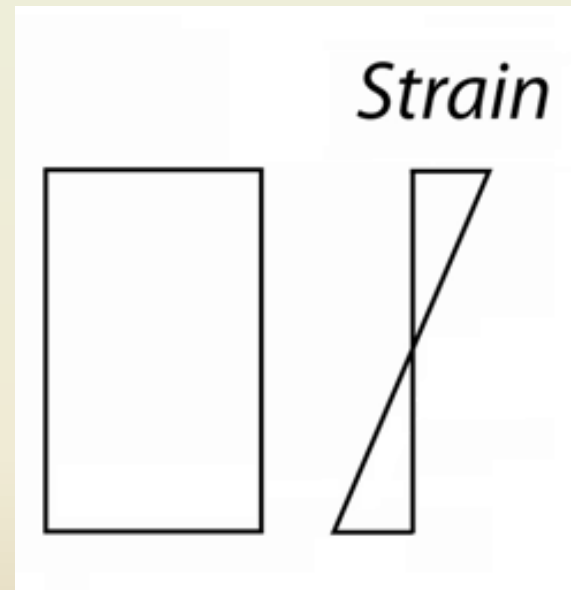
**Distribuição das deformações na secção transversal**

# Comportamento de uma viga submetida a flexão

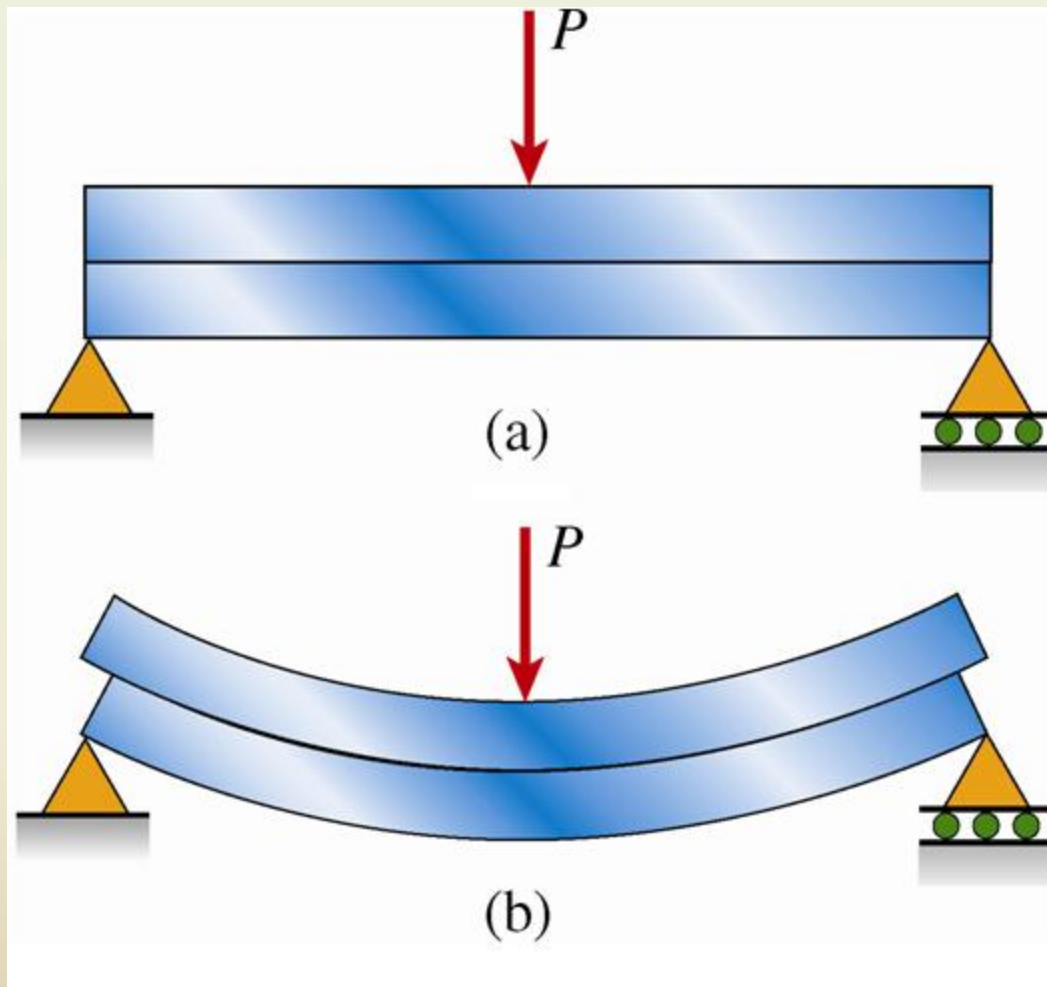


**Em flexão a distribuição das deformações é linear**

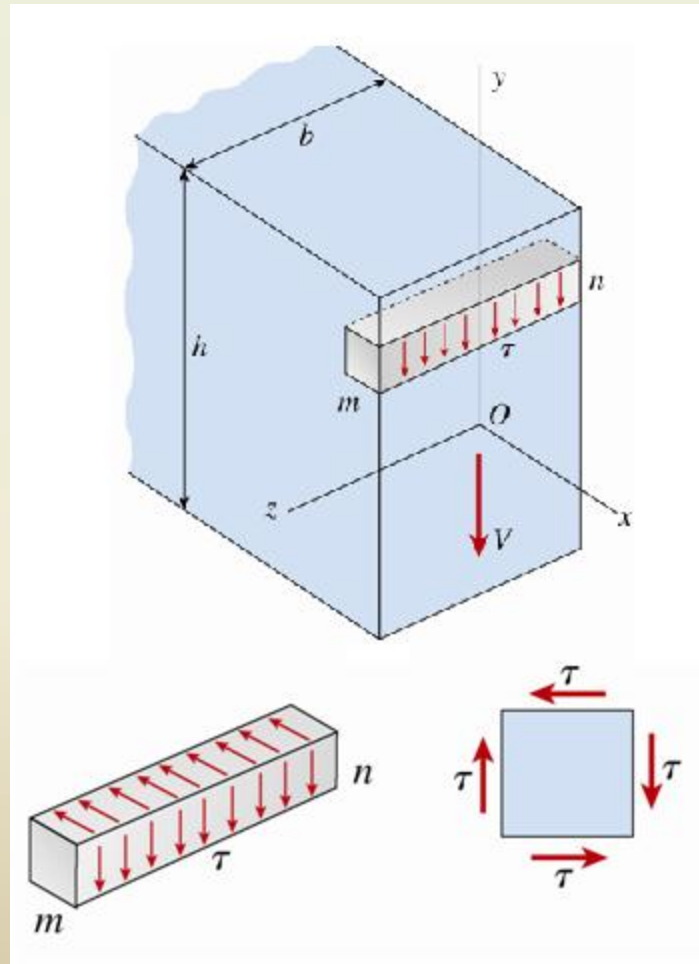
$$\sigma = \frac{M c}{I}$$



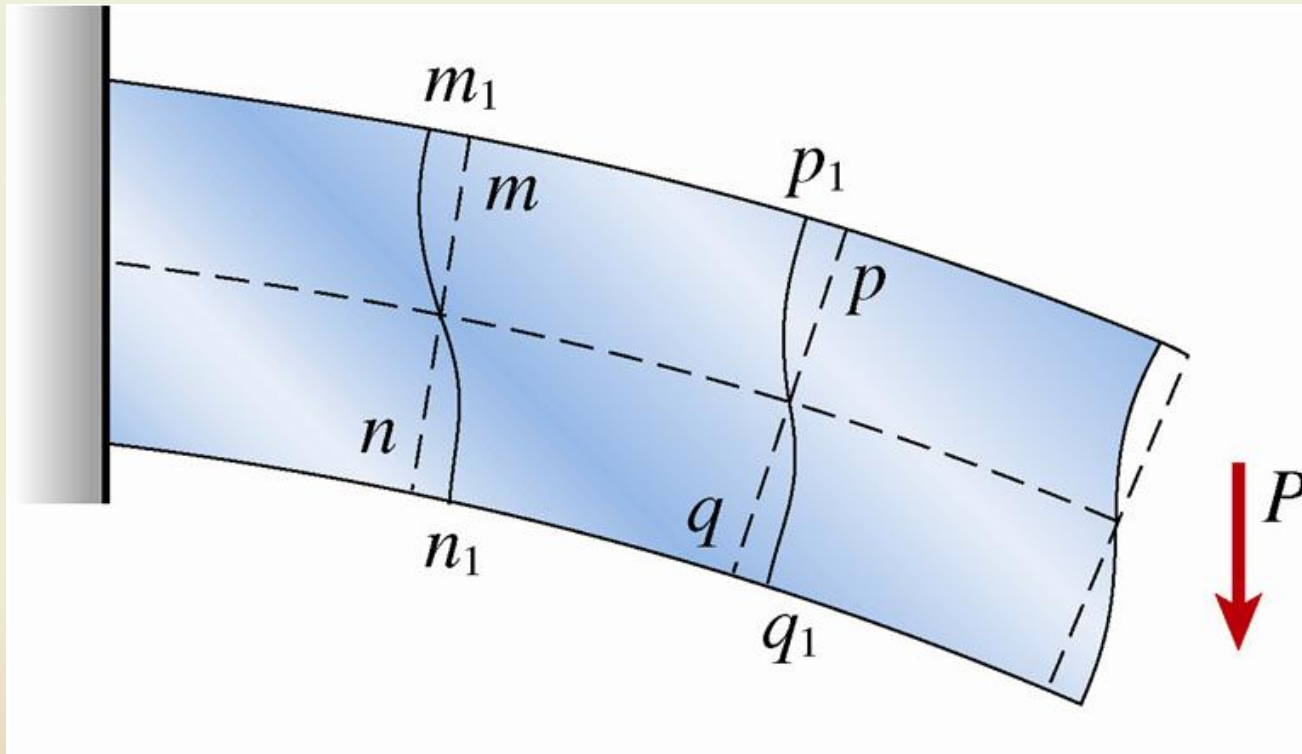




# Tensão de Cisalhamento



# Empenamento devido as tensões de cisalhamento

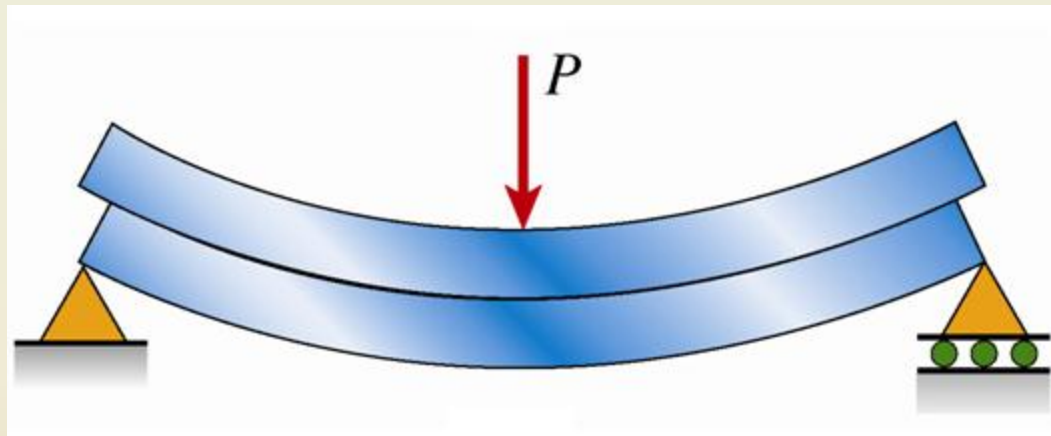


**A distribuição das deformações não é linear**

$$\tau = \frac{V Q}{I b}$$

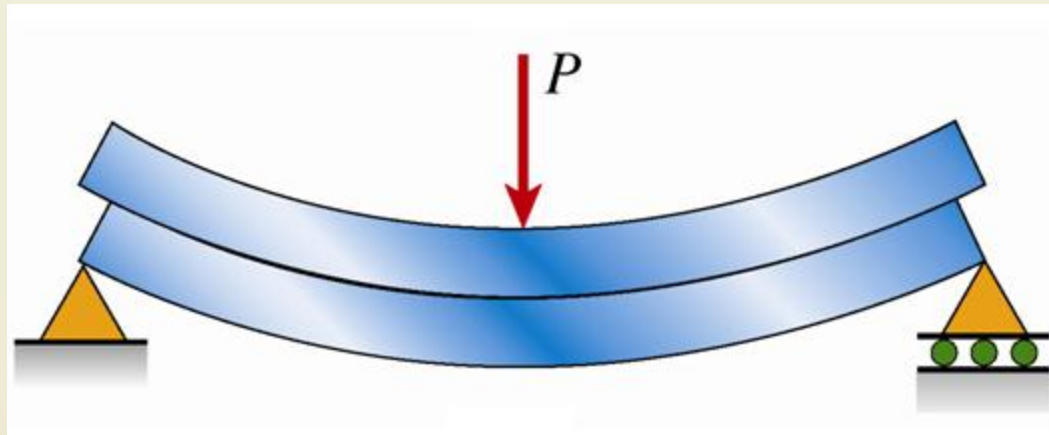
**Q é uma função quadrática**

**Quais são as consequências de se negligenciar as tensões de cisalhamento numa viga baixa?**



**As consequências são insignificantes**

**Quais são as consequências de se negligenciar as tensões de cisalhamento numa viga alta?**

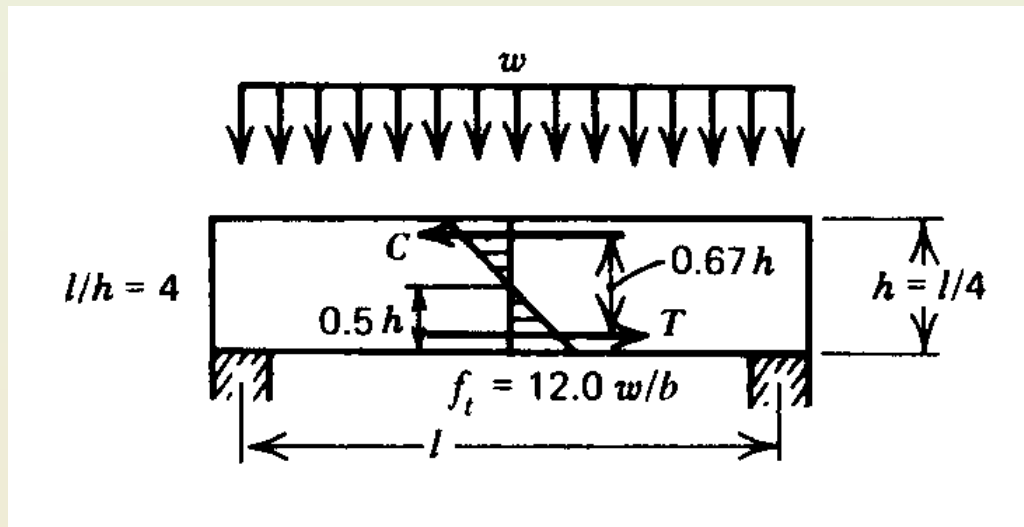


**Essa é uma pegadinha também**

**Desenvolvimento teórico das tensões em vigas altas - Dischinger, F. (1932)**

**Investigação experimental em vigas altas de concreto armado - Leonhardt, F. and Walther, R. (1966)**

# Tensão — Medida vs. Calculada

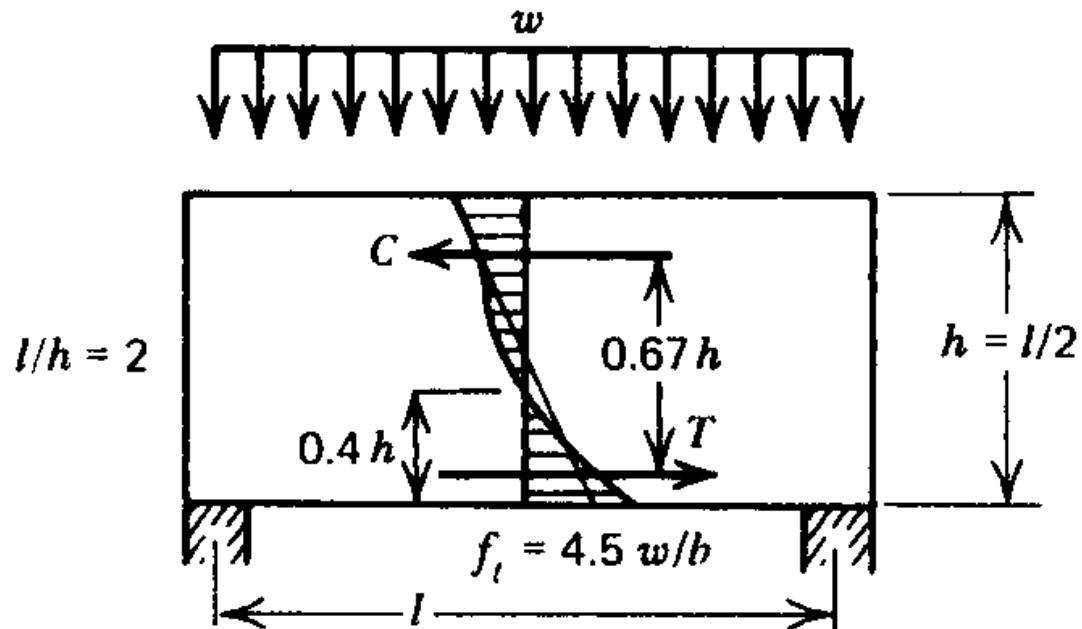


$$\sigma = \frac{M y}{I}$$

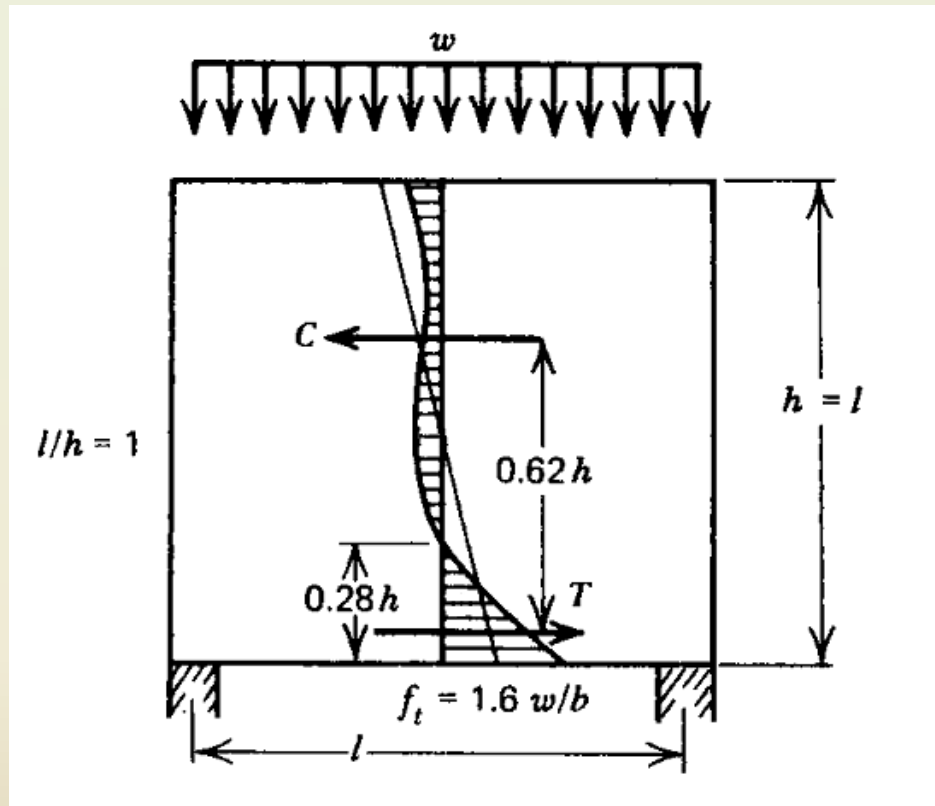
$$M = \frac{w l^2}{8}; I = \frac{b h^3}{12}; y = \frac{h}{2}; \text{ and } h = \frac{l}{4}$$

$$\sigma = 12.0 \frac{w}{b}$$

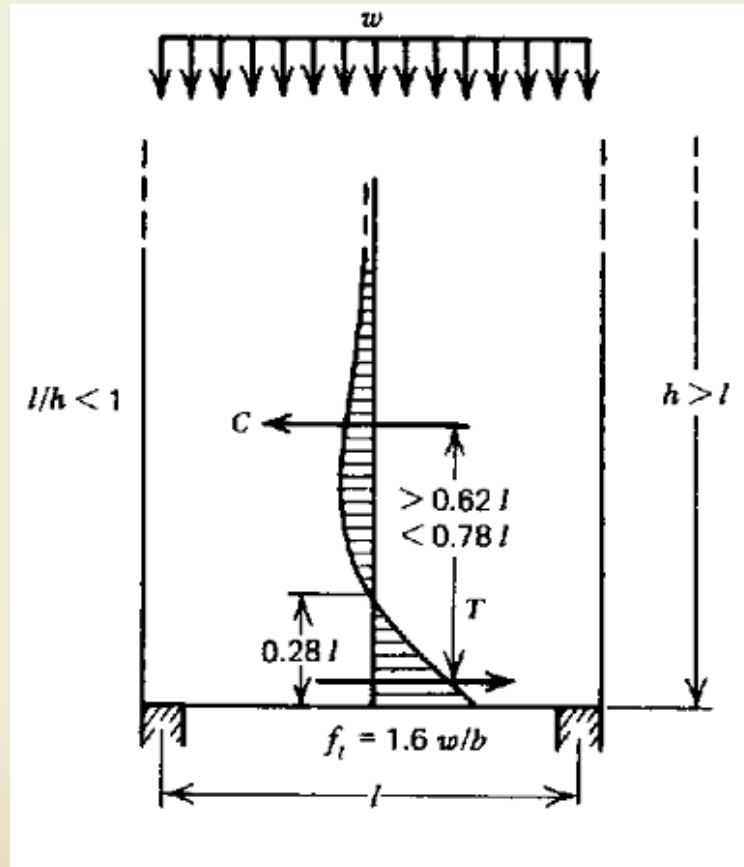




$$\sigma = 3.0 \frac{w}{b}$$



$$\sigma = 0.75 \frac{w}{b}$$



$$\sigma = 0.75 \frac{w}{b}$$

**Quais são as consequências de se negligenciar as tensões de cisalhamento numa viga alta?**

**Projeto contra a segurança?**

# Concreto armado

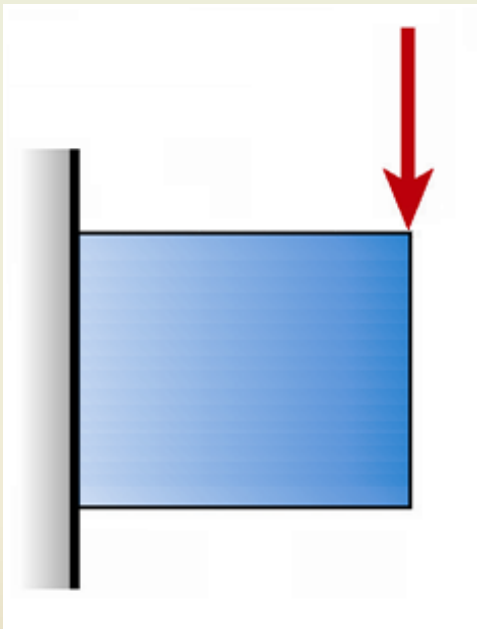
**Engenheiros nos USA tem incluído a muito tempo os efeitos das tensões de cisalhamento em vigas altas**

**Modelos Biela-Tirantes**

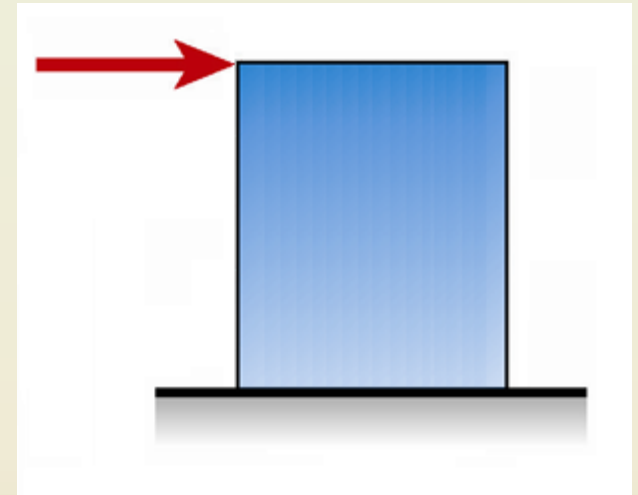
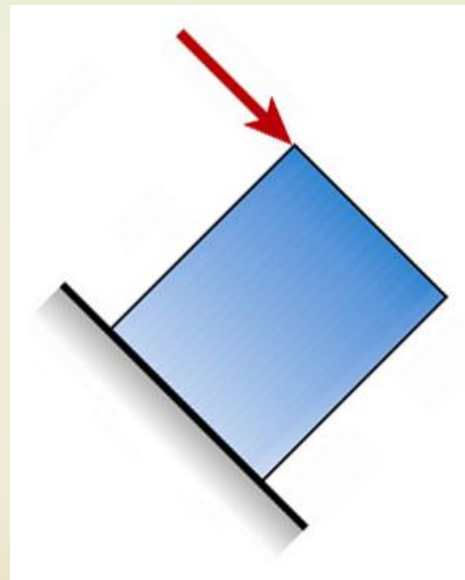
## **E na alvenaria Estrutural?**

**NÃO**

**10-12 anos atrás as pessoas envolvidas no desenvolvimento das normas de alvenaria estrutural começaram a receber perguntas dos engenheiros sobre o que fazer quando vigas de alvenaria são altas**

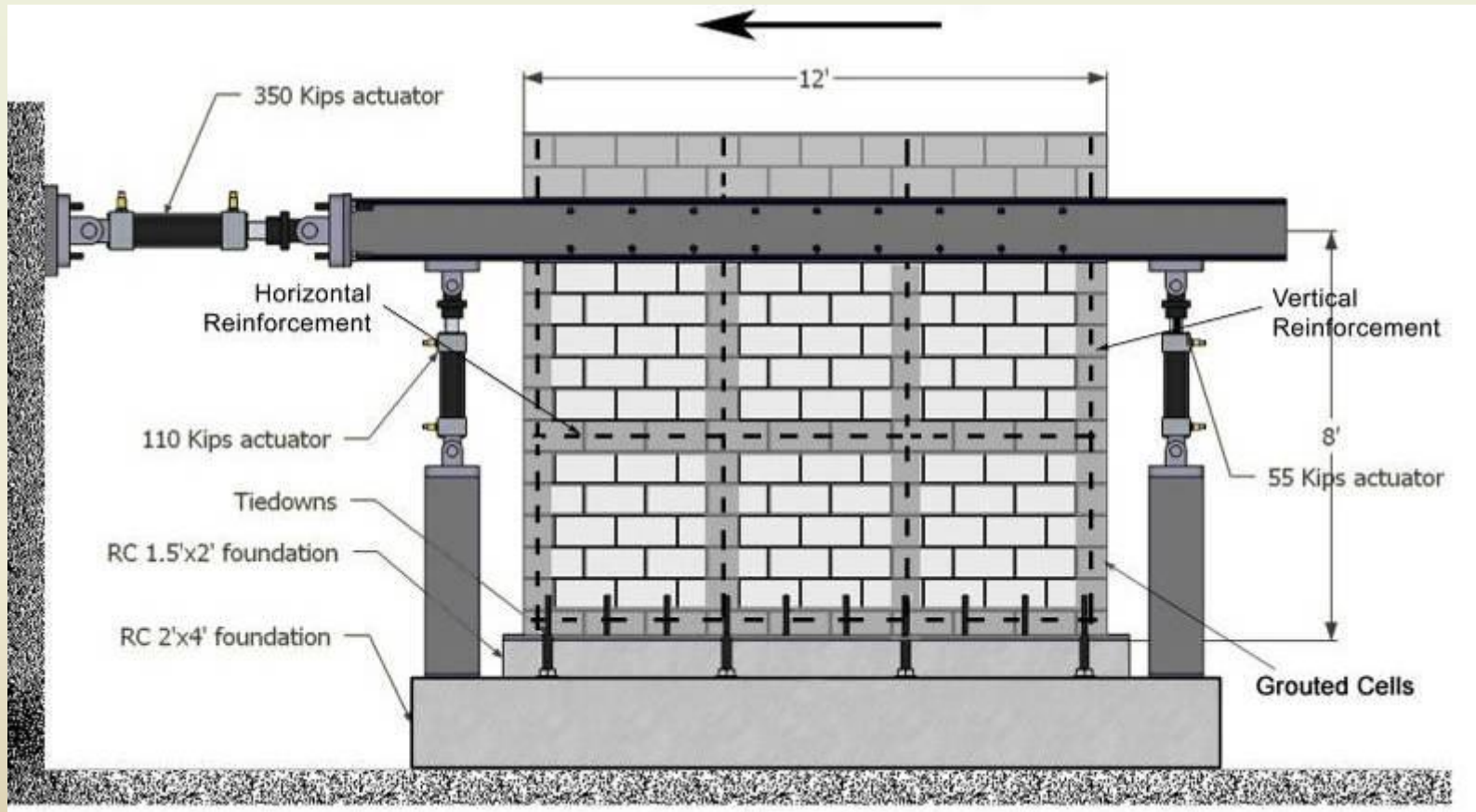


**“Viga”**

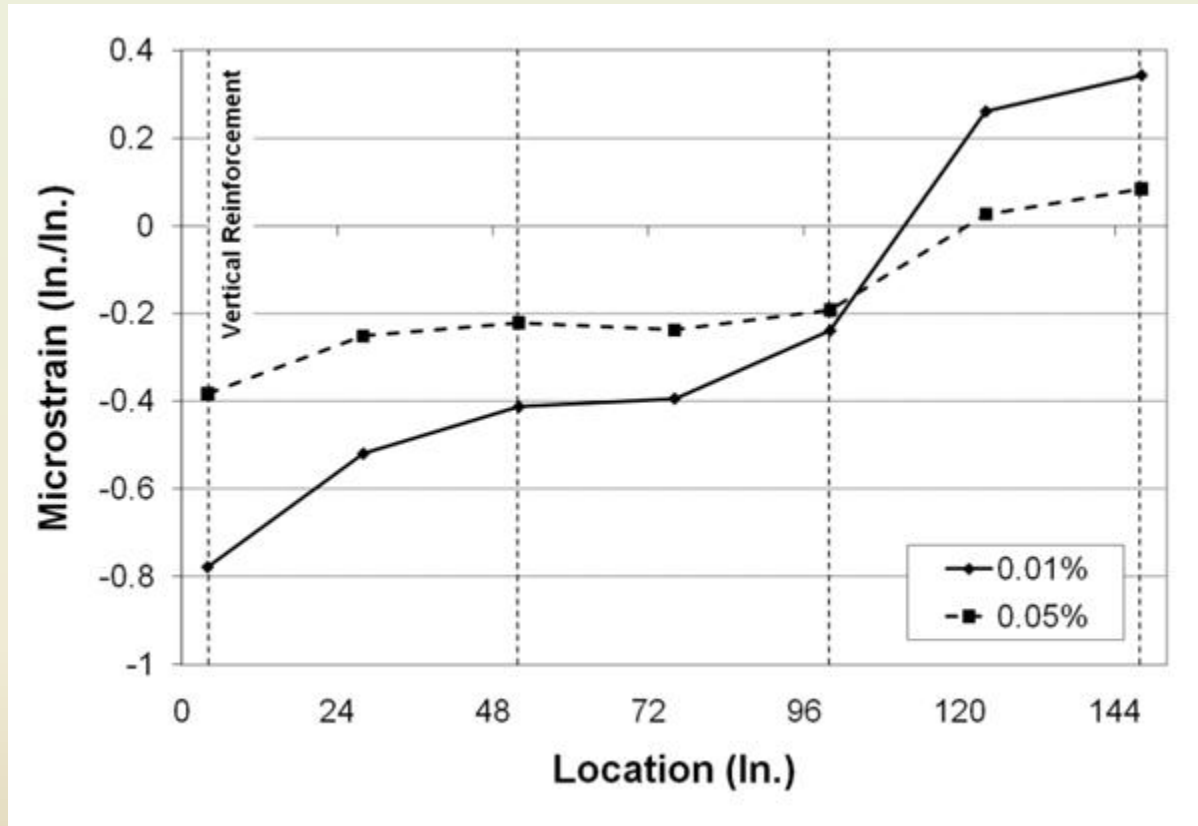


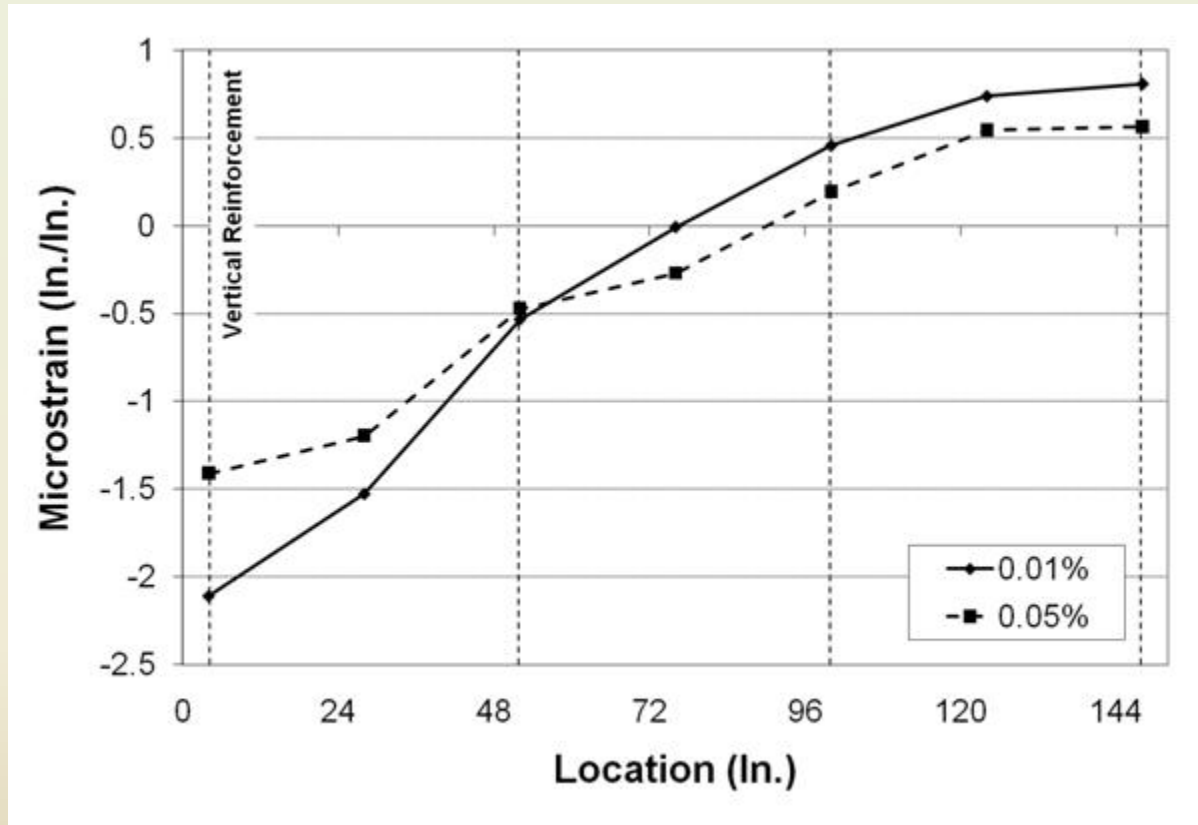
**“Parede”**

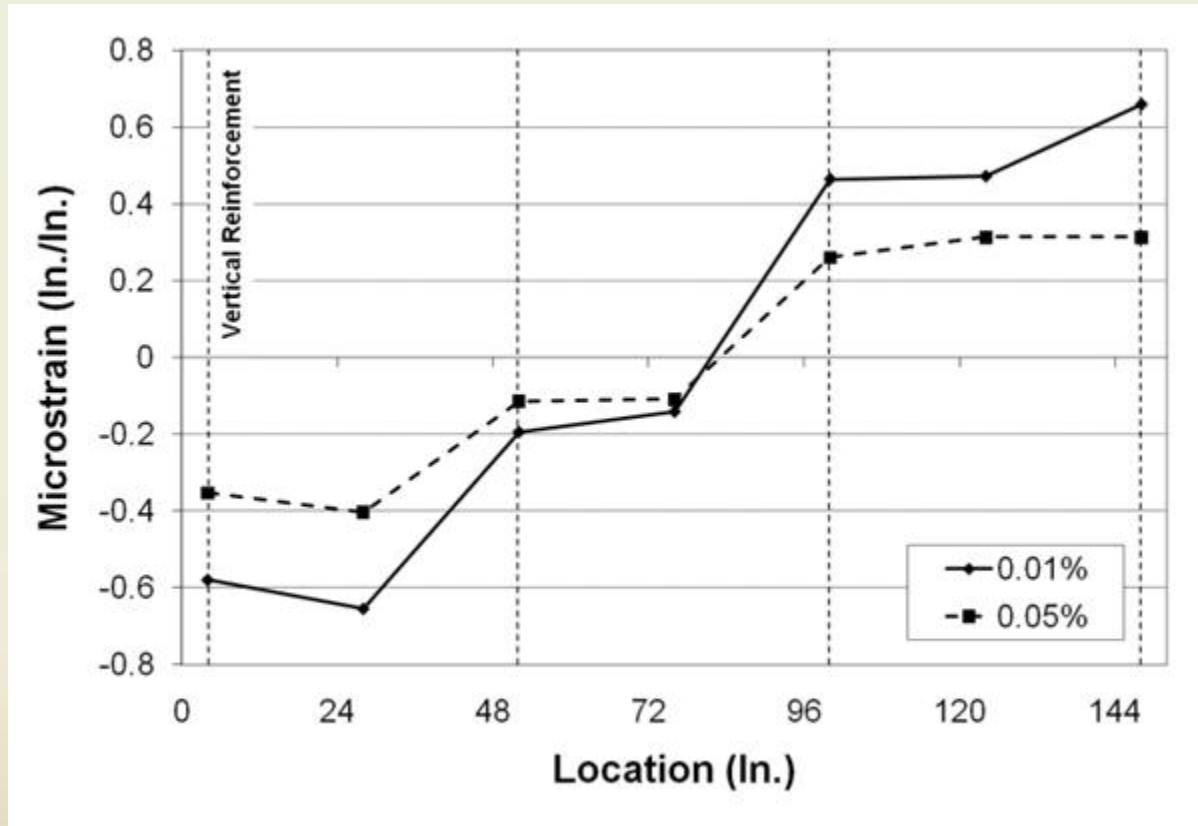
# Pesquisas Recentes











## **“Timeline”**

**2005-6 – Revisão Bibliográfica**

**2007-8 – Escrever as Normas**

**2009 – Aprovação pelos Comitês**

**2010 – Aprovação Geral**

**2011 – Publicação das Normas**

# **MSJC DEEP BEAMS REQUIREMENTS**

**Fernando S. Fonseca, Sunup Mathew and  
Richard M. Bennett**

**The Masonry Society Journal**

**Vol. 29, No. 1, pp. 49-61**

## **As MSJC Normas constituem o seguinte**

- **Definição do que é uma viga alta**
- **Metodologia para dimensionamento**
- **Requerimentos para a armadura de flexão**
- **Requerimentos para a armadura de cisalhamento**
- **Requerimentos para a armadura geral**

# Definições em outras normas

<b>ACI</b>	<b>Razão entre o vão e a altura <math>\leq 4</math></b>
<b>ASCE-7</b>	<b>Razão entre o vão e a altura <math>&lt; 2.5</math> para vigas contínuas ou <math>&lt; 1.25</math> para vigas simples</b>
<b>BS</b>	<b>Razão entre o vão e a altura <math>&lt; 1.5</math></b>
<b>CSA</b>	<b>Razão entre o vão e a altura <math>&lt; 2.5</math> para vigas contínuas ou <math>&lt; 2</math> para vigas simples</b>
<b>EN</b>	<b>Razão entre o vão e a altura <math>\leq 2</math></b>
<b>NZS</b>	<b>Razão entre o vão e a altura <math>&lt; 2.5</math> para vigas contínuas ou <math>&lt; 1.25</math> para vigas simples</b>

**Problemas: Vão e Altura**

# MSJC Definição

**Viga Alta - viga que tem a razão entre o vão efetivo e a altura da viga ( $l_{\text{eff}}/d_v$ )  $< 2$  para vão simples e  $< 3$  para vão contínuo**

**Vão efetivo é o menor valor entre:**

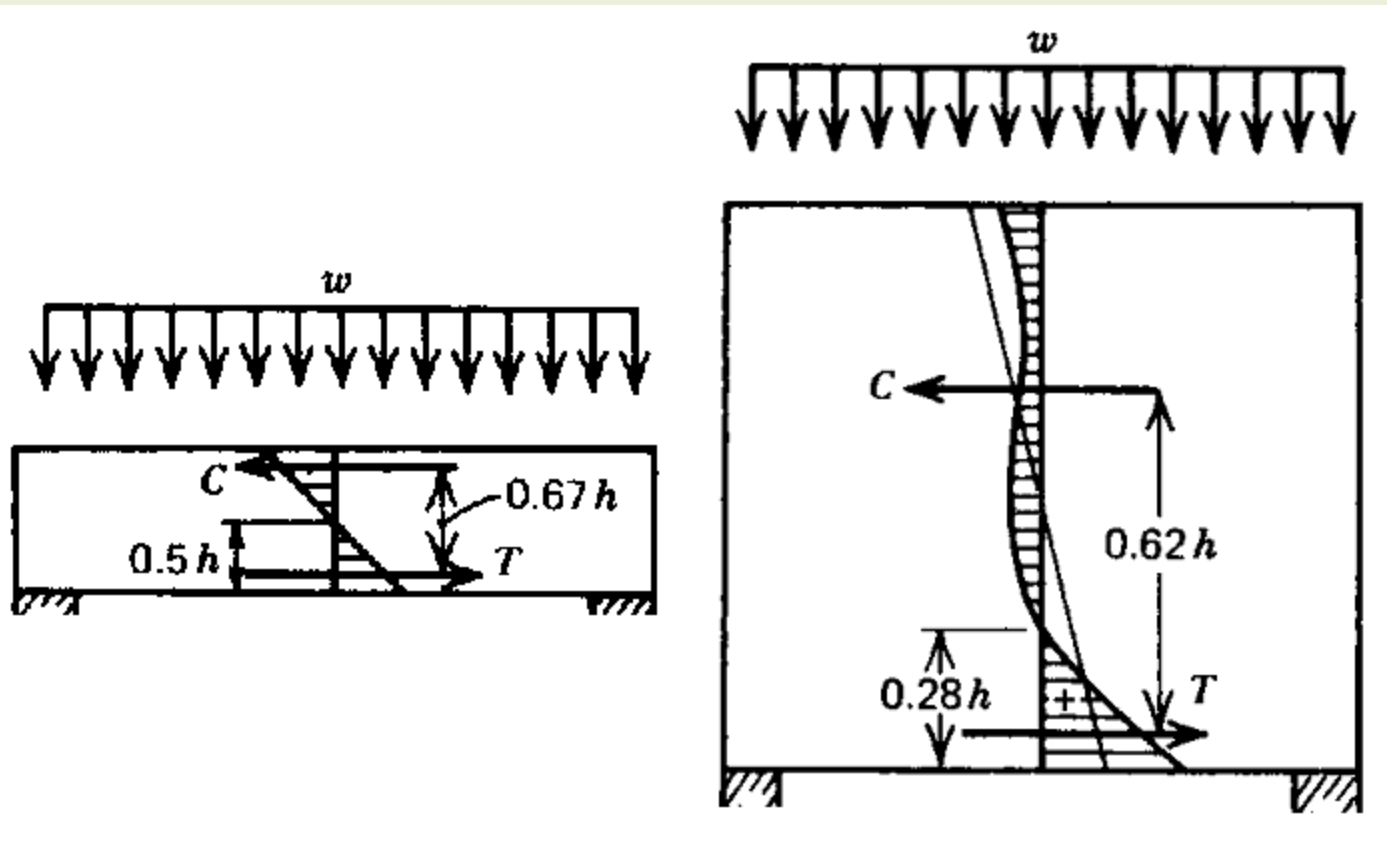
**A distancia entre os centros dos apoios da viga, ou  
1,15 multiplicado pela distancia entre as faces dos apoios**

**O uso do vão efetivo reconhece que o ponto da rotação da viga está entre a distancia entre as faces dos apoios e a distancia entre os centros dos apoios.**



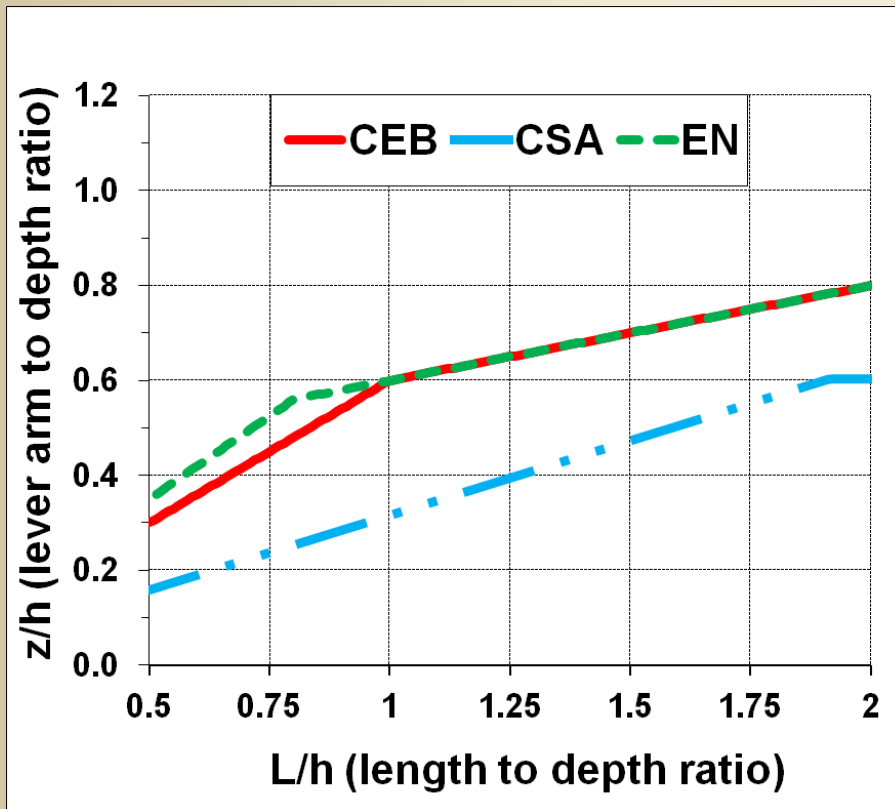
# Métodos para o Calculo Estrutural

BS	<p>Baseado nas recomendações da CEB          Porém o braço de alavanca é = a <math>2/3</math> da altura da viga mas não maior do que <math>0,7</math> multiplicado pelo vão da viga</p>
CSA	<p>Os cálculos tem que incluir a distribuição não-linear de deformação, a flambagem lateral, e o aumento da ancoragem para a armadura          ou  <math>d = 0,67</math> multiplicado pela altura da viga, mas <math>&lt; 0,5</math> multiplicado pelo vão</p>
EN	<p>Baseado nas recomendações da CEB          Porém o braço de alavanca é o menor valor entre (<math>0,7</math> multiplicado pelo vão) ou (<math>0,4</math> multiplicado pela altura + <math>0.2</math> multiplicado pelo vão)</p>
NZS	<p>Os cálculos tem que incluir a distribuição não-linear de deformação e a flambagem lateral</p>



# Comité Européen du Béton (CEB)

<b>CEB</b>	Simply Supported Beams	$z = 0.2(L + 2h)$ when $1 \leq \frac{L}{h} \leq 2$	Eq. 1a
		$z = 0.6L$ when $\frac{L}{h} < 1$	Eq. 1b
	Continuous Deep Beams	$z = 0.2(L + 1.5h)$ when $1 \leq \frac{L}{h} \leq 2.5$	Eq. 2a
		$z = 0.5L$ when $\frac{L}{h} < 1$	Eq. 2b
<p>where <math>z</math> is the lever arm; <math>L</math> is the center-to-center distance between supports or 1.15 times the clear span, whichever is smaller; and <math>h</math> is the overall member depth.</p>			



EN = CEB para  $L > h$

CEB é um pouco mais conservador do que o EN para  $L < h$  (menor braço de alavanca do momento requer maior armadura)

CSA é muito mais conservador

# Observações

- **As normas existente para alvenaria estrutural são baseadas nas recomendações para concreto armado**
- **As recomendações originais foram alteradas sem nenhuma evidencia para tais alterações**

# Métodos para o Cálculo Estrutural

(a) For simply supported spans

(1) When  $\frac{l_{eff}}{d_v} < 1$        $z = 0.6l_{eff}$

(2) When  $1 \leq \frac{l_{eff}}{d_v} < 2$        $z = 0.2(l_{eff} + 2d_v)$

(b) For continuous spans

(1) When  $\frac{l_{eff}}{d_v} < 1$        $z = 0.5l_{eff}$

(2) When  $1 \leq \frac{l_{eff}}{d_v} < 3$        $z = 0.2(l_{eff} + 1.5d_v)$

**Mudou 2.5 para 3 para ficar de acordo com a definição**

# Armadura para Flexão

Qualquer método analítico aceitável que inclua a distribuição não linear de deformações

ou

Usar o método “tradicional” com o braço de alavanca reduzido,  $z$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi f_y z}$$

**$A_{s,min}$  ?**



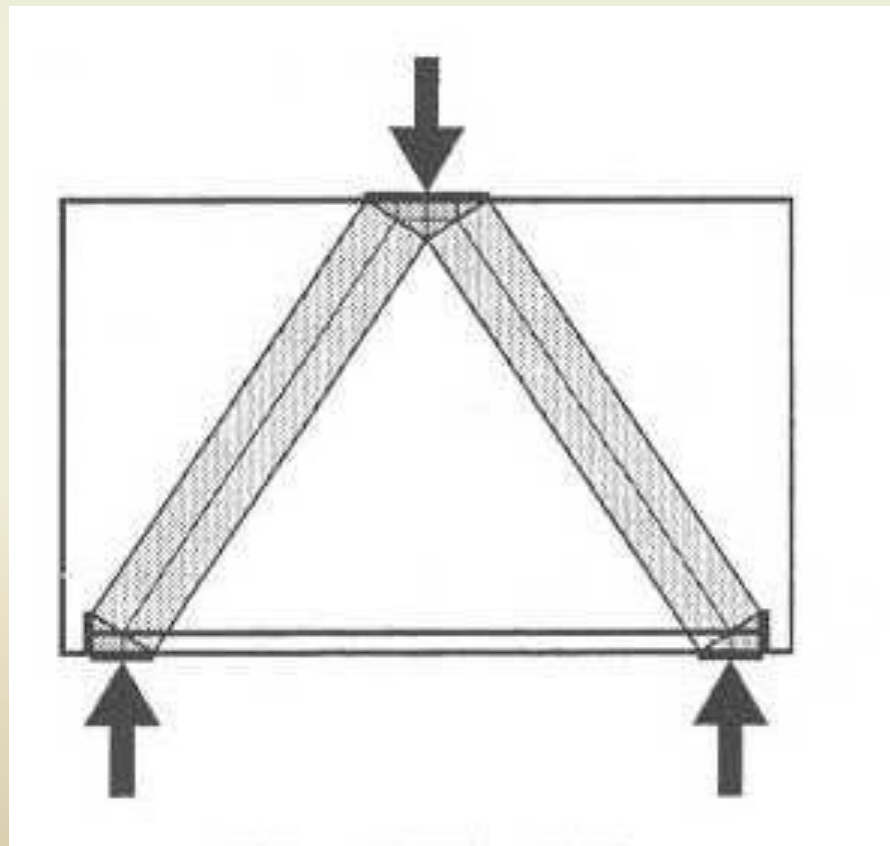
# Onde colocar a armadura para flexão?

**CEB recomenda que a armadura para flexão, numa viga alta de vão simples sujeita a momento fletor positivo seja colocada distribuída uniformemente numa altura igual a  $0,25h$  (da face inferior da viga)**

# **Onde colocar a armadura para flexão?**

## **As Normas não tem Nenhuma Recomendação**

# Entendimento do Comportamento da Viga



# **Armadura para Cisalhamento**

**As vigas altas testadas por Leonhardt e Walther não tiveram nenhum estribo cruzando as fissuras (fissuras verticais)**

**CEB não tem nenhuma recomendação para estribos**

**Isso porém não significa que não existem recomendações para uma armadura geral**

# Armadura Geral

CEB	Armadura vertical e horizontal $> 0,002 b s$
CSA	$A_{v,v} > 0,002 b_w s$ , $s_{max} \leq d/4$ ou 16 polegadas $A_{v,h} > 0,002 b_w s$ , distribuída uniformemente pela altura da viga
EN	Armadura na junta de assentamento horizontal acima da armadura para flexão por uma altura $< 0,5 L_{eff}$ ou $0,5d$ (da face inferior da viga)
NZS	$A_{v,min} = A_{s,min}$ (horizontal e vertical); $\geq 0,0007A_g$ A soma da armadura horizontal e vertical para a junta amarrada tem que ser no mínimo $0,002A_g$

# Armadura Geral

**As recomendações da CEB são para controlar a largura da fissura**

**Colocar uma malha (armadura) ortogonal o mais perto possível de cada face da viga é a maneira mais fácil de alcançar esse objetivo**

**Porém**

**como fazer isso numa viga de alvenaria?**

# Armadura Geral

**Três requisitos quando a alvenaria sozinha não é capaz de resistir a cortante**

**1.  $A_{v, \text{min, vertical}} = 0,0007 b d_v$**

- Não existe razão para esse requisito
- Existe a tradição de que quando se precisa  $A_v$  é necessário se ter  $A_{v, \text{min}}$
- $A_v$  é colocado perpendicular a armadura para flexão

- 2.  $A_{v, horizontal} \geq 0,5A_{v, vertical}$ ; distribuído igualmente nas duas faces da viga quando a largura da viga for  $> 8$  polegadas**
- A melhor maneira de se controlar a largura das fissuras é colocar a armadura mais perto possível das faces da viga**
  - Por causa das restrições que existem na construção esse requisito é imposto somente em vigas cuja espessura é  $> 8$  polegadas**



### **3. $S_{\max} \leq 0.2d_v$ ou 16 polegadas**

- **Esse requisito é para forçar uma boa distribuição de fissuras de pequena largura em vez de largas fissuras dispersas**
- **É mais importante limitar a distancia entre as barras do que o diâmetro das barras**

## Requisitos para sempre ter $A_{v,horizontal}$

1.  $A_{v,vertical} + A_{v,horizontal} \geq 0,001bd_v$

$S_{max} \leq 0.2d_v$  ou 16 polegadas

2. Distribuir  $A_{v,horizontal}$  na parte da viga em tração por uma altura =  $0,5 d_v$

$S_{max} \leq 0,5d_v$  ou 16 polegadas

Ancorar  $A_{v,horizontal}$  para que as barras desenvolvam suas capacidades de deformação

# Comentários

- **A armadura é aproximadamente a mesma em ambos os casos (quando a alvenaria sozinha é suficiente para resistir a cortante e quando não é). A diferença entre os casos é a distribuição e não a quantidade.**

# Comentários

- **Quando a alvenaria não é suficiente para resistir a cortante, as duas armaduras (vertical e horizontal) são necessárias.**
- **Quando a alvenaria é suficiente para resistir a cortante o engenheiro tem a opção de dividir a quantidade requerida entre armadura vertical e armadura horizontal ou simplesmente usar armadura horizontal.**

# Comentários

- **O MSJC permite esses dois métodos porque (a) a instalação de armadura vertical é mais difícil e (b) a armadura horizontal é mais eficiente no controle da largura das fissuras**

# Comentários

- **O MSJC requer que a armadura horizontal seja distribuída na região da viga tracionada porque é nessa região que as fissuras se iniciam e tem a maior probabilidade de alargamento**

# Comentários

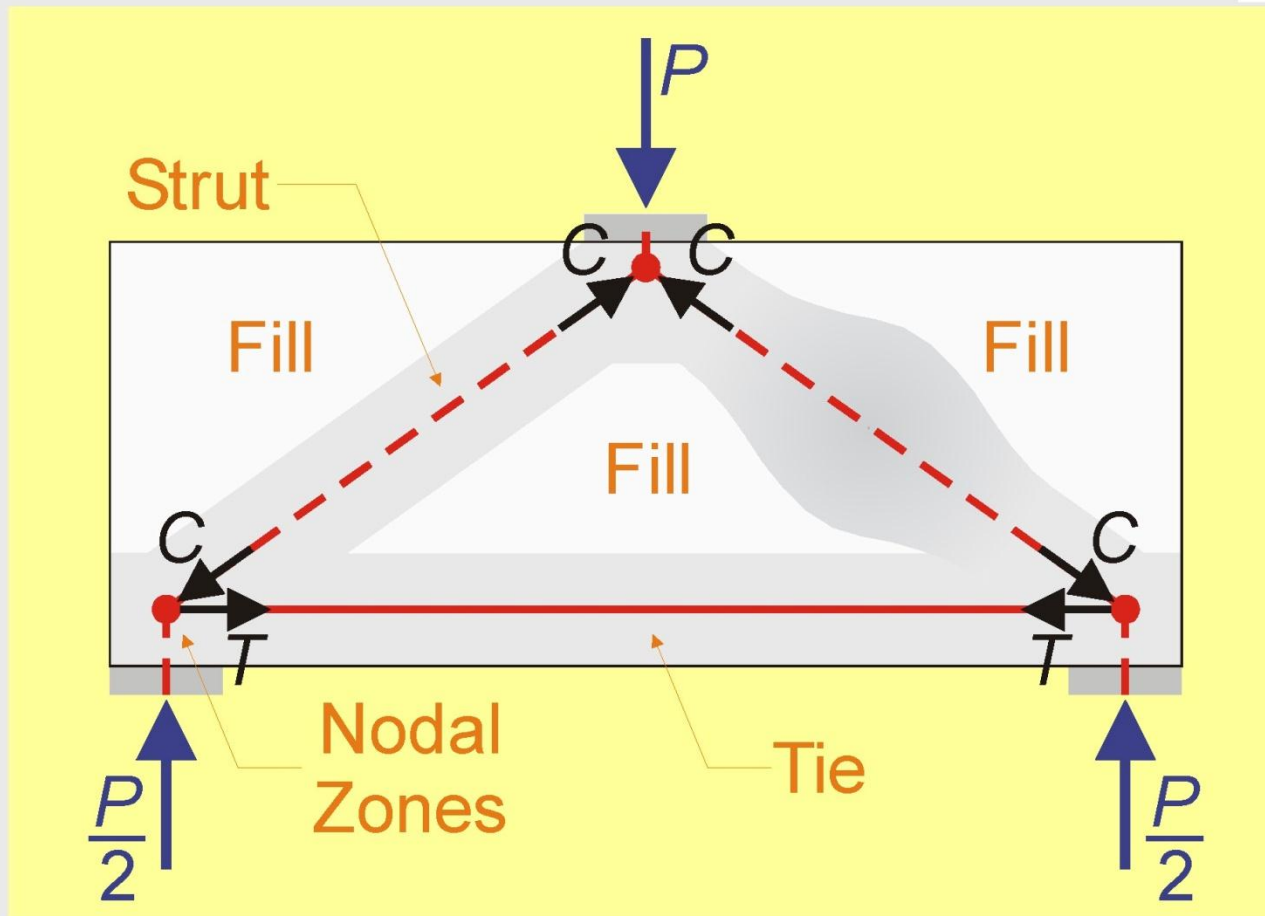
- **Apesar de não ser especificado diretamente, o uso de barras de pequeno diâmetro é recomendado. Barras de pequeno diâmetro limitarão a largura das fissuras decorrentes de carregamentos de serviço, farão a construção mais fácil e facilitarão a ancoragem das barras**

# Comentários

- **Essa norma é simples porque é direcionada ao projetista que precisa de um método simples para o dia-a-dia.**



# Comentários



# MUITO OBRIGADO !!!



## Perguntas???