LAJE TRELIÇADA

- **DETALHE DA GEOMETRIA DA VIGA "T"**

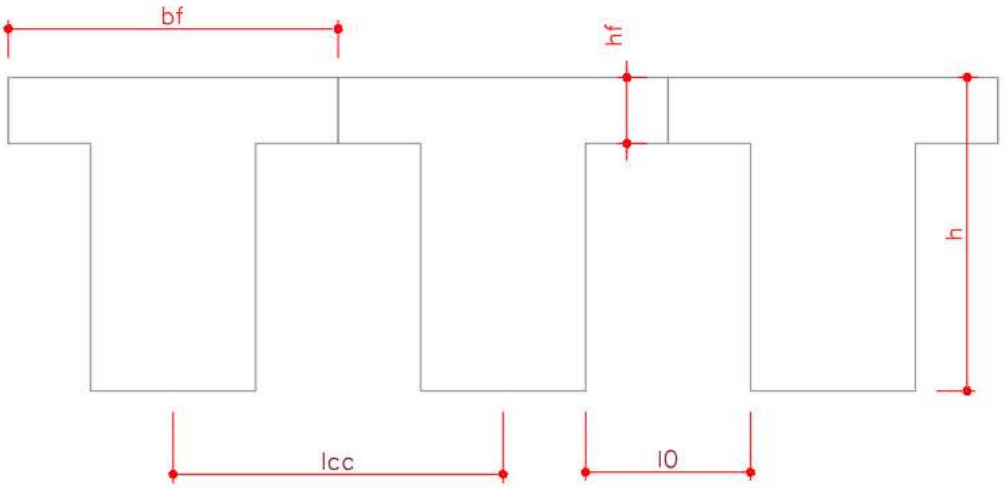


Figura 4: Variáveis de uma seção genérica

- **DETALHES DA NBR 6118:2014 PARA LAJES NERVURADAS:**

Seja o item 13.2.4.2 da NBR 6118:2014:

a) *"A espessura da mesa, quando não existirem tubulações horizontais embutidas, deve ser maior ou igual a 1/15 da distância entre as faces das nervuras (ℓ_o) e não menor que 4 cm;*

b) *O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro ϕ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de 4 cm + ϕ, ou 4 cm + 2ϕ no caso de haver cruzamento destas tubulações;*

c) *A espessura das nervuras não pode ser inferior a 5 cm;*

d) *Nervuras com espessura menor que 8 cm não podem conter armadura de compressão."*

$$b_w \geq 5\ cm$$

$$h_f \geq \begin{cases} 4\ cm \\ l_0/15 \end{cases}$$

Por isso, essas considerações serão levadas em consideração na hora da escolha da seção. Além disso, o valor de lcc será menor que 65 cm.

Outras restrições da norma:

- **VIGOTA ESCOLHIDA\SEÇÃO ESCOLHIDA\DIREÇÃO NA LAJE:**

Assim, temos o detalhamento de uma treliça pré-fabricada:

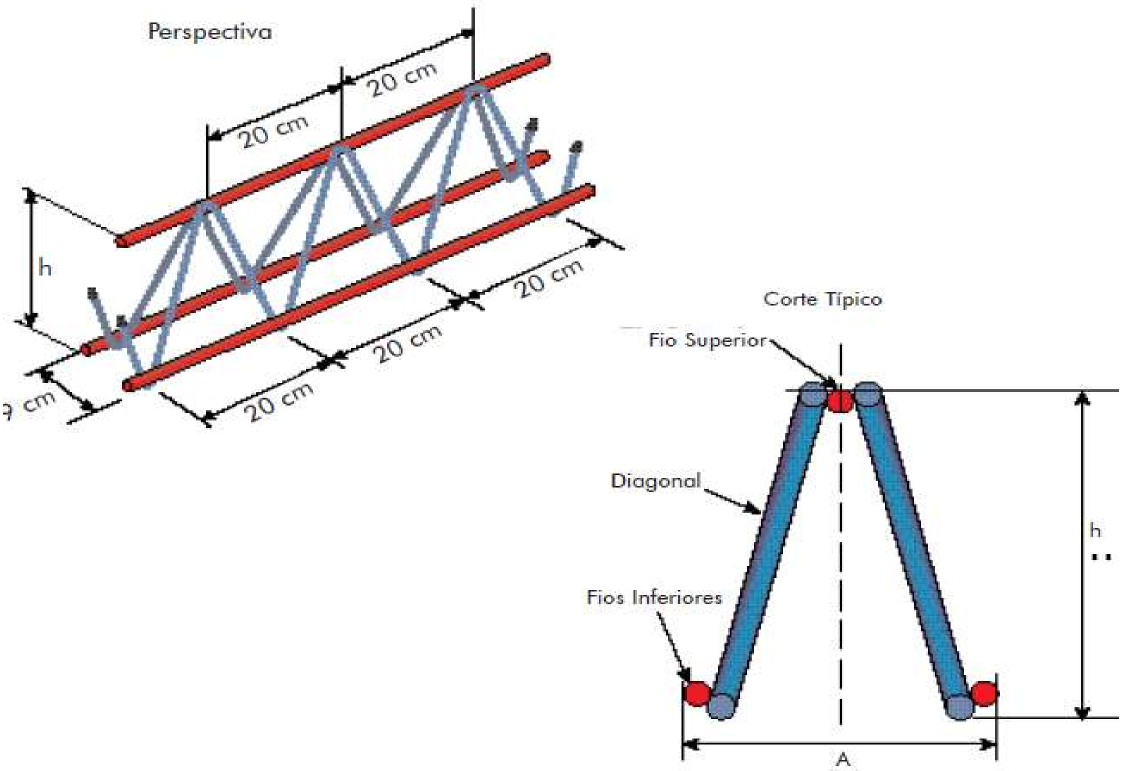


Figura 5: Detalhamento da viga - Fonte: Grupo Belgo

Seja a tabela comercial das vigotas do grupo Belgo:

Modelo	Designação	Altura (h) (mm)	Composição / Fios (mm)			Peso Linear (kg/m)
			Superior (ø S)	Diagonal (ø D)	Inferior (ø I)	
TB 8L	TR 8644	80	6,0	4,2	4,2	0,735
TB 8M	TR 8645	80	6,0	4,2	5,0	0,825
TB 12M	TR 12645	120	6,0	4,2	5,0	0,886
TB 12R	TR 12646	120	6,0	4,2	6,0	1,016
TB 16L	TR 16745	160	7,0	4,2	5,0	1,032
TB 16R	TR 16746	160	7,0	4,2	6,0	1,168
TB 20L	TR 20745	200	7,0	4,2	5,0	1,111
TB 20R	TR 20756	200	7,0	5,0	6,0	1,446
TB 25M	TR 25856	250	8,0	5,0	6,0	1,686
TB 25R	TR 25858	250	8,0	5,0	8,0	2,024
TB 30M	TR 30856	300	8,0	5,0	6,0	1,823
TB 30R	TR 30858	300	8,0	5,0	8,0	2,168

Figura 6: Tabela das treliças pré-fabricadas

Assim, foi-se escolhida a vigota TB-8645.

- **VIGA T SEÇÃO:**

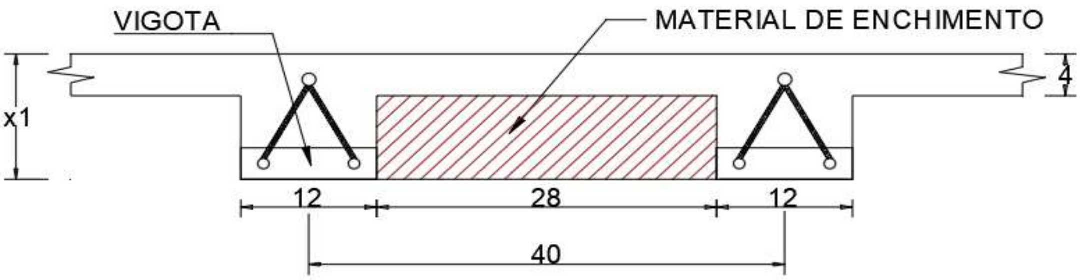


Figura 7: Corte da seção

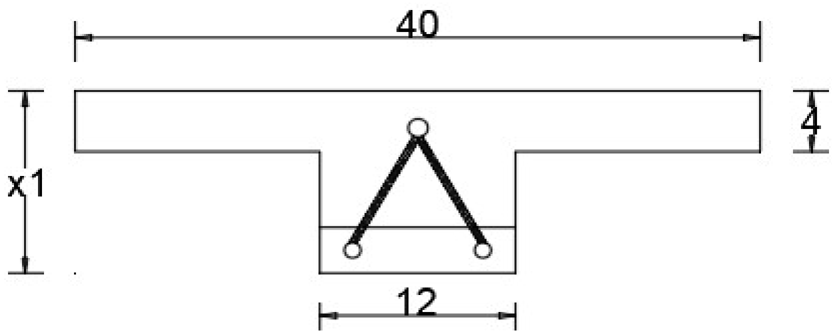
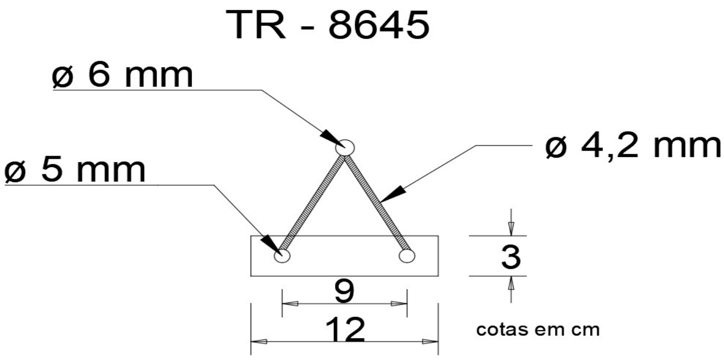


Figura 8: Viga "T"

- **VIGOTA ESCOLHIDA:**



Asinf = 0,3926990817 cm ²

- **DADOS DE ENTRADA:**
  1. Fck = 35 MPa
  2. bw = 12 cm
  3. bf = 40 cm
  4. hf = 4 cm

- **FUNÇÃO OBJETIVO:**

  1. PESO DO AÇO:

     $\rho_s = A_s l_x \rho_{stell} \quad [kg] \quad eq. 18$

  2. VOLUME DE CONCRETO:

     $V_{concreto} = [h_f b_f + (x_1 - h_f) b_w] l_x N_{vigas} \quad [m^3] \quad eq. 19$

     Onde:
     x_1 = h
     Nvigas = ly/bf

  3. CUSTO DO MATERIAL DE ENCHIMENTO:
     %NÃO VAI ENTRAR

  4. FUNÇÃO OBJETIVO:
     $f_{obj} = \{C_1 A_s l_x \rho_{stell} + C_2 [h_f b_f + (x_1 - h_f) b_w]\} N_{vigotas} \quad [R\$] \quad eq. 20$

     Onde:
     C1 = custo do aço por kg;
     C2 = custo do concreto por m³;
     N° vigotas: = ly/bf;

- **AÇÕES NA LAJE:**

1. Peso próprio

   No cálculo do peso próprio, iremos encontrar a carga por metro de viga, isto é, $\gamma_{conc}.A_{seção}$:

   $$g_1 = \gamma_c\left[h_f b_f + \left(x_1 - h_f\right)b_w\right] \quad [kN/m] \quad eq.21$$

2. Outras ações permanentes:
   No caso, iremos utilizar as ações g2, g3 e g4 da tabela 1. Assim, temos:

   $$\sum g_2 + g_3 + g_4 \ [\frac{kN}{m^2}] \quad eq.22$$

   Portanto, multiplicando essa carga pela largura colaborante, teremos a carga por metro da viga:

   $$\{\sum(g_2 + g_3 + g_4)\}\, b_f \quad \left[\frac{kN}{m}\right] \quad eq.23$$

   Assim, temos:

   $$g_t = [g_1 + g_2 + g_3 + g_4]b_f \quad \left[\frac{kN}{m}\right] \quad eq.24$$

3. Carregamento Acidental:
   Analogamente, temos a eq.5:

   $$q = 2{,}5 \quad \left[\frac{kN}{m^2}\right] \quad eq.5$$

   Assim, sua carga por metro fica de:

   $$q' = qb_f \quad \left[\frac{kNm}{m}\right] \quad eq.25$$

4. Combinação Última:

   $$P'_{nervura} = \gamma_G g_t + \gamma_q q' \quad \left[\frac{kNm}{m}\right] \quad eq.26$$

- **MOMENTO SOLICITANTE:**

  Considera-se a viga "t" como uma viga bi apoiada. Assim, seu momento solicitante máximo é de:

$$M_{sd} = \frac{P'_{nervura} l_x^2}{8} \quad \left[\frac{kNm}{nervura}\right] \qquad eq.27$$

- **DIMENSIONAMENTO PARA VIGA "T":**

  Seguindo a eq.12 e isolando o "x", temos a seguinte expressão:

$$x_{neutra} = \frac{0{,}68(h-d') \pm \sqrt{(0{,}68(h-d')^2 - 4.0{,}383.(\frac{Md}{bw.fdc})}}{0{,}544} \qquad eq.28$$

  Para o dimensionamento de uma viga "t" deve-se seguir o passo a passo a seguir:

  I. Segue o dimensionamento como uma viga retangular;
     - NOTA: bf = bw na eq.28

  II. Verifica a altura da linha neutra pela eq.28;

  III. Caso a altura da linha neutra esteja na mesa segue o dimensionamento de uma viga retangular seguindo o "CASO A";

  IV. Caso esteja na alma segue o dimensionamento de acordo com o "CASO B";

2. CASO A [0,8x ≤ hf]

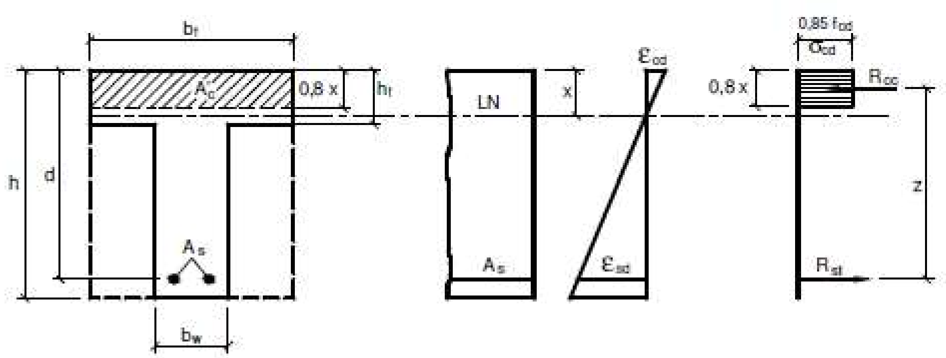


Figura 9: Seção para o caso "A"

O dimensionamento pode ser feito como se fosse uma seção retangular:

$$M_d = (0{,}68xd - 0{,}272x^2)b_f f_{cd} \qquad eq.29$$

Fazendo a substituição da eq.13:

$$Md = \{0{,}306(x1 - d')(x1 - d') - 0{,}0558(x1 - d')^2 b_f . fcd\} \qquad eq.30$$

Já para o cálculo da armadura temos:

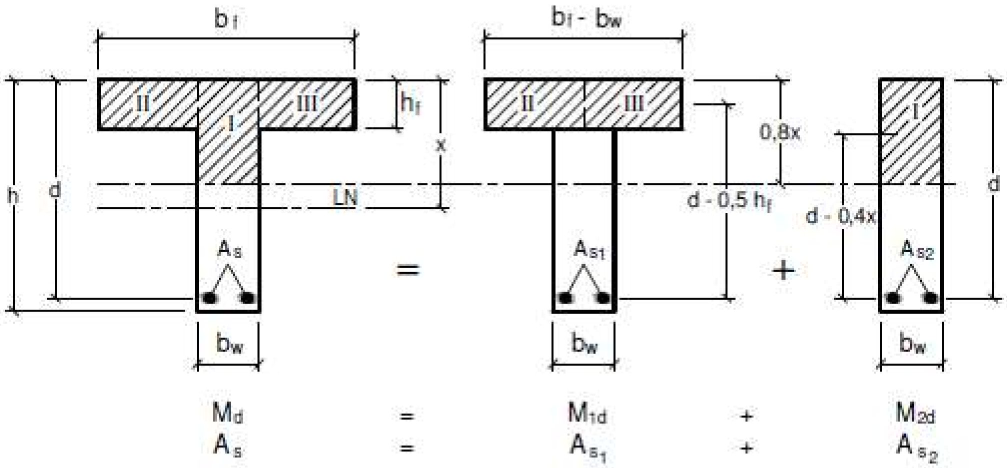
$$As = \frac{F_c z}{z f_s} = \frac{F_C}{f_s} = \frac{(0{,}85 f_{cd}) b_f (0{,}36(\mathrm{x1} - \mathrm{d'}))}{f_s} \qquad eq.31$$

Reescrevendo a equação 31:

$$As = \frac{0{,}306 b_f (\mathrm{x1} - \mathrm{d'})}{f_s} \qquad eq.32$$

Onde:
d′ = c + ϕ/2
h = x_1
d = h – d′

3. CASO B [0,8x > hf]



Neste caso, deve-se calcular os momentos parciais e, posteriormente, encontrar a armadura. Assim, do equilíbrio da figura encontrar as seguintes equações:

$$M_{1d} = \left(b_f - b_w\right)h_f 0.85 f_{cd}\left(d - 0.5h_f\right) \quad eq.33$$

$$M_{2d} = 0.68 b_w f_{cd}(d - 0{,}4x) \quad eq.34$$

Fazendo as substituições da eq.13 e d = (h-d') nas equações 29 e 30:

$$M_{1d} = \left(b_f - b_w\right)h_f 0.85 f_{cd}\left((x_1 - d') - 0.5h_f\right) \quad eq.35$$

$$M_{2d} = 0.68 b_w f_{cd}((x_1 - d') - 0{,}18(x_1 - d')) \quad eq.36$$

Sendo:

x1 = h;

Assim, pelo equilíbrio da figura também podemos obter as áreas de aço:

$$A_{s1} = \frac{M_{1d}}{f_{yd}(d - 0{,}5h_f)} \quad eq.37$$

$$A_{s2} = \frac{M_{2d}}{f_{yd}(d - 0{,}4x)} \quad eq.38$$

Dessa forma, substituindo as equações 31 e 32 nas equações 33 e 34 respectivamente, vamos obter:

$$A_{s1} = \frac{(b_f - b_w)h_f 0.85 f_{cd}}{f_{yd}} \quad eq. 39$$

$$A_{s2} = \frac{0.68 b_w f_{cd}}{f_{yd}} \quad eq. 40$$

- **RESTRIÇÕES:**

Como o objetivo desta otimização é encontrar a altura ótima para uma armadura pré-definida da vigota escolhida.

1. PARA O CASO "A"
   I. Restrição h.1

   Para essa restrição igualamos as equações a 27 e a 30.

   $$M_{sd} - Md = 0 \quad h.1$$

   II. Restrição h.2
   Para essa restrição utilizamos a equação 32.

   $$As - \frac{0{,}306 b_f (\mathrm{x1} - \mathrm{d}')}{f_s} = 0 \quad h.2$$

2. PARA O CASO "B"
   I. Restrição h.1
   Para essa restrição iremos utilizar as seguintes equações:

   $$M_{sd} - (M_{1d} + M_{2d}) = 0 \quad h.1$$

   II. Restrição h.2

   $$A_s - \frac{M_{1d}}{f_{yd}(d - 0{,}5h_f)} + \frac{M_{2d}}{f_{yd}(d - 0{,}4x)} = 0$$

- **LIMITES DAS VARIÁVEIS DE PROJETO:**

A altura de projeto deverá suprimir a seguinte restrição:

$$9{,}5 \leq x_1 \leq Inf \qquad [cm] \qquad r.1$$

Onde ao limite inferior será a soma da altura da treliça mais o cobrimento.

-