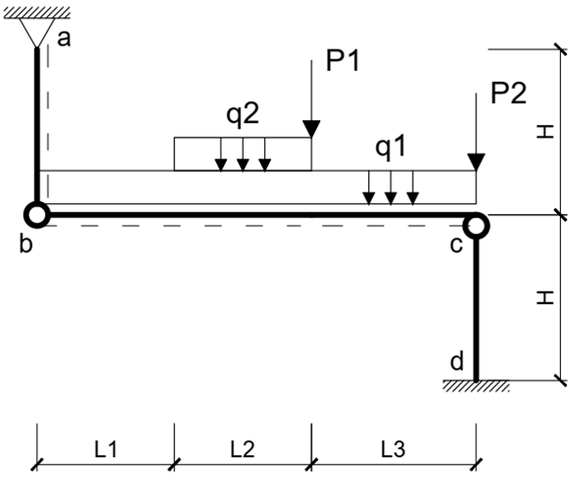
AM201-5NB

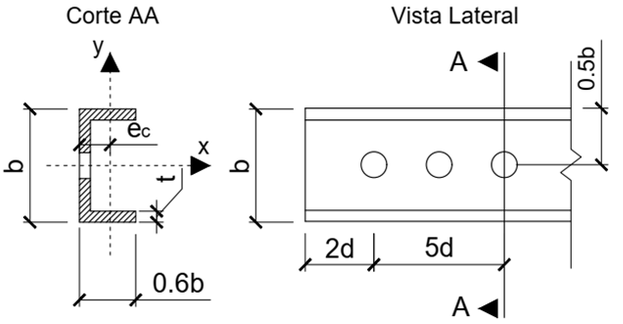
Problema A

Para o modelo estrutural esboçado ao lado, que será parte integrante de uma biblioteca, proceder as combinações de ações para os esforços axiais nas barras "ab" e "cd".
Em seguida, efetuar as verificações RSL, ESB e cisalhamento de bloco para a barra "ab" e de compressão simples, considerando a flambagem local de elementos AA e AL (enrijecidos e não enrijecidos) e flambagem por flexão para a barra "cd".



L1 = D1 m L2 = D1 m L3 = D1 m
H = 5,0 m
b = D2 mm
d = D3 mm (diâmetro nominal do parafuso)
t = 4,0 mm (espessuras das chapas dos perfis)

Detalhes das Seções Transversais das Pontas da Barra "ab"



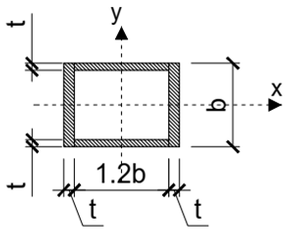
Cargas:

q1 = 4 kN/m (peso próprio de estrutura metálica: γg = 1,25)
q2 = 7 kN/m (acidental de ocupação: γq = 1,50 e ψo = 0,8)
P1 = D4 kN (acidental de ocupação: γq = 1,50 e ψo = 0,8)
P2 = 80 kN (equipamento fixo: γg = 1,50)

Demais condicionantes do problema:

- Tipo de Aço = D5 (250 para MR250, 350 para AR350 e 415 para AR415)
- Furos padrão;
- Os eixos "x" indicados nos perfis são assentes ao plano do papel enquanto que os eixos "y" são entrantes no plano do papel;
- Considerar as vinculações indicadas no modelo como sendo iguais para ambos eixos principais de inércia;
- Utilizar valores recomendados (e não os teóricos) para Kx e Ky na verificação de compressão simples;

Seção Transversal da Barra "cd"
(Seção Caixão - Grupo 2)



$D1 := 4$ $D2 := 160$ $D3 := 16$ $D4 := 180$ $D5 := 250$

$L1 := D1\ m$ $H := 5,0\ m$ $t := 4\ mm$ $bf := b$

$L2 := D1\ m$ $b := D2\ mm$ $tw := t$ $hw := 1,2 \cdot b$

$L3 := D1\ m$ $d := D3\ mm$ $tf := t$

$q1 := 4\ \frac{kN}{m}$ $\gamma g_q1 := 1,25$

$q2 := 7\ \frac{kN}{m}$ $\gamma q_q2 := 1,50$ $\psi o_q2 := 0,8$

$P1 := D4\ kN$ $\gamma q_P1 := 1,50$ $\psi o_P1 := 0,8$

$P2 := 80\ kN$ $\gamma g_P2 := 1,50$

$\gamma a1 := 1,10$ $\gamma a2 := 1,35$ $E := 200\ GPa$

if $D5 = 250$
  $fy := 25\ \frac{kN}{cm^2}$
  $fu := 40\ \frac{kN}{cm^2}$
else
  0

if $D5 = 350$
  $fy := 35\ \frac{kN}{cm^2}$
  $fu := 45\ \frac{kN}{cm^2}$
else
  0

if $D5 = 415$
  $fy := 41,5\ \frac{kN}{cm^2}$
  $fu := 52\ \frac{kN}{cm^2}$
else
  0

Q01 – Qual o valor do máximo esforço axial que ocorre na barra "ab" (máximo esforço de tração) [em kN e com positivo para tração]?
Q02 – Qual o valor do mínimo esforço axial que ocorre na barra "cd" (máximo esforço de compressão) [em kN e com positivo para tração]?
Q03 – Qual o valor da força resistente de tração ESB da barra "ab" [em kN]?
Q04 – Qual o valor da força resistente de tração RSL da barra "ab" [em kN]?
Q05 – Qual o valor da força resistente ao cisalhamento de bloco da barra "ab" [em kN]?
Q06 – Qual o valor do coeficiente Ct utilizado para o cálculo da força resistente de tração RSL [adim.]?
Q07 – Qual o valor da área líquida de cisalhamento calculada para a verificação de cisalhamento de bloco [em cm²]?
Q08 – Qual o valor da área líquida de tração calculada para a verificação de cisalhamento de bloco [em cm²]?
Q09 – O fator de redução de resistência "Qa" relativo à flambagem local de elementos AA, para a barra "cd" é [adim]?
Q10 – O fator de redução de resistência "Qs" relativo à flambagem local de elementos AL, para a barra "cd" é [adim]?
Q11 – O fator de redução de resistência "χ" relativo à flambagem por flexão da barra "cd" em termos do eixo principal de inércia que apresenta a menor capacidade resistente é [adim]?
Q12 – A força resistente de compressão da barra "cd" é [em kN]?
Q13 – O índice de esbeltez da "cd" em relação ao giro do eixo "x" indicado no esboço da seção transversal é [em cm4]?
Q14 – Qual o valor da razão (resistência / solicitação) em termos de esforços de tração na barra "ab" [adim.]?
Q15 – Qual o valor da razão (resistência / solicitação) em termos de esforços de compressão na barra "cd" [adim.]?
Q16 – Qual a verificação determinante da capacidade resistente de tração da barra "ab" (responda com um dos números relativos às opções abaixo)?

1 – ESB 2 – RSL 3 – Cisalhamento de Bloco

Combinações de Ações:

$$Nab_q1 := \frac{q1 \cdot (L1 + L2 + L3)}{2} = 24\ kN$$

$$Nab_q2 := \frac{1}{L1 + L2 + L3} \cdot \left(q2 \cdot L2 \cdot \left(\frac{L2}{2} + L3 \right) \right) = 14\ kN$$

$$Nab_P1 := \frac{1}{L1 + L2 + L3} \cdot (P1 \cdot L3) = 60{,}000\ kN$$

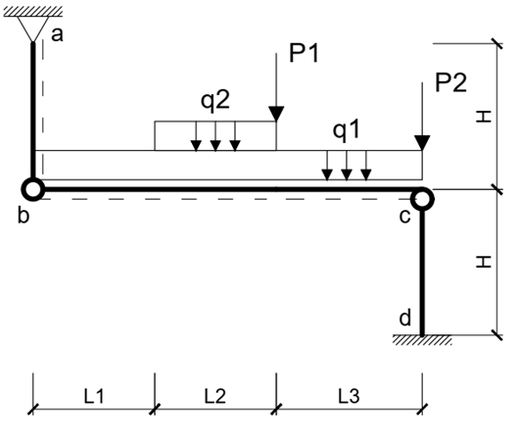
$$Nab_P2 := 0\ kN$$

$$Ncd_q1 := -\frac{q1 \cdot (L1 + L2 + L3)}{2} = -24\ kN$$

$$Ncd_q2 := \frac{1}{L1 + L2 + L3} \cdot \left(-q2 \cdot L2 \cdot \left(\frac{L2}{2} + L1 \right) \right) = -14\ kN$$

$$Ncd_P1 := \frac{1}{L1 + L2 + L3} \cdot (-P1 \cdot (L1 + L2)) = -120\ kN$$

$$Ncd_P2 := -P2 = -80\ kN$$



$$Nab_comb_q2 := \gamma g_q1 \cdot Nab_q1 + \gamma q_q2 \cdot Nab_q2 + \gamma q_P1 \cdot Nab_P1 \cdot \psi o_P1 = 123\ kN$$

$$Nab_comb_P1 := \gamma g_q1 \cdot Nab_q1 + \gamma q_P1 \cdot Nab_P1 + \gamma q_q2 \cdot Nab_q2 \cdot \psi o_q2 = 136{,}8\ kN$$

$$Ntsd := \max([\ Nab_comb_q2\ \ Nab_comb_P1\ ]) = 136{,}8\ kN$$

$$Ncd_comb_q2 := \gamma g_q1 \cdot Ncd_q1 + \gamma g_P2 \cdot Ncd_P2 + \gamma q_q2 \cdot Ncd_q2 + \gamma q_P1 \cdot Ncd_P1 \cdot \psi o_P1 = -315\ kN$$

$$Ncd_comb_P1 := \gamma g_q1 \cdot Ncd_q1 + \gamma g_P2 \cdot Ncd_P2 + \gamma q_P1 \cdot Ncd_P1 + \gamma q_q2 \cdot Ncd_q2 \cdot \psi o_q2 = -346{,}8\ kN$$

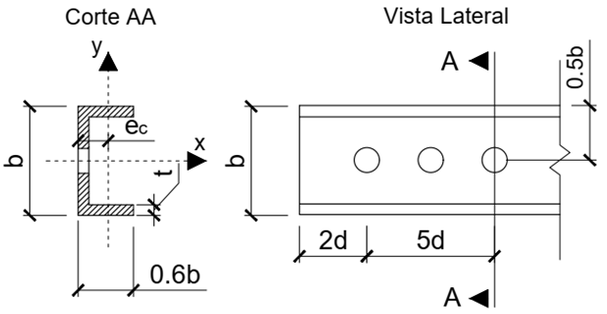
$$Ncsd := \left| \min([\ Ncd_comb_q2\ \ Ncd_comb_P1\ ]) \right| = 346{,}8\ kN$$

Verificações para a barra tracionada "ab":

ESB:

$Ag_u := (b - 2 \cdot t) \cdot t + 2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t = 13,76\ cm^2$

$Ntrd_ESB := \frac{Ag_u \cdot fy}{\gamma a1} = 312,7273\ kN$



RSL:

$dpad := d + 3,5\ mm = 19,5\ mm$

$An := Ag_u - 1 \cdot dpad \cdot t = 12,98\ cm^2$

Cálculo do Ct:

$$ec := \frac{2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t \cdot \frac{0,6 \cdot b}{2} + (b - 2 \cdot t) \cdot t \cdot \frac{t}{2}}{2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t + (b - 2 \cdot t) \cdot t} = 2,7674\ cm \qquad Lc := 5 \cdot d = 8\ cm$$

$Ct_calc := 1 - \frac{ec}{Lc} = 0,6541$

```
Ct := if Ct_calc < 0,60   = 0,6541
        0
      else
        if Ct_calc > 0,90
          0,90
        else
          Ct_calc
```

$Ae := Ct \cdot An = 8,4898\ cm^2 \qquad Ntrd_RSL := \frac{Ae \cdot fu}{\gamma a2} = 251,5504\ kN$

CISALHAMENTO DE BLOCO:

$Agv := (2 \cdot d + 5 \cdot d) \cdot t = 4,48\ cm^2 \qquad Cts := 1$

$Anv := Agv - 2,5 \cdot dpad \cdot t = 2,53\ cm^2$

$Ant := \frac{An}{2} = 6,49\ cm^2$

$Ntrd_CIS1 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fu \cdot Anv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 237,2741\ kN$

$Ntrd_CIS2 := \frac{1}{\gamma a2} \cdot (0,60 \cdot fy \cdot Agv + Cts \cdot Ant \cdot fu) = 242,0741\ kN$

$Ntrd_CIS := \min([\ Ntrd_CIS1\ \ Ntrd_CIS2\ ]) = 237,2741\ kN$

$Ntrd := \min([\ Ntrd_CIS\ \ Ntrd_ESB\ \ Ntrd_RSL\ ]) = 237,2741\ kN$

```
VerifT := if Ntrd = Ntrd_ESB   = 3
            1
          else
            if Ntrd = Ntrd_RSL
              2
            else
              3
```

índice de Esbeltez da barra "ab"

$$Iy_plano := 2 \cdot 0,6 \cdot b \cdot t \cdot \left(\frac{0,6 \cdot b}{2}\right)^2 + (b - 2 \cdot t) \cdot t \cdot \left(\frac{t}{2}\right)^2 = 177,1904 \text{ cm}^4$$

$$Iy_cg := Iy_plano + ec^2 \cdot Ag_u = 282,5746 \text{ cm}^4$$

$$ry_u := \sqrt{\frac{Iy_plano}{Ag_u}} = 3,5885 \text{ cm}$$

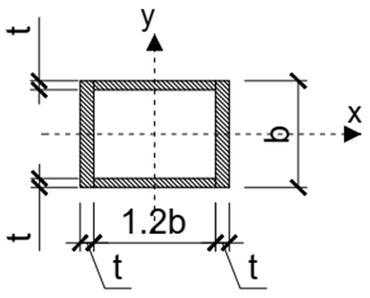
$$\lambda ab := \frac{H}{ry_u} = 139,3346$$

Verificações para a barra comprimida "cd":

$Kx := 0,8 \qquad Lx := H = 500 \text{ cm}$

$Ky := 0,8 \qquad Ly := H = 500 \text{ cm}$

Seção Transversal da Barra "cd"
(Seção Caixão - Grupo 2)



$$Ag_t := 2 \cdot b \cdot t + 2 \cdot 1,2 \cdot b \cdot t = 28,160 \text{ cm}^2$$

$$Ix := \frac{(2 \cdot t + 1,2 \cdot b) \cdot b^3}{12} - \frac{1,2 \cdot b \cdot (b - 2 \cdot t)^3}{12} = 1207,8 \text{ cm}^4$$

$$Iy := \frac{b \cdot (1,2 \cdot b + 2 \cdot t)^3}{12} - \frac{(b - 2 \cdot t) \cdot (1,2 \cdot b)^3}{12} = 1701,3 \text{ cm}^4$$

$$rx := \sqrt{\frac{Ix}{Ag_t}} = 6,5490 \text{ cm} \qquad ry := \sqrt{\frac{Iy}{Ag_t}} = 7,7728 \text{ cm}$$

$$\lambda x := \frac{Kx \cdot Lx}{rx} = 61,078 \qquad \lambda y := \frac{Ky \cdot Ly}{ry} = 51,461$$

Elementos AA:

Chapas horizontais:

$$\lambda hor := \frac{1,2 \cdot b}{t} = 48$$

GRUPO 2: $\lambda lim_g2 := 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 42,144$

$$bef_hor_calc := 1,92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,38}{\lambda hor} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 16,858 \text{ cm}$$

$$bef_hor := \text{if } \lambda hor < \lambda lim_g2 = 16,858 \text{ cm}$$
$$\quad 1,2 \cdot b$$
$$\text{else}$$
$$\quad bef_hor_calc$$

Chapas verticais:

$$\lambda ver := \frac{b}{t} = 40$$

GRUPO 2: $\lambda lim_g2 := 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 42,1436$

$$bef_ver_calc := 1,92 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} \cdot \left(1 - \frac{0,38}{\lambda ver} \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}}\right) = 15,8855 \text{ cm}$$

$$bef_ver := \begin{cases} b & \text{if } \lambda ver < \lambda lim_g2 = 16\ \text{cm} \\ bef_ver_calc & \text{else} \end{cases}$$

$$Aef := Ag_t - (b - bef_ver)\cdot t - (1{,}2\cdot b - bef_hor)\cdot t = 27{,}2233\ \text{cm}^2$$

$$Qa := \frac{Aef}{Ag_t} = 0{,}9667$$

Elementos AL - não existem, logo: $Qs := 1$

$$Q := Qa \cdot Qs = 0{,}9667$$

Análise do Eixo X:

$$\lambda x := \begin{cases} 99999999 & \text{if } \lambda x > 200 = 61{,}0778 \\ \lambda x & \text{else} \end{cases} \qquad \lambda ox := \lambda x \cdot \sqrt{\frac{Q\cdot fy}{\pi^2 \cdot E}} = 0{,}6758$$

$$\chi x := \begin{cases} 0{,}658^{\lambda ox^2} & \text{if } \lambda ox \le 1{,}5 = 0{,}826 \\ \frac{0{,}877}{\lambda ox^2} & \text{else} \end{cases}$$

$$Ncrdx := \frac{Q\cdot \chi x \cdot Ag_t \cdot fy}{\gamma a1} = 511{,}0482\ \text{kN}$$

Análise do Eixo Y:

$$\lambda y := \begin{cases} 99999999 & \text{if } \lambda y > 200 = 51{,}4613 \\ \lambda y & \text{else} \end{cases} \qquad \lambda oy := \lambda y \cdot \sqrt{\frac{Q\cdot fy}{\pi^2 \cdot E}} = 0{,}5694$$

$$\chi y := \begin{cases} 0{,}658^{\lambda oy^2} & \text{if } \lambda oy \le 1{,}5 = 0{,}8731 \\ \frac{0{,}877}{\lambda oy^2} & \text{else} \end{cases}$$

$$Ncrdy := \frac{Q\cdot \chi y \cdot Ag_t \cdot fy}{\gamma a1} = 540{,}1922\ \text{kN}$$

$$Ncrd := \min([\ Ncrdx\ \ Ncrdy\ ]) = 511{,}05\ \text{kN}$$

$$\chi := \min([\ \chi x\ \ \chi y\ ]) = 0{,}82599$$

$Ntrd := \text{if } \lambda ab > 300$
$\quad 0$
$\quad \text{else}$
$\quad\quad Ntrd$

$RT := \frac{Ntrd}{Ntsd} = 1,7345$

$RC := \frac{Ncrd}{Ncsd} = 1,4736$

Resultados:

$G01 := \frac{Ntsd}{kN} = 136,80$	$R01 := V_1 = 120$	$N01 := gab(R01 ; G01) = 0$
$G02 := \frac{Ncsd}{kN} = 346,80$	$R02 := V_2 = 171$	$N02 := gab(R02 ; G02) = 0$
$G03 := \frac{Ntrd_ESB}{kN} = 312,73$	$R03 := V_3 = 312,73$	$N03 := gab(R03 ; G03) = 1$
$G04 := \frac{Ntrd_RSL}{kN} = 251,55$	$R04 := V_4 = 251,55$	$N04 := gab(R04 ; G04) = 1$
$G05 := \frac{Ntrd_CIS}{kN} = 237,27$	$R05 := V_5 = 128,24$	$N05 := gab(R05 ; G05) = 0$
$G06 := \frac{Ct}{1} = 0,65407$	$R06 := V_6 = 0,654$	$N06 := gab(R06 ; G06) = 1$
$G07 := \frac{Anv}{cm^2} = 2,5300$	$R07 := V_7 = 2,53$	$N07 := gab(R07 ; G07) = 1$
$G08 := \frac{Ant}{cm^2} = 6,4900$	$R08 := V_8 = 2,81$	$N08 := gab(R08 ; G08) = 0$
$G09 := \frac{Qa}{1} = 0,96674$	$R09 := V_9 = 0,9771$	$N09 := gab(R09 ; G09) = 1$
$G10 := \frac{Qs}{1} = 1,0000$	$R10 := V_{10} = 1$	$N10 := gab(R10 ; G10) = 1$
$G11 := \frac{\chi}{1} = 0,82599$	$R11 := V_{11} = 0,8243$	$N11 := gab(R11 ; G11) = 1$
$G12 := \frac{Ncrd}{kN} = 511,05$	$R12 := V_{12} = 515,49$	$N12 := gab(R12 ; G12) = 1$
$G13 := \frac{\lambda x}{1} = 61,078$	$R13 := V_{13} = 61,077$	$N13 := gab(R13 ; G13) = 1$
$G14 := \frac{RT}{1} = 1,7345$	$R14 := V_{14} = 1,0686$	$N14 := gab(R14 ; G14) = 0$
$G15 := \frac{RC}{1} = 1,4736$	$R15 := V_{15} = 0,7499$	$N15 := gab(R15 ; G15) = 0$
$G16 := \frac{VerifT}{1} = 3,0000$	$R16 := V_{16} = 3$	$N16 := gab(R16 ; G16) = 1$

$Acertos := N01 + N02 + N03 + N04 + N05 + N06 + N07 + N08 + N09 + N10 + N11 + N12 + N13 + N14 + N15 + N16$

$Nota := Acertos \cdot peso = 6,25$
