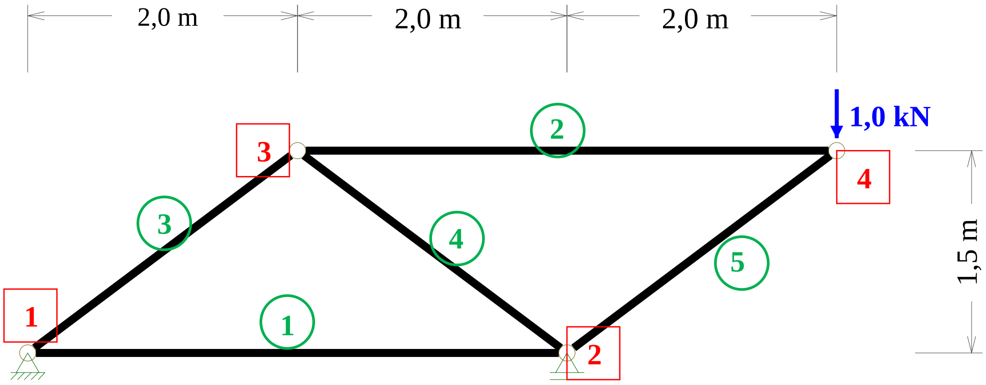
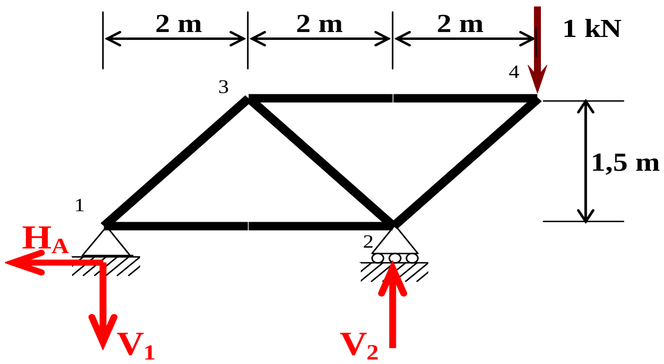
1) Calcule o deslocamento vertical do nó 4 da treliça vista na figura abaixo. Considere os nós como rótulas perfeitas e as barras com inércia EA = 16000 kN.



Solução:



Utilizando as equações de equilíbrio, calculam-se as reações de apoio.

$$\sum F_x = 0 \quad \therefore \quad H_A = 0$$

Em seguida pode-se resolver a equação: $\sum M_z = 0$, assim, tomando um eixo z que passa pelo ponto 2 temos:

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow V_1 \times 4 + 1 \times 2 = 0$$

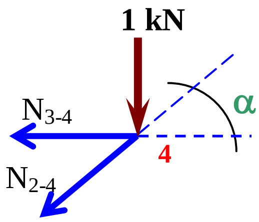
$$\Rightarrow \quad V_1 = 0{,}5\ \text{kN}$$

- usando a equação: $\sum F_y = 0$, temos:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow -V_1 + V_2 - 1 = 0$$

$$\Rightarrow \quad V_2 = 1{,}5\ \text{kN}$$

Equações de esforços normais para cada uma das barras: (sen α = 0,6 e cos α = 0,8)

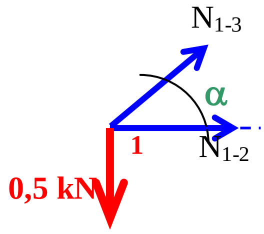


$$1 + N_{2-4}\text{sen}\ \alpha = 0$$

$$\therefore N_{2-4} = -1{,}66667\ \text{kN}$$

$$-N_{3-4} - N_{2-4}\cos\alpha = 0$$

$$\therefore N_{3-4} = +1{,}33333\ \text{kN}$$

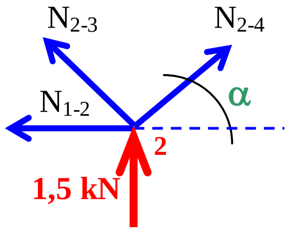


$$N_{1-3}\text{sen}\ \alpha - 0{,}5 = 0$$

$$\therefore N_{1-3} = +0{,}83333\ \text{kN}$$

$$N_{1-2} + N_{1-3}\cos\alpha = 0$$

$$\therefore N_{1-2} = -0{,}66667\ \text{kN}$$



$$N_{2-3}\text{sen}\ \alpha + N_{2-4}\text{sen}\ \alpha + 1{,}5 = 0$$

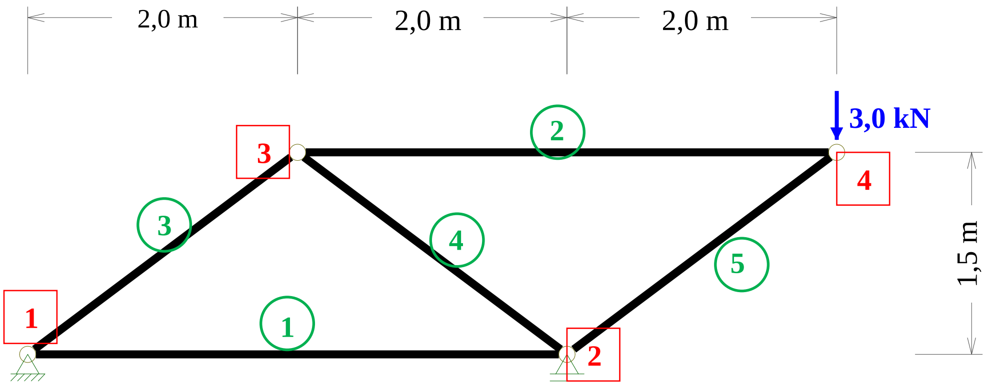
$$\therefore N_{2-3} = -0{,}83333\ \text{kN}$$

Barra	Nó i	Nó f	N	$\overline{N}$	L	$N.\overline{N}.L$
1	1	2	-0,66667	-0,66667	4	1,7777956
2	3	4	1,33333	1,33333	4	7,1110756
3	1	3	0,83333	0,83333	2,5	1,7360972
4	2	3	-0,83333	-0,83333	2,5	1,7360972
5	2	4	-1,66667	-1,66667	2,5	6,9444722
					Σ=	19,305538

$$\delta = \frac{\sum N\overline{N}L}{EA} = \frac{19{,}305538}{16000} = 0{,}0012066\ \ \text{m} \qquad \therefore \delta = 1{,}21\ \text{mm}$$

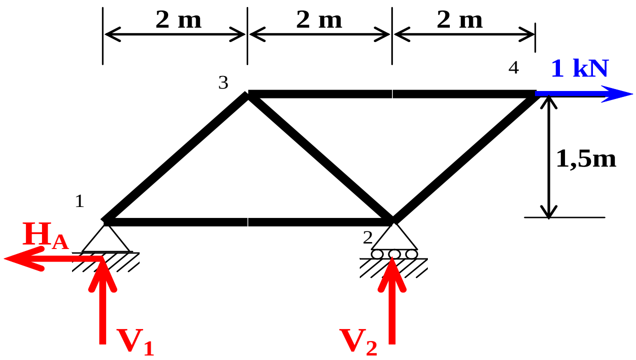
Resposta: Deslocamento vertical do nó 4 é δ=**1,21 mm** (para baixo)

2) Calcule o deslocamento horizontal do nó 4 da treliça vista na figura abaixo. Considere os nós como rótulas perfeitas e as barras com inércia constante EA = 533,33 kN. Note que, na tabela abaixo, os esforços para o carregamento original já foram fornecidos.



Barra	N	$\overline{N}$	L	$N.\overline{N}.L$
1	-2,000	0,500	4,0	-4,0
2	+4,000	1,000	4,0	16,0
3	+2,500	0,625	2,5	3,90625
4	-2,500	-0,625	2,5	3,90625
5	-5,000	0,000	2,5	0,0
			Σ=	**19,8125**

Solução:



Utilizando as equações de equilíbrio, calculam-se as reações de apoio.

$$\sum F_x = 0 \quad \therefore \quad H_A = 1$$

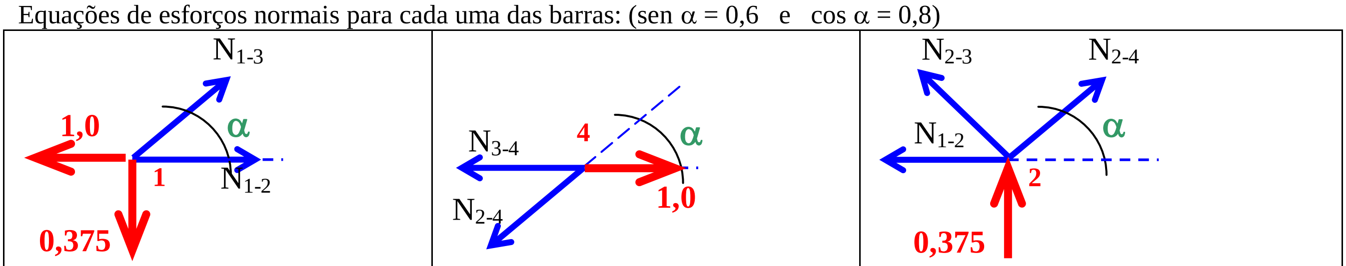
Em seguida pode-se resolver a equação: $\sum M_z = 0$, assim, tomando um eixo z que passa pelo ponto 2 temos:

$$\sum M_z = 0 \Rightarrow V_1 \times 4 + 1 \times 1{,}5 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_1 = -0{,}375 \text{ kN}$$

- usando a equação: $\sum F_y = 0$, temos:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow V_1 + V_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_2 = 0{,}375 \text{ kN}$$

Equações de esforços normais para cada uma das barras: (sen α = 0,6 e cos α = 0,8)

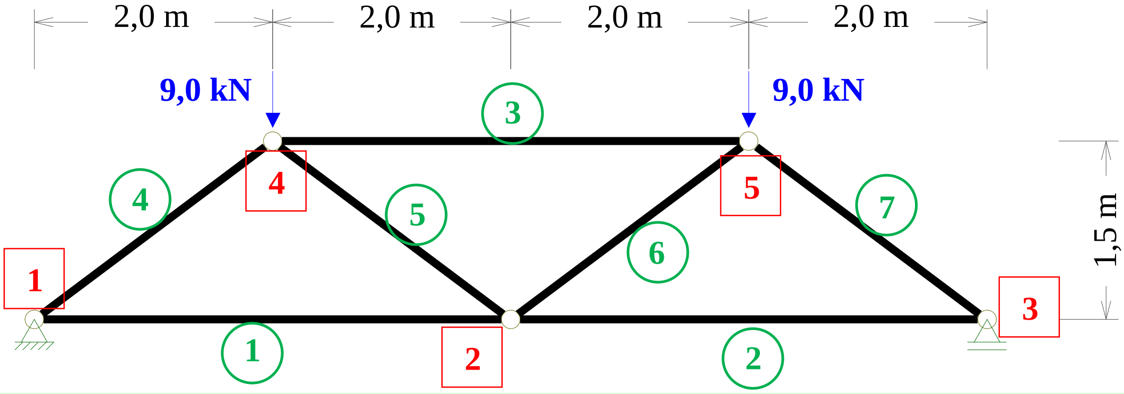


$N_{1-3}\text{sen}\ \alpha - 0{,}375 = 0$ $\therefore N_{1-3} = 0{,}625$ kN $N_{1-2} + N_{1-3}\cos\alpha - 1 = 0$ $\therefore N_{1-2} = 0{,}5$ kN	$N_{2-4}\text{sen}\ \alpha = 0$ $\therefore N_{2-4} = 0$ kN $N_{3-4} + N_{2-4}\cos\alpha - 1 = 0$ $\therefore N_{3-4} = 1$ kN	$N_{2-4}\text{sen}\ \alpha + N_{2-3}\text{sen}\ \alpha + 0{,}375 = 0$ $\therefore N_{2-3} = -0{,}625$ kN

$$\delta_3 = \frac{\sum N\,\overline{N}\,L}{EA} = \frac{18{,}8125}{533{,}33} = 0{,}0371487 \text{ m}$$

Resposta: O deslocamento horizontal do nó 4 é de **3,71 cm (**para direita)

3) Calcule o deslocamento vertical do nó 4 da treliça vista na figura abaixo. Considere os nós como rótulas perfeitas e as barras com inércia EA = 31700 kN.



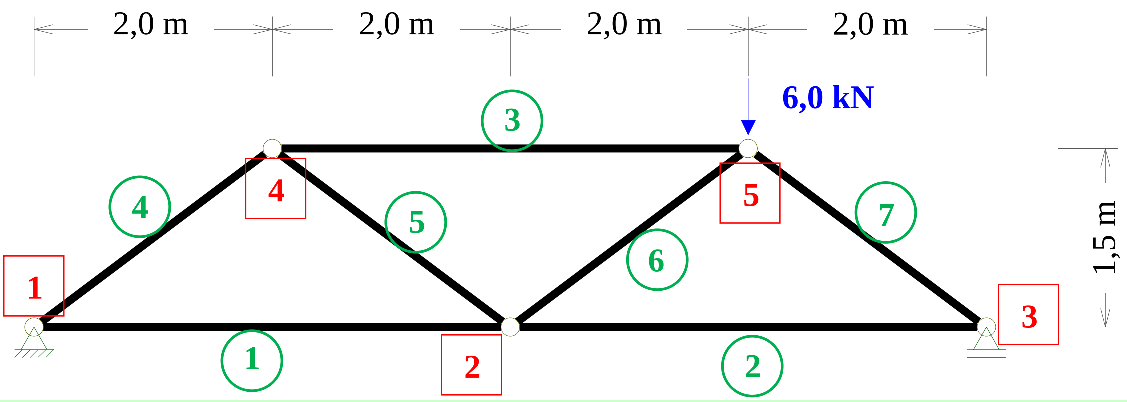
Solução:

Barra	N	$\overline{N}$	L	$N.\overline{N}.L$
1	12	1	**4**	**48,000**
2	12	0,33333	**4**	**16,000**
3	-12	**-0,66667**	**4**	**32,000**
4	-15	-1,25	**2,5**	**46,875**
5	0	-0,41667	**2,5**	**0,000**
6	0	0,41667	**2,5**	**0,000**
7	-15	-0,41667	**2,5**	**15,625**
			Σ=	**158,500**

$$\delta = \frac{\sum N\overline{N}L}{EA} = \frac{158{,}5}{31700} = 0{,}005 \text{ m} \qquad \therefore \delta = 5 \text{ mm}$$

Resposta: O deslocamento horizontal do nó 4 é de **5,00 mm (**para baixo)

4) Calcule o deslocamento vertical do nó 4 da treliça vista na figura abaixo. Considere os nós como rótulas perfeitas e as barras com inércia constante EA = 3200 kN. Note que, na tabela abaixo, os esforços para o carregamento original já foram fornecidos (menos a barra 3!).



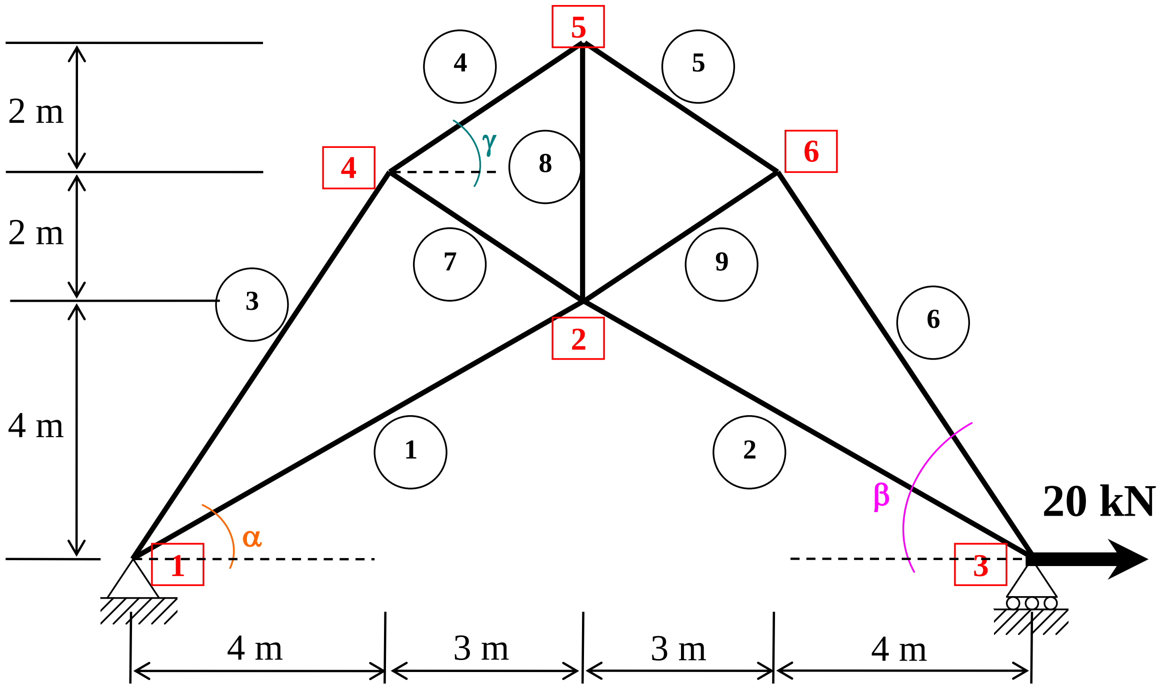
Solução:

Barra	N	$\overline{N}$	L	$N.\overline{N}.L$
1	+2,00	+1,0000	4,0	8,0000
2	+6,00	+0,3333	4,0	8,0000
3	-4,00	-0,6667	4,0	10,6667
4	-2,50	-1,2500	2,5	7,8125
5	+2,50	-0,4167	2,5	-2,6042
6	-2,50	+0,4167	2,5	-2,6042
7	-7,50	-0,4167	2,5	7,8125
			Σ=	**37,08396**

$$\delta_{V4} = \sum \frac{N\overline{N}L}{EA} = \sum \frac{37{,}08396}{3200} = 0{,}0116 \text{ m}$$

Resposta: Deslocamento vertical do nó 4 é δ_{V4}=**11,6 mm** (para baixo)

5) Calcule o deslocamento horizontal do nó **3** da treliça vista ao lado**.** Todas as nove barras são tubos de aço (E=210 GPa) com diâmetro externo de 10 cm e diâmetro interno 9,2 cm.



$$\text{sen}\ \alpha = \frac{4}{\sqrt{65}};\quad \cos\alpha = \frac{7}{\sqrt{65}}$$

$$\text{sen}\ \beta = \frac{6}{\sqrt{52}} = \frac{3}{\sqrt{13}};\quad \cos\beta = \frac{4}{\sqrt{52}} = \frac{2}{\sqrt{13}}$$

$$\text{sen}\ \gamma = \frac{2}{\sqrt{13}};\quad \cos\gamma = \frac{3}{\sqrt{13}}$$

Solução:

Para o carregamento original, os esforços normais N são calculados abaixo:

Reações de Apoio

$$\sum F_x = 0 \ \Rightarrow\ -H_1 + 20 = 0$$

$$\therefore \boxed{H_1 = 20\ \text{kN}}$$

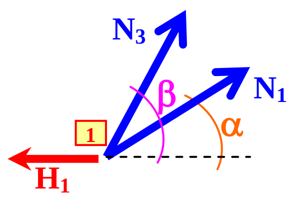
$$\sum M_{z(1)} = 0 \ \Rightarrow\ V_3 \times 14 = 0$$

$$\therefore \boxed{V_3 = 0\ \text{kN}}$$

$$\sum F_y = 0 \ \Rightarrow\ V_1 + V_3 = 0$$

$$\therefore \boxed{V_1 = 0\ \text{kN}}$$

Nó 1



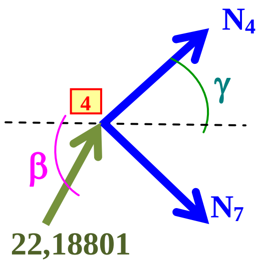
$$\sum F_x = 0 \ \Rightarrow\ N_1 \cos\alpha + N_3 \cos\beta - H_1 = 0$$

$$\sum F_y = 0 \ \Rightarrow\ N_1 \text{sen}\ \alpha + N_3 \text{sen}\ \beta = 0$$

$$\therefore N_1 = 37{,}21042\ \text{kN}$$

$$\therefore N_3 = -22{,}18801\ \text{kN}$$

Nó 4



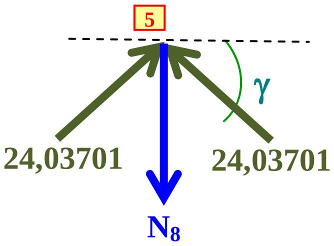
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow N_4 \cos\gamma + N_7 \cos\gamma + 22{,}18801 \cos\beta = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_4 \text{sen}\,\gamma - N_7 \text{sen}\,\gamma + 22{,}18801\,\text{sen}\,\beta = 0$$

$$\therefore N_4 = -24{,}03701\text{ kN}$$

$$\therefore N_7 = 9{,}245\text{ kN}$$

Nó 5



$$\sum F_y = 0 \Rightarrow 24{,}03701\,\text{sen}\,\gamma + 24{,}03701\,\text{sen}\,\gamma - N_8 = 0$$

$$\therefore N_8 = 26{,}66667\text{ kN}$$

Observações

1) Os esforços normais nas barras 2, 6, 5 e 9 são iguais aos esforços nas barras 1, 3, 4 e 7, respectivamente;
2) Os esforços normais para a carga unitária foram calculados dividindo-se por vinte os esforços normais para o carregamento original.

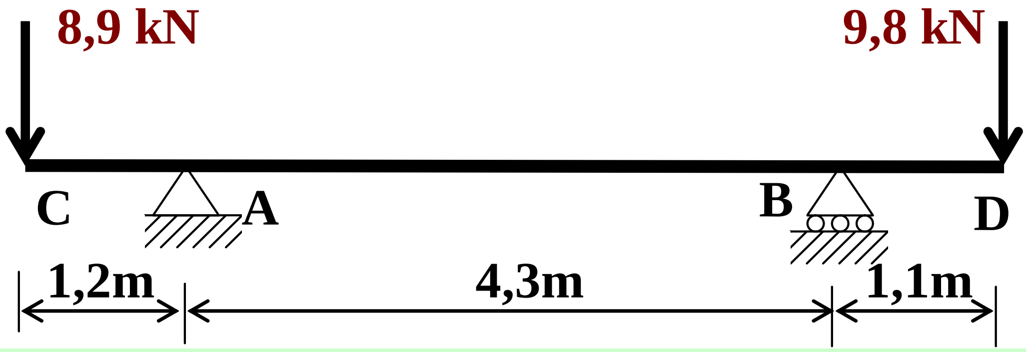
Barra	N	$\overline{N}$	L	$N.\overline{N}.L$
1	37,21042	1,86052	8,06226	558,15629
2	37,21042	1,86052	8,06226	558,15629
3	-22,18801	-1,10940	7,21110	177,50410
4	-24,03701	-1,20185	3,60555	104,16038
5	-24,03701	-1,20185	3,60555	104,16038
6	-22,18801	-1,10940	7,21110	177,50410
7	9,24500	0,46225	3,60555	15,40833
8	26,66667	1,33333	4,00000	142,22226
9	9,24500	0,46225	3,60555	15,40833
			Σ=	**1852,6805**

$$EA = 210\text{ GPa} \times \frac{\pi}{4}\left[(10\text{ cm})^2 - (9{,}2\text{ cm})^2\right] = 210\times10^6\,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\times 12{,}063716\times\left(10^{-2}\text{ m}\right)^2 = 253338{,}03\text{ kN}$$

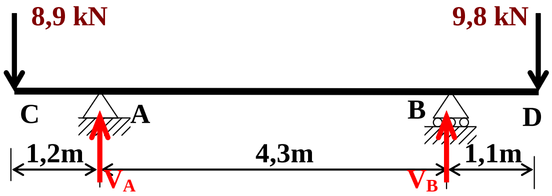
$$\sum_{i=1}^{11}\frac{N_i\overline{N}_i L_i}{EA} = \frac{1852{,}6805}{253338{,}03} = 0{,}0073131\text{ m}$$

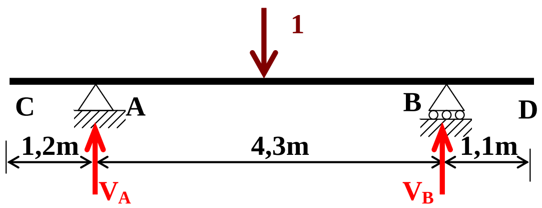
Resposta: Deslocamento horizontal do nó 3 é δ=0,0073131 m ou **δ=7,31 mm**

6) Calcule o deslocamento vertical no meio do vão AB da viga biapoiada vista na figura abaixo. Considere a viga trabalhando fundamentalmente à flexão com inércia EI = 8000 kN.m^2.



Solução:





Reações de apoio para o carregamento original

$\sum M_z = 0$, ou seja, tomando um eixo z que passa pelo ponto B temos:

$$V_A \times 4{,}3 - 8{,}9 \times 5{,}5 + 9{,}8 \times 1{,}1 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_A = 8{,}87674 \text{ kN}$$

$\sum F_y = 0$, temos:

$$V_A + V_B - 8{,}9 - 9{,}8 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_B = 9{,}82326 \text{ kN}$$

Tomando a origem de x em A, a equação de esforços no trecho AB é:

$$M_{AB}(x) = V_A x - 8{,}9(x + 1{,}2) \quad \Rightarrow \quad M_{AB}(x) = 8{,}87674x - 8{,}9(x + 1{,}2) \quad \Rightarrow 0 \le x \le 4{,}3 \text{ m}$$

Procedendo de maneira análoga para a carga unitária, temos as seguintes equações de esforços:

$$\overline{M}_{AB}(x) = 0{,}5x \quad \Rightarrow 0 \le x \le 2{,}15 \text{ m}$$

$$\overline{M}_{AB}(x) = 0{,}5x - 1(x - 2{,}15) \quad \Rightarrow 2{,}15 \le x \le 4{,}3 \text{ m}$$

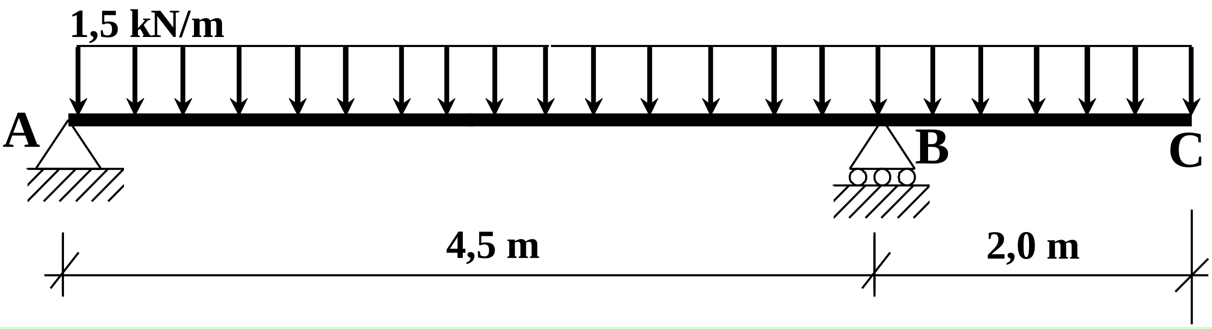
Assim o deslocamento no meio do vão é:

$$EI\,\delta_C = \int_0^{2{,}15} [8{,}87674x - 8{,}9(x + 1{,}2)](0{,}5x)dx + \int_{2{,}15}^{4{,}3} [8{,}87674x - 8{,}9(x + 1{,}2)](-0{,}5x + 2{,}15)dx = -24{,}79975$$

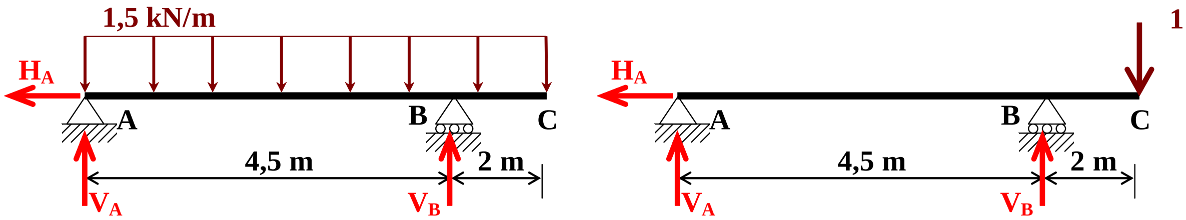
$$\Rightarrow \delta_C = \frac{-24{,}79975}{EI} = \frac{-24{,}79975}{8000} = -0{,}00310 \text{ m}$$

Resposta: Deslocamento vertical no meio do vão é δ=**3,10 mm** (para cima)

7) Calcule o deslocamento vertical do ponto C da viga biapoiada com balanço vista na figura abaixo. Considere a viga trabalhando fundamentalmente à flexão. Adote uma rigidez da seção transversal constante para todo o comprimento da viga $E.I = 609{,}44\ kN.m^2$.



Solução:



Reações de apoio para o carregamento original

$\sum M_z = 0$, ou seja, tomando um eixo z que passa pelo ponto B temos:

$$V_A \times 4{,}5 - (1{,}5 \times 6{,}5) \times 1{,}25 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_A = 2{,}70833\ \text{kN}$$

$\sum F_y = 0$, temos:

$$V_A + V_B - (1{,}5 \times 6{,}5) = 0 \quad \Rightarrow \quad V_B = 7{,}04167\ \text{kN}$$

Tomando a origem de x em A, as equações de esforços nos trechos AB e BC serão:

$$M_{AB}(x) = V_A x - 1{,}5x\frac{x}{2} \Rightarrow M_{AB}(x) = 2{,}70833x - 0{,}75x^2$$

$$M_{BC}(x) = V_A x - 1{,}5x\frac{x}{2} + V_B(x - 4{,}5) \Rightarrow M_{BC}(x) = -31{,}6875 + 9{,}75x - 0{,}75x^2$$

Procedendo de maneira análoga para a carga unitária, temos as seguintes equações de esforços:

$$\overline{M}_{AB}(x) = V_A x \Rightarrow \overline{M}_{AB}(x) = -0{,}444x$$

$$\overline{M}_{BC}(x) = V_A x + V_B \times (x - 4{,}5) \Rightarrow \overline{M}_{BC}(x) = x - 6{,}5$$

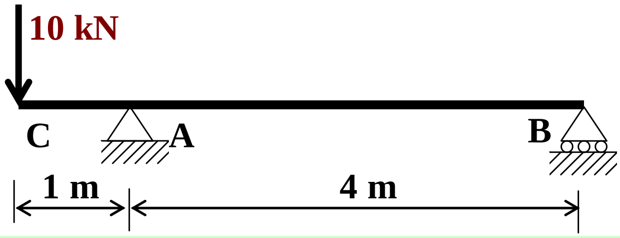
Assim o deslocamento em C:

$$EI\ \delta_C = \int_0^{4,5} (2{,}70833x - 0{,}75x^2)(-0{,}444x)dx + \int_{4,5}^{6,5} (-31{,}6875 + 9{,}75x - 0{,}75x^2)(x - 6{,}5)dx = 0{,}6094$$

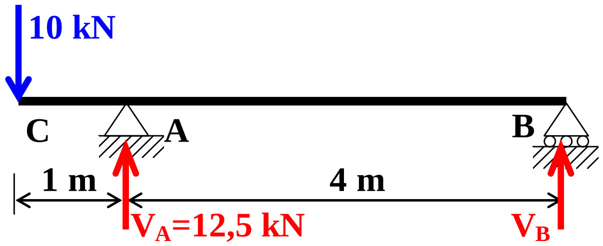
$$\Rightarrow \delta_C = \frac{0{,}6094}{EI} = \frac{0{,}6094}{609{,}44} = 0{,}001\ \text{m}$$

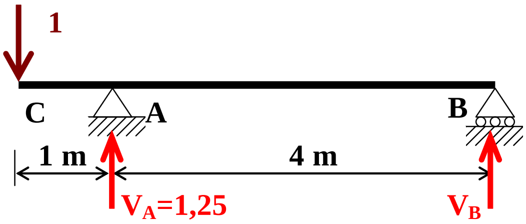
Resposta: Deslocamento vertical do nó C é δ=**1,00 mm** (para baixo)

8) Calcule o deslocamento vertical da extremidade C da viga biapoiada vista na figura abaixo. Considere a viga trabalhando fundamentalmente à flexão com inércia EI = 1000 kN.m^2.



Solução:





Reações de apoio para o carregamento original

$\sum M_z = 0$, ou seja, tomando um eixo z que passa pelo ponto B temos:

$$V_A \times 4{,}0 - 10 \times 5{,}0 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_A = 12{,}5\ \text{kN}$$

$\sum F_y = 0$, temos:

$$V_A + V_B - 10 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_B = -2{,}5\ \text{kN}$$

Tomando a origem de x em C, a equação de esforços nos trechos CA e AB são:

$$M_{AC}(x) = -10x \qquad \Rightarrow 0{,}0 \le x \le 1{,}0\ \text{m}$$

$$M_{AB}(x) = -10x + V_A(x-1) \quad \Rightarrow \quad M_{AB}(x) = -12{,}5 + 2{,}5x \qquad \Rightarrow 1{,}0 \le x \le 5{,}0\ \text{m}$$

Procedendo de maneira análoga para a carga unitária, temos as seguintes equações de esforços:

$$M_{AC}(x) = -x \qquad \Rightarrow 0{,}0 \le x \le 1{,}0\ \text{m}$$

$$M_{AB}(x) = -1{,}25 + 0{,}25x \qquad \Rightarrow 1{,}0 \le x \le 5{,}0\ \text{m}$$

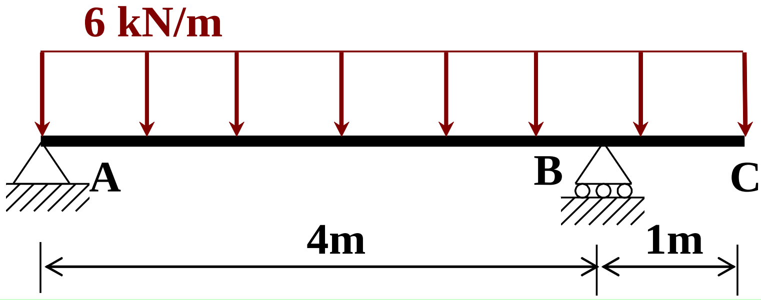
Assim o deslocamento no meio do vão é:

$$EI\ \delta_m = \int_{0,0}^{1,0} [-10x] \times [-x] dx + \int_{1,0}^{5,0} [-12{,}5 + 2{,}5x] \times [-1{,}25 + 0{,}25x] dx = 50/3$$

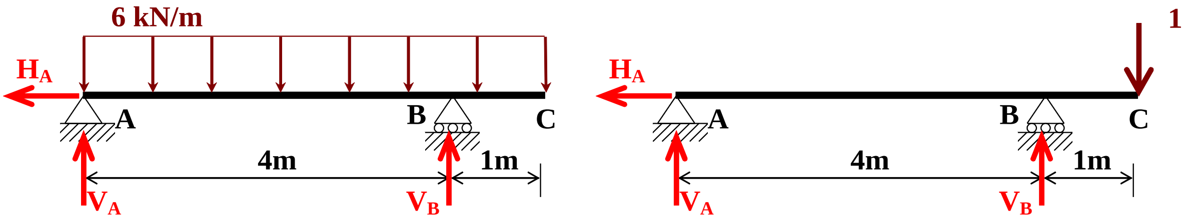
$$\Rightarrow \delta_m = \frac{110/3}{EI} = \frac{50/3}{1000} = 0{,}0167\ \text{m}$$

Resposta: Deslocamento vertical da extremidade C da viga é δ_C = **1,67 cm** (para baixo)

9) Calcule o deslocamento vertical da extremidade (nó C) da viga biapoiada vista na figura abaixo. Considere a viga trabalhando fundamentalmente à flexão com inércia EI = 11250 kN.m^2.



Solução:



Reações de apoio para o carregamento original

$\sum M_z = 0$, ou seja, tomando um eixo z que passa pelo ponto B temos:

$$V_A \times 4 - (6 \times 5) \times 1{,}5 = 0 \quad \Rightarrow \quad V_A = 11{,}25 \text{ kN}$$

$\sum F_y = 0$, temos:

$$V_A + V_B - (6 \times 5) = 0 \quad \Rightarrow \quad V_B = 18{,}75 \text{ kN}$$

Tomando a origem de x em A, as equações de esforços nos trechos AB e BC serão:

$$M_{AB}(x) = V_A x - 6x\frac{x}{2} \Rightarrow M_{AB}(x) = 11{,}25x - 3x^2$$

$$M_{BC}(x) = V_A x - 6x\frac{x}{2} + V_B(x-4) \Rightarrow M_{BC}(x) = -75 + 30x - 3x^2$$

Procedendo de maneira análoga para a carga unitária, temos as seguintes equações de esforços:

$$\overline{M}_{AB}(x) = V_A x \Rightarrow \overline{M}_{AB}(x) = -\frac{1}{4}x$$

$$\overline{M}_{BC}(x) = V_A x + V_B \times (x-4) \Rightarrow \overline{M}_{BC}(x) = x - 5$$

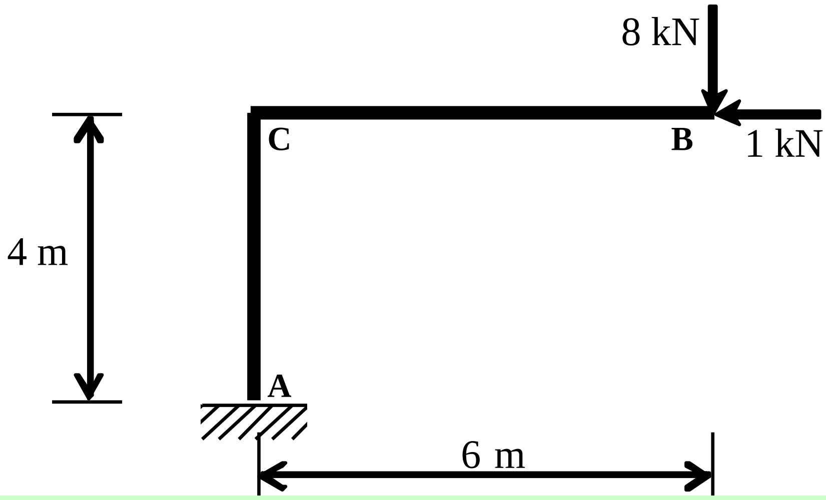
Assim o deslocamento em C:

$$EI\,\delta_C = \int_0^4 (11{,}25x - 3x^2)\left(-\frac{1}{4}x\right)dx + \int_4^5 (-75 + 30x - 3x^2)(x-5)dx = -12 + 0{,}75 = -11{,}25$$

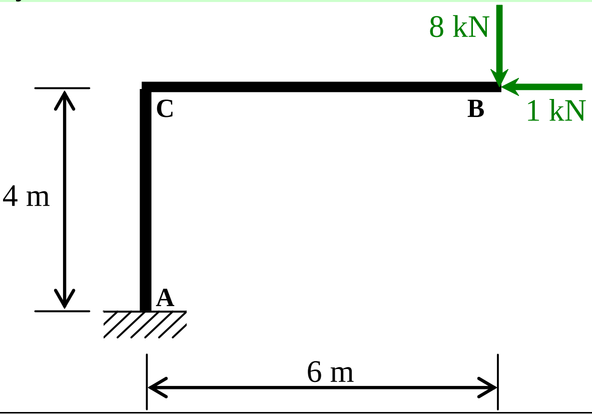
$$\Rightarrow \delta_C = \frac{-11{,}25}{EI} = \frac{-11{,}25}{11250} = -0{,}001 \text{ m}$$

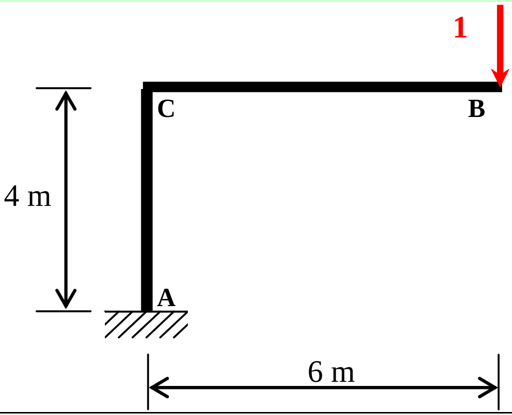
Resposta: Deslocamento vertical do nó C é δ=**1,00 mm** (para cima)

10) Calcule o deslocamento vertical do nó B do quadro isostático visto na figura abaixo. Considere o quadro trabalhando fundamentalmente à flexão com inércia constante nas duas barras EI = 135500 kN.m^2.



Solução:





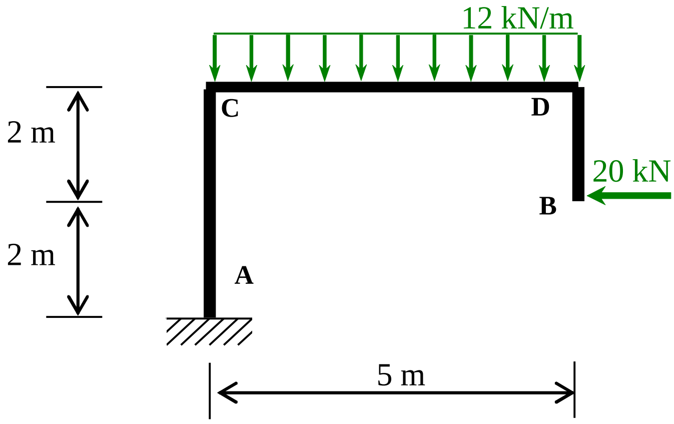
Equações de momentos para o carregamento original	Equações de momentos para a carga unitária
Barra BC – origem do eixo x em B $M_{BC}(x) = 8x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 6\ \text{m}$	Barra BC – origem do eixo x em B $\overline{M}_{BD}(x) = x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 6\ \text{m}$
Barra AC – origem do eixo x em C $M_{BD}(x) = 48 - 1x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 4\ \text{m}$	Barra AC – origem do eixo x em C $\overline{M}_{BD}(x) = 6 \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 4\ \text{m}$

$$EI\ \delta_{VB} = \int M\overline{M} = \int_0^6 (8x)(x)\,dx + \int_0^4 (48 - x)(6)\,dx = 1680$$

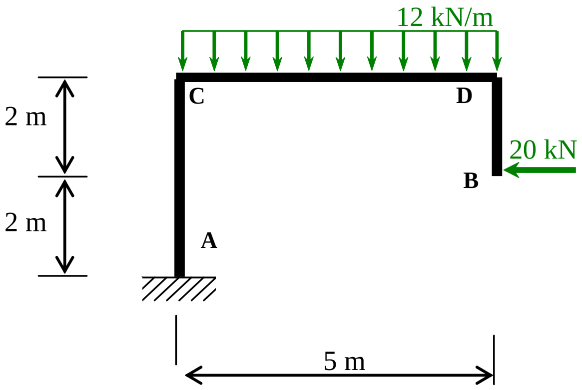
$$\Rightarrow \quad \delta_{VB} = \frac{1680}{EI} = \frac{1680}{135500} = 0{,}0124\ \text{m}$$

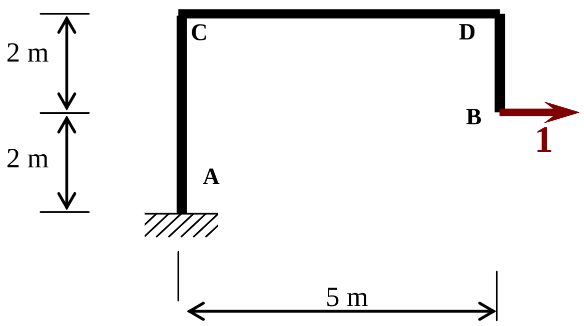
Resposta: Deslocamento vertical do nó B é δ_{VB}=**1,24 cm** (para baixo)

11) Calcule os deslocamentos horizontal e vertical do nó B do quadro isostático representado pela figura abaixo. Considere o quadro trabalhando basicamente à flexão com inércia EI = 80000 kN.m^2.



Solução:





Equações de momentos para o carregamento original	Equações de momentos para a carga unitária
Barra BD – origem do eixo x em B $M_{BD}(x) = 20x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 2\text{ m}$	Barra BD – origem do eixo x em B $\overline{M}_{BD}(x) = -x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 2\text{ m}$
Barra CD – origem do eixo x em D $M_{BD}(x) = 6x^2 + 40 \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 5\text{ m}$	Barra CD – origem do eixo x em D $\overline{M}_{BD}(x) = -2 \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 5\text{ m}$
Barra AC – origem do eixo x em C $M_{BD}(x) = 190 - 20x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 4\text{ m}$	Barra AC – origem do eixo x em C $\overline{M}_{BD}(x) = x - 2 \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 4\text{ m}$

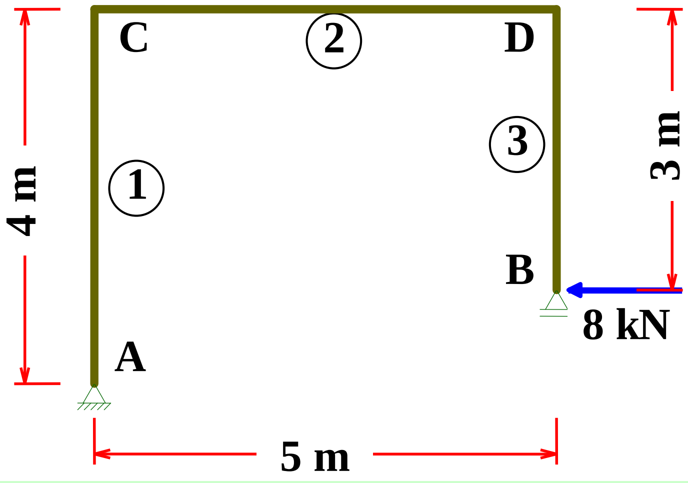
$$EI\,\delta_{HB} = \int M\overline{M} = \int_0^2 (20x)(-x)\,dx + \int_0^5 (6x^2 + 40)(-2)\,dx + \int_0^4 (190 - 20x)(x - 2)\,dx = -1060$$

$$\Rightarrow \quad \delta_{HB} = \frac{-1060}{EI} = \frac{-1060}{80000} = -0{,}01325\text{ m}$$

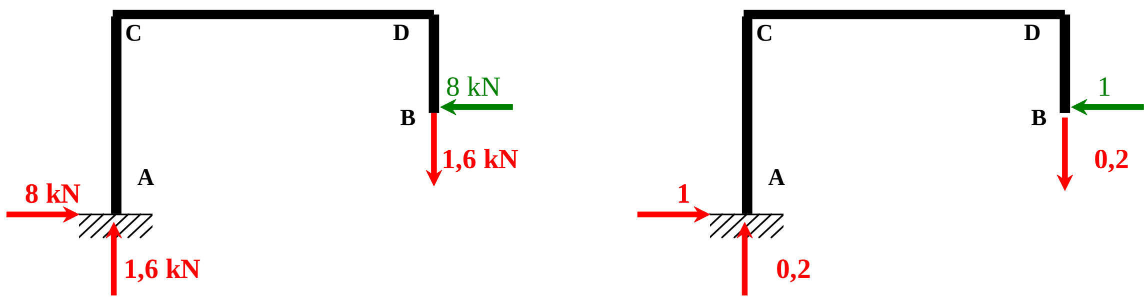
Deslocamento horizontal do nó B = 0,01325 m.

Resposta: Deslocamento horizontal do nó B é δ=**13,3 mm** (para esquerda)

12) Calcule o deslocamento horizontal do apoio B do pórtico hiperestático representado pela figura abaixo. Considere as barras 1 e 3 de inércia EI=20000 kN.m^2 e a barra 2 de inércia 4EI, todas trabalhando fundamentalmente à flexão.



Solução:



Equações de momentos para o carregamento original	Equações de momentos para a carga unitária
Barra BD – origem do eixo x em B $M_{BD}(x) = 8x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 3\,\text{m}$	Barra BD – origem do eixo x em B $\overline{M}_{BD}(x) = x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 3\,\text{m}$
Barra CD – origem do eixo x em D $M_{CD}(x) = 24 + 1{,}6x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 5\,\text{m}$	Barra CD – origem do eixo x em D $\overline{M}_{CD}(x) = 3 + 0{,}2x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 5\,\text{m}$
Barra AC – origem do eixo x em A $M_{AC}(x) = 8x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 4\,\text{m}$	Barra AC – origem do eixo x em A $\overline{M}_{AC}(x) = x \quad \Rightarrow \quad 0 \le x \le 4\,\text{m}$

$$\delta_{HB} = \int \frac{M\overline{M}}{EI} = \int_0^3 \frac{(8x)(x)}{EI}\,dx + \int_0^5 \frac{(24+1{,}6x)(3+0{,}2x)}{4EI}\,dx + \int_0^4 \frac{(8x)(x)}{EI}\,dx$$

$$\Rightarrow \delta_{HB} = 8\int_0^3 \frac{(x^2)}{EI}\,dx + 8\int_0^5 \frac{(3+0{,}2x)^2}{4EI}\,dx + 8\int_0^4 \frac{(x^2)}{EI}\,dx = \frac{366}{EI}$$

$$\Rightarrow \quad \delta_{HB} = \frac{366}{20000} = 0{,}0183\,\text{m}$$

Resposta: Deslocamento horizontal do nó B é δ=**18,3 mm** (para esquerda)