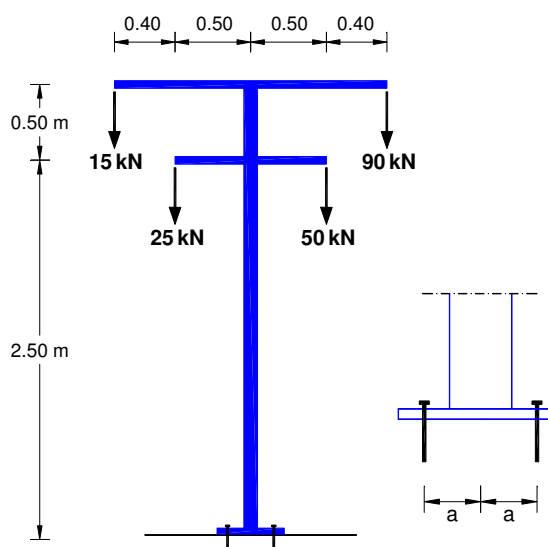
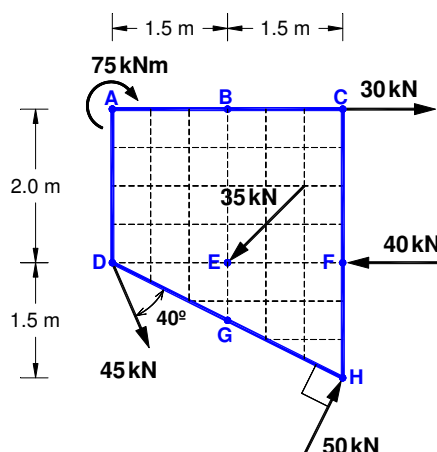
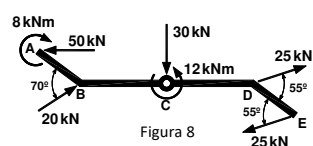
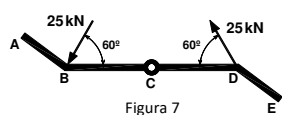
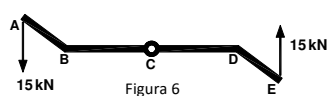
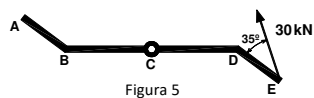
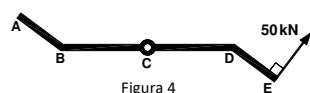
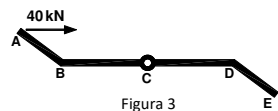
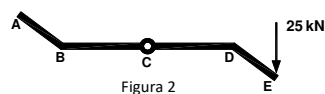
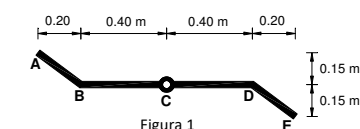


LICENCIATURA EM ENGENHARIA CIVIL

ESTÁTICA



ESTÁTICA DO CORPO RÍGIDO

EQUILÍBRIO DO CORPO RÍGIDO

SISTEMAS DE FORÇAS EQUIVALENTES

EXERCÍCIOS PROPOSTOS E RESOLVIDOS

ISABEL ALVIM TELES

EXERCÍCIO 1

Considere a manivela que roda em torno do ponto **C** e que se encontra caracterizada na *figura 1*.

a) Figura 2

- a1)** Determine o momento da força em relação ao pto **C**;
- a2)** Determine o momento da força em relação ao pto **D**;

b) Figura 3

- b1)** Determine o momento da força em relação ao pto **C**;
- b2)** Determine o momento da força em relação ao pto **E**;

c) Figura 4

- c1)** Determine o momento da força em relação ao pto **D**;
- c2)** Determine o momento da força em relação ao pto **C**;

d) Figura 5

- d1)** Determine o momento da força em relação ao pto **D**;
- d2)** Determine o momento da força em relação ao pto **C**;

e) Figura 6

- e1)** Determine o momento do binário em relação ao pto **C**;
- e2)** Determine o momento do binário em relação ao pto **B**;
- e3)** Determine o momento do binário em relação ao pto **A**;

f) Figura 7

- f1)** Determine o momento de todas as forças em relação ao pto **C**;
- f2)** Determine o momento de todas as forças em relação ao pto **E**;
- f3)** Substitua o sistema de forças por outro equivalente com ponto de aplicação em **D**;
- f4)** Determine a força vertical a actuar em **A** que, actuando conjuntamente com as forças representadas na figura, conduz a um momento nulo em **C**;
- f5)** Determine a força horizontal a actuar em **E** que, actuando conjuntamente com as forças representadas na figura, conduz a um momento em **A** de 20 kNm (sentido horário);

g) Figura 8

- g1)** Reduza o sistema de forças a um sistema força+momento equivalente com ponto de aplicação em **C**;
- g2)** Reduza o sistema de forças da figura a um sistema força+momento equivalente com ponto de aplicação a meio da barra **DE**;
- g3)** Reduza o sistema de forças a uma resultante com ponto de aplicação sobre o tramo **BCD**.

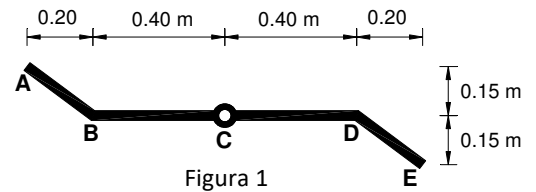


Figura 1

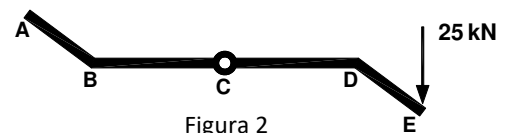


Figura 2

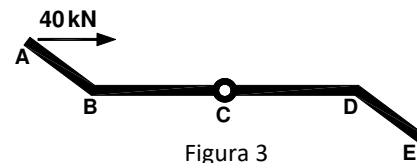


Figura 3

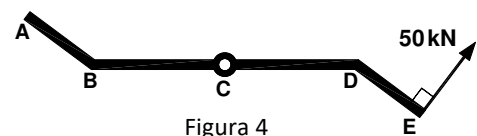


Figura 4

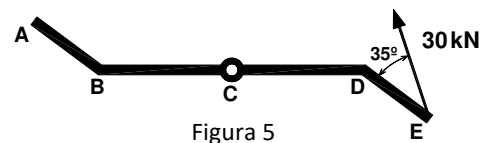


Figura 5

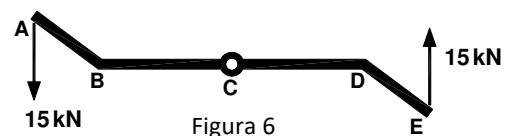


Figura 6

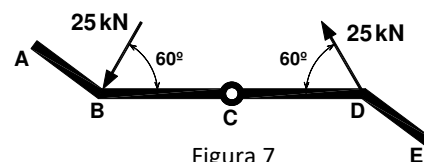


Figura 7

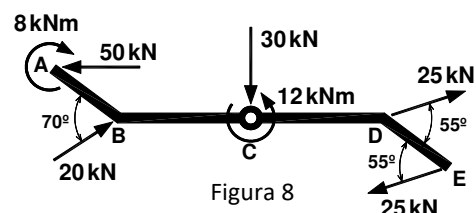


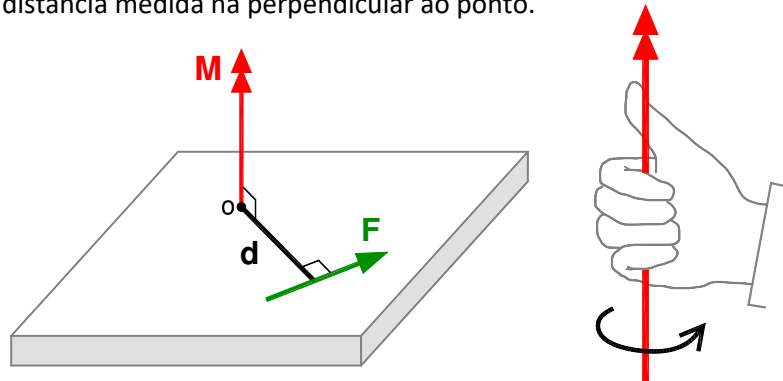
Figura 8

RESOLUÇÃO

O **momento de uma força em relação a um ponto** é uma grandeza vectorial cuja intensidade é dada pelo produto da força pela distância medida na perpendicular ao ponto.

$$|M_o| = |F| \times d$$

unidades: N.m ou kN.m

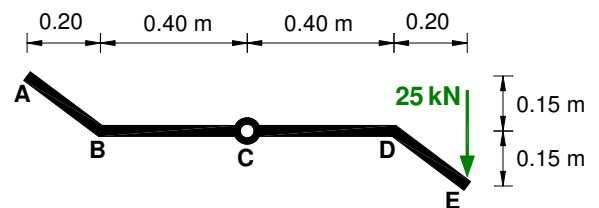


A **direção** do vector que representa o momento de uma força em relação a um ponto é perpendicular ao plano definido pela força e pelo ponto.

O **sentido** do vector que representa o momento é o dado pela regra da mão direita (ver figura).

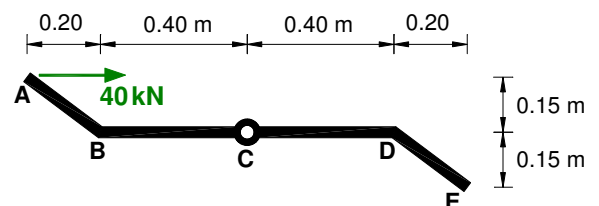
Alínea a) – a1) $M_C = 25 \times 0,60 = 15 \text{ kNm}$ ↺

a2) $M_D = 25 \times 0,20 = 5 \text{ kNm}$ ↺

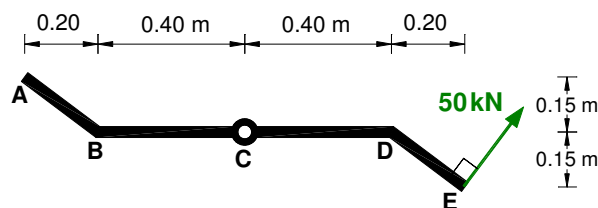


Alínea b) – b1) $M_C = 40 \times 0,15 = 6 \text{ kNm}$ ↺

b2) $M_E = 40 \times 0,30 = 12 \text{ kNm}$ ↺



Alínea c) – c1) Como a força de 50 kN é perpendicular ao tramo DE então o comprimento DE é o braço do momento da força de 50 kN em relação a D.



$$\overline{DE} = \sqrt{0,20^2 + 0,15^2} = 0,25 \text{ m}$$

$$M_D = 50 \times \overline{DE} = 50 \times 0,25 = 12,5 \text{ kNm}$$
 ↺

ESTÁTICA

FICHA 3 – ESTATICA DO CORPO RÍGIDO

EXERCÍCIO 1

ISABEL ALVIM TELES

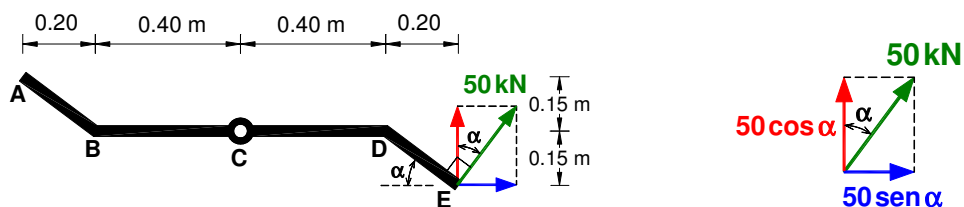
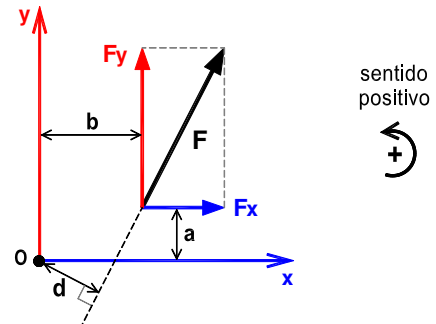
c2) Na resolução desta alínea será aplicado o Teorema de Varignon.

TEOREMA DE VARIGNON

O momento de várias forças concorrentes em relação a um ponto **O**, é igual ao momento da sua resultante em relação ao mesmo ponto **O**.

$$M_O^F = M_O^{F_x} + M_O^{F_y}$$

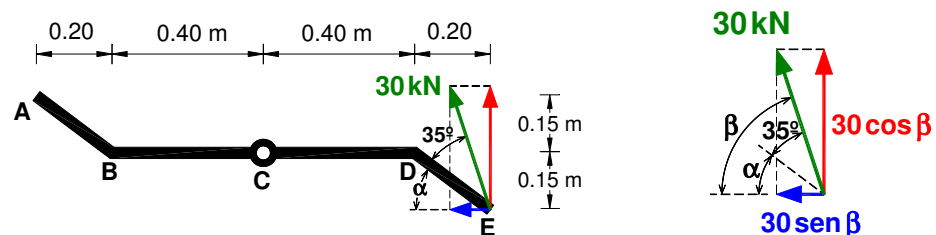
$$F \cdot d = -F_x \cdot a + F_y \cdot b$$



$$\alpha = \arctg \frac{0,15}{0,20} = 36,870^\circ \Rightarrow \begin{cases} \cos \alpha = 0,8 \\ \sin \alpha = 0,6 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_x = 50 \sin \alpha = 30 \text{ kN} \\ F_y = 50 \cos \alpha = 40 \text{ kN} \end{cases}$$

$$M_C = F_x \times 0,15 + F_y \times 0,60 = 30 \times 0,15 + 40 \times 0,60 = 28,5 \text{ kNm} \curvearrowright$$

Alínea d)



$$\beta = \alpha + 35^\circ = 36,870^\circ + 35^\circ = 71,87^\circ \Rightarrow \begin{cases} F_x = 30 \cos \beta = 30 \cos 71,87^\circ \leftarrow \\ F_y = 30 \sin \beta = 30 \sin 71,87^\circ \uparrow \end{cases}$$

Nos cálculos será considerado para sentido positivo dos momentos: $\curvearrowright$

d1) $M_D = M_D^{F_x} + M_D^{F_y} = -30 \cos 71,87^\circ \times 0,15 + 30 \sin 71,87^\circ \times 0,20 = 4,302 \text{ kNm} \curvearrowright$

d2) $M_C = M_C^{F_x} + M_C^{F_y} = -30 \cos 71,87^\circ \times 0,15 + 30 \sin 71,87^\circ \times 0,60 = 15,706 \text{ kNm} \curvearrowright$

Alínea e)

NOÇÃO DE BINÁRIO DE FORÇAS

Um **binário** é um conjunto de duas forças com a mesma grandeza, direcções paralelas e sentidos contrários.

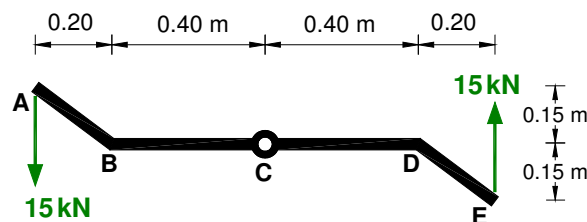
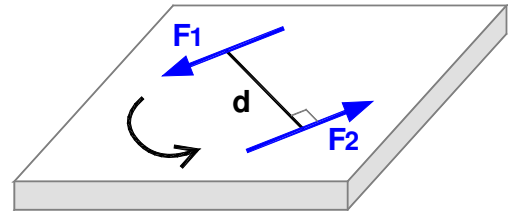
Forças com a mesma grandeza $\Rightarrow |F_1| = |F_2| = F$

Como as forças têm grandezas iguais e sentidos contrários, a força resultante do sistema é nula.

Aplicar um binário a um corpo rígido é equivalente a aplicar um momento de grandeza: $M = F \times d$

A distância d medida na perpendicular entre as duas forças chama-se **braço do binário**.

- O momento de um binário não depende do ponto onde é calculado.
- O momento de um binário não depende do ponto de aplicação das forças que o constituem (desde que seja mantido o braço do binário, ou seja, que as forças que constituem o binário mantenham a distância entre si).



Momento do binário: $M = F \times d \Rightarrow M = 15 \times 1,20 = 18 \text{ kNm}$ ↺

$$M_A = M_B = M_C = M_D = M_E = F \times d = 18 \text{ kNm} \quad \curvearrowright$$

Confirmação:

e1) $M_C = 15 \times 0,60 + 15 \times 0,60 = 18 \text{ kNm}$ ↺

e2) $M_B = 15 \times 1,00 + 15 \times 0,20 = 18 \text{ kNm}$ ↺

e3) $M_A = 15 \times 1,20 + 15 \times 0 = 18 \text{ kNm}$ ↺

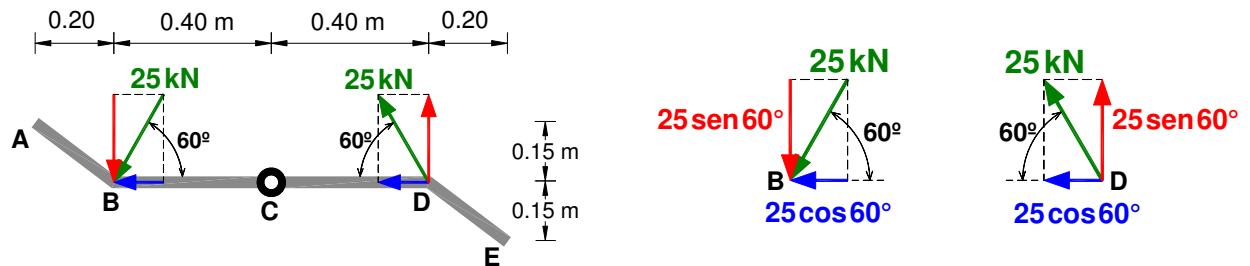
ESTÁTICA

FICHA 3 – ESTÁTICA DO CORPO RÍGIDO

EXERCÍCIO 1

ISABEL ALVIM TELES

Alínea f)



Nos cálculos será considerado para sentido positivo dos momentos: ↺

f1) $M_C = 25 \sin 60^\circ \times 0,80 = 17,321 \text{ kNm}$ ↺

f2) $M_E = 25 \cos 60^\circ \times 0,15 - 25 \sin 60^\circ \times 0,20 + 25 \cos 60^\circ \times 0,15 + 25 \sin 60^\circ \times 1,00 = 21,071 \text{ kNm}$ ↺

f3) Sistemas equivalentes

SISTEMAS DE FORÇAS EQUIVALENTES

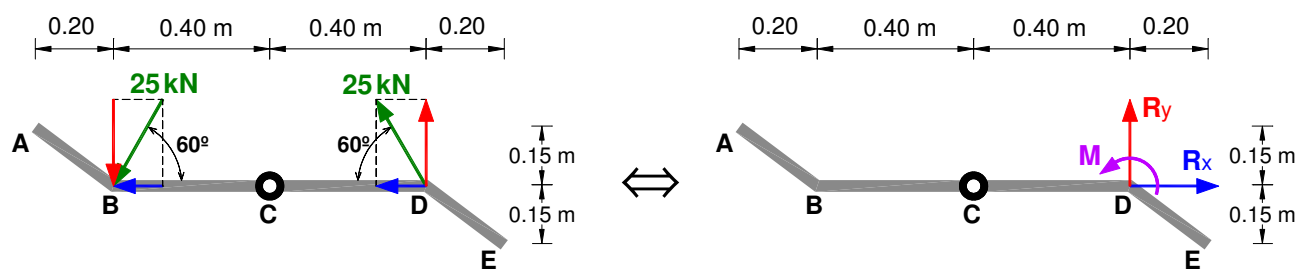
Para que dois sistemas de forças sejam equivalentes é necessário que sejam iguais:

- a resultante dos dois sistemas de forças;
- os momentos dos dois sistemas de forças em relação a um mesmo ponto **P**.

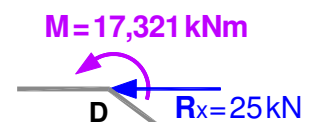
Se o sistema de forças **F** é equivalente ao sistema de forças **Q** $\Rightarrow$

$$\bar{R}_F = \bar{R}_Q \Rightarrow \begin{cases} \sum F_x = \sum Q_x \\ \sum F_y = \sum Q_y \end{cases}$$

$$\sum M_P^F = \sum M_P^Q$$



$$\begin{cases} R_x = -25 \cos 60^\circ - 25 \cos 60^\circ \\ R_y = 25 \sin 60^\circ - 25 \sin 60^\circ \\ \sum M_D \Rightarrow M = 25 \sin 60^\circ \times 0,80 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_x = -25 \text{ kN} \\ R_y = 0 \\ M = 17,321 \text{ kNm} \end{cases}$$



ESTÁTICA

FICHA 3 – ESTÁTICA DO CORPO RÍGIDO

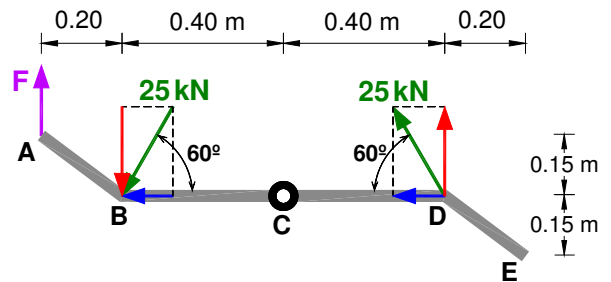
EXERCÍCIO 1

ISABEL ALVIM TELES

f4) $\sum M_C = 0$

$$25 \sin 60^\circ \times 0,80 - F \times 0,60 = 0$$

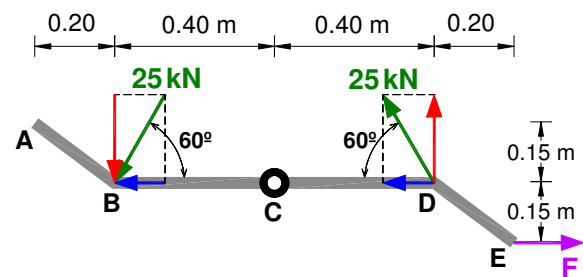
$$F = 28,868 \text{ kN } \uparrow$$



f5) $\sum M_A = -20 \text{ kNm } \curvearrowright$

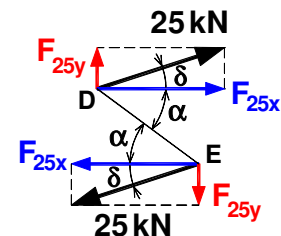
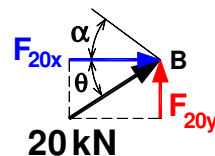
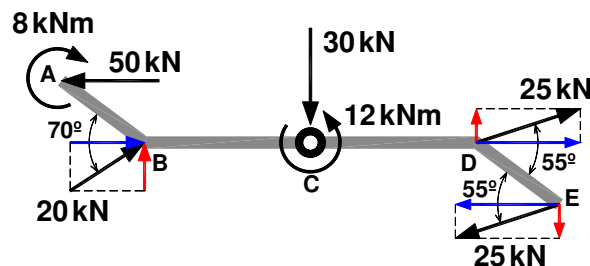
$$25 \sin 60^\circ \times 0,80 - 2 \times 25 \cos 60^\circ \times 0,15 + F \times 0,30 = -20$$

$$F = -111,902 \text{ kN } \leftarrow$$



Alínea g)

g1)



$$\alpha = 36,870^\circ \text{ (ver alínea a)}$$

$$\theta = 70^\circ - \alpha \Rightarrow \theta = 33,130^\circ$$

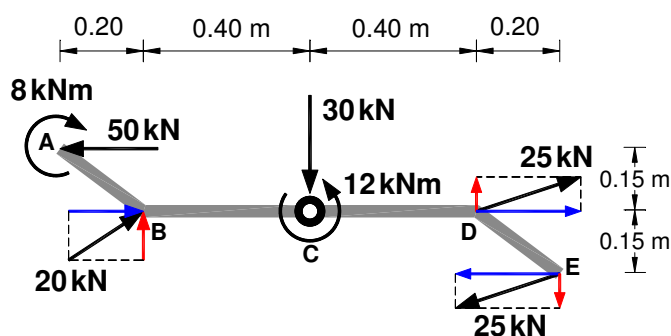
$$\delta = 55^\circ - \alpha \Rightarrow \delta = 18,130^\circ$$

$$F_{20x} = 20 \cos 33,13^\circ \text{ N}$$

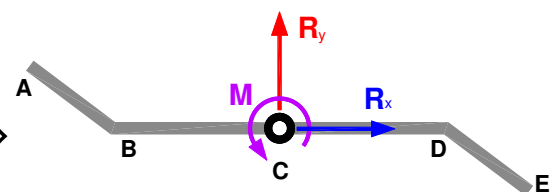
$$F_{20y} = 20 \sin 33,13^\circ \text{ N}$$

$$|F_{25x}| = 25 \cos 18,13^\circ \text{ N}$$

$$|F_{25y}| = 25 \sin 18,13^\circ \text{ N}$$



Sistema F



Sistema Q

ESTÁTICA

FICHA 3 – ESTÁTICA DO CORPO RÍGIDO

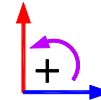
EXERCÍCIO 1

ISABEL ALVIM TELES

Se o sistema de forças **Q** é equivalente ao sistema de forças **F** $\Rightarrow$

$$\bar{R}_Q = \bar{R}_F \Rightarrow \begin{cases} \sum Q_x = \sum F_x \\ \sum Q_y = \sum F_y \\ \sum M_P^Q = \sum M_P^F \end{cases}$$

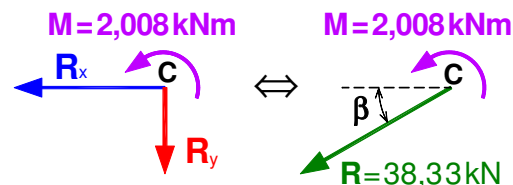
Em todos os cálculos foram considerados sentidos positivos os seguintes:



Momento do binário das forças de 25 kN = $-25 \sin 18,13^\circ \times 0,20 - 25 \cos 18,13^\circ \times 0,15 = -5,1197$ kNm

$$\sum M_C^Q = \sum M_C^F \Rightarrow \begin{cases} R_x = -50 + 20 \cos 33,13^\circ \\ R_y = -30 + 20 \sin 33,13^\circ \\ M = 12 - 8 + 50 \times 0,15 - 20 \sin 33,13^\circ \times 0,40 - 5,1197 \end{cases}$$

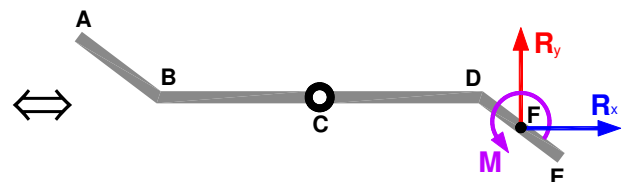
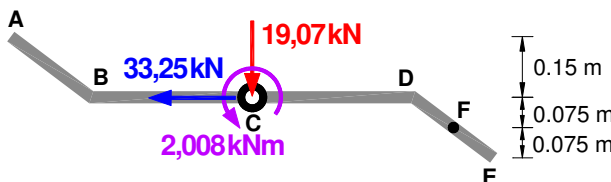
$$\begin{cases} R_x = -33,25 \text{ kN} \\ R_y = -19,07 \text{ kN} \\ M = 2,008 \text{ kNm} \end{cases}$$



Resultante: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(-33,25)^2 + (-19,07)^2} = 38,33 \text{ kN}$

Ângulo com a horizontal: $\beta = \arctg \frac{R_y}{R_x} = \arctg \frac{19,07}{33,25} = 29,65^\circ$

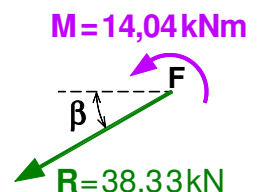
g2)



$$\sum M_F \Rightarrow \begin{cases} R_x = -33,25 \\ R_y = -19,07 \\ M = 2,008 + 33,25 \times 0,075 + 19,07 \times 0,50 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_x = -33,25 \text{ kN} \leftarrow \\ R_y = -19,07 \text{ kN} \downarrow \\ M = 14,04 \text{ kNm} \curvearrowright \end{cases}$$

Resultante: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(-33,25)^2 + (-19,07)^2} = 38,33 \text{ kN}$

Ângulo com a horizontal: $\beta = \arctg \frac{R_y}{R_x} = \arctg \frac{19,07}{33,25} = 29,65^\circ$



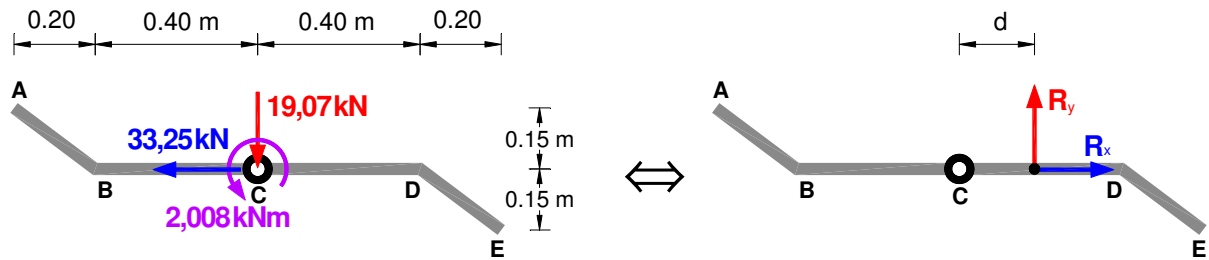
ESTÁTICA

FICHA 3 – ESTÁTICA DO CORPO RÍGIDO

EXERCÍCIO 1

ISABEL ALVIM TELES

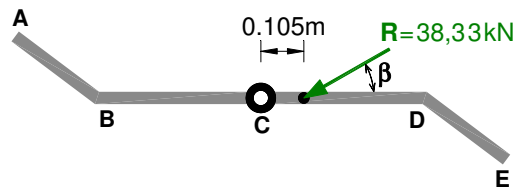
g3)



$$\sum M_C \Rightarrow \begin{cases} R_x = -33,25 \\ R_y = -19,07 \\ R_y \times d = 2,008 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_x = -33,25 \text{ kN} \leftarrow \\ R_y = -19,07 \text{ kN} \downarrow \\ d = 0,105 \text{ m} \end{cases}$$

Resultante: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(-33,25)^2 + (-19,07)^2} = 38,33 \text{ kN}$

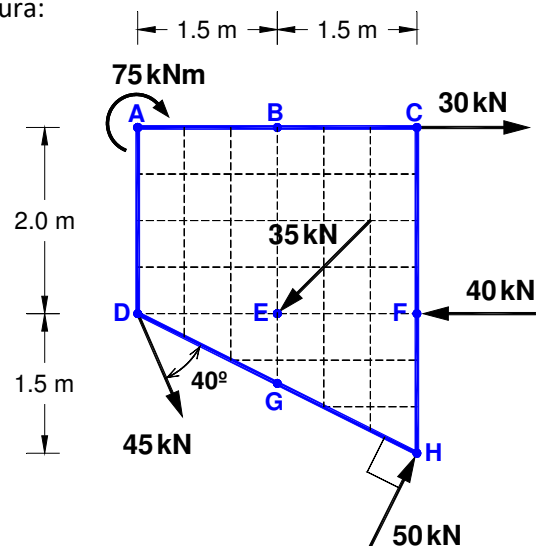
Ângulo com a horizontal: $\beta = \arctg \frac{R_y}{R_x} = \arctg \frac{19,07}{33,25} = 29,65^\circ$



EXERCÍCIO 2

Considere o corpo rígido representado na figura.

- Determine a força e o momento a aplicar em **B** para que, conjuntamente com o carregamento da figura, o corpo rígido esteja em equilíbrio.
- Para que seja alcançado o equilíbrio do corpo, determine as seguintes três forças que deverão actuar conjuntamente com o carregamento da figura:
 - uma força horizontal a aplicar em **D**;
 - uma força horizontal a aplicar em **H**;
 - uma força vertical a aplicar em **G**.
- Reduza o carregamento representado a um sistema força+momento equivalente com ponto de aplicação em **A**.
- Reduza o carregamento representado a um sistema força+momento equivalente com ponto de aplicação em **G**.
- Reduza o carregamento representado a uma resultante com ponto de aplicação sobre o alinhamento **ABC**.



RESOLUÇÃO

Alínea a)

EQUILÍBRIO DE UM CORPO RÍGIDO

Para que um corpo rígido sob a acção de um sistema de forças esteja em equilíbrio é necessário que:

- a resultante do sistema de forças a actuar no corpo rígido seja zero;
- o somatório dos momentos do sistema de forças em relação a um qualquer ponto **P** seja zero.

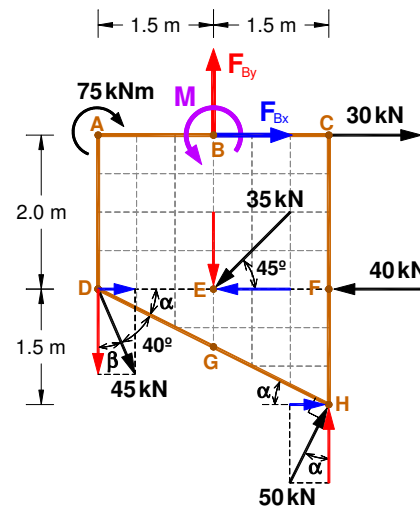
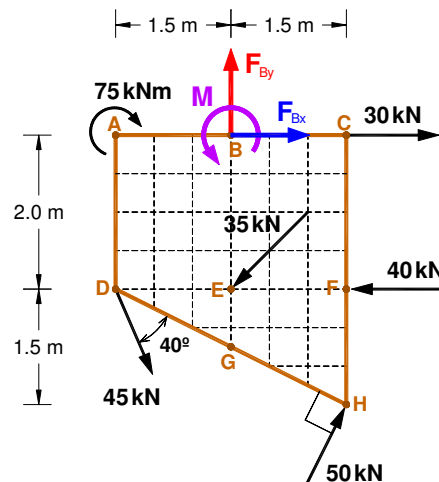
$$\text{Condição de equilíbrio de um corpo rígido: } \begin{cases} R = 0 \\ \sum M = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_P = 0 \end{cases}$$

ESTÁTICA

FICHA 3 – ESTÁTICA DO CORPO RÍGIDO

EXERCÍCIO 2

ISABEL ALVIM TELES



$$\alpha = \arctg \frac{1,5}{3} = 26,565^\circ$$

$$\alpha + 40^\circ + \beta = 90^\circ \Rightarrow \beta = 23,435^\circ$$

Condição de equilíbrio de um corpo rígido:

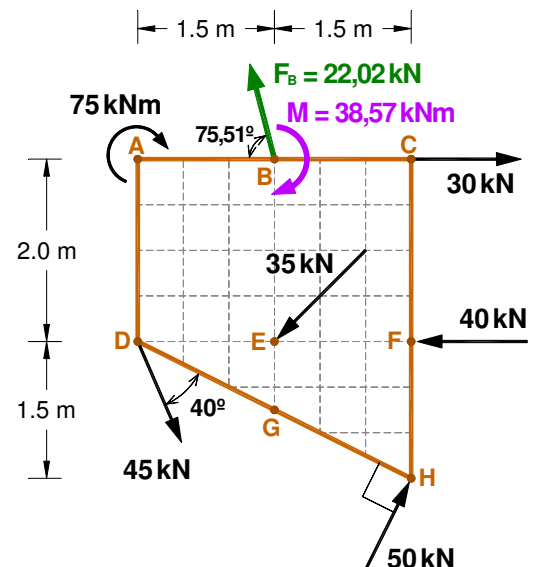
$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_B = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \Rightarrow F_{Bx} + 30 - 40 + 45 \sin 23,435^\circ + 50 \sin 26,565^\circ - 35 \cos 45^\circ = 0 \\ \sum F_y = 0 \Rightarrow F_{By} - 45 \cos 23,435^\circ + 50 \cos 26,565^\circ - 35 \sin 45^\circ = 0 \\ \sum M_B = 0 \Rightarrow M - 75 - 40 \times 2 + 45 \sin 23,435^\circ \times 2 + 45 \cos 23,435^\circ \times 1,5 + 50 \sin 26,565^\circ \times 3,5 + \\ + 50 \cos 26,565^\circ \times 1,5 - 35 \cos 45^\circ \times 2 = 0 \end{cases}$$

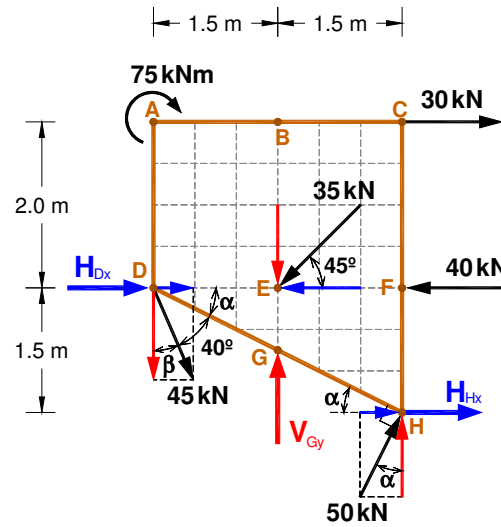
$$\begin{cases} F_{Bx} = -5,51 \text{ kN} \leftarrow \\ F_{By} = 21,32 \text{ kN} \uparrow \\ M = -38,57 \text{ kNm} \curvearrowright \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{Força } F_B &= \sqrt{F_{Bx}^2 + F_{By}^2} = \\ &= \sqrt{(-5,51)^2 + 21,32^2} = 22,02 \text{ kN} \nearrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ângulo com a horizontal} &= \arctg \frac{F_{By}}{F_{Bx}} = \\ &= \arctg \frac{21,32}{5,51} = 75,51^\circ \end{aligned}$$



Alínea b)



$$\alpha = 26,565^\circ$$

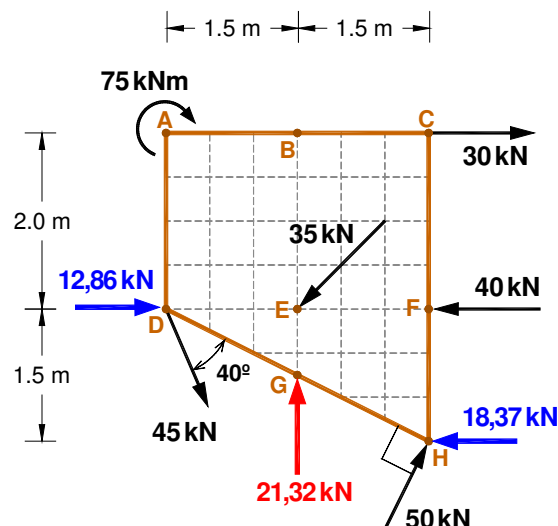
$$\beta = 23,435^\circ$$

Condição de equilíbrio de um corpo rígido:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \\ \sum M_E = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum F_x = 0 \Rightarrow H_{Dx} + H_{Hx} + 30 - 40 + 45 \sin 23,435^\circ + 50 \sin 26,565^\circ - 35 \cos 45^\circ = 0 \\ \sum F_y = 0 \Rightarrow V_{Gy} - 45 \cos 23,435^\circ + 50 \cos 26,565^\circ - 35 \sin 45^\circ = 0 \\ \sum M_E = 0 \Rightarrow -75 - 30 \times 2 + 45 \cos 23,435^\circ \times 1,5 + 50 \sin 26,565^\circ \times 1,5 + \\ + 50 \cos 26,565^\circ \times 1,5 + H_{Hx} \times 1,5 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} H_{Dx} = 12,86 \text{ kN} \rightarrow \\ V_{Gy} = 21,32 \text{ kN} \uparrow \\ H_{Hx} = -18,37 \text{ kN} \leftarrow \end{cases}$$



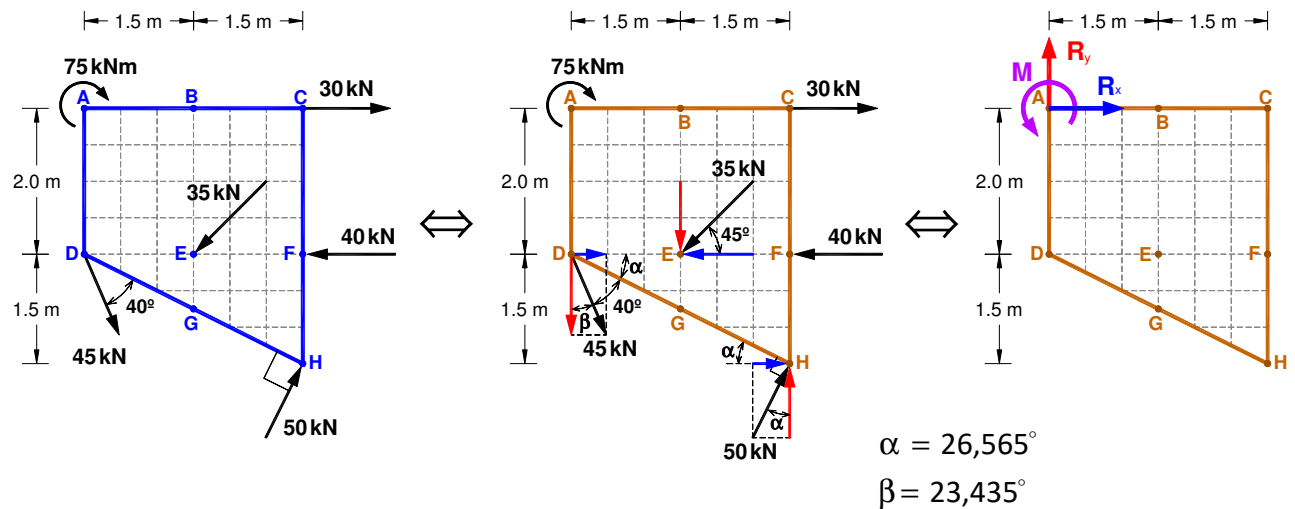
ESTÁTICA

FICHA 3 – ESTATICA DO CORPO RÍGIDO

EXERCÍCIO 2

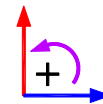
ISABEL ALVIM TELES

Alínea c)



Sistemas equivalentes $\Rightarrow$
$$\begin{cases} \sum Q_x = \sum F_x \\ \sum Q_y = \sum F_y \\ \sum M_A^Q = \sum M_A^F \end{cases}$$

Em todos os cálculos foram considerados sentidos positivos os seguintes:

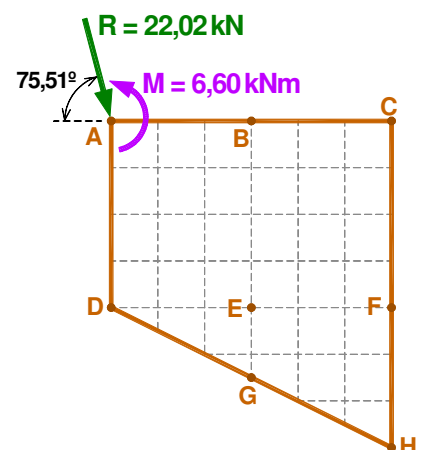


$$\begin{cases} R_x = 30 - 40 + 45 \sin 23,435^\circ + 50 \sin 26,565^\circ - 35 \cos 45^\circ \\ R_y = -45 \cos 23,435^\circ + 50 \cos 26,565^\circ - 35 \sin 45^\circ \\ M = -75 - 40 \times 2 + 45 \sin 23,435^\circ \times 2 + 50 \sin 26,565^\circ \times 3,5 + 50 \cos 26,565^\circ \times 3 - 35 \frac{\sqrt{2}}{2} (2 + 1,5) \end{cases}$$

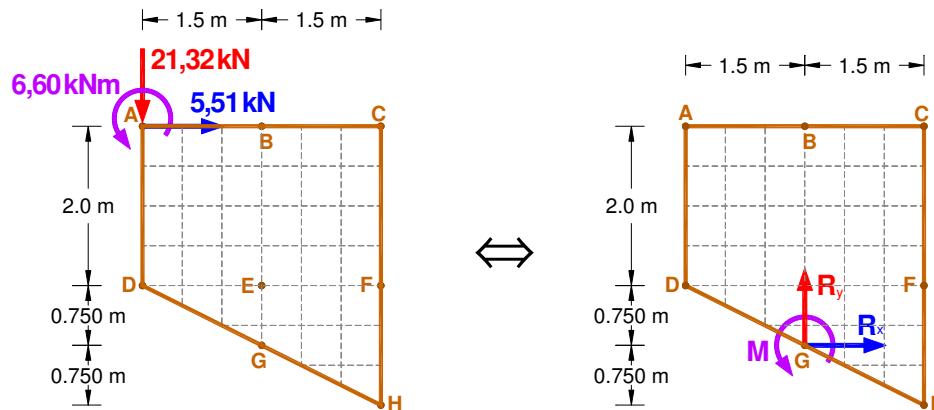
$$\begin{cases} R_x = 5,51 \text{ kN} \rightarrow \\ R_y = -21,32 \text{ kN} \downarrow \\ M = 6,60 \text{ kNm} \curvearrowright \end{cases}$$

Resultante: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{5,51^2 + (-21,32)^2} = 22,02 \text{ kN}$

Ângulo com a horizontal = $\arctg \frac{R_y}{R_x} = \arctg \frac{21,32}{5,51} = 75,51^\circ$

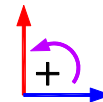


Alínea d)



Sistemas equivalentes $\Rightarrow$
$$\begin{cases} \sum Q_x = \sum F_x \\ \sum Q_y = \sum F_y \\ \sum M_G^Q = \sum M_G^F \end{cases}$$

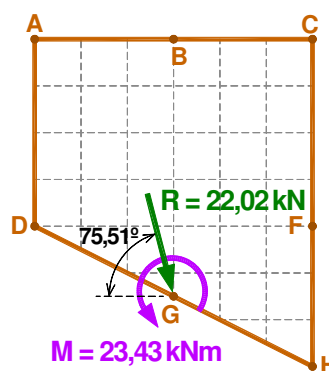
Em todos os cálculos foram considerados sentidos positivos os seguintes:



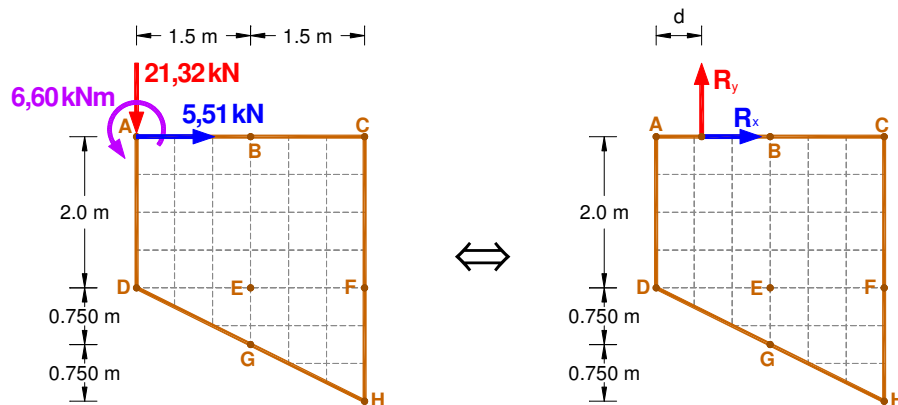
$$\begin{cases} R_x = 5,51 \text{ kN} \rightarrow \\ R_y = -21,32 \text{ kN} \downarrow \\ M = 6,60 + 21,32 \times 1,5 - 5,51 \times 2,75 = 23,43 \text{ kNm} \curvearrowright \end{cases}$$

Resultante: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{5,51^2 + (-21,32)^2} = 22,02 \text{ kN}$

Ângulo com a horizontal $= \arctg \frac{R_y}{R_x} = \arctg \frac{21,32}{5,51} = 75,51^\circ$

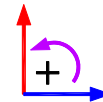


Alínea e)



Sistemas equivalentes $\Rightarrow$
$$\begin{cases} \sum Q_x = \sum F_x \\ \sum Q_y = \sum F_y \\ \sum M_A^Q = \sum M_A^F \end{cases}$$

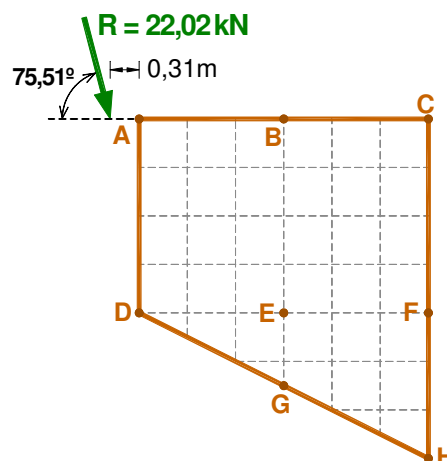
Em todos os cálculos foram considerados sentidos positivos os seguintes:



$$\begin{cases} R_x = 5,51 \text{ kN} \rightarrow \\ R_y = -21,32 \text{ kN} \downarrow \\ R_y \times d = 6,60 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_x = 5,51 \text{ kN} \rightarrow \\ R_y = -21,32 \text{ kN} \downarrow \\ d = -0,31 \text{ m} \end{cases}$$

Resultante: $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{5,51^2 + (-21,32)^2} = 22,02 \text{ kN} \searrow$

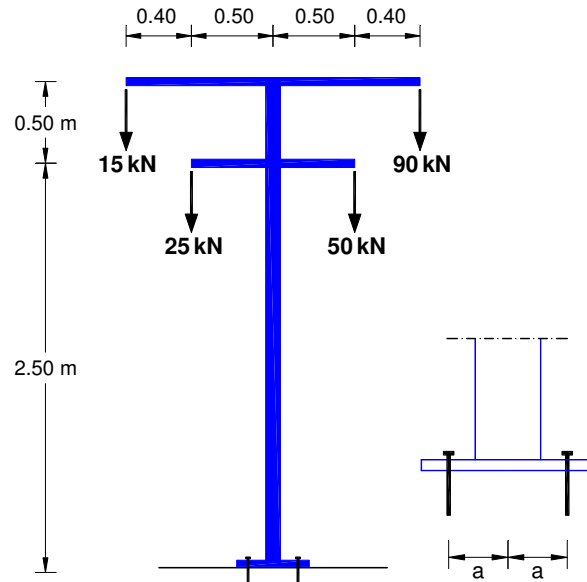
Ângulo com a horizontal $= \arctg \frac{R_y}{R_x} = \arctg \frac{21,32}{5,51} = 75,51^\circ$



EXERCÍCIO 3

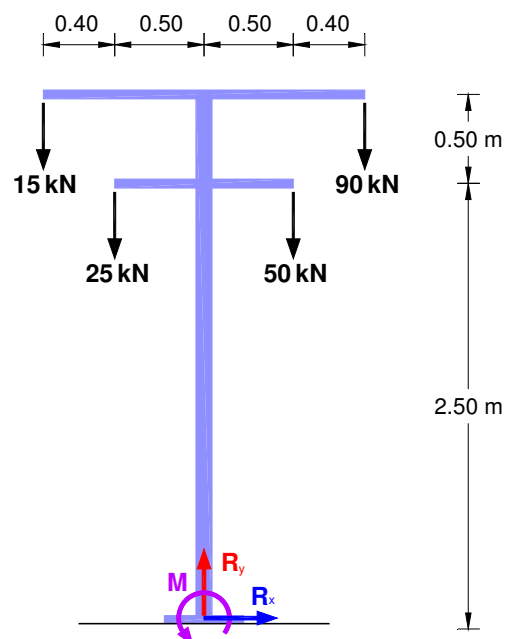
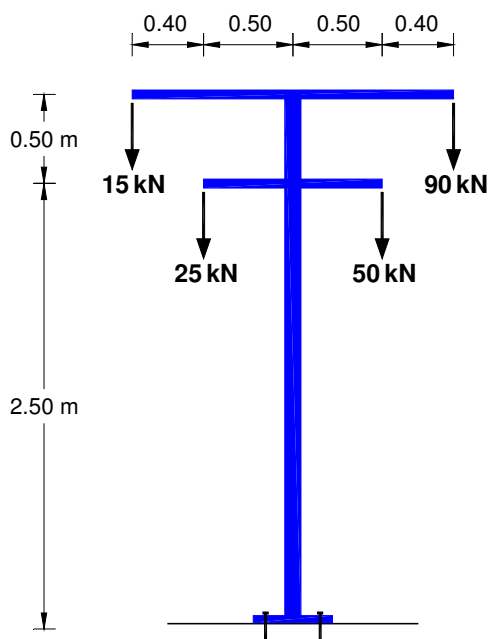
Considere o poste de electricidade que suporta quatro linhas que exercem sobre ele as forças representadas na figura.

- Determine a resultante na extremidade inferior do poste.
- Considere que os parafusos que fixam o poste ao solo distam 20 cm do seu eixo ($a=20\text{cm}$). Determine as forças verticais transmitidas aos parafusos.
- Determine a cota a para que a força transmitida aos parafusos não ultrapasse 220 kN.



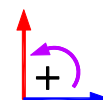
RESOLUÇÃO

Alínea a)



Sistemas equivalentes $\Rightarrow$
$$\begin{cases} \sum Q_x = \sum F_x \\ \sum Q_y = \sum F_y \\ \sum M_{base}^Q = \sum M_{base}^F \end{cases}$$

Em todos os cálculos foram considerados sentidos positivos os seguintes:



ESTÁTICA

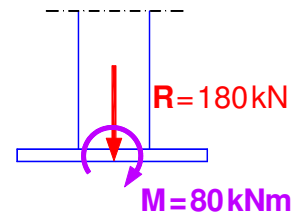
FICHA 3 – ESTÁTICA DO CORPO RÍGIDO

EXERCÍCIO 3

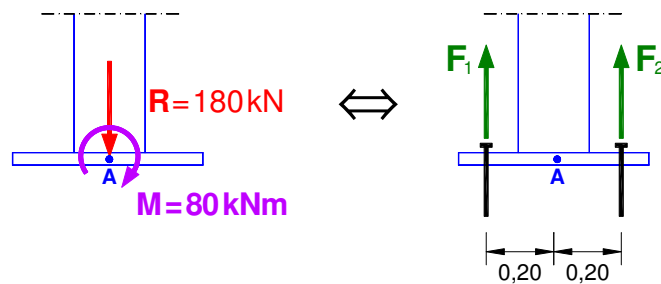
ISABEL ALVIM TELES

$$\begin{cases} R_x = 0 \\ R_y = -25 - 50 - 15 - 90 \\ M = 25 \times 0,50 - 50 \times 0,50 + 15 \times 0,90 - 90 \times 0,9 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} R_x = 0 \\ R_y = -180 \text{ kN} \downarrow \\ M = -80 \text{ kNm} \curvearrowright \end{cases}$$

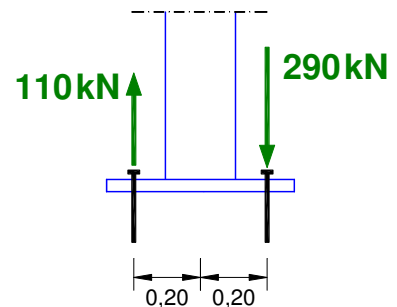


Alínea b)



Sistemas equivalentes $\Rightarrow \begin{cases} \sum Q_y = \sum F_y \\ \sum M_A^Q = \sum M_A^F \end{cases}$

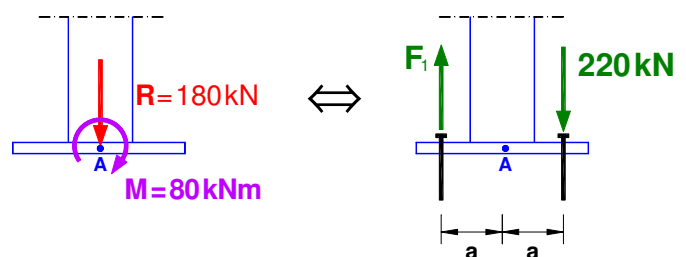
$$\begin{cases} -180 = F_1 + F_2 \\ -80 = -F_1 \times 0,20 + F_2 \times 0,20 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 = 110 \text{ kN} \uparrow \\ F_2 = -290 \text{ kN} \downarrow \end{cases}$$



Alínea c)

O parafuso condicionante é o parafuso 2.

Vamos considerar que $|F_2| = 220 \text{ kN}$



$$\begin{cases} -180 = F_1 - 220 \\ -80 = -F_1 \times a - 220 \times a \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 = 40 \text{ kN} \uparrow \\ a = 0,308 \text{ m} \end{cases}$$

