# PME3100 - MECÂNICA I

## 1ª LISTA DE EXERCÍCIOS - SISTEMA DE FORÇAS E ESTÁTICA

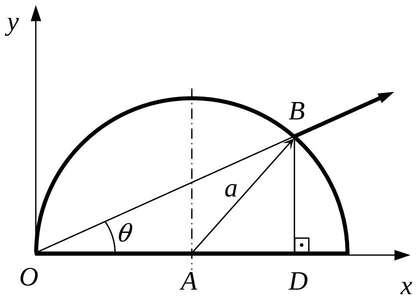
***LISTA DE EXERCÍCIOS COMPLEMENTARES AO LIVRO TEXTO (FRANÇA, MATSUMURA)***

1) Dado o sistema de forças
$\vec{F}_1 = \vec{i} + \vec{j}$ aplicada no ponto *O* (0,0,0),
$\vec{F}_2 = \vec{i} + \vec{k}$ aplicada no ponto *A* (1,0,1),
$\vec{F}_3 = \vec{j} - \vec{k}$ aplicada no ponto *B* (0,1,1),

a) determinar a resultante e o momento em relação ao ponto *O* e
b) verificar se o sistema é redutível a uma única força.

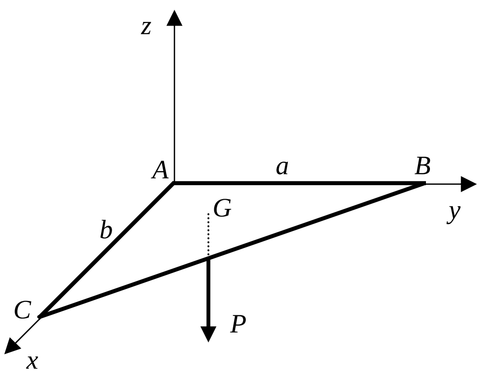
2) Uma força $\vec{F}$ é aplicada no ponto *B*, localizado na borda de uma placa circular de raio *a*, como indicado na figura. Pede-se:

a) determinar o sistema equivalente a $\vec{F}$, constituído por u
b) m binário e uma única força aplicada em *D*;
c) determinaro o valor de $\theta$ para que o momento em relação a *D* seja máximo.




Resposta do item *b*: $\tan\theta = \dfrac{\sqrt{2}}{2}$

3) A figura abaixo mostra uma placa triangular de peso *P*. Sobre a placa age a força $\vec{F} = m\vec{i} + n\vec{j} + P\vec{k}$ aplicada no ponto *B* e um binário de momento $\vec{M} = \dfrac{-2aP\vec{i} - bP\vec{j} + 3ma\vec{k}}{3}$. Pede-se:



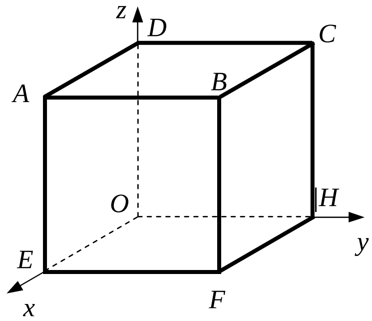

a) determinar a resultante $\vec{R}$;
b) determinar o momento $\vec{M}_B$;
c) mostrar que o sistema é redutível a uma única força.
d) justificar por que a placa, sob ação do carregamento descrito, pode permanecer em equilíbrio estático vinculada apenas por um anel de eixo perpendicular ao plano da placa;
e) determinar o lugar geométrico dos pontos da placa nos quais o anel pode ser posicionado.

Resposta do item *b*: $\vec{M}_B = am\vec{k}$

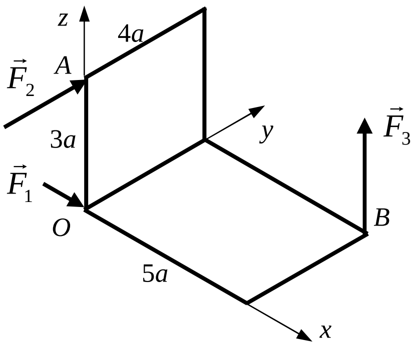
4) Dado um sistema de forças, a sua resultante $\vec{R}$ pode ser paralela ao momento $\vec{M}_O$ calculado em relação a um pólo *O* ? Justificar.

5) A figura ao lado mostra um cubo homogêneo de peso $\vec{P} = -2p\vec{k}$ e aresta *a*. Sobre o cubo agem a força $\vec{F}_1 = 3p\vec{k}$ aplicada no ponto *H*, a força $\vec{F}_2 = -p\vec{i} - 2p\vec{j}$ aplicada no ponto *O* e um binário de momento $\vec{M} = -3ap\vec{i} + 4ap\vec{j} + ap\vec{k}$ . Pede-se:

a) determinar a resultante $\vec{R}$;
b) determinar o momento $\vec{M}_O$;
c) verificar, apresentando a devida justificativa, se é possível reduzir o sistema a uma única força.



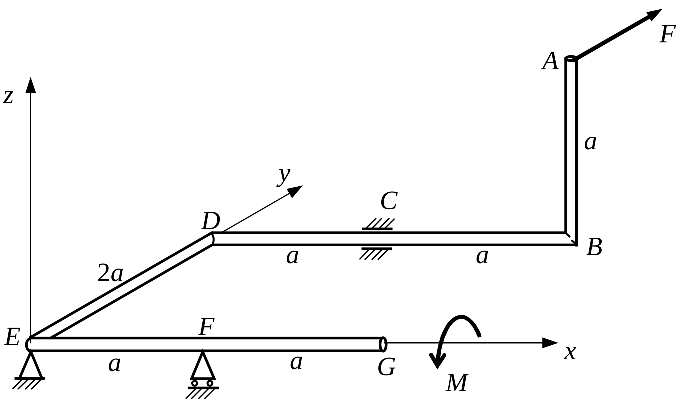

6) A placa dobrada em *L* da figura abaixo está sujeita às forças $\vec{F}_1 = (p\vec{i}, O)$, $\vec{F}_2 = (2p\vec{j}, A)$ e $\vec{F}_3 = (2p\vec{k}, B)$. Pede-se:



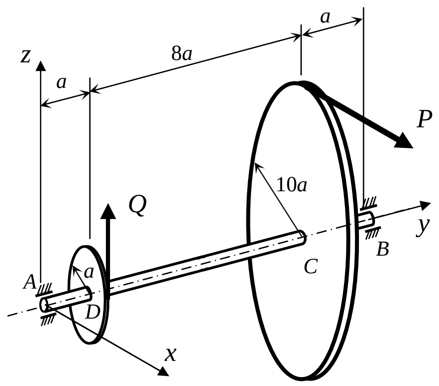

a) determinar a resultante $\vec{R}$;
b) determinar o momento $\vec{M}_O$;
c) verificar, apresentando a devida justificativa, se é possível reduzir o sistema a uma única força.

Respostas
- item *b*: $\vec{M}_O = 2ap\vec{i} - 10ap\vec{j}$
- item *c*: não é possível.

7) A barra *ABCDEFG* mostrada na figura ao lado é vinculada em *C* por um anel, em *E* por uma articulação e em *F* por um apoio simples. Aplicam-se à barra um binário $\vec{M} = M\vec{i}$ e uma força $\vec{F} = (F\vec{j}, A)$. Determinar as reações externas utilizando o sistema de coordenadas indicado.




Respostas:
- $X_E = Z_E = 0 \qquad Y_E = F$
- $Y_C = -2F \quad Z_C = \dfrac{-M + aF}{2a} \quad Z_F = \dfrac{M - aF}{2a}$

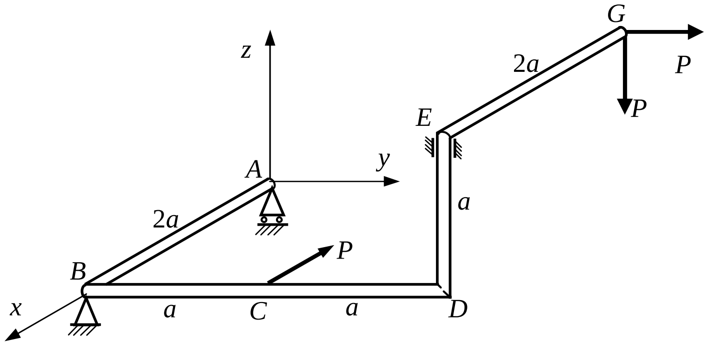



8) A roda dentada *C*, de raio 10*a*, e o pinhão *D*, de raio *a*, foram montados na árvore horizontal *AB*. As demais dimensões estão indicadas na figura. A força aplicada na roda *C* é horizontal e vale *P*. A força aplicada na roda *D* é vertical e vale *Q*. Determinar:

a) a relação entre *P* e *Q* para que haja equilíbrio;
b) as reações nos mancais (anéis) *A* e *B* em função de *P*, na condição de equilíbrio.

Respostas
a) $Q = 10P$
b) $X_A = -\dfrac{P}{10}$, $Z_A = -9P$, $X_B = -\dfrac{9P}{10}$, $Z_B = -P$

9) A barra *ABCDEG* mostrada na figura abaixo é vinculada em *A* por um apoio simples, em *B* por uma articulação e em *E* por um anel. Aplicam-se à barra as forças $\left(P\vec{j} - P\vec{k}, G\right)$ e $\left(-P\vec{i}, C\right)$ conforme indicado na figura. Determinar as reações externas utilizando o sistema de coordenadas indicado.

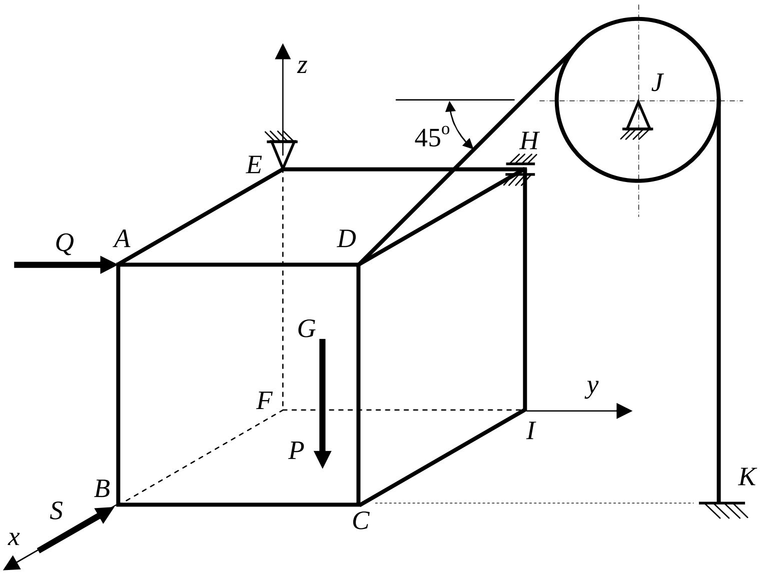



Respostas

- $X_B = \dfrac{3P}{2}$ , $Y_B = 2P$ , $Z_B = -\dfrac{P}{4}$
- $X_E = -\dfrac{P}{2}$ , $Y_E = -3P$
- $Z_A = \dfrac{5P}{4}$

10) A figura abaixo mostra o cubo homogêneo *ABCDEFHI* de peso *P* e lado 2*a*, mantido em equilíbrio estático por meio de uma articulação em *E*, do anel pequeno anel em *H* e do fio em *D*, que forma 45º em relação à aresta *AD*. Os fios e a polia têm peso desprezível e pertencem ao plano que contém a face *ABCD*. Sendo conhecidas as forças $\left(\vec{P}, G\right)$, $\left(\vec{Q}, A\right)$ e $\left(\vec{S}, B\right)$ mostradas na figura e, utilizando o sistema de coordenadas indicado, determinar:

a) a força de tração *T* no fio *DK*;
b) as reações externas em *E*, *H*, *J* e *K*.

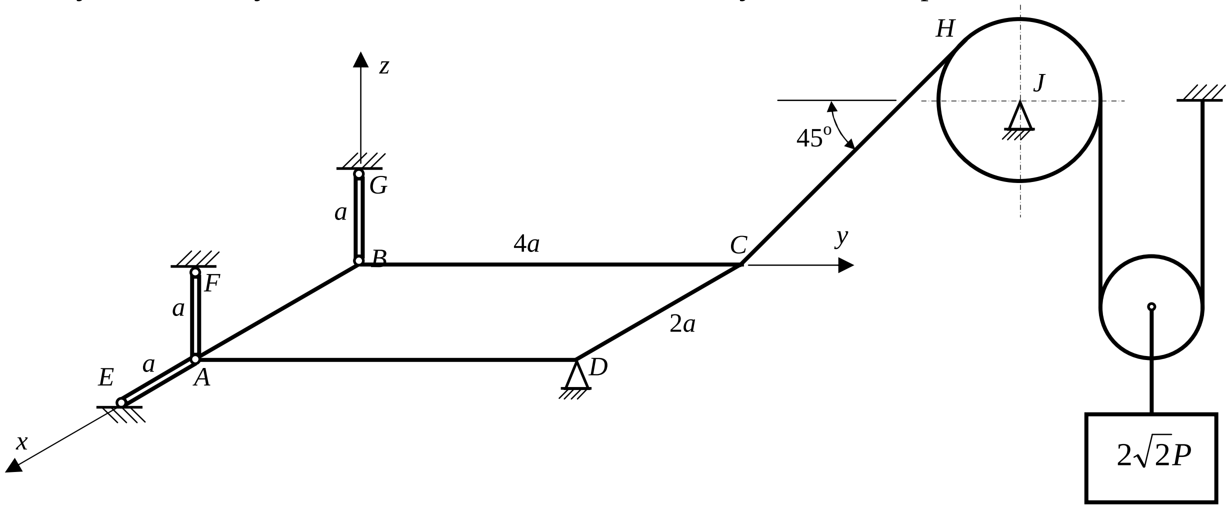



Respostas

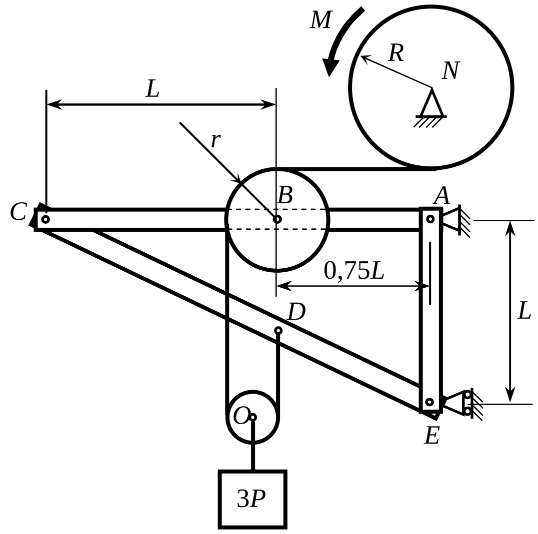
- a) $T_{DK} = \left(\sqrt{2}\right)\left(\dfrac{P}{2} + S\right)$
- b) $X_E = -Q - \dfrac{P}{2}$ $\quad Z_E = \dfrac{P}{2}$ $\quad Y_E = -Q - S - \dfrac{P}{2}$ $\quad Z_H = -S$ $\quad X_H = Q + S + \dfrac{P}{2}$

  $Y_J = S + \dfrac{P}{2}$ $\quad Z_J = \left(\sqrt{2} + 1\right)\left(\dfrac{P}{2} + S\right)$

11) A figura abaixo mostra a placa homogênea horizontal *ABCD* de peso *P* e lados $2a$ e $4a$, mantida em equilíbrio estático por meio de uma articulação em *D*, a barra *BG*, ligada a *B*, as barras *EA* e *FA*, ligadas a *A*, e o fio ligado a *C*. Admite-se que as barras, os fios e as polias tenham peso desprezível. O bloco tem peso $2\sqrt{2}P$ e os fios e polias estão no plano *Bzy*. Determinar a reação na articulação *D* e as forças nas barras, indicando se são de tração ou de compressão.



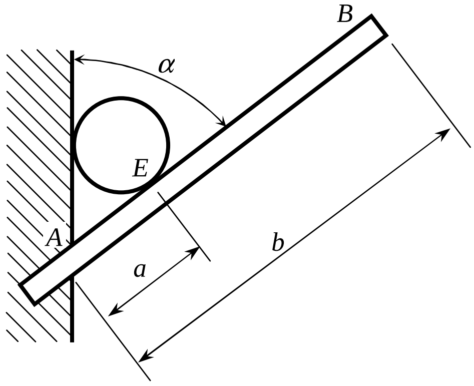

Respostas: $F_{GB} = \frac{P}{2}$ (compressão) $F_{EA} = \frac{P}{2}$ (tração) $X_D = Z_D = -\frac{P}{2}$ $Y_D = -P$




12) Um sistema de elevação de cargas é acionado por meio de um mecanismo que gira a polia de centro *N*, conforme indicado na figura. As barras *ABC*, *CDE* e *AE*, as polias e o fio têm pesos desprezíveis. Para a situação de equilíbrio indicada, a carga $3P$ está em repouso. Pede-se:

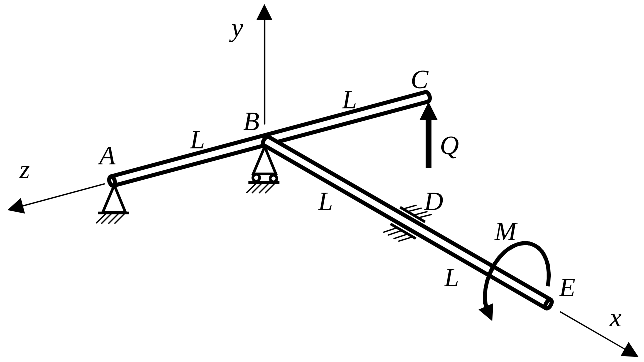
a) o diagrama de corpo livre das polias;
b) as reações em *A* e em *E*.
c) as forças que agem nas barras *ABC*, *CDE* e *AE*.

13) Uma barra homogênea *AB* de peso *P*, engastada na parede com um ângulo $\alpha$, tem um comprimento livre *b* (descontando a parte engastada). Conforme indicado na figura, ela sustenta um cilindro de peso *Q* cujo contato *E* com a barra dista *a* do ponto *A* na parede. Considere o cilindro simplesmente apoiado na barra e na parede, isto é, despreze as forças de atrito. Faça os diagramas de corpo livre e calcule as reações no engastamento.




Respostas:

$$M_A = Q\left(\frac{a}{sen\alpha}\right) + \frac{P}{2} b sen\alpha \qquad X_A = -Q\cot\alpha \qquad Y_A = P + Q$$




14) A estrutura em forma de *T*, de peso desprezível, é mantida em equilíbrio articulada em *A*, apoiada em um apoio simples em *B* (plano de apoio *Bxz*) e ligada a um pequeno anel em *D*. Os esforços ativos são a força $\left(Q\vec{j}, C\right)$ e o binário $M\vec{i}$ . Pede-se:

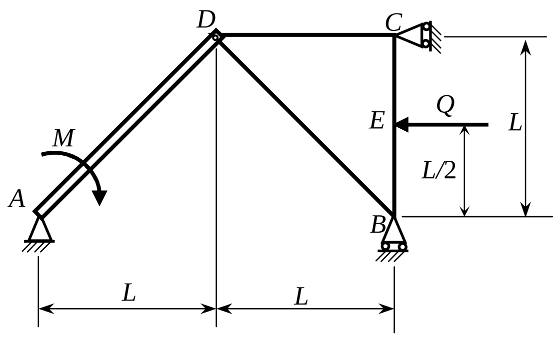
a) o diagrama de corpo livre da estrutura;
b) as reações externas;
c) um esquema da estrutura, indicando os esforços ativos e as reações.

<u>Respostas</u>

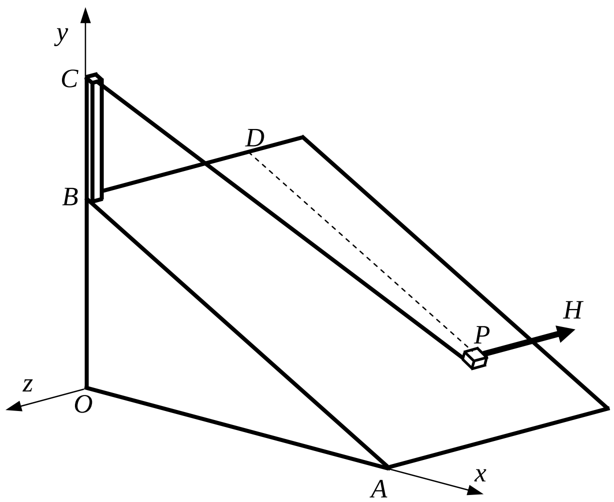
- b) $X_A = Z_A = Y_D = Z_D = 0 \quad Y_A = Q + \dfrac{M}{L} \qquad Y_B = -2Q - \dfrac{M}{L}$

15) O sistema mostrado na figura é constituído pela barra *AD* e pela placa triangular *BCD*, ambas de peso desprezível. O sistema é vinculado por articulações em *A* e em *D* e por apoios simples em *B* e em *C*. Aplicam-se à placa a força $\left(\vec{Q}, E\right)$ e à barra o binário $\vec{M}$ ortogonal ao plano da figura. Pede-se:

a) o diagrama de corpo livre de cada elemento;
b) determinar as reações externas ao sistema;
c) determinar a relação entre $\left|\vec{Q}\right|$ e $\left|\vec{M}\right|$ para que a reação em *C* seja nula.




16) Uma pequena caixa de peso *P* é mantida em equilíbrio sobre o plano inclinado *ABD* ligada ao fio *CP* e sujeita à força horizontal *H*, paralela ao eixo *Oz*. A caixa é apoiada sobre rodízios, de modo que a reação de apoio é normal ao plano inclinado. Dados *BC* = 2*L*, *BD* = *BO* = 3*L* e *AO* = *PD* = 4*L*, pede-se:

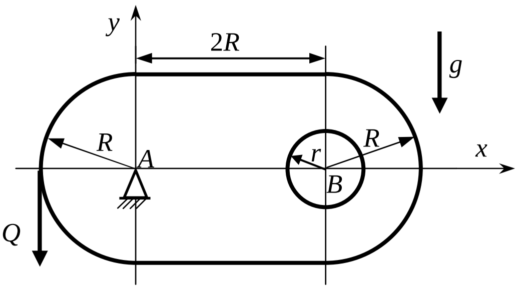



a) desenhar o diagrama de corpo livre da caixa;
b) determinar a tração no fio.
c) determinar a força horizontal *H*.

<u>Resposta do item *b*</u>:

- $\vec{T} = 0{,}72P\left(-0{,}51\vec{i} + 0{,}71\vec{j} + 0{,}48\vec{k}\right)$

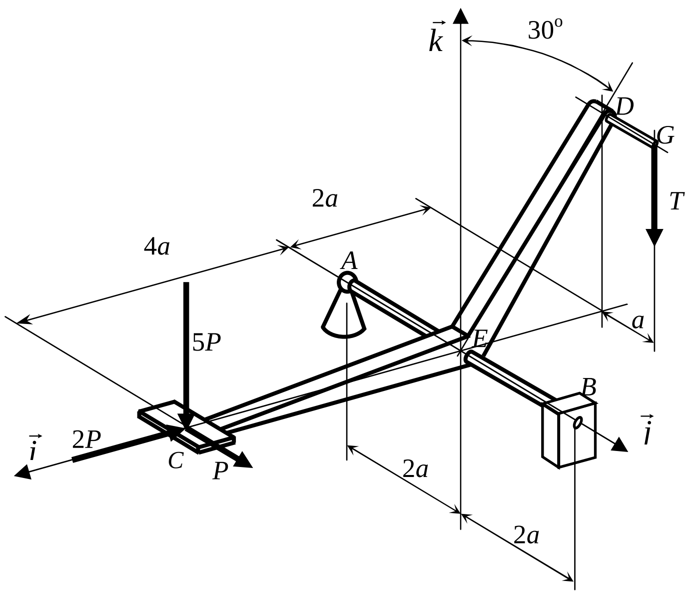
17) A placa de peso $P$, dotada de um furo circular de centro $B$ e raio $r$ , e demais dimensões indicadas na figura, é articulada em $A$. Determine a força $Q$ necessária para que a placa se mantenha em equilíbrio na posição indicada.




Resposta

- $Q = P\left[1 - \dfrac{\pi r^2}{4R^2 + \pi\left(R^2 - r^2\right)}\right]$

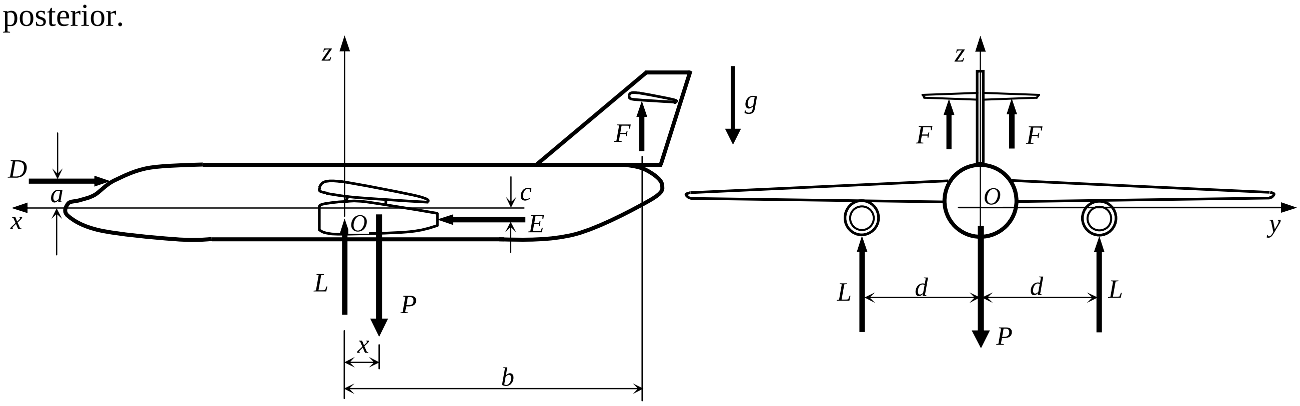
18) O pedal mostrado na figura ao lado é constituído por três elementos rigidamente ligados: a alavanca $CED$, o eixo $AEB$ e a haste $DG$. O pedal é sustentado por uma articulação em $A$ e por um pequeno anel em $B$. Quando se aplica uma força $\left(\vec{F}, C\right)$, o sistema é equilibrado por uma força $\left(\vec{T}, G\right)$ vertical. Admitindo-se que se aplique ao ponto $C$ a força $\vec{F} = -2P\vec{i} + P\vec{j} - 5P\vec{k}$, pede-se determinar, utilizando o sistema de coordenadas indicado,




a) o valor da força $\left(\vec{T}, G\right)$;
b) as reações nos vínculos $A$ e $B$.

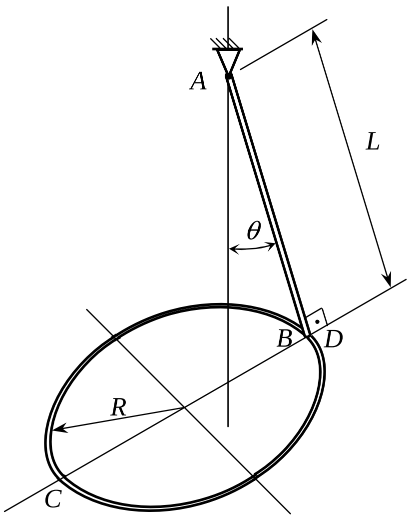
19) Na figura abaixo representa-se um avião com distribuição de massa simétrica em relação ao plano $Oxz$ voando com velocidade horizontal constante. As forças atuantes no avião estão representadas na figura. Supondo conhecidas as forças de sustentação $L$ atuantes nas asas principais, a força de arrasto aerodinâmico $D$ e o peso próprio $P$, determine:

a) a força de empuxo $E$ de cada turbina;
b) a coordenada $x$ do centro de massa e a força de sustentação aerodinâmica $F$ de cada asa posterior.




Respostas:

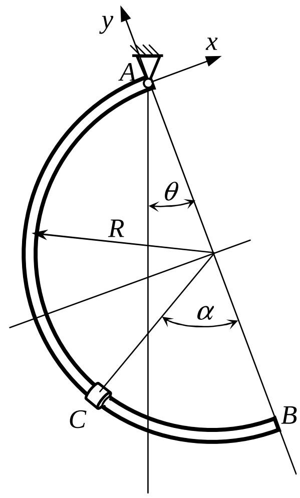
(a) $E = \dfrac{D}{2}$ b) $x = \dfrac{b(P - 2L) - D(a + c)}{P}$ $F = \dfrac{P}{2} - L$




20) O arame da figura tem peso específico $\gamma$ e área transversal $S$. O trecho reto $AB$ tem comprimento $L$ e forma um ângulo reto com o plano que contém o trecho $BCD$, de raio $R$. Pede-se determinar o ângulo $\theta$ que o trecho $AB$ forma com a vertical na posição de equilíbrio estático.

Resposta

- $\theta = \arctan\left[\dfrac{2\pi R^2}{\dfrac{L^2}{2} + 2\pi RL}\right]$



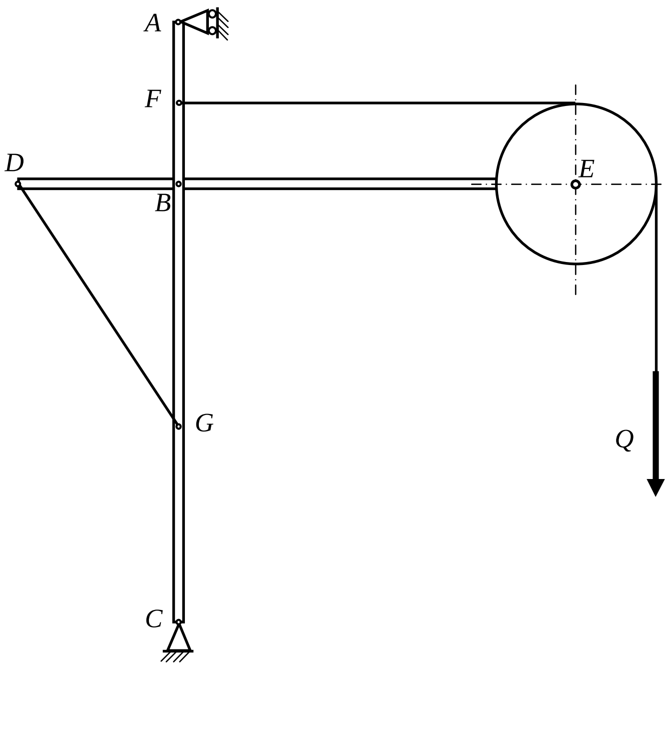

21) Uma haste semicircular de raio $R$ e massa $m$ é sustentada por um anel $A$. Um corpo de massa $m$ e dimensões desprezíveis é ligado à haste no ponto $C$. Pede-se determinar:

a) os centros de massa da haste e do conjunto;
b) a função $\theta = \theta(\alpha)$;
c) o valor de $\theta$ quando $\alpha = 90^{o}$.

Respostas:

- centro de massa da haste: $G = \left(-\dfrac{2R}{\pi}; -R\right)$
- item b: $\theta = \arctan\left[\dfrac{\dfrac{2}{\pi} + sen\alpha}{2 + \cos\alpha}\right]$

22) Os elementos da estrutura de barras ilustrada na figura abaixo têm peso desprezível. Dados $AF = FB = 2L$, $BG = 6L$, $CG = 5L$, $R = 2L$, $BE = 10L$, $DB = 4L$ e sabendo-se que $A$ é um apoio simples e $B$, $C$ e $E$ são articulações, pede-se:




a) determinar as reações externas;
b) desenhar o diagrama de corpo livre de cada elemento da estrutura;
c) determinar as forças na polia;
d) determinar as forças que agem nas barras $AC$ e $DE$.
e) desenhar os diagramas de corpo livre adotando os sentidos corretos das reações e forças internas calculadas nos itens anteriores.

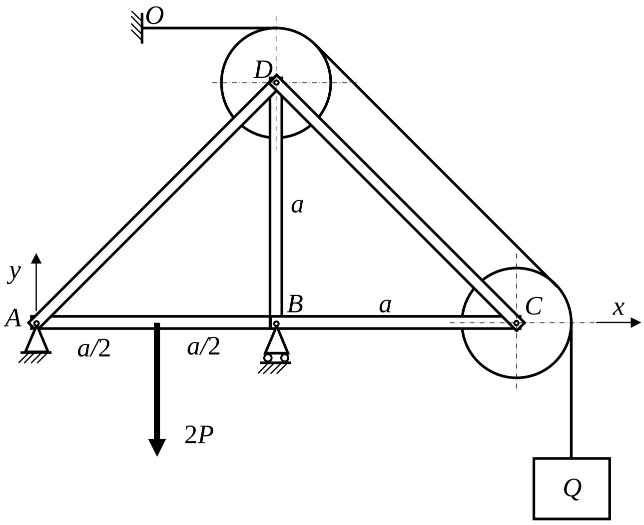
Resposta do item a:

$$X_A = -X_C = -\frac{4Q}{5} \qquad Y_C = Q$$

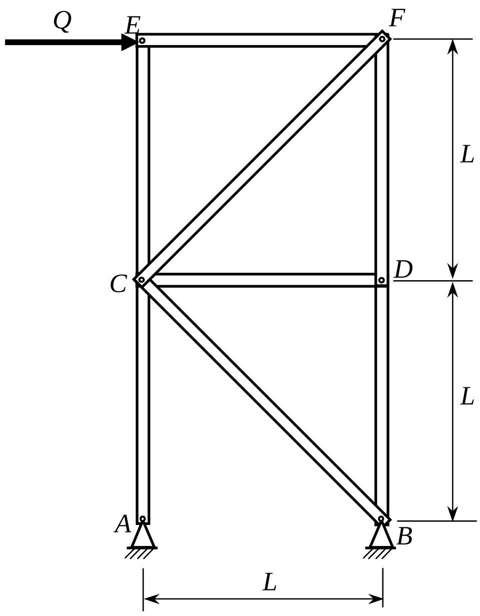
23) No sistema em equilíbrio estático mostrado na figura ao lado, todos os elementos têm pesos desprezíveis à exceção da barra homogênea *AB*, de peso 2*P*. Sabendo que as polias têm o mesmo raio, que o peso *Q* é conhecido e usando o sistema de coordenadas indicado, determine:

a) as reações em *O* e nos vínculos *A* e *B*;
b) as forças nas barras *CB*, *CD* e *AD*;
c) as forças na barra *AB*.

Obs.: quando pertinente, indique se as forças são de tração ou de compressão.




Respostas: $F_{CD} = Q\left(\sqrt{2}-1\right)$; $F_{AD} = 0$




24) A treliça mostrada na figura ao lado, de peso desprezível e dimensões indicadas, está sujeita à força *Q* horizontal e está vinculada por articulações em *A* e em *B*. Calcule as reações externas e as forças em todas as barras, indicando se são de tração ou de compressão.

Respostas:

$F_{AC} = 2Q$ (tração)

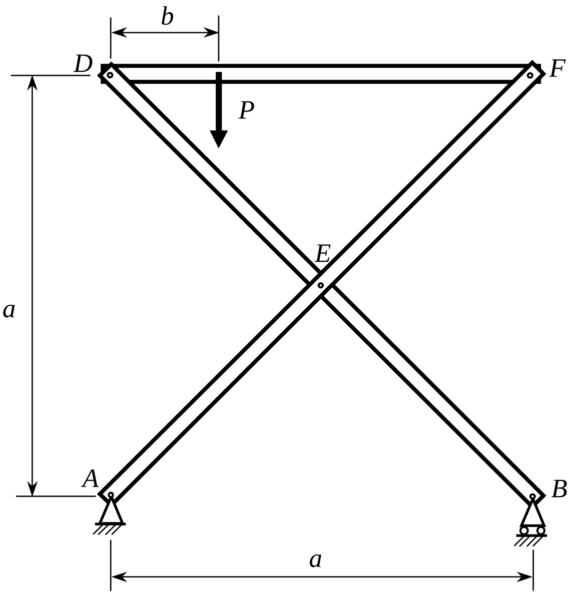
$F_{BD} = -Q$

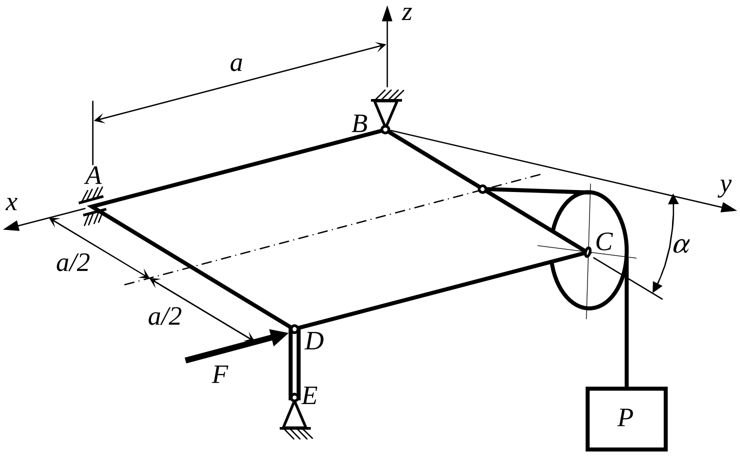
$F_{BC} = -\sqrt{2Q}$

25) O sistema de barras *AF*, *DB* e *DF*, de pesos desprezíveis e unido pelas articulações *D*, *E* e *F*, está vinculado externamente pela articulação *A* e pelo apoio simples *B*. Aplica-se a força vertical *P* na barra *DF*, distante *b* da articulação *D*. Pede-se:

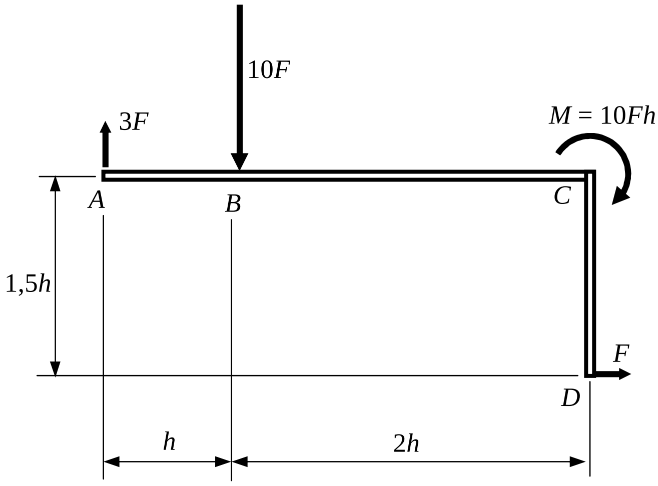
a) desenhar o diagrama de corpo livre de cada barra;
b) calcular as reações externas;
c) calcular as forças internas em *E*;
d) determinar a distância *b* para minimizar o esforço em *E*.

Resposta do item d: *b*= *a*/2

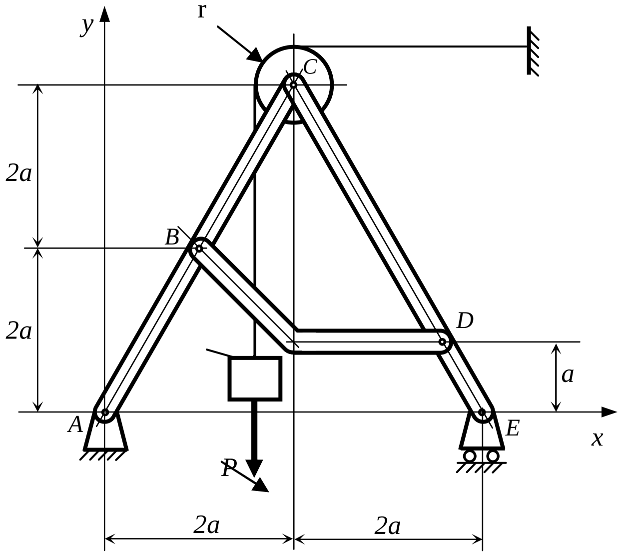





26) A placa quadrada *ABCD*, homogênea de peso *Q*, está presa em *A* por um anel pequeno e articulado em *B* e *D*. A barra *DE* está articulada em *E*. O raio da polia é *r*. Sendo aplicada ao sistema a força *F*, como mostrado na figura, pede-se determinar as forças de reação em *A*, *B* e *D*.




27) Determinar a resultante do sistema de forças mostrado na figura e o seu momento em relação ao ponto *C*. Verificar se o sistema é redutível a uma única força. Em caso positivo, determinar as intersecções da linha de ação da resultante com as barras *CD* e *AC*.




28) A estrutura ilustrada na figura ao lado é formada pelas barras *AC*, *BD* e *CE*, de peso desprezível. A polia e o fio, ideais, também têm peso desprezível. O fio sustenta um bloco de peso *P*. Pede-se:

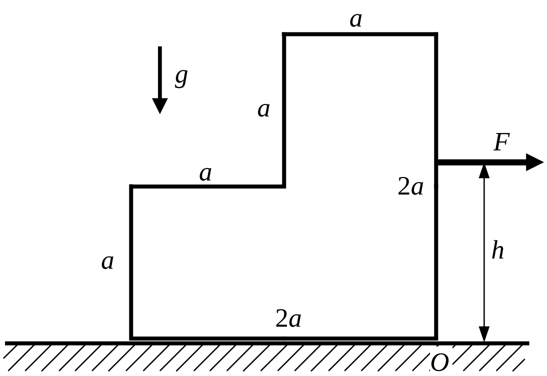
a) desenhar os diagramas de corpo livre da polia e da estrutura formada pelas barras.

b) determinar as reações vinculares em *A* e em *E*.

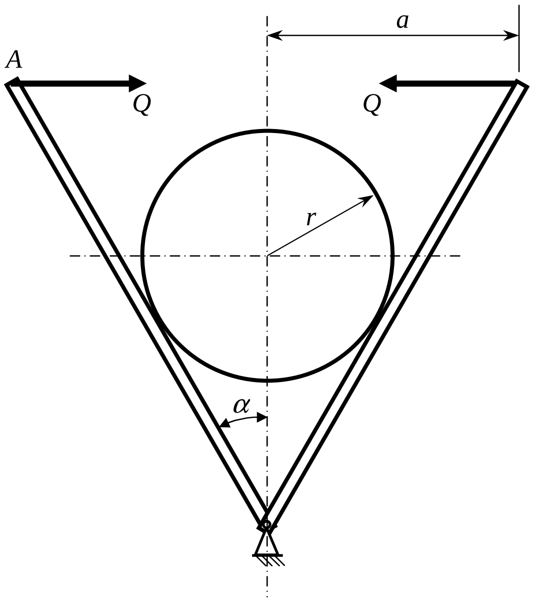
c) determinar as forças que atuam nas barras *AC*, *BD* e *CE*.

29) Aplica-se uma força $F$ horizontal a um sólido homogêneo de massa $m$, conforme indicado na figura. Sabe-se que o coeficiente de atrito entre o sólido e o solo é $\mu$. Pede-se:

a) desenhar o diagrama de corpo livre do sólido;
b) calcular a força $F$ máxima para que não ocorra escorregamento e nem pivotamento em torno do ponto $O$;
c) determinar a relação entre $a$, $\mu$, $h$ para que o início dos eventos de escorregamento e pivotamento em torno do ponto $O$ aconteçam simultaneamente.




30) O disco homogêneo de peso $P$ e raio $r$ é mantido em equilíbrio sob a ação de contato de duas barras iguais, de peso desprezível, submetidas a forças horizontais de mesma magnitude aplicadas em $A$ e em $B$. O coeficiente de atrito entre as barras e o disco é $\mu$. Sendo conhecidos o ângulo $\alpha$ e a distância $a$, pede-se:



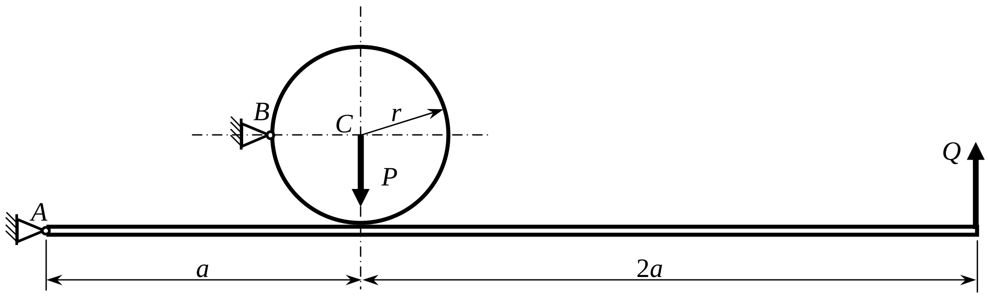

a) demonstrar que, em geral, existem valores máximo e mínimo de $Q$ compatíveis com o equilíbrio na posição indicada;
b) calcular esses valores.

Resposta do item b:

$$Q_{\min} = \frac{Pr}{2a}\left(\frac{1}{sen\alpha + \mu\cos\alpha}\right)$$

$$Q_{\max} = \frac{Pr}{2a}\left(\frac{1}{sen\alpha - \mu\cos\alpha}\right)$$

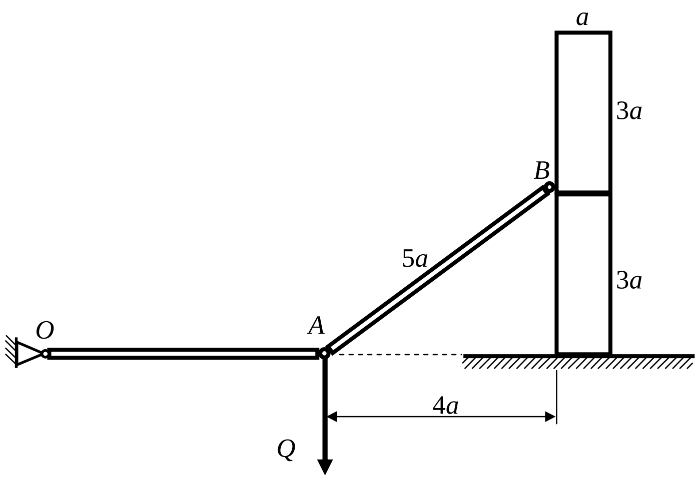
31) Sabendo que o coeficiente de atrito entre a barra e o disco mostrados na figura abaixo vale $\mu$ = 0,5, determine, em função de $P$, os valores máximo e mínimo de $Q$ compatíveis com o equilíbrio do sistema.




Resposta

$$Q_{\min} = \frac{2P}{9} \qquad Q_{\max} = \frac{2P}{3}$$

32) O sistema representado na figura ao lado é constituído por duas barras de pesos desprezíveis e por dois blocos retangulares iguais, cada qual de peso $P$. Entre ambos os blocos e entre o bloco inferior e o solo o coeficiente de atrito é $\mu$ = 0,25. A barra inclinada está articulada no bloco superior, conforme a figura. Determine, em função de $P$, o valor máximo de $Q$ que mantém o sistema em equilíbrio.

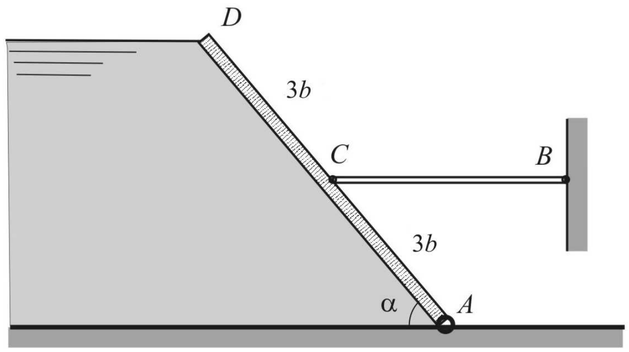



Resposta

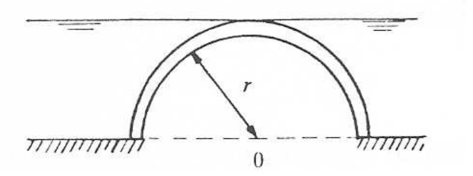
$$Q = \frac{3P}{13}$$

## Exercícios – Hidrostática

(H.1) Um canal de água doce tem largura 15*b* (perpendicular ao plano da figura) e está bloqueado por uma placa retangular, mostrada por sua seção *ACD*. As escoras horizontais *BC* de suporte estão espaçadas de uma distância *b*, ao longo da largura 15*b*. Determine a compressão em cada escora *BC*. Suponha que o peso da placa seja desprezível, comparado com as outras forças atuantes.

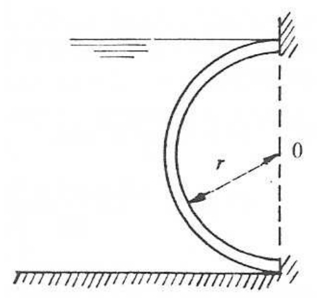



(H.2) Um tubo cilíndrico de comprimento *L* tem como seção uma semicircunferência de raio *r* e está submetido, na sua face externa, à pressão da água, conforme indica a figura. Reduzir o sistema de forças de pressão a uma única força $\vec{F}$, determinando seu módulo, direção e sentido e linha de ação. É dado o peso específico $\rho g$ da água.



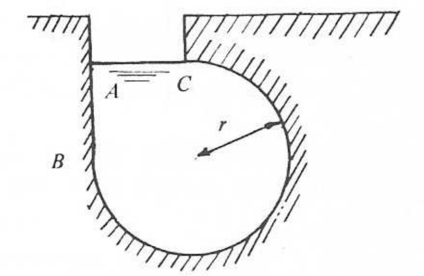

Resposta: F = $\rho g\, r^2 L\, (2 - \pi/2)$

(H.3) Um tubo cilíndrico de comprimento *L* tem como seção uma semicircunferência de raio *r* e está submetido, na sua face externa, à pressão da água, conforme indica a figura. Reduzir o sistema de forças de pressão a uma única força $\vec{F}$, determinando seu módulo, direção, sentido e linha de ação. É dado o peso específico $\rho g$ da água.




Resposta: $H = 2\rho g\, r^2 L$; $V = \pi\, \rho g\, r^2 L\, /2$,

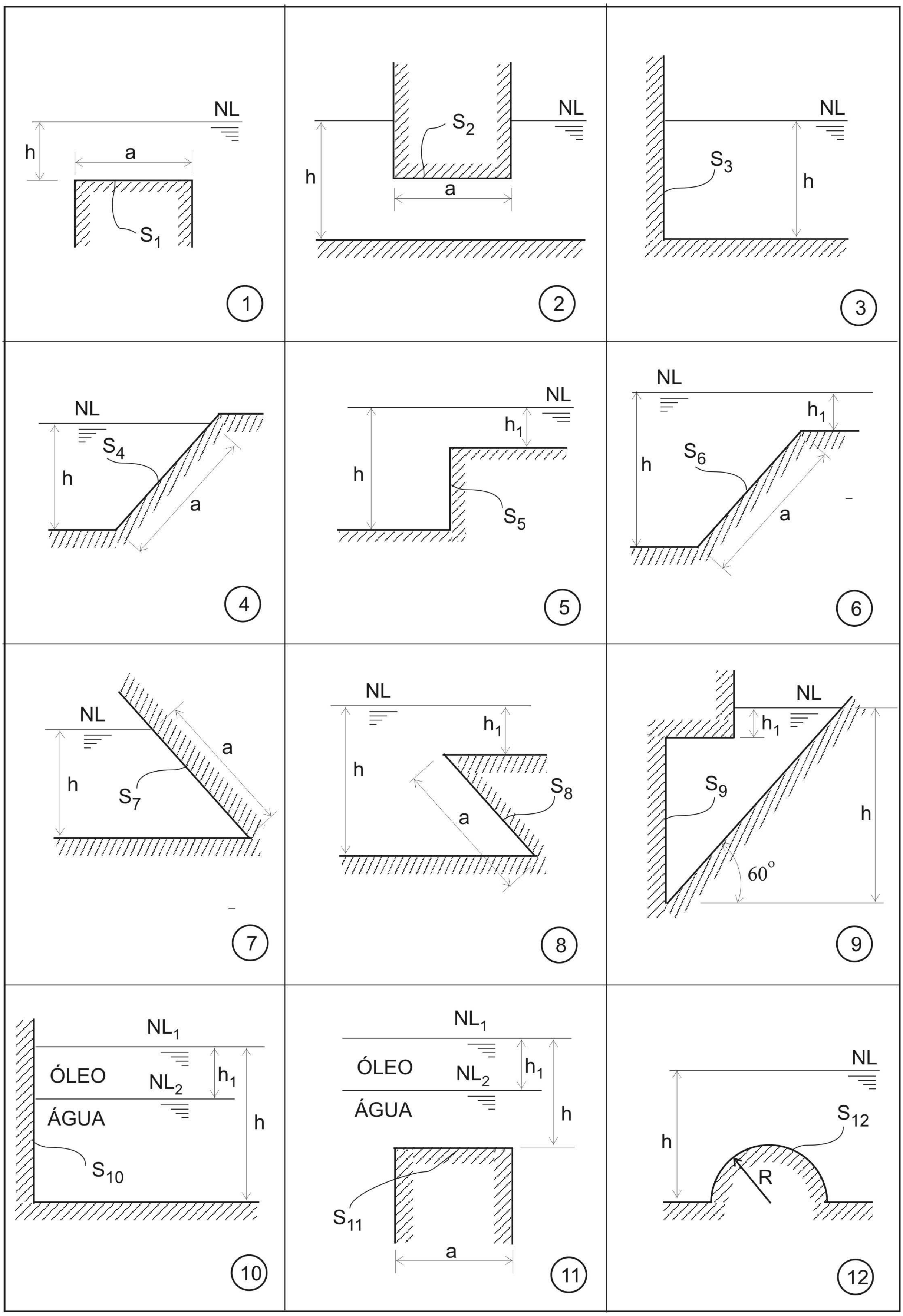
(H.4) Uma canalização tem comprimento *L* (normal ao plano da figura) e seção constituída de um segmento de reta *AB* e de um arco de circunferência *BC*, conforme o esquema. Seja $\rho g$ o peso específico do líquido e $\vec{F}$ a resultante das forças de pressão do líquido sobre a superfície curva da canalização. Pede-se, em função de $\rho g$, *r* e *L*:



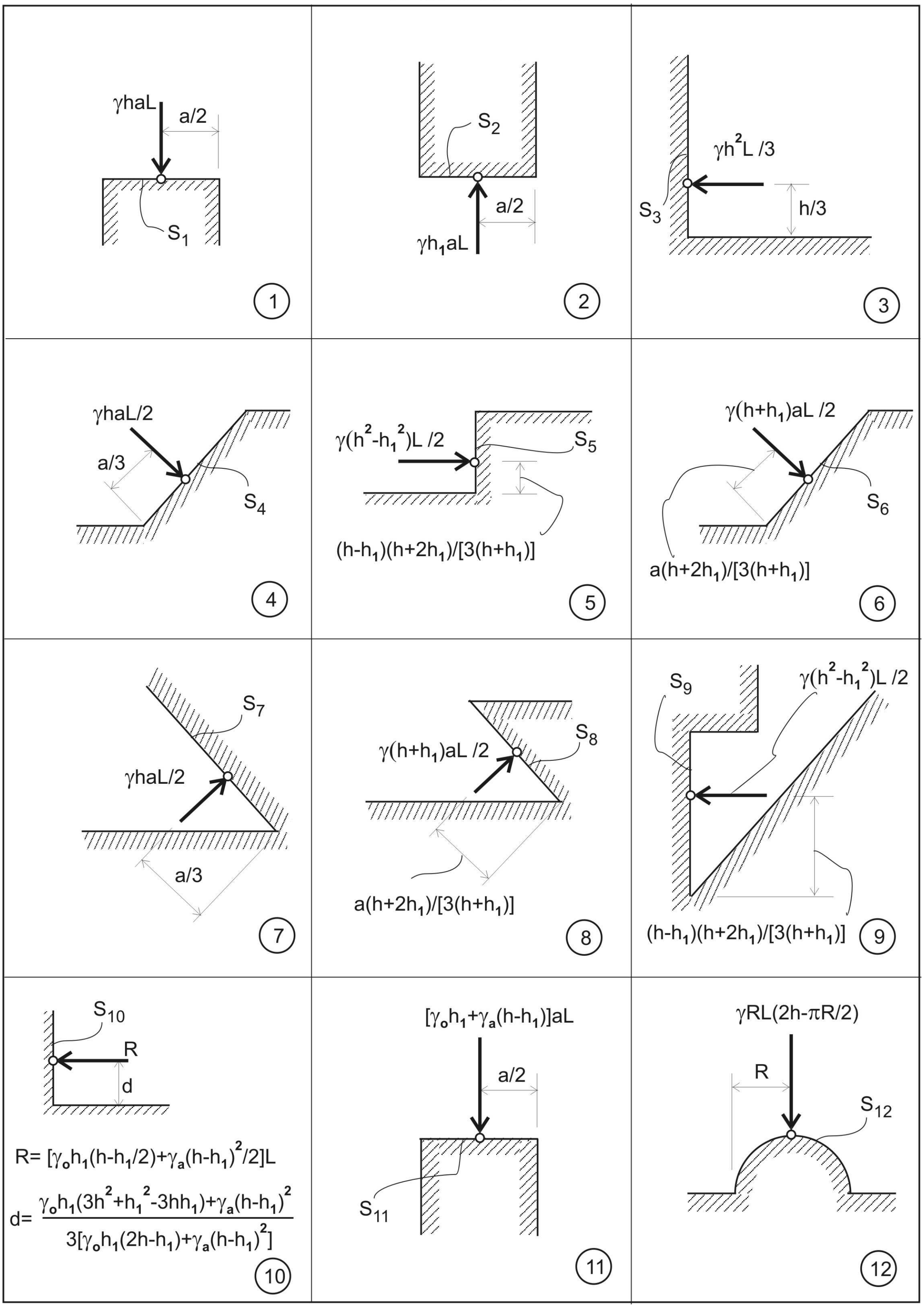

1) a componente horizontal de $\vec{F}$ (módulo e sentido);

2) a componente vertical de $\vec{F}$ (módulo e sentido).

(H.5) Esquematize o volume das pressões sobre cada uma das superfícies submersas indicadas por $S_i$ nos diagramas da figura a seguir. Calcule, também, a resultante das forças sobre $S_i$, indicando seu ponto de aplicação. Admita que todas as superfícies têm largura *L* na direção normal ao plano da figura, e que o fluido tem peso específico $\gamma = \rho g$. Quando existirem dois fluidos – água e óleo, admita pesos específicos $\gamma_a$ (água) e $\gamma_o$ (óleo). Despreze a pressão atmosférica.

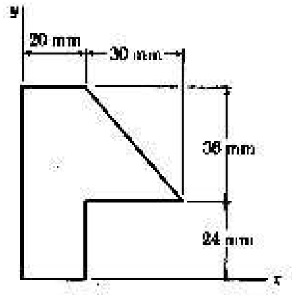

NL
h
a
S1
1
NL
S2
h
a
2
NL
S3
h
3
NL
S4
h
a
4
NL
h1
h
S5
5
NL
h1
h
S6
a
6
NL
a
h
S7
7
NL
h1
h
S8
a
8
NL
h1
S9
h
60°
9
NL1
ÓLEO
NL2
h1
ÁGUA
h
S10
10
NL1
ÓLEO
NL2
h1
ÁGUA
h
S11
a
11
NL
S12
h
R
12

## RESPOSTAS

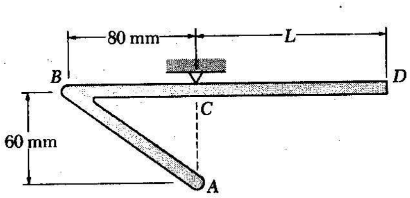

γhaL
a/2
S1
1
S2
a/2
γh1aL
2
γh²L /3
S3
h/3
3
γhaL/2
a/3
S4
4
γ(h²-h1²)L /2
S5
(h-h1)(h+2h1)/[3(h+h1)]
5
γ(h+h1)aL /2
S6
a(h+2h1)/[3(h+h1)]
6
S7
γhaL/2
a/3
7
S8
γ(h+h1)aL /2
a(h+2h1)/[3(h+h1)]
8
S9
γ(h²-h1²)L /2
(h-h1)(h+2h1)/[3(h+h1)]
9
S10
R
d
R= [γoh1(h-h1/2)+γa(h-h1)²/2]L
d= γoh1(3h²+h1²-3hh1)+γa(h-h1)² / 3[γoh1(2h-h1)+γa(h-h1)²]
10
[γoh1+γa(h-h1)]aL
a/2
S11
11
γRL(2h-πR/2)
R
S12
12

## Exercícios – Centros de massa

B.1) Determine a posição do centróide da superfície plana da figura ao lado.

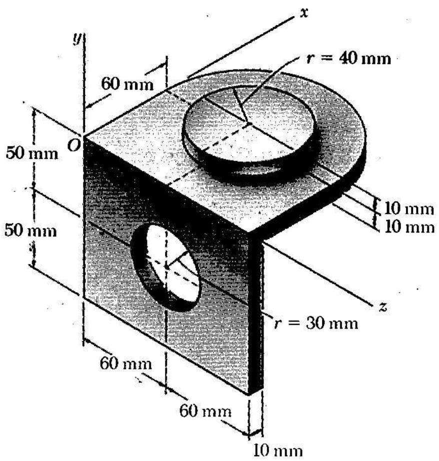



B.2) Um arame homogêneo *ABCD* é dobrado , como se vê na figura. Em *C* o fio é preso por uma articulação. Determine o comprimento *L* para que a parte *BD* fique em posição horizontal.

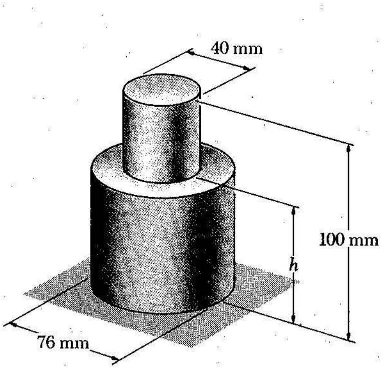



Resposta: 120mm

B.3) Determine a coordenada y do centro de massa da peça da figura abaixo.




B.4) Um colar de bronze de comprimento *h* = 60mm está montado em um eixo de alumínio de 100mm de comprimento. Localize o centro de massa do corpo composto. (Massas específicas: do bronze = 8,47 x $10^3$ kg/$m^3$, do alumínio = 2,80 x $10^3$ kg/$m^3$).




Resposta: 33mm acima da base