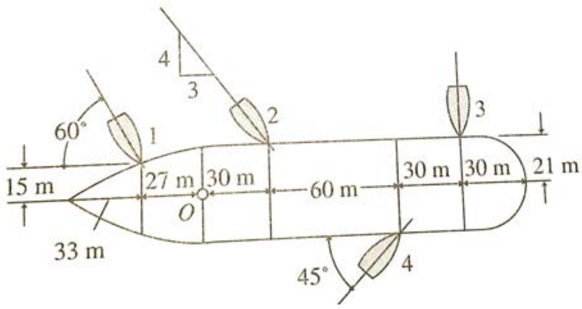
## Problema Resolvido 3.9

*Quatro rebocadores são usados para trazer um transatlântico ao cais. Cada rebocador exerce uma força de 25 kN nas direções e sentidos ilustrados. Determinar: (a) o sistema força-binário equivalente no mastro dianteiro O e (b) o ponto no casco onde um só rebocador mais poderoso deverá empurrar para produzir o mesmo efeito que os quatro rebocadores originais.*




$FR := 25 \cdot kN$ Força dos rebocadores

$\lambda_{F1} := \begin{pmatrix} \cos(60deg) \\ -\sin(60deg) \\ 0 \end{pmatrix}$ Vetor diretor da força 1

$r1 := \begin{pmatrix} -27 \\ 15 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot m$ Raio da força 1

$\lambda_{F2} := \begin{pmatrix} \frac{3}{5} \\ \frac{-4}{5} \\ 0 \end{pmatrix}$ Vetor diretor da força 2

$r2 := \begin{pmatrix} 30 \\ 21 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot m$ Raio da força 2

$\lambda_{F3} := \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \end{pmatrix}$ Vetor diretor da força 3

$r3 := \begin{pmatrix} 120 \\ 21 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot m$ Raio da força 3

$\lambda_{F4} := \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{2}}{2} \\ \frac{\sqrt{2}}{2} \\ 0 \end{pmatrix}$ Vetor diretor da força 4

$r4 := \begin{pmatrix} 90 \\ -21 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot m$ Raio da força 4

$R1 := \left(\lambda_{F1} + \lambda_{F2} + \lambda_{F3} + \lambda_{F4}\right) \cdot FR = \begin{pmatrix} 45.2 \\ -49 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot kN$ Somatório das forças

$MR_O := \left(r1 \times \lambda_{F1} + r2 \times \lambda_{F2} + r3 \times \lambda_{F3} + r4 \times \lambda_{F4}\right) \cdot FR = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1556 \end{pmatrix} \cdot kN \cdot m$ Somatório dos momentos

$$r = \begin{pmatrix} x \\ 21 \cdot m \\ 0 \end{pmatrix}$$ Raio de aplicação da resultante única

$$\begin{pmatrix} x \\ 21 \cdot m \\ 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} R1_1 \\ R1_2 \\ R1_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} MR_{O_1} \\ MR_{O_2} \\ MR_{O_3} \end{pmatrix}$$ Sistema de solução para detrminar o ponto de aplicaão da força

$$\begin{pmatrix} 21 \cdot m \cdot R1_3 \\ -x \cdot R1_3 \\ x \cdot R1_2 - 21 \cdot m \cdot R1_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -1556 \end{pmatrix} \cdot kN \cdot m$$ Expandindo o produto vetorial

$$x \cdot R1_2 - 21 \cdot R1_1 = MR_{O_3}$$ Usando a componente Z do momento que não está zerada

$$x := \frac{MR_{O_3} + 21 \cdot m \cdot R1_1}{R1_2} = 12.394\,m$$ Posição de aplicação da força

$$|R1| = 66.629 \cdot kN$$ Intensidade da força