Exercícios de Fundações

Urbano Rodriguez Alonso

Blucher

2ª edição

Exercícios de Fundações

Blucher

Urbano Rodriguez Alonso

Engenheiro Civil. Professor da Faculdade de Engenharia
da Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP)
Ex-Professor da Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie.

Exercícios de Fundações

2ª Edição

Exercícios de Fundações

2ª Edição – 2010
3ª reimpressão – 2013
Editora Edgard Blücher Ltda.

Blucher

Rua Pedroso Alvarenga, 1245, 4º andar
04531-012 – São Paulo – SP – Brasil
Tel 55 11 3078-5366
contato@blucher.com.br
www.blucher.com.br

Segundo Novo Acordo Ortográfico, conforme 5. ed.
do *Vocabulário Ortográfico da Língua Portuguesa*,
Academia Brasileira de Letras, março de 2009.

FICHA CATALOGRÁFICA

Alonso, Urbano Rodriguez
Exercícios de fundações / Urbano Rodriguez
Alonso. – 2. ed. – São Paulo: Blucher, 2010.

Bibliografia
ISBN 978-85-212-0537-1

1. Fundações – Problemas, exercícios etc.
I. Título.

10-06181 CDD-624.15076

Índices para catálogo sistemático:
1. Exercícios: Fundações: Engenharia 624.15076
2. Fundações: Exercícios: Engenharia 624.15076
3. Projeto de fundações: Exercícios: Engenharia
624.15076

APRESENTAÇÃO

Militando, há alguns anos, no ensino dos procedimentos básicos a serem seguidos no projeto de fundações, sinto que ainda não foi escrito, em nosso meio técnico, um livro-texto que, de maneira plena, treine o aluno e os recém-formados nos projetos de fundações. Daí surgiu a ideia de, com a experiência adquirida ao longo dos anos no magistério, organizar uma coletânia de exercícios em que, de modo elementar, sem prejuízo do rigor, fossem expostos os critérios básicos que devem ser seguidos num projeto de fundações.

Os itens foram selecionados de forma a tornar o assumo acessível aos alunos de quarto e quinto anos do curso de Engenharia Civil. Para atingir essa meta, cada tópico abordado foi dividido em três etapas:

1.ª Etapa: Resumo da parte teórica, ressaltando os fundamentos principais do tema.

2.ª Etapa: Resolução dos exercícios, visando a sedimentar esses fundamentos principais.

3.ª Etapa: Exercícios propostos, em que o aluno tem condições de exercitar os ensinamentos adquiridos nas duas etapas anteriores bem como de discutir as diversas soluções com os colegas e os professores.

Todos os exercícios foram elaborados com base no Sistema Internacional de Unidades (SI), com exceção do Capítulo 6, no qual o consumo de Ferro foi dado em kgf.

Para os que ainda não estão familiarizados com essas unidades, apresento, a seguir, as correlações mais usuais.

Para converter	Em	Multiplicar por
tf	kN	10
tf/m²	kPa	10
tf/m³	kN/m³	10
kg/cm²	MPa	0,1
	kPa	100
Em	Para converter	Dividir por

Nota: 1 kPa = 1 kN/m²
1 MPa = 1 MN/m²

Os múltiplos e submúltiplos têm, para símbolo, os prefixos indicados na tabela abaixo:

Prefixo	Símbolo	Fator pelo qual a unidade é multiplicada
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^{9}
Mega	M	10^{6}
Quilo	k	10^{3}
Hecto	h	10^{2}
Deca	da	10
Deci	d	10^{-1}
Centi	c	10^{-2}
Mili	m	10^{-3}
Micro	μ	10^{-6}
Nano	n	10^{-9}
Pico	p	10^{-12}
Femto	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Finalmente, tenho a esperança de que, com este modesto trabalho, seja criado no meio estudantil de Engenharia Civil o gosto pelo estudo de fundações, elemento primordial no bom desempenho de uma estrutura.

O autor

CONTEÚDO

1 FUNDAÇÕES RASAS (BLOCOS E SAPATAS)

1.1 DEFINIÇÕES E PROCEDIMENTOS GERAIS DE PROJETO

As fundações rasas são as que se apoiam logo abaixo da infraestrutura e se caracterizam pela transmissão da carga ao solo através das pressões distribuídas sob sua base. Neste grupo incluem-se os blocos de fundação e as sapatas.

Os blocos são elementos de grande rigidez executados com concreto simples ou ciclópico (portanto não armados), dimensionados de modo que as tensões de tração neles produzidas sejam absorvidas pelo próprio concreto (Figuras 1.1a e b).

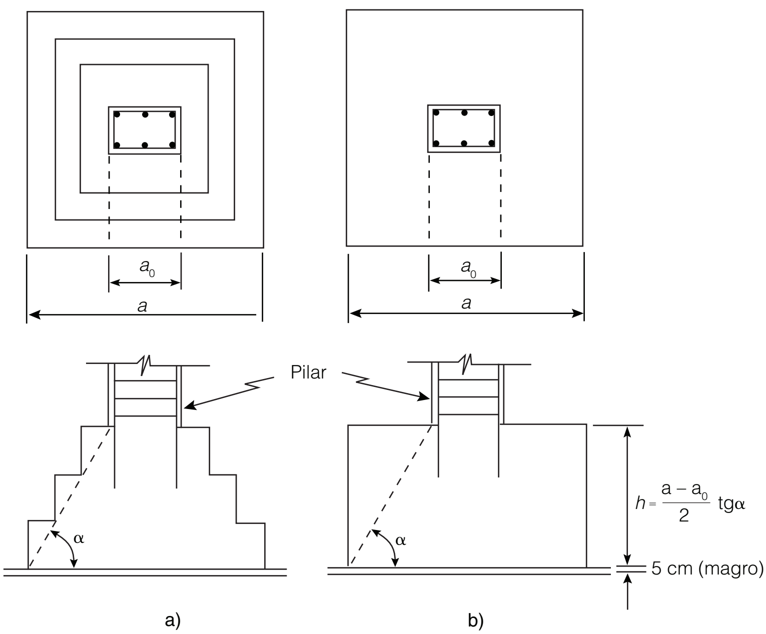


Figura 1.1

O valor do ângulo α é tirado do gráfico da Figura 1.2, entrando-se com a relação σ_s/σ_t, em que σ_s é a tensão aplicada ao solo pelo bloco (carga do pilar + peso próprio do bloco dividido pela área da base) e σ_t é a tensão admissível à tração do concreto, cujo valor é da ordem de fck/25, não sendo conveniente usar valores maiores que 0,8 MPa.

Para aplicação, ver o 1.º *Exercício resolvido*.

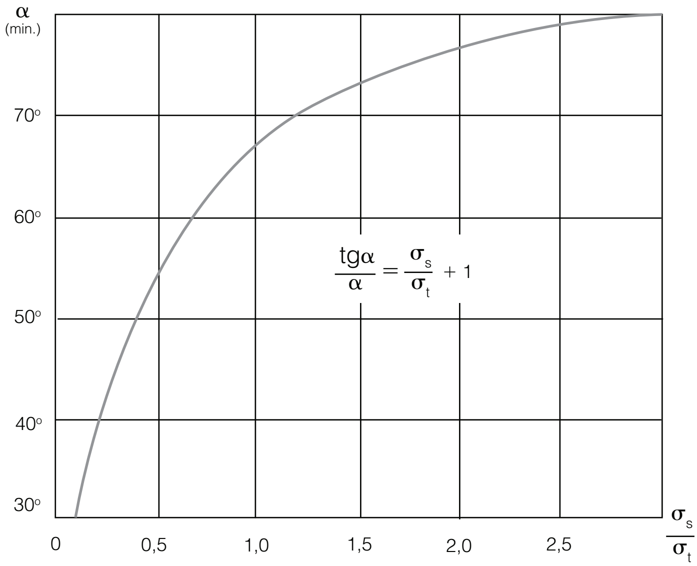


Figura 1.2

As sapatas, ao contrário dos blocos, são elementos de fundação executados em concreto armado, de altura reduzida em relação às dimensões da base e que se caracterizam principalmente por trabalhar a flexão (Figura 1.3).

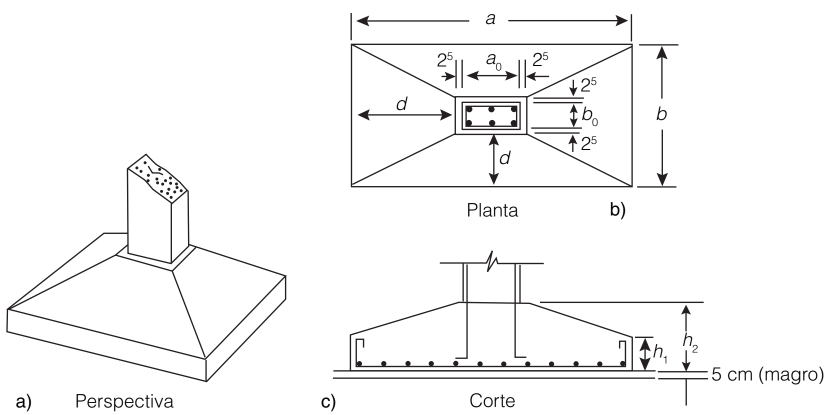


Figura 1.3

Os valores h_1 e h_2 são decorrentes do dimensionamento estrutural da sapada e seu cálculo será abordado no Capítulo 9.

Quando a sapata suporta apenas um pilar, como o indicado na Figura 1.3, diz-se que a mesma é uma sapada isolada. No caso particular de o pilar ser de divisa (Figura 1.7), a sapata é chamada de divisa. Quando a sapata suporta dois ou mais pilares, cujos centros, em planta, estejam alinhados (Figura 1.4), é denominada viga de fundação. Quando a sapata é comum a vários pilares, cujos centros, em planta, não estejam alinhados é denominada sapata associada (ou *radier* parcial).

A área da base de um bloco de fundação ou de uma sapata, quando sujeita apenas a uma carga vertical, é calculada pela expressão:

$$A = a \times b = \frac{P + pp}{\sigma_s}$$

em que:

P = carga proveniente do pilar;

pp = peso próprio do bloco ou da sapata;

σ_s = tensão admissível do solo.

Como o peso próprio do bloco ou da sapata depende de suas dimensões e estas, por sua vez, dependem do peso próprio, o problema só pode ser resolvido por tentativas, isto é, estima-se um valor para o peso próprio e com este valor dimensiona-se o bloco ou a sapata. A seguir, verifica-se se o peso próprio real é menor ou igual ao valor estimado, caso contrário, repete-se a operação. Na grande maioria dos casos, o valor do peso próprio é pouco significativo, e sua não utilização está dentro das imprecisões da estimativa do valor da σ_s. Assim sendo, é comum negligenciar o valor do mesmo, de tal modo que a área será calculada por

$$A = a \times b = \frac{P}{\sigma_s}$$

Conhecida a área A, a escolha do par de valores a e b, para o caso de sapatas isoladas, deve ser feita de modo que:

1) O centro de gravidade da sapata deve coincidir com o centro de carga do pilar.
2) A sapata não deverá ter nenhuma dimensão menor que 60 cm.
3) Sempre que possível, a relação entre os lados a e b deverá ser menor ou, no máximo, igual a 2,5.
4) Sempre que possível, os valores a e b devem ser escolhidos de modo que os balanços da sapata, em relação às faces do pilar (valor d da Figura 1.3b), sejam iguais nas duas direções.

Em consequência do Item 4, a forma da sapata fica condicionada à forma do pilar, quando não existam limitações de espaço, podendo ser distinguidos três casos:

1.° Caso: Pilar de seção transversal quadrada (ou circular)

Neste caso, quando não existe limitação de espaço, a sapata mais indicada deverá ter em planta seção quadrada, cujo lado será:

$$a = \sqrt{\frac{P}{\sigma_s}}$$

Para aplicação, ver 2.º *Exercício resolvido*. Veja também a solução do pilar P_1 do Exercício n. 10, no qual não foi possível usar sapata quadrada por causa da divisa.

2.º Caso: Pilar de seção transversal retangular

Neste caso, com base na Figura 1.3b, quando não existe limitação de espaço, pode-se escrever:

$$a \times b = \frac{P}{\sigma_s}$$

$$\left.\begin{aligned} a - a_0 &= 2d \\ b - b_0 &= 2d \end{aligned}\right\} \therefore a - b = a_0 - b_0$$

Para aplicação, ver 3.º *Exercício resolvido*. Ver também a solução do pilar P_2 do Exercício n. 10, no qual não foi possível usar a sapata com balanços iguais devido a existência da divisa.

3.º Caso: Pilar de seção transversal em forma de L, Z, U etc

Este caso recai facilmente no caso anterior ao se substituir o pilar real por um outro fictício de forma retangular circunscrito ao mesmo e que tenha seu centro de gravidade coincidente com o centro de carga do pilar em questão. O roteiro para este caso está apresentado nos Exercícios n. 4 e 5.

É importante frisar que, para se obter um projeto econômico, deve ser feito o maior número possível de sapatas isoladas. Só no caso em que a proximidade entre dois ou mais pilares é tal que, ao se tentar fazer sapatas isoladas, estas se superponham, deve-se lançar mão de uma sapata associada ou de uma viga de fundação, como se indica na Figura 1.4. A viga que une os dois pilares, de modo a permitir que a sapata trabalhe com tensão constante σ_s, denomina-se viga de rigidez (V.R.). O cálculo será feito de acordo com o seguinte roteiro:

Inicialmente, calcular as coordenadas x e y do centro de carga.

$$x = \frac{P_2}{P_1 + P_2} d_1$$

$$y = \frac{P_2}{P_1 + P_2} d_2$$

A interseção das coordenadas x e y sempre estará localizada sobre o eixo da viga de rigidez.

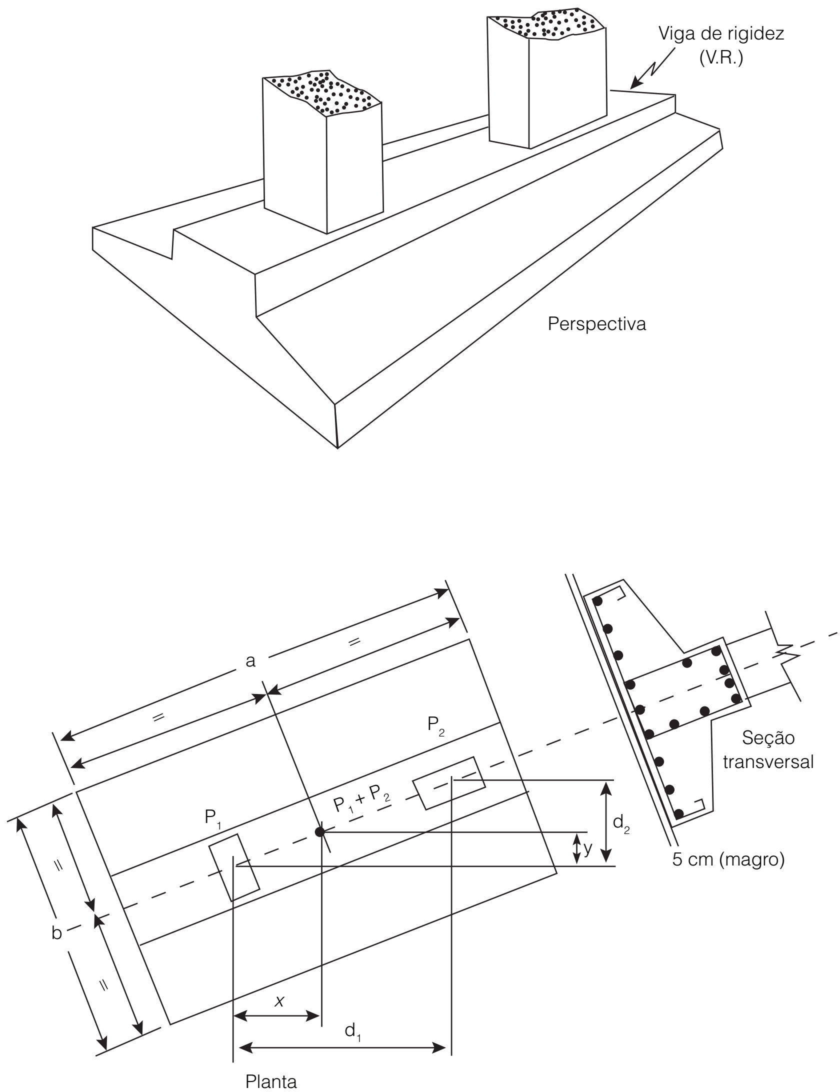


Figura 1.4

É importante notar que, para obter o centro de carga, não é preciso calcular a distância $P_1 - P_2$, sendo suficiente trabalhar com as diferenças de coordenadas (direções d_1 ou d_2). Teoricamente, uma só dessas direções é suficiente para o cálculo do centro de carga, visto que, calculando x (ou y) e prolongando essa cota até encontrar o eixo da V.R., ter-se-á o centro de carga.

A área da sapata será

$$A = a \times b = \frac{P_1 + P_2}{\sigma_s}$$

A escolha dos lados a e b, que conduz a uma solução mais econômica, consiste na resolução de duas lajes em balanço (vão igual a $b/2$) sujeitas a uma carga uniformemente distribuída igual a σ_s e a uma viga simplesmente apoiada nos pilares P_1 e P_2 sujeita também a uma carga uniformemente distribuída igual a $p = \sigma_s \cdot b$. Via de regra, o condicionamento econômico da sapata está diretamente ligado à obtenção de uma viga de rigidez econômica. Para tanto, os momentos negativos desta viga deveriam ser aproximadamente iguais, em módulo, ao momento positivo. Esta condição só é plenamente alcançada quando as cargas P_1 e P_2 forem iguais e, neste caso, os balanços terão um valor igual a $a/5$. No caso de as cargas P_1 e P_2 serem diferentes, como é o caso mais comum, procura-se jogar com os valores dos balanços, de modo que as ordens de grandeza dos módulos dos momentos negativo e positivo sejam o mais próximo possível. Para aplicação, ver 6.º *Exercício resolvido*.

Sempre que houver disponibilidade de espaço, a forma da sapata será indicada na Figura 1.4, isto é, um retângulo cujo lado a seja paralelo ao eixo da viga de rigidez e o lado b, perpendicular à mesma. Quando esta forma não for possível, pode-se lançar mão de um paralelogramo (Figura 1.5), sendo que, neste caso, a viga de rigidez deverá ser também calculada para absorver a torção decorrente do fato de que o momento de força resultante de dois paralelogramos quaisquer, ABCD e CDEF, paralelos ao lado b (conforme hachurado na Figura 1.5), não mais se situa num mesmo plano perpendicular ao eixo da viga (Planos 1-1 e 2-2).

O caso da viga de fundação com três ou mais pilares, cujos centros sejam colineares (Figura 1.6), não será analisado neste curso, visto que não se deve adotar, concomitantemente, largura b e tensão no solo constantes. O cálculo da viga de rigidez como viga contínua apoiada nos pilares e carregamento constante ($\sigma_s \cdot b$) conduz a reações de apoio Ri provavelmente diferentes das cargas Pi e, portanto, conclui-se que, nesse caso (b = constante), a tensão no solo não poderá ser uniforme. Para que a hipótese de tensão uniforme conduza a resultados estaticamente possíveis, a largura b deverá ser variável (Figura 1.6). Entretanto, uma análise mais profunda deste assunto foge aos objetivos deste trabalho.

Para finalizar este resumo sobre fundações rasas, será analisado o caso dos pilares de divisa ou próximos a obstáculos onde não seja possível fazer com que o centro de gravidade da sapata coincida com centro de carga do pilar. A primeira solução é criar-se uma viga de equilíbrio (V.E.) ou viga alavancada ligada a outro pilar e assim obter um esquema estrutural cuja função é a de absorver o momento resultante da excentricidade decorrente do fato de o pilar ficar excêntrico com a sapata (Figura 1.7).

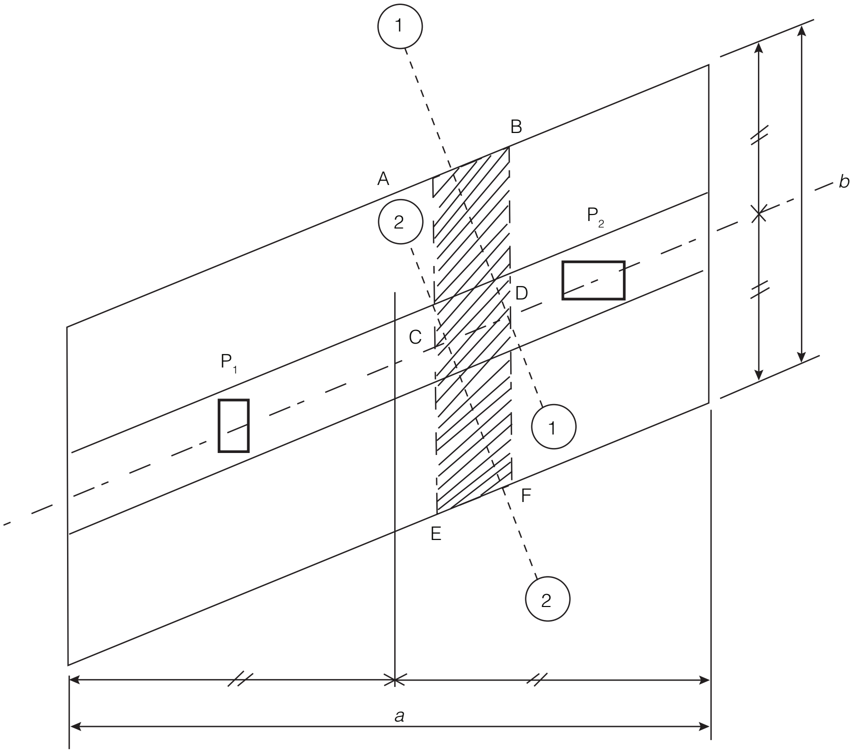


Figura 1.5

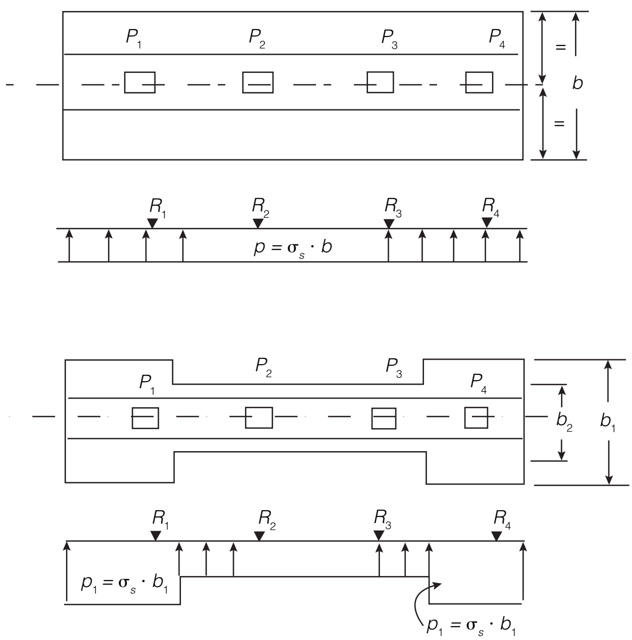
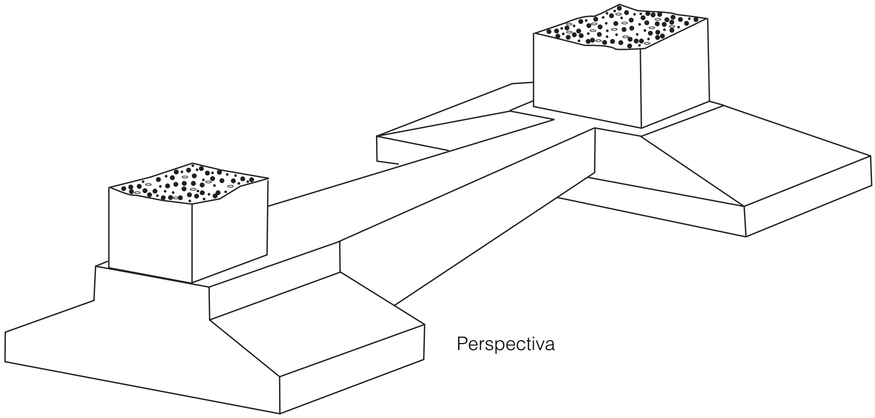


Figura 1.6


Perspectiva

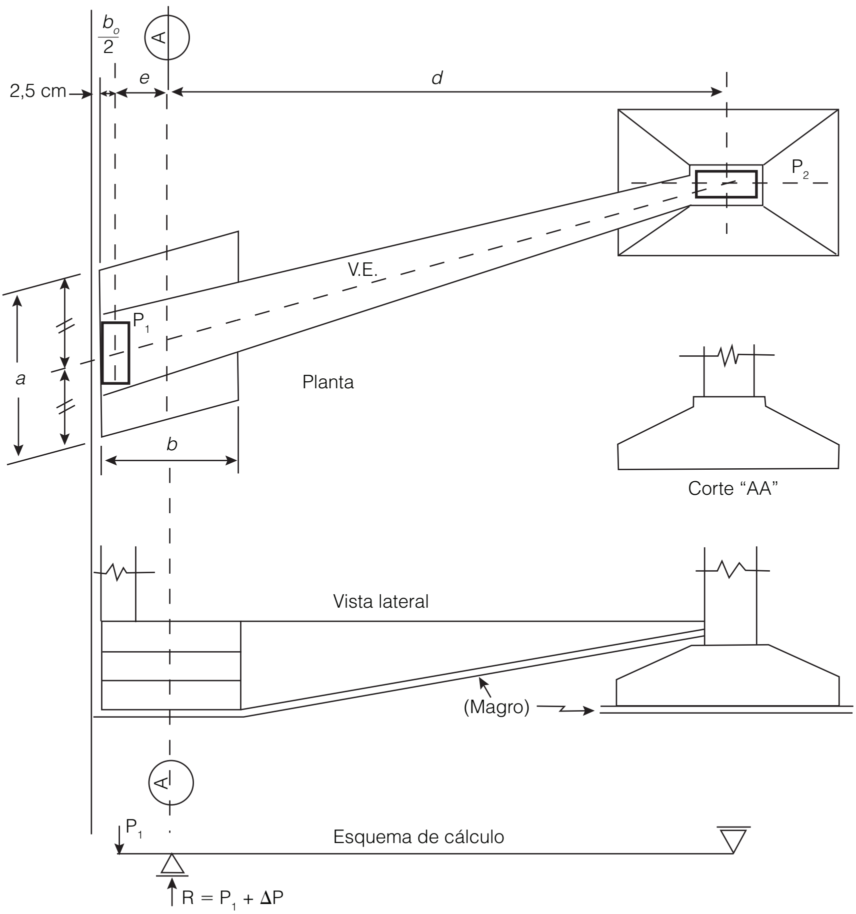

$\frac{b_o}{2}$
A
2,5 cm
e
d
P2
V.E.
P1
a
Planta
b
Corte "AA"
Vista lateral
(Magro)
A
P1
Esquema de cálculo
R = P1 + ΔP

Figura 1.7

A forma mais conveniente para a sapata de divisa é aquela cuja relação entre os lados a e b esteja compreendida entre 2 e 2,5. Da Figura 1.7, pode-se escrever que o valor da resultante R, atuante no centro de gravidade da sapata da divisa, é:

$$R = P_1 + P_1 \frac{e}{d},$$

ou seja, a resultante R é igual ao valor da carga do pilar da divisa acrescida de uma parcela

$$\Delta P = P_1 \frac{e}{d}$$

Vale lembrar que, neste caso, analogameme ao caso da sapata associada, não é necessário trabalhar com a distância $P_1 - P_2$, podendo trabalhar com a diferença de coordenadas entre os pontos P_1 e P_2.

Como, para calcular R, existem duas incógnitas e e d e apenas uma equação, o problema é indeterminado. Para se levantar a indeterminação, é conveniente adotar o seguinte roteiro:

a) Partir da relação inicial $a = 2b$ e adotar $\Delta P = 0$, ou seja, $R_1 = P_1$.
Neste caso tem-se:

$$A_1 = 2b \times b = \frac{P_1}{\sigma_s} \therefore b = \sqrt{\frac{P_1}{2\sigma_s}}$$

Este valor de b pode ser arredondado para o múltiplo de 5 cm superior, visto que o mesmo não irá mudar no decorrer dos cálculos.

b) Com o valor de b fixado, calculam-se:

$$e = \frac{b - b_0}{2}$$

$$\Delta P = P_1 \frac{e}{d}$$

c) Obtido ΔP, pode-se calcular o valor de $R = P_1 + \Delta P$ e, portanto, a área final de sapata

$$A = \frac{R}{\sigma_s}$$

d) Como o valor de b já é conhecido (passo a) e o mesmo foi mantido constante, para não alterar ΔP, o valor de a será calculado por

$$a = \frac{A}{b}$$

Finalmente, divide-se o valor de a do passo d pelo valor de b fixado no passo a para se ver se a relação é menor que 2,5. Se for, o problema estará resolvido; se não for, voltar-se-á ao passo a e aumentar-se-á o valor de b, repetindo o processo.

O pilar P_2 ao qual foi alavancado o pilar P_1 sofrerá, do ponto de vista estático, uma redução de carga igual a ΔP. Entretanto, como na carga do pilar P_1 existem as parcelas de carga permanente e carga acidental, e, como no caso dos edifícios comuns essas duas parcelas são da mesma ordem de grandeza, costuma-se adotar, para alívio no pilar P_2, apenas a metade de ΔP, que corresponderia ao caso em que no pilar P_1 só atuasse com carga permanente. Quando, porém, na planta de cargas vierem discriminadas as cargas permanentes e acidentais, para efeito de alívio, trabalhar-se-á com o valor das cargas permanentes e, para o cálculo de R, com as cargas totais. Para aplicação, ver 7.º e 11.º *Exercícios resolvidos*.

Se o pilar da divisa estiver muito próximo do pilar P_2, poderá ser mais conveniente lançar mão de uma viga de fundação. Como a divisa, neste caso, é uma linha-limite, devem-se analisar dois casos:

1.° Caso: O pilar da divisa tem carga menor que o outro pilar

Neste caso (Figura 1.8), pelo fato de o centro de carga (C.C.) estar mais próximo do pilar P_2, o valor de $a/2$ será obtido calculando-se a distância do centro de carga à divisa e descontando-se 2,5 cm. O valor de b será então

$$b = \frac{P_1 + P_2}{a \cdot \sigma_s}$$

Para aplicação, ver 8.º *Exercício resolvido*.

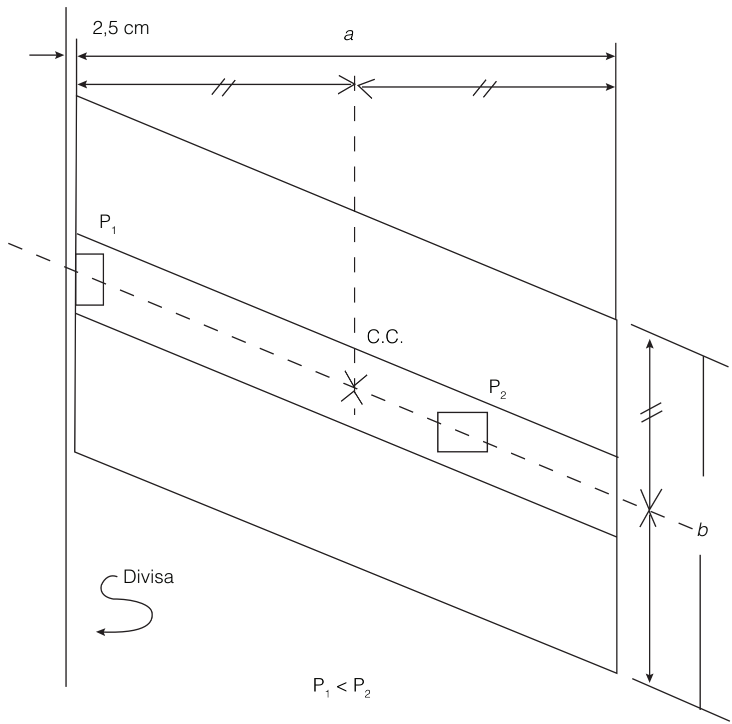


Figura 1.8

2.° Caso: O pilar da divisa tem carga maior que o outro pilar

Neste caso, o ponto de aplicação da resultante estará mais próximo do pilar P_1 e, portanto, a sapata deverá ter a forma de um trapézio. O valor de y é dado por

$$y = \frac{c}{3}\left[\frac{a+2b}{a+b}\right]$$

Esta expressão é facilmente deduzida, se o trapézio for desmembrado em dois triângulos, conforme se indica pela linha tracejada da Figura 1.9.

$$A \cdot y = A_1 \cdot \frac{c}{3} + A_2 \frac{2c}{3}$$

Substituindo $A = \frac{a+b}{2} c$, $A_1 = \frac{ac}{2}$ e $A_2 = \frac{bc}{2}$, obtém-se a expressão de y indicada acima.

O problema é resolvido dentro do seguinte roteiro:

a) Calculado o valor de y, que é a distância do centro de carga até a face externa do pilar P_1, impõe-se para c um valor $c < 3y$, visto que, para $c = 3y$, a figura que se obtém é um triângulo ($b = 0$).

b) Calcula-se a seguir a área do trapézio

$$A = \frac{P_1 + P_2}{\sigma_s} = \frac{a+b}{2} c,$$

que, pelo fato de c ser conhecido, permite calcular a parcela

$$(a+b) = \frac{2A}{c}$$

c) Como y também é conhecido (distância do centro de carga à face externa de P_1), pode-se escrever

$$y = \frac{c}{3}\left[\frac{(a+b)+b}{(a+b)}\right]$$

e, consequentemente, calcular b.

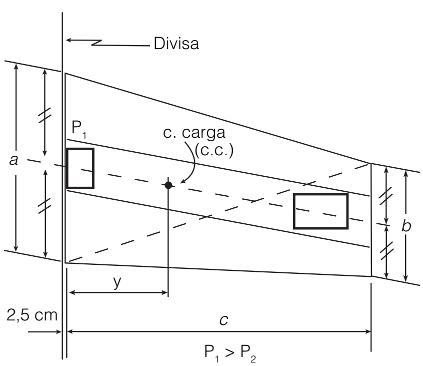


Figura 1.9

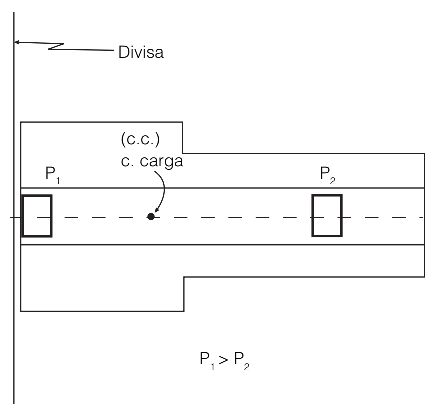


Figura 1.10

Se b for maior ou igual a 60 cm, o problema está resolvido.

Caso contrário, volta-se ao passo a e diminui-se o valor de c, repetindo-se o processo.

Para aplicação, ver 9.º *Exercício resolvido*.

Outra solução que pode ser dada para esta sapata é adotar a forma de T, conforme a Figura 1.10, porém, neste caso, a solução só pode ser obtida por tentativas.

Quando na sapata, além de carga vertical, atua também um momento, recomenda-se usar o seguinte procedimento:

a) Calcular a excentricidade $e = \frac{M}{N}$.

b) Fazer com que a excentricidade esteja dentro do núcleo central $\left(e \leq \frac{a}{6}\right)$. Neste caso, os valores das tensões aplicadas ao solo serão:

$$\left.\begin{matrix}\sigma_{\text{máx}} \\ \sigma_{\text{mín}}\end{matrix}\right\} = \frac{N}{A}\left(1 \pm \frac{6e}{a}\right)$$

c) Os valores $\sigma_{\text{máx}}$, e $\sigma_{\text{mín}}$ devem atender à relação

$$\sigma_{\text{máx}} \leq 1{,}3\sigma_s$$

$$\frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}}}{2} \leq \sigma_s$$

Ao contrário do que foi exposto para os pilares isolados com carga centrada, neste tipo de sapata não há necessidade de correlacionar seus lados com os lados do pilar, nem há a obrigatoriedade de se manter a relação $\frac{a}{b} < 2{,}5.$ O problema é resolvido por tentativas, arbitrando-se valores para a e b que satisfaçam as relações acima.

Para aplicação, ver 18.° *Exercício resolvido*.

1.2 EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

1.º Exercício: Dimensionar um bloco de fundação confeccionado com concreto fck = 15 MPa, para suportar uma carga de 1 700 kN aplicada por um pilar de 35 × 60 cm e apoiado num solo com σ_s = 0,4 MPa. Desprezar o peso próprio do bloco.

Solução:

a) Dimensionamento da base

$$\text{A} = \frac{P}{\sigma_s} = \frac{1700}{500} = 3{,}4\,\text{m}^2$$

Pode-se adotar para lados 1,80 × 1,90 m.

b) Dimensionamento do bloco

$$\sigma_t \leq \begin{cases} \dfrac{fck}{25} = \dfrac{15}{25} = 0{,}6\,\text{MPa} \\ 0{,}8\ \text{MPa} \end{cases}$$

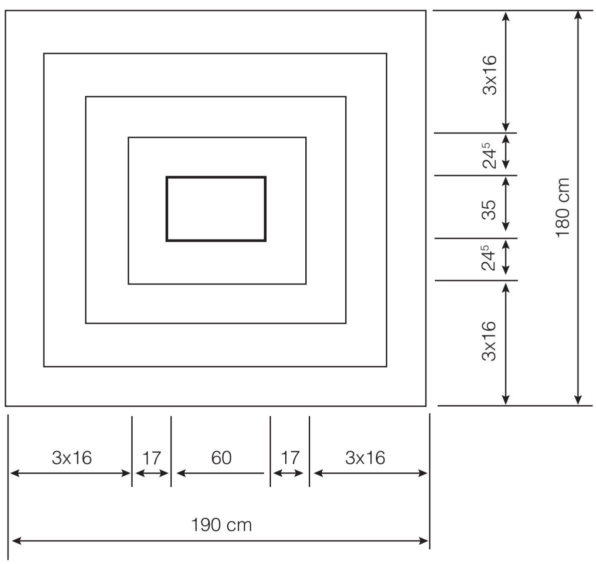
$$\text{Com } \left.\begin{array}{l} \sigma_t = 0{,}6\,\text{MPa} \\ \sigma_s = 0{,}4\,\text{MPa} \end{array}\right\} \xrightarrow[\text{Fig. 1.2}]{\text{Ábaco}} \alpha \cong 60^{\circ}$$

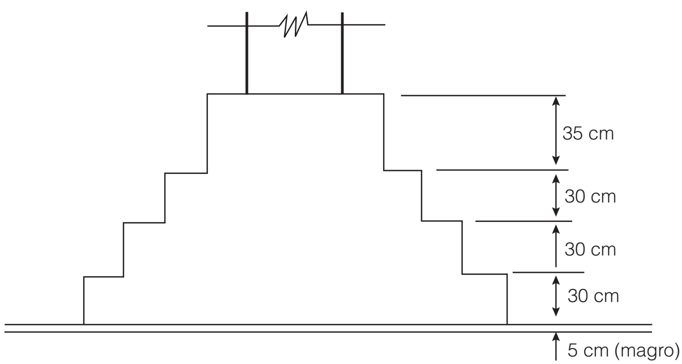
$$a = 1{,}90\,\text{m} \qquad a_0 = 0{,}60\,\text{m}$$

$$b = 1{,}80\,\text{m} \qquad b_0 = 0{,}35\,\text{m}$$

$$h \geq \left\{\begin{array}{l} \dfrac{1{,}90 - 0{,}60}{2} tg\ 60^{\circ} \cong 1{,}15\,\text{m} \\ \dfrac{1{,}80 - 0{,}35}{2} tg\ 60^{\circ} \cong 1{,}25\,\text{m} \end{array}\right\} \text{adotado } h = 1{,}25\,\text{m}$$

Adotando quatro escalonamentos, tem-se:





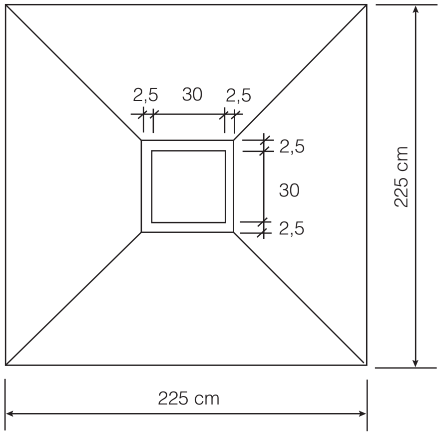
2.º Exercício: Dimensionar uma sapata para um pilar de 30 × 30 cm e carga de 1 500 kN, sendo a taxa admissível no solo igual a 0,3 MPa.

Solução:

Tratando-se de um pilar de seção quadrada, a sapata mais econômica terá forma quadrada, de lado:

$$a = \sqrt{\frac{P}{\sigma_s}} = \sqrt{\frac{1500}{300}} = 2{,}24\,\text{m}$$

adotado a = 2,25 m



3.º Exercício: Dimensionar uma sapata para um pilar de seção 30 × 100 cm, com carga 3 000 kN, para um σ_s = 0,3 MPa.

Solução:

A sapata mais econômica será retangular com balanços iguais.

$$a \times b = \frac{3000}{300} = 10\,\text{m}^2 \text{ ou } 100\,000\,\text{cm}^2$$

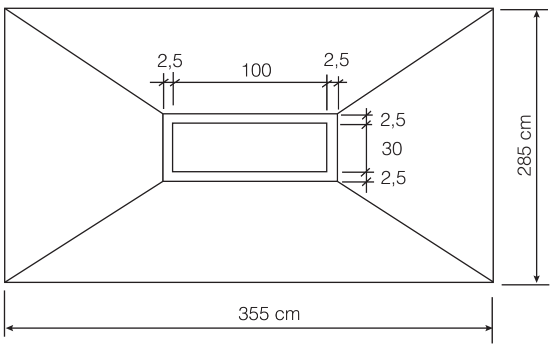
$$a - b = a_0 - b_0 = 100 - 30 = 70\,\text{cm}$$

$$(70 + b) \cdot b = 100\,000 \therefore$$

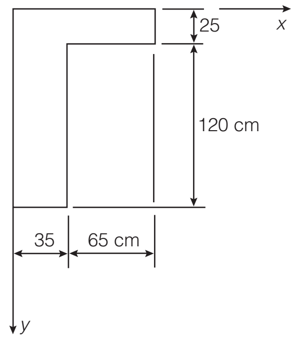
$$b^2 + 70b - 100\,000 = 0 \therefore b = 283\,\text{cm}$$

adotado 285 cm.

$$a = 70 + b \therefore a = 355\,\text{cm}$$



4.º Exercício: Projetar uma sapata para o pilar indicado abaixo, com carga de 3 000 kN e taxa no solo 0,3 MPa.



Solução:

Cálculo das coordenadas do centro de carga (C.C.) do pilar que, neste caso, coincide com o centro de gravidade (C.G.).

$$x_g = \frac{35 \times 145 \times 17{,}5 + 25 \times 65\left(35 + 32{,}5\right)}{35 \times 145 + 65 \times 25} \cong 30\,\text{cm}$$

$$y_g = \frac{35 \times 145 \times 72{,}5 + 25 \times 65 \times 12{,}5}{35 \times 145 + 65 \times 25} = 58\,\text{cm}$$

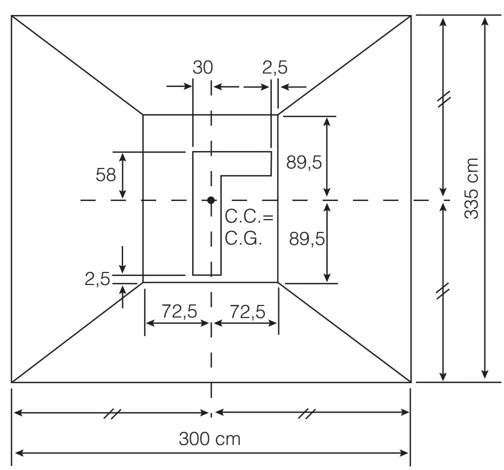
Por conseguinte, o retângulo circunscrito ao pilar dado e que possui o mesmo C.G. terá para lados:

$$a_0 = 2\left(145 - 58\right) = 2 \times 87 = 174\,\text{cm}$$

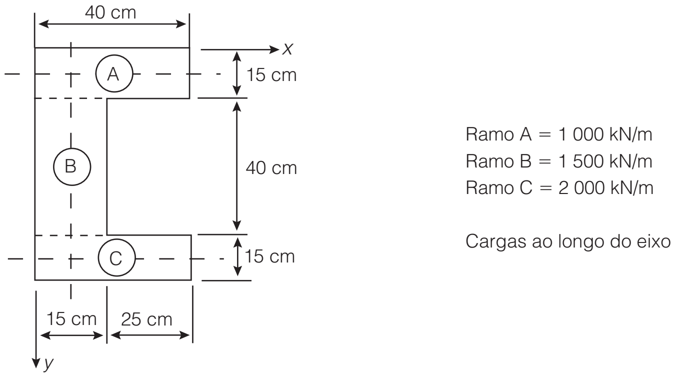
$$b_0 = 2\left(100 - 30\right) = 2 \times 70 = 140\,\text{cm}$$

Finalmente, para calcular a sapata, procede-se de maneira análoga ao exercício anterior, obtendo-se

a = 335 cm
b = 300 cm



5.º **Exercício**: Projetar uma sapata para o pilar abaixo para σ_s = 0,3 MPa.



Solução:

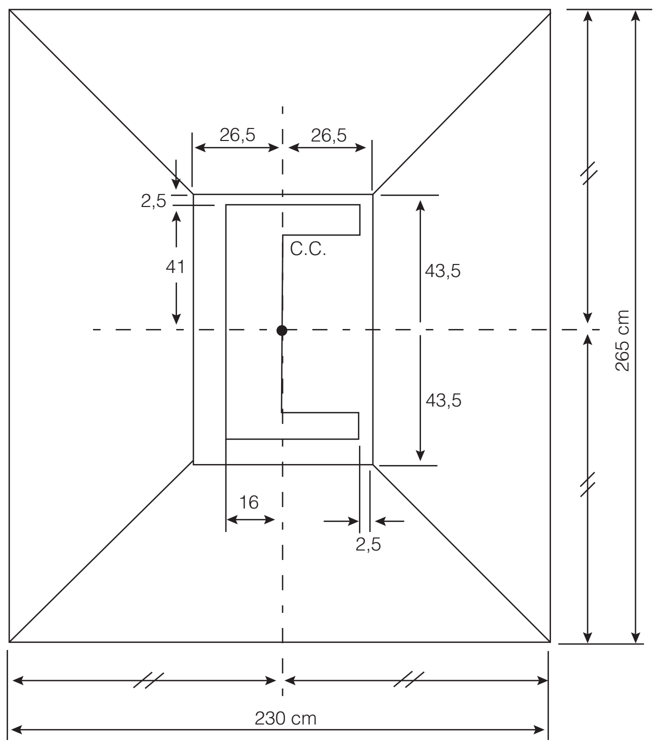
Cálculo das coordenadas do centro de carga (C.C.) que, neste caso, não coincidirá com o centro de gravidade (C.G.) do pilar.

P_A = 0,4 × 1 000 = 400 kN

P_B = 0,4 × 1 500 = 600 kN

P_C = 0,4 × 2 000 = 800 kN

1 800 kN



$$400\times 20+600\times 7{,}5+800\times 20=1800x\ \therefore$$

$$x=16\,\text{cm}$$

$$400\times 7{,}5+600\times 35+800\times 62{,}5=1800y\ \therefore$$

$$y=41\,\text{cm}$$

$$b_0=2(40-16)=48\,\text{cm}$$

$$a_0=2\times 41=82\,\text{cm}$$

$$\left.a\times b=\frac{1800}{300}=6\,\text{m}^2\ \text{ou}\ 60\,000\,\text{cm}^2\right\}\therefore a=265\,\text{cm}\quad b=230\,\text{cm}$$

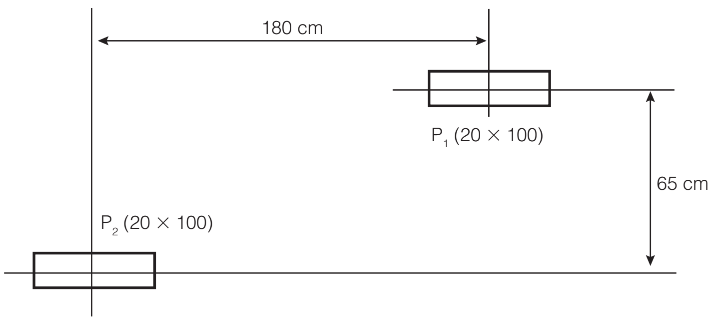
$$a-b=82-48=34\,\text{cm}$$

6.º Exercício: Projetar uma viga de fundação para os pilares P_1 e P_2 indicados abaixo, sendo a taxa no solo $\boldsymbol{\sigma}_s$ = 0,3 MPa e para os seguintes casos:

1.º *Caso:* $P_1=P_2=1600\,\text{kN}$

2.º *Caso:* $P_1=1500\,\text{kN}$

$P_2=1700\,\text{kN}$



Solução:

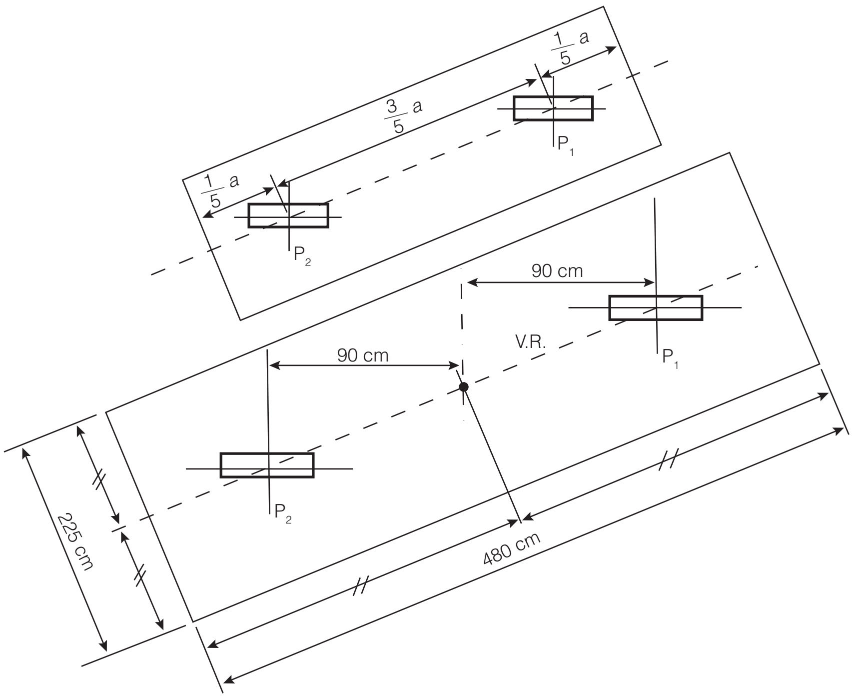
1.º Caso: **Se $P_1 = P_2$, o centro de carga estará equidistante de P_1 e P_2.**

$$A=\frac{2\times 1600}{300}=10{,}6\,\text{m}^2\ \text{ou}\ 106\,700\,\text{cm}^2$$

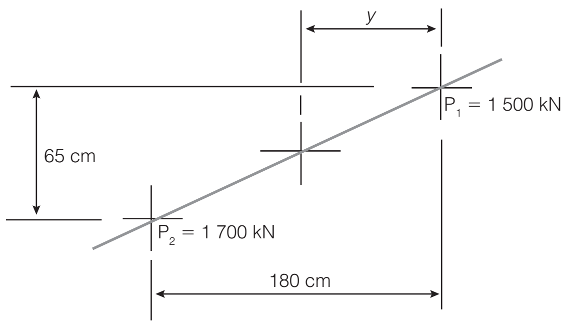
Neste caso, consegue-se uma sapata econômica fazendo com que o balanço seja $\frac{1}{5}\,a$

$\frac{3}{5}\,a=\sqrt{180^2+65^2}\ \therefore a=318$ adotado $a=320\,\text{cm}$

Como $a\times b=106\,700\,\text{cm}^2$ $\quad b=333$ adotado $b=335\,\text{cm}$



2.º Caso: Cálculo do centro de carga

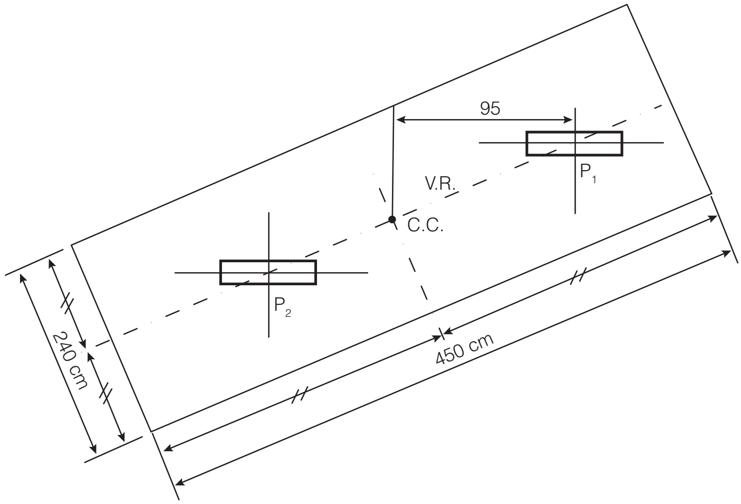


$$A = \frac{1700 + 1500}{300} = 10{,}67\,m^2 \text{ ou } 106\,700\,cm^2$$

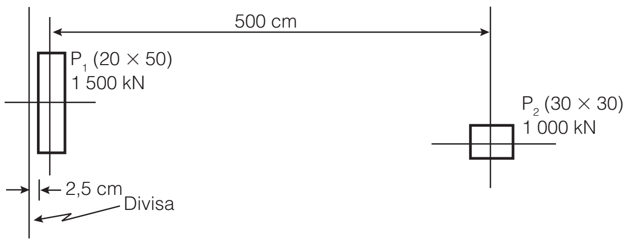
Neste caso, a obtenção da sapata mais econômica torna-se difícil pois as cargas nos pilares são diferentes. No presente trabalho será seguido o seguinte roteiro:

Adota-se para $a/2$ a distância do centro de carga à face externa do pilar mais afastado, medida sobre o eixo da viga, acrescida de um valor arbitrário, a critério do projetista.

No presente exercício adotou-se $\dfrac{a}{2} = 2{,}25\,m \therefore \begin{matrix} a = 450\,cm \\ b = 240\,cm \end{matrix}$



7.º Exercício: Dimensionar as sapatas dos pilares P_1 e P_2 indicados abaixo, sendo a taxa no solo $\boldsymbol{\sigma}_s = 0{,}3$ MPa.



Pilar da divisa

$$A_1 = \frac{1500}{300} = 5\,\mathrm{m}^2 \text{ ou } 50\,000\,\mathrm{cm}^2$$

$$a = 2b \rightarrow = 2b^2 = 50\,000 \therefore b \cong 160\,\mathrm{cm}$$

$$e = \frac{b - b_0}{2} = \frac{160 - 20}{2} = 70\,\mathrm{cm}$$

$$d = 500 - 70 = 430\,\mathrm{cm}$$

$$\Delta P = 1500 \times \frac{70}{430} \cong 245\,\mathrm{kN}$$

$$R = 1500 + 245 = 1745\,\mathrm{kN}$$

$$A_f = \frac{1745}{300} = 5{,}82\,\mathrm{m}^2 \text{ ou } 58\,200\,\mathrm{cm}^2$$

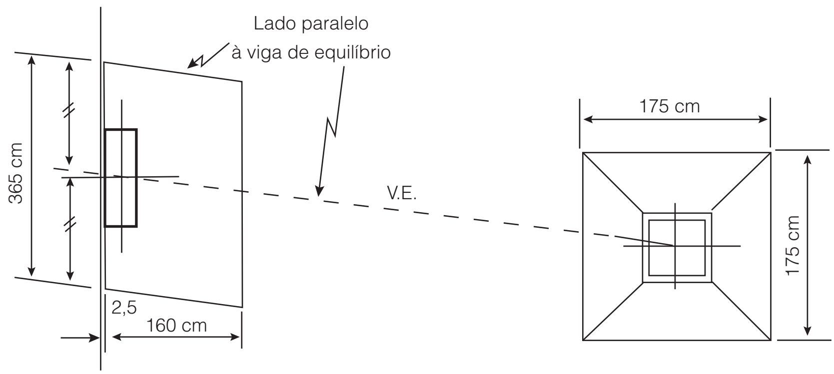
$$a = \frac{58\,200}{160} \therefore a \cong 365\,\mathrm{cm}$$

Pilar central

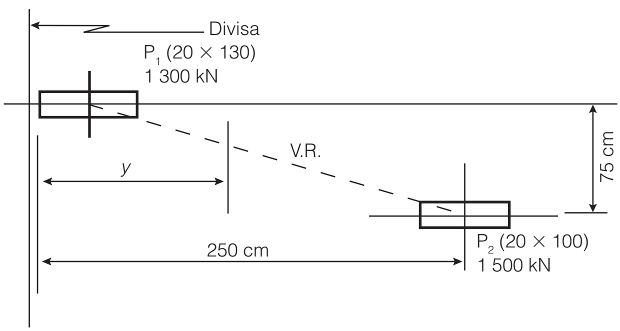
$$P' = 1000 - \frac{245}{2} = 877{,}5\,\text{kN}$$

$$A = \frac{877{,}5}{300} = 2{,}925\,\text{m}^2 \text{ ou } 29\,250\,\text{cm}^2$$

$$a = \sqrt{29\,250} = 171\,\text{cm adotado } a \cong 175\,\text{cm}$$



8.º **Exercício:** Projetar uma viga de fundação para os pilares P_1 e P_2 indicados abaixo, adotando $\sigma_s = 0{,}3$ MPa.



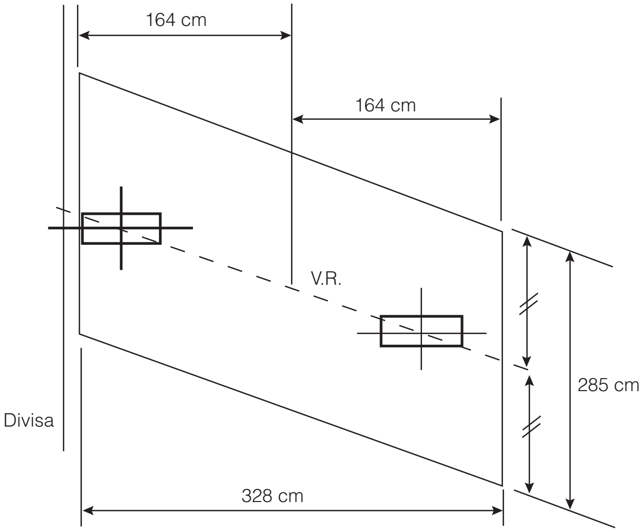
Solução:

Cálculo do centro de carga y

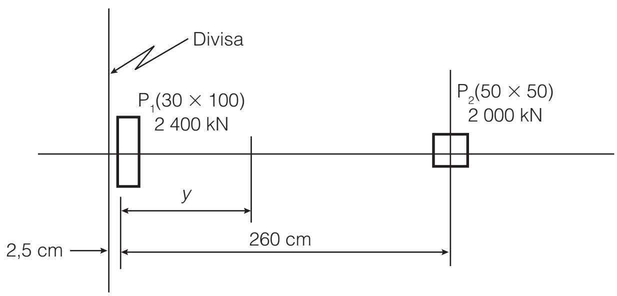
$$y = \frac{1300 \times 65 + 1500 \times 250}{2\,800} = 164 \text{ cm}$$

$$a = 2 \times 164 = 328\,\text{cm}$$

$$b = \frac{2\,800}{300 \times 3{,}28} = 2{,}85\,\text{m ou } 285\,\text{cm}$$



9.º **Exercício:** Dados os pilares abaixo, projetar uma viga de fundação para os pilares P_1 e P_2, sendo $\boldsymbol{\sigma}_s = 0{,}3$ MPa.



Solução:

$$y = \frac{2\,000 \times 260 + 2\,400 \times 15}{4\,400} = 127 \text{ cm}$$

$$\text{A} = \frac{4\,400}{300} = 14{,}7\,\text{m}^2 \text{ ou } 147\,000\,\text{cm}^2$$

Adotar $c < 3y$ (ou seja, $c < 3 \times 127$)

Seja, por exemplo, $c = 360$ cm

$$\frac{a+b}{2} \times c = 147\,000 \therefore$$

$$a + b = \frac{147\,000 \times 2}{360} = 817\,\text{cm}$$

Como

$$y = \frac{c}{3} \cdot \left(\frac{a + 2b}{a + b} \right) \therefore$$

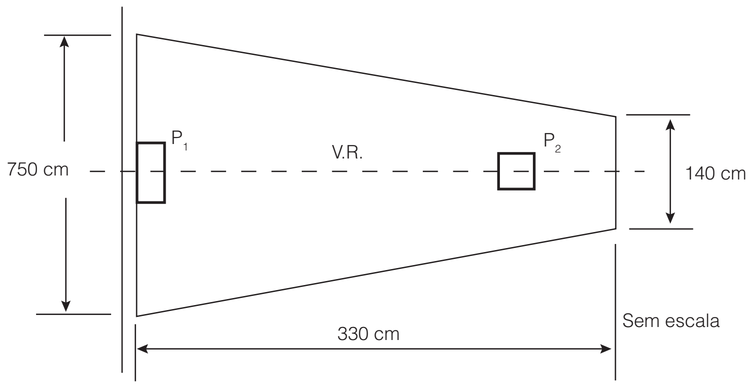
$$127 = \frac{360}{3} \left(\frac{817 + b}{817} \right) \therefore$$

$$b \cong 50\,\text{cm} < 60\,\text{cm}$$

Logo, deve-se diminuir o valor de c. Seja, por exemplo, $c = 330$ cm.

Refazendo os cálculos, obtém-se $b \cong 140$ cm.

Como $\frac{a+b}{2} c = \text{A}$ então $a = 750\,\text{cm}$



10.º Exercício: Projetar as sapatas dos pilares P_1 e P_2 abaixo, adotando $\boldsymbol{\sigma}_s = 0{,}3$ MPa.

Solução:

Verifica-se facilmente que, ao se tentar fazer uma sapata quadrada para o pilar P_1 e uma sapata retangular com balanços iguais para o pilar P_2, haveria necessidade de se ultrapassar a linha-limite da divisa.

Por esta razão, um dos lados das sapatas já é prefixado, ou seja, seu valor é igual a duas vezes a distância do centro do pilar à divisa diminuída de 2,5 cm, necessários para colocar a fôrma. Assim:

Pilar P_1: $A = \dfrac{1200}{300} = 4\,m^2$

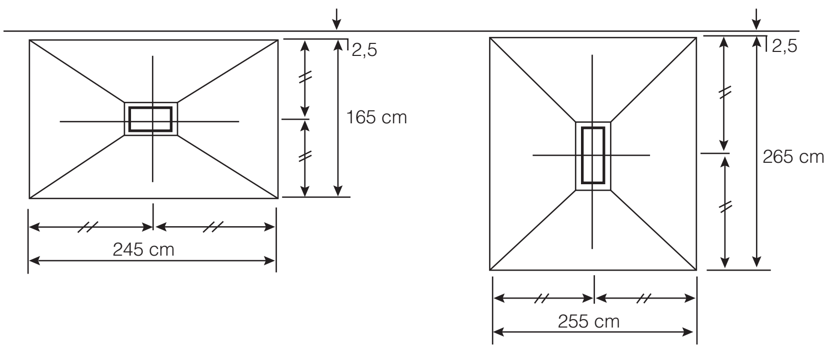
$b = 2(85 - 2{,}5) = 165\,cm$

$a = \dfrac{40\,000}{165} \cong 245\,cm$

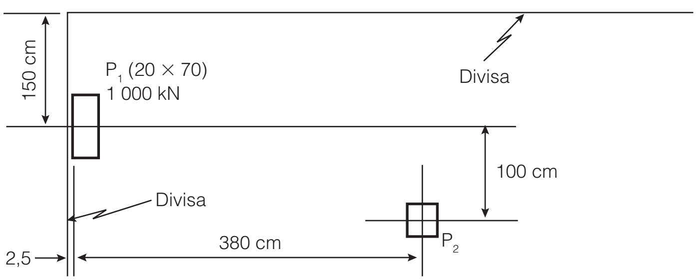
Pilar P_2: $A = \dfrac{2\,000}{300} = 6{,}67\,m^2$

$a = 2(135 - 2{,}5) = 265\,cm$

$b = \dfrac{66\,700}{265} \cong 255\,cm$



11.º Exercício: Dimensionar a sapata do pilar P_1, adotando-se para taxa do solo $\sigma_s = 0{,}25$ MPa.



Solução:

Seguindo o mesmo roteiro do 7.º Exercício, tem-se:

$$2b^2 = \frac{1000}{250} = 4\,\text{m}^2 \therefore b \cong 140\,\text{cm}$$

$$e = \frac{140-20}{2} = 60\,\text{cm}$$

$$d = 380 - 10 - 60 = 310\,\text{cm}$$

$$\Delta P = 1000\frac{60}{310} = 193{,}5\,\text{kN}$$

$$R = 1000 + 193{,}5 = 1193{,}5\,\text{kN}$$

$$A_f = \frac{1193{,}5}{250} \cong 4{,}8\,\text{m}^2 \therefore a = \frac{4{,}8}{1{,}4} = 3{,}45\,\text{cm}$$

$$\frac{a}{2} = 172{,}5\,\text{cm}$$

Entretanto, o espaço disponível do centro do pilar à divisa é 150 – 2,5 = 147,5 cm, menor que $\frac{a}{2} = 172{,}5\,\text{cm}$.

Para diminuir a, deve-se aumentar b

1.ª Tentativa: Seja $b = 200\,\text{cm}$

$$e = \frac{200-20}{2} = 90\,\text{cm}$$

$$d = 280\,\text{cm}$$

$$R = 1000 + 1000\left(\frac{90}{280}\right) = 1320\,\text{kN}$$

$$a = \frac{1320}{250 \times 2} = 2{,}60\,\text{m}$$

$$\frac{a}{2} = 130\,\text{cm} < 147{,}5\,\text{cm}$$

Conclusão: Não precisava ter aumentado tanto o valor de b.

2.ª Tentativa: Seja $b = 180\,\text{cm}$

$$e = 80\,\text{cm}$$

$$d = 290\,\text{cm}$$

$$R = 1275\,\text{kN}$$

$$a = \frac{1275}{250 \times 1{,}8} = 2{,}85\,\text{m}$$

$$\frac{a}{2} = 142{,}5\,\text{cm} < 147{,}5$$

Conclusão: Pode-se diminuir um pouco mais o valor de b.

3.ª Tentativa: Seja $b = 170\,\text{cm}$

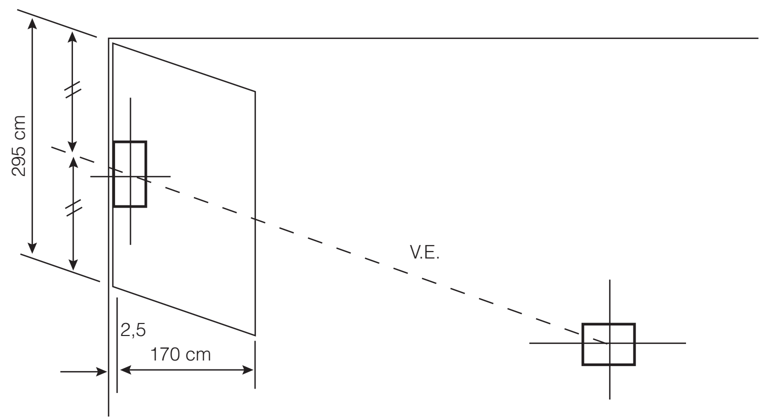
$$e = 75\,\text{cm}$$

$$d = 295\,\text{cm}$$

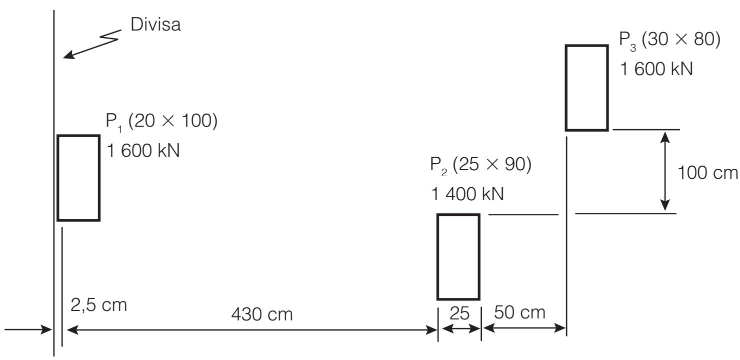
$$R = 1255\,\text{kN}$$

$$a = \frac{1255}{250 \times 1{,}7} \cong 2{,}95\,\text{m}$$

$$\frac{a}{2} = 147{,}5\,\text{cm} \quad \text{OK!}$$

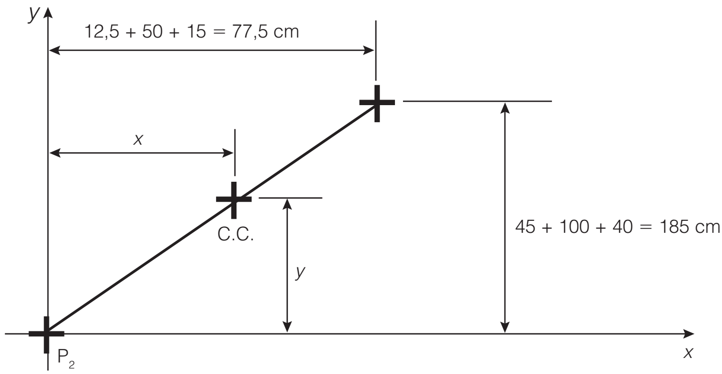


12.º Exercício: Dimensionar as sapatas dos pilares indicados para uma taxa no solo de 0,3 MPa.



Solução:

Sendo P_1 de divisa, ele deverá ser alavancado a um dos outros pilares. Entretanto, as sapatas dos pilares P_2 e P_3 não cabem isoladamente. Assim sendo, os pilares P_2 e P_3 serão apoiados numa viga de fundação e, portanto, a V.E. do P_1 deverá ser ligada ao centro de carga dos pilares P_2 e P_3.



$$3000\ \ x = 1600 \times 77{,}5 \therefore$$
$$x \cong 41{,}5\,\text{cm}$$
$$3000\ \ y = 1600 \times 185 \therefore$$
$$y \cong 98{,}7\,\text{cm}$$

A distância do centro do pilar P_1 ao centro de carga de $P_2 + P_3$ é:

$$e = 430 - 10 + 12{,}5 + 41{,}5 = 474\,\text{cm}$$

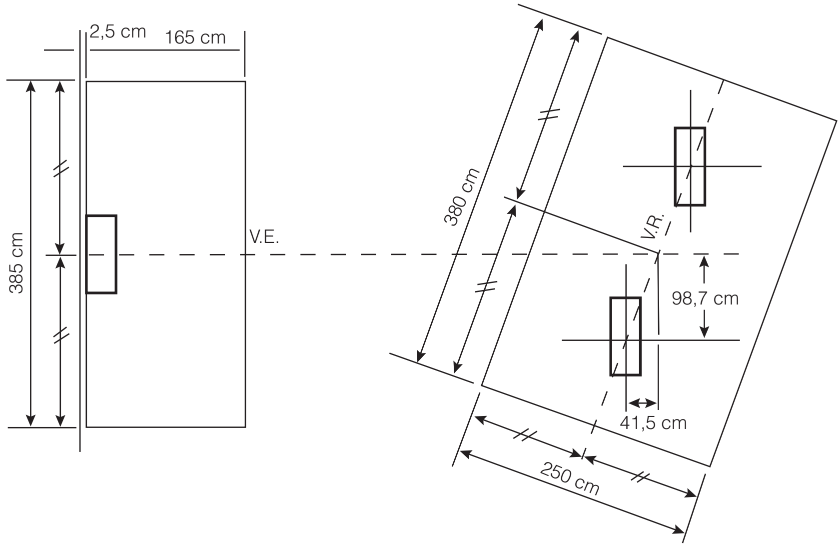
Sapata do P_1: $2b^2 = \dfrac{1600}{300} = 5{,}35\,\text{m}^2 \therefore$

$$b \cong 165\,\text{cm}$$
$$e = \frac{165 - 20}{2} = 72{,}5\,\text{cm}$$
$$d = 474 - 72{,}5 = 401{,}5\,\text{cm}$$
$$R_1 = 1600 + 1600\,\frac{72{,}5}{401{,}5} = 1890\,\text{kN}$$
$$a = \frac{1890}{300 \times 1{,}65} \therefore a \cong 3{,}85\,\text{m}$$

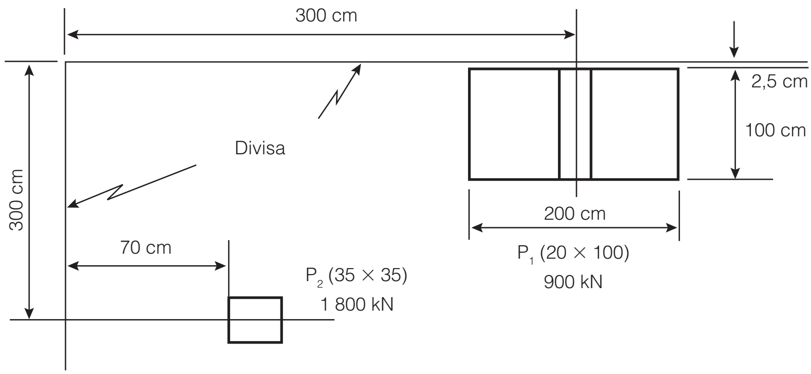
Sapata do $P_2 + P_3$: $P_2 + P_3 - \dfrac{\Delta P}{2} = 3000 - \dfrac{290}{2} = 2855\,\text{kN}$

$$A = \frac{2855}{300} = 9{,}5\,\text{m}^2$$

Adotando-se $a = 380$ cm (procedimento análogo ao do 6.º Exercício), obtém-se $b = 250$ cm.



13.º Exercício: Projetar a fundação direta do P_2 com base nos dados fornecidos abaixo.



Solução: Cálculo da taxa do solo a partir da sapata do P_1.

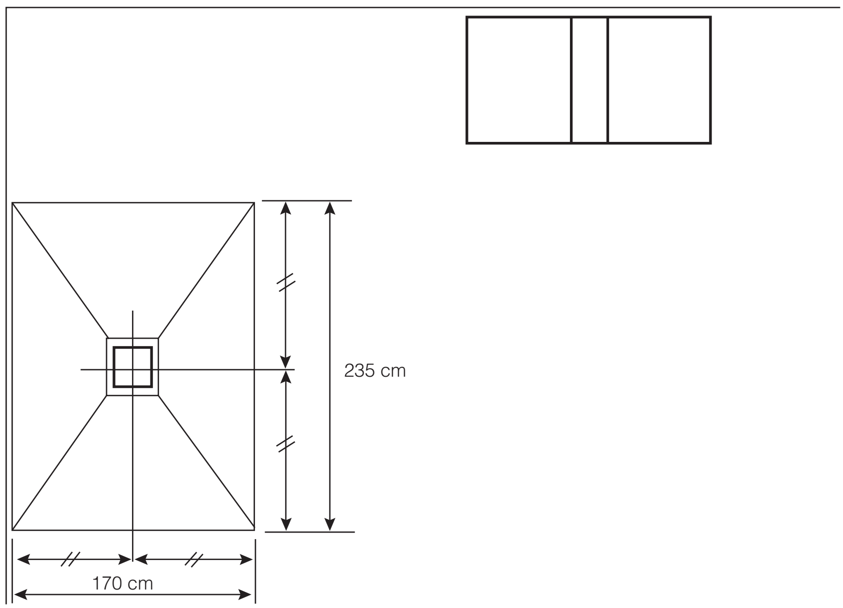
$$\sigma_s = \frac{900}{2 \times 1} = 450\,\text{kPa} \qquad \text{ou} \quad 0{,}45\ \text{MPa}$$

Dimensionamento do P_2

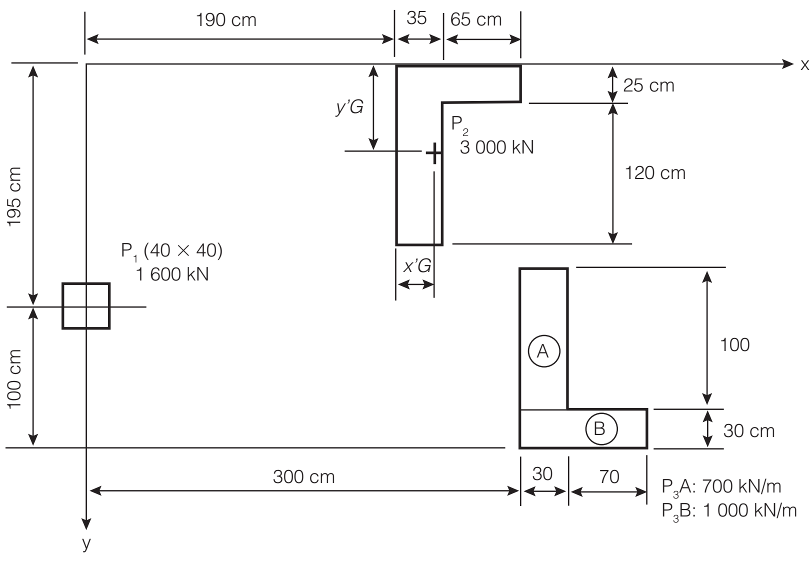
$$A = \frac{1800}{450} = 4\,\text{m}^2$$

Verifica-se que, ao se tentar fazer uma sapata quadrada para o pilar P_2, haverá necessidade de ultrapassar a divisa. Por essa razão, um dos lados da sapata é prefixado

$$b = 2(70 + 17{,}5 - 2{,}5) = 170\,\text{cm} \therefore a = \frac{40\,000}{170} \cong 235\,\text{cm}$$



14.º Exercício: Calcular uma viga de fundação para os três pilares abaixo, adotando-se uma tensão admissível no solo $\boldsymbol{\sigma}_s = 0{,}25$ MPa.



Solução:

Cálculo do centro de carga do pilar P_2

$$x'_G = \frac{35\times145\times17{,}5+25\times65\left(32{,}5+35\right)}{35\times145+25\times65}\cong30\,\text{cm}$$

$$y'_G = \frac{35\times145\times72{,}5+25\times65\times12{,}5}{35\times145+25\times65}\cong58\,\text{cm}$$

Cálculo do centro de carga do conjunto:

	P_1	P_2	P_{3A}	P_{3B}
x	0	190 + 30 = 220	300 + 15 = 315	300 + 50 = 350
y	195	58	295 – 80 = 215	295 – 15 = 280

$$\Sigma\,\text{Pi} = 1600+3\,000+700\times1+1000\times1 = 6\,300\,\text{kN}$$

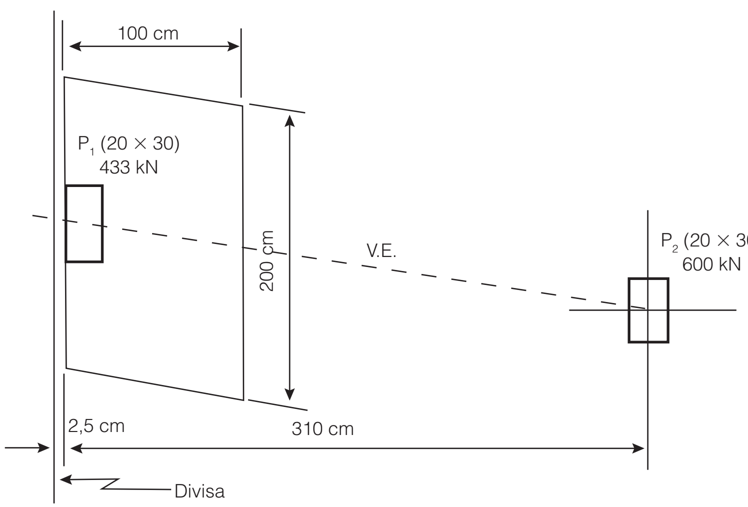
$$x_{C\cdot C\cdot} = \frac{0+3\,000\times220+700\times315+1000\times350}{6\,300}\cong195{,}5\,\text{cm}$$

$$y_{C\cdot C\cdot} = \frac{1600\times195+3\,000\times58+700\times215+1000\times280}{6\,300}\cong145{,}5\,\text{cm}$$

Área da sapata: $A = \dfrac{6\,300}{250} = 25{,}2\,\text{m}^2$

Uma solução poderá ser: sapata quadrada 505 × 505 cm centrada no ponto de coordenadas ($x_{\text{C.C.}}$: $y_{\text{C.C.}}$).

15.º Exercício: Com os dados abaixo, dimensionar a sapata do pilar P_2.



Solução:

Cálculo de R_1

$$R_1 = P_1 + P_1 \frac{e}{d} = 433 + 433\ \frac{40}{260} \cong 500\,\text{kN}$$

Cálculo de tensão no solo

$$\sigma_s = \frac{500}{2\times 1} = 250\,\text{kPa} \quad \text{ou} \quad 0{,}25\ \text{MPa}$$

Cálculo da carga na sapata do P_2

$$R_2 = P_2 - \frac{\Delta P}{2} = 600 - \frac{67}{2} = 566{,}5\,\text{kPA}$$

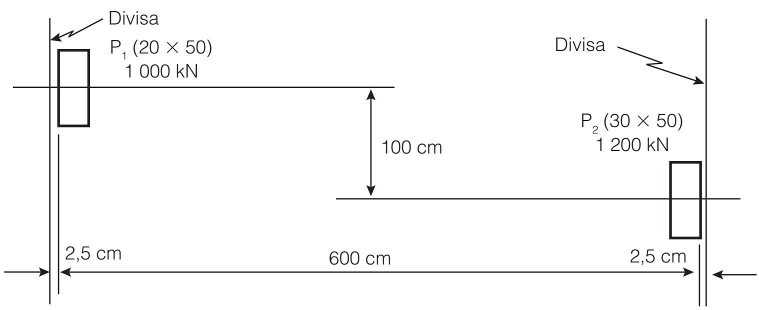
$$\begin{cases} a \times b = \dfrac{566{,}5}{250} = 2{,}27\,\text{m}^2 \\ a - b = 0{,}3 - 0{,}2 = 0{,}1\,\text{m} \end{cases}$$

$$b^2 + 0{,}1b^2 = 2{,}27 \therefore b = \frac{-0{,}1 \pm \sqrt{4\times 2{,}27}}{2} \therefore$$

$b = 1{,}46\,\text{m}$. Seja $b = 145\,\text{cm}$,

logo $a = 160\,\text{cm}$

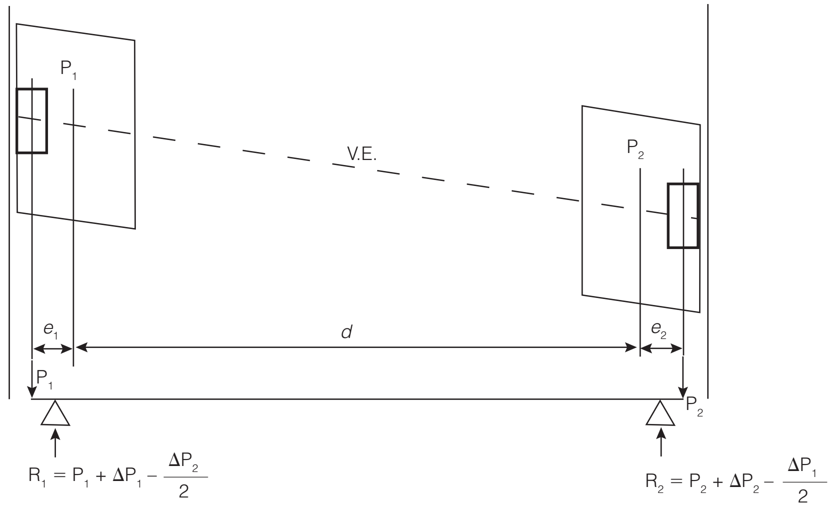
16.º Exercício: Para uma taxa no solo de σ_s = 0,2 MPa, dimensionar as sapatas dos pilares P_1 e P_2.



Este caso pode ser resolvido como sendo a superposição de dois casos de pilares de divisa com viga de equilíbrio. Inicialmente, calcula-se a largura b das sapatas partindo da relação $a = 2b$ e $\Delta P = 0$.

$$2b^2 = \frac{P}{\sigma_s} \therefore \begin{cases} b_1 = \sqrt{\dfrac{P_1}{2\sigma_s}} \\ b_2 = \sqrt{\dfrac{P_2}{2\sigma_s}} \end{cases}$$

Conhecidos b_1 e b_2, calculam-se e_1 e e_2, admitindo que cada viga-alavanca se ligue ao centro da sapata do outro pilar.



Alívio, devido a P_1, no centro da sapata P_2

$$\frac{\Delta P_1}{2} = \frac{1}{2} P_1 \frac{e_1}{d}$$

Alívio, devido a P_2, no centro da sapata P_1

$$\frac{\Delta P_2}{2} = \frac{1}{2} P_2 \frac{e_2}{d}$$

Reações finais para cálculo das sapatas

$$R_1 = P_1 + \Delta P_1 - \frac{\Delta P_2}{2} = P_1 + P_1 \frac{e_1}{d} - \frac{1}{2} P_2 \frac{e_2}{d}$$

$$R_2 = P_2 + \Delta P_2 - \frac{\Delta P_1}{2} = P_2 + P_2 \frac{e_2}{d} - \frac{1}{2} P_1 \frac{e_1}{d}$$

Seguindo o raciocínio exposto, têm-se

$$2b^2 = \frac{P}{\sigma_s} \therefore \begin{cases} b_1 = \sqrt{\dfrac{1000}{2 \times 200}} \cong 1{,}60\,\text{m} \;\text{ ou } 160\,\text{cm} \\ b_2 = \sqrt{\dfrac{1200}{2 \times 200}} \cong 1{,}75\,\text{m} \;\text{ ou } 175\,\text{cm} \end{cases}$$

$$e_1 = \frac{160 - 20}{2} = 70\,\text{cm}$$

$$e_2 = \frac{175-30}{2} = 72{,}5\,\text{cm}$$

$$d = 600-70-72{,}5-10-15 = 432{,}5\,\text{cm}$$

$$\Delta P_1 = 1000\frac{70}{432{,}5} = 160\,\text{kN}$$

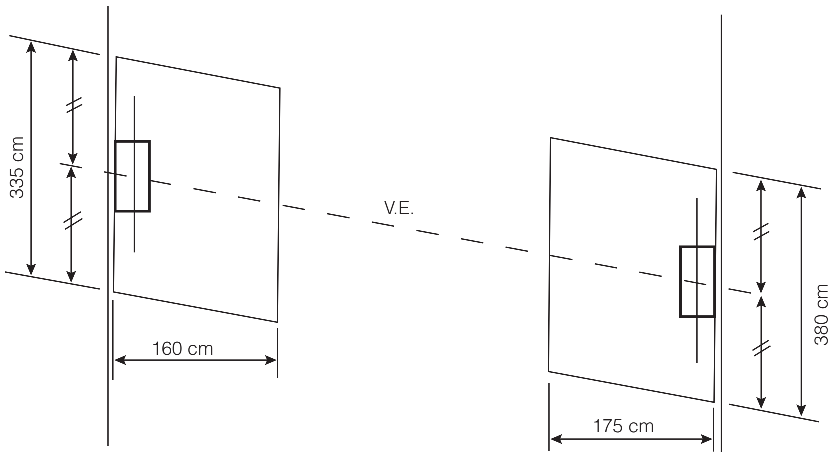
$$\Delta P_2 = 1200\frac{72{,}5}{432{,}5} = 200\,\text{kN}$$

$$R_1 = 1000+160-\frac{200}{2} = 1060\,\text{kN}$$

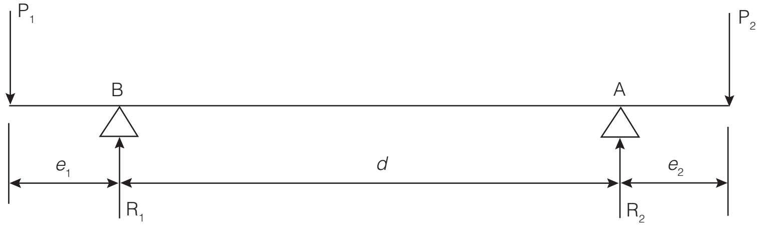
$$R_2 = 1200+200-\frac{160}{2} = 1320\,\text{kN}$$

$$a_1 = \frac{1060}{200\times 1{,}6} \cong 3{,}35\,\text{m}$$

$$a_2 = \frac{1320}{200\times 1{,}75} \cong 3{,}80\,\text{m}$$



Outra maneira, também bastante difundida entre os projetistas de fundações, é calcular as sapatas supondo-se que a viga de equilíbrio seja uma viga isostática, conforme o esquema abaixo.



Inicialmente, arbitram-se os valores "e_1" e "e_2", que podem ser os mesmos do cálculo anterior, ou seja:

$$e_1 = \frac{b_1 - b_0}{2}, \text{ em que } b_1 = \sqrt{\frac{P_1}{2\sigma_s}}$$

$$e_2 = \frac{b_2 - b_0}{2}, \text{ em que } b_2 = \sqrt{\frac{P_2}{2\sigma_s}}$$

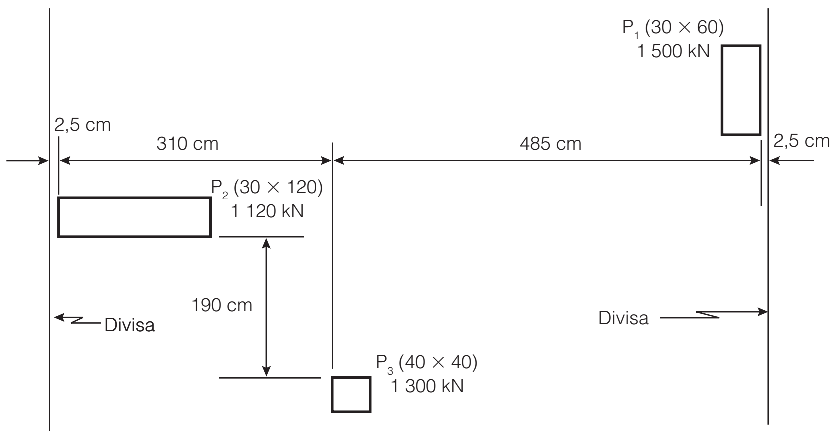
Os valores das reações R_1 e R_2 são calculados fazendo-se o equilíbrio $\Sigma M = 0$ ora em relação ao ponto A, ora em relação ao ponto B, e obtêm-se:

$$R_1 = \frac{P_1(e_1 + d) - P_2\, e_2}{d}$$

$$R_2 = \frac{P_2(e_2 + d) - P_1\, e_1}{d}$$

Com os valores de R_1 e R_2, e conhecidos b_1, b_2 e σ_s, calculam-se os lados a_1 e a_2.

17.º Exercício: Projetar a fundação para os pilares abaixo em sapatas com $\sigma_s = 0{,}3$ MPa.



Solução:

Embora o pilar P_2 esteja com uma das faces junto à divisa, tentar-se-á fazer uma sapata isolada, pois o mesmo tem a face mais comprida perpendicular à divisa.

$$A = \frac{1120}{300} = 3{,}74\,\text{m}^2$$

Como um dos lados já é prefixado (b = 1,20 m, lado do pilar), tem-se

$$a = \frac{3{,}74}{1{,}20} \cong 3{,}15\,\text{m}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{3{,}15}{1{,}20} \cong 2{,}6 > 2{,}5$$

Como $\frac{a}{b} > 2{,}5$, a sapata do pilar P_2 não pode ser isolada.

Entretanto, como o pilar P_1, tanto pode ser alavancado ao pilar P_2 como ao P_3, tentar-se-á alavancá-lo ao pilar P_2 e, desta forma, reduzir a carga do mesmo para ver se é possível reduzir o valor de a/b a uma parcela menor ou no máximo igual a 2,5, e, assim, fazer uma sapata isolada para o P_2.

P_1:

$$b = \sqrt{\frac{P}{2\sigma_s}} \therefore b \cong 1{,}60\,\text{m}$$

$$e = \frac{160 - 30}{2} = 65\,\text{cm}$$

$$d = 7{,}95 - 0{,}65 - 0{,}60 - 0{,}15 = 6{,}55\,\text{m}$$

$$\Delta P = 1500 \times \frac{65}{655} \cong 149\,\text{kN}$$

$$\frac{\Delta P}{2} = 74{,}5\,\text{kN} \therefore R_2 = 1120 - 74{,}5 = 1045{,}5\,\text{kN}$$

$$A = \frac{1045{,}5}{300} = 3{,}49\,\text{m}^2 \therefore a = \frac{3{,}49}{1{,}20} \cong 2{,}90\,\text{m}$$

$$\frac{a}{b} = \frac{2{,}90}{1{,}20} \cong 2{,}42 < 2{,}5 \text{ OK!}$$

Assim sendo, a solução mais econômica é obtida alavancando-se o pilar P_1 ao P_2 e projetando uma sapata isolada para o pilar P_3.

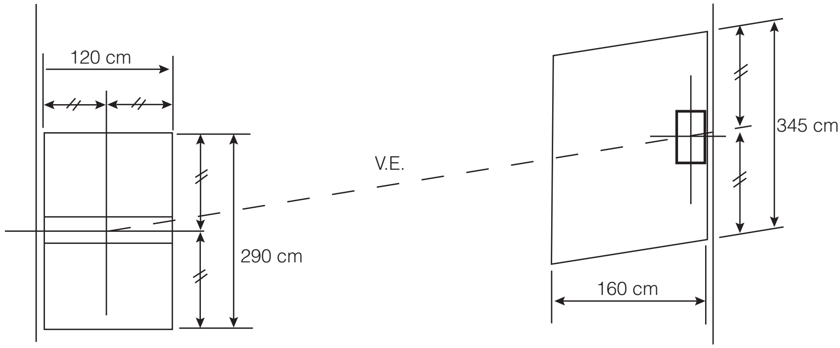
Pilar P_1:

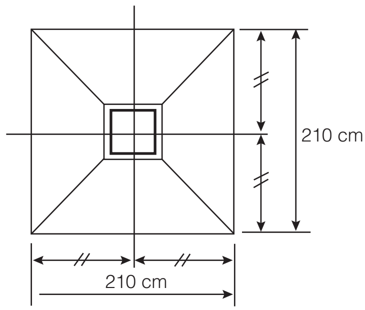
$$\text{R} = 1500 + 149 = 1649\,\text{t}$$

$$\text{A} = \frac{1649}{300} \cong 5{,}5\,\text{m}^2 \therefore a = \frac{5{,}5}{1{,}6} \cong 3{,}45\,\text{m}$$

Pilar P_3:

$$\text{A} = \frac{1300}{300} \cong 4{,}35\,\text{m}^2 \therefore a = \sqrt{4{,}35} \cong 2{,}10\,\text{m}$$





18.º Exercício: Calcular as dimensões de uma sapata para suportar um pilar de 20 × 150 cm com as seguintes cargas:

$$N = 1200\,\text{kN}$$
$$M = \pm 200\,\text{kN} \cdot \text{m}$$

A tensão admissível do solo é $\sigma_s = 0{,}3$ MPa

Solução:

1.ª Tentativa:

$$\left.\begin{array}{l} b = 1{,}00\,\text{m} \\ a = 3{,}50\,\text{m} \end{array}\right. \therefore A = 3{,}5\,\text{m}^2$$

$$e = \frac{200}{1200} = 0{,}17\,\text{m} < \frac{a}{6}$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{1200}{3{,}5}\left(1 + \frac{6 \times 0{,}17}{3{,}5}\right) \therefore$$

$$\therefore \sigma_{\text{máx}} \cong 443\,\text{kN}/\text{m}^2 > 1{,}3\sigma_s$$

2.ª Tentativa:

$$\left.\begin{array}{l} b = 1{,}00\,\text{m} \\ a = 4{,}00\,\text{m} \end{array}\right. \therefore \text{ A} = 4{,}0\,\text{m}^2$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{1200}{4}\left(1 + \frac{6 \times 0{,}17}{4}\right) \therefore$$

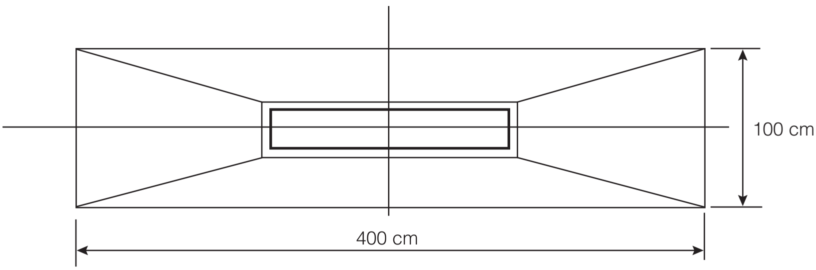
$$\therefore \sigma_{\text{máx}} \cong 377\,\text{kN / m}^2 < 1{,}3\sigma_s$$

$$\sigma_{\text{mín}} = \frac{1200}{4}\left(1 - \frac{6 \times 0{,}17}{4}\right)$$

$$\cong 224\,\text{kPa}$$

$$\frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}}}{2} = \frac{377 + 224}{2}$$

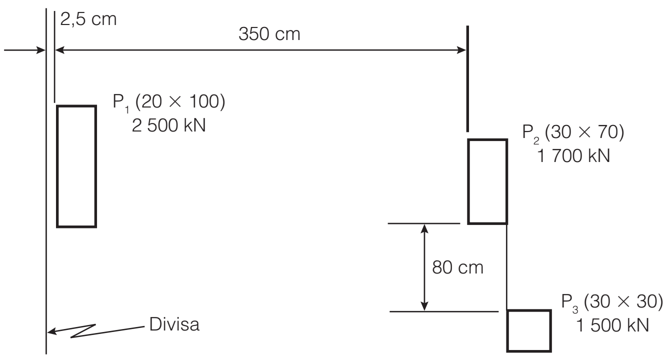
$$\cong 300\,\text{kPa} \quad \cong \sigma_s$$



1.3 EXERCÍCIOS PROPOSTOS

Projetar sapatas para os pilares indicados abaixo, usando taxa no solo de 0,3 MPa.

1.º Exercício

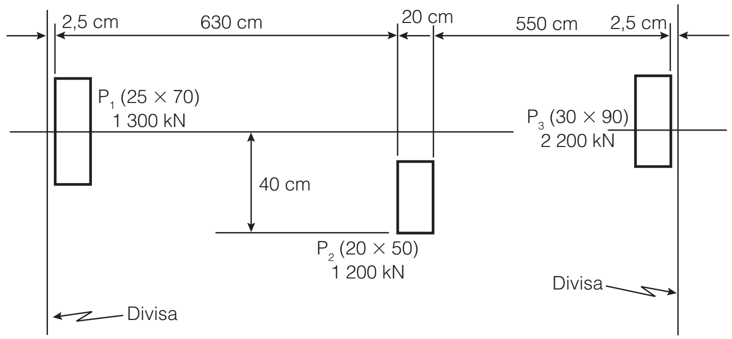


Resposta: P$_1$: a = 220 cm

b = 520 cm

P_2 e P_3: Viga de fundação com área A = 9,1 m^2 e coordenadas do *C.C.* x = 30 cm e y = 84 cm, adotando-se os eixos x e y, respectivamente, na face inferior do P_3 e na face esquerda do P_2.

2.º Exercício



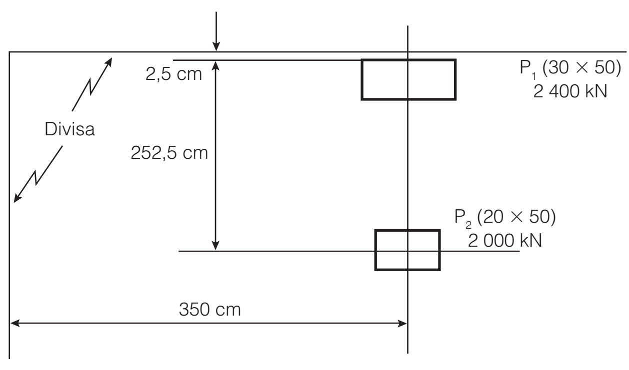
Resposta: P_1 e P_3 alavancados ao P_2. A sapata do P_2 será dimensionada para uma carga $1200 - \frac{\Delta P_1}{2} - \frac{\Delta P_2}{2}$

P_1: a = 320 cm b = 150 cm

P_2: a = 195 cm b = 165 cm

P_3: a = 445 cm b = 195 cm

3.º Exercício



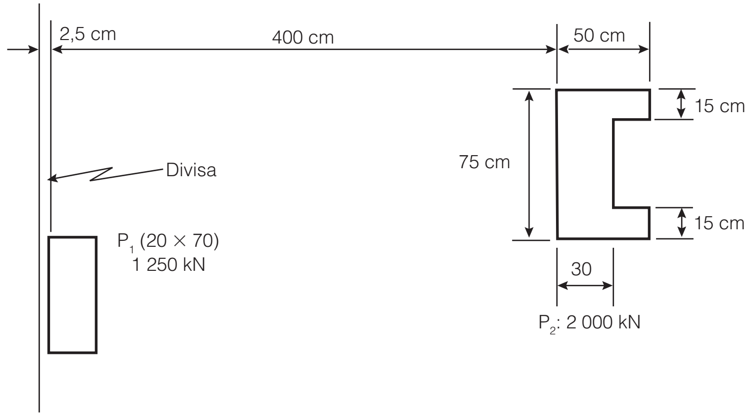
Resposta: Adotar o mesmo roteiro de cálculo do 9.º Exercício, impondo-se valores para $c < 3y$ até se obter $a \leqslant 2 \times 347{,}5$ cm (distância do P_1 à divisa, menos 2,5 cm).

a = 690 cm

b = 400 cm

c = 270 cm

4.º Exercício

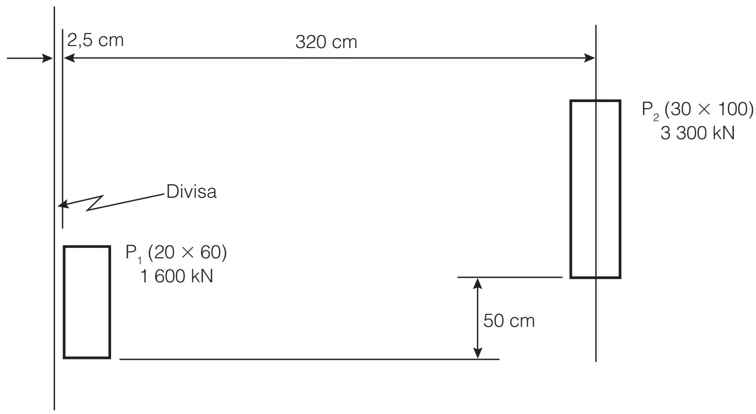


Resposta: P_1: $a = 340$ cm
$b = 145$ cm

P_2: $a = 260$ cm
$b = 245$ cm

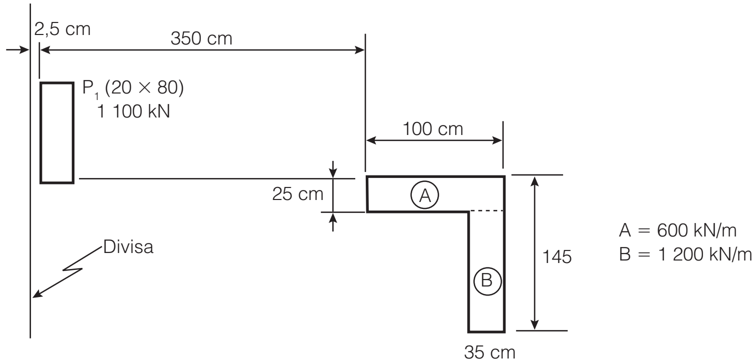
O centro da sapata tem coordenadas $x = 20$ cm e $y = 37$ cm com os eixos x e y, respectivamente, na face inferior e esquerda do pilar.

5.º Exercício



Resposta: Sapata associada $a = 440$ cm
$b = 365$ cm

6.º Exercício

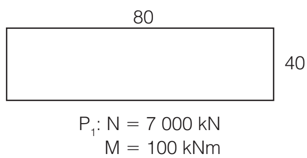


Resposta: P_1: $a = 315$ cm
$b = 135$ cm

P_2: $a = 270$ cm
$b = 250$ cm

O centro da sapata tem coordenadas $x = 73$ cm e $y = 81$ cm com os eixos x e y, respectivamente, na face inferior e esquerda do pilar.

7.º Exercício



Resposta: Uma solução possível é: $a = 670$ cm
$b = 350$ cm