

Prof. Marco Pádua

SAPATAS ARMADAS Fundações rasas – Solos arenosos

Se a superestrutura do edifício for definida por um conjunto de elementos estruturais formados por lajes, vigas e pilares caracterizando uma concentração de cargas, as sapatas de concreto armado são indicadas como elementos de fundação capazes de anular esforços e dar estabilidade à construção.

() Ao contrário das brocas, as sapatas são dimensionadas e aplicadas em larga escala, possuindo diversos formatos são aplicadas também em pequenas obras.

CARACTERÍSTICAS:

- () As dimensões das sapatas dependem da carga nelas aplicadas e da resistência do solo à compressão;
- Contem armadura interna;
- Transferem para o solo a carga dos pilares;
- Podem ser isoladas ou interligadas por vigas de rigidez;
- () A montagem das formas de madeira deverá ser feita em escavação rasa, ligeiramente maior para facilitar o trabalho;
- As formas devem ser reforçadas para não abrirem na hora da concretagem;
- Drenar a água se houver;
- Sobre a terra compactada faz-se um lastro de concreto magro ou brita;
- () Coloca-se a armadura sobre distanciadores pré-moldados para garantir o seu recobrimento de concreto;
- () A face inclinada adotada em sapata de grande dimensão visa a economia de materiais;
- São usadas em prédios e edifícios;
- () São indicadas para solos arenosos.

MODULARIDADE – O projeto de fundações é definido a partir da carga total do edifício distribuído pelo número de sapatas previstas, lembrando que elas servirão de base para os pilares. Para se ter uma distribuição uniforme de cargas, a melhor forma será adotar uma estrutura modular, ou seja, manter um espaçamento igual entre pilares. Esta solução é importante sob vários aspectos, facilitando não só o cálculo estrutural, como também a execução da obra.

O conceito de modulo é definido quando temos um conjunto de elementos estruturais composto por vigas e pilares espaçados igualmente. Nesse caso não importa a área construída ou coberta pois, o cálculo de cargas será considerado em apenas um modulo. Semelhante a um cubo, cada modulo terá quatro apoios ou no caso, sapatas.

Nas grandes áreas construídas, seja ela pública, comercial ou industrial, a estrutura modular é preferida por facilitar e reduzir custos na sua execução. É fácil imaginar, considerando que as cargas surgem do cálculo de áreas e volumes, que as dimensões sendo iguais, darão resultados também iguais. Sendo assim, os valores obtidos por um modulo poderão ser adotados para o restante, sejam quantos forem.

Determinando o peso final sobre a sapata, o qual definirá suas dimensões, será preciso apenas analisar a estrutura na sua totalidade para posicioná-las conforme as necessidades. Partindo do princípio de que teremos um conjunto de “cubos” interligados, as sapatas receberão mais de uma parcela de carga, dependendo da sua posição. Ao fazer essa verificação concluímos que haverá apenas três modelos de sapatas, não importando a área construída ou coberta, desde que ela seja regular, formando retângulos ou quadrados.

Aquelas situadas no vértice da estrutura receberão uma parcela ($\frac{1}{4}$) de carga e as intermediárias, mas, periféricas, receberão duas parcelas ($\frac{1}{2}$) de cargas. Por outro lado, as sapatas situadas na parte interna da estrutura, suportarão $\frac{1}{4}$ da carga de cada módulo, ou seja, a carga total. Ora, se a dimensão da sapata é proporcional à carga nela depositada é natural que quanto maior ela for, maior será a área de contato com o solo para descarregar o peso dos pilares. De qualquer forma a estrutura pode ter dezenas de sapatas, mas, apenas três formatos diferentes.

Se no cálculo estrutural a modularidade contribui, na execução as facilidades estão na mesma grandeza. Como nas sapatas, as vigas e pilares serão dimensionados a partir das cargas incidentes nessas peças. A força peso exercida pelos materiais geram esforços de Momento Fletor e Força Cortante. As peças estruturais são dimensionadas para anular esses esforços. No caso das vigas a distância entre os apoios, que são os pilares, torna-se um fator preponderante. Quanto maior o vão, maior será a altura da viga.

Numa estrutura modular os vãos entre os pilares serão iguais. Sendo assim, podemos calcular uma viga somente e adotar os valores para o restante, pois serão todas iguais. Ora, a execução das formas e armaduras obedecerão ao mesmo critério, agilizando e facilitando a montagem e o andamento da obra.

O corte das madeiras e dos ferros na montagem da superestrutura obedecerá a um projeto específico com suas devidas dimensões. A malha estrutural sendo modular facilitará também a elaboração desse projeto pois, terão menos peças a serem detalhadas.

Quando o projeto não é modular as dificuldades são maiores, sendo que cada parcela da estrutura seja tratada de forma independente. Não só o cálculo, mas também a execução será mais trabalhosa. Contratempos podem surgir e dificultar a realização da obra devido ao grande número de peças a serem montadas.

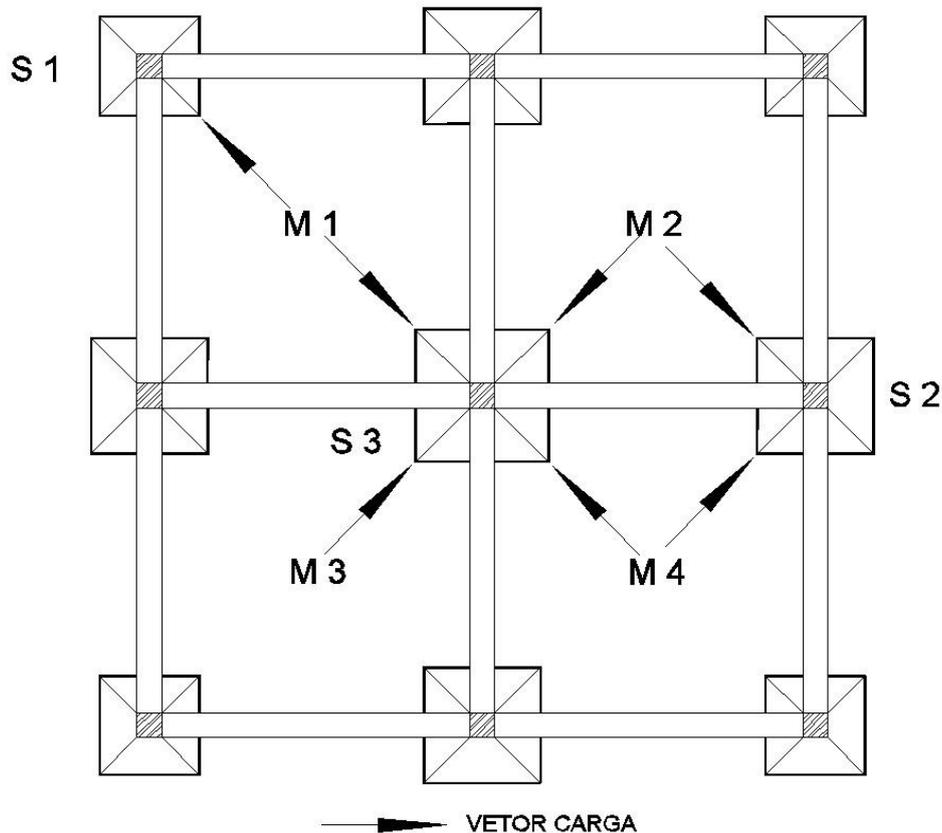
No caso da execução das sapatas, estas também necessitarão de formas e armaduras, segundo um projeto específico.

Outra vantagem do sistema modular está no reaproveitamento das formas quantas vezes forem necessárias pois, serão semelhantes. O custo das madeiras numa obra abrange uma parcela significativa e sempre são descartadas no final, resultando em desperdício. Quanto menos utilizá-las, melhor.

Entretanto, como ocorre em alguns casos, existe a possibilidade de adotar-se uma mesma forma para toda a fundação, quando o custo da madeira for mais elevado do que o concreto.

Nesse caso prevalecerá a de maior dimensão. Uma compensação poderá ser feita usando um volume menor de ferros na armadura daquelas sapatas menos solicitadas. Este recurso também é usado na superestrutura dos edifícios quando se adota uma mesma forma para os pilares de alto a baixo. Sabemos que os pilares dos andares superiores resistem menos carga do que os inferiores, conseqüentemente, não precisariam da mesma seção. Isto permite o uso das mesmas formas para a execução de todos os andares. Dessa forma, o recurso da diminuição da ferragem é adotado.

A seguir temos a representação de uma estrutura de fundação contendo quatro módulos. O espaçamento entre os pilares sendo iguais é fácil perceber a distribuição de cargas nas respectivas sapatas. Apenas três modelos contemplarão toda a fundação.



IMPORTANTE: () A carga final sobre a sapata deverá ser calculada a partir da análise do projeto na sua totalidade, uma vez que se compõem de um conjunto e cada módulo contribui com sua parcela de carga correspondente.

Verificando no desenho acima, percebemos 3 situações distintas quanto à distribuição das cargas sobre as sapatas. A malha estrutural compõe-se de apenas quatro módulos, mas, é possível identificar as três condições existentes para o dimensionamento das sapatas. Evidentemente deduzimos que elas terão dimensões diferentes.

Vamos chamar de "Vc" (Vetor carga) a parcela do peso transferido pelo cômodo para a sapata através dos pilares, lembrando que seria o resultado da divisão por quatro (4 sapatas).

- Na situação identificada como S1 a sapata suportará apenas uma parcela de carga, ou seja: $S1 = Vc$ (1/4 do peso)

- Na situação identificada como S2 a sapata suportará duas parcelas de carga, ou seja: $S2 = 2Vc$ (metade do peso)

- Na situação identificada como S3 a sapata suportará quatro parcelas de carga, ou seja: $S3 = 4Vc$ (peso total)

PEQUENO PORTE – No projeto de uma residência é mais difícil optar pela modularidade. Senão vejamos. Considerando que há uma variação na dimensão dos cômodos, ou seja, compartimentos como a sala, cozinha e banheiro não tem a mesma área de uso. Normalmente a sala é o maior cômodo da casa e o banheiro, o menor. A cozinha e os dormitórios são os intermediários. É natural que esses compartimentos sejam projetados segundo suas funções. Aqueles cômodos destinados a receber visitas, como a sala, logicamente terá maior área. Os dormitórios, mesmo que sirva para uma pessoa apenas, deve ser proporcional às peças da mobília.

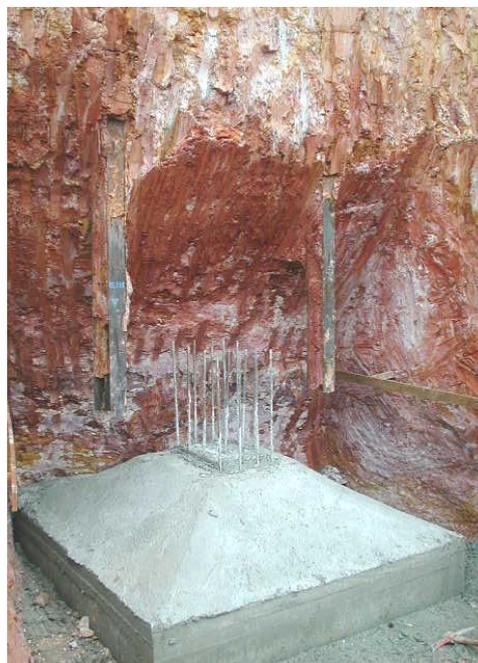
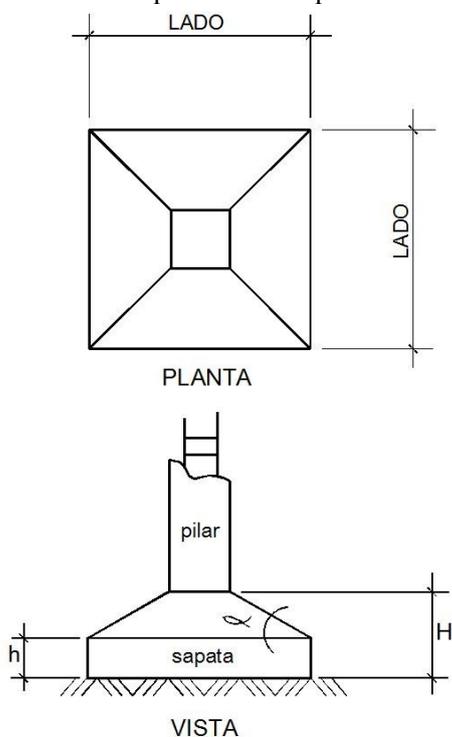
Pela regra, considerando o posicionamento dos pilares, os encontros de paredes e os cantos são preferenciais. Esses pilares, junto aos vigamentos comporão a superestrutura da edificação.

Finalizado o projeto arquitetônico, o próximo passo será detalhar a execução da obra. Numa primeira atitude temos de posicionar os pilares nos cantos e encontros de paredes. Em seguida devemos identificar aqueles pontos onde há proximidade entre pilares, muito comum nos banheiros, por serem menores. () A prática indica que a distância média ideal entre pilares deve ser de três a quatro metros, mantendo os padrões de segurança e economia. Dessa forma, aqueles elementos que estiverem muito próximo deverão ser eliminados. Assim, é possível obter ao final, uma malha estrutural muito próxima da modular e desfrutar de sua praticidade na execução da obra.

() Para simplificar o cálculo, havendo variação dos cômodos, podemos tomar o maior deles para o cálculo de cargas e adotar o resultado para o restante, apesar de que estarão hiperdimensionados para os compartimentos menores.

Podemos também deslocar alguns pilares de maneira a obter um distanciamento econômico. Para isso é preciso ter cuidado em não os posicionar nas aberturas de portas e janelas.

Para “amarrar” as partes entre si, ou seja, as paredes, podemos proceder de outra forma. No assentamento dos blocos ou tijolos, adicionamos um pedaço de ferro dobrado em forma de “L”, geralmente de 10 mm, junto com a argamassa. A cada 60 cm na vertical posicionamos uma barra até o respaldo da parede. Esta solução une as partes plenamente e não geram fissuras no revestimento, como acontece quando há um pilar entre elas, devido à diferença de materiais envolvidos.



DIMENSIONAMENTO – Em se tratando de pequenas construções, podemos aproveitar as vantagens das sapatas, ou seja, pouca profundidade e fácil execução, dimensionando sua área de apoio com o solo, considerando:

- O peso sobre elas depositado, bem como a resistência do solo à compressão.
- () A parcela de carga sobre a sapata é composta pelo peso dos materiais utilizados na edificação conhecido como peso específico.
- Para simplificar o cálculo, podemos tomar o maior cômodo como referência e adotar o resultado para toda a fundação,
- () Para saber os valores das cargas calculamos áreas e volumes referentes à cobertura, aos elementos estruturais, vedações e multiplicamos pelo peso específico respectivo a cada material.

$$\text{Peso mat.} = \text{Área ou Volume} \times \text{Peso esp.}$$

- Considerando uma residência qualquer, com estrutura de pilares e vigas de concreto armado, alvenaria de blocos de concreto, laje pré-fabricada e cobertura de telhas de argila, teriam como peso específico os seguintes valores:
 - a) Peso do telhado = 0,053 tons./m²
 - b) Peso da laje pré-fabricada = 0,2 tons./m² (revestida)
 - c) Peso da ECA (vigas e pilares) = 2,5 tons./m³
 - d) Peso da parede = 1,0 tons./m³
- () Com relação ao peso específico das paredes os valores são estimativos e abrangem eletrodutos, esquadrias e revestimentos.
- Somamos os valores para obter o peso total do modulo.
- O total de cargas estará apoiado em 4 sapatas, portanto a divisão por 4 trará o valor do vetor carga (Vc) sobre cada uma delas.

$$\begin{aligned} \text{Peso total} &= \text{Telhado} + \text{Laje} + \text{ECA} + \text{Paredes} \\ \text{Peso sobre a sapata} &= \frac{1}{4} \text{ do Peso total (Vc)} \end{aligned}$$

- Então aplicamos a fórmula abaixo considerando o número de Vc correspondente:

$$S = \frac{1,05 Vc}{p}$$

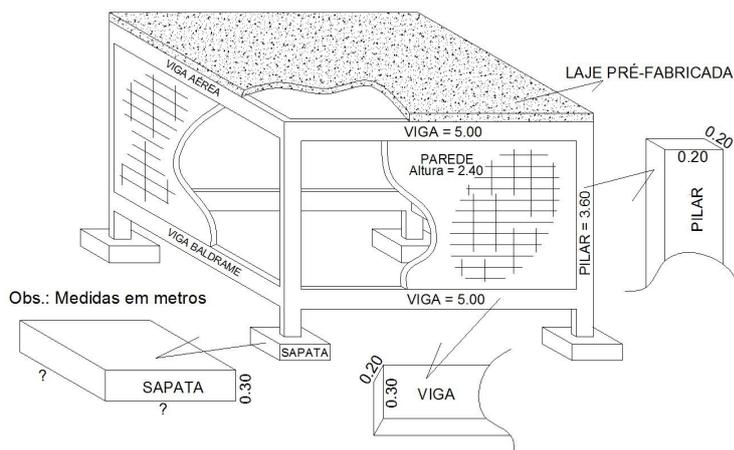
Onde: S = área da sapata
 Vc = carga sobre a sapata (Kg)
 p = resistência do solo à compressão
 1,05 = peso estimado da sapata (5%)

- () Sabendo a área da sapata e desejando-a quadrangular, extraímos a raiz quadrada para obter a dimensão do lado da mesma. () Havendo necessidade de executá-la em formato retangular, dividimos sua área por um valor previamente fixado.
- () Quanto a resistência do solo a compressão (p), se não houver ensaio em laboratório, adotamos o valor de 2 Kg/cm² (areia fina).
- () A altura da sapata, em pequenas obras, resulta em 30 cm devido ao uso de tábuas para as formas.

EXERCÍCIO RESOLVIDO:

Considerando um Projeto modular de 5.00 X 5.00 m, medidos internamente, ou seja, de parede a parede; composto por vigas aéreas e baldrame de 20 X 30 cm e pilares de 20 X 20 cm; alvenaria de blocos de concreto; laje pré-fabricada e cobertura de telhas de barro. Vamos calcular a área das sapatas S1, S2 e S3 considerando-as de base quadrada, segundo as dimensões abaixo.

Nota: Os cálculos serão efetuados a partir de um módulo apenas, independente do total deles ou da área construída. Sendo assim teremos apenas 3 modelos de sapatas.



Resolução:

Ao contrário da execução o cálculo estrutural é feito de cima para baixo, ou seja, pelo peso da cobertura. Consideramos as dimensões dos elementos discriminados em um Projeto específico e determinamos seu peso total.

1º Passo: Considerando o peso específico dos materiais, calculamos o peso total separadamente.

Peso = Área/Volume X Peso específico

a) Telhado – 5.20×5.20 (vão + parede) = $27.04 \text{ m}^2 \times 0.053 \text{ tons./m}^2 = 1.43 \text{ tons.}$

b) Laje – 5.20×5.20 (vão + parede) = $27.04 \text{ m}^2 \times 0.2 \text{ tons./m}^2 = 5.40 \text{ tons.}$

c) Estrutura de concreto armado

- Pilares – $(0.2 \times 0.2 \times 3.6) \times 4 = 0.57 \text{ m}^3$

- Vigas – $(0.2 \times 0.3 \times 5.0) \times 8$ (baldrame + aérea) = 2.4 m^3

- Total = $2.97 \text{ m}^3 \times 2.5 \text{ tons./m}^3 = 7.42 \text{ tons.}$

d) Alvenaria – $(2.4 \times 5.0 \times 0.2) \times 4 = 9.6 \text{ m}^3 \times 1 \text{ tons./m}^3 = 9.6 \text{ tons.}$

2º Passo: Cálculo do vetor carga.

Peso total / 4 (sapatas)

$P_{\text{total}} = 1.43 + 5.4 + 7.42 + 9.6 = 23.85 \text{ tons.}$

Como o valor da resistência do solo à compressão $p = 2 \text{ Kg/cm}^2$ será necessário transformar o peso total de Tons. para Kg.

Peso total = $23.85 \text{ tons.} \times 1000 = 23\ 850 \text{ Kg}$

Vetor carga = $23\ 850 / 4 = 5\ 960 \text{ Kg}$

3º Passo: Calculo da área das sapatas e dimensão das formas.

$S = (1.05 \times V_c) / p$

a) $S_1 = V_c = 5\ 960 \text{ Kg}$ – $S_1 = 1.05 \times 5\ 960 / 2 = 3\ 129 \text{ cm}^2$ – extraindo a raiz quadrada teremos aprox. 56 cm (lado da forma).

b) $S_2 = 2V_c = 11\ 920 \text{ Kg}$ – $S_2 = 1.05 \times 11\ 920 / 2 = 6\ 258 \text{ cm}^2$ – extraindo a raiz quadrada teremos aprox. 80 cm (lado da forma).

c) $S_3 = 4V_c = 23\ 850 \text{ Kg}$ – $S_3 = 1.05 \times 23\ 850 / 2 = 12\ 521.25 \text{ cm}^2$ – extraindo a raiz quadrada teremos aprox. 112 cm (lado da forma).

NOME: _____ TURMA: _____

QUESTIONARIO – RESPONDER:

1) Que valor adotamos para a resistência do solo à compressão? R:

2) Quais fatores determinam as dimensões das sapatas? R:

3) Como fica a altura da sapata executada em edificações de pequeno porte? R:

4) Conhecendo a área necessária da sapata como dimensionar as formas? R:

5) Qual a finalidade da face inclinada? R:

6) Como chegamos aos valores de carga? R:

7) O que garante o recobrimento das armaduras? R:

8) Em que consiste a carga sobre as sapatas? R:

9) Como evitar o hiper-dimensionamento no cálculo simplificado em Projetos residenciais? R:

10) Como as brocas, as sapatas também são adotadas? R:

11) Como podemos simplificar o cálculo de cargas sobre as sapatas? R:

12) Obtendo a área da sapata como proceder para executá-la no formato retangular? R:

13) Por ser um conjunto de elementos, como fica o peso específico das paredes? R:

