

Dimensionamento de Blocos de Coroamento sobre Estruturas de Fundações Utilizando Microsoft Excel como Interface

Míriam Eliane de Lima Silva

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, miriam.eliane@hotmail.com

Crysthian Purcino Bernardes Azevedo

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, purcino@etg.ufmg.br

RESUMO: Este trabalho visa a determinação dos métodos de cálculo para a elaboração de uma planilha eletrônica para o dimensionamento e detalhamento dos blocos, de coroamento, compreendendo os principais modelos de análise e suas variáveis. Para possibilitar a elaboração da planilha de dimensionamento de blocos foi realizado um estudo na NBR 6122 (2010) e na NBR 6118 (2014), que sugere a utilização de modelos de biela e tirante, e em livros e manuais de diversos autores. Após este estudo e as definições de abrangência da planilha para os blocos sobre fundações profundas, foram selecionados os modelos Método das Bielas e Tirantes, e, para efeito de cálculo foram considerados apenas os blocos rígidos de concreto armado. A planilha foi desenvolvida e otimizada, gerando o detalhamento de blocos para diferentes combinações de números de estacas, o roteiro de cálculo foi validado a partir dos ensaios realizados por Blévet e Frémy (1967).

PALAVRAS-CHAVE: concreto armado, fundação, blocos sobre estacas, planilhas.

1 INTRODUÇÃO

Fundação é o elemento que suporta as cargas a ele impostas por meio de elementos de transmissão, tais como estacas, e transmite-las ao solo de modo a evitar possíveis movimentos da estrutura devido à movimentação de solo. Considera-se a fundação a parte mais importante da construção em todos os tipos de obras.

As fundações são divididas em fundações rasas e profundas. Dentro das fundações profundas existem as estacas e os tubulões, eles têm a finalidade de transmitir as cargas de uma edificação para uma camada resistente do solo. Para transmitir tais esforços é necessário um elemento de ligação que é chamado de blocos de coroamento, cuja função principal é garantir que as partes interajam entre si como um único sistema estrutural.

As ligações são um dos pontos de maior relevância nas estruturas de concreto, por se tratar de regiões onde há concentração de

tensões e por ser um local delicado em relação à montagem da estrutura e o dimensionamento que visa a segurança de toda a obra. Daí a importância do bloco de coroamento, que faz a interface da estrutura com o elemento de fundação.

2 ROTEIRO DE CALCULO

Blocos de coroamento são elementos estruturais de concreto armado que cumprem a função de transmitir a carga a partir de um pilar ou de uma parede para um tubulão ou um grupo de estacas.

Os blocos são uma interface entre a superestrutura e da subestrutura. As fundações profundas, tubulões e estacas, são, rotineiramente, utilizados em obras de engenharia quando as camadas superficiais do solo não apresentam resistência suficiente.

De acordo com o item 22.7.1 da NBR 6118 (ABNT,2014), blocos são estruturas de volume usadas para transmitir às estacas as cargas de

fundação, podendo ser considerados rígidos ou flexíveis. Neste trabalho serão considerados apenas os blocos definidos como rígidos (Figura 1). Conforme o item 22.7.2 da NBR6118 (ABNT, 2014), o bloco deve possuir:

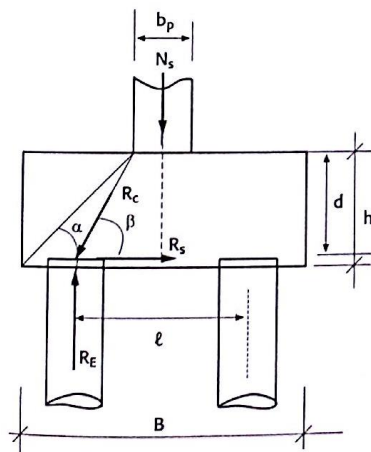


Figura 1. Bloco Rígido.

2.1 Métodos das Bielas e Tirantes

O método das bielas e tirantes é um método que usa uma treliça espacial para representar o campo de tensões no concreto armado no seu estado limite último. O princípio do método consiste em as bielas serem de concreto e carregarem um esforço de compressão. Os tirantes, normalmente compostos por barras de aço carregam as tensões de tração, esses elementos são conectados por nós.

O modelo de treliça utilizado no método foi usado em 1899 por Reter, entretanto foi apenas na década de 1980 que modelos de treliça foram sistematizados pelas obras de Marti (1985) e de Schlaich et al. (1987). Nesses dois trabalhos, o método de modelos de treliças regulares – anteriormente utilizados sobretudo para vigas, bielas e tirantes – foi estendido a quase todos os tipos de estruturas de concreto (Figura 2).

Para a construção de um modelo de bielas e tirantes, deve-se observar a escolha da inclinação das bielas. Dois tipos de problemas podem surgir: por um lado, com um ângulo grande podem surgir esforços de tração perpendiculares à biela, sendo necessária a utilização de armadura transversal para absorver essa tração. E os nós correspondem aos pontos

de interseção entre os eixos das bielas, dos tirantes e das forças concentradas, onde as forças de todos os membros concordantes são geralmente calculadas usando condições de equilíbrio. As forças das bielas e tirantes conectados ao nó deve equilibrar-se mutuamente.

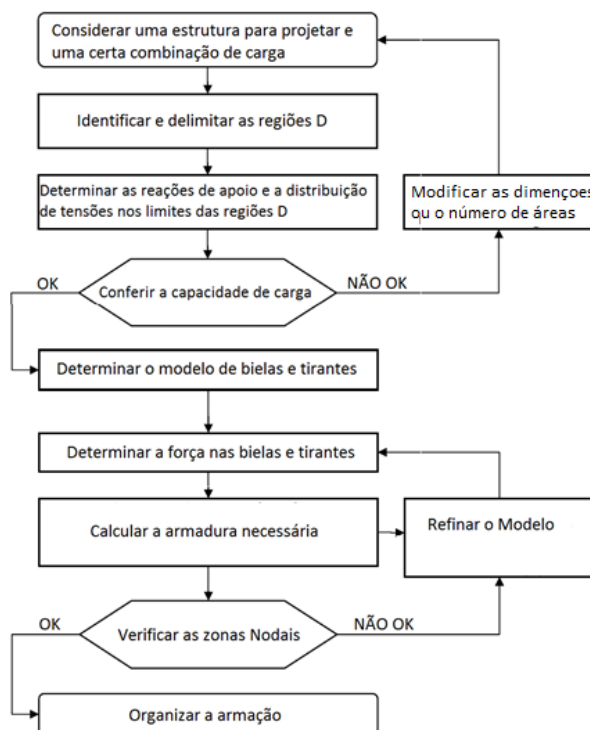


Figura 2. Fluxograma detalhando o procedimento de projeto.

2.2 Recomendações para o detalhamento

Blocos rígidos são aqueles em que a distância entre a face do pilar e o eixo da estaca mais afastada l_c é menor que uma vez e meia a altura, h , do bloco. A altura do bloco pode variar, decrescendo linearmente da face do pilar até a extremidade do bloco, desde que as condições de resistência à força cortante sejam verificadas em todas as seções e que sejam respeitadas as medidas para o alojamento das barras nas extremidades.

Fusco(1995) recomenda que as estacas precisam ser embutidas no bloco. Ele recomenda, também, que a distância da face externa da estaca à borda do bloco precisa ser maior ou igual ao diâmetro da própria estaca.

Fusco(1995) recomenda que as estacas

precisam ser embutidas no bloco. Ele recomenda, também, que a distância da face externa da estaca à borda do bloco precisa ser maior ou igual ao diâmetro da própria estaca.

Além dessa recomendação para a distância mínima entre a face externa da estaca e a extremidade do bloco, essa distância deve ter o tamanho necessário para ancorar as barras das armaduras principais de tração e fornecer o adequado cobrimento.

A distância entre as estacas e a borda do bloco mais próxima deve ser de $(1,0 \text{ a } 1,5)d_e$ ou ainda $d_e + 15\text{cm}$, a maior delas. A largura do bloco com estacas alinhadas deve ser, no mínimo, igual a $2a$

O comprimento de ancoragem necessário pode ser calculado, segundo o item 9.4.2.5 da NBR6118(ABNT, 2014), por:

$$\ell_{nec} = \alpha \ell \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} \geq \ell_{min} \quad (1)$$

Em que :

$\alpha = 1,0$ para barras sem gancho:

$\alpha = 0,7$ para barras tracionadas com gancho, ou houver barras transversais soldadas

$$\ell = \frac{\phi f_{yd}}{4 f_{bd}} \quad (2)$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

Em que $\eta_1 = 2,25$; $\eta_2 = 1,0$ $\eta_3 = 1,0$

$$f_{ctd} = \frac{0,7 f_{ct,m}}{\gamma_c} = 0,15 f_{ck}^{2/3} \quad (3)$$

Quando a força do pilar é excêntrica, as reações das estacas não serão iguais. Para determinar a reação em cada estaca, pode-se admitir que elas funcionem como birrotuladas, o que consiste em desprezar o momento fletor em virtude do engastamento das estacas no bloco e no terreno. Nesse caso, apenas as forças normais nas estacas são determinantes para o dimensionamento do bloco. No caso de estaqueamentos isostáticos, a força em cada estaca é obtida pela simples aplicação das

equações de equilíbrio. Se o problema for hiperestático, admite-se que o bloco é infinitamente rígido e aplica-se a equação de compatibilidade de deslocamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados os blocos sobre duas, três, quatro e seis estacas, bem como os parâmetros relacionados à geometria dos blocos, dos pilares e das estacas correspondentes.

Para análise dos resultados foi utilizado os resultados dos ensaios realizados por Blévtot e Frémy (1967). Eles realizaram ensaios em blocos sobre duas, três e quatro estacas, totalizando mais de cem modelos ensaiados. Os principais objetivos foram: determinar os coeficientes de segurança que conduziam à aplicação adequada do método das bielas, analisar as diversas disposições de armaduras e verificar os modos de ruína dos blocos.

Nesses ensaios Blévtot e Frémy (1967) observaram que a ruína ocorreu por ruptura das bielas de concreto junto às estacas, e/ou aos pilares. Nos modelos com barras nervuradas sem gancho, houve escorregamento das barras, o que não ocorreu no modelo com barras lisas com ganchos. Os pesquisadores concluíram que as bielas comprimidas têm que ser dimensionadas considerando o ângulo de inclinação $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$.

O bloco com armadura uniformemente distribuída apresentou força última 50% menor que a prevista. Com relação às fissuras, os blocos armados segundo os lados com laços apresentaram melhor eficiência em relação as faces laterais, porém foram menos eficientes quanto a fissuração na face inferior do bloco.

Nos blocos com bielas inclinadas entre 40° e 50° as forças últimas obtidas nos ensaios foram maiores que as previstas pelo método de bielas e tirantes, e aconteceram após o escoamento da armadura. Para inclinações fora desse intervalo, as forças últimas foram menores.

Apesar de Blévtot e Frémy (1967) terem realizado ensaios experimentais de blocos sobre duas, três e quatro estacas, os pesquisadores fizeram recomendações para o dimensionamento de blocos sobre cinco e seis

estacas. Esse método considera pilares com força normal centrada e todas as estacas devem estar igualmente afastadas do centro do pilar. Caso haja força excêntrica, deve-se considerar que todas as estacas estão submetidas à maior reação. O método considera apenas pilares com seção quadrada, sendo que, para os pilares com seção retangular pouco alongada, pode-se considerar uma seção quadrada de área equivalente. O procedimento de verificação dos blocos consiste no cálculo das forças considerando o equilíbrio da treliça.

Em seguida, calcula-se a área necessária de armadura, e faz-se a verificação das tensões de compressão nas regiões nodais junto ao pilar e às estacas.

3.1 Exemplo: Dimensionamento de bloco

Para a verificação da eficácia da planilha foi utilizado o exemplo de dimensionamento de bloco sobre estacas com carga vertical centrada proposto por CAMPOS (2015).

Dimensionamento do pilar P_3 , considerar dimensão do pilar de 22x50 cmxcm e carga de 1650kN.

Como dados de entrada da planilha foi selecionado o tipo e o diâmetro da estaca, como mostrado na figura 3.

Figura 3. Dados de entrada.

Na etapa seguinte foram inseridos os dados

relativos ao pilar (carga, dimensão e f_{ck} do concreto). E como resultado parcial foi obtido o número de estacas sugerido, nesse exemplo, 4 estacas. Como mostrado na figura seguinte.

Figura 4. Dados de entrada e resultado parcial.

As estacas podem ser dispostas de duas maneiras distintas, 4 estacas em linha ou 4 estacas em retângulo, foi escolhida a segunda opção.

Como resultado, as estacas não obtiveram todas as verificações atendidas, portanto é preciso redimensionar.

Para o redimensionamento foram utilizadas as alternativas, aumentar o f_{ck} do concreto, aumentar o diâmetro da estaca e cravar 5 estacas. Figura 5.

Figura 5. Resultado das verificações.

Após o redimensionamento, e de todas as

verificações atendidas. A armadura foi calculada segundo os lados e segundo as diagonais. E depois de escolhido o diametro das barras de aço foi gerado o relatorio final, com o detalhamento. Figura 6.a e 6.b .

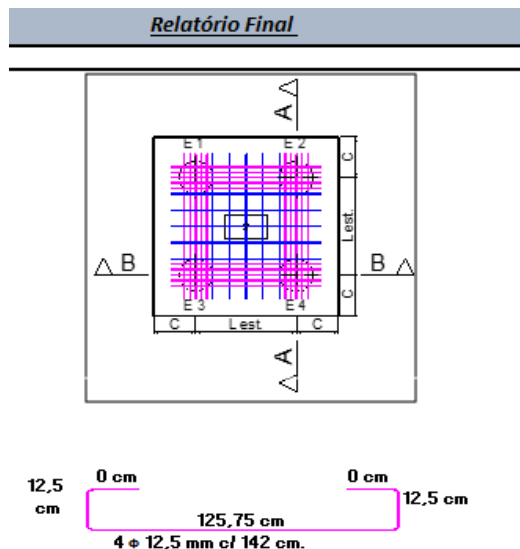


Figura 6.a. Armadura segundo Lados.

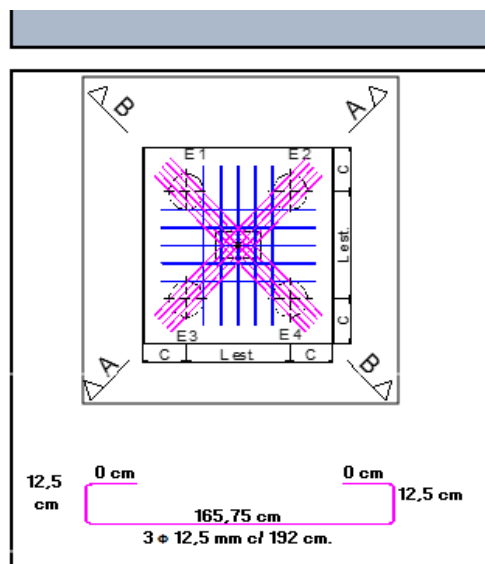


Figura 6.b. Armadura segundo as Diagonais.

Com base nos resultados encontrados neste exemplo, é possível destacar que a planilha se mostra satisfatória. Pois, a diferença entre os resultados, encontrado pelo CAMPOS (2015) e pela planilha é da ordem de 5%.

4 CONCLUSÕES

A planilha eletrônica de cálculo foi baseada nos principais modelos empregados no dimensionamento e detalhamento de blocos de coroamento, após a análise dos resultados, ela se mostra eficaz. Contudo, para se usar essa tabela para o projeto de uma estrutura como um todo, é necessária uma padronização manual dos tipos e diâmetros das estacas, pois à medida que se tem variações, aumentam-se os custos de mobilização e desmobilização e de materiais, além de se reduzir a eficiência da obra, em termos de produtividade, devido a mudanças nos equipamentos.

A planilha calcula vários blocos de estacas ao mesmo tempo, padronizando os resultados, tornando dessa forma, o projeto ainda mais otimizado e abrangente o que facilita. O roteiro de cálculo foi validado a partir dos ensaios realizados por Blévyot e Frémy(1967), após a análise pode-se concluir que os resultados obtidos pela tabela são satisfatórios.

Sendo respeitados os limites para a altura do bloco, apresentados anteriormente, não há necessidade de verificar as tensões nas bielas. Porém Andrade (1989) recomenda as seguintes verificações das bielas comprimidas junto ao pilar e junto às estacas:

➤ Junto ao pilar:

$$\sigma_{sc,p} = \frac{f_d}{A_p \cdot \sin^2 \theta} \leq \alpha_p \cdot 0,85 f_{cd} \quad (4)$$

Sendo $\alpha_p = 2,6$ (coeficiente de ajuste do método);

➤ Junto à estaca:

$$\sigma_{sc,e} = \frac{f_d}{6 \cdot A_e \cdot \sin^2 \theta} \leq \alpha_e \cdot 0,85 f_{cd}$$

$$\text{Com } 1,0 \leq \alpha_e \leq 1,4; \quad (5)$$

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, me ajudaram na realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*, NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto e execução de fundações*, NBR 6122. Rio de Janeiro, 2010.
- ANDRADE, J.R.L. *Dimensionamento estrutural de elementos de fundação*. São Carlos: EESC – USP, 1989.
- BLÉVOT, J.; FRÉMY, R. Semelles sur pieux. *Annales d’Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, v. 20 n. 230, p. 220-295, Paris, 1967
- CAMPOS, J. C. *Elementos de fundações em concreto*. 1ª Ed. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2015.
- FUSCO, P. B. *Técnica de armar as estruturas de concreto*. 1ª Ed. São Paulo, Ed. PINI, 1995
- MARTI, P. *Basic tools of reinforced concret beam design*, *Proceedings*, Estados Unidos, 1985, V.82
- SCHLAICH, J.; SCHAFER, K.; JENNEWEIN, M. *Toward a consistent design of reinforced structural concrete*. *Journal of Prestressed Concrete Institute*, v. 32, n. 3, p. 74-150, 1987