

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS DE FUNDAÇÃO POR MEIO DE MODELAGEM NUMÉRICA E ANALÍTICA

GABRIEL HENRIQUE GOMES¹, LEONARDO HENRIQUE GOMES²

¹Engenheiro Civil Pós-Graduando em Gestão de Obras. IPOG, Curitiba-PR, gabrielgomes.ec@gmail.com;

²Doutorando em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná UFPR, Curitiba-PR, leonardohgomes.ufpr@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2022

RESUMO: Blocos sobre estacas são elementos responsáveis para a transmissão das cargas provenientes dos pilares para o solo. As peças são dimensionadas e executadas para serem objetos de grande rigidez para que possa manter a estrutura com o mínimo de deformações possíveis, desde que esteja de acordo com as normas vigentes. Para o dimensionamento há diversos autores que trazem considerações sobre os métodos de cálculo analítico e assim como os softwares comerciais que encontramos no mercado da engenharia, trazendo algumas divergências nas áreas de aço devido as majorações e/ou minorações durante o cálculo. O estudo analisou blocos de coroamento sobre quatro estacas através da metodologia aplicada por Blévo e Fremy (1967) e Santos et. al. (2013) para o método analítico, por Método de Elementos Finitos (CypeCAD) e por Pórtico Espaciais e Grelhas (Eberick) para o Método Numérico a fim de relacionar a área de aço gerada por cada. Os resultados demonstram que a área de aço entre os métodos varia, inclusive pelo diâmetro, o dimensionamento do software opta por menores dimensões, diferente do método analítico, na qual optou-se por barras de igual diâmetro para a armadura principal. As áreas de aço principais sofrem um aumento de 25% no método numérico (CypeCAD e Eberick) e as áreas de aço totais com aumento de 23,36% para o CypeCAD e 12,45% para o Eberick, com base nos resultados obtidos através do método analítico.

PALAVRAS-CHAVE: Cálculos numéricos, execução, projeto, métodos, softwares.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FOUNDATION BLOCK DESIGN THROUGH NUMERICAL AND ANALYTICAL MODELING

ABSTRACT: Pile caps are elements responsible for transmitting the loads from the columns to the ground. The parts are dimensioned and executed to be objects of great rigidity so that it can maintain the structure with the minimum of possible deformations, as long as it is in accordance with the norms in force. For the design there are several authors that bring considerations about the analytical calculation methods and also the commercial softwares that we find in the engineering market, bringing some divergences in the steel areas due to the increases and/or decreases during the calculation. The study analyzed pile caps on four piles through the methodology applied by Blévo and Fremy (1967) and Santos et. al. (2013) for the analytical method, by Finite Element Method (CypeCAD) and by Space Frame and Grid (Eberick) for the Numerical Method in order to relate the area of steel generated by each. The results show that the steel area between the methods varies, including the diameter, the software design opts for smaller dimensions, unlike the analytical method, which opted for bars of equal diameter for the main reinforcement. The main steel areas suffer a 25% increase in the numerical method (CypeCAD and Eberick) and the total steel areas with 23.36% increase for CypeCAD and 12.45% for Eberick, based on the results obtained through the analytical method.

KEY WORDS: Numerical calculations, execution, design, methods, software.

1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento e execução das fundações é uma das etapas mais importantes na construção civil, pois uma vez mal dimensionadas e/ou mal executadas tendem a trazer sérios problemas para a edificação, sendo estes normalmente de soluções complexas e bastante onerosas. Os blocos de fundação, segundo Campos (2015) são considerados elementos entre a superestrutura e as estacas ou tubulões, ou seja, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014) item 22.71.1, os blocos são estruturas de volume usadas para transmitir às estacas ou tubulões as cargas de fundação e podem ser considerados rígidos ou flexíveis.

Conectados a esse elemento, surge a necessidade de desenvolver novos estudos de comparação pela grande relevância que o tema traz no âmbito da Engenharia Civil e da Construção em geral. O referido estudo tem objetivo de comparar resultados de cálculo analítico e numérico para blocos de fundação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MATERIAIS

Os blocos são considerados elementos de fundações rasas, isto é, se apoiam abaixo da superestrutura e se caracterizam por serem elementos de transição para estacas ou tubulões. São elementos construídos com concreto simples ou ciclópico de grande rigidez, dimensionados para que dispensem armadura de flexão, mas também que ele possa absorver as tensões de tração nele exercidas (Alonso, 2019), (Lopes, 2012), (Campos, 2015).

2.1.1 BLOCOS RÍGIDOS

Os blocos são considerados rígidos, conforme as equações descritas por Campos, 2015, 1 e 2, respectivamente, além de considerar que as cargas aplicadas sejam distribuídas diretamente às estacas, admitindo-se plena distribuição da carga entre os elementos que devem estar espaçadas entre 2,5 e 3,0 vezes o diâmetro da peça.

$$h \geq \frac{B - b_p}{3} \quad \text{Eq. (1),}$$

e

$$h \geq \frac{L - b_p}{3} \quad \text{E. (2),}$$

sendo:

h = altura do bloco;

B = dimensão do bloco em determinada direção;

L = vão entre eixos das estacas;

b_p = dimensão do pilar na mesma direção considerada para o bloco.

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 170), item 22.5.2.1, o bloco estrutural possui comportamento considerado rígido quando:

Trabalho à flexão nas duas direções, mas com trações essencialmente concentradas nas linhas sobre as estacas (reticulado definido pelo eixo das estacas, com faixas de largura igual a 1,2 vez seu diâmetro);

Forças transmitidas do pilar para as estacas essencialmente por bielas de compressão, de forma e dimensões complexas;

Trabalho ao cisalhamento também em duas direções, não apresentando ruínas por tração diagonal, e sim por compressão das bielas, analogamente às sapatas.

2.1.2 BLOCOS FLEXÍVEIS

De acordo com a normativa brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014), quando o bloco é considerado flexível a análise realizada é mais detalhada, desde a distribuição das solicitações nas estacas dos tirantes internos de tração nos blocos até a necessidade de verificação à punção.

Seguindo essa linha de raciocínio, os esforços mencionados deverão ser calculados como se o bloco fosse uma barra em cada uma das direções (Figura 03), obtendo os momentos e as cortantes.

Após a definição dos momentos e forças cortantes é feito o equilíbrio interno, calculando as forças nas armaduras e verificando as tensões de compressão existentes.

2.1.3 ESTACAS

De acordo com Cintra e Aoki, (2010, p. 9),

“Uma estaca, sem o solo ao seu redor, não é uma fundação. Por isso, denominamos elementos de fundação por estaca o sistema formado pela estaca (elemento estrutural) e o maciço que a envolve (elemento geotécnico).” (Aoki, 2010).

Segundo Alonso (2019), as estacas são elementos estruturais esbeltos que são executados por dois modos, cravação ou perfuração, com a função de transmitir as cargas ao solo seja pela resistência lateral (fuste), pela resistência de ponta ou pela combinação dessas duas forças. As estacas podem ser de madeira, aço ou metálicas e de concreto, simples, armado ou protendido (Alonso, 2019).

2.2 MÉTODOS

2.1.1 ELEMENTOS FINITOS

O método dos elementos finitos (MEF) surgiu em meados da quinta década do séc. XX, entretanto, devido a escassez de tecnologia disponível, inviabilizou a sua implementação e utilização. A princípio se tratava de um método utilizado para solucionar problemas de mecânica dos sólidos, no entanto, sua bela aplicação se estendeu a demais análises e fenômenos físicos.

Temos uma sequência de modelo a ser seguido: Realidade, Modelo Físico, Modelo Matemático e Modelo Numérico.

Salienta-se que o MEF é um método numérico, sendo mais um entre outros métodos existentes para a solução numérico do modelo matemático, além disso, atualmente as plataformas possuem uma ótima interface gráfica quando comparado a alguns anos atrás. Hoje retorna ao usuário uma experiência rica em detalhes, permitindo visualizações de resultados das análises por meio de mapas de cores, seleção de cortes, animações gráficas em tempo real entre outras funções.

2.1.2 MÉTODOS DOS DESLOCAMENTOS

Também conhecido como método da rigidez ou do equilíbrio, é um método na qual analisa estruturas reticuladas que usa a rigidez do elemento modelado para formar um sistema de equações na qual relaciona os deslocamentos com as cargas que atuam na estrutura. Se trata de um método muito geral e nele é permitido aplicação a qualquer tipo de estrutura reticulada. Assim é chamado pois as incógnitas são deslocamentos ou rotações.

2.1.3 PÓRTICOS ESPACIAIS

Se trata de um modelo de estrutura muito comum na engenharia, na qual necessita que o usuário tenha acesso a software matemático (análise numérica) que permita modelar diversas situações e a simulação de um número infinito de situações reais.

2.1.4 MÉTODO DAS GRELHAS

O método das grelhas substitui a laje por uma combinação de vigas que se interceptam perpendicularmente formando uma grelha e logo após obtêm-se os esforços e deslocamentos destas vigas que a representam.

Salienta-se que os elementos em grelhas possuem três graus de liberdade por nó, sendo, translação (eixo-z) e duas rotações (eixo-x e eixo-y).

2.1.5 MÉTODO ANALÍTICO – BIELAS E TIRANTES

Para este método Blevot e Frémy (1967) apresentam um modelo simplificado. Para comprovar a validar seu método, realizam o total de 116 ensaios sobre blocos com duas, três e quatro estacas além de compor diversas combinações de armaduras. Segundo os autores, para que se possa garantir o comportamento esperado e adequado do objeto dimensionado, é indicado que o θ (ângulo theta) esteja entre 45° e 55° graus.

De acordo com Campos (2015), este método traz como conceito analisar o interior do bloco como uma treliça espacial, na qual as barras tracionadas (plano médio das armaduras) e barras

comprimidas (bielas), se interceptam nos eixos das estacas e em um ponto do pilar. As bielas por sua vez, tem suas extremidades interceptando o eixo das estacas e o plano das armaduras de um lado e um ponto conveniente do pilar que é tratado com seção quadrada. Ainda em favor da segurança, quando o pilar for retangular é possível admiti-lo como quadrado com lado igual ao menor deles.

Vale lembrar ainda que as forças de compressão nas bielas são resistidas pelo concreto e as forças de tração pelos tirantes, dispostos no plano médio das armaduras.

A partir dos métodos ditos anteriormente realizou-se uma análise analítica de um bloco de coroaento rígido tendo carga de 1000 kN, concreto C20 ($f_{ck}=20$ Mpa) e aço CA-50 ($f_{yk}=500$ Mpa), sobre 4 estacas de $\phi=35$ cm com carga admissível de 300 e pilar de 25x40.

Inicialmente foi calculado pelo método analítico e posteriormente pelo método numérico e reproduzido em dois softwares, CypeCAD e Eberick. Para o método analítico seguiu-se a sequência de equações proposta por Alva, 2007, calculando a inclinação das bielas, tensão de compressão da biela junto ao pilar, tensão de compressão da biela junto à estaca, armadura principal de tração, decomposição da força resultante, área de aço, área de aço mínima, armadura de pele, armadura de suspensão, cisalhamento por força cortante e detalhamento. O objetivo foi encontrar e determinar a área de aço necessária para suportar o carregamento atribuído resultando na resistência do objeto e equilíbrio estático.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que a área de aço entre ambos os métodos de cálculo possui variações, inclusive pelo diâmetro do aço, onde o software automaticamente opta por utilizar menores diâmetros, diferente do método analítico, onde optou-se por um diâmetro igual para todos os esforços principais. Ver Tabela 1 e Gráficos 1, 2 e 3.

Tabela 1. Comparativo com os resumos de aço.

AÇO	DIAM (mm)	CARGA	1000 kN	1380,27kN	1000 kN
			BIELAS E	CYPE	EBERICK
CA - 50			<i>PESO+10% (Kg)</i>		
	6,3	→		82,00	10,80
	8,0	→			28,20
	12,5	→	110	71,00	58,80

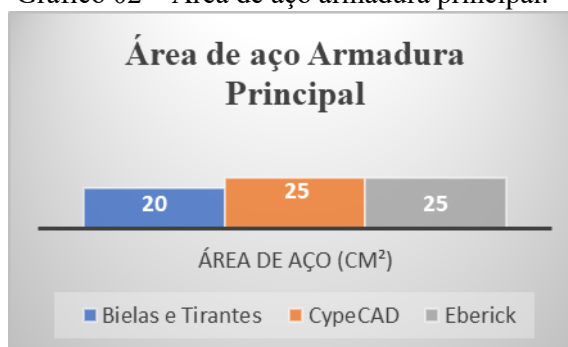
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 01 – Solicitações de cálculo.



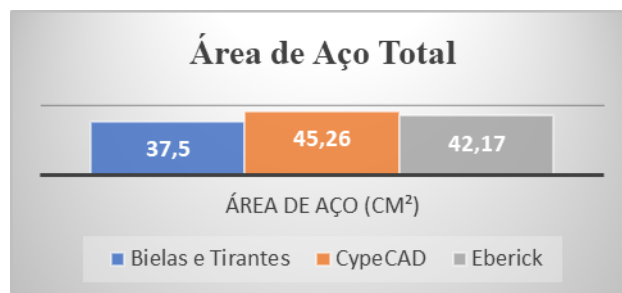
Fonte: Próprio autor.

Gráfico 02 – Área de aço armadura principal.



Fonte: Próprio autor.

Gráfico 03 – Área de aço total.



Fonte: Próprio autor.

O gráfico 01 apresenta valores diferentes para um dos casos devido às considerações do próprio software, no caso, o CypeCAD. Com base no gráfico 02, verificou-se que a área de aço das armaduras principais utilizadas pelo CypeCAD e pelo Eberick foi maior que a atribuída pelo método da Bielas e Tirantes, tendo 25% de aumento. No entanto, no gráfico 03 verificou-se as áreas totais, ou seja, armaduras principais e construtivas, tendo como base o método das Bielas e Tirantes, o aumento foi de 23,36% para o CypeCAD e 12,45% para o Eberick.

CONCLUSÃO

Conclui-se que, para as condições de carregamento propostos, o bloco é calculado para suportar e transferir a carga. As cargas diferem-se nas considerações do coeficiente de segurança e seu método de cálculo. O objetivo principal deste estudo foi alcançado e demonstrou as divergências no processo do dimensionamento entre os métodos citados para um bloco de fundação sobre 4 estacas.

Salienta-se que o método utilizado pelo CypeCAD foi o mais conservador, possuindo taxa de armadura total maior, seguido pelo Eberick e pelo método das Bielas e Tirantes.

Cada qual atribui a armadura conforme é programado e tais divergências são esperadas, lembrando que os três métodos satisfazem a condição proposta inicialmente, isto é, suportam a carga solicitada de 1000 kN.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, URBANO RODRIGUEZ. EXERCÍCIOS DE FUNDAÇÕES. 3. ed. SÃO PAULO: [s.n.], 2019.
- ALVA, GERSON MOACYR SISNIEGAS. PROJETO ESTRUTURAL DE BLOCOS SOBRE ESTACAS. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, 2007,
- AOKI, JOSÉ CARLOS A. CINTRA; NELSON. FUNDAÇÕES POR ESTACAS PROJETO GEOTÉCNICO. 1. ed. SÃO PAULO: [s.n.], 2010.
- BLEVOT, J.; FREMY, R. Semelles sur pieux. Annales de L'Institut Technique Du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris, v. 20, n. 230, p. 224-273, 1967.
- CAMPOS, JOÃO CARLOS DE. ELEMENTOS DE FUNDAÇÕES EM CONCRETO. 1. ed. SÃO PAULO: [s.n.], 2015.
- CYPECAD. Disponível em: <<https://multiplus.com/software/cypecad/index.html#:~:text=CYPECAD> - Software para cálculo estrutural e projeto estrutural,e detalhamento final dos elementos.>. Acesso em: 21 ago. 2022.
- DEMEC. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM266/Apostila/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20ao%20MEF.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- EBERICK. Disponível em: <<https://www.altoqi.com.br/eberick/>>. Acesso em: 21 set. 2020.
- LOPES, DIRCEU DE ALENCAR VELLOSO; FRANCISCO DE REZENDE. FUNDAÇÕES. 1. ed. SÃO PAULO: [s.n.], 2012.
- NBR 6118, ABNT 2014. NBR 6118 - PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO - PROCEDIMENTO. v. 32, n. 4, 2014.
- SANTOS, et. al. IBRACON. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s1983-41952019000400007>>. Acesso em: 23 nov. 2020.