

Análise da ligação do cálice embutido em bloco de fundação

Analysis of the link embedded in the glass block foundation

R. R. Carvalho & R. M. F. Canha

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, 49100-000, São Cristóvão-SE, Brasil

rodrigo.orabelo@hotmail.com

rejane_canha@yahoo.com.br

Em estruturas pré-moldadas de concreto armado, a ligação entre o pilar e o bloco de fundação é geralmente executada por meio de um cálice, que consiste em uma conformação no bloco para encaixe e ajuste do pilar e posterior preenchimento do espaço vazio entre esses dois elementos com concreto moldado no local. Os métodos de dimensionamento dessa ligação são baseados no tipo de conformação das paredes do mesmo (lisa ou rugosa), assim como na grandeza da excentricidade da força normal (pequena, intermediária ou grande). Além disso, o cálice pode apresentar-se como externo, parcialmente embutido ou totalmente embutido. Este trabalho apresenta uma análise teórica através da aplicação do Método das Bielas e Tirantes sobre o bloco de fundação sobre duas, três e quatro estacas, com cálice totalmente embutido, paredes de conformação lisa e força normal com grande excentricidade. O foco principal desta pesquisa é propor arranjos de treliça do Método de Bielas e Tirantes para esses modelos, os quais foram embasados nos estudos teóricos e experimentais da literatura realizados para o cálice externo e bloco de fundação de estruturas monolíticas. Após a determinação da geometria dos blocos estudados, aplicaram-se os Métodos de Bielas e Tirantes propostos. Com o auxílio do software CypeCAD 2010, foram processados os esforços nos elementos da treliça idealizada. Adicionalmente, dimensionou-se a armadura e verificou-se a tensão de compressão nas bielas, as quais tiveram as dimensões cuidadosamente analisadas. Os resultados apresentaram-se satisfatórios e são mostrados detalhadamente em forma de desenhos e tabela. Por fim, a realização deste trabalho conduziu a um método prático e consistente de dimensionamento para blocos de fundação com cálice embutido, paredes lisas e grande excentricidade da força normal, uma vez que a concepção dos modelos propostos foi baseada em estudos bem fundamentados da literatura e os esforços obtidos foram compatíveis com os tipos de elementos (tirante ou biela) da treliça idealizada.

Palavras-chave: Modelo de Bielas e Tirantes; bloco de fundação; cálice totalmente embutido

In precast reinforced concrete structures, the connection between column and pile cap is generally carried out through a socket, which consists in a cavity in the cap for embed and adjust the column and subsequent fill the empty space between these elements with cast-in-place concrete. The design methods for this connection are based on the type of walls surface (smooth or rough), as well as on the magnitude of the eccentricity of the normal load (small, intermediate or large). In addition, the socket can be built as external, partially embedded or fully embedded. This work presents a theoretical analysis through the Strut-and-Tie Method on pile caps with two, three and four piles, with fully embedded socket, smooth surface walls and normal load with large eccentricity. The main focus of this research is propose arrangements of truss of the Strut-and-Tie Methods for these models, which were based on theoretical and experimental studies of the literature carried out on external socket and pile caps of monolithic structures. After determining the geometry of the pile caps, the proposed Strut-and-Tie Methods were applied. Through the software CypeCAD 2010, the forces in the elements of the idealized struss were calculated. Besides, the reinforcement was determined and the compression stress of the struts was verified, whose dimensions were carefully evaluated. The results were suitable and are detailed through figures and tables. Finally, this work led to a practical and consistent design method for pile caps with fully embedded socket, smooth walls and large eccentricity of normal load, since the conception of the proposed models was created from well based studies of the literature and the calculated internal forces were compatible with the type of the elements (tie or strut) of the idealized truss.

Keywords: Strut-and-Tier Model; pile cap; fully embedded socket

1. INTRODUÇÃO

O Método das Bielas e Tirantes consiste na discretização dos campos de tensão nos elementos estruturais de concreto armado, ou seja, a forma e o comportamento do complexo campo de tensões são simplificados de modo que esta discretização possibilite conhecer aproximadamente a direção, o sentido e a intensidade do esforço solicitante naquele campo de tensão. A discretização dos campos de tensões é feita através da transformação do elemento estrutural em uma treliça idealizada composta por barras e nós. Os campos de tensão de compressão são transformados ideologicamente em barras que sofrem o esforço normal de compressão, representadas pelo concreto, e são chamadas de bielas ou escoras. Analogamente, os campos de tensão de tração são transformados ideologicamente em barras que sofrem o esforço normal de tração, representadas pela armadura de aço, e são chamadas de tirantes. A região de interseção entre os campos de tensão de compressão e de tração, ou seja, a região representada por um volume de concreto sujeito a múltiplos estados de tensão são chamadas de zonas nodais ou nós.

As estruturas de concreto armado podem ser divididas por regiões em função do seu comportamento mecânico. As regiões B, também chamadas de regiões contínuas [2], obedecem a Hipótese de Bernoulli. Esta hipótese facilita muito o dimensionamento de elementos de concreto armado, pois é possível assumir que a distribuição de deformações ao longo da altura da seção transversal do elemento é mantida linear, desde o início do carregamento até a ruína[1]. Já as regiões D, também chamadas de regiões descontínuas ou de descontinuidade generalizada [2], obedecem ao Princípio de Saint-Venant.

Desta forma, são identificadas regiões descontínuas presentes quase sempre nas estruturas de concreto, como por exemplo: viga-parede, consolos e blocos de fundação. Bloco de fundação é o elemento estrutural que funciona como elemento de ligação entre a superestrutura e a infraestrutura, transferindo as cargas do pilar para as estacas. Estes blocos são frequentemente dimensionados através de dois métodos, sendo eles: Método de Viga e Método das Bielas e Tirantes. Paralelamente, o método utilizado no dimensionamento do bloco deve ser coerente com o tipo do bloco [1].

Os blocos de fundação são classificados em: bloco flexível ou bloco rígido [3]. Racionalmente, o bloco flexível deve ser dimensionado pelo Método de Viga. Já o bloco rígido deve ser dimensionado pelo Método das Bielas e Tirantes, pois este tipo de bloco é caracterizado como uma Região D, ou seja, não obedece a Hipótese de Bernoulli. O dimensionamento de blocos rígidos de fundação consiste em discretizar o fluxo de tensões dentro do bloco, ou seja, idealizar uma treliça espacial formada por bielas e tirantes[1].

No caso de estruturas de concreto pré-moldado, os blocos de fundação são geralmente dotados de um cálice responsável por fazer a ligação entre o pilar e o bloco. O cálice pode ser externo, embutido ou parcialmente embutido no elemento estrutural da fundação [6]. Os modelos de cálculo baseiam-se no tipo de conformação das faces internas das paredes do cálice e das faces do pilar, podendo ser classificados em cálice com interfaces lisas e cálice com interfaces rugosas [4-6-7], além de considerar os casos de pequena, intermediária e grande excentricidade da força normal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os blocos de fundação sobre duas, três e quatro estacas foram analisados para o caso do cálice totalmente embutido com paredes de interface lisa e grande excentricidade da força normal. Além disso, as estacas e o pilar apresentam sempre a seção transversal circular e quadrada, respectivamente. Apesar de não ter sido feita uma análise com pilares de seção retangular, acredita-se que os resultados apresentados possam ser aplicados a este caso.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento de uma forma de dimensionamento dos elementos estudados consiste em aplicar o Método das Bielas e Tirantes através da seguinte sequência de etapas: a) determinar a geometria do bloco; b) determinar os esforços atuantes no cálice; c) aplicar os esforços na treliça idealizada; d) dimensionar as armaduras; e) determinar a geometria das bielas e f) verificar a tensão nas bielas. As recomendações técnicas e científicas que contribuíram para elaboração do método de cálculo e obtenção dos resultados apresentados posteriormente podem ser consultadas em [1-2-3-4-7-8]. Logo abaixo, são mostradas as

considerações admitidas para determinação dos esforços no cálice, sua posição e o comprimento de embutimento.

$$N_{bf,d} = \frac{N_d - \mu V_d}{1 + \mu^2} \tag{1}$$

$$H_{inf,d} = H_{sup,d} - \frac{\mu N_d + V_d}{1 + \mu^2} \tag{2}$$

$$H_{sup,d} = \frac{M_d - N_d \left[e_{nb} + \frac{\mu y' - \mu^2 (0,5h + e_{nb})}{1 + \mu^2} \right] + V_d \left[\ell_{emb} - \frac{y' - \mu (0,5h + e_{nb})}{1 + \mu^2} \right]}{\ell_{emb} - y - y' + \mu h} \tag{3}$$

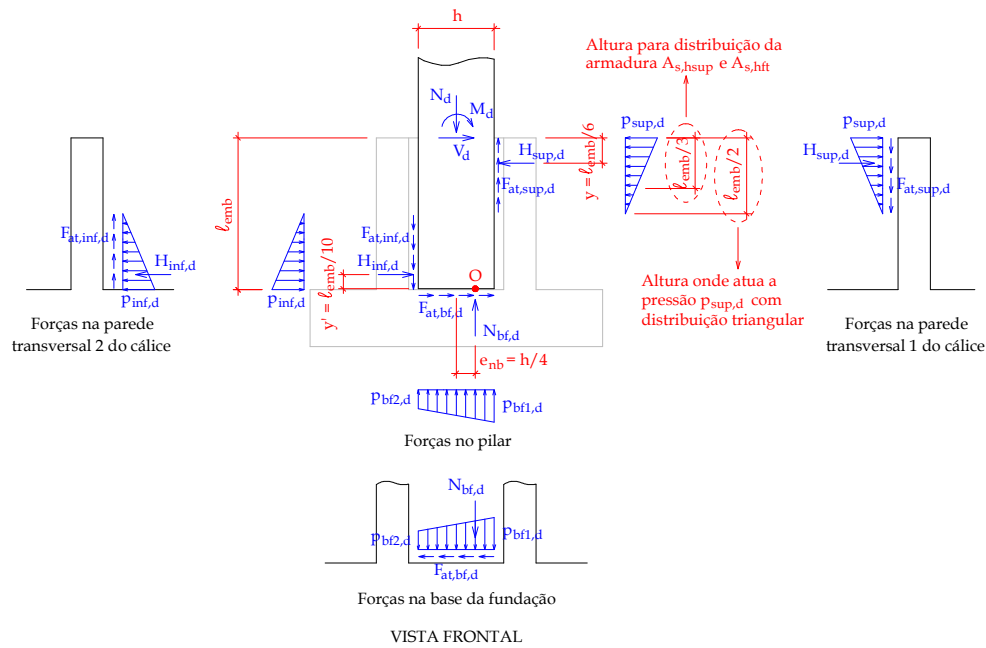


Figura 1: Esquema de forças para o modelo de cálice com paredes de interface lisa [7]

Tabela 1: Comprimento de embutimento ℓ_{emb} [4-9].

Paredes	$M_d/N_d \leq 0,15h$		$M_d/N_d \geq 2,00h$	
	[4]	[9]	[4]	[9]
Lisas	1,50h	1,68h	2,00h	2,80h
Rugosas	1,20h	1,20h	1,60h	2,00h

Valores intermediários devem ser interpolados e $\ell_{emb} \geq 40$ cm [4]

Todo o processo de desenvolvimento desta metodologia foi feito de forma teórica e detalhada. A determinação analítica da geometria do bloco foi obtida através da utilização de recomendações tecnicamente consagradas na engenharia e no meio científico. Apenas o cálculo dos esforços nas bielas e nos tirantes foi feito com o auxílio do software CypeCAD 2010, o qual possibilitou uma análise sobre as condições de apoio do bloco sobre as estacas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os blocos analisados apresentam as características mostradas na *Tabela 2*. Após a determinação da geometria de cada bloco, foram calculados os esforços atuantes no cálice $H_{sup,d}$, $H_{inf,d}$, $N_{bf,d}$, $F_{at,sup,d}$, $F_{at,inf,d}$ e $F_{at,bf,d}$, e posteriormente aplicados no modelo de bielas e tirantes idealizado para cada bloco, conforme suas respectivas condições de apoio. Por serem estruturas volumétricas, ou seja, as dimensões possuem a mesma ordem de grandeza, observa-se que o modelo de bielas e tirantes aplicado aos blocos de fundação apresenta uma treliça espacial de complexa determinação analítica dos esforços normais em suas barras. Desta forma, utilizou-se o *software* CypeCAD 2010 para auxiliar na determinação dos mesmos, sendo eles F_{hpl} , F_{hpt} , F_{vp} , F_{tp} para os tirantes e R_{cb} para as bielas.

Logo após, a área da seção transversal das bielas eleitas críticas foi encontrada considerando as limitações dadas pela geometria do bloco ou pelas bielas adjacentes. Em seguida, verificou-se a tensão nestas bielas e dimensionaram-se as armaduras, as quais devem ser dispostas o mais próximo possível da direção e coincidência com o centróide de cada tirante respectivo, além de que a armadura do tirante principal que deve ser disposta sobre as estacas numa largura de 1,2D [3]. Além das armaduras aqui dimensionadas, deve-se lembrar das armaduras secundárias de controle de fissuração dispostas em malha nas paredes do bloco [8].

Tabela 2: Blocos avaliados.

Características	Blocos sobre estacas					
	2		3		4	
Nº de estacas						
axb (cm ²)	40x40	60x60	40x40	60x60	40x40	60x60
D (cm)	30	50	30	50	30	50
N _d (kN)	250	560	375	840	500	1120
V _d (kN)	50	168,75	75	253,125	100	337,5
M _d (kN.m)	200	675	300	1012,5	400	1350
e _{sl} (cm)	170	255	143	213	135	200
e _{st} (cm)	-----	-----	140	210	135	200
h (cm)	-----	-----	125	185	-----	-----
H (cm)	140	210	140	205	145	215
θ _A	0°	0°	58,50°	59,16°	90°	90°
A' (cm)	-----	-----	45	55	-----	-----
A (cm)	250	355	188	268	215	300
θ _B	0°	0°	60,75°	60,42°	90°	90°
B' (cm)	-----	-----	46	57	-----	-----
B (cm)	80	105	186	267	215	300
e _{nb} (cm)	40	50	40	50	40	50
c (cm)	5	5	5	5	5	5
c _i (cm)	5	5	5	5	5	5
l _{emb} (cm)	80	120	80	120	80	120
e _{nb} (cm)	10	15	10	15	10	15
Bloco	Rígido	Rígido	Rígido	Rígido	Rígido	Rígido
M	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
θ ₁	36,25°	37,07°	35,60°	34,85°	34,08°	34,44°
θ ₂	30,07°	30,82°	30,51°	30,04°	30,28°	30,56°
θ'	79,11°	81,97°	23,43°	22,89°	45,76°	48,24°
tg β	0,97	0,98	0,96	0,98	0,95	0,97
y (cm)	8	12	8	12	8	12
y' (cm)	8	12	8	12	8	12
H _{sup,d} (kN)	284,4	700,1	426,6	1050,2	568,8	1400,2
H _{inf,d} (kN)	169,7	391,2	254,6	586,8	339,4	782,3
F _{at,sub,d} (kN)	85,3	210,0	128,0	315,1	170,6	420,1
F _{at,inf,d} (kN)	50,9	117,4	76,4	176,0	101,8	234,7
F _{at,bf,d} (kN)	64,7	140,2	97,0	210,3	129,4	280,4
F _{hpl} (kN)	90,2	213,2	167,7	573,2	118,1	441,0
F _{hpt} (kN)	19,1	36,3	308,2	896,5	233,8	535,8
F _{vd} (kN)	77,0	179,5	257,7	853,5	291,7	468,7
F _{td} (kN)	264,3	603,7	145,8	308,6	276,3	499,1
f _{vd} (MPa)	434,8	434,8	434,8	434,8	434,8	434,8
f _{ck} (MPa)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
A _{s,hpl} (cm ²)	2,08	4,90	3,86	13,18	2,72	10,14
A _{s,hpt} (cm ²)	0,44	0,83	7,09	20,62	5,38	12,32
A _{s,vd} (cm ²)	1,77	4,13	5,93	19,63	6,71	10,78
A _{s,td} (cm ²)	6,08	13,89	3,35	7,10	6,35	11,48
A _{s,hs} (cm ²)	0,44	1,03	1,48	4,91	1,68	2,70
A _{s,vs} (cm ²)	0,71	1,65	2,37	7,85	2,68	4,31
R _{cb} (kN)	107,4	250,8	185,2	609,8	230,7	673,3
β _s	79,11°	81,97°	17,53°	17,82°	45,00°	45,00°
β _f	44,56°	44,56°	44,54°	45,01°	53,42°	53,90°
h _{ie} (m)	0,10	0,12	0,13	0,19	0,23	0,34
h _b (m)	0,15	0,17	0,18	0,27	0,28	0,42
A _c (m ²)	0,01522	0,02107	0,02254	0,05097	0,06424	0,14544
σ _{cb} (MPa)	7,05	11,91	8,22	11,96	3,59	4,63
f _{be} (MPa)	12,14	12,14	12,14	12,14	12,14	12,14
Verificação	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!	OK!

É proposta a seguinte configuração para o modelo de bielas e tirantes aplicado ao bloco de fundação sobre duas estacas com cálice totalmente embutido:

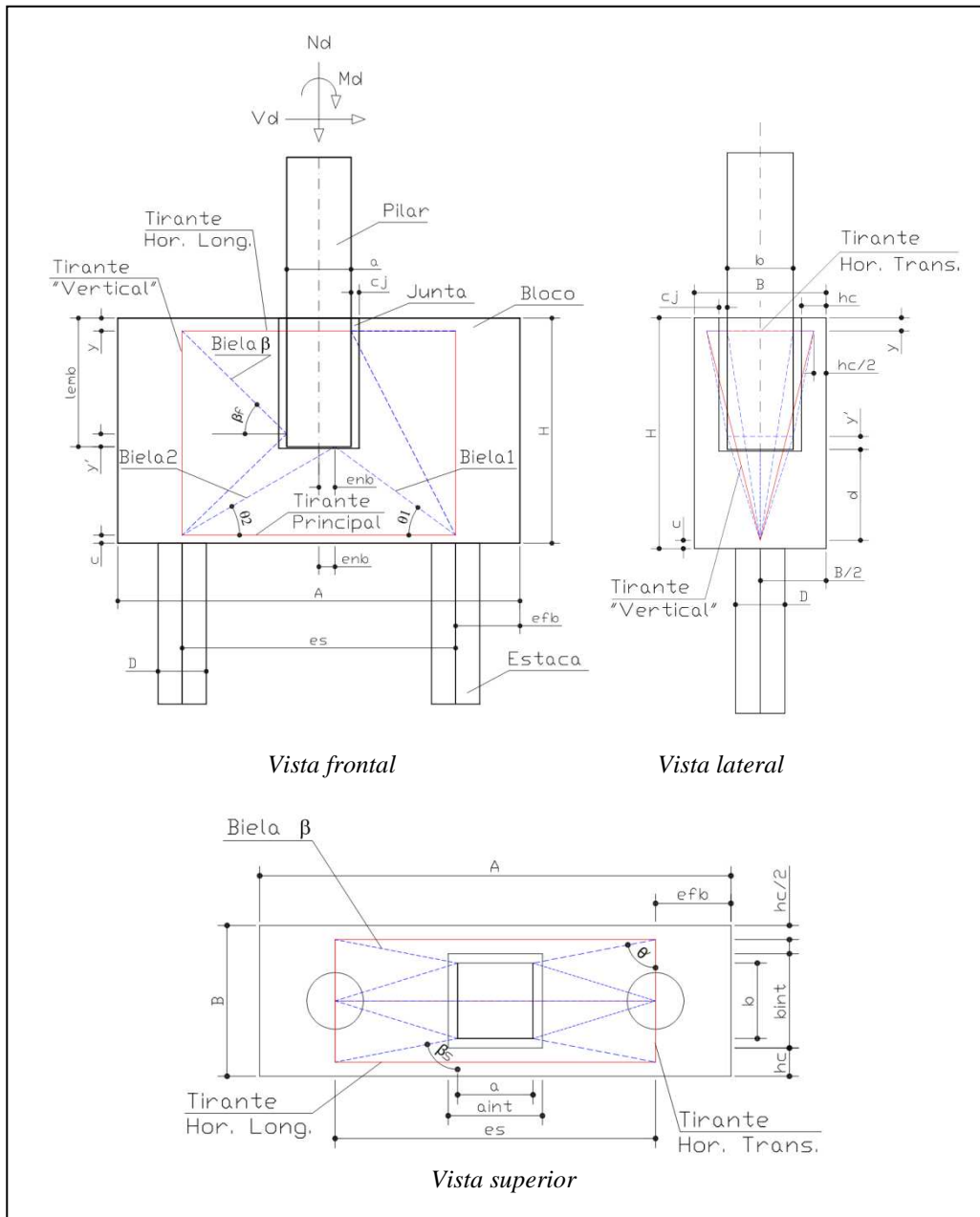


Figura 2: Configuração do bloco sobre duas estacas com cálice totalmente embutido

É proposta a seguinte configuração para o modelo de bielas e tirantes aplicado ao bloco de fundação sobre três estacas com cálice totalmente embutido:

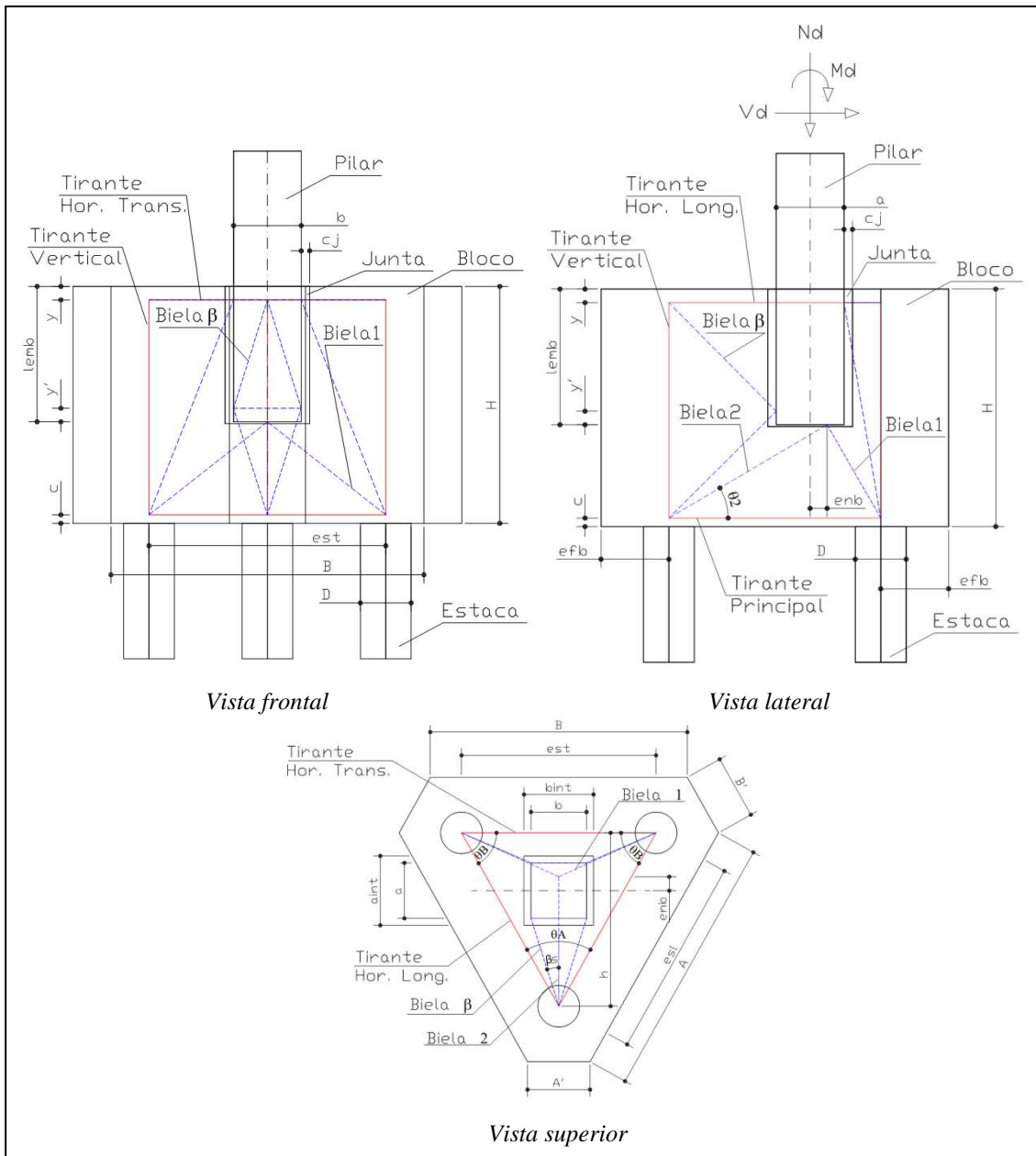


Figura 3: Configuração do bloco sobre três estacas com cálice totalmente embutido

É proposta a seguinte configuração para o modelo de bielas e tirantes aplicado ao bloco de fundação sobre quatro estacas com cálice totalmente embutido:

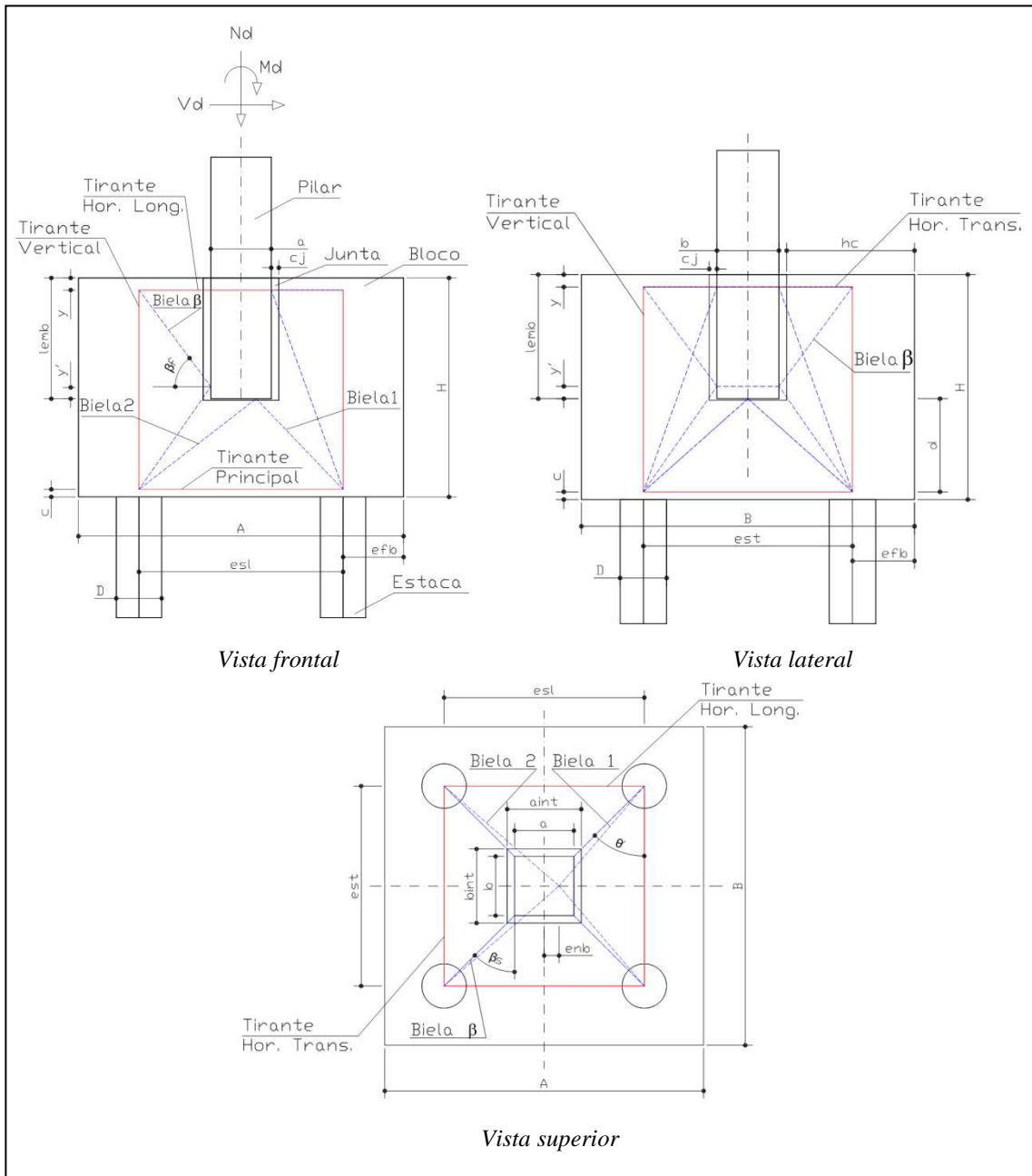


Figura 4: Configuração do bloco sobre quatro estacas com cálice totalmente embutido

4. CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento desse trabalho, observou-se que o bloco sobre quatro estacas é um caso generalizado do bloco sobre duas estacas e o bloco sobre três estacas, apesar de ter apresentado algumas similaridades, foi o caso mais distante dentre os analisados. A menor altura dos blocos é obtida quando se utiliza o ângulo θ_2 com o mínimo admitido para as bielas.

Além disso, é importante ressaltar que a metodologia de dimensionamento desenvolvida durante a realização deste trabalho segue critérios rigorosos e recomendados pela área técnica e científica, tanto no aspecto da geometria dos blocos, quanto no dimensionamento das armaduras e na verificação da resistência a compressão das bielas.

A produção desta pesquisa permite afirmar que o Método de Bielas e Tirantes apresenta-se como uma forte ferramenta para dimensionamento de regiões descontínuas em estruturas de concreto armado. Os modelos propostos foram baseados em pesquisas teóricas e experimentais

bem fundamentas da literatura para o cálice externo e o bloco de fundação monolítico, mostrando resultados compatíveis com os arranjos das treliças idealizadas.

-
1. SOUZA, R. A. Concreto estrutural: análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
 2. SILVA, R. C.; GIONGO, J. S. Modelos de bielas e tirantes aplicados a estruturas de concreto armado. Projeto REENGE, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
 3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2004 – Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.
 4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062:2006 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.
 5. EL DEBS, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. Projeto REENGE. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
 6. CAMPOS, G. M. Recomendações para o projeto de cálices de fundação. 183 f. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.
 7. CANHA, R. M. F. Estudo teórico-experimental da ligação pilar fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2004.
 8. BARROS, R. Análise de blocos de concreto armado sobre duas estacas com cálice totalmente embutido mediante presença de viga de travamento. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2009.
 9. LEONHARDT, F. & MÖNNIG, E. Construções de concreto. Ed. Interciência, v. 01, 02, 03 e 04, Rio de Janeiro, 1978.