

ANÁLISE COMPARATIVA DO DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS DE COROAMENTO: Utilizando dimensionamento manual e via *software* comercial

Patrick Tomaz¹ Maciel Donato² Guilherme Fleith de Medeiros³

¹Universidade de Passo Fundo / Curso de Engenharia Civil / 178790@upf.br

²Universidade de Passo Fundo / Prof. Dr. do curso de Engenharia Civil / mdonato@upf.br

³Universidade de Passo Fundo / Prof. Dr. do curso de Engenharia Civil e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/ guifleith@upf.br

Resumo

In this study, sizing and analysis of pile caps were conducted using commercial software and manual calculations, with the aim of evaluating the discrepancies in sizing and costs between the software and manual methods. It's important to note that the loads applied on the pile caps, with the same number of piles, were identical in both the software and manual designs. The commercial software used in this study was AltoQi Eberick, which employs the strut-and-tie method for piles equidistant from the center of the cap, as well as the rupture method for piles with different distances from the center of the cap. Due to the stakes in this study, being equidistant from the center of the cap, the software used use the strut-and-tie method (Blévtot). For the manual sizing, the strut-and-tie method (Blévtot) was employed too. Besides, the estimation cost materials and labor for the pile caps designed manually and through the Eberick software was conducted. The results found were satisfactory, with the concrete quantities for the blocks dimensioned through the software corresponding to a larger volume due to their greater height. Regarding the steel quantities, the blocks on two piles resulted in similar values for both sizing methods, but for the block on six piles, the manual sizing resulted in a considerably higher value. For the estimates, the total costs of the pile caps with two and six piles were lower with the manual dimensioning.

Palavras-chave

Pile Caps; Software; Sizing; Strut-and-Tie; Blévtot; Costs.

1. Introdução

No projeto de fundações de uma estrutura, as mesmas são divididas em dois grandes grupos: fundações rasas e fundações profundas. De acordo com Pimentel, Rosa e Assis (2020), as fundações rasas usualmente são empregadas em edificações de pequeno porte, devido às características das cargas envolvidas e da própria resistência do solo, capaz de proporcionar a resistência adequada em baixas profundidades. Já as fundações profundas são utilizadas quando o solo não demonstra uma previsibilidade dos recalques e de deformações em suas camadas iniciais de ruptura, há possíveis camadas de solos moles de baixo de solos competentes, em que seriam usadas as fundações diretas, e a camada resistente está a uma profundidade superior a 3 metros (CTC Infra, 2023).

A escolha da utilização entre os dois grupos depende de algumas variáveis, as quais cabem ao engenheiro responsável avaliar a mais adequada, dentre as quais citam-se: carga aplicada nas fundações, influência do terreno e do solo da região, e condições econômicas.

O presente trabalho foi realizado na área de fundações profundas, com o estudo de blocos de coroamento com estacas, as quais são aplicadas geralmente em solos instáveis ou de construções com elevadas cargas de transmissão para a fundação. As fundações profundas, além de transmitir seus esforços ao solo pela ponta, também transmitem pelo fuste.

Esse tipo de bloco é um elemento de extrema importância na fundação, pois é responsável pela transmissão das cargas e ações da superestrutura para as estacas. Segundo Munhoz (2004), os blocos sobre estacas apresentam um funcionamento complexo devido à interação mecânica aço/concreto, à influência do solo na estrutura e à necessidade de determinar vínculos adequados. Esses aspectos exigem uma análise detalhada para afirmar a segurança e a estabilidade da obra.

No Brasil há dois métodos bastante aplicados, o CEB-FIP (1970), utilizado quando existe grande quantidade de estacas, e o método de Bielias e Tirantes (RAMOS, 2007).

Atualmente, os projetistas utilizam *softwares* comerciais para realizar projetos de diferentes áreas da Engenharia Civil, inclusive de fundações. Este trabalho realizou análises comparativas sobre dimensionamento entre blocos de coroamento utilizando o *software* AltoQi Eberick e dimensionamento manual, buscando avaliar diferenças em termos metodológicos e nos resultados de dimensionamento.

1.1 Justificativa

Dada a importância e a aplicabilidade de blocos de coroamento no projeto de fundações profundas, é necessário ter-se o total entendimento das ferramentas que se utilizam para dimensionar essas estruturas, bem como identificar diferenças de metodologias e de resultados de projeto obtidos.

Frequentemente, observa-se que os projetistas elaboram a estrutura com o auxílio de algum *software* comercial e confiam nos resultados gerados pela ferramenta, porém há uma falta de conhecimento sobre a interpretação e, conseqüentemente, otimização dos resultados gerados, podendo levar a soluções subótimas.

Neste contexto, este trabalho realizou a comparação entre os resultados de dimensionamento e de custo entre os blocos de coroamento dimensionados via *software* comercial e dimensionados manualmente, com a intenção de encontrar possíveis discrepâncias entre as duas abordagens. Frisa-se então, aos pesquisadores e profissionais da área, a importância de ter o entendimento não somente do manuseio do *software*, mas também do real dimensionamento teórico-prático da estrutura, permitindo assim uma melhor tomada de decisão e a realização de ajustes quando necessário para a otimização deste elemento estrutural.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo geral comparar o dimensionamento de blocos de coroamento de forma manual e pela aplicação do *software* comercial de cálculo de estruturas de concreto armado AltoQi Eberick.

Além disso, objetiva-se realizar a orçamentação para os materiais e mão de obra dos blocos de coroamento dimensionados manualmente e dos dimensionados através do *software* comercial Eberick.

2. Fundações profundas

Na classificação como fundações profundas englobam-se estacas, tubulões e caixões. A transmissão da carga é pela ponta ou pela superfície lateral, ou por ambas. A sua ponta ou base deve ser apoiada a uma profundidade maior que oito vezes a sua menor dimensão em planta, de no mínimo 3,0 metros.

Caso não atinja o limite, deve-se justificar a denominação (ABNT NBR 6122, 2019). Neste trabalho, utilizou-se a fundação profunda com estacas como objeto de estudo, mais precisamente em relação aos blocos de coroamento. De acordo com Cintra e Aoki (2010), a análise dos dados da edificação e do terreno possibilita identificar os tipos de fundação tecnicamente viáveis, sendo a escolha final determinada pelos fatores de custo e prazo de execução.

Existem inúmeras vantagens para este tipo de fundação, como: alta capacidade de carga, aplicabilidade em solos fracos, redução de assentamentos, versatilidade de tipos e utilização em águas subterrâneas. Contudo, também existem desvantagens como: custo elevado, complexidade de execução, impacto ambiental, risco de problemas durante a execução e difícil inspeção e manutenção. Os blocos de coroamento são elementos projetados para transferir os esforços dos pilares para as fundações. Esses elementos são categorizados em dois tipos, com base em sua geometria: rígidos e flexíveis. Cada tipo possui um comportamento estrutural único.

Os blocos rígidos atuam como elementos de rigidez ilimitada, permanecendo inalterados diante da carga vertical dos pilares, distribuindo-a igualmente sobre as estacas quando posicionadas equidistantes (CUNHA; MOURA, 2018).

3. Método das bielas e tirantes (Bléivot)

O método Bléivot (Bielas e Tirantes) considera o modelo de treliça para o cálculo da resistência do bloco, considerando-a como “espacial” quando o bloco se apoia em mais de duas estacas e “plana” quando o bloco se apoia em duas estacas. Esse método é indicado quando a carga é quase centrada, mas pode-se utilizar também quando a carga é descentralizada. Neste caso, porém, deve-se adotar a carga máxima possível, o que pode gerar um superdimensionamento (BASTOS, 2023).

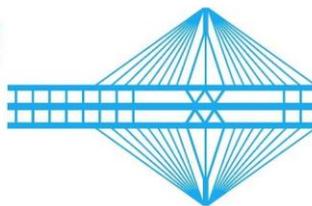
Ademais, segundo Bastos (2023), é importante que todas as estacas estejam equidistantes do pilar, pois, dessa forma, haverá a distribuição em proporções parecidas das cargas, sendo este o ideal de aplicação deste método.

Este método é um modelo simplificado, porém muito utilizado por uma série de fatores, das quais citam-se os principais como a tradição no Brasil e na Europa, o suporte experimental existente, por conter inúmeros ensaios realizados por Bléivot, bem como por ter uma abordagem bastante intuitiva ao se basear em treliças, a qual é uma estrutura bastante difundida na Engenharia (BASTOS, 2023). Essa metodologia de dimensionamento foi adotada no *software* e nos dimensionamentos manuais desenvolvidos na presente pesquisa.

4. Caracterização das estruturas avaliadas

Para se atingir objetivos deste estudo, foram projetadas duas estruturas distintas, ambas constituídas por pilares isolados, conforme apresentado na Figura 1, juntamente com os dados detalhados das estruturas analisadas. A primeira configuração (caso A) contempla um bloco de coroamento apoiado sobre duas estacas, enquanto a segunda estrutura (caso B) foi dimensionada com um bloco de coroamento sobre seis estacas.

A escolha por pilares isolados teve como finalidade eliminar a interferência de outras estruturas adjacentes, permitindo assim uma avaliação exclusiva do comportamento do bloco de coroamento sob as cargas aplicadas. Dessa forma, a análise concentrou-se exclusivamente no dimensionamento resultante da aplicação de uma carga vertical atuante sobre o pilar.



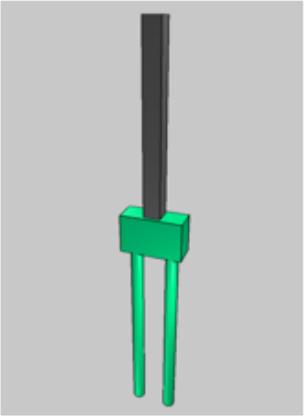
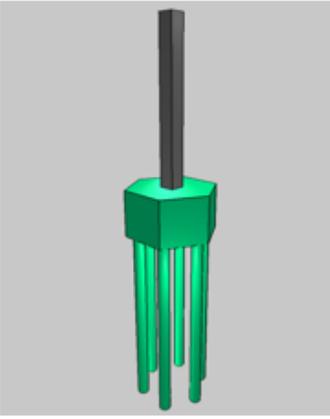
Caso A (bloco sobre duas estacas)	Caso B (bloco sobre seis estacas)
Capacidade nominal das estacas: 400 kN	Capacidade nominal das estacas: 400 kN
Diâmetro das estacas: 30 cm	Diâmetro das estacas: 30 cm
Fck das estacas 30 MPa	Fck das estacas 30 MPa
Para pilar e bloco, concreto C25	Para pilar e bloco, concreto C25
Carga do pilar (Nk): 200 kN	Carga do pilar (Nk): 960 kN
Seção do pilar: 40x40 cm	Seção do pilar: 40x40 cm
Espaçamento entre estacas (e): 90 cm	Espaçamento entre estacas (e): 90 cm
	

Figura 1 – Dados das estruturas avaliadas.
Fonte: Autor (2024).

5. Ações nas estruturas

Conforme ilustrado na Figura 1, a única ação considerada nas estruturas foi uma carga vertical. Para o bloco de coroamento apoiado sobre duas estacas, foi aplicada uma carga de 200 kN. Já para o bloco sobre seis estacas, a carga vertical aplicada foi de 960 kN. Outras ações, como cargas horizontais e momentos, foram deliberadamente desconsideradas, a fim de garantir uma comparação equitativa entre os dimensionamentos obtidos manualmente e aqueles gerados por meio de *software*.

6. Dimensionamento manual

Conforme já citado, o dimensionamento manual de blocos de coroamento pelo Método de Bielas e Tirantes (Blévo) utiliza uma simplificação estrutural, modelando o bloco como uma treliça fictícia. Nesse modelo, na figura 2 as bielas (vermelho) representam zonas comprimidas do concreto e os tirantes (azul) representam as áreas tracionadas, geralmente resistidas pelas armaduras. O processo começa com a definição da geometria do bloco e as condições de carregamento, permitindo que se estabeleçam os ângulos das bielas e a distribuição dos esforços. A partir do equilíbrio estático das forças, calcula-se o esforço nas bielas de compressão e nos tirantes de tração, garantindo que os materiais não sejam sobrecarregados.

Depois de determinar os esforços, verifica-se se as tensões no concreto e na armadura estão dentro dos limites de segurança estabelecidos pelas normas, como a ABNT NBR 6118 (2023). As bielas devem resistir aos esforços de compressão, enquanto os tirantes resistem à tração com a área de aço necessária. O detalhamento da armadura é feito para garantir que ela esteja adequadamente posicionada para suportar as forças de tração e assegurar a integridade estrutural do bloco de coroamento.

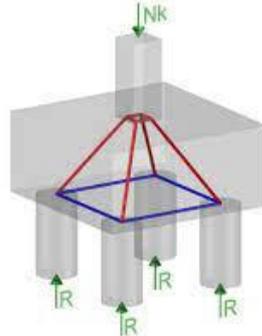


Figura 2 – Esquema de forças em ação no modelo de bielas e tirantes.
Fonte: Neto (2017).

7. Dimensionamento via *software*

O dimensionamento de blocos de coroamento utilizando o *software* AltoQi Eberick simplifica e automatiza o processo, permitindo uma análise mais precisa e eficiente. No Eberick, a modelagem do bloco de coroamento é feita de forma integrada com o projeto estrutural, levando em consideração fatores como as cargas aplicadas e as propriedades dos materiais. O *software* gera automaticamente a distribuição de esforços e o dimensionamento da armadura, aplicando os critérios normativos como a ABNT NBR 6118 (2023). Apesar de permitir diferentes abordagens metodológicas para o dimensionamento dos blocos de coroamento, optou-se também pelo emprego do Método de Blévyot, a fim de se ter um comparativo mais justo entre as duas abordagens avaliadas nesta pesquisa.

O Eberick realiza a verificação da capacidade de carga do bloco e dimensiona as armaduras necessárias, tanto para resistir às forças de tração quanto para garantir a estabilidade das bielas de compressão. Além disso, o *software* oferece detalhamento gráfico da armadura e das dimensões do bloco como demonstrado na figura 3, facilitando a interpretação dos resultados e a execução do projeto. Essa abordagem automatizada reduz o tempo de cálculo e minimiza erros, garantindo um projeto estrutural otimizado e em conformidade com as normas técnicas.

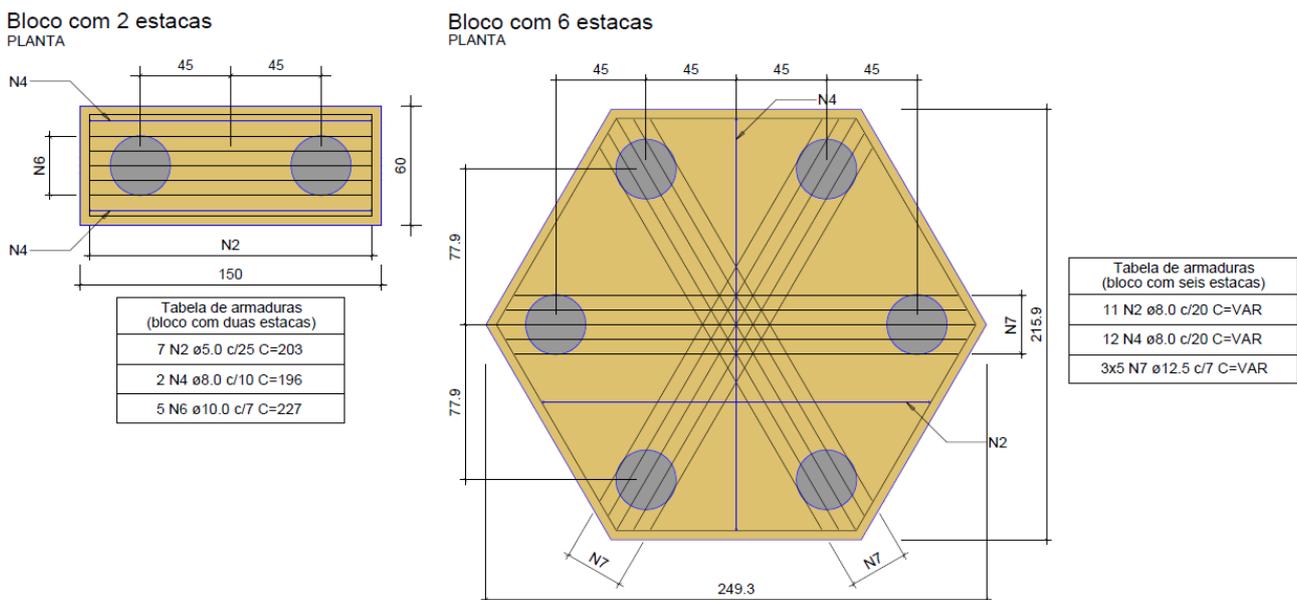


Figura 3 – Detalhamento em planta dos blocos gerados por meio do *software*.
Fonte: Autor (2024).

8. Resultados

A Tabela 1 mostra as quantidades e diferenças das quantidades de concreto calculadas manualmente e por meio do *software* comercial.

Bloco de Coroamento	Quantidades de concreto (m ³)		Diferença absoluta (m ³) *	Diferença percentual (%) *
	Dimensionamento manual	Dimensionamento por <i>software</i> comercial		
Com duas estacas	0,392	0,610	0,218	55,61
Com seis estacas	3,726	4,980	1,254	33,66
* em relação à solução manual				

Tabela 1: Quantidades de concreto.
Fonte: Autor (2024).

Percebe-se que o volume de concreto gerado através do dimensionamento por meio do *software* é maior em relação ao dimensionamento manual. Verificou-se que isso foi ocasionado devido à altura dos blocos, visto que no dimensionamento por meio do *software* há uma abordagem mais conservadora no ângulo das bielas, gerando inclinações maiores e, conseqüentemente, blocos com maiores alturas e maiores volumes de concreto.

As quantidades e diferenças de quantidades de aço utilizadas nos blocos de coroamento são visualizadas na Tabela 2.

Bloco de Coroamento	Quantidades de aço (Kg)		Diferença absoluta (m ³) *	Diferença percentual (%) *
	Dimensionamento manual	Dimensionamento por <i>software</i> comercial		
Com duas estacas	16,420	16,820	0,400	2,43
Com seis estacas	159,160	122,093	-37,067	-23,29
* em relação à solução manual				

Tabela 2: Quantidades de aço.
Fonte: Autor (2024).

Nota-se que a diferença percentual nas quantidades de aço dos blocos sobre duas estacas é insignificante, porém para os blocos sobre seis estacas encontrou-se um valor de diferença percentual consideravelmente alto, com o bloco sobre seis estacas dimensionado manualmente possuindo maior quantidade de aço se comparado com o bloco sobre seis estacas dimensionado através do *software*.

Além dos quantitativos gerados pelo dimensionamento, foi realizada a orçamentação das soluções geradas com o intuito de visualizar as diferenças de custos entre os dimensionamentos realizados pelo *software* e manualmente. A comparação foi realizada com valores do Sindicato da Indústria e da Construção Civil (SINDUSCON, 2024) e também com valores do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI, 2024). Dessa forma, foi obtida também a comparação das diferenças de preços entre essas duas referências de orçamentos.

No orçamento realizado através do SINDUSCON – RS, por meio do CUB – RS, foram utilizados valores médios do mês de Abril de 2024 para salário de pedreiro (9,96 R\$/h), preço médio do concreto

de resistência característica (f_{ck}) de 25 MPa (631,25 R\$/m³) e preço médio do aço CA-50 (8,15 R\$/kg), adotando bitola de 10 mm. Os dados de orçamentação a partir destes custos unitários são apresentados na Tabela 3. Nota-se que, neste caso, o valor absoluto da diferença é maior para o bloco sobre seis estacas, mas proporcionalmente, a diferença relativa é consideravelmente maior para o bloco sobre duas estacas.

Bloco	Custo do concreto (R\$)		Custo do aço (R\$)		Custos totais dos blocos (R\$)		Diferença absoluta (R\$) *	Diferença percentual (%) *
	Manual	Software	Manual	Software	Manual	Software		
Com duas estacas	247,14	385,06	133,66	136,91	540,16	681,34	141,18	26,14%
Com seis estacas	2.351,80	3.143,63	1.295,56	993,84	3.806,72	4.296,82	490,10	12,87%
* em relação à solução manual								

Tabela 3: Orçamento (SINDUSCON).
Fonte: Autor (2024).

O orçamento realizado através do SINAPI utilizou valores de insumos de março de 2024. Considerou-se o custo de mão de obra (20,71 R\$/h), preço médio do concreto de resistência característica (f_{ck}) de 25 MPa (569,92 R\$/m³) e preço médio do aço CA-50 (8,02 R\$/kg). Os dados de orçamentação a partir destes custos unitários são apresentados na Tabela 4. Para o orçamento realizado através do SINAPI, percebe-se também que o valor absoluto da diferença é maior para o bloco sobre seis estacas, mas proporcionalmente, a diferença relativa é maior para o bloco sobre duas estacas.

Bloco	Custo do concreto (R\$)		Custo do aço (R\$)		Custos totais dos blocos (R\$)		Diferença absoluta (R\$) *	Diferença percentual (%) *
	Manual	Software	Manual	Software	Manual	Software		
Com duas estacas	223,13	347,65	131,69	134,90	686,18	813,91	127,73	18,61%
Com seis estacas	2.123,31	2.838,20	1.276,46	979,19	3.731,13	4.148,75	417,62	11,19%
* em relação à solução manual								

Tabela 4: Orçamento (SINAPI).
Fonte: Autor (2024).

9. Conclusões

Através do estudo realizado, chegou-se à conclusão que o *software* comercial avaliado gera blocos com dimensões maiores se comparado ao dimensionamento manual efetuado, observando-se que a principal diferença se deu por conta das alturas obtidas para os blocos. Analisando-se o motivo disso acontecer, percebeu-se que o bloco ficou com altura maior por causa do ângulo das bielas. Nota-se

que, para o bloco com duas estacas, o *software* ultrapassou o ângulo de 55° , realizando uma abordagem mais conservadora, e para o bloco de seis estacas o ângulo ficou em torno de 54° . Já para o dimensionamento manual, os ângulos ficam próximos de 50° .

Porém, o *software* Eberick permite em suas configurações a alteração dos ângulos máximos e mínimos das bielas, cabendo ao usuário modificar essas configurações. Sendo assim, nos casos que se encontra superdimensionamento, isso pode acontecer em virtude dessa não configuração inicial por parte do projetista. Para este trabalho, não se realizou a modificação das configurações padrão do *software*, pois o objetivo foi não interferir nos resultados gerados pelas configurações iniciais do mesmo.

Observou-se que a maior diferença da quantidade de materiais aconteceu no concreto, justamente pelos blocos dimensionados por meio do *software* apresentarem altura maior, gerando um maior volume. As quantidades de aço encontradas para os blocos de duas estacas foram parecidas, tanto para o dimensionamento manual quanto para o dimensionamento por meio do *software*, já para os blocos sobre seis estacas encontrou-se 23,29% de peso a mais no bloco dimensionado manualmente. Em relação aos orçamentos, a maior diferença final dos preços dos blocos se deu por causa das quantidades de concreto utilizadas. A comparação de custos por meio do SINAPI em relação aos custos do SINDUSCON foi interessante para analisar se há diferenças significativas em orçamentos finais entre esses dois métodos tradicionais de orçamentação. Chegou-se à conclusão que ao final de uma obra essa diferença não seria significativa. O que pode ser observado com maior discrepância de preços é a mão de obra, sendo que o valor do SINAPI é maior que o dobro.

Enfim, pode-se concluir que pequenos ajustes nas configurações iniciais do *software* podem gerar uma grande diferença ao final dos dimensionamentos e, principalmente, na economia dos projetos desenvolvidos, sendo interessante aos engenheiros que utilizem uma ferramenta automatizada de cálculo configurar corretamente as opções permitidas pelo *software* a fim de obter projetos mais eficientes e econômicos, sem superdimensionamentos, efetuando sempre uma análise crítica de seus resultados.

10. Agradecimento

À Universidade de Passo Fundo e ao Curso de Engenharia Civil por me darem total suporte no decorrer da pesquisa. Ademais, agradeço aos professores Dr. Maciel Donato e Dr. Guilherme Fleith de Medeiros por me orientarem no decorrer da pesquisa.

11. Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 33p. 2019.
- BASTOS, P. S. dos. S. Blocos de Fundação. 2023. 73 p. Apostila (notas de aula na disciplina 2133 – Estruturas de Concreto III) - Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista, Bauru.
- CINTRA, J. C. A. ; AOKI, N. Fundações por estacas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de textos, 2010.
- CTC INFRA. Conheça os tipos de fundações profundas e quando são usadas, 2023. Disponível em: < <https://ctcinfra.com.br/fundacoes-profundas/>>. Acesso em: 01, Junho de 2024.
- CUNHA, M.; MOURA, E. Análise da classificação dos blocos de coroamento sobre estacas quanto à sua rigidez à luz do CEB-70 e da NBR 6118/2014. Rio de Janeiro: ABPE, 2018.
- MUNHOZ, F. S. Análise do comportamento de blocos de concreto armado sobre estacas submetidos à ação de força centrada. 2004. 160p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Departamento de Engenharia da EESC-USP. São Carlos.



NETO, F. M. M. Desenvolvimento de programa computacional para dimensionamento de blocos de coroamento. 2017. 19p. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.

PIMENTEL, M. L. ; ROSA, W. L. ; ASSIS, R. de C. T. Fundações rasas: tipos e utilização. Univértix tr, p. 1-9, Janeiro, 2020.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. SINDUSCON-RS, 2024. Disponível em: < <https://sinduscon-rs.com.br/cub-rs/>>. Acesso em: 01, Junho de 2024.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. IBGE, 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9270-sistema-nacional-de-pesquisa-de-custos-e-indices-da-construcao-civil.html#:~:text=O%20SINAPI%20tem%20por%20objetivo,execu%C3%A7%C3%A3o%20e%20an%C3%A1lise%20de%20or%C3%A7amentos.>>. Acesso em: 31, Março de 2024.