

Desafios e práticas adotadas na execução de blocos de fundação de grandes volumes no Brasil

ABRAHÃO BERNARDO ROHDEN - PROF. - ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8652-5064> (abrcivil@gmail.com);
MARIA EDUARDA CORBELLA SANTOS - ENG. | FURB

RESUMO

A CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS ALTOS MUITAS VEZES DEMANDA BLOCOS DE FUNDAÇÕES DE GRANDE VOLUME. O OBJETIVO DESTES TRABALHOS FOI REALIZAR UM LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS PRÁTICAS DE EXECUÇÃO DE BLOCOS DE FUNDAÇÃO DE GRANDES DIMENSÕES, ABORDANDO AS ETAPAS QUE ENVOLVEM ESTA EXECUÇÃO. PARA ISSO, ELABOROU-SE UM QUESTIONÁRIO ESTRUTURADO QUE FOI SUBMETIDO AOS ENGENHEIROS RESPONSÁVEIS DAS OBRAS QUE UTILIZARAM BLOCOS DE GRANDES DIMENSÕES. A PESQUISA FOI APLICADA EM QUATRO OBRAS DE EDIFÍCIOS ALTOS CONSTRUÍDOS EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ/SC. A PESQUISA CONTEMPLA DOIS EDIFÍCIOS QUE JÁ OCUPARAM A CONDIÇÃO DE MAIS ALTOS DO BRASIL. COMO RESULTADOS, IDENTIFICOU-SE QUE O USO DE GELO E ADITIVOS RETARDADORES DE HIDRATAÇÃO, BEM COMO O USO DE PAREDES DIAFRAGMA, ESTÃO ENTRE AS PRINCIPAIS PRÁTICAS UTILIZADAS NAS OBRAS DE BLOCOS DE GRANDE VOLUME.

PALAVRAS-CHAVE: CONCRETOS DE GRANDES VOLUMES, BLOCO DE FUNDAÇÃO, CALOR DE HIDRATAÇÃO, EDIFÍCIOS ALTOS.

1. INTRODUÇÃO

Com a escassez de terrenos em regiões nobres e

cada vez com valores mais elevados, há a tendência da concepção de edifícios cada vez mais altos, para melhor aproveitamento do espaço, o que desafia os engenheiros de todas as áreas da construção civil. A esbeltez de um edifício provoca grandes cargas a ser transmitidas para o solo em uma área restrita. Com o avanço da tecnologia na engenharia civil e a possibilidade de construir edifícios cada vez mais altos, os projetos de fundações precisam acompanhar este

avanço e utilizar soluções especiais ou pouco tradicionais.

Em edifícios muito altos, os pilares acabam sendo mais robustos e próximos. Devido ao grande carregamento da estrutura que os edifícios esbeltos provocam em suas fundações, o projeto de fundações independentes para cada pilar se torna inviável, pois as fundações passariam a se sobrepor. No caso das fundações, particularmente, a definição da tecnologia a ser utilizada envolve o estudo das características do solo,

grandeza e natureza das cargas a serem suportadas, tecnologias disponíveis e aspectos econômicos. Além disso, deve-se chamar a atenção quanto ao dimensionamento das fundações, que deve atender não apenas aos critérios de resistência, mas também aos limites de recalques.

A tendência de solução para as fundações desses edifícios esbeltos são as fundações mistas, unindo bloco de fundação sobre estacas. Blocos sobre estacas ou blocos de coroamento são elementos estruturais usados para transferir as ações da superestrutura



FIGURA 1

EDIFÍCIOS ESTUDADOS: (A) *INFINITY COAST RESIDENCE*; (B) *YACHTHOUSE BY PININFARINA (TOWER 1)*; (C) *OLYMPO TOWER*; (D) *EPIC TOWER*

FONTE: VILLANOVA, 2022

para um conjunto de estacas (VELLOSO; LOPES, 2019). Quando, após todos os estudos necessários, chega-se a um projeto de fundação no qual a melhor solução técnica converge para um bloco de fundação de grandes dimensões, inicia-se, então, um desafio para a execução de tal elemento de fundação.

Neste trabalho foram apresentadas as etapas para execução do bloco de fundação de grandes dimensões sobre estacas através de estudos de caso que foram realizados por meio de questionários de quatro obras já executadas, com o objetivo de conseguir visualizar as diferenças e peculiaridades de cada execução.

O objetivo desta pesquisa foi realizar um levantamento das principais práticas de execução de blocos de fundação de grandes dimensões, abordando as etapas que envolvem esta execução. A pesquisa se delimita a edifícios construídos na cidade de Balneário Camboriú/SC.

2. APRESENTAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Na Figura 1, são apresentados os edifícios estudados no presente trabalho, em um total de 4 empreendimentos. Edifício *Infinity Coast Residence* (a) foi o primeiro edifício do Brasil a ultrapassar a altura de 200 metros de altura. Sua altura total é de 234,8 m. O Edifício foi concluído no ano de 2019 e executado pela Construtora FG Empreendimentos. O Edifício *Yachthouse by Pininfarina* (b) é composto por duas torres idênticas com altura de 280,3 m, tendo a Construtora Pasqualotto & GT Empreendimentos como responsável pela sua execução. Este Edifício foi concluído no ano de 2022 e tornou-se o edifício mais alto do Brasil de acordo como o portal *skyscrapercenter* (VILLANOVA, 2022).

O Edifício *Olympo Tower* (c) apresenta uma altura total de 157 m e o Edifício *Epic Tower* (d) apresenta altura total de 191,2 m, sendo ambos construídos pela Construtora FG Empreendimentos e entregues em 2020.

3. DESCRIÇÃO DAS SOLUÇÕES ADOTADAS NAS FUNDAÇÕES E NOS ELEMENTOS DE TRANSIÇÃO

A seguir, são apresentadas (para cada empreendimento) as soluções adotadas para as fundações, acompanhadas de discussão, em especial voltada à execução

dos blocos de transição concebidos em cada situação.

3.1 Edifício *Infinity Coast Residence*

Como solução para fundação do edifício, foi concebido um bloco especial de fundação com uma altura de 5 m e volume de 5.450 m³ (volume de projeto). Para caracterização do solo, realizou-se sondagem a percussão (SPT), além de sondagem geofísica utilizando o método da eletrorresistividade.

A profundidade do lençol freático era de 2,5 m abaixo da cota superior do bloco, o que levou a um rebaixamento de 3,5 m de água (1,0 m a abaixo da cota inferior do bloco). O método utilizado para o rebaixamento foi o de ponteiros filtrantes. A contenção da escavação do bloco foi realizada com parede diafragma. A parede diafragma também serviu como fôrma perdida na concretagem do bloco.

A fundação profunda do bloco empregou 125 estacas do tipo escavadas com polímero, com diâmetro de 150 cm. Deste total, 59 estacas foram apenas escavadas e obtiveram uma média de 23,5 m de profundidade, chegando ao topo da rocha; a armadura foi colocada por toda a sua extensão. As 66 demais estacas tiveram comprimentos inferiores e, por isso, receberam 3 estacas raiz cada como reforço. Em cada estaca, foram colocados 3 tubos de aço com 50 cm de diâmetro junto com a armadura da estaca e, a partir desses 3 tubos, eram executadas estacas raiz, perfurando uma média de 12,8 m além do topo da rocha.

Entre os problemas encontrados na etapa de execução das estacas, pode-se destacar a baixa produtividade que a estaca raiz tem em sua execução - cerca de duas por dia de trabalho. Após algum tempo com alguns ajustes de produção, foi possível chegar à execução de 3 es-

tacas por dia. Para a execução e finalização das estacas, foram necessárias cerca de 30 pessoas envolvidas e cinco meses de trabalho.

Após o estaqueamento da área onde foi alocado o bloco, iniciou-se a escavação, que foi realizada concomitantemente com o arrasamento das estacas. Foram utilizadas três retroescavadeiras para realizar a escavação dos 5.450 m³ de solo. À medida que as estacas eram desobstruídas pelo solo, iniciava-se o arrasamento das cabeças, até chegar na armadura para a ancoragem no bloco. Foram utilizados martelletes rompedores pneumáticos, cerca de doze, a utilização do anel rompedor foi avaliada, porém, devido ao diâmetro das estacas, não foi possível a sua utilização. Para auxiliar na produtividade, o método utilizado foi a argamassa expansiva. Em dois meses foram finalizadas essas etapas, de escavação e arrasamento das estacas, com cerca de 50 pessoas envolvidas.

Finalizado a escavação e as estacas estando com as esperas na cota prevista, foi realizada a regularização do solo no fundo do bloco e lançado um lastro de "concreto magro", para que as armaduras não entrassem em contato com o solo (Figura 2).

Na armação do bloco foram utilizadas 625 toneladas de aço, uma grua e cerca de 35 trabalhadores foram empregados para concluir a etapa em dois meses. Essa armação tinha como característica uma densidade de armadura concentrada nas faces



FIGURA 2

ESPERAS DAS ESTACAS PARA ANCORAGEM NO BLOCO



FIGURA 3

POÇO DO ELEVADOR REFORÇADO E PREENCHIDO COM ÁGUA PARA RESISTIR AO EMPUXO

FONTE: SALUM *et al.*, 2014



FIGURA 4

USO DE NITROGÊNIO LÍQUIDO PARA MANTER O GELO EM ESTADO SÓLIDO POR MAIS TEMPO

FONTE: SALUM *et al.*, 2014

do bloco, produzindo uma concepção de armação tipo “gaiola”. Devido à elevada altura do bloco, um desafio foi a sustentação da camada superior.

Na Figura 3, é mostrado o poço dos elevadores, para auxiliar no travamento das fôrmas, além do atirantamento. A parte interna do poço também foi sendo preenchida com água para diminuir a possibilidade de movimentação das fôrmas.

A resistência característica do concreto utilizado foi de 30 MPa e 45 MPa. O volume total de concreto utilizado foi de 5.507 m³, sendo que, em função da maior facilidade

de aplicação, optou-se pelo concreto autoadensável. Também em função do volume elevado, foi necessário o emprego de gelo e fibras para minimizar o calor de hidratação e o surgimento de fissuras. O bloco foi concretado no mês de fevereiro de 2014, com temperaturas do ambiente próximas a 40°C. Além do gelo em escamas previsto inicialmente, também foi empregado nitrogênio líquido (Figura 4) para ajudar no resfriamento, de modo complementar (SALUM *et al.*, 2014). Sabe-se que é possível obter-se temperaturas do concreto ainda mais baixas com o uso do nitrogênio (em relação

ao gelo), mas o custo de sua aplicação é maior.

O lançamento do concreto foi realizado ao longo de 5 dias das 07:00 às 19:00 horas, em virtude da legislação da cidade de Balneário Camboriú. Para evitar a ocorrência de juntas de concretagem, empregou-se aditivo estabilizador de hidratação em porcentagens decrescentes para cada dia de concretagem para que o endurecimento do concreto acontecesse apenas ao final do lançamento de todo o concreto.

Para a concretagem, foram utilizados 10 pontos de descarga, sendo 9 calhas

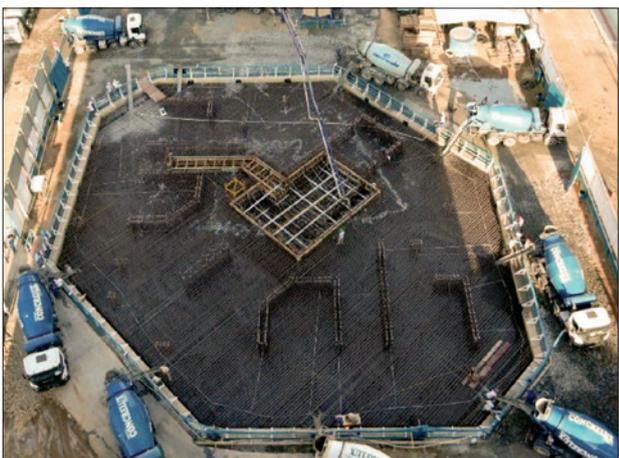


FIGURA 5

CAMINHÕES BETONEIRA DESCARREGANDO CONCRETO



FIGURA 6

CONCRETAGEM DO BLOCO CONCLUÍDA



FIGURA 7

EXECUÇÃO DAS ESTACAS DE HÉLICE CONTÍNUA PARA CONTENÇÃO DA ESCAVAÇÃO



FIGURA 8

UTILIZAÇÃO DE PERFIS METÁLICOS PARA SUPORTE DA CAMADA SUPERIOR DO BLOCO

metálicas distribuídas na borda do bloco e uma bomba tipo lança para lançar o concreto no centro do bloco (Figura 5). O canteiro foi preparado para o grande fluxo de caminhões, sendo utilizada brita nº4 e concreto para regularização dos pontos manobra e descarga dos caminhões. Na Figura 6, apresenta-se o bloco de fundação após a conclusão da concretagem.

3.2 Edifício Yachthouse by Pininfarina – Tower 1

O bloco de fundação do Edifício Yachthouse by Pininfarina (Tower1) tem 3,5m

de espessura e um volume de 4.440 m³ de concreto. A caracterização do solo foi realizada a partir sondagem a percussão (SPT) e rotativa. O lençol freático foi identificado a 1,0 m de profundidade a partir da superfície do bloco. Para realização da obra, o lençol foi rebaixado com método de ponteiros filtrantes até a cota de 4,5 metros abaixo do topo do bloco.

Para escavação do bloco de fundação, realizou-se a estabilização do terreno com estacas de hélice contínua. Na fundação profunda da torre foram utilizadas 308 estacas de 100 cm de diâmetro. A escavação das estacas aconteceu a partir da escavação do

bloco de fundação (Figura 7) com estacas de hélice contínua de 20 metros de profundidade assentadas sobre superfície rochosa. A execução das estacas durou 4 meses de obra, onde trabalharam 10 operários.

O arrasamento das estacas foi realizado com retroescavadeira com anel arrasador, retroescavadeira com martelo rompedor e, para o acabamento, cerca de 12 rompedores pneumáticos manuais. Para esta etapa, que teve duração de 6 meses, foram utilizados cerca de 70 operários. Em função da falta de regularidade das estacas de justapostas, houve a necessidade de regularização das paredes internas do



FIGURA 9

CONCRETAGEM DO BLOCO SENDO FINALIZADA



FIGURA 10

CONCRETAGEM DO BLOCO, UTILIZANDO 2 BOMBAS LANÇA

bloco com formas de madeira, etapa que durou um mês e demandou 10 operários.

A regularização do solo na base do bloco foi realizada com lastro de “concreto magro”. Foram utilizadas 530 toneladas de aço na armadura do bloco de fundação, incluindo barras de aço com diâmetro de 40 mm. A armadura do bloco de função em formato de “gaiola” foi realizada com auxílio de perfis metálicos e grua, além de 30 operários, tendo-se uma duração de 2 meses (Figura 8).

O concreto utilizado na concretagem do bloco de fundação foi um concreto usual na região, com f_{ck} de 40 e 50 MPa. O concreto foi dosado com superplastificante e aditivos estabilizador de hidratação para evitar a formação de junta de concretagem. Para controle da temperatura, foi utilizado gelo na dosagem do concreto. O concreto foi vibrado (Figura 9), sendo utilizado 5 vibradores de imersão em toda a concretagem. O volume total de concreto lançado foi de 4.176 m³. A concretagem foi realizada ao longo de 5 dias em novembro de 2014. Foram utilizados dois pontos de descarga, contando com duas bombas tipo lança (Figura 10).

3.3 Edifício Olympo Tower

Este edifício conta também com um sistema de fundação misto, ou seja, bloco de fundação (transição) sobre estacas. O bloco em questão tem 2,5 m de altura nas regiões periféricas e na região central, do poço do

elevador, uma altura da ordem de 3,5 m, totalizando um volume nominal de 1.090 m³.

A investigação do solo, etapa para reconhecimento inicial, deu-se através de ensaios SPT e sondagem rotativa. Os ensaios indicaram, entre outras informações, o nível do lençol freático de 2,6 m abaixo da cota superior do bloco a ser executado; portanto foi realizado um rebaixamento de 1,5 m a partir da cota superior do nível de água, rebaixamento realizado através do método de ponteiros filtrantes.

Para a contenção do solo das laterais do bloco, foi utilizado o método executivo de estacas justapostas feitas em hélice contínua, sendo que a facilidade na execução foi o que determinou a escolha desta solução de contenção. Durante a etapa de escavação, no entanto, constatou-se que, entre as estacas justapostas, não houve uma vedação total e muita água percolava entre as estacas, obrigando que, a cada metro escavado dentro do bloco, fosse feita uma concretagem entre as estacas para impedir a passagem da água.

Para a fundação profunda do bloco foram executadas 103 estacas de 80 cm de diâmetro, realizadas com perfuratriz hélice contínua, atingindo a rocha com uma média de 12 m de cota de ponta. A etapa foi concluída em quatro meses envolvendo 10 operários.

Seguindo para a escavação do terreno onde estavam localizados o bloco e as

estacas, foram necessários duas retroescavadeiras e uma miniescavadeira para fazer toda a escavação, com cerca de 10 operários realizando os trabalhos em um mês. Para o arrasamento das estacas os equipamentos utilizados foram uma retroescavadeira com anel arrasador e uma miniescavadeira com rompedor acoplado. Para acabamento do arrasamento das estacas, foram empregados rompedores pneumáticos manuais. Cerca de 20 operários estavam envolvidos nesta etapa com duração de dois meses.

As fôrmas laterais do bloco não foram executadas em virtude dos vãos das estacas de contenção já terem sido concretados, sendo assim já regularizadas as paredes do bloco, servindo como forma. Em seguida, foi realizada a etapa de armação do bloco (Figura 11), em que cerca de 130 toneladas de aço formaram a armadura do bloco.

A concretagem foi realizada com a combinação de concreto autoadensável com concreto comum. Na região mais profunda do bloco no primeiro metro de espessura, foi utilizado o concreto autoadensável, em função da densidade de armadura desta região ser muito alta. No restante da altura do bloco empregou-se concreto com um abatimento alto (maior que 15 cm), sendo então adensado com vibrador de imersão. O lançamento do concreto levou 5 dias, nos dois primeiros dias foi empregada uma bomba com lança. A partir do terceiro dia de



FIGURA 11

ARMADURA MONTADA DO BLOCO



FIGURA 12

CONCRETAGEM DO BLOCO SENDO FINALIZADA

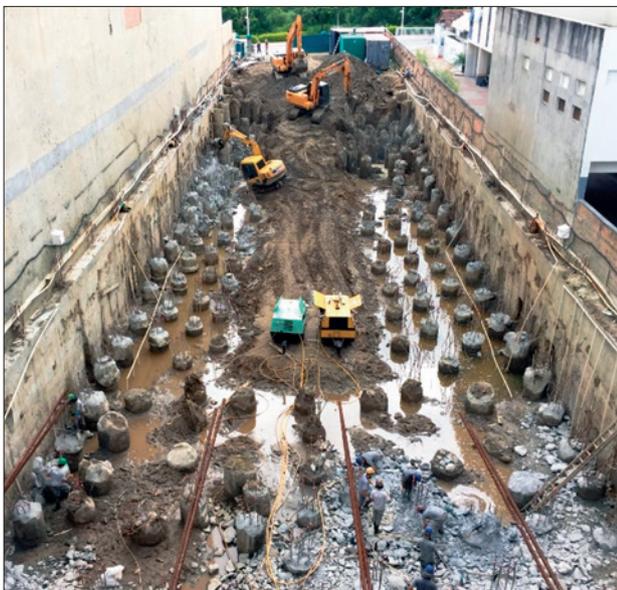


FIGURA 13

LOGÍSTICA PARA ESCAVAÇÃO



FIGURA 14

ANEL ARRASADOR DE ESTACAS

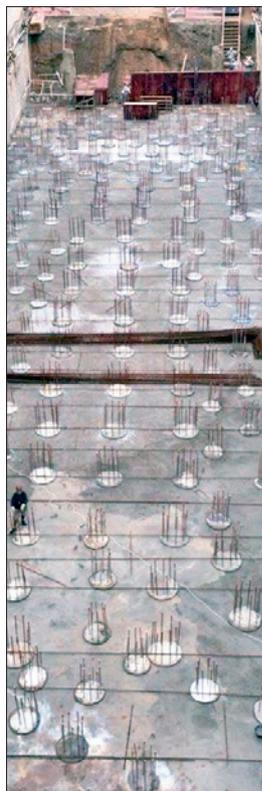
concretagem, foram empregados dois pontos de descarga.

3.4 Edifício Epic Tower

A solução de fundação do Edifício Epic Tower também foi um bloco com espessura de 3,5 m e um volume de 4.455 m³. Após os estudos preliminares de análise do terreno por meio de ensaios SPT, foi constatada a necessidade do rebaixamento do lençol freático em 1,0 m abaixo da cota inferior do bloco para que não houvesse problemas com água durante os trabalhos, o que foi realizado pelo método de ponteiros filtrantes.

Para a estabilização do terreno das laterais do bloco, foram feitas paredes diafragma, visto que o bloco ocupa metade do terreno e faz divisa com outros terrenos, e que as edificações vizinhas são muito próximas do bloco, portanto esta escolha foi a mais adequada para suportar as cargas atuantes na contenção.

Na fundação profunda do edifício foram utilizadas 277 estacas de hélice contínua, sendo 54 estacas de 100 cm de diâmetro e as restantes com 80 cm de diâmetro. A etapa foi concluída em cerca de quatro meses com o envolvimento de aproximadamente 10 pessoas. A etapa de



A



B



C

FIGURA 15

EVOLUÇÃO DA ARMAÇÃO DO BLOCO (A) REGULARIZAÇÃO DA BASE DO BLOCO COM CONCRETO MAGRO; (B) ARMADURA DA BASE DO BLOCO; (C) ARMADURA DO TOPO DO BLOCO



FIGURA 16

CONCRETAGEM SENDO FINALIZADA COM 2 BOMBAS LANÇA DE EM UM LADO, E UMA BOMBA ESTACIONÁRIA DO OUTRO

arrasamento das estacas foi desafiadora, devido às características do canteiro de obras (Figura 13). Ao serem finalizadas as etapas de escavação e arrasamento das cabeças das estacas (Figura 14), foi efetuada a regularização do solo no fundo do bloco e, em seguida, lançado o lastro de concreto magro (Figura 15-a); após sua cura, foi iniciada a armação, totalizando 538 toneladas de aço (Figura 15-b). O suporte da camada superior do bloco foi feito com barras de aço dobradas de modo a escorar todo o peso das camadas de aço (Figura 15-c). Esta etapa durou dois meses e teve cerca de 70 pessoas envolvidas.

Foram utilizadas fôrmas convencionais nas extremidades do bloco e do poço do elevador, para combater a ação do empuxo do concreto. Complementarmente, foram usadas escoras metálicas segurando as paredes da forma, bem como a fôrma do fosso do elevador foi preenchida com água.

Finalizada a armação do bloco, iniciou a concretagem, totalizando um volume de 4.300 m³ de concreto. O f_{ck} do concreto definido em projeto foi de 40 MPa e 50 MPa. Empregou-se aditivo superplastificante, produzindo um concreto autoadensável, de forma a eliminar a necessidade do uso de vibradores, tendo em vista a alta densidade das armaduras inferiores e

as elevadas dimensões do bloco, optou-se por esta alternativa visando à redução do cronograma de concretagem. Foram utilizados aditivos retardadores de pega, cada dia uma quantidade para possibilitar a que a concretagem fosse realizada em diferentes dias, sem a formação de junta fria. Como ação preventiva aos potenciais danos do calor de hidratação, empregou-se gelo para resfriamento do concreto no lançamento. A concretagem foi realizada ao longo de 5 dias de operação, de forma contínua (sem a adoção de camadas parciais) (Figura 16).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os blocos de fundação de edifícios altos apresentam diversos desafios. Tendo em vista as principais práticas de execução empregadas, nos 4 estudos de caso relatados, destacam-se:

- ▶ Uso de aditivos estabilizadores de hidratação do concreto visando a não ocorrência de juntas de concretagem;
- ▶ Uso de ponteiros filtrantes para rebaiamento do lençol freático durante a escavação e atividades de armação e concretagem dos blocos;
- ▶ Emprego de parede diafragma na contenção de escavação, servindo também de forma para a concretagem do bloco de fundação;
- ▶ Emprego de concreto com resistências de 40 e 50 MPa, autoadensável para concretagem dos elevados volumes, bem como em função das elevadas densidades de armaduras localizadas nas faces dos blocos;
- ▶ Uso de gelo em escama no concreto auxiliando no controle da temperatura do calor de hidratação em virtude dos altos volumes de concreto. ☹

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SALUM, P. L. *et al.* Estudos prévios para execução de bloco de coroamento de grande volume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 56, 2014. Natal. Anais. Florianópolis, 2014.
- [2] SANTOS, M. E. C. Elaboração de roteiro para execução de blocos de fundação de grandes dimensões. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. FURB. Blumenau/SC. 2016.
- [3] VILLANOVA, L. H. B. Council on Tall Buildings and Urban Habitat. Yachthouse por Pininfarina Tower 2. Balneário Camboriú. Disponível em <<https://www.skyscrapercenter.com/building/yachthouse-by-pininfarina-tower-2/16126>> Acesso em 15/11/2022.
- [4] VELLOSO, D.; LOPES, F. R. Concepção de Obras de Fundações. In Fundações, Teoria e Prática. Ed. HACHICH, Waldemar, et al. São Paulo: ABMS/ABEF. Editora Oficina de textos. 2019.
- [5] FURNAS, Equipe de; Laboratório de Concreto. Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades. Pacelli de Andrade, W., ed. São Paulo, Pini, 1997.