

Fundação Offshore com Estaca de Grande Diâmetro Ancorada em Rocha – Caso da EEAB Jaguari

Danielle Fernanda Morais de Melo

Engenheira Civil, MSc., GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente, Barueri, Brasil, danielle.melo@geocompany.com.br

Mariana Alves Traskurkemb

Engenheira Civil, Esp., GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente, Barueri, Brasil, mariana.traskurkemb@geocompany.com.br

Thomaz Henrique Leite

Engenheiro Civil, Gerente de Geotecnia, GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente, Barueri, Brasil, engenharia@geocompany.com.br

Habib Georges Jarrouge Neto

Engenheiro Civil, Gerente de Projetos, GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente, Barueri, Brasil, habib@geocompany.com.br

Izabel Gomes Bastos

Engenheira Civil, MSc., Gerente de Projetos, GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente, Barueri, Brasil, izabel@geocompany.com.br

Roberto Kochen

Professor Doutor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil
Diretor Técnico, GeoCompany Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente, Barueri, Brasil, kochen@geocompany.com.br

RESUMO: O artigo tem como objetivo apresentar a fundação realizada na estrutura de captação de água bruta denominada por EEAB Jaguari, parte integrante da obra de Interligação entre as Represas Jaguari e Atibainha. A estrutura está localizada dentro do reservatório da barragem de Jaguari, de modo que toda a fundação foi executada com auxílio de barcos, flutuantes e mergulhadores profissionais, devido à complexidade para sua execução. A fundação foi executada através de estacas de grande diâmetro, de 4,20m e pinos de 1,80m, escavadas em rocha. A execução da fundação ocorreu de forma a garantir a qualidade na execução assegurando o desempenho da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Fundação Offshore, Estaca de Grande Diâmetro, Fundação em Rocha.

1 INTRODUÇÃO

A Estação Elevatória de Água Bruta Jaguari (EEAB Jaguari) é parte integrante da obra de interligação entre as Represas Jaguari e Atibainha que permitiu o fluxo de água entre as bacias hidrográficas do Cantareira e do

Paraíba do Sul, trazendo segurança hídrica para a população da Região Metropolitana de São Paulo. Tal obra pode ser dividida em 3 elementos principais que são a EEAB Jaguari, a EEAB Atibainha e o caminhamento entre tais estruturas, com 13,3 km de adutora e 6,1 km de túneis.

O sistema adutor foi concebido para operar com dois sentidos de fluxo. No sentido Jaguari-Atibainha a operação se dá através de conduto forçado, enquanto que no sentido Atibainha-Jaguari a adução se dá por gravidade, aproveitando o desnível geométrico favorável. A adução acontece através de tubulação de aço com diâmetro de 2200mm. A velocidade de transporte é de 2,2m/s no sentido Jaguari-Atibainha (Etapa Imediata) e de 3,2m/s no sentido inverso (Etapa Complementar).

O objetivo deste artigo é apresentar a solução adotada para a fundação da EEAB Jaguari, cuja estrutura tem dimensões externas de 30,2 x 29,7 metros. A fundação foi realizada completamente submersa, dentro do reservatório da barragem de Jaguari, através do apoio de flutuantes, guindastes e martelo de cravação, além do constante apoio de equipe de mergulhadores profissionais para o acompanhamento dos serviços. A lâmina d'água no local da estrutura apresentava uma altura em relação ao fundo do reservatório de, aproximadamente, 20,00m, na época da construção.

A Figura 1 apresenta uma foto da EEAB após a etapa construtiva, na qual é possível observar a locação da obra e parte da estrutura de suporte. A ligação entre a plataforma da EEAB e a margem do reservatório foi realizada por uma Ponte de Serviço, com 5,80m de largura e 70 metros de extensão, executada através de estrutura metálica.

2 EEAB JAGUARI

A Estação Elevatória de Água Bruta Jaguari é composta por 6 conjuntos de motobomba de eixo verticais de 5000cv de potência, dispostas em duas linhas paralelas com 3 bombas cada, e a tubulação no formato espinha-de-peixe. No centro destas linhas existe um tubo coletor de recalque (cavalete) com DN 2200mm que receberá a descarga das 6 bombas. O conjunto tem a capacidade de

transportar uma vazão média de 5,13m³/s e uma vazão máxima de 8,5m³/s a um desnível geométrico de 176m no sentido Jaguari-Atibainha.



Figura 1 – EEAB Jaguari – vista após a execução

Os poços de captação têm dupla funcionalidade, atuam como estrutura de captação, na qual serão instaladas as bombas verticais para tomada de água, e servem também como elemento de transmissão da carga, da estrutura para a fundação.

A estrutura da EEAB Jaguari é apoiada sobre dois blocos e os seis poços de captação. Cada um dos blocos é suportado por 4 estacas com diâmetro de 1,20m no trecho em solo e de 1,00m no trecho em rocha. Sob cada poço de captação a fundação se deu através de um estacão de grande diâmetro, 4,20m, ancorado em rocha através de um pino de 1,80m de diâmetro. Na Figura 2 é apresentada uma perspectiva da estrutura, na qual é possível visualizar os apoios descritos.

3 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

A construção dos poços e das suas fundações foi realizada completamente submersa, dentro do reservatório da barragem de Jaguari, através do apoio de flutuantes, guindastes e martelo de cravação, além do constante apoio de equipe de mergulhadores profissionais para o acompanhamento dos serviços.

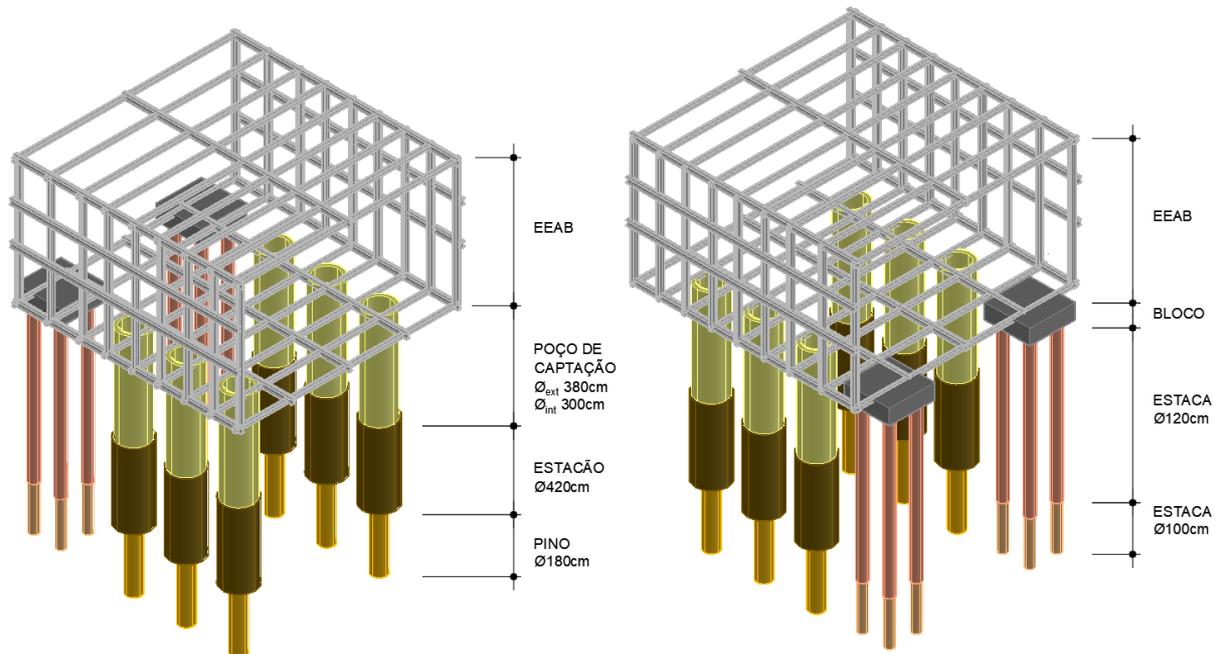


Figura 2 – Perspectivas da EEAB Jaguari

O flutuante principal utilizado tinha dimensões de 40 x 70m, o maior em operação no Brasil, com guindaste de capacidade de 220tf operando embarcado. A principal dificuldade construtiva se deu pela opção de executar a estrutura dentro do reservatório, sem o auxílio de uma ensecadeira. Na Figura 3 é apresentada uma situação de construção, na qual é possível visualizar a dificuldade inerente à construção de fundação *offshore*. A lâmina d'água no local da estrutura apresentava uma altura em relação ao fundo do reservatório de, aproximadamente, 20 metros de profundidade.



Figura 3 – Construção através do apoio de flutuantes e guindastes

Tal medida construtiva foi tomada para que fosse possível atender ao curto prazo de

construção, tendo em vista que a obra foi uma resposta do Governo do Estado de São Paulo à crise hídrica que atingiu o Estado nos últimos anos.

Cada um dos poços de captação apresenta a mesma configuração, como mostrado na Figura 4, no corte típico da estrutura de fundação.

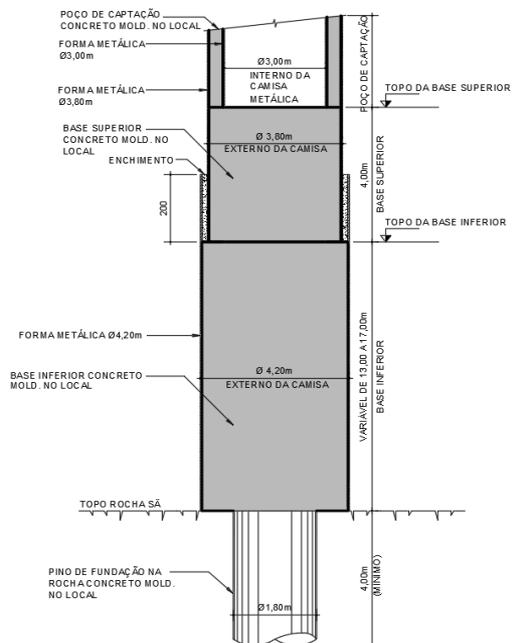


Figura 4 – Corte transversal da estrutura de fundação do poço de captação

Nesse corte é possível observar que a estrutura é composta pelos seguintes elementos: pino de fundação com diâmetro de 1,80m embutido em rocha sã, base com diâmetro de 4,20m concretado através do apoio de uma camisa metálica e o poço propriamente dito, com diâmetro externo de 3,80m e diâmetro interno de 3,00m que também foi concretado através da utilização de camisas metálicas. Para a construção das fundações o primeiro passo foi a cravação de uma camisa metálica de 4,20m de diâmetro até encontrar o topo rochoso. Esse procedimento encontrou dificuldade na execução, já que o topo rochoso é variável e a camisa metálica precisava se manter indeformada e no prumo. Para garantir a execução de acordo com o projetado, foi necessário um rigoroso controle de qualidade durante a cravação destas camisas. A Figura 5 representa esta etapa da construção. Após a cravação foi realizada a escavação em solo e rocha com perfuratriz do tipo *Wirth* com diâmetro de 4,20m até a cota especificada em projeto. O comprimento da perfuração com diâmetro de 4,20m para os poços 1 a 6 foi de 13,08m, 6,1m, 10,3m, 13,56m, 12,85m e 9,54m, respectivamente, o comprimento médio foi de 10,91m.



Figura 5 – Escavação da base da fundação com diâmetro de 4,20m

Com a conclusão do trecho encontrado em solo e em maciço rochoso alterado, se iniciou a escavação dos pinos de fundação, com diâmetro de 1,80m, escavado através de perfuratriz tipo *Wirth* com limpeza através de circulação reversa. O comprimento do pino de

fundação para os poços 1 a 6 foi de 10m, 10m, 10m, 4m, 5,15m e 10m, respectivamente, com comprimento médio de 8,2m.

Findada a escavação e limpeza do pino, foi iniciada a descida da gaiola de armação. A armação dos pinos foi montada juntamente com a armação dos estacões de 4,20m de diâmetro, formando uma estrutura em formato de cálice, conforme ilustrado na Figura 6. Após o posicionamento da armação foi realizada a concretagem em etapas, que foi realizada submersa através de tubo *tremie*. O consumo médio de concreto por apoio foi de 225m³, considerando do pino de fundação ao início da parede do poço de captação.



Figura 6 – Estrutura de armação em forma de cálice para o pino e base da fundação

Após a concretagem da fundação iniciou-se a execução dos poços de captação. A estrutura do poço de captação é composta por duas camisas metálicas, a camisa interna tem diâmetro de 3,00m e a externa tem diâmetro de 3,80m, de modo que a espessura da parede do poço é de 40cm.

A sequência de execução do poço de captação foi a seguinte: descida da camisa metálica de 3,80m de diâmetro, descida da armação da parede do poço e concretagem da região interna, descida de camisa metálica de 3,00m e concretagem da parede do poço de captação.

A parede dos poços ficou com espessura de 40cm, contendo aberturas, onde foram instaladas comportas, para permitir a captação da água.

A Figura 7 apresenta a sequência executiva

da construção de cada um dos poços de captação.

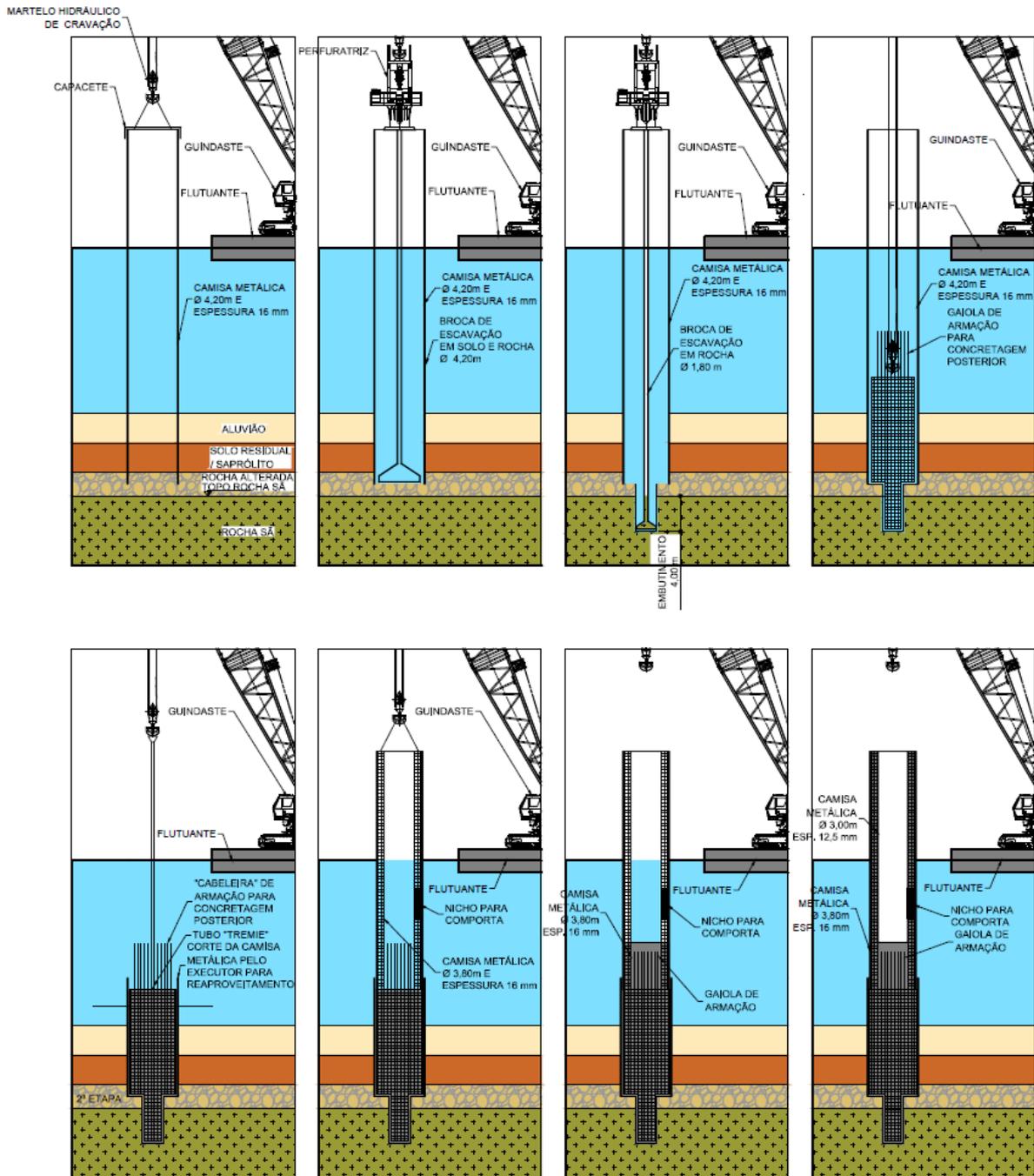


Figura 7 – Sequência executiva dos poços

4 SUBSOLO LOCAL

Para definição da fundação da estrutura foi executada uma campanha de sondagens com uma sondagem mista no eixo de cada um dos poços de captação da EEAB, e mais duas sondagens mistas na área ao redor destes. A

Figura 8 apresenta a distribuição dos elementos de fundação e a locação das sondagens mistas realizadas para caracterização do subsolo.

Com base na análise dos boletins obtidos nas sondagens, observa-se que o perfil geológico é composto por camada de aluvião (areia fina a grossa, com pedregulho fino a médio, com

trechos de argila siltosa, marrom amarelada a cinza variegada) sobre uma camada de solo residual (silte pouco arenoso, com mica, marrom escuro a marrom amarelado) sobre maciço rochoso (granito-gnaiss milonitizado pertencente ao granitóide intrusivo Santa Isabel (neoproterozoico), apresentando característica de rocha sã a pouco alterada, com trechos xistosos, com porfiroblastos de quartzo e k-feldspato, foliação inclinada, subvertical e incipiente, granolepidoblástico, fanerítico fino a médio, com trechos muito alterados, cinza escuro e branco). A Figura 9 apresenta o perfil longitudinal típico obtido.

- B-00** BLOCO DE FUNDAÇÃO
- G-00** POÇO DE CAPTAÇÃO
- SM-000** SONDAAGEM MISTA NA EEAB
- SM P-00** SONDAAGEM MISTA EIXO DO POÇO

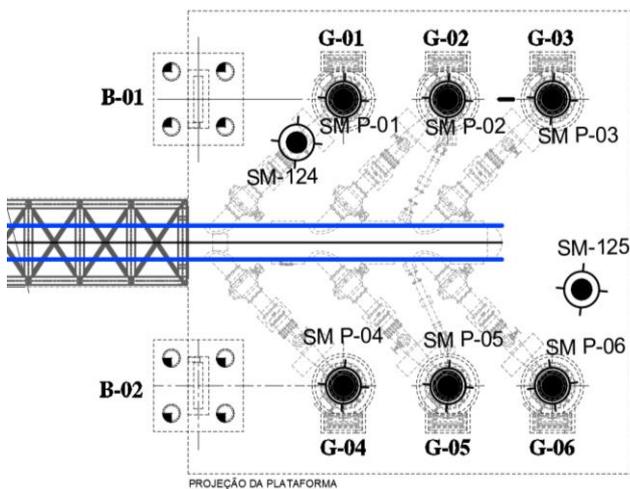
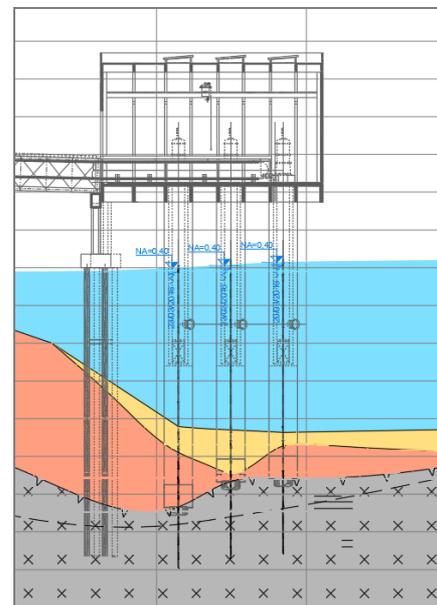


Figura 8 – Localização das Sondagens, Blocos e Poços

A definição da profundidade que ocorre o maciço rochoso e rocha sã foi realizada de acordo com análise dos boletins e dos testemunhos das sondagens mistas realizadas. Tais cotas foram utilizadas na determinação do comprimento de embutimento das estacas, conforme será apresentado adiante. Como os pinos de fundação estarão apoiados em rocha, apresentam cotas variáveis. A Figura 10 é uma representação tridimensional da geologia encontrada no local dos poços de captação, indicando a extensão da lâmina d'água, camada de solo, de rocha alterada e de rocha sã.



ALUVIÃO: AREIA FINA A GROSSA, COM PEDREGULHO FINO A MÉDIO (CASCALHO), COM TRECHOS DE ARGILA SILTOSA, MARROM AMARELADA A CINZA VÁRIEGADA

SOLO SAPROLÍTICO / SAPROLITO: SILTE ARENOSO (FINA), POR VEZES ARGILOSO, MICÁCEO, COM CAULIM, MARROM VÁRIEGADO A CINZA VÁRIEGADO

MACIÇO ROCHOSO: GRANITO-GNAISSE MILONITIZADO PERTENCENTE AO GRANITÓIDE INTRUSIVO SANTA ISABEL (NEOPROTEROZOICO), APRESENTANDO CARACTERÍSTICA DE ROCHA SÃ A POUCO ALTERADA, COM TRECHOS XISTOSOS, COM PORFIROBLASTOS DE QUARTZO E K-FELDSPATO, FOLIAÇÃO INCLINADA, SUBVERTICAL E INCIPIENTE, GRANOLEPIDOBLÁSTICO, FANERÍTICO FINO A MÉDIO, COM TRECHOS MUITO ALTERADOS, CINZA ESCURO E BRANCO

Figura 9 – Perfil longitudinal EEAB Jaguarí

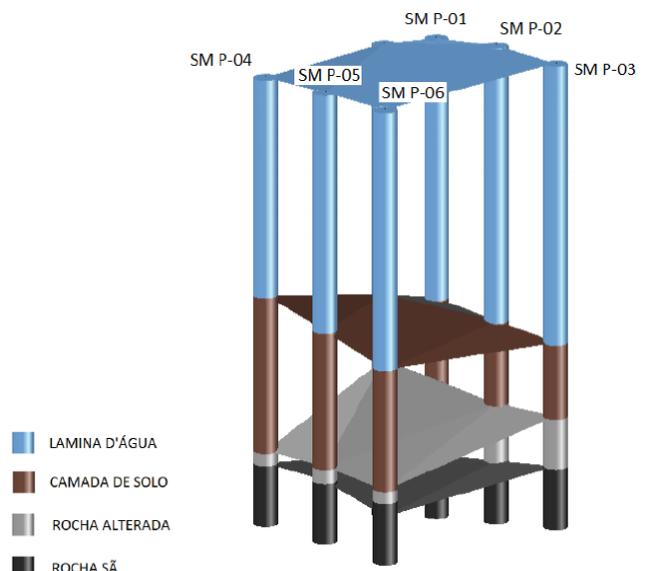


Figura 10 – Representação tridimensional das camadas existentes no local

5 FUNDAÇÃO EEAB JAGUARI

Cada uma das seis estruturas de captação foi

sustentada por 1 estação de 4,20m de diâmetro com pino de fundação de diâmetro de 1,80m e os 2 pilares foram sustentados por um bloco apoiado em quatro estacas de diâmetro de 1,20m no trecho em solo e 1,00m no trecho em rocha.

Para a definição das cargas atuantes foi utilizado o *software* STRAP 2009, programa de análise estrutural por elementos finitos, sendo considerada a estrutura de fechamento e cobertura, carga móvel adotada TB-45 e a ponte rolante com capacidade para 30tf, cujo peso é de 15tf. O carregamento obtido na fundação apresentou variação entre 1081 e 1771tf para os pinos e entre 166 e 229tf para os pilares. Tendo em conta a elevada carga e tensão atuante nas estacas, foi definido que o apoio das estacas seria em maciço rochoso de elevada competência, ou seja, rocha sã.

Apesar da estaca transpassar camadas de solo residual, devido a grande diferença entre os coeficientes de rigidez solo/rocha e a favor da segurança, foi considerado apenas a capacidade de carga do trecho em rocha, sendo desprezada a contribuição do solo (atrito lateral).

Para o dimensionamento da capacidade de carga das estacas foi utilizado o método proposto por Cabral-Antunes, apresentado no 4º Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia (2000). Tal método, assim como os métodos clássicos de dimensionamento de estacas (Aoki e Velloso, Decourt Quaresma) estabelece que a capacidade de carga de estacas embutidas em rocha pode ser considerada como a soma da parcela da resistência por atrito lateral com a parcela de resistência de ponta.

O método supracitado depende do fator da qualidade do maciço rochoso, que pode ser caracterizado por meio de ensaios de Resistência a Compressão Simples ($RCS = \sigma c$) e também da limpeza da ponta da estaca, onde ocorre o contato concreto-rocha, sendo empregado um coeficiente de segurança igual ou superior a 3,0 para a obtenção da tensão admissível na rocha à compressão simples. Com base nas informações das sondagens realizadas

no local de implantação da EEAB Jaguari, sendo obtido que a rocha do local (Gnaiss) pertence ao Tipo 1, rochas ígneas e metamórficas.

A partir do tipo de rocha e considerando o grau de alteração do maciço, Cabral e Antunes apresentam a tensão de ruptura na ponta e a tensão de compressão simples admissível na rocha através de tabelas. Para o valor apresentado é adotado um fator de segurança mínimo de 3,0.

A metodologia recomenda que a máxima tensão admissível do contato entre o concreto da base da fundação e a rocha deve ser inferior a 0,40 fck . O fck de projeto exigido para as estacas é de 30MPa, no entanto a NBR-6122 (2010) estabelece que o fck máximo a ser utilizado nos cálculos do projeto de estacas moldadas in loco é de 20MPa, sendo utilizado tal valor para limitar a tensão admissível, ou seja, tensão máxima de 8MPa.

A metodologia proposta por Cabral e Antunes prevê que o atrito lateral representa de 2,5% a 3,5% da resistência de ponta da fundação. Devido às características executivas, a metodologia recomenda ainda que a tensão do atrito lateral seja menor que o $fck/15$; ou seja, para o fck de cálculo de 20MPa, a tensão admissível máxima do contato entre concreto e a rocha no atrito lateral é de 1,3MPa.

Com relação ao comprimento mínimo de embutimento (Le) Cabral e Antunes recomendam a adoção de um fator de multiplicação do diâmetro da fundação (D) que leva em conta a qualidade da rocha de apoio e o nível de confiança da limpeza da ponta, que varia entre 0,5 D e 4,0 D .

Considerando o poço mais carregado, com carga de trabalho de 1771tf, foi obtido o comprimento total de embutimento da estaca em rocha de 9,0 metros, sendo 4,0 metros de embutimento em rocha sã.

Na definição dos comprimentos, foi adotado, conforme a prática atual de fundações e recomendação do método de dimensionamento utilizado, o comprimento mínimo de embutimento em maciço rochoso de elevada

competência (rocha sã) de 4,0m.

6 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma descrição da fundação *offshore* em rocha com estacas de grande diâmetro realizada na estrutura de captação da EEAB Jaguari, na obra de Interligação entre as Represas Jaguari e Atibainha.

Para servir de base para os poços de captação, a fundação foi feita através de estações de 4,20 m de diâmetro e pinos com diâmetro de 1,80 m. Cada um dos dois pilares foi sustentado por 1 bloco com 4 estacas, estas estacas têm diâmetro de 1,20 m no trecho em solo e de 1,00 m no trecho em rocha.

O projeto e execução dessa fundação apresentou características ímpares, como a dificuldade na logística de execução dentro da represa, com o posicionamento das camisas, gaiolas de armação e da própria concretagem, que teve que ser realizada em etapas.

Com as soluções inovadoras, empenho na elaboração do projeto e na execução da obra, o empreendimento pode ser entregue dentro do prazo estipulado, garantindo a segurança hídrica da região metropolitana de São Paulo.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido a partir dos dados de projeto executivo e acompanhamento técnico de obra. Os autores agradecem à SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e ao Consórcio Bacias Paraíba do Sul e Cantareira pela disponibilização dos dados para publicação.

REFERÊNCIAS

Cabral, D. A.; Antunes, W. R. Sugestão para Determinação da Capacidade de Carga de Estacas Escavadas Embutidas em Rocha. In: SEMINÁRIO

DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA, n. 4, 2000, São Paulo. Anais... São Paulo: ABEF-ABMF, 2000, v. 2, p. 169-173.
Hachich, W. Et Al. FUNDAÇÕES Teoria e Prática. Editora PINI, 1ª Edição, 1996.
GeoCompany (2016) Dados de Projeto e Acompanhamento Técnico de Obra.