XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/23

Aspectos Geotécnicos no Projeto da Primeira Lagoa de Ondas Artificiais da Cidade de São Paulo

Amanda Luiza Santiago Freitas
Departamento de Geotecnia, ENGECORPS Engenharia, Barueri, Brasil, amanda.freitas@engecorps.com.br

Bruno Barreto Rose
Departamento de Geotecnia, ENGECORPS Engenharia, Barueri, Brasil, bruno.rose@engecorps.com.br

Edwin Fernando Ruiz Blanco
Divisão de Infraestrutura, ENGECORPS Engenharia, Barueri, Brasil, edwinfernando.ruiz@engecorps.com.br

RESUMO: Este artigo apresenta os principais desafios de engenharia geotécnica no marco do projeto da primeira lagoa de ondas artificiais da cidade de São Paulo, localizada próxima ao rio Pinheiros. Inserida em um ambiente urbano de elevada complexidade geotécnica, a implantação desse tipo de infraestrutura exige critérios rigorosos de segurança e desempenho operacional, com especial atenção ao controle de recalques diferenciais. As condições locais incluíam lençol freático raso e presença de solos moles de baixa capacidade de suporte, tornando necessária a proposição de soluções de estabilização de aterros, otimização do uso de materiais e aplicação de técnicas de reforço e melhoramento de solos. Adicionalmente, a estrutura da lagoa, composta por múltiplos sistemas estruturais sujeitos a solicitações elevadas e à interação de diferentes combinações de esforços, exigiu a análise criteriosa das fundações, dimensionadas inclusive para resistir a carregamentos dinâmicos. Entre as soluções geotécnicas adotadas, destacam-se a concepção de sistemas de controle de subpressão, a aplicação da técnica de *Deep Soil Mixing* (DSM®) e o dimensionamento e especificação de diversos materiais geossintéticos, assegurando o controle efetivo dos recalques, o atendimento à capacidade de suporte requerida e a estabilidade global da estrutura, em um contexto de restrições significativas de prazo para execução. Por fim, o artigo ressalta a importância da aplicação integrada desse conjunto de soluções geotécnicas mediante o uso da metodologia BIM, visando maior precisão, confiabilidade e eficiência no projeto.

PALAVRAS-CHAVE: lagoa de ondas, solos moles, geossintéticos, DSM, subpressão.

ABSTRACT: This article presents the main geotechnical engineering challenges involved in the design of the first artificial wave cove, in the city of São Paulo, located near Pinheiros river. Situated in an urban environment with high geotechnical complexity, the implementation of this type of infrastructure requires strict safety and operational performance criteria, with special attention to the control of differential settlements. The local conditions included a shallow groundwater table and soft soils with low bearing capacity, which led to the adoption of embankment stabilization solutions, optimized use of materials, and soil reinforcement and improvement techniques. Additionally, the lagoon structure is composed of multiple structural systems, subjected to high loads and to the interaction of different types of stresses, which required robust foundations designed to withstand dynamic loads. Among the geotechnical solutions adopted, there are the design of uplift pressure control systems, the application of the Deep Soil Mixing (DSM®) technique, and the specification of various geosynthetic materials, ensuring effective settlement control, fulfillment of the required bearing capacity, and the overall stability of the structure, all within a context of significant time constraints for execution. Finally, the article highlights the importance of the integrated application of this set of geotechnical solutions through the use of Building Information Modeling (BIM), aiming for greater accuracy, reliability, and efficiency in project development.

KEYWORDS: waves cove lagoon, soft soils, geosynthetics, DSM, uplift pressure.

1 INTRODUÇÃO

A implantação de obras de infraestrutura em áreas urbanas consolidadas apresenta desafios geotécnicos significativos, decorrentes de condições desfavoráveis do subsolo, níveis elevados de lençol freático, restrições operacionais e prazos reduzidos. No Brasil, esses desafios têm sido enfrentados por meio da aplicação de técnicas de melhoria de terreno e reforço geotécnico, destacando-se o uso de colunas *Deep Soil Mixing* (DSM®) e geossintéticos.

Desenvolvida no Japão na década de 1960, a técnica DSM® passou a ser empregada no Brasil na década de 1970, tomando forma mais significativa a partir da década de 2010 em obras como os aterros ferroviários da Baixada Santista, os encontros da ponte sobre o Rio Tibiriçá na SP-333 e a ampliação do Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre. Associada aos geossintéticos, essa solução tem proporcionado redução de recalques, aumento da estabilidade global e maior eficiência construtiva em obras sobre solos moles.

Além do tratamento de solos moles com colunas DSM® e geossintéticos, o empreendimento da lagoa demandou soluções específicas para fundações e combate à subpressão. A utilização da metodologia BIM complementou o desenvolvimento do projeto, promovendo a integração multidisciplinar e a compatibilização das soluções adotadas. Nesse contexto, o projeto da primeira lagoa de ondas artificiais de São Paulo constitui um exemplo relevante da aplicação integrada dessas tecnologias.

2 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

A lagoa de ondas integra o empreendimento *Beyond the Club*, localizado na Marginal Pinheiros, ao lado da Ponte Transamérica. Executada com tecnologia *Wavegarden*, é atualmente a maior lagoa do mundo nesse sistema, equipada com 62 motores capazes de gerar mais de 30 tipos de ondas em intervalos regulares. A Figura 1 a seguir apresenta a imagem aérea do local de implantação da lagoa em conjunto com a sua projeção.

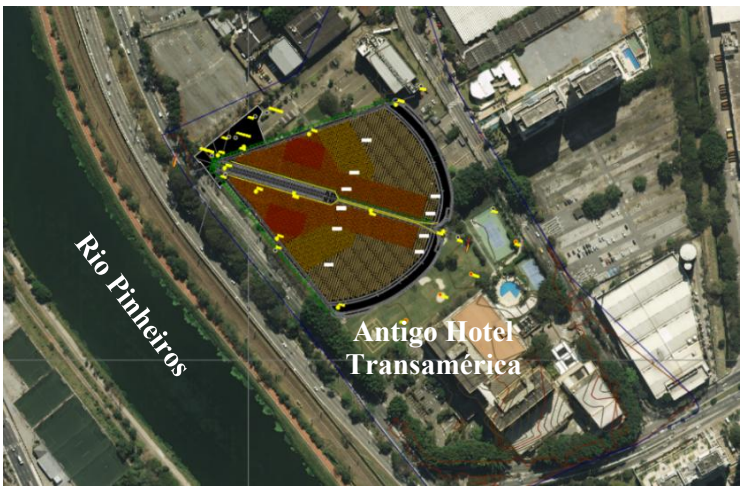


Figura 1. Localização da Lagoa de Ondas de São Paulo.

A estrutura possui área aproximada de 22.176 m², 200 m de comprimento, 185 m de largura máxima e profundidade de até 3,0 m. É composta por muros laterais e central em concreto armado, além do *plinth* que abriga os equipamentos geradores. O fundo apresenta batimetria específica executada em terraplenagem e revestida por geomembrana para garantir estanqueidade do sistema.

3 CONTEXTO GEOLÓGICO DA OBRA

De acordo com o Mapa Geológico Integrado da Região Metropolitana de São Paulo (CPRM, 2019), na escala 1:250.000, a área de implantação da lagoa se encontra sobre depósitos aluvionares recentes, com algumas ocorrências nas proximidades de embasamento cristalino (Figura 2).

O embasamento cristalino é formado por unidades metassedimentares do Complexo Embu (Neoproterozoico), incluindo paragnaisses (biotita e gnaisses quartzosos bandados com intercalações graníticas) e xistos (biotita-quartzo-muscovita, granada-biotita e filitos).

Sobreposto ao embasamento, os depósitos aluvionares cenozoicos relacionados ao Rio Pinheiros incluem seixos, areias finas a grossas, cascalhos, lentes silto-argilosas e matéria orgânica, associados a planícies de inundação e canais. Essas camadas apresentam propriedades geotécnicas variadas, mudanças abruptas de tipo e solos de baixa capacidade de suporte, criando descontinuidades geomecânicas que favorecem instabilidade e erosão em obras de terraplenagem.

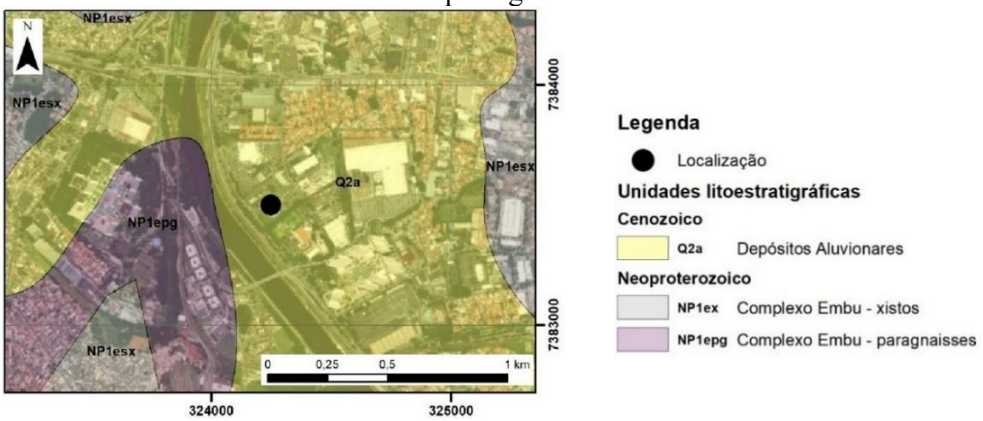


Figura 2. Mapa geológico dos arredores da área de implantação do complexo (CPRM, 2019).

4 CONDICIONANTES GEOTÉCNICOS E PROBLEMAS ENVOLVIDOS

Para a caracterização geotécnica, foram executadas 14 sondagens à percussão e 11 sondagens mistas na área da lagoa. O subsolo apresenta perfil relativamente homogêneo, com camada superficial de solos aluvionares argilosos muito moles, com espessura entre 2,0 m e 4,6 m, associada à planície do Rio Pinheiros, com N_{SPT} entre 1 e 6 golpes. Abaixo, ocorrem solos aluvionares arenosos (N_{SPT} entre 3 e 38 golpes), seguidos por solo residual arenoso com fragmentos de rocha e, em maior profundidade, saprólito mais compacto (N_{SPT} superior a 40 golpes). Já o nível d'água foi identificado entre 2,3 m e 6,0 m de profundidade.

Essas condições — presença de solos compressíveis e lençol freático superficial — representaram desafios à implantação da lagoa, devido ao risco de recalques por adensamento e à possibilidade de subpressão no fundo da lagoa, além da necessidade de garantir a estanqueidade do sistema.

5 SOLUÇÕES DE ENGENHARIA APLICADAS

O projeto de uma piscina de ondas, tratando-se de uma obra única em seu conceito e com inúmeras especificidades, traz consigo diferentes desafios para a implantação da obra. Além das particularidades envolvidas, as condicionantes geológico-geotécnicas locais, descritas anteriormente, resultaram em várias situações para as quais o projeto precisou avaliar e definir soluções de Engenharia que garantissem a segurança da obra e dos usuários da lagoa, assim como o adequado desempenho das estruturas. Os itens a seguir descrevem as soluções adotadas para as fundações da piscina, para a situação de subpressão no fundo da lagoa e para a presença de solos compressíveis na região.

5.1 Solução de fundação

No que diz respeito às fundações da lagoa, foi necessária a definição de soluções para os muros laterais da piscina e para a sua estrutura central, incluindo o *plinth*. De maneira geral, conforme descrito anteriormente, as sondagens do local identificaram por volta dos primeiros 5,0 m de profundidade a presença de solo de reduzida capacidade de suporte, além da ocorrência de estratos compressíveis. Com base nessas características e em consonância com a magnitude das cargas previstas, considerou-se inviável a utilização de fundação direta rasa ou superficial para os muros e a casa de máquinas/gerador de ondas, uma vez que não se observam camadas competentes e homogêneas até cerca de 6,0 m de profundidade.

Em relação a essas estruturas, as soluções analisadas conduziram para o estudo de fundações profundas, sendo que as soluções de estacas cravadas e de estacas raiz seriam as mais adequadas para o caso em estudo, tendo-se optado pela solução de estacas pré-moldadas de concreto pela sua vantagem econômica em comparação com as demais alternativas.

Complementermente, em virtude da transição brusca observada no subsolo para camadas de elevadas resistência, associou-se, às estacas de concreto, ponteiras metálicas para redução do risco de quebra dos elementos, medida que se mostrou, durante o decorrer da obra, de alta eficiência.

5.2 Solução para subpressão

Conforme indicado anteriormente, as condições geológico-geotécnicas locais caracterizavam-se por lençol freático superficial, aspecto reforçado pela proximidade da obra com o rio Pinheiros. A ocorrência do nível d´água a pequenas profundidades mostrou-se um dos pontos de maior relevância ao desenvolvimento do projeto, tendo em vista o elevado impacto ao empreendimento tanto na fase de obra quanto na fase de operação/manutenção da lagoa.

Enquanto durante o período construtivo, a presença do lençol poderia demandar soluções de rebaixamento do nível d'água para viabilizar a construção, na fase de operação do empreendimento, com períodos de manutenção e esvaziamento da lagoa, fazia-se necessária a consideração de esforços de subpressão que poderiam provocar o levantamento do fundo da piscina, o que comprometeria a sua funcionalidade.

Partindo-se desse contexto e buscando-se eliminar e/ou minimizar os problemas decorrentes do lençol freático superficial, foram utilizadas diferentes soluções técnicas dentro do projeto da lagoa, conforme abordado nos itens subsequentes.

5.2.1 Estudos de cota da piscina

Como solução inicial para mitigar os efeitos do nível d´água, foram avaliadas diferentes cotas de implantação da lagoa, avaliando-se, para cada cota, qual a área da piscina sujeita à subpressão e qual a estrutura resultante para se opor a esse esforço.

Tendo em vista que a lagoa faz parte de um projeto arquitetônico mais amplo, sendo parte integrante de um clube, verificou-se não ser viável o alteamento completo da lagoa de modo a eliminar a sua interface com o nível d´água.

O estudo de cotas para a execução da lagoa de ondas foi realizado através da avaliação de três alternativas, sendo a primeira delas baseada no projeto arquitetônico original do complexo, com cota de implantação da piscina definida em, aproximadamente, 723,0 m (Alternativa 01). As demais alternativas consistiam no alteamento da piscina para as cotas 723,5 m (Alternativa 02) e 724,0 m (Alternativa 03).

Para definição do nível d´água máximo a ser considerado para os estudos iniciais de subpressão, admitiu-se os níveis identificados nas sondagens à percussão realizadas no local, que variaram entre as cotas 720,22 m e 723,21 m, elevados em 2,0 m. Apesar de haver sondagens executadas tanto em períodos secos quanto em períodos chuvosos, adotou-se a elevação do lençol para abranger cenários extremos de variação do nível d´água que pudessem não ter sido detectados pelas investigações geotécnicas disponíveis à época dessa etapa do projeto.

Diante das alternativas consideradas, e tendo por base as restrições arquitetônicas, assim como critérios técnicos, de prazo, de custo e de exequibilidade dos serviços, optou-se pela Alternativa 03, com cota acabada do *plinth* em, aproximadamente, 724,0 m.

Posteriormente, durante o desenvolvimento do projeto, foram realizadas investigações complementares, destacando-se a instalação de indicadores de nível d´água (INAs) para monitoramento do lençol no período entre agosto de 2023 e janeiro de 2024, os quais registraram a cota máxima do lençol em 723,04 m. Tais medições, somadas à análise integrada das sondagens, à cota de referência da linha férrea da CPTM próxima ao empreendimento (trecho da linha com reduzidos casos de paralisação por inundação) e ao histórico de alagamentos na região, possibilitaram adotar como cota crítica, para cenários extremos de elevação do nível freático, o nível aproximado de 724,25 m, valor de referência utilizado nas etapas subsequentes de projeto. Tal valor se mostrou inferior ao considerado inicialmente nos estudos de cota da piscina, mas, ainda assim, acima

do fundo estabelecido para a lagoa, o que mantinha a necessidade de se definir soluções de combate à subpressão.

5.2.2 Medidas de combate à subpressão

Uma vez definida a cota de implantação da lagoa (724,0 m) e tendo-se definido a cota máxima de projeto do NA (724,25 m), confirmou-se a possibilidade de atuação de esforços de subpressão no fundo da piscina, o que resultaria, em períodos de manutenção da lagoa, no levantamento do liner de fundo da estrutura, compromentendo o seu desempenho. Para evitar a ocorrência deste problema, foram avaliadas diferentes medidas de combate à subpressão. Inicialmente, analisou-se a solução de laje estrutural (com espessura mínima de 50 cm) para se contrapor aos esforços hidrostáticos. Contudo, devido ao custo da estrutura e, principalmente, por introduzir à piscina um elemento rígido que poderia representar riscos aos usuários em eventuais quedas durante a prática do surfe, descartou-se essa alternativa.

A Figura 3 a seguir apresenta a mancha de inundação de nível freático em 724,25 m para a cota de implantação final da lagoa.

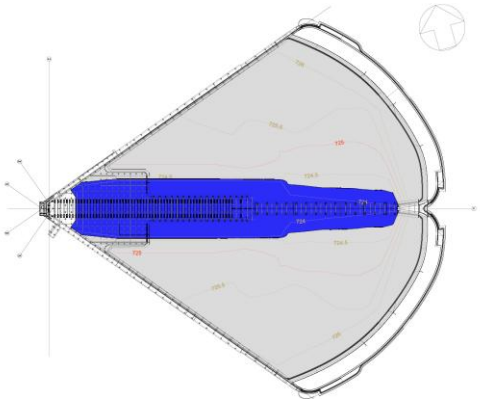


Figura 3. Projeção da mancha do nível freático na cota 724,25m sobre a implantação da lagoa.

Ao final, como solução para combate à subpressão, fez-se uso do sistema de drenagem interna da piscina. Um dos elementos constituintes da lagoa corresponde à camada drenante para coleta de água da própria piscina (eventuais vazamentos/infiltrações) e sua condução a um sistema de recirculação dessa água para a lagoa. Para evitar perda de água desse sistema (infiltração para o subsolo) e, principalmente, para evitar que a água do lençol freático entre nesse circuito, o pacote drenante foi totalmente envolto em geomembranas impermeáveis. Com isso, verificou-se que as próprias camadas drenantes poderiam ser utilizadas como peso para combate à subpressão, sendo apenas necessário aumentar a sua espessura nos trechos com a ocorrência desse fenômeno para gerar peso suficiente para se contrapor aos esforços hidrostáticos. Foi dimensionada camada drenante de brita graduada simples (BGS), nestes locais, com espessura de 0,75 m.

5.3 Solução para solos compressíveis

Assim como no caso da subpressão, as condições geológico-geotécnicas locais, com presença de depósitos aluvionares compressíveis, demandaram a definição de soluções específicas. Neste contexto, os itens subsequentes apresentam as soluções de tratamento de fundação da lagoa desenvolvidas para mitigar/eliminar recalques por adensamento (causados pelos esforços provenientes da piscina) que comprometeriam o desempenho da estrutura pela alteração da batimetria da lagoa e risco de ruptura da geomembrana de fundo.

5.3.1 Estudo de alternativas

Considerando-se o peso próprio da lagoa e os esforços decorrentes de sua operação (esforços gerados pelas ondas), foram estimadas pressões máximas atuantes ao longo da batimetria da piscina de até 75 kPa.

Estas cargas, atuando sobre solos compressíveis, resultariam em recalques incompatíveis com os requisitos de desempenho da lagoa, gerando-se a necessidade de se definir soluções para antecipação desses

recalques ou a sua eliminação. Ao longo do desenvolvimento do projeto, foram estudadas diferentes alternativas, dentre as quais se destacam a remoção do solo compressível, a execução de sobrecargas provisórias (com ou sem geodrenos), a execução de colunas de brita e a execução de colunas de solo-cimento (DSM® - *Deep Soil Mixing*).

A alternativa de troca de solo foi descartada em função do prazo envolvido para a sua execução, do elevado volume de escavação associado e pela interferência entre o material de troca (rachão) e as fundações das estruturas da piscina, o que demandaria a utilização de areia em algumas das regiões de troca. A solução com sobrecarga provisória (com ou sem geodrenos) se mostrou inviável pelos volumes de sobrecarga envolvidos e, principalmente, pelos prazos associados, incompatíveis com o cronograma de inauguração do empreendimento. As colunas de brita, por sua vez, acabaram sendo desconsideradas como alternativa por serem elementos drenantes (o que poderia facilitar a fuga de água da piscina em caso de falhas na geomembrana de fundo) e pelo fato de que, nessa solução, os recalques aconteceriam apenas com a piscina em operação (quando os carregamentos previstos estariam atuando), o que prejudicaria a batimetria da lagoa e a sua geomembrana de fundo. Utilizar sobrecargas para antecipar os recalques recairia nos mesmos problemas de volume de material e de prazos citados anteriormente.

Ao final, definiu-se como solução de tratamento, por resultar na mitigação/eliminação de recalques e por se encaixar no cronograma de obra, a execução de colunas de solo-cimento (DSM®).

5.3.2 Colunas de DSM®

A execução de colunas de solo-cimento consiste em uma técnica de melhoria de solos realizada diretamente no interior do terreno sem escavação prévia, misturando um aglutinante (calda de cimento) com as partículas de solo em profundidade, dando origem a um material de melhores características mecânicas do que o inicial e de menor permeabilidade, ou seja, transformando a massa que recebeu tratamento, que antes possuía propriedades inferiores, em uma massa com resistência, deformabilidade e permeabilidade melhorados. O espaçamento/malha adotado para o tratamento da fundação foi definido em função da capacidade de carga (Q_{DSM}) de cada coluna e o carregamento distribuído na área de influência de cada elemento, admitindo-se que todo o carregamento proveniente da lagoa seria transferido às colunas de DSM®.

Considerou-se a execução de colunas com diâmetro de 0,80 m, sendo a capacidade de carga à compressão de cada coluna dada pela expressão 01 a seguir:

$$Q_{DSM} = f_{cd} \cdot A_{DSM} \quad (1)$$

Em que:

f_{cd} é a resistência a compressão das colunas, em kN/m² (valor de 2000 kPa)
A_{DSM} é a área transversal de cada coluna, em m² (valor de 0,50 m²)
Q_{DSM} é a capacidade de carga a compressão da coluna, em kN

Para a lagoa, foram definidas quatro malhas quadradas distintas de acordo com as sobrecargas previstas em cada região da piscina: 1,5x1,5 m para zonas com carregamentos de 50 a 75 kPa, 1,6x1,6 m para zonas com carregamentos de 30 a 50 kPa, 1,7x1,7 m para zonas carregamentos de 20 a 30 kPa e 2,0x2,0 m para zonas com carregamentos de até 20 kPa.

6 USO DE GEOSSINTÉTICOS NA OBRA

De uso cada vez mais intenso no Brasil, os geossintéticos foram fundamentais para o sucesso do projeto da Lagoa de Ondas, sendo utilizados em diferentes tipos e funções na lagoa. Destacam-se como geossintéticos principais no projeto as geogrelhas, as geomembranas e os geotêxteis.

6.1 Geogrelhas

As geogrelhas foram usadas na lagoa associadas ao tratamento de fundação com colunas de DSM®, sendo os elementos responsáveis, juntamente com o arqueamento do solo, pela transferência de carga às colunas, resultando nas resistências nominais dimensionadas entre 200 kN/m e 300 kN/m. O dimensionamento

das geogrelhas foi compartimentado em função das alturas dos aterros da batimetria, das sobrecargas proveninentes da lagoa e do espaçamento entre colunas de solo-cimento. Os cálculos para definição da resistência à tração dos elementos foram feitos tendo-se por base as recomendações da norma BS 8006 e as metodologias de Hewlett & Randolph (1988) e pela formulação de Marston (John, 1987). O traspasse das geogrelhas, por sua vez, foi estabelecido a partir da formulação apresentada no Manual Brasileiro de Geossintéticos (Vertematti, 2015).

6.2 Geomembranas

As geomembranas foram utilizadas na lagoa especialmente como elementos de impermeabilização. Foram especificadas geomembranas na região de fundo da lagoa (*liner*) e na base das camadas drenantes. Estas últimas geomembranas, fundamentais para evitar a entrada de água do lençol freático no sistema de recirculação da lagoa e para assegurar a atuação da camada drenante como elemento de combate à subpressão, foram definidas em PEAD e com espessuras variando de 1,0 mm a 1,5 mm.

6.3 Geotêxteis

Considerando o uso das geomembranas junto às camadas drenantes, fez-se necessária a indicação de proteção desses elementos contra eventuais danos provocados pelas camadas granulares do sistema (brita 01 e BGS). A proteção das geomembranas foi feita através da especificação de geotêxteis com gramatura mínima de 400 g/m². A Figura 4 representa de forma esquemática o emprego dos principais geossintéticos na lagoa.

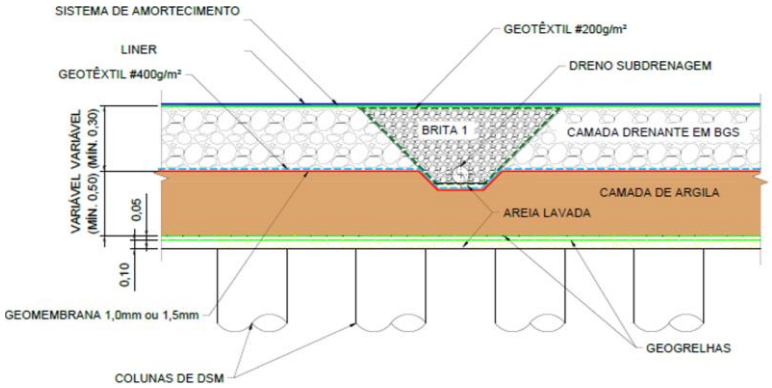


Figura 4. Esquema de aplicação de geossintéticos na lagoa.

Além das especificações dos geossintéticos para cumprir as funções destacadas anteriormente, ressalta-se a importância, no projeto, da definição das soluções e dos detalhes de ancoragem e de instalação desses geossintéticos. Tais detalhes e conexões se mostraram essenciais para garantir a eficiência do sistema em zonas críticas, principalmente nas interfaces de elementos flexíveis com elementos rígidos (conexão da geomembrana de fundo com os muros laterais em concreto, por exemplo).

7 MODELAGEM BIM APLICADA AO PROJETO

Diante da complexidade da obra e da multiplicidade de disciplinas envolvidas, o projeto da lagoa de ondas foi desenvolvido em metodologia BIM (*Building Information Modelling*), integrando ao modelo 3D informações técnicas, materiais e especificações, permitindo compatibilização interdisciplinar, detecção de interferências e levantamento preciso de quantitativos.

Todos os elementos foram modelados com suas propriedades (coordenadas, dimensões, resistências, etc.), possibilitando consulta direta pela obra. No caso das colunas de DSM®, cada elemento foi modelado individualmente e destacado por cores, e camadas drenantes, geogrelhas e aterros também foram incluídos

para maior precisão. A Figura 5 a seguir apresenta imagens da modelagem da lagoa, com ênfase no seu tratamento de fundação.

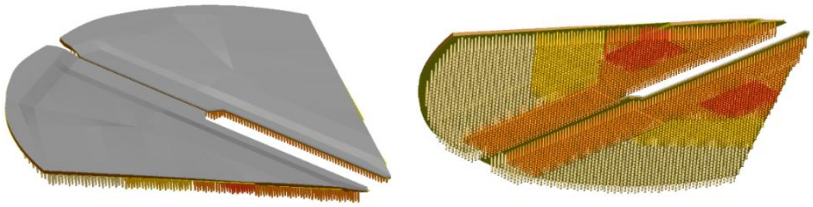


Figura 5. Modelagem BIM da Lagoa.

Considerando-se a complexidade do projeto e as inúmeras interfaces entre os seus elementos constituintes, verificou-se que a utilização da metodologia BIM desempenhou importante papel para a identificação prévia de interferências, possibilitando o ajuste do projeto antes da sua materialização em campo, contribuindo de maneira fundamental para o sucesso do empreendimento.

8 CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou os principais desafios geotécnicos da implantação da primeira lagoa de ondas de São Paulo, situada em área urbana complexa, em que as condições locais exigiram soluções específicas para fundações, controle de subpressão, tratamento de solos moles e limitação de deformações.

Para as fundações das estruturas de concreto armado (*plinth* e muros), adotaram-se estacas pré-moldadas com ponteiras metálicas, solução que garantiu adequada transferência de cargas para camadas mais competentes e maior segurança executiva. No combate à subpressão, os estudos de definição de cota, aliados ao monitoramento do nível d'água, permitiram desenvolver solução baseada em camada granular envolta por geomembranas, formando sistema estanque com peso suficiente para equilibrar os esforços ascendentes do lençol freático, alternativa mais vantajosa que lajes estruturais rígidas. Quanto ao tratamento dos solos compressíveis, a comparação técnica, econômica e de prazo indicou a solução em *Deep Soil Mixing* (DSM®) como a mais adequada em termos técnicos, econômicos e de prazo. Já o emprego de geossintéticos (geogrelhas, geomembranas e geotêxteis) assegurou reforço, estanqueidade e proteção das camadas granulares, exigindo detalhamento específico das interfaces. Por fim, a modelagem BIM contribuiu para a compatibilização geométrica e construtiva entre as disciplinas do projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à KSM Realty, à construtora Rocontec e à Wavegarden pela autorização para divulgação dos dados do projeto da Lagoa de Ondas de São Paulo. Agradecem também ao geólogo Pedro Moreira Cavalcante por sua contribuição na caracterização geológica da área, ao projetista Alexsandro Nunes Machado pelo apoio no desenvolvimento do modelo BIM e à Engecorps Engenharia S.A. pela disponibilização de recursos e suporte técnico que contribuíram para o desenvolvimento dos estudos realizados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

British Standard. *BS 8006: Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills*. United Kingdom: British Standards Institution, 2016. ISBN 978-0-580-92713-3.

Hewlett, W.J. & Randolph, M.F. *Analysis of piled embankments*. Ground Engineering, v. 21, n. 3, p. 12–18, 1988.

John, N.W.M. *Geotextiles*. Glasgow: Blackie & Son Ltd, 1987. 347 p.

Serviço Geológico do Brasil (CPRM). *Mapa geológico integrado da Região Metropolitana de São Paulo*. São Paulo: CPRM, 2019. 1 mapa colorido. Escala 1:250.000. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral.

Vertematti, J. C. *Manual brasileiro de geossintéticos*. São Paulo: Blücher, 2015.