

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/568

Tratamento de Solo Mole Utilizando Aterro Com Sobrecarga e Geodrenos no Município de Itajaí-SC

Ana Karine Santos Dantas

Engenheira Civil, TPF Engenharia, Florianópolis, Brasil, ana.dantas@tpfe.com.br

Lucas Rodrigues Heckrath

Engenheiro Civil, Nova Engevix Engenharia, Florianópolis, Brasil, hebatistaec@gmail.com

Heitor Venancio Conceição de Lima

Engenheiro Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, luizfrnfarias@gmail.com

Gisele Marilha Pereira Reginatto

Engenheira Civil, Nova Engevix Engenharia, Florianópolis, Brasil, gisele.reginatto@novaengevix.com.br

RESUMO: O objeto de estudo deste trabalho trata-se do tratamento de solo necessário à ampliação de uma Estação de Tratamento de Esgoto no município de Itajaí-SC. A ETE estará assente sob espessos depósitos de argila mole intercalados por uma camada de areia. O tratamento do solo visa antecipar os recalques por adensamento da argila para o período construtivo da obra. A investigação geotécnica constitui-se por sondagens a percussão (SPT). Após a identificação do perfil do solo, verificou-se a necessidade de investigação complementar com coleta de amostras deformadas e indeformadas na primeira camada de argila para realização de ensaios de caracterização e adensamento, como também de ensaios de palheta nas duas camadas para obtenção da resistência ao cisalhamento. Avaliou-se, primeiramente, as alternativas para tratamento do solo, considerando prazo, custos e processos construtivos. A solução adotada para o tratamento foi a execução de um aterro com sobrecarga. Realizou-se análises de estabilidade e verificou-se a necessidade de construção deste aterro em duas etapas. Ademais, devido à baixa permeabilidade das argilas, utilizou-se geodrenos para aceleração do adensamento para um prazo aceitável. Por fim, é apresentado o plano de monitoramento com placas de recalques, piezômetros e inclinômetros, projetado para acompanhamento do aterro no período construtivo.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Palheta, Adensamento, Argila Mole, Geodrenos.

ABSTRACT: The object of study of this work is the soil treatment necessary for the expansion of a Sewage Treatment Station in the municipality of Itajaí-SC. The ETE will be based on thick deposits of soft clay interspersed with a layer of sand. Soil treatment aims to anticipate settlements due to clay densification during the construction period of the project. The geotechnical investigation consists of percussion surveys (SPT). After identifying the soil profile, there was a need for further investigation with the collection of deformed and undeformed samples in the first layer of clay to carry out characterization and densification tests, as well as reed tests on both layers to obtain resistance. to shear. Firstly, the alternatives for soil treatment were evaluated, considering deadlines, costs and construction processes. The solution adopted for the treatment was the execution of an overburdened landfill. Stability analyzes were carried out and the need to build this landfill in two stages was verified. Furthermore, due to the low permeability of the clays, geodrains were used to accelerate densification to an acceptable period. Finally, the monitoring plan is presented with settlement plates, piezometers and inclinometers, designed to monitor the landfill during the construction period.

KEYWORDS: Vane Test, Consolidation Test, Clay soils.

1 INTRODUÇÃO

Itajaí foi erguida no encontro do rio Itajaí-Açu com o mar e abriga um dos maiores complexos portuários do Brasil, com alta movimentação de cargas em contêineres, destacando-se como grande exportador de carnes congeladas do Brasil. A extensa ocupação urbana em áreas da costa brasileira, como em Itajaí, solicita a construção de obras sob espessas camadas de solos compressíveis, os quais demandam o uso de técnicas para melhorar a capacidade de carga e acelerar recalques por adensamento. Nesses casos, a atenção do projeto não se restringe ao estado limite último, ela também é direcionada ao estado limite de serviço.

Este tipo de projeto demanda um investimento especial à etapa de investigação, onde os ensaios de laboratório complementam os ensaios de campo. O projetista terá o o desafio de projetar com coeficientes de segurança relativamente baixos, quando comparado a outros projetos, sem deixar a obra antieconômica ou mesmo inexecutável, como afirma Carlos Sousa Pinto em Almeida e Marques (2010), o que justifica os investimentos no conhecimento do solo.

Para a construção de aterros sobre solos moles, é necessário satisfazer os seguintes itens, segundo Coutinho (1986):

- Fator de segurança adequado quanto à ruptura do solo de fundação na construção e após;
- Deslocamentos totais e diferenciais compatíveis com o tipo de empreendimento;
- Evitar e/ou mitigar danos às estruturas adjacentes.

Neste trabalho serão estudadas alternativas para o tratamento de solo mole previamente às obras de ampliação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em Itajaí/SC.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudo deste trabalho trata-se da região onde será ampliada uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) localizada em Itajaí, município situado no litoral norte de Santa Catarina, a cerca de 100 km da capital Florianópolis. Itajaí possui 264.054 habitantes distribuídos em 289,215 km² de área territorial e faz divisa com os municípios de Camboriú e Balneário Camboriú, ao sul, Brusque, a sudoeste, Gaspar e Ilhota, a oeste, e Navegantes, ao norte, conforme apresentado na Figura 1. A ETE situa-se às margens do canal antigo do rio Itajaí-Mirim, rio afluente do Itajaí-Açu.

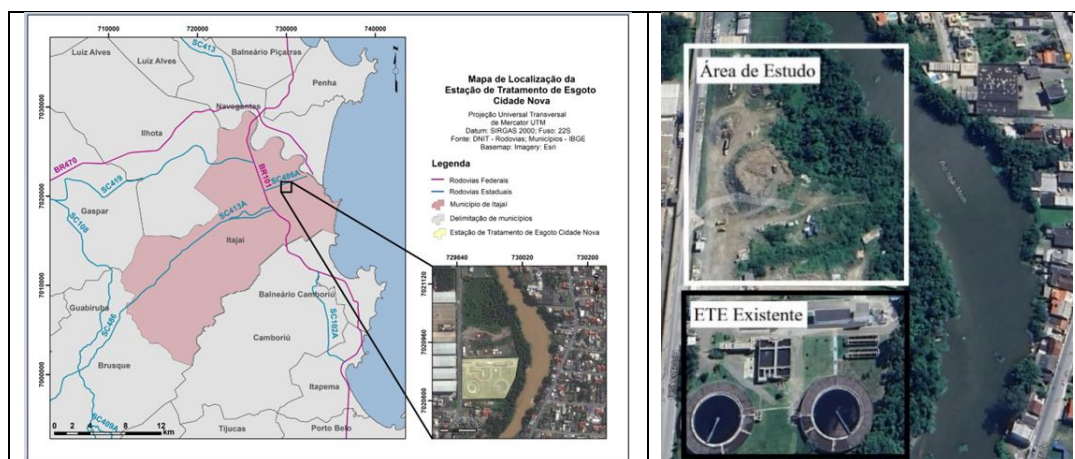


Figura 1. Localização de Itajaí, com destaque para a área de estudo.

2.2 Geologia

O município de Itajaí situa-se na interface entre o embasamento cristalino e a planície costeira. O embasamento cristalino é representado por rochas plutônicas e metamórficas as quais são responsáveis pelas serras do leste catarinense. Já a planície costeira consiste na deposição sedimentar ocorrida nos últimos milhares de anos por meio das regressões e transgressões marinhas. Conforme apresentado no mapa geológico da Figura 2, elaborado pelo Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina (GERCO, 2010), a ETE encontra-se sobre depósitos aluviais e marinho praias, como também depósitos eólicos.

Os depósitos de praia são compostos por areia quartzosa fina e bem selecionada de ambiente dominado por ondas. Os depósitos aluvionares são classificados como depósitos fluviais constituídos por areias e cascalhos das barras fluviais e sedimentos mais finos nas planícies de inundação. Além disso, os depósitos eólicos são constituídos por areia quartzosa muito fina a fina, bem arredondada e selecionada com rara laminação plano-paralela ou cruzada (GERCO, 2010).

Os depósitos aluvionares, caracterizados por areias e lamas e eventualmente cascalheiras, costumam apresentar estratificação evidente, refletindo disposição a partir de fluxos torrenciais canalizados e não canalizados; formam depósitos de grande extensão e espessura, com expressiva presença de matéria orgânica. Ocorre, frequentemente, o seu interdigitamento com depósitos marinhos praias. O ambiente deposicional associado ao rio Itajaí-Açu encontra-se dividido em diversos sub-ambientes (depósitos de fundo de canal, de meandro, de planície de inundação e de rompimento de diques marginais), com alguns estando eventualmente saturados pelas inundações fluviais, correspondentes aos períodos de cheias das drenagens (GERCO, 2010).

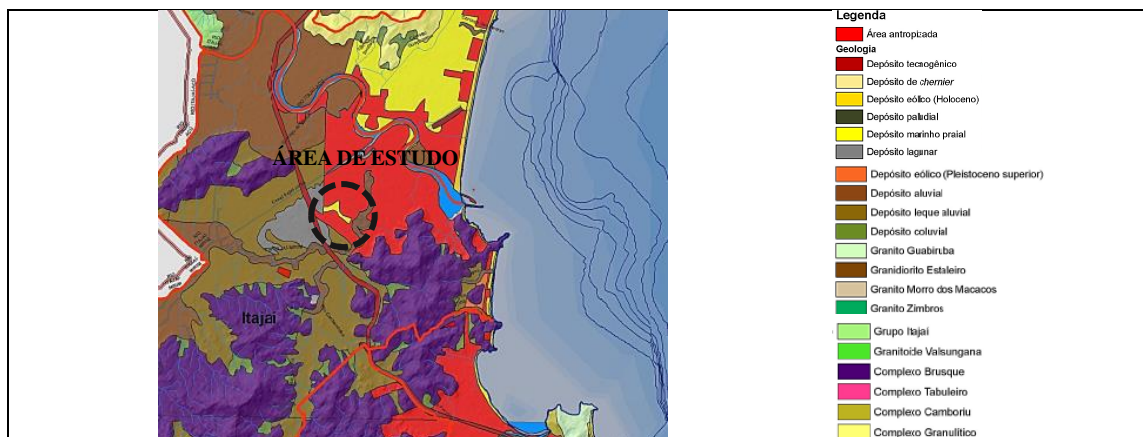


Figura 2. Mapa Geológico (Folha SD-22-Z-B-V-4), modificado de GERCO (2010).

3 SOLOS MOLES

3.1 Definição

Terzaghi & Peck (1967) definem como “argila muito mole” aquela que tem uma resistência não drenada inferior a 25 kPa e “argila mole” o solo que possui o mesmo parâmetro, variando entre 25 e 50 kPa. Pelas definições apresentadas por Futai (2010), Caputo (1987) e ABNT (2020), solos moles caracterizam-se, pela sua baixa resistência mecânica e elevada compressibilidade, como solos com problemáticas intrínsecas ao projeto e execução de obras de engenharia geotécnica. Assim, é de suma importância nos projetos desenvolvidos com a presença de solos moles, a previsão de recalques considerando o adensamento e as técnicas utilizadas para contornar esse fenômeno.

3.2 Cálculo do recalque a partir do adensamento

O cálculo do recalque devido ao adensamento primário unidimensional, segundo Das (2015), conjecturando uma argila saturada de espessura H e aplicada uma tensão efetiva de sobrecarga média, σ'_0 tem-se como resultado um acréscimo da tensão efetiva, $\Delta\sigma'$. Considere o recalque a partir do adensamento primário unidimensional como ρ . Assim, têm-se a Equação (1):

$$\rho = \frac{H}{1+e_0} \times \left[C_c \times \log \frac{\sigma_{vf}}{\sigma_{vm}} + C_r \times \log \frac{\sigma_{vm}}{\sigma_{v0}} \right] \quad (1)$$

Onde,

- ρ Recalque primário unidimensional (m)
- H Espessura de solo mole (m)

e_0	Índice de vazios inicial
C_c	Índice de compressão
C_r	Índice de recompressão
σ_{vf}	Tensão efetiva final (kPa)
σ_{v0}	Tensão efetiva inicial (kPa)
σ_{vm}	Tensão de pré-adensamento (kPa)

Desses parâmetros, e_0 , C_c , C_r e σ_{vm} são valores obtidos através do ensaio de adensamento. O cálculo do recalque secundário é obtido com base na abordagem tradicional, segundo a Equação (2).

$$\rho_2 = C_2 \times (H - \rho_1) \times \log \frac{t_2}{t_1} \quad (2)$$

Em que,

ρ_2	Recalque secundário (m)
H	Espessura da camada de solo mole (m)
ρ_1	Recalque primário (m)
C_2	Índice de compressão secundário (obtido da literatura)
t_1	Tempo para ocorrer 95% do adensamento primário (anos)
t_2	Tempo para ocorrer o adensamento secundário (anos)

Determinados o recalque primário e o secundário, o recalque total é dado pela soma dos dois resultados. Para determinar o tempo necessário para que uma certa porcentagem (%) do recalque primário ocorra, é possível utilizar a Equação (3).

$$T = C_v \times \frac{t}{Hd^2} \quad (3)$$

Em que,

C_v	Coefficiente de adensamento vertical (cm^2/s)
T	É o fator tempo
Hd	Distância de drenagem (m)
t	Tempo (anos)

3.3 Tratamentos para solos moles

Quando abordados os métodos construtivos de aterros sobre solos moles, é preciso considerar duas premissas: mitigar os problemas relacionados aos recalques e conseguir prover estabilidade para a estrutura (ALMEIDA e MARQUES, 2010). Entre as alternativas para o projeto de aterros sobre solos moles estão a substituição do solo mole (total ou parcial), aterro com sobrecarga, aterro construído em etapas, aterros com bermas laterais, aterros reforçados, aterros sobre drenos verticais, aterros sobre colunas de brita, aterros leves, sobre elementos de estacas e pré-carregamento por vácuo. Essa gama de soluções permitem ao projetista avaliar, a depender das propriedades do solo, disponibilidade de recursos e processos executivos, qual solução melhor se adequa a dinâmica do projeto (ALMEIDA e MARQUES, 2010).

4 INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

4.1 Programa de Investigação

A definição do programa de investigação preliminar da área de ampliação da ETE teve como ponto de partida a verificação de seis ensaios CPTs realizados no terreno no ano de 2008. A partir destes ensaios, definiu-se um programa de investigação complementar. Observou-se que o perfil apresenta uma camada inicial de 3 metros de aterro assente em uma camada argilosa mole com espessura média de 10 metros. Esta argila

está sobre uma camada de areia, com cerca de 12 metros, que está sotoposta a uma segunda camada de argila de baixa consistência e bastante espessa, com aproximadamente 20 metros. Aos 45 metros de profundidade, foi identificada uma areia compacta impenetrável ao trépano.

Através da identificação de duas camadas de argila mole, evidenciou-se a necessidade de investigar de forma mais específica cada uma dessas camadas. Desse modo, solicitou-se a coleta de 3 amostras deformadas para realização de ensaios de laboratório de caracterização física completa e 3 indeformadas para realização de ensaios de adensamento e cisalhamento, definindo assim parâmetros de resistência e compressibilidade. Ademais, solicitou-se a execução de Ensaios de Palheta (Vane Test) para obtenção da resistência não drenada (S_u) em dois pontos onde estão previsto a construção de estruturas com os maiores carregamentos. Em cada ponto, realizou-se um ensaio na camada superior de argila e um ensaio na camada mais profunda de argila, totalizando quatro ensaios. As amostras deformadas foram obtidas a partir da abertura de poços de inspeção, já as amostras indeformadas foram coletadas com amostrador do tipo Shelby. A Tabela 1 apresenta os ensaios realizados:

Tabela 1. Local e quantidade dos ensaios de campo.

ENSAIO	LOCAL	Nº DE ENSAIOS
Ensaio de Palheta	VT-01 e VT-02	4
Ensaio de Adensamento		3
Granulometria e Sedimentação		3
Limite de Liquidez	AD/AI-01, AD/AI-02 e	3
Limite de Plasticidade	AD/AI-03	3
Massa Específica Real de Grãos		3
Massa Específica Natural		3

Os ensaios realizados na argila atestaram a ocorrência de um solo com granulometria predominantemente fina (argilosa), altamente plástico e com umidade natural alta, características esperadas para um solo mole, cuja ocorrência foi identificada nos perfis das sondagens à percussão. Os resultados de adensamento identificaram a tensão de pré adensamento da primeira camada de solo mole, sendo o valor médio de 58,5 kPa, e o C_v da ordem de 10^{-3} cm²/s. A Tabela 1 apresenta os dados da amostra indeformada (primeira camada de argila) utilizada nos cálculos de adensamento. A partir dos resultados do Ensaio de Palheta, verificou-se que a resistência ao cisalhamento não drenada aumenta com a profundidade, apresentando um valor de 17,1 MPa e de 52,3 MPa para a primeira e segunda camada de argila mole, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros utilizados na análise de deformabilidade dos solos (Primeira camada de argila mole).

Descrição	Símbolo	Valor	Unidade
Tensão de pré-adensamento	σ_p	54,50	KPa
Índice de vazios	e_0	1,98	-
Índice de compressão	C_c	0,82	-
Índice de recompressão	C_r	0,25	-
Índice de compressão secundária	C_2	0,03	-
Coefficiente de adensamento vertical	C_v	$2,80 \times 10^{-3}$	cm ² /s
Coefficiente de adensamento horizontal	C_h	$5,00 \times 10^{-3}$	cm ² /s

5 DEFINIÇÃO DO TRATAMENTO DO SOLO MOLE

5.1 Premissas de Projeto

Para a definição de um tratamento de solo mole exequível do ponto de vista técnico e financeiro, deve-se ter com base três pilares: as características geotécnicas, o prazo de execução e os custos associados. Dessa forma, adotou-se, como critério de projeto, um prazo de 8 meses para que o grau de adensamento desejado seja alcançado. Considerou-se que o fim do adensamento primário ocorre com 95% do adensamento total. Somente após a etapa de tratamento, as fundações das estruturas podem ser iniciadas.

Deve-se ter em mente que as fundações das estruturas da ETE foram definidas como estacas pré-moldadas. Diante da configuração do perfil do solo da área e do método executivo da fundação, é imprescindível, como etapa inicial da obra, a escavação e remoção de toda a primeira camada do solo, caracterizada por um aterro com pedregulho e entulho, com espessura variando de 2 a 3 m. Esta remoção é demandada especialmente pela etapa de execução da fundação e tratamento do solo, visto que as estacas pré-moldadas e os geodrenos poderiam sofrer dano estrutural durante a suas cravações, ou mesmo não seria possível cravá-los. Este solo será substituído pelo mesmo material do futuro aterro e deve ser considerados nos volumes de empréstimo.

Por fim, tem-se a definição da cota final de projeto do platô, definida com base na cota de inundação da área da ETE. Desse modo, parte-se para os estudos de alternativas.

5.2 Estudo de Alternativas

Em vista das características do perfil do terreno, algumas alternativas de tratamento do solo mole foram prontamente descartadas, como métodos de substituição e deslocamento, visto que estes tipos de tratamento são indicados para camadas de solo mole de pequena espessura (até 4 m), o que não é o caso. Inicialmente, realizou-se análises de estabilidade e cálculos de adensamento das seções críticas (com maior altura de aterro) do cenário final de projeto (platô na cota de inundação: + 4,30 m).

Considerando este cenário inicial (Cenário I - Tabela 2), com esta altura de aterro não seria possível antecipar os recalques e atingir o grau de adensamento necessário dentro do prazo esperado. Seguiu-se para a análise da utilização de sobrecarga (Cenário II, Tabela 2), entretanto o tempo necessário para o adensamento foi inviável para a obra. Como solução, para acelerar o processo de adensamento, optou-se pelo uso de geodrenos (Cenário III - Tabela 2), que, neste caso, o fator limitante é a estabilidade, pois a resistência não drenada da camada de argila é baixa e faz com que se limite a altura do aterro para garantir a estabilidade. Excluiu-se a possibilidade de um aterro com bermas laterais por conta da disposição da planta da ETE que já estava no limite da área de preservação.

Tabela 2. Alternativas verificadas para o tratamento do solo mole.

CENÁRIO I:		CENÁRIO II:		CENÁRIO III:	
Aterro		Aterro + sobrecarga		Aterro + sobrecarga + geodrenos	
Terreno natural:	El. +3,50 m	Terreno natural	El. +3,50 m	Terreno natural	El. +3,50 m
Aterro:	El. +4,30 m	Aterro + sobrecarga	El. +5,30 m	Aterro + sobrecarga	El. +5,30 m
Recalque total:	0,87 m	Recalque total	1,02 m	Recalque total	1,02 m
Prazo:	8 meses	Prazo	8 meses	Prazo	8 meses
Grau de Adensamento:	40,55% (NÃO ATENDE)	Grau de Adensamento	47,68% (NÃO ATENDE)	Grau de Adensamento	95,60% (ATENDE)
				Malha de geodrenos (m)	1,60 x 1,60
				Estabilidade:	FS < 1,30 (NÃO ATENDE)

Destarte, como solução para a estabilidade do Cenário III, verificou-se a possibilidade da construção do aterro em duas etapas, o que permite o ganho de resistência não drenada da argila com o tempo, para só então realizar uma segunda etapa de alteamento. O cálculo do adensamento é novamente realizado e foi verificado que a argila passa a ter $S_u = 23,8$ MPa após a primeira etapa. Como alternativa à construção em etapas, pode-se utilizar um reforço com geogrelha na base do aterro. Finalmente, chega-se a duas opções de execução do tratamento consolidadas. As características das duas alternativas são apresentadas na Tabela 3.

Ressalta-se que, entre as alternativas, ocorre uma avaliação de custos e prazos, visto que as duas atendem os requisitos técnicos (recalques e estabilidade). Quanto à primeira alternativa, temos um menor custo mas um maior prazo construtivo. Já para segunda, consegue-se obter menor prazo de execução, mas o custo é elevado. Ainda, a segunda alternativa implicaria num aumento do prazo de execução das estacas, uma vez que haveria uma redução da eficiência das fundações pela necessidade de recorte na geogrelha para cravação de estacas, ou ainda aumento do custo com a utilização de ponteiros metálicos nas estacas. Essa alternativa geraria a necessidade de um maior controle executivo dessas fases da obra.

Tabela 3. Alternativas a execução do tratamento de solo mole.

ATERRO + SOBRECARGA + GEODRENOS			
Terreno Natural:		El. +3,50 m	
Aterro + Sobrecarga:		El. +5,30 m	
Malha de Geodrenos:		1,60 x 1,60 m	
I - CONSTRUÇÃO EM DUAS ETAPAS		II - CONSTRUÇÃO COM REFORÇO	
1ª ETAPA:		REFORÇO	
El.:	+4,50 m (ESTÁVEL)	Geogrelha:	Bidirecional 200 kN/m
Período:	4 meses	Área:	3000 m ²
El. Final:	+3,60 m		
2ª ETAPA:		ETAPA ÚNICA:	
El.:	+5,30 m (ESTÁVEL)	El.:	+5,30 m (ESTÁVEL)
Período:	4 meses	Período:	4 meses
El. Final:	+4,35 m	El. Final:	+4,28 m
Prazo Total:	8 meses	Prazo Total:	4 meses

Perante às análises aqui expostas, decidiu-se, como tratamento do solo mole para a área de ampliação da ETE, executar um aterro com sobrecarga, construído em duas etapas (durando 4 meses cada), com utilização de geodrenos. A Figura 3 traz detalhes construtivos do tratamento. Definiu-se, ainda, um sistema de valas de captação de drenagem superficial provenientes dos geodrenos esgotadas através de bombeamento.

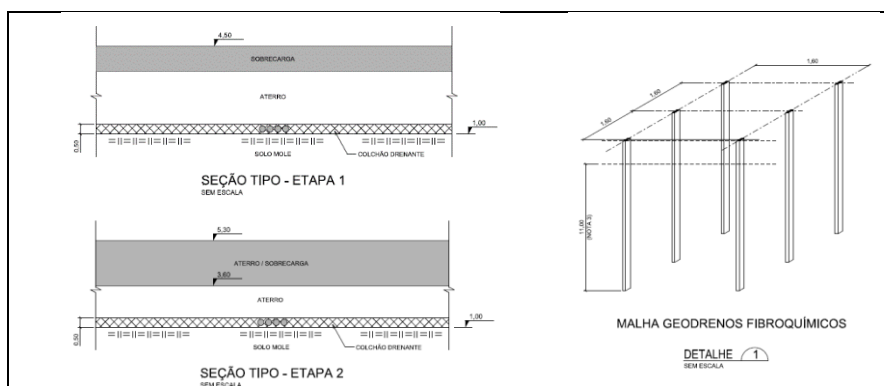


Figura 3. Detalhes construtivos das duas etapas de tratamento do solo mole.

Para a verificação da estabilidade, utilizou-se o software SLOPE/W (2007) da GEO-SLOPE International, pelo método de equilíbrio limite de Spencer. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos a partir das análises de estabilidade em cada etapa da obra, comparados com os FS mínimos permitidos.

Tabela 4. Fatores de segurança obtidos.

Descrição	F.S mín.	F.S.
1) Talude de escavação para remoção do aterro existente (condição provisória)	1,30	1,37

2) Talude do aterro de 1ª etapa, na EL. 4,50 m (condição provisória)	1,30	1,46
3) Talude do aterro de 2ª etapa, na EL. 5,30 m (condição provisória)	1,30	1,39
4) Talude do aterro acabado, na EL. 4,30 m (condição definitiva)	1,40	1,82

6 MONITORAMENTO DE RECALQUES

A área de ampliação da ETE vem sendo utilizada como área de recebimento de bota-fora de outras obras. Dessa forma, ocorre uma certa defasagem dos ensaios e cálculos de adensamento, pois a camada de argila vem recebendo uma sobrecarga e adensando. Definiu-se um sistema de monitoramento do aterro para acompanhamento da evolução dos recalques com o tempo e, ao final do prazo de adensamento da primeira etapa de alteamento, deve-se reavaliar a execução da segunda. Recomenda-se ainda a avaliação da resistência não drenada, através da realização de ensaios de Palheta, antes da colocação da segunda etapa. O sistema de monitoramento almeja verificar as premissas de projeto e auxiliar o planejamento da obra. O sistema é composto por placas de recalque (para monitoramento dos deslocamentos verticais), inclinômetros (para monitoramento dos deslocamentos horizontais), e piezômetros Casagrande (para monitoramento das poropressões).

7 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o estudo das alternativas para o tratamento de solo necessário à ampliação de uma Estação de Tratamento de Esgoto no município de Itajaí-SC. As estruturas da ETE serão assentes sob espessos depósitos de argila mole intercalados por uma camada de areia. O tratamento do solo visa antecipar os recalques por adensamento da argila para o período construtivo da obra. A investigação geotécnica preliminar constituiu-se por sondagens a percussão (SPT) e foi complementada com a coleta de amostras deformadas e indeformadas para realização de ensaios de caracterização e adensamento. Ademais, realizou-se ensaios de palheta nas duas camadas para obtenção da resistência ao cisalhamento. A partir dos resultados de ensaio, previu-se o comportamento do solo e analisou-se alternativas de tratamento.

Avaliou-se, primeiramente, as alternativas considerando os critérios técnicos, mas também prazos, custos e processos construtivos. A solução adotada para o tratamento foi a execução de um aterro com sobrecarga e geodrenos. Realizou-se análises de estabilidade e verificou-se a necessidade de construção deste aterro em duas etapas. Como alternativa à construção em etapas, poderia ser utilizado um reforço com geogrelha na base do aterro, mas esta alternativa foi descartada pelas desvantagens relacionadas a custo e processos executivos. Por fim, foi apresentado o plano de monitoramento com placas de recalques, piezômetros e inclinômetros, projetado para acompanhamento do aterro no período construtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, M. S. S.; Marques, M. E. S. (2010) Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Caputo, H. P. (1987) *Mecânica dos Solos e suas Aplicações: fundamentos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987. 1 v.
- Coutinho, R. (1986) Q. *Aterro experimental instrumentado levado à ruptura sobre solos orgânicos – Argilas moles da Barragem de Juturnaíba*. 1986. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1986.
- Das, B. M. (2015) *Fundamentos De Engenharia Geotécnica*. São Paulo: Cengage Learning.
- Futai, M. M. (2010) *Considerações sobre a influência do adensamento secundário e do uso de reforços em aterros sobre solos moles*. Tese de livre docência – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. (1987) *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., McGraw Hill, New York, NY, USA, 685 p.