

Projeto de fundações diretas por meio de reforço de subsolo, caso de obra em Vila Velha/ES

C. E. M. Maffei

Phd, Full Professor University of São Paulo; Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil,
e-mail: maffei@maffeiengenharia.com.br

H. H. S. Gonçalves

Phd, Professor Associado University of São Paulo; Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil
e-mail: helesilv@usp.br

Davi B. Prates

Engenheiro Civil: Maffei Engenharia, São Paulo, Brasil
e-mail: davi@maffeiengenharia.com.br

RESUMO: A expansão da estação de tratamento de esgoto, em Vila Velha envolve a construção de grandes tanques que compõem o sistema de tratamento denominados RFA e UASB. Dadas as condições específicas do solo local, onde ocorrem camadas de areia compactas sobrepostas à camada de argila marinha mole, a cravação de estacas foi inviabilizada e a solução por fundações diretas levaria a recalques não admissíveis para a estrutura. Como solução alternativa, foi proposto e executado tratamento com colunas de jet grouting na camada de argila mole, de forma descontínua, permitindo economia com adoção de fundação rasa para as estruturas. Para definição dos tratamentos foram executados ensaios CPTu que trazem informações relevantes quanto à resistência da argila mole através da estimativa da coesão e do valor da razão de sobreconsolidamento além de confirmar as espessuras de cada camada. Além dos ensaios CPTu foram executadas campanhas de sondagens para definição dos comprimentos necessários das colunas de jet Grouting.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto de fundações; Reforço de solo; Ensaio de campo; Aplicação de Jet Grouting

ABSTRACT: The expansion of the sewage treatment plant, which involves tanks composing the treatment system named RFA and UASB. Given the specific soil conditions, there are compact layers of sand overlaying a soft marine clay layer, which made it difficult to drive piles and would lead to unacceptable settlements for the structure. As an alternative solution, it was proposed and carried out a treatment with jet grouting columns in the soft clay layer, discontinuously, allowing for cost savings with the adoption of shallow foundations for the structures. CPTu tests were conducted, providing relevant information regarding the material's resistance and allowing estimation of initial stress states and overconsolidation of the layer, which confirmed the data adopted in the design. In addition to the CPTu tests, drilling campaigns were carried out to determine the necessary length of jet grouting treatment.

KEYWORDS: Foundation Design; Soil Reinforcement; Field Tests; Jet Grouting Application

1 INTRODUÇÃO

A obra em referência contempla a implantação da Estação de Tratamento de Esgotos Araçás no bairro Guaranhuns, localizado na Região Administrativa II – Grande Ibes do município de Vila Velha, nas proximidades do bairro Araçás (Figura 1).

O bairro Guaranhuns encontra-se localizado a cerca de 14 km da capital do Estado do Espírito Santo e recebeu as obras da ampliação da estação de tratamento de esgoto da CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento. É um bairro predominantemente residencial, sendo as ocupações aos redores da obra constituídas por residências unifamiliares.

O terreno de localização da obra apresenta topografia ondulada, com cotas predominantemente na elevação +2,0 m com máximo na elevação +3,20 m, com vegetação rasteira e espécies arbóreas, existindo áreas de extração de areia com profundidade até 2,0 m, que foram regularizadas quando da implementação das obras.



Figura 1. Localização da obra, extraído do google maps

A estação de tratamento de esgoto apresenta duas unidades principais: UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* – Reator anaeróbico de fluxo ascendente) e RFA/MBBR (Reator aeróbico de Fluxo Alternado/*Moving Bed Biofilm Reactor*) que juntas somam mais que 80% da área total de todas as unidades da ampliação da estação de tratamento de esgoto em planta.

Também fazem parte do projeto de ampliação as seguintes unidades e sistemas:

Caixa de chegada com calha Parshall; Canal de distribuição de vazão para pré-tratamento; Peneiramento fino mecanizado tipo *step screen*; Desarenador mecanizado tipo caixa de areia aerada com lamelas; Caixa divisora de vazão para separar fluxo entre ETE existente e ETE ampliação; *By-pass* entre unidades com válvulas para possibilitar inversão de fluxo; Unidade de Desinfecção do efluente final por ultravioleta e Medição final de vazão; Reservatório Pulmão para amortecimento de vazões; Tanque de recebimento do excesso de lodo anaeróbico e aeróbico; Desaguamento mecanizado de lodo; Sistema automático de preparo, dosagem e diluição de polímero; Sistema de água de reuso; Sistema de água potável.

O projeto de fundações das unidades principais foi elaborado originalmente com estacas pré-moldadas de concreto, ultrapassando a argila mole para evitar recalques por adensamento. No entanto, quando as estacas começaram a ser cravadas, foi encontrada muita dificuldade, sendo que em algumas regiões a cravação se tornou inviável, devido às condições geológicas locais que serão descritas no próximo item. A camada de areia compacta necessitaria de cravação especial, o que encareceria muito a obra. Após uma consulta ao Prof. Maffei foi decidido que a Maffei Engenharia elaborasse um projeto alternativo.

2 INVESTIGAÇÕES DO SUBSOLO

A investigação do subsolo foi feita por meio de sondagens e ensaios CPTu's, o perfil obtido pelas sondagens, para a região da UASB, RFA e desinfecção, é descrito simplificada a seguir:

A cota de topo do terreno natural, no local da implantação dessas unidades é variável de 2,9 a 2,2m, ocorre camada inicial arenosa com compactidade variável de fofa a muito compacta, com eventual presença de matéria orgânica e ocorrências de bolsões argilosos geralmente de pequena espessura.

Abaixo há uma camada de argila siltosa marinha muito mole a mole com cota de topo variável de -8,9m a -13m e cota de fundo entre -10,5m a -18,9m com espessura média de 3,5m.

Sob a camada de argila mole ocorrem solos arenosos médios a compactos e eventuais argilas rijas.

O nível do lençol freático encontra-se aproximadamente na cota -1,8m.

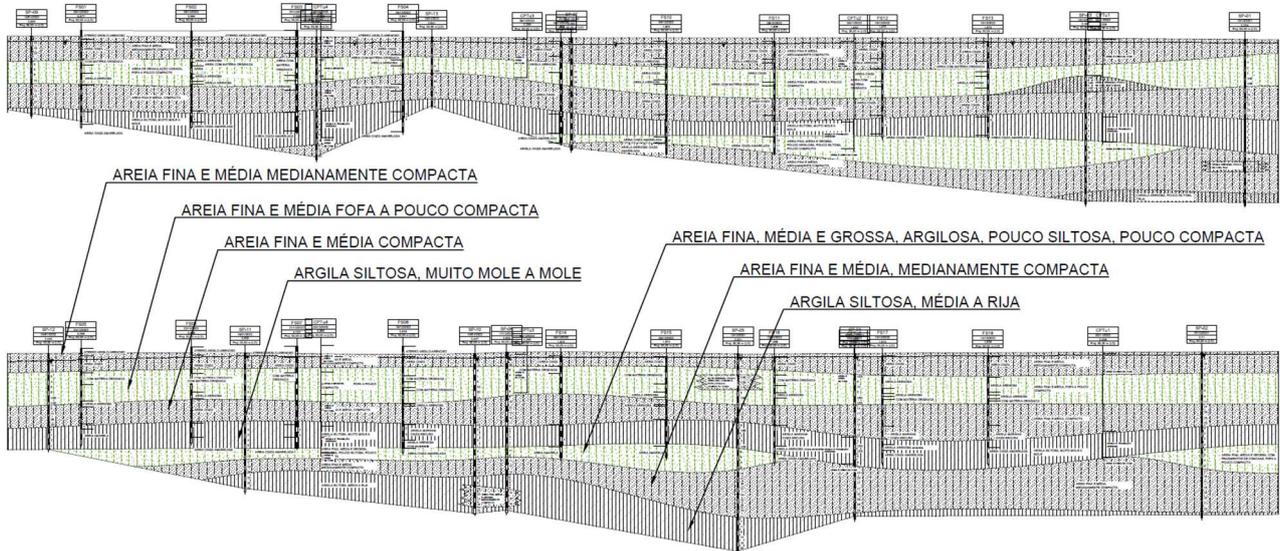


Figura 2. Perfis geológicos traçados conforme sondagens

Os resultados dos CPTu's foram utilizados para validar a descrição do subsolo, comparando-os com as sondagens e também avaliar as propriedades da argila marinha, sendo os resultados reproduzidos nas figuras a seguir. É possível notar boa concordância com variação de cotas entre 1 a 2m; as descrições do subsolo por meio do CPTU são compatíveis com as obtidas nas sondagens.

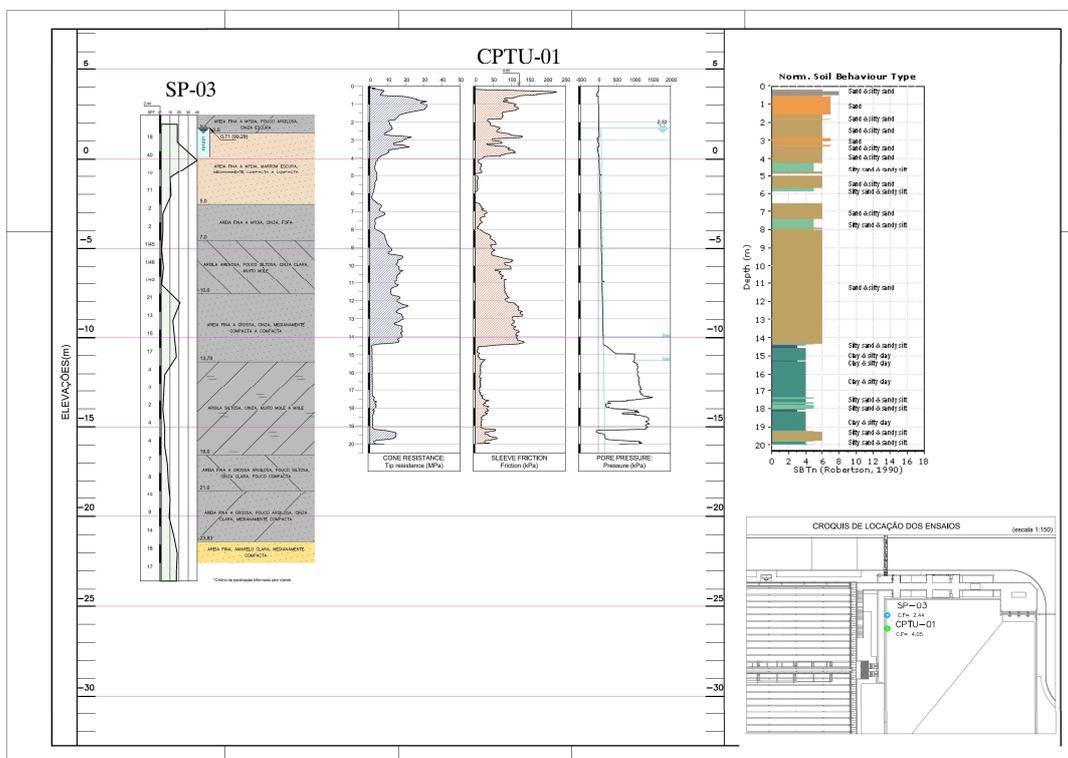


Figura 3. CPTU-01 E SP-03

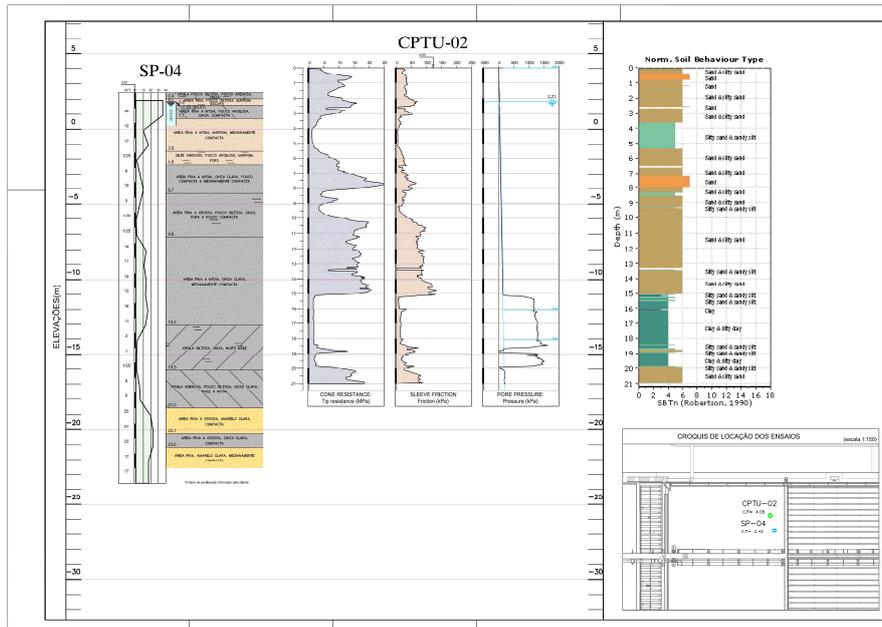


Figura 4. CPTU-02 E SP-04

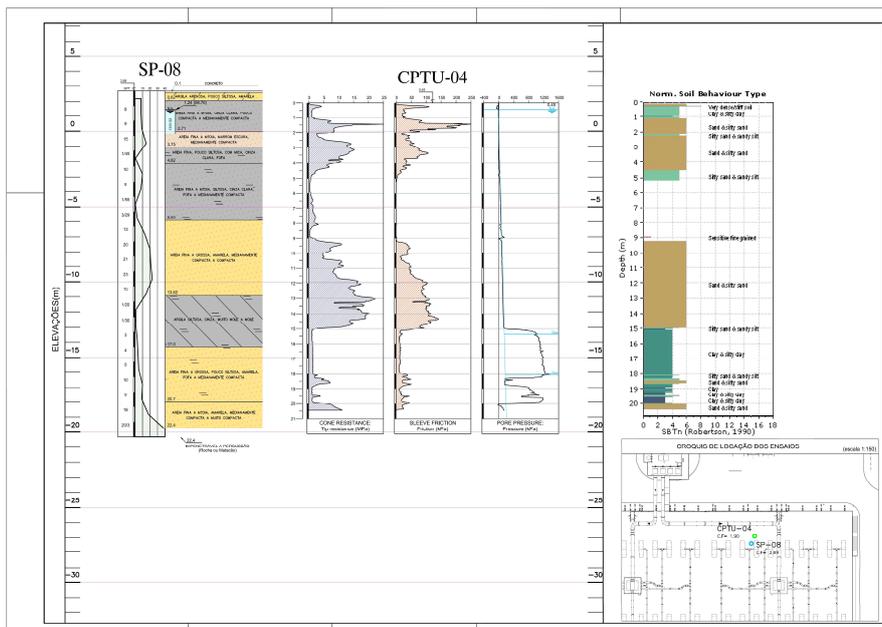


Figura 5. CPTU-04 E SP-08

As grandezas efetivamente medidas no ensaio CPTu são a resistência de ponta, atrito lateral e poro pressão (SCHNAID; ODEBRECHT;2012), este ensaio é muito usado para avaliação de parâmetros em depósitos de argila mole nos quais o ensaio SPT não atende às necessidades. Estes parâmetros são obtidos por meio de correlações; algumas utilizam constantes variáveis com a região como é o caso da constante K que permite estimar a resistência não drenada das argilas. A classificação do solo é baseada na razão de atrito, isto é, razão entre atrito lateral e resistência de ponta. As principais características de interesse para o caso são as propriedades relativas ao adensamento da camada de argila mole e propriedades mecânicas gerais.

A razão de sobreadensamento do solo, um dos parâmetros provenientes de correlação, apresentou valor médio de 1,5, com $K=0,33$ (Figura 6) ao longo de toda a camada de argila mole para os três ensaios realizados.

Este valor está relacionado a um parâmetro de correlação (K) que pode variar de 0,14 a 0,33 (SCHNAID; ODEBRECHT;2012), sendo o valor médio de K de 0,2, o que levaria a uma RSA de 1,0; sendo adotado material normalmente adensado nos cálculos.

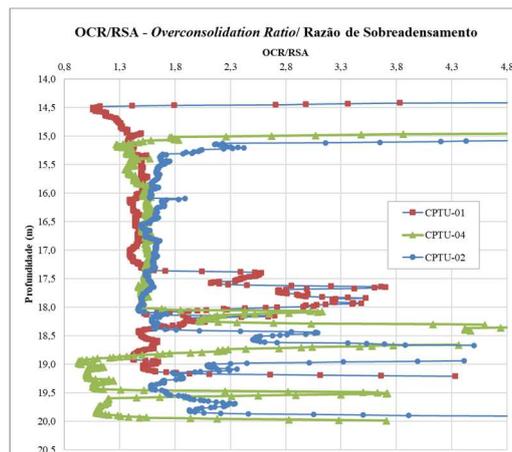


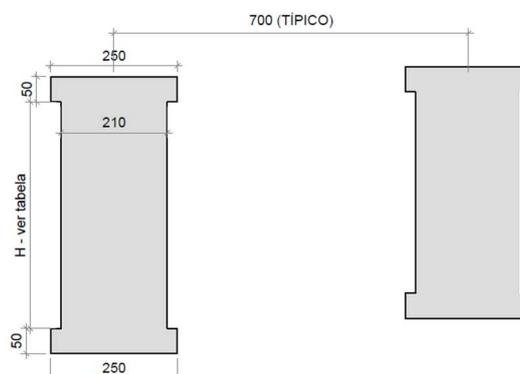
Figura 6. Razão de sobreadensamento ao longo da profundidade para $K=0,33$

3 PROJETO DE FUNDAÇÃO DOS TANQUES UASB, RFA E DESINFECÇÃO

A ocorrência de camada de areia de maior compactidade acima da da camada de argila mole levou a dificuldades de cravação das estacas teste que não conseguiram ultrapassar as camadas mais compactas de areia e ficaram cravadas acima da argila mole, o que levaria a recalques inaceitáveis em condições de operação.

Como alternativas de projeto haveria a possibilidade de execução de pré-furação para execução do estaqueamento, porém os custos inviabilizariam a obra. Foi então sugerido que fossem construídas fundações diretas às quais transmitiriam as cargas através de colunas de Jet Grouting, para o solo mais competente. Estas colunas executadas na argila mole com espaçamento adequado, tem a finalidade de transferir as cargas, através da camada de argila, sem aumentar as tensões atuantes nesta camada, eliminando assim os recalques por adensamento que ocorreriam caso estas cargas fossem transmitidas diretamente à argila. Esta alternativa foi utilizada na obra de repavimentação da avenida Jaguaré em São Paulo, região com espessa camada de argila mole e turfa (MAFFEI, 1994), após terem sido eliminadas todas as soluções usuais.

Para que esta solução fosse implementada com sucesso, era imprescindível que as colunas de Jet Grouting atravessassem os bolsões e as camadas de argila mole, para eliminar os recalques por adensamento. A fim de delimitar com razoável grau de confiabilidade estas camadas foram executados ensaios CPTU e nova campanha de sondagens. Foram realizados cálculos preliminares simplificados de modo a elaborar anteprojeto a fim de verificar a viabilidade técnica e econômica da solução. A concepção básica do solução consistiu em executar colunas de Jet Grouting espaçadas de 7m, conforme Figura 7. Foram necessárias 198 colunas com altura média de 4,5m atravessando integralmente as camadas moles, apoiando-se no fundo na areia compacta.



DETALHE JET GROUTING

Figura 7. Colunas de Jet Grouting – projeto

O dimensionamento das colunas foi feito pelo cálculo simplificado de área equivalente, considerando um espaçamento de 7x7m, e tensão de 1MPa admissível, para 70 kN/m² (UASB/RFA) de carregamento conforme apresentado a seguir:

$$N = A * q = 70 * 7 * 7 = 3430 \text{ kN} \rightarrow D_{(coluna)} = \sqrt{\frac{4 * N}{\pi * 1 \text{MPa}}} = 2,09\text{m} \therefore 2,1\text{m}$$

O formato das colunas é teórico, sendo que o aumento no diâmetro na base e topo é uma medida executiva dada pela redução pontual na velocidade de subida da haste do equipamento de Jet Grouting.

Os capitéis encaminham a carga para as colunas e o aumento de área na parte inferior das colunas faz com que as cargas sejam distribuídas através de uma área maior, diminuindo as tensões que chegam nas camadas competentes.

As cotas de execução das colunas foram validadas por meio de furos adicionais realizados por equipe de sondagem, sendo também possível avaliar a resistência à penetração da haste durante a execução das colunas conforme informações do executor, para confirmar o material.

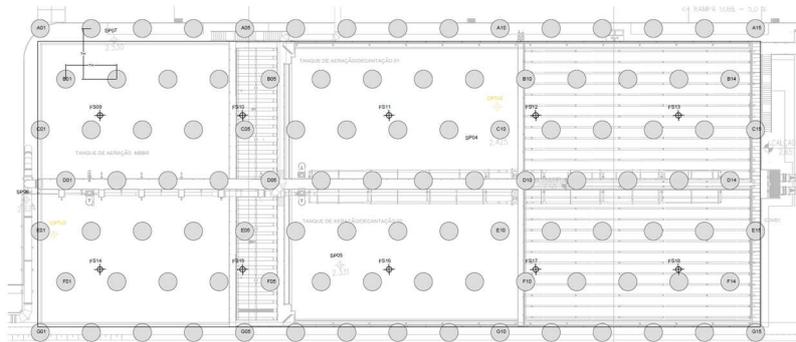


Figura 8. Planta de tratamentos do subsolo com colunas de Jet Grouting unidade RFA

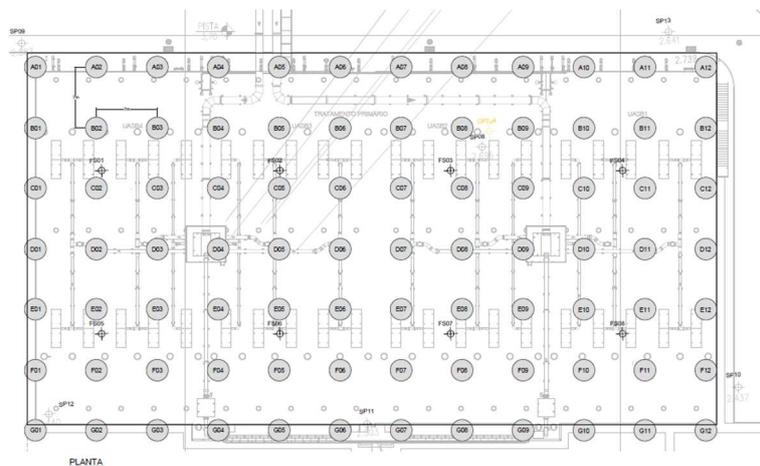


Figura 9. Planta de tratamentos do subsolo com colunas de Jet Grouting unidade UASB

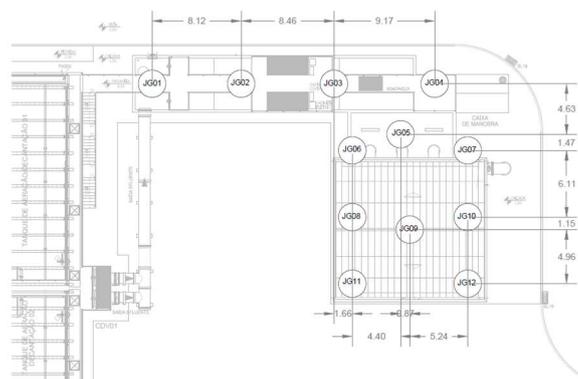


Figura 10. Planta de tratamentos do subsolo com colunas de Jet Grouting unidade Desinfecção

3.1. Dimensionamento estrutural/geotécnico da solução de reforço de fundação

O projeto foi validado por modelo de elementos finitos (Figura 11) com parâmetros obtidos através de correlações utilizando os resultados das investigações geotécnicas realizadas (CPTu) e de pesquisa bibliográfica. Os parâmetros adotados são reproduzidos a seguir:

Areia fina e média (cinza amarelada) superficial

- Peso específico: 18 kN/m^3
- Módulo de Elasticidade: $40 + 3 \cdot z \text{ MPa}$
- Coeficiente de Poisson: 0,3
- Coesão: 5 kPa
- Ângulo de atrito: 30°

Argila marinha cinza mole

- Peso específico: 15 kN/m^3
- Coeficiente de Poisson: 0,40
- Resistência não drenada: $55 + 4 \cdot z \text{ kPa}$ ($N_{kt}=20$)
- OCR = 1,0 a 1,5 ($k_1 = 0,2$ a $0,3$) - adotado 1,1
- Índice de vazios: $e = 1,5$ a $4,3$ (LEMOS;2014) – adotado 2,0
- Relação adensamento $C_c/(1+e) = 0,26$ a $0,47$ (LEMOS;2014) – adotado 0,31

Areia média a compacta

- Peso específico: 19 kN/m^3
- Módulo de Elasticidade: 95MPa
- Coeficiente de Poisson: 0,3
- Coesão: 10 kPa
- Ângulo de atrito: 30°

Jet-Grouting (tratado como elástico linear)

- Peso Específico: 17 kN/m^3
- Módulo de Elasticidade: 2GPa (CARLETTO;2004)
- Coeficiente de Poisson: 0,25

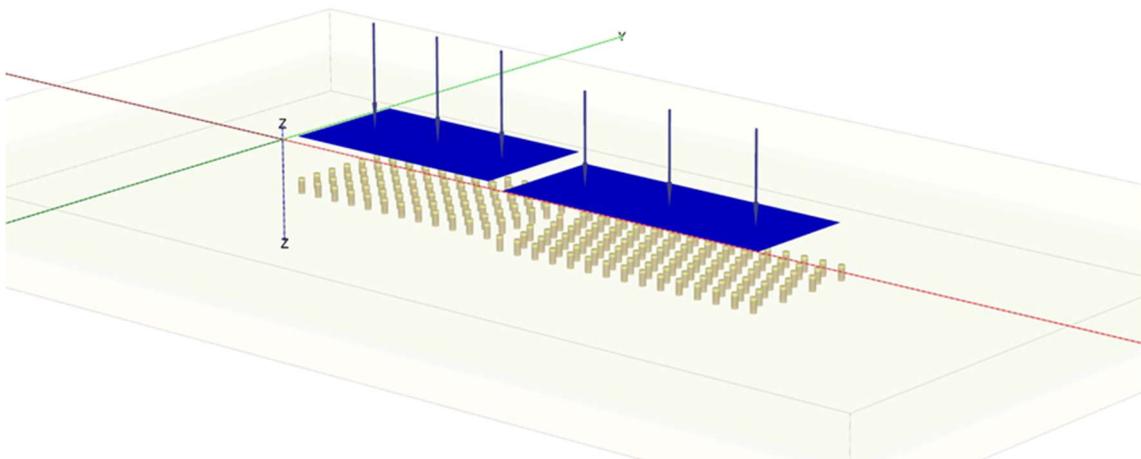


Figura 11. Modelo simplificado elaborado

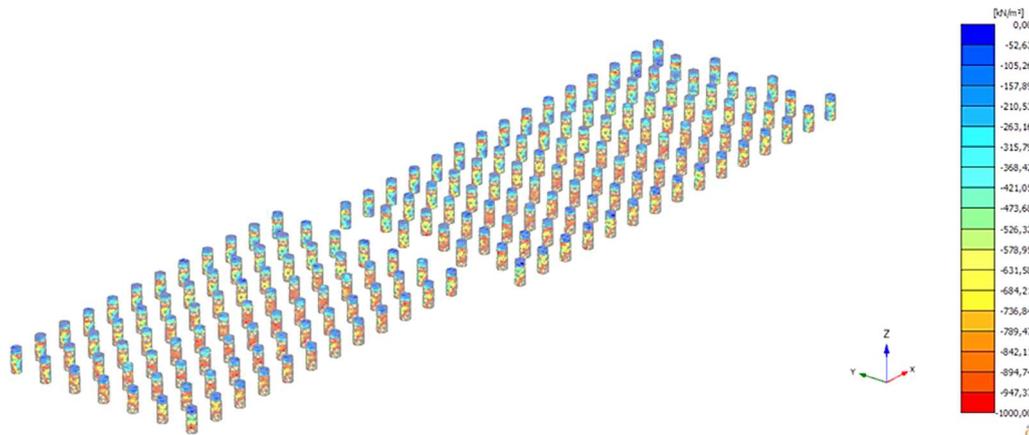


Figura 12. Tensão nas colunas conforme modelo, média inferior a 0,7 MPa

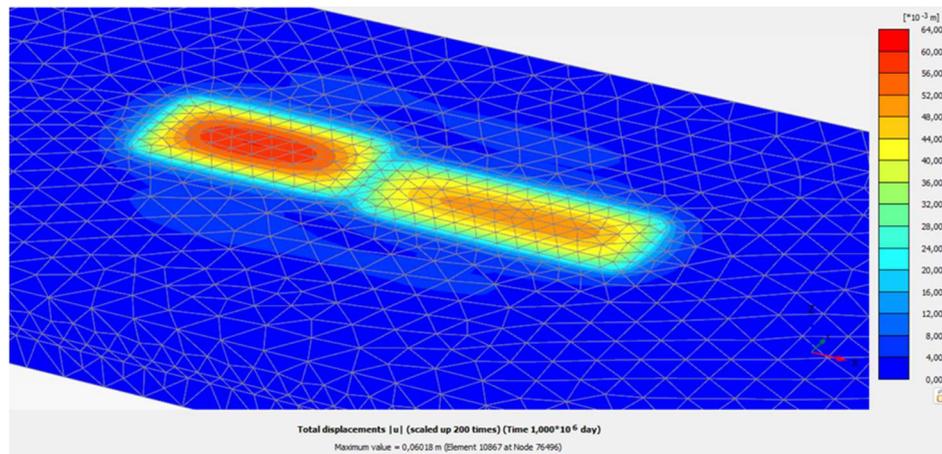


Figura 13. Deslocamentos superficiais após adensamento da camada de argila (máximo 6cm)

Na ausência do tratamento com colunas de jet grouting para melhoramento do solo, os deslocamentos seriam superiores e diferenciais, dada a estratigrafia real que é muito variável. Nos cálculos realizados através de elementos finitos foi adotada uma estratigrafia horizontal única, o que não reflete este comportamento. Ainda assim é possível observar tendência de deslocamento diferencial entre os tanques.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos os profissionais envolvidos na concretização da obra, que com empenho na busca de soluções alternativas possibilitaram a redução dos custos totais, sem comprometer a segurança e desempenho da obra, apesar das adversidades geotécnicas locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carletto, M. F. W. A influência dos parâmetros do Jet Grouting no solo tratado Dissertação – Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo. 2004
- Lemos, S. G. F. P. Estudo da resistência não drenada de solo de baixa consistência por meio de ensaios de campo e laboratório - Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Espírito Santo. 2014.
- Maffei, C. E. M. . Projeto Executivo de Repavimentação da Av. Jaguaré, em São Paulo. 1994.
- Schnaid, F. Odebrecht, E. Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações 2 ed. São Paulo, Oficina de texto, 2012