

TÉCNICA DE CONSOLIDAÇÃO PROFUNDA RADIAL. ESTUDO DE CASO: AVALIAÇÃO DA TÉCNICA EXECUTADA NAS VIAS DE ACESSO AO BAIRRO PONTAL OCEÂNICO NO RECREIO DOS BANDEIRANTES –RJ

Macedo K. K.¹; Souza G. L. A.²; Pires G. D.²

¹ Aluno Engenharia Civil do Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

^{2,3} Docentes Engenharia Civil do Grupo de Pesquisa Engenharia e Sociedade, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Iguaçu - UNIG, Av. Abílio Augusto Távora, 2134 - Jardim Nova Era, 26275-580, Nova Iguaçu – RJ

180026522@aluno.unig.edu.br, 0166002@professo.unig.edu.br,
engenhariacivil.campus1@coordenacao.unig.edu.br

Resumo - Este presente trabalho dispõe de um estudo sobre a técnica utilizada para melhoramento do solo mole. Conhecida como Consolidação Profunda Radial (CPR). O CPR Grouting é uma técnica de aprimoramento de solos moles que atua geoenrijecimento, onde é instalado drenos verticais pré-fabricados (DVPs) e decorrente formação de colunas mediante a injeção de argamassa, no interior deste solo mole é elevada a altas pressões, pretendendo acelerar o desenvolvimento do adensamento do solo mole. Consiste na consolidação do solo via expansão de cavidades, pela cravação de geodrenos, seguindo-se da formação verticais de bulbos de geogROUT, que comprimem o solo mole em direção aos geodrenos, explorando ao máximo sua compressibilidade, simultaneamente em que as deformações e tensões obtidas são monitoradas, obtendo-se significativo aumentos rigidez e resistência. O presente estudo é baseado na aplicação de CPR Grouting no Pontal Oceânico sendo um sub-bairro nobre planejado, localizado no Recreio dos Bandeirantes, na Zona Oeste do Rio de Janeiro. O trecho em estudo apresenta uma área de 3.480 m², com altura de aterro de 1,63 m, e espessura de solo mole da ordem de 10,0 m. Com isso houve a grande necessidade de analisar soluções geotécnicas para implantação de terreno da via urbana a curto e médio prazo. A técnica de CPR Grouting foi executada em toda dimensão do trecho.

(Palavras-chave: Solos Moles, CPR Grouting, Geodrenos.)

Abstract - This present work presents a study on the technique used for soft soil improvement. Known as Deep Radial Consolidation (CPR). CPR Grouting is a technique for improving soft soils that uses geostiffening, where prefabricated vertical drains (DVPs) are installed and the resulting formation of columns through the injection of mortar, inside this soft soil it is raised to high pressures, intending to accelerate the development of soft soil consolidation. It consists of soil consolidation via expansion of cavities, by driving geodrains, followed by the vertical formation of geogROUT bulbs, which compress the soft soil towards the geodrains, exploiting its compressibility to the maximum, simultaneously in which the deformations and tensions obtained are monitored, obtaining significant increases in rigidity and strength. The present study is based on the application of CPR Grouting in Pontal Oceânico being a planned noble sub-neighborhood, located in Recreio dos Bandeirantes, in the West Zone of Rio de Janeiro. The stretch under study has an area of 3,480 m², with an embankment height of 1.63 m, and soft soil thickness of around 10.0 m. As a result, there was a great need to analyze geotechnical solutions for the implementation of urban road terrain in the short and medium term. The CPR Grouting technique was performed in every dimension of the section.

(Keywords: *Soft Soils, CPR Grouting, Geodrains.***)**

1. Introdução

Nos últimos anos o Brasil tem tido uma demanda crescente por realizar construções civis, em contrapartida, é encontrada uma grande ausência de subsolos que haja boa qualidade nas cercanias das cidades, restando poucas alternativas como ocupar áreas que antes eram impróprias para receber e suportar construções. Os depósitos de argilas moles eram evitados por apresentar um potencial de carga baixa, pouca resistência e alta compressibilidade nos subsolos. Ao longo de toda costa brasileira são encontrados estes materiais usualmente denominados solos moles.

As obras realizadas sobre essa espécie de solo podem ocasionar certo tipo de problema. A inexistência de um controle geotécnico pode provocar excessivos recalques ou ruptura dos aterros que são realizados nestes solos compressíveis. Esta conjuntura acaba ocasionando o crescimento do prazo construtivo da obra, além da redução de recursos financeiros. Na execução desses aterros sobrepostos nesses solos são aplicados métodos para enfrentar o problema de eventualidade que pode decorrer deste solo, tendo como finalidade reduzir e/ou acelerar a magnitude das deformações do aterro e evitar rupturas.

Por causa da baixa resistência e à alta compressibilidade das camadas compressíveis destes solos, os processos standardizados de construção de aterros sobre estes solos argilosos (aterro com carga excessiva temporária e aterros com drenos verticais) demandam de um intervalo para que assim decorra o adensamento, por este motivo essas técnicas requerem de períodos construtivos maiores e sejam de utilização limitada.

A Consolidação Profunda Radial é uma metodologia atual de melhoria de solos moles, fundamentada na teoria de adensamento que foi desenvolvida e patenteada pela empresa Engegraut. O resultado obtido é o adensamento do solo, que devido ao procedimento de confinamento ganha resistência, aumenta sua rigidez e, por sequência haja a diminuição dos recalques.

2. Material e Métodos

O estudo de caso foi realizado na obra do bairro Pontal Oceânico, situado na Avenida das Américas, localizado no Recreio dos Bandeirantes, CEP: 22790-883 do estado do Rio de Janeiro. (Figura 1). No qual foi executada a técnica de CPR Grouting pela empresa Engegraut, a empresa que patenteou a técnica.

Nesta obra, dentre as técnicas de tratamento de solos moles, o CPR Grouting, foi a que ofereceu melhor prazo executivo aliado ao baixo custo relativo, todo processo construtivo baseia-se na redução/eliminação da compressibilidade do solo mole, atendendo totalmente aos parâmetros de sustentabilidade ambiental. A área em estudo apresenta espessuras médias de solo mole, que determina a necessidade de busca de soluções geotécnicas para execução e implantação do aterro a curto e médio prazo.

O trecho em estudo apresenta uma área de 3.480 m², com altura de aterro de 1,63 m, e espessura de solo mole da ordem de 10,0 m. A solução consistiu na aplicação de CPR, com espaçamentos de bulbos de 3,0 m, e instalação de geodrenos em malha triangular com espaçamento de 1,5 m.

A profundidade média de tratamento foi de 10,0 m. A área em estudo obteve um prazo de liberação de 10 meses, sendo executado drenos fibroquímicos como solução das vias urbanas e CPR como solução dos Canais/Galerias. De forma a minimizar o problema de recalques excessivos, foi

adotada a técnica de CPR Grouting, com o objetivo de reduzir os recalques a valores menores que 60 mm. Para avaliar a qualidade do tratamento, durante execução do CPR Grouting, foi realizado o monitoramento com placas de recalque, na fase pós-CPR junho/2015 a maio/2016.



Figura 1. Indicação da localização das vias de acesso e local onde foi realizado os estudos (Fonte Geoinfra, 2015).

O CPR Grouting explora a principal característica deste tipo de solo, sendo assim a única técnica de tratamento de solo mole que explora sua compressibilidade com singularidades: as tensões radiais são utilizadas para comprimir, confinar e adensar o solo saturado em direção aos geodrenos. As tensões idealizadas por um dos métodos da teoria de expansão de cavidades, são dimensionadas com o emprego de programação de elementos finitos, capazes de idealizar grandes deformações volumétricas, associadas a um intenso processo drenante e complexas alterações nas poropressões, promovendo processo de adensamento acelerado, com base na teoria da consolidação tridimensional. A Figura a seguir apresenta o trecho tratado com CPR Grouting.

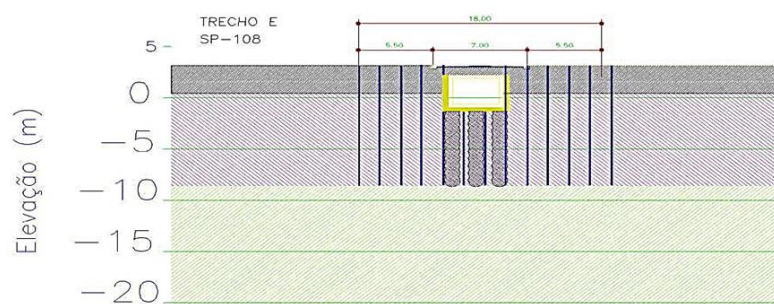


Figura 2. Seção transversal do trecho tratado (Fonte: Geoinfra, (2015))

O CPR Grouting é uma técnica que visa tratar os solos moles, desenvolvida e patenteada pela empresa Engegraut, que constitui no bombeamento de argamassa no interior da camada de solo mole.

A execução do CPR Grouting consistiu na instalação dos drenos verticais, na preparação de argamassa e no bombeamento da argamassa para o interior do solo mole.

A injeção de argamassa sob alta pressão faz com que se formem bulbos de pressão verticais comprimindo o solo lateralmente, ocasionando deslocamentos no entorno do bulbo. O volume dos bulbos varia de 800 a 1.000 litros e as pressões de injeção de 100 kPa a 1.000 kPa, reduzindo à medida que se aproxima da superfície do terreno.

Os critérios de paralisação consistiram no alcance do volume máximo de argamassa bombeada ou no alcance da máxima pressão de injeção. Outro critério de parada do bombeamento é o levantamento superficial do terro ao redor do ponto de injeção, que ocorre devido a um plano de ruptura acima do bulbo. Inicialmente no processo de execução há um aumento da poropressão. A partir do processo de adensamento do solo, ocorre a percolação da água em direção aos drenos instalados anteriormente. À medida que a água é expulsa pelos drenos, obtém o processo gradual de transferência de carga, aumentando a tensão efetiva do solo.

Esse crescimento de tensão gerado no solo pela compressão de argamassa verticais, diminui o índice de vazios da camada compressível e ocorre o aumento de resistência do solo. Atingir essa melhoria resulta em uma significativa diminuição da magnitude dos recalques.

O CPR foi executado em uma região de solo mole, de instância removemos a vegetação pois futuramente pode ocasionar problemas. Nisso é preciso que haja tráfego por essa região, sendo feito um aterro de conquista, feito por colocação de geotêxtil sendo colocado sobre o aterro, ao chegar à capa de 0,60 a 0,80 cm há condições de trafegar com os equipamentos que são de esteira distribuindo a carga assim lançando pouca carga nesse solo.

A partir desse ponto que há o aterro de conquista, foi realizado o pré-furo com a máquina de pré-furo independente de ser nessa região onde foi feito o aterro de pré-carga ou em uma região que já possua aterro existente. O equipamento faz uma abertura desse aterro de conquista até atingirmos o solo mole. Quando atingirmos o solo mole é feito a cravação dos geodrenos fibroquímicos com o caminhão esteira e a faca apropriada contendo o fibroquímico dentro dela cravando até a região desejada, quando a faca é retirada o geodreno fica no solo, assim que retirada do solo é cortada e cravado os geodrenos fibroquímicos.

Após a cravação dos geodrenos fibroquímicos nos pontos das verticais de compressão é descido um tubo de 3 polegadas, dessa forma iniciando o bombeamento fazendo a compressão desse solo.

Obtendo a dissipação da poropressão, ou seja, a saída d'água por cima do geodreno, expulsando a água, aumentando a rigidez desse solo e aumentando a densidade desse solo e a capacidade de carga. Por seguinte foi realizado os ensaios de comprovação. Utilizamos o manômetro para ver a tensão de projeto, a caçamba onde cada pistonada são 50 litros de material por pistonada, onde na tensão de deformação é bombeado assim fazendo a compressão desse solo. Figura 3: Técnica de geoenrijecimento



Fonte: Pontal Oceânico (Concremat 2016)

A Figura 3 apresenta o enrijecimento do solo compressível por meio da técnica de CPR Grouting no Pontal Oceânico. As verticais de adensamento são executadas dentro de uma malha de geodrenos previamente cravados, para acelerar o adensamento do solo mole

Foram realizadas as instrumentações geotécnicas para distinguir diferenças no comportamento dos solos, o monitoramento do aterro executado foi realizado por uma sucessão de instrumentos geotécnicos instalados no solo.

As instrumentações foram utilizadas para prever o comportamento dos solos, e a antecipação para realizar decisões que minimizam gastos e recursos que sejam desperdiçados. Sobre os ensaios e as instrumentações de monitoramento estes conduzidos no local, conclui-se que, com o monitoramento este realizado pelo piezômetro de corda vibrante foi possível verificar a dissipação da poropressão.

Os piezômetros Casagrande foram instalados com a finalidade de monitorar as poropressões na camada drenante. O monitoramento com o inclinômetro possibilitou a verificação de um possível deslocamento horizontal podendo deteriorar estruturas próximas.

As Placas de recalque foram instaladas em todos os trechos da via, de forma a monitorar os recalques ao longo do tempo, bem como as velocidades que o mesmo se desenvolve, tendo em vista a importância da análise de recalques em projetos de aterro, serão analisados e discutido o comportamento das placas de recalque.

O projeto de instrumentação geotécnica estabeleceu a necessidade da realização de monitoramento da ilha de instrumentação denominada. Além dos instrumentos em projeto, foram instalados instrumentos adicionais por solicitação da fiscalização.

3. Resultados

Foram realizadas duas campanhas de instrumentação, a primeira realizada pela Engegraut, sendo está a executora dos CPR e a outra pela empresa Concremat, que realizou o monitoramento de todo empreendimento. A primeira campanha foi instalada duas placas de recalque a PR E1, instalada com a cota inicial de 2,848 em 17/06 e a leitura da cota final realizada em 02/09, obteve-se o valor de 2,795,

ou seja, observou-se um deslocamento de 53mm. Já na segunda placa PR E2, a leitura da cota inicial foi de 2,653, e a leitura final apresentou o valor de 2,618. Logo, esta placa apresentou um deslocamento de 35mm.

Na segunda campanha realizada pela Concremat foram instaladas 8 placas de recalque, no entanto duas placas foram danificadas. A primeira leitura foi realizada em 05/06 e a última 06/09. O deslocamento mínimo foi obtido na placa E41 de 20,9mm e o deslocamento máximo foi encontrado na E24 com 61,9mm. É voltada a atenção para a magnitude do deslocamento máximo, logo observou-se que houve uma escavação próxima, o que provavelmente ocasionou interferência nas leituras.

Outro trecho que foi realizado o CPR foram instalados diversos instrumentos para a verificação do aterro. O piezômetro de Casagrande observou-se notórias de carga piezométricas entre 105 e 115 Kpa. Já piezômetros elétricos mostraram-se valores constantes e iguais a 30Kpa. É interessante ressaltar que houve uma interrupção da leitura uma vez que a execução dos bulbos do CPR danificou os instrumentos. Os inclinômetros instalados apresentou um deslocamento resultante de 700mm, porém sua leitura foi paralisada a 13,5m.

4. Conclusão

O presente trabalho analisou o comportamento do aterro executado a partir de resultados de instrumentação geotécnica. O aterro foi executado sobre solo mole com drenos fibroquímicos e tratado com a técnica de consolidação profunda radial (CPR Grouting).

Na leitura da instrumentação foi observado deslocamentos gerados no solo, apresentado nas placas de recalques, os deslocamentos de grande magnitude foram provocados através de uma interferência nas leituras. As leituras dos piezômetros foram paralisadas pela execução dos bulbos que danificou os instrumentos. Tendo como base a análise dos resultados da instrumentação apresentada pode-se concluir que os aterros em questão apresentam, de maneira geral, comportamento compatível com as previsões de projeto.

Os resultados indicaram uma tendência clara de estabilização dos recalques nos trechos com tratamento de CPR, comprovada pela reduzida velocidade dos recalques. Nos trechos sem tratamento, os recalques ainda apresentam tendência acentuada de acréscimo com o tempo. Dessa forma, permitindo mostrar a eficiência da técnica de consolidação profunda radial CPR Grouting. Observando uma significativa redução dos recalques sobre o solo tratado. Ressalta-se a eficácia da técnica, que permite também, uma aceleração dos recalques com a instalação dos geodrenos.

5. Agradecimentos

6.

O presente trabalho foi realizado através da concessão da empresa Engegraut para realização da pesquisa, mediante 2022, com o da Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Em especial o Sr. Joaquim Rodrigues que autorizou o estudo da técnica criada pelo mesmo e patenteada pela sua empresa Engegraut. E a Prof. M. Sc. Eng. Giana Laport que me orientou com excelência e experiência.

7. Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. [Constituição (1997)]. Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. [S. l.: s. n.], 2001. Disponível em: https://engenhariacivilfisp.files.wordpress.com/2014/11/spt-metodo_de_ensaio_nbr_6484.pdf.

ALMEIDA, Márcio et al. Aterros sobre solos moles: projeto e desempenho. [S. l.: s. n.], 2014.

BARRETO, Elaine. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA, MINERALÓGICA E MICROMORFOLÓGICA DO SOLO MOLE DO PORTO DE SANTANA, NO AMAPÁ. 2017. Publicação Acadêmica (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, [S. l.], 2017. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/9972/9972_3.PDF.

CARVALHO, César. PIEZÔMETRO DE CASAGRANDE. PIEZÔMETRO DE CASAGRANDE E SEUS EFEITOS SOBRE UMA BARRAGEM DE TERRA, [s. l.], 30 nov. 2021. Disponível em: <http://192.100.247.84/bitstream/prefix/2256/1/C%c3%a9sar%20Augusto%20de%20Carvalho.pdf>.

CHAVÃO, Amanda. Avaliação da eficiência da técnica de consolidação profunda radial CPR Grouting no tratamento de solos compressíveis. 2015. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, [S. l.], 2015. Disponível em: <http://www.labbas.eng.uerj.br/pgeciv/nova/files/dissertacoes/107.pdf>

CIRONE, Alessandro. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM GEOTÉCNICA DO CPR GROUTING. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM GEOTÉCNICA DO CPR GROUTING, [S. l.], p. 1-8, 17 maio 2018.

FILHO, Roberto. OBRAS SOBRE SOLOS MOLES E SUAS RESPECTIVAS SOLUÇÕES: UM EXEMPLO PRÁTICO DA OBRA DE UM COMPLEXO DE VACINAS EM SANTA CRUZ, RJ. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, [S. l.], 2017. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022278.pdf>.

MANUAL de Execução de Sondagens. [S. l.: s. n.], 1996. Disponível em: https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/Documentos_Download/manual_sondagem.pdf.

MEDINA, Miguel. Interação Solo-Estrutura: Entenda a Torre de Pisa: A Torre de Pisa ou Torre Pendente de Pisa é um dos maiores cartões postais da Europa, muitos turistas quando vão a Itália não podem deixar de tirar a famosa foto segurando a torre. [S. l.], 18 jul. 2019. Disponível em: <https://engm3.com/interacao-solo-estrutura-entenda-a-torre-de-pisa/>.

MELLO, Thame. ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ATERROS SOBRE SOLOS MOLES REFORÇADOS COM COLUNAS DE BRITA, ESTUDO DE CASO: BR-135/MA. 2019. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Civil e Ambiental) - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA FACULDADE DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, [S. l.], 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37186>. Acesso em: 17 set. 2022.

PASSINI, Larissa. INSTRUMENTAÇÃO GEOTÉCNICA DE SEÇÃO TESTE EM OBRA INDUSTRIAL SOBRE SOLOS MOLES. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, [S. l.], 2008. Disponível em: <https://docplayer.com.br/63035360-Instrumentacao-geotecnica-de-secao-teste-em-obra-industrial-sobre-solos-moles.html>.

PENZ, Rodrigo. Desenvolvimento de um inclinômetro com tecnologia MEMS aplicado ao monitoramento de obras geotécnicas. 2013. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Passo Fundo, [S. l.], 2014. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/bitstream/tede/299/1/2013RodrigoSiqueiraPenz.pdf>.

PITOL, Mayara. Construção de um inclinômetro aplicado ao monitoramento de obras geotécnicas. 2017. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade de Passo Fundo, [S. l.], 2017. Disponível em: <http://repositorio.upf.br/bitstream/riupf/1402/1/PF2017Mayara%20Pitol.pdf>

PÓVOA, Luísa. CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE UM DEPÓSITO DE SOLO MOLE EM ÁREA DE BAIXADA LOCALIZADA EM MACAÉ-RJ. 2016. Dissertação de Mestrado (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, [S. l.], 2016. Disponível em: <https://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2016/12/Disserta%C3%A7%C3%B5es-de-Mestrado-2016-LUISA-MUYLAERT-DE-MENEZES-P%C3%93VOA.pdf>

PROPRIEDADES E ÍNDICES FÍSICOS DE SOLOS. 2019. Publicação Acadêmica (Graduandos em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Paraná, [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2020/01/APOSTILA-PROPRIEDADES-E-%C3%8DNDICES-F%C3%8DSICOS-DE-SOLOS.pdf>.

SOLO - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. [S. l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. Disponível em: https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2014/11/spt-metodo_de_ensaio_nbr_6484.pdf.

THÁ, Pedro. ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE FLUXO PELA BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM ESQUERDA DE ITAIPU. 2007. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, [S. l.], 2007. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11080/11080_5.PDF.

THÁ, Pedro. ESTUDO DAS CONDIÇÕES DE FLUXO PELA BARRAGEM DE TERRA DA MARGEM ESQUERDA DE ITAIPU. 2007. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO - PUC-RIO, [S. l.], 2007. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/21333/21333_7.PDF