

Soft Soil Brazilian Review

4 Solo Mole

Recalques em ferrovias existentes.
Como solucionar sem interromper a via.

14 Solo Mole

O “melhoramento do solo mole” com
georeforço à base de deep mixing.

22 Solo Mole

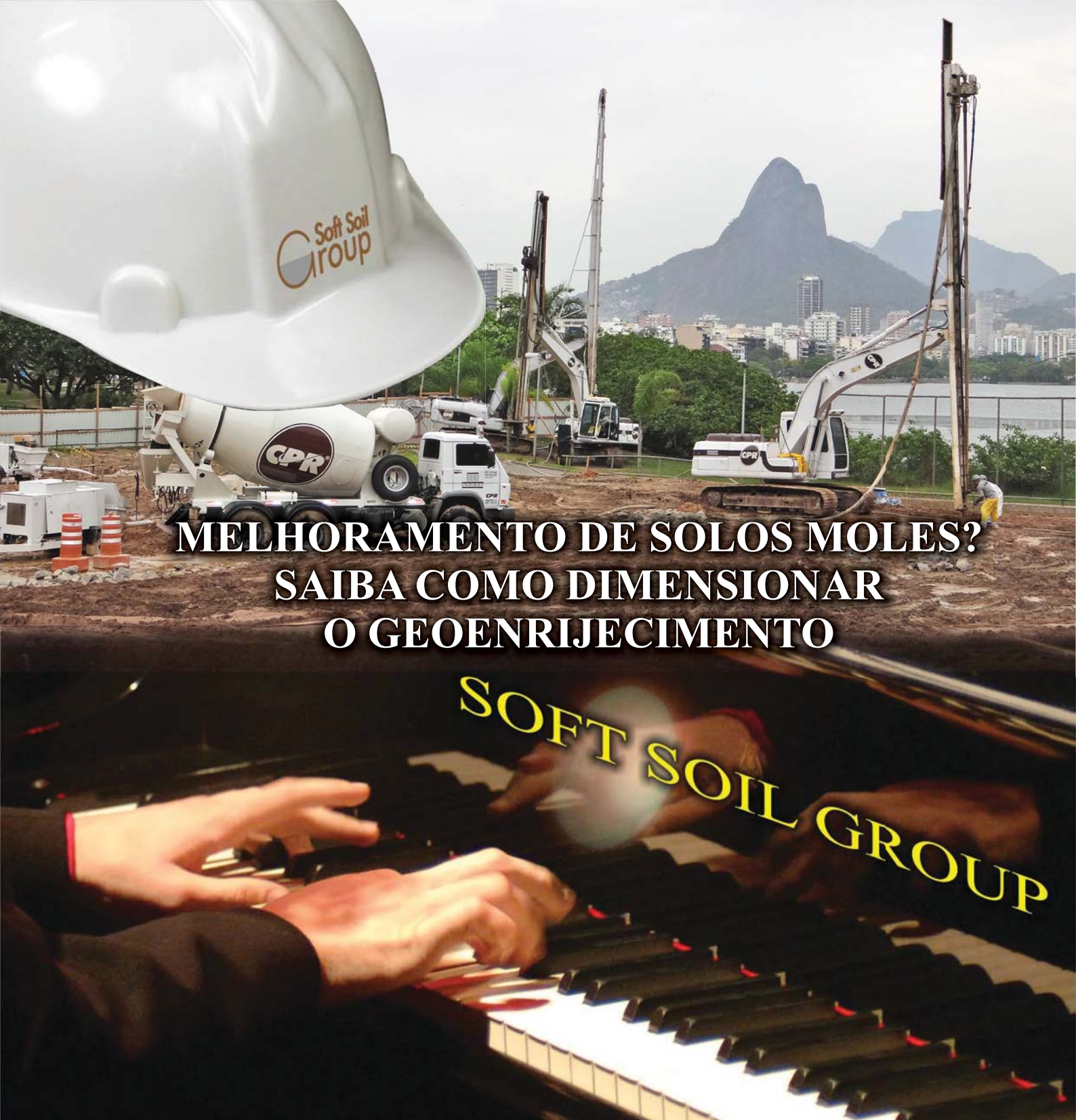
Estudo de viabilidade geotécnica, para
construção de rodovia em área com
presença de solos moles.

11 Consulta

Como associar melhoramento do solo e
as deformações subsequentes motivadas
pela presença de matéria orgânica?

RECALQUES EM FERROVIAS EXISTENTES

COMO SOLUCIONAR
SEM INTERROMPER
A VIA?
PÁG. 4



MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES? SAIBA COMO DIMENSIONAR O GEOENRIJECIMENTO

O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a tocar sucessos

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada. Saiba como dimensionar o Geoenrijecimento do solo mole, através de planilha exclusiva. Basta apenas acessar o link: http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento/MC_v1.0.rar



<http://softsoilbrazilianinstitute.com.br>

Soft Soil Brazilian Review

Edição - Jan / Fev - Nº 15



SSBI SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

A PRIMEIRA E ÚNICA REVISTA DIGITAL GEOTÉCNICA
ESPECIALIZADA EM SOLOS MOLES.

15

SOLO MOLE

Recalques em ferrovias existentes. **04**
Como solucionar sem interromper a via.

Por Joaquim Rodrigues

SOLO MOLE

O “melhoramento do solo mole” **14**
com georeforço à base de deep mixing.

Por Patrícia Tinoco

SOLO MOLE

Estudo de viabilidade geotécnica, para construção de **22**
rodovia em área com presença de solos moles.

Por Thomas Kim

EDITORIAL

O ano acabou e a pandemia continua, prejudicando nossas vidas da maneira mais profunda possível. Produtos atrelados às lojas físicas entram em queda de vendas, devido às restrições de circulação. Com isto, ocorre um maior volume de vendas online, o que está demandando uma readequação logística de atendimento ao cliente, com entrega de produtos. Com isto, cresce a necessidade da construção de centros de distribuição e condomínios logísticos, invariavelmente em áreas com solos moles, tornando febril a demanda por projetos de melhoramento de solos moles para estas construções e até novas estradas para se alcançar estes novos empreendimentos. Procuramos, nesta edição, com base nesta nova realidade, inclusive com a construção de novas ferrovias, informar detalhes acerca de recalques e a necessidade de solução sem interrupção da via que, na maioria dos casos, deve-se a presença de solos moles. Trata-se de uma excelente matéria, que informa como proceder o melhoramento e a readequação do solo à ferrovia, sem interrompê-la. Procuramos também, informar aos leitores sobre a técnica de “melhoramento de solos” com georeforço utilizando deep soil mixing, entendendo que trata-se de uma solução complexa e, de certa forma, uma adaptação (já que são colunas e não exatamente melhoramento do solo) para tentar solucionar o problema de instabilidade e do recalque em solos moles. Por último, apresentamos uma excelente matéria, com detalhes, acerca do estudo geotécnico da viabilidade de uma construção de rodovia, sobre solos moles.

Boa leitura e um bom ano.

Joaquim Rodrigues



RECALQUES EM FERROVIAS EXISTENTES.

Como solucionar sem interromper a via.

Figura 1 - Na duplicação da BR-135, próximo ao município de Bacabeira, houve a necessidade de melhorar o solo de fundação para esta duplicação, que incluiu o remanejamento da ferrovia da CFN. Em um trecho de aproximadamente 700m de extensão foi feito o Geoenrijecimento do solo de modo a proteger a ferrovia da Estrada de Ferro Carajás, devido a proximidade do aterro da nova obra.

Recalques em ferrovias é uma situação bastante comum. Melhorar o solo, sob uma rodovia, sem interrompê-la é uma tarefa incomum. Por outro lado, a remoção dos trilhos e dormentes, de modo a melhorar o solo, exige paralização do serviço ferroviário, incorrendo em enormes prejuízos para o cliente. Portanto, objetiva-se um método de melhoramento de solo, que evite paralisar a ferrovia. A maioria dos problemas de recalque, em ferrovias, deve-se a presença de depósitos de solos moles que, ao longo do tempo, com as cargas crescentes, promovem recalques nos trilhos das ferrovias.



Figura 2 - A presença de profundo depósito de solos moles ao longo da BR-135, próximo ao município de Bacabeiras, no estado do Maranhão, exigiu o melhoramento do solo com Geoenrijecimento utilizando CPR Grouting, para a duplicação da BR-135 que incluiu o reposicionamento da ferrovia CFN. O novo aterro, necessário à obra, causaria impactos na ferrovia Carajás, razão pelo qual houve a necessidade do Geoenrijecimento do solo.

Leica Geosystems introduces rig solutions for pile drivers and drill rigs

New Leica iCON offering becomes latest addition to one-for-all MC1 software platform



3D machine control solution for pile drivers and drill rigs on the Leica MC1 platform

(HEERBRUGG, Switzerland, 25 February 2020) – Leica Geosystems, part of Hexagon, today announced the launch of the Leica iCON rig solutions for pile drivers and drill rigs on the one-for-all MC1 3D machine control software platform to precisely and safely guide operators to the exact position and depths needed for construction projects.

Further growing its construction portfolio of easy-to-use and easy-to-integrate products, Leica Geosystems now allows rig operators to work faster, safer and more accurate on-site and share real-time data between field and office. Users can leverage the same interchangeable MCP80 panel to run the MC1 3D machine control software as an intuitive all-in-one system for drill rigs and pile drivers.

“It is so easy! It gives me total freedom in my work. If I receive an offset height, I can build my drill pattern in the display, and I can do the drilling myself accurately. Every hole is drilled to specification with the right depth and angle. Everything is fast, and the as-built documentation is easy to export from the system afterwards,” explains Odd Are Frydenlund, drill rig operator at Fjellsprenger AS in Norway.

Seamless integration improves construction workflows between the field and office

The Leica iCON iRP3 for pile drivers and the Leica iCON iRD3 for drill rigs 3D machine control solution on

the MC1 platform is connected to all other operations on the construction project, supporting IREDES, KOF and LandXML file formats and integrate seamlessly with the iCON portfolio. Thanks to the new configuration of the iCON rig solution, the operators can work in any GNSS-denied areas with dual total station positioning.

“We can now drive an average of 25-50 piles per day depending on the length of the piles and on how soft the underground is,” says Till Leve Röscher, project manager at Arkil A/S. “The machine control solution allows us to save 5 to 10 minutes per pile.”

MC1 allows users to share and visualise all project and as-built data directly on the panel through Leica ConX, the cloud-based collaboration platform, connecting the field and office seamlessly. With the seamless integration among the iCON portfolio, drill patterns are created in Leica iCON site.

Both innovations are available for hands-on demonstrations at CONEXPO-CON/AGG 10-14 March 2020 in Las Vegas, United States, on the Hexagon Booth in North Hall, at stand #N-12166.

when it has to be right

Leica
Geosystems

Panorama de nossas ferrovias

A maioria de nossas ferrovias apresentam tempo de vida superior a 50 anos, e não foram projetadas com as modernas exigências de ferrovias internacionais. A atual demanda do transporte ferroviário, cada vez mais rápido e eficiente, costuma provocar problemas ao longo da ferrovia, tipo estabilidade reduzida, recalques crescentes e excesso de vibrações, exigindo medidas que, inevitavelmente, incorrem em readequar o solo de fundação, o que significa melhorar o solo sem interromper a ferrovia.

Panorama do melhoramento de solo, sem paralização da ferrovia

Existem três problemas básicos, que devem ser equacionados antes de se projetar o trabalho de melhoramento do solo. São eles os recalques que já existem, a questão da estabilidade e a inevitável vibração para o ambiente e no próprio trilho. Torna-se evidente que todas as soluções convergem para o Geoenrijecimento do solo que, ao final, implica no aumento ou readequação da rigidez do solo de fundação, o que resulta em homogeneizá-lo. As técnicas de geoforço, com base em colunas, que transferem as cargas para camadas profundas, como coluna de brita, deep soil mixing e jet grouting, além de não se adaptarem às necessidades executivas, como trabalhar com ângulos de até 30°, não promovem homogeneização do solo



Figura 4 - A necessidade da execução de travessias, com Tunnel Liner, sob a ferrovia Central do Brasil, no Rio de Janeiro, exigiu o melhoramento do solo com Geoenrijecimento, utilizando Compaction Grouting.

de fundação, já que há apenas a formação de colunas circundadas por solo mole ao redor, o que gera recalques diferenciais, e ausência de rigidez necessária, implicando em eficiências da ordem de apenas 50%. O Geoenrijecimento, por sua vez, modifica integralmente os parâmetros geotécnicos das camadas de solo, tanto para efeito do aumento da capacidade de carga como para a eliminação dos recalques futuros, o que implica no aumento e readequação da rigidez necessária. O Geoenrijecimento é iniciado com a formação de um ambien-

te drenante artificial no solo mole argiloso para, a seguir, comprimir e confinar o solo, via expansão de cavidades, com a formação de milhares de bulbos de argamassa especial seca em todas as camadas de solo de fundação.

A estratégia de trabalho

O melhoramento do solo, sem interferência com o tráfego ferroviário, implica no trabalho lateral à ferrovia, com bastante flexibilização dos equipamentos de Geo-



Figura 3 - Próximo ao município de Bacabeiras, foi feito o melhoramento do solo com Geoenrijecimento utilizando o CPR Grouting, de modo a possibilitar a ampliação rodoviária da BR-135 e o remanejamento da ferrovia da CFN, considerando-se a proximidade da antiga ferrovia de Carajás.



Figura 5 - A necessidade da execução de travessias, com Tunnel Liner, sob a ferrovia Central do Brasil, no Rio de Janeiro, exigiu o melhoramento do solo com Geoenrijecimento, utilizando Compaction Grouting.

enrijecimento, além de constante monitoramento das linhas de trilhos, tanto lateral quanto longitudinalmente, além de possível levantamento. Em todos os casos, há necessidade de ligação direta com o controle ferroviário para interrupção do trem, em caso de qualquer emergência. Durante

o melhoramento do solo, com Geoenrijecimento, os parâmetros do solo devem ser monitorados, de modo a atestar sua adequação aos critérios desejados, o que confirma o grau de segurança preconizado para o serviço. Abaixo, evidencia-se as duas técnicas de Geoenrijecimento, para

readequação de argilas moles e areias fofas, utilizadas no melhoramento de solo sob ferrovias, sem necessidade de interrupção da via.

Melhoramento de solos argilosos moles e areias fofas.

O autor deste artigo participou de diversos serviços de melhoramento de solo mole sob ferrovias, onde monitorou-se tanto o comportamento da ferrovia, como a possibilidade de levantamento dos trilhos e o deslocamento lateral, assim como a condição do solo antes, durante e depois do melhoramento imposto. Nestes serviços não houve condições de interrupção da via para efetuar o melhoramento do solo. O grau de melhoramento imposto depende das circunstâncias de cada projeto, assim como do ambiente ao longo da ferrovia e das condições do solo de fundação. As

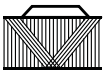
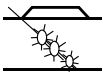
Tipos de solo	Esquema	Método	Princípio	Melhoramento do solo sem interrupção ferroviária	Aumento da estabilidade	Eliminação de recalques
Solos argilosos moles		Geoenrijecimento (CPR Grouting)	Criação de ambiente drenante artificial seguido da expansão de cavidades com formação de bulbos que comprimem radialmente o solo mole, consolidando-o	Sim	Sim	Sim
Solos arenosos fofos		Geoenrijecimento (Compaction Grouting)	Expansão de cavidades com formação de bulbos que comprimem radialmente o solo arenoso fofo, compactando-o	Sim	Sim	Sim



Figura 6 - A necessidade da execução de travessias, com Tunnel Liner, sob a ferrovia Central do Brasil, no Rio de Janeiro, exigiu o melhoramento do solo com Geoenrijecimento, utilizando Compaction Grouting.

MELHORAMENTO DE SOLOS.
EXCLUSIVIDADE



GEOENRIJECIMENTO
IDEAL PARA AMPLIAÇÃO RODOVIÁRIA.



GEOENRIJECIMENTO
ÚNICA TÉCNICA DE MELHORAMENTO EFETIVO DE SOLOS MOLES.



Figura 7 - Melhoria do solo de fundação, com presença de solos moles, utilizando-se o Geoenrijecimento com CPR Grouting junto a ferrovia Carajás.

duas técnicas de melhoria de solos moles e fofos são perfeitamente adequadas à este tipo particular de serviço, considerando-se sua flexibilidade executiva, os equipamentos utilizados, particularmente pela dificuldade da presença de fios de alta tensão e construções ao longo da ferrovia, o que dificulta sua execução, especialmente quando da inclinação das lanças. O objetivo deste trabalho foi evidenciar e demonstrar o Geoenrijecimento, tanto para solos argilosos moles, quanto para areias fofas, como solução eficaz para readequar o solo, sob ferrovias existentes, às necessidades atuais. Especial atenção deve ser dada, quando da passagem do trem, checando-se a performance dos trilhos e a resposta do solo, através de inclinômetros, piezômetros e células de pressão, tanto antes dos serviços, quanto depois, particularmente nos trechos críticos. Importante, também, é o preciso controle do recalque, que deve

ser iniciado pelo menos 2 meses antes, de modo a se conhecer o comportamento do aterro à ação do trem e seu carregamento, paralelamente ao conhecimento dos trechos de trilhos, que apresentam desníveis verticais e horizontais e/ou deslocamentos laterais. Estas duas tecnologias situam-se como as mais modernas existentes no mundo, para interromper recalques em linhas ferroviárias, além de resolver problemas de instabilidade e vibração relacionados. As particularidades deste trabalho inédito de melhoria de solos, sem paralisação da ferrovia deve-se, particularmente, ao conhecimento geotécnico pertinente ao melhoramento de solos com Geoenrijecimento e seus equipamentos diferenciados.



REFERÊNCIAS

- **Joaquim Rodrigues** é engenheiro civil M.Sc. formado no Rio de Janeiro em 1977, pós-graduado

- pela COPPE na Universidade Federal do Rio de Janeiro em 1999. Diretor do Soft Soil Group e da Enggegraut Geotecnia e Engenharia, associada à ABMS e ao American Society of Civil Engineers desde 1994. Desenvolveu duas técnicas de tratamento de solos moles, sendo motivo de patente o GEOENRIJECIMENTO, utilizada hoje em todo o Brasil. Desenvolvimento de trabalhos de Grouting, com empresas parceiras nos EUA e Alemanha. Mais de um milhão de metros quadrados de geoenrijecimento executadas em solos moles
- M. Brough, A. Stirling, G. Ghataora, K. Madelin, University of Birmingham, Railway Engineering 2000, (London, 5-6 July 2000), Improving Railway Subgrade Stiffness-Assessment of Traditional In-situ Ground Improvement.
- G.S. Ghataora, M. P. N. Burrow, ISBN 0-704426-00-5 (2006), University of Birmingham, International Conference, Railway Foundations – Rail-Found 06, Proceedings of the conference.
- H. Ochiai, N. Yasufuku, K. Omine, ISBN 90 5410 834 7 and ISBN 90 5410 835 5 (1996), Earth Reinforcement.
- P. Toivola, A. Vestrienen, M. Heiskanen, Furetec Ltd, FIB Symposium (2005), Real Time Safety and Structural Stability Monitoring of a Reconstructed Concrete Slab Railway Embankment on a Soft Ground after its Collapse.

COMO ASSOCIAR MELHORAMENTO DO SOLO E AS DEFORMAÇÕES SUBSEQUENTES MOTIVADAS PELA PRESENÇA DE MATÉRIA ORGÂNICA?

Desde o fim do século XIX e em consequência do crescimento populacional e da revolução industrial, que a sociedade tem assistido a gradual pressão sobre políticas de organização e ocupação do solo, invariavelmente com fracas características geotécnicas, como solo mole, para a implantação de novas áreas habitacionais ou industriais, a construção de novas infraestruturas, quer sejam rodoviárias, quer sejam ferroviárias. Face às características do solo mole, o qual exibem baixa resistência e elevada deformabilidade, a necessidade da construção coloca grandes desafios à engenharia geotécnica, dado ser necessário garantir a satisfação de requisitos de resistência e deformação. Uma das construções mais comuns sobre solos moles são os aterros, de primordial importância, para garantir sua estabilidade e controlar a evolução, no tempo, das deformações que assumem particular relevância, dado os elevados teores de umidade, índice de vazios e presença de matéria orgânica neste tipo de solos. Uma das técnicas, utilizadas com enorme sucesso na mitigação dos problemas relacionados com a construção sobre solos moles é o Geoenrijecimento que, efetivamente melhora o solo mole, homogeneizando-o. Trata-se da única técnica que efetivamente, melhora o solo mole, controlando o processo deformativo inerente ao solo mole. Em todos os casos é relevante compreender os fenômenos

que regem as deformações no solo mole que, quando sujeito a uma sollicitação, sofre deformações com o objetivo de absorvê-la. Assim, e no caso mais concreto de solos argilosos saturados, a deformação está relacionada em parte à expulsão gradual da água do solo, o que provoca diminuição da espessura do estrato devido, essencialmente, a redução do teor de umidade e do índice de vazios o que, conseqüentemente provoca recalque na superfície do terreno. Estas deformações abrangem várias parcelas, sendo que algumas delas acontecem logo após o carregamento e outras, as mais importantes pela magnitude que podem assumir, no decorrer da redução do índice de vazios ao longo do tempo. A deformação que o solo sofre, no tempo, é regulada essencialmente com base em dois mecanismos distintos, o primeiro é a consolidação primária ou hidrodinâmica, relacionada com a transferência de tensões da fase líquida para o esqueleto sólido, devido ao excesso de pressão intersticial (poropressão), e que ao longo do tempo dissipa-se com a expulsão da água dos vazios. O segundo mecanismo refere-se à consolidação secundária ou fluência. Após o término da consolidação primária, o solo continua a sofrer deformações, agora de modo proporcional ao logaritmo do tempo. Estas deformações, resultam da fluência do esqueleto sólido, sob tensão efetiva constante, devido à natureza viscosa do conjunto de partículas minerais e da água adsorvida, sendo que a fluência corresponde a um gradual reajustamento das partículas do solo, para uma posição mais estável, sob tensão efetiva constante. As deformações inerentes ao solo mole são, essencialmente, a soma das deformações por consolidação primária e por consolidação secundária. Embora a designação utilizada antecipe uma ordem de

acontecimentos, ambas as consolidações decorrem simultaneamente e em paralelo, embora este fato não seja totalmente consensual, já que alguns pesquisadores preferem designar a consolidação primária apenas por hidrodinâmica, escolhendo a designação de consolidação para a fluência do solo, com o intuito de evidenciar a dependência em relação ao tempo. Pesquisadores consideram que a expulsão da água do solo, e o conseqüente rearranjo das partículas, deve-se ao excesso de poropressão ou pressão neutra, para ambas as consolidações, concluindo que a principal diferença será a velocidade da deformação: na consolidação primária é controlada pelo excesso de poropressão e pela lei de Darcy, enquanto que na consolidação secundária é regulada pela natureza viscosa do solo, podendo ocorrer algum excesso de poropressão, embora seja praticamente impossível de ser medido. As deformações por consolidação secundária assumem particular relevância em depósitos de solos moles, particularmente devido à presença da matéria orgânica. A quantificação destas deformações, no tempo, é facilitada pelo fato de, em geral, serem proporcionais ao logaritmo do tempo, ou seja, a relação $e\text{-log}(t)$ é linear, descrita pelo coeficiente de consolidação secundária, $C\alpha$. Alguns pesquisadores estipulam aumento do coeficiente de consolidação secundária, $C\alpha$, com a presença de matéria orgânica, estabelecendo as seguintes relações para $C\alpha/Cc$, onde Cc representa o índice de compressibilidade:

- 0.02 a 0.10 – Solos granulares a turfas.
- 0.04 ± 0.01 – Maioria das argilas inorgânicas moles.
- 0.05 ± 0.04 – Maioria das argilas orgânicas de alta plasticidade.

LANÇAMENTO DO LIVRO

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquira seu exemplar através do email ofitexto@ofitexto.com.br
ou pelo site www.lojaofitexto.com.br



ABRANGENTE

O Geoenrijecimento é a única técnica de melhoramento de solos que modifica suas características mecânicas, oferecendo capacidade de carga pré-especificada e, caso haja contaminação do solo com metais pesados ou outros contaminantes, imobiliza-os impedindo sua movimentação pelo lençol freático.



INCONFUNDÍVEL

Melhorar solos moles, só com Geoenrijecimento. Sistemas a base de transferência de cargas (com colunas) são pouco eficientes porque não melhoram o solo mole.

CUSTO-BENEFÍCIO

Ausência de recalques, posterior ao melhoramento do solo não tem preço. Analise a eficiência da técnica de melhoramento antes de projetar sua nova obra rodoviária.

GEOENRIJECIMENTO

100% melhoramento de solos
tecnologia exclusiva...

SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

Rua Correia de Araújo, 131 - Barra da Tijuca

Rio de Janeiro/RJ - Brasil - CEP 22611-070

Tel.: (21) 3154-3250 • Fax: (21) 3154-3259

WEBSITE: <http://www.softsoilbrazilianinstitute.com.br>

E-mail: contato@softsoilbrazilianinstitute.com.br

SOFT SOIL BRAZILIAN REVIEW

Diretor Editorial

ENGº JOAQUIM RODRIGUES

joaquim@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Diretores Adjuntos

ENGº THOMAS KIM

ENGº ROGER RODRIGUES

PATRÍCIA TINOCO

patricia@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Publicidade, Assinatura, Livros e Vídeos

CLEIDE FERREIRA

cleide@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Editor de Arte

ALEX CRISPIM

Reprints Editoriais

MARIANA TATI

mariana@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Solicite reimpressões de reportagens

ou artigos publicados

"Soft Soil Brazilian Review" é uma revista digital
com publicação bimestral.

NEWSLETTER
em casa

Receba sua revista SSBR em seu e-mail.

Inscrição:

contato@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Agenda

18 e 19 de janeiro de 2021

14th Baltic Sea Geotechnical Conference 2020 - Virtual Conference
Finland, Helsinki

<http://www.ril.fi/en/events/bsgc-2020.html>

22 a 26 de fevereiro de 2021

XIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES

Colombia, BOGOTÁ

<http://www.scg.org.co/xiii-isl/>

31 de março a 02 de abril de 2021

International Conference on Challenges and Achievements in Geotechnical Engineering

Albania, Tirana

emy@greengeotechnics.com

3 a 5 de Maio de 2021

16th International Conference of the International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics - IACMAG

Italy, Torino

info@symposium.it

23 a 26 de maio de 2021

4th International Conference on Transportation Geotechnics (4th ICTG)

United States, Chicago

<http://www.conferences.illinois.edu/ICTG2020>

26 a 28 de maio de 2021

XXV Congreso Argentino de Ingeniería Geotécnica - CAMSIG

Argentina, Posadas

<https://camsig2020.com/>

27 a 29 de maio de 2021

Fifth International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering

PNorthern Cyprus, NICOSIA

<http://zm2020.neu.edu.tr/>

27 e 30 de junho de 2021

The 1st International Conference on Sustainability in Geotechnical Engineering – Geodiversity & Resilience (1st ICSGE'21) - POSTPONED
Portugal, Lisboa

<http://icsge.lnec.pt/>

12 a 17 de julho de 2021

7th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics

India, Bengaluru

<http://7icragee.org/index.php>

25 a 28/ de julho de 2021

3rd Pan-American Conference on Unsaturated Soils

PUC-Rio - Gávea - Rio de Janeiro, RJ

<https://panamunsat2021.com/>

10 a 12 de setembro de 2021

7th International Young Geotechnical Engineers Conference

Australia, Sydney

<http://icsmge2021.org/7iygec/>

17 a 20 de outubro de 2021

The 10th International Conference on Scour and Erosion- Check website for updates

United States, Arlington

<https://www.2020icse.org/>

20 e 22 de outubro de 2021

Third International Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics

Japan, Kyoto

<https://cpeg2020.org/>

22 a 24 de novembro de 2021

XI Congreso Chileno de Geotecnia
Chile, Talca

<http://www.icsmge2021.com/>

O “MELHORAMENTO DO SOLO MOLE” COM GEOREFORÇO À BASE DE DEEP MIXING.











Figura 1 - O deep soil mixing. Promove-se a formação de colunas de solo cimento, misturando-se o cimento ao solo. No espaço entre colunas permanece o solo mole.

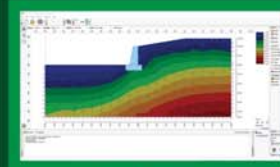
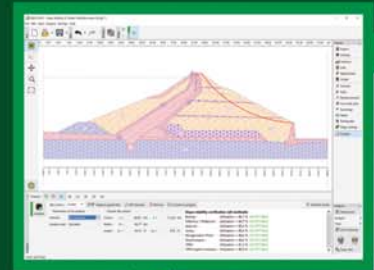
No mundo todo existem regiões com solos que possuem fracas características geotécnicas que condicionam, sobremaneira, a ocupação do solo e, conseqüentemente, impedem a expansão das cidades. Devido a fatores geográficos, sócio-econômicos e políticos, estas zonas, com fracas características geotécnicas, passam a ser inevitavelmente alvo de utilização. Para combater o problema da utilização de solos com fracas características geotécnicas, desenvolveu-se modernas técnicas de melhoramento de solos, subdividindo-se em Geoenrijecimento e georeforço, sendo uma das técnicas de georeforço, a “mistura química”



Figura 2 - Neste estudo, recolheu-se amostras de solo mole com matéria orgânica, colocando-se em caixas plásticas para estudo em laboratório.

Software de Geotecnia para uma vasta gama de análises:

-  Análise de Estabilidade
-  Escavações e Contenções
-  Muros e Gabiões
-  Recalque
-  Sondagens de Solo
-  Túneis e Poços
-  Estudos geológicos
-  Muros e Gabiões



AVALIE GRATUITAMENTE

Solicite: comercial@solucoescad.com.br

Distribuído por:

SOLUÇÕES 

www.solucoescad.com.br



com colunas de solo, misturando-o “in situ”, com cimento portland. Tal mistura, procura tornar as colunas com melhor comportamento mecânico, quando comparado ao solo original mole ao redor, fazendo com que o terreno possa resistir à cargas projetadas, diminuindo as futuras deformações. A técnica de geoforço, com mistura química, pode ser utilizada para diferentes usos na área de geotecnia, tais como na realização de aterros ou na execução de paredes de contenção, em obras de escavação. Nestes últimos anos, houve necessidade de se aprofundar o conhecimento desta técnica, já que o terreno assim “melhorado”, submete-se a grandes deformações, quando sujeitos a carregamentos. Esta técnica tem como base a formação de colunas com mistura química, utilizando-se cimento Portland, que acabam por transferir as futuras cargas para camadas de solo resistentes, mas que não é exatamente “melhoramento do solo”, já que com a formação de colunas e transferência de cargas, o solo mole continua mole. Esta técnica é conhecida como “deep soil mixing”. Sendo a natureza orgânica do solo, juntamente com o teor de água e suas frações silto-arenosas, os fatores que condicionam a mistura qui-



Figura 5 - Formação de colunas de solo-cimento no deep soil mixing.

mica do solo, torna-se importante analisar o efeito da presença da matéria orgânica que, como se prevê, trará consequências negativas para a mistura com cimento portland, tanto a curto como a longo

prazo, exatamente pela presença de ácido húmico.

Verifica-se que a presença de matéria orgânica influencia sobremaneira, a resistência à compressão das colunas de solo assim tratado. Tal conclusão, deve-se ao fato do comportamento mecânico das colunas de solo, ser controlado por ligações cimentícias que se formam com partículas sólidas, durante a mistura química das colunas que, com a presença da matéria orgânica, e o consequente ácido húmico, impedem a formação de uma matriz sólida resistente. Com auxílio de ensaios de compressão não confinada, analisou-se a influência da dosagem do cimento portland na mistura química e, principalmente, verificando a influência da matéria orgânica com diferentes teores, moldados e controlados em laboratório. Com os resultados obtidos, definiu-se uma relação entre o teor de matéria orgânica, presente no solo, e a resistência máxima à compressão não confinada. Complementarmente analisou-se, também, o comportamento por fluência de corpos de prova submetidos a condições de compressão não confinada. Assim, analisou-se a influência da dosagem, bem como a influência do teor de matéria orgânica na deformação ao longo do tempo deduzindo-se, ao final, relações entre deformações obtidas com a dosagem do cimento Portland e o teor de matéria orgânica.



Figura 3 - Homogeneização do solo: a) mistura manual, com o auxílio de colher de pedreiro; b) mistura mecânica do solo com a ajuda de uma betoneira (IMER Mix240).



Figura 4 - Ensaios UCS: a) prensa Wykeman Farrance LTD tristar 5000Kg; b) corpo de prova para o ensaio UCS; c) corpo de prova após o fim do ensaio.

A difícil mistura química do solo

A mistura química do solo, formando-se colunas de solo-cimento, consiste na mistura in-situ do solo com cimento portland. As interações físico-químicas que se estabelecem entre as partículas do solo, o cimento e a água conduzem a alterações no comportamento mecânico do solo, depois de misturado. As interações que produzem efeito aglutinador no solo são divididas em 3 grupos: reações de hidratação (ou primárias), que se estabelecem entre o cimento e a água existente no solo, finalizadas com algumas horas; reações pozolânicas (ou secundárias), que se estabelecem quando combinados alguns dos produtos das reações primárias com os minerais pozolânicos (alumina e sílica), que tanto podem existir no solo como no próprio cimento, podendo durar meses ou até anos (Coutinho, 1998); a troca iônica, onde as partículas de argila, que existem no solo, sofrem alteração da sua estrutura (Correia, 2011). Estas interações, dependem de muitos fatores, Terashi (1997), destacando-se a condição e características do solo inicial e a quantidade de cimento portland adicionado.

O deep soil mixing

Nasceu, efetivamente, ao longo dos anos 70, Moseley (1993), quase que simultaneamente no Japão e países nórdicos passando, a seguir, para a China e Estados Unidos. Pode ser utilizada de duas formas

diferentes: por via seca, onde o cimento é introduzido no solo com ar comprimido. Por via úmida, adiciona-se calda de cimento ao solo. Por norma, o método seco é aplicado a solos com elevado teor de umidade, o que irá provocar um decréscimo na umidade do solo, permitindo obter maiores resistências com menores dosagens de cimento. Com relação ao método úmido, utiliza-se em quase todos os tipos de solos e, devido à sua componente úmida, é mais fácil obter uma boa homogeneização da mistura solo-cimento. Em relação ao processo de execução (Figura 6), é realizado do seguinte modo:

1) posicionamento do equipamento no local;

- 2) penetração da haste, auxiliada pelo movimento das pás, que permite a desagregação do solo;
- 3) a penetração dá-se por terminada quando atinge-se profundidade pretendida;
- 4) começa o movimento ascendente, sendo introduzido o cimento ao nível das pás misturadoras (Figura 7a), as quais promovem a mistura com o solo;
- 5) conclusão de coluna de solo-cimento.

Para controlar a quantidade do cimento a ser introduzido, bem como a qualidade da mistura, é necessário ajustar a velocidade de subida da haste com a velocidade de rotação das pás. A coluna de solo-cimento pode assumir a forma de painel ou a circu-

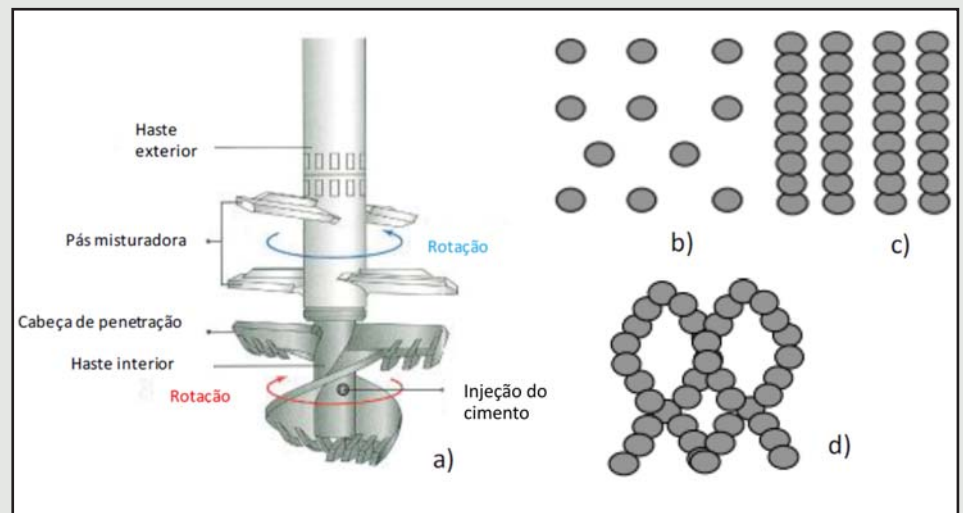


Figura 7 - Execução de colunas de "Deep Mixing": a) Esquema da introdução de cimento portland no solo, para formar a coluna, através da base da haste (EuroSoilStab, 2001); b) colunas individuais; c) agrupamento em banda; d) agrupamento em grelha.

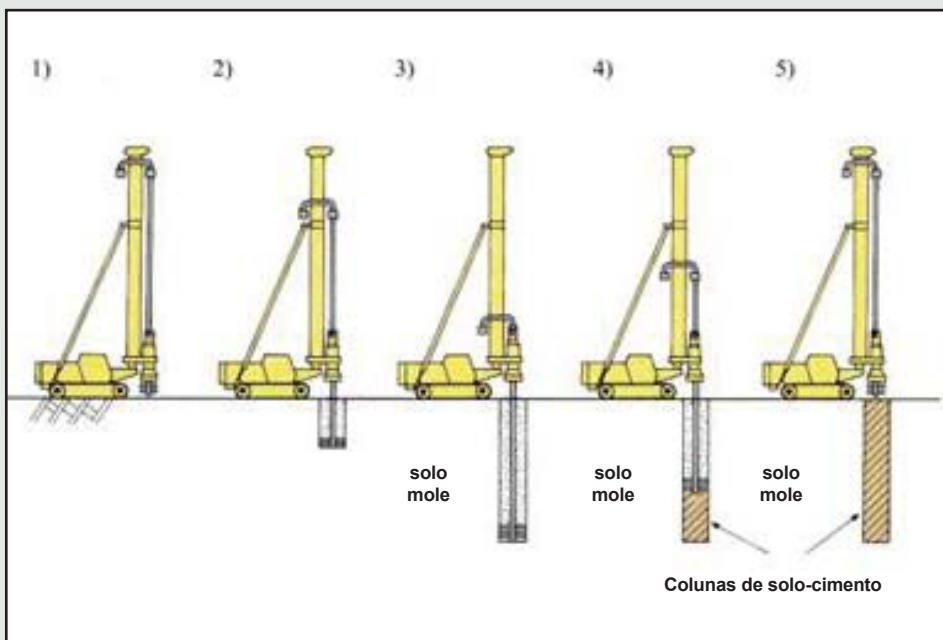


Figura 6 - Execução da técnica Deep Mixing em depósito de solo mole. Processo construtivo (EN 14679 (2005)).

lar (a mais comum). Para este último caso, as colunas podem apresentar um diâmetro entre os 0,4m e 1,5m. As colunas de solo-cimento podem ser utilizadas individualmente, em banda ou em grupo, entre outras disposições, conforme exemplificado na Figura 7bcd).

Fatores que afetam o comportamento mecânico do deep soil mixing

Os fatores mais importantes e que mais influenciam a resistência das colunas de solo-cimento são as características e condições do próprio solo, merecendo particular destaque os teores de umidade e matéria orgânica, juntamente com a quantidade e o tipo de cimento, bem como o tempo de cura a que está sujeito o corpo de prova. Analisamos cada um destes 5 fatores, individualmente. Veja a seguir cada um deles.

O teor de umidade do solo

O teor de umidade do solo influencia, sobremaneira, o comportamento mecânico das colunas, quimicamente formadas. Assim, Kitazume e Terashi (2002), investigaram a influência do teor de umidade, nos solos argilosos do porto de Yokohama, com as seguintes características: $wL = 78,8\%$, $wP = 39,1\%$, $wNat = 102,5\%$. A investigação utilizou o cimento Portland, aplicado individualmente, e uma mistura de cimento Portland com escória. Através da Figura 8, é possível observar a evolução da resistência à compressão não confinada (q_u), com o teor de umidade do solo, para diferentes dosagens de cimento. Do estudo, concluiu-se que a resistência (q_u) da amostra diminui, de forma quase linear, à medida que o teor de água do solo aumenta. Isto, reflete-se para ambos os cimentos testados e qualquer que seja a quantidade de cimento. A justificativa para tal fato é explicada pelo aumento do teor de vazios, quando ocorre o aumento do teor de umidade do solo, o que se traduz numa matriz menos densa, menos rígida e menos resistente.

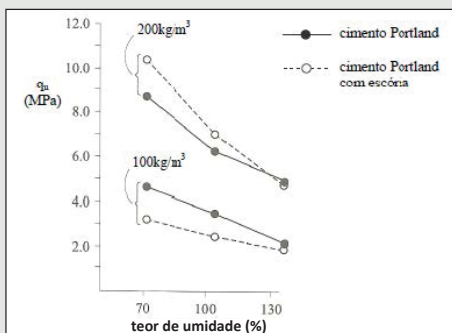


Figura 8 - Influência do teor de água, em amostras com 91 dias de cura e submetidas a ensaios UCS (retirado de Correia, 2011; adaptado de Kitazume e Terashi, 2002).

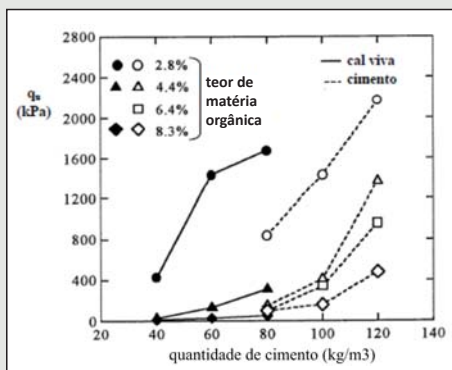


Figura 9 - Influência da matéria orgânica na resistência das colunas no solo argiloso de Ariake, em amostras com 28 dias de cura e submetidas a ensaios UCS (retirado de Correia, 2011; adaptado de Miura et al., 1998).



Figura 10 - A lança com o trado que promove a inserção de cimento e promove a mistura com o solo.

A matéria orgânica presente no solo

No que diz respeito à influência da matéria orgânica do solo, verifica-se que tem igualmente papel fundamental no comportamento das colunas formadas quimicamente. Assim, os estudos realizados por Miura et al. (1988), sobre a argila de Ariake, permitem concluir que à medida que o teor de matéria orgânica aumenta, a resistência do solo diminui, independentemente do tipo de cimento utilizado (Figura 9). As 5 razões subjacentes a este decréscimo de resistência estão intimamente relacionadas com a matéria orgânica, segundo Axelsson et al. (2002) e Janz e Johansson (2002):

1) Reagir com o hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) dando origem a produtos insolúveis, que se precipitam na superfície das partículas, inibindo as reações pozolânicas e o consequente aumento da resistência mecânica;

- 2) Fazer com que as reações pozolânicas, e por conseguinte, o aumento da resistência, se processe com menor velocidade;
- 3) Alterar a composição e estrutura do gel de silicatos de cálcio hidratados, que se formam nas reações de hidratação e pozolânicas, com impacto sobre a resistência mecânica;
- 4) Poder limitar a quantidade de água disponível para as reações de hidratação e pozolânicas, retardando o ganho de resistência mecânica;
- 5) Reduzir o número de partículas sólidas por unidade de volume, devido ao aumento da porosidade, o que se traduz num menor efeito resistente para igual quantidade de cimento.

A quantidade de cimento

Alguns pesquisadores, como Terashi et al (1980) e Uddin (1994) constataram que a dosagem mínima de cimento para utilizar na formação de colunas, de modo a produ-



Figura 11 - Edômetros utilizados: a) edômetro com braço de carga; b) edômetro de carga direta.

zir efeitos em termos mecânicos, situa-se em torno de 30-50 Kg/m³, dependendo do tipo de solo, subindo para 50-70 Kg/m³, quando da presença de matéria orgânica (Axelsson et al., 2002). Correia (2011), estudou a influência da dosagem de cimento (Figura 13), e concluiu que à medida que a dosagem aumenta, a resistência máxima $q_{u\max}$ aumenta. Um outro estudo relativo à influência da dosagem de cimento foi desenvolvido por Uddin (1994) e por Horpibulsuk (2001), e comprovado por Correia (2011). Nesses estudos possibilitou-se concluir que existem quatro zonas distintas, como é observado na Figura 14, caracterizadas por comportamentos diferentes. Assim, a primeira zona designada por inativa, é caracterizada por reduzido efeito no “melhoramento do solo”. Segue-se a zona de interação solo-cimento, descrita pela matriz do solo

e onde o cimento funciona como agente cimentício descontínuo. A zona 3, ou de transição, é caracterizada por um crescimento marginal da resistência com o aumento da dosagem, caracterizada pela completa cimentação da matriz do solo, pelo que o aumento da dosagem, apenas aumentou o volume da pasta de cimento,



Figura 12 - Material utilizado para a realização dos ensaios edométricos: a) base circular; b) perspectiva da base circular da célula edométrica.

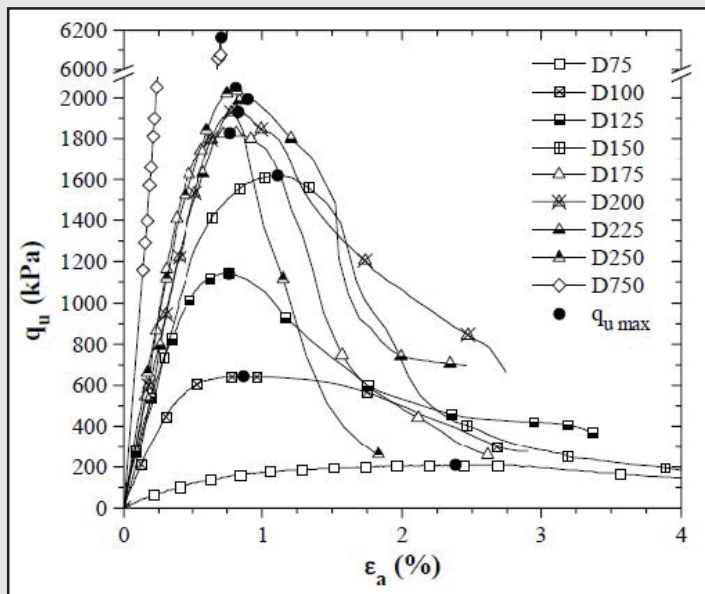


Figura 13 - Curvas tensão-extensão para ensaio de compressão não confinada, de solos moles “melhorados” com colunas de solo-cimento (Correia, 2011).

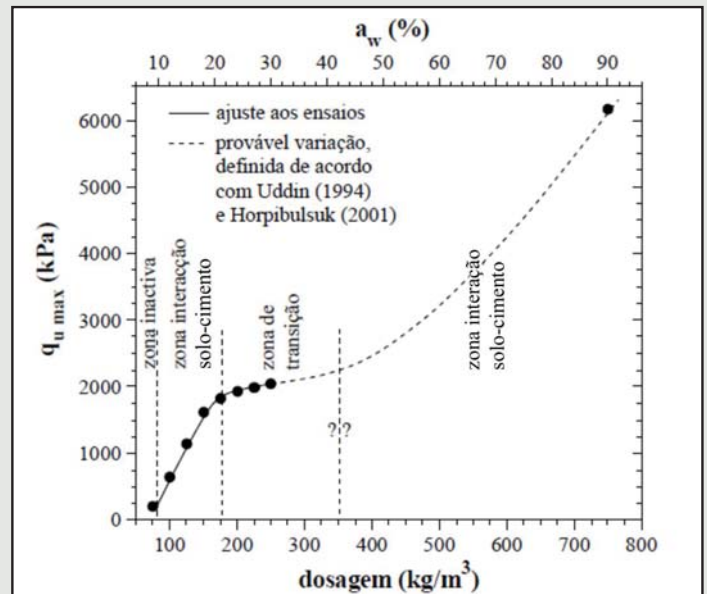


Figura 14 - Evolução do q_u com a dosagem para solos moles através de colunas com cimento Portland (retirado de Correia, 2011).

sem expressão significativa em termos de resistência mecânica (Correia, 2011). Finalmente, a zona 4, onde o cimento passa a desempenhar papel principal, exibe uma estrutura contínua, na qual encontram-se embebidas as partículas do solo, isto é, onde se deixa de ter um solo e passa-se a ter uma argamassa.

O tempo de cura

Em relação a este parâmetro, espera-se que com o aumento do tempo ocorra melhora do comportamento mecânico das colunas formadas, em virtude do desenvolvimento das reações pozolônicas.

O Deep Mixing e a matéria orgânica na argila mole

Considerando-se que o coeficiente de consolidação secundária aumenta com a presença da matéria orgânica no solo,



- 1) Célula de carga
- 2) Transdutor de deslocamentos
- 3) Placa de topo rígida adaptada
- 4) Base rígida
- 5) Corpo de prova

Figura 16 - Aspecto completo de um ensaio de compressão não confinada (UCS).

Figura 15 - Carregamento dos ensaio edométricos: a) edômetro com braço de carga; b) edômetro de carga direta.

Venda Oliveira et al. (2012), conduziram estudos sobre seus efeitos nas deformações por fluência (medidos em ensaios edométricos), simulando-se o efeito das colunas de solo-cimento no contexto geral. O solo utilizado foi proveniente de depósitos de solos moles, com teor de

matéria orgânica (OM) de 9,29% e um C_a de 0,022 (Correia, 2011; Garcia, 2010). O estudo, permitiu concluir que após a mistura química e para a dosagem analisada (125 kg/m^3), as deformações por fluência aumentam com o teor de matéria orgânica, à semelhança do comportamento ob-



Figura 17 - 3 equipamentos de deep soil mixing em ação.

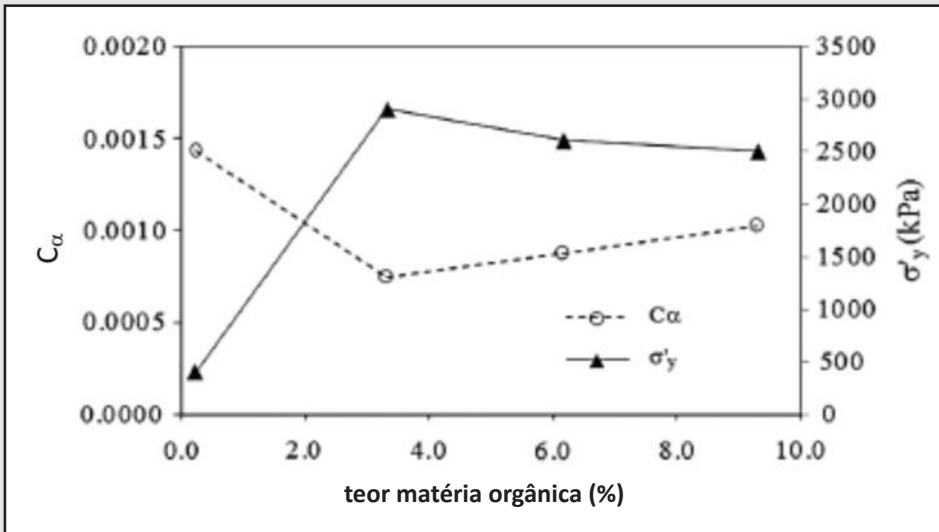


Figura 18 - Influência da matéria orgânica no coeficiente de consolidação secundária (retirado de Oliveira et al., 2012).

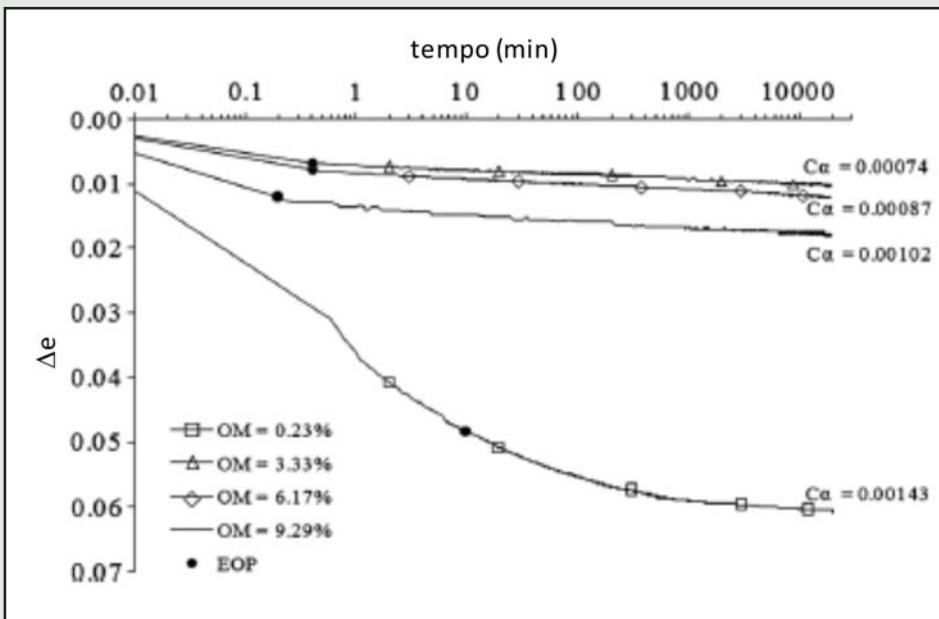


Figura 19 - Evolução de C_α com o teor de matéria orgânica (retirado de Oliveira et al., 2012).

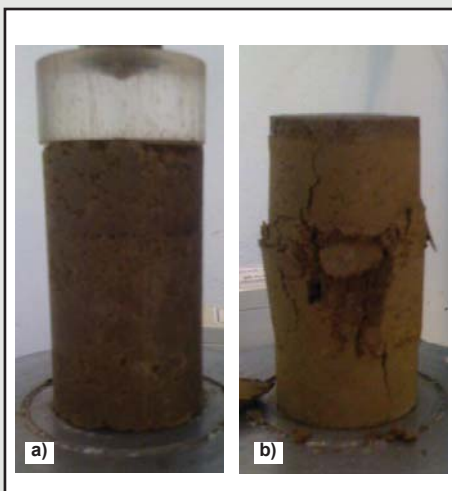


Figura 20 - Corpo de prova referente ao solo com teor de matéria orgânica de 1,13%: a) antes e, b) após ensaio UCS.

servado em solos moles naturais (Figuras 18 e 19). Em resumo, a formação de colunas a base de solo-cimento com objetivo de “melhorar o solo mole” dependerá exclusivamente das reações cimentícias, para sustentação das cargas futuras, não se esquecendo que a presença de solo mole entre colunas é fator de instabilidade e recalques diferenciais. Quanto a presença do ácido húmico, da matéria orgânica no solo mole, seu principal efeito não é reduzir a formação dos produtos das reações cimentícias, mas sim impedir o estabelecimento de ligações químicas cimentícias com partículas sólidas do solo impedindo, assim, a formação de uma matriz sólida e rígida, o que compromete significativamente a técnica.



REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira civil. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- Análise laboratorial do comportamento em fluência do solo mole do Baixo Mondego quimicamente estabilizado.
- Axelsson K, Johansson S.E. and Anderson R. (2002) – “Stabilization of organic soils by cement and pozzolanic reactions – Feasibility study”. Swedish Deep Stabilization Research Centre, Report. (English translation).
- Correia, A. A. S. (2011). “Aplicabilidade da técnica de Deep Mixing aos solos moles do Baixo Mondego”. Dissertação de doutoramento, Dep. de Eng^a Civil da FCTUC, Coimbra.
- Garcia, M. R. (2010) “Estudo da fluência de colunas solo-ligantes”. Dissertação de Mestrado, Dep. de Eng^a Civil da FCTUC, Coimbra
- Horpibulsuk, S. And Miura, N. (2001). “A new approach for studying behaviour of cement stabilized clays”. 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, Turkey, Vol. 3, p.1759-1762.
- Janz, M and Johansson, S.E. (2002). “The function of different binding agents in deep stabilization”. Swedish Deep Stabilization Research Centre, Report 9, Lunköping, Sweden, p.47.
- Kitazume, M. and Terashi, M. (2001). “The Deep Mixing Method: Principle, Design and Construction”. Coastal Development Institute of Technology (CDIT), Japan.
- Miura, N.; Taesiri, Y; Koga, Y.; Nishida, K. (1988). “Practice of improvement of Ariake clay by mixing admixtures”. International Symposium on shallow Sea and Low Land, Saga University, Saga, Japan p. 59-68.
- Terashi, M. (1997). “Theme lecture: deep mixing method – Brief state of the art”. 14th International Conference and soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Germany Vol. 4, p. 2475-2478.
- Uddin, K. (1994). “Strength and deformation behaviour of cement treated Bangkok clay”. PhD Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- Venda Oliveira, P. J. (2000). “Aterros sobre solos moles: modelação numérica”. Dissertação de doutoramento, Dep. de Eng^a Civil da FCTUC, Coimbra.

ESTUDO DE VIABILIDADE GEOTÉCNICA, PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIA EM ÁREA COM PRESENÇA DE SOLOS MOLES.

Figura 1 - A construção de um aterro de encontro, para um viaduto, neste projeto, exigiu o melhoramento do solo com geoenrijecimento.

Trata-se de um projeto para construção de rodovia no sul do país, em um trecho de 200m de extensão, onde haverá cortes e aterros.

A rodovia seguirá no sentido norte, passando por um vale onde há relevos bastante sinuosos, obrigando o traçado de rota tortuosa em meia encosta. Na altura da Est. 65+0.00, até a Est. 70+0.00, curva-se para oeste, atravessando uma extensão do vale onde o solo apresenta características geotécnicas de “mole” o que, caso construam-se aterros, resultar em rupturas no solo de fundação. Como consequência deste relevo, o projeto de terraplanagem deverá prever a execução

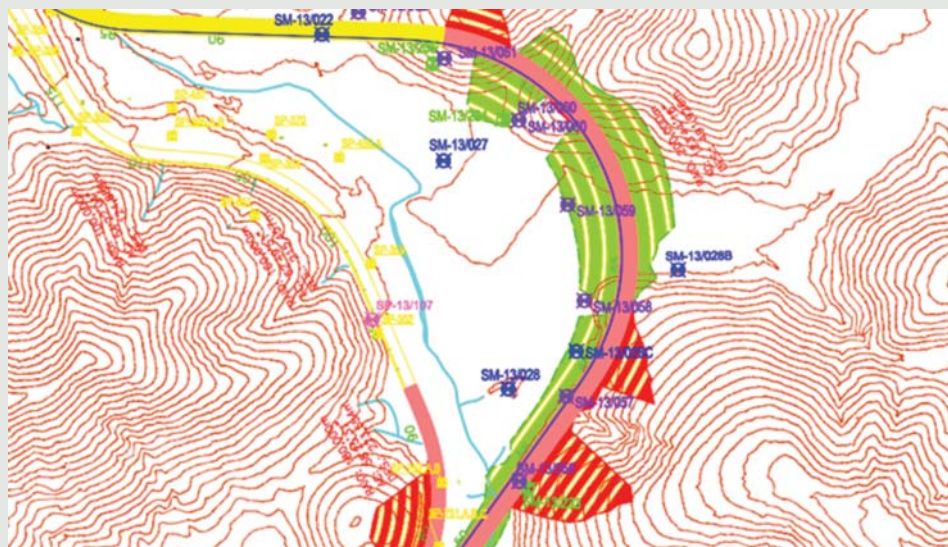
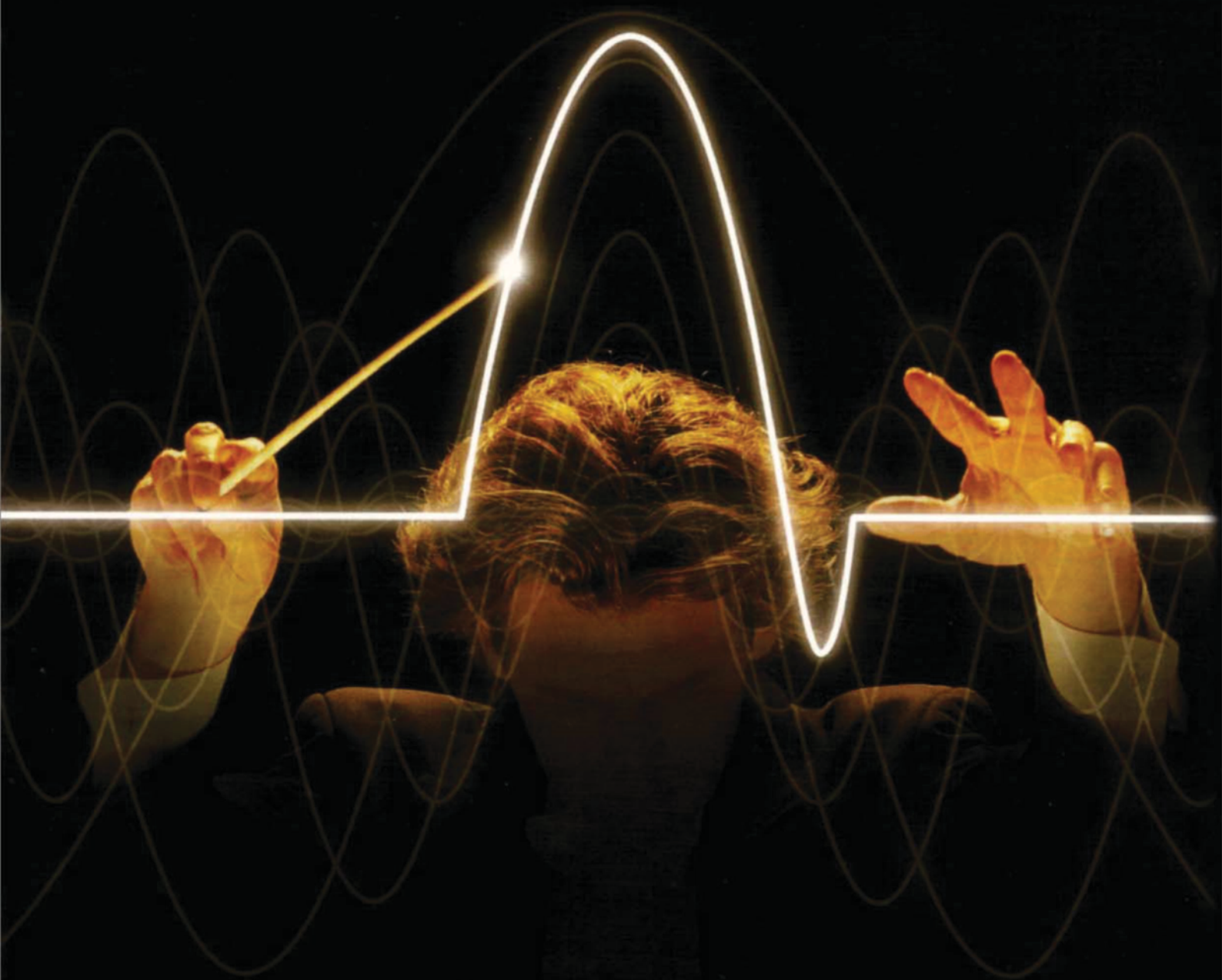


Figura 2 - Implantação - Projeto Geométrico Preliminar e Sondagens.

Soft Soil Group
Apresenta



Webinars de solos moles

Para maiores informações, acesse: <http://softsoilgroup.com.br/webinar>
ou envie um e-mail para: atendimento@softsoilgroup.com.br



de cortes e, também, aterros com altura em torno de 20m. A planta, apresentada na figura 2, apresenta o traçado previsto, com a localização das sondagens.

A investigação geotécnica

Para a caracterização geotécnica do trecho, entre as estacas 65 e 75, considerou-se as sondagens: SM – 13/059, SM – 13/027 e SM – 13/028. Os boletins são fornecidos, a seguir.

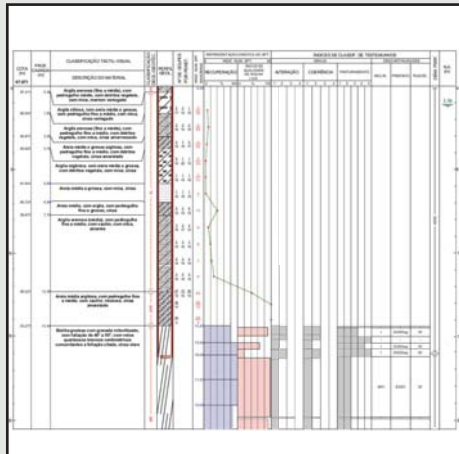


Figura 3 - Sondagem SM-13/059.

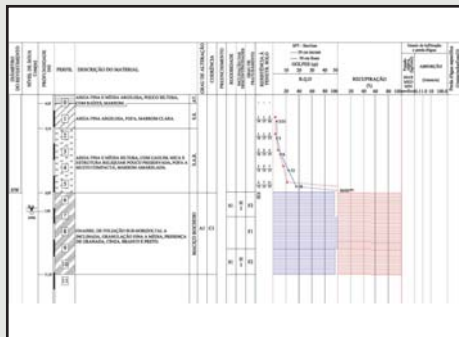


Figura 4 - Sondagem SM-13/027.

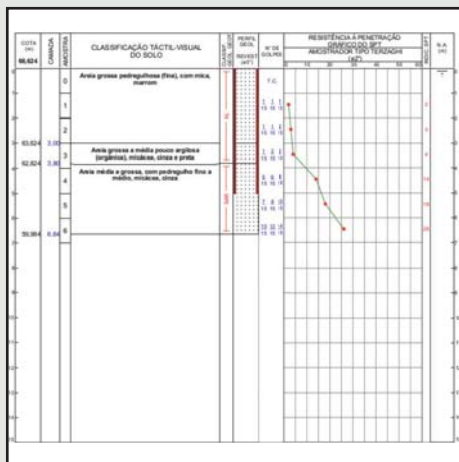


Figura 5 - Sondagem SM-13/028.

A planilha, com exposição resumida da condição do solo de fundação, encontra-se abaixo:

Unidades Geotécnicas Aplicadas			
Nome	Espessura da Camada (m)	Espessura Máxima (m)	Descrição Típica do Material
Solo Superficial/Aterro	0,36 - 2,78	2,78	Topsoil: Argila arenosa mole com pedregulho e detritos vegetais, marrom variegado. Aterro: Areia média a grossa fôfa pouco siltsosa com pedregulho, marrom.
Aluvião (argilas e areias)	2,84 - 11,99	11,99	Argila siltsosa mole, com areia fôfa média a grossa argilosa com pedregulho e detritos vegetais, argila arenosa mole com pedregulho, argila orgânica plástica mole pouco arenosa com detritos vegetais.
Solo Residual (areia e silte)	11,99	14,10	Areia média argilosa com pedregulho, areia média a grossa com pedregulho e silte pedregulhoso, micáceo, muito compacta.
Maciço Rochoso (Biotita-gnaise)	14,1	–	Biotita-gnaise com granada milonitizado, com foliação de 40º a 50º, com veios quartzosos brancos centimétricos concordantes a foliação citada

A presença de solo mole

Solo mole é definido como solo argiloso ou argiloso siltsoso geologicamente jovem, que está em equilíbrio com seu próprio peso, e não está submetido a significativa consolidação secundária desde sua formação. Fica evidente que qualquer carga adicional resultará em grandes deformações. O comportamento deste solo é bem caracterizado por suas propriedades indicativas de compressão, de resistência e deformação, sob condição de carregamento vertical. Independentemente de definições ou termos geológicos, solos argilosos moles são finos, podendo ser normalmente consolidados, subconsolidados ou levemente sobreconsolidados, possuindo consistência mole ou muito mole. De acordo com normas brasileira e europeia, solo argiloso mole pode ser caracterizado, como:

- Altamente compressível, sendo que a presença de material orgânico aumenta a compressibilidade.
- Solo de consistência mole ou muito mole, possuindo índice de consistência $I_c < 0,75$;
- Parcial ou completamente saturado;
- Poropressão alta e atuante;
- Tendo propriedades tixotrópicas, etc.
- Solo graduado, predominantemente fino, com mais de 50% passando na peneira de 75µ.

- Elevados valores dos limites de liquidez e plasticidade.
- Alto teor de umidade, maior que o li-

mite de liquidez.

- De baixa permeabilidade, sendo que a permeabilidade global pode ser ainda menor.
- Baixa resistência cisalhante que, geralmente, varia com a profundidade. Com base nos valores de sua resistência não drenada, o solo mole pode ser classificado de duas formas:
 - Segundo a Norma Brasileira NBR 6484, solo muito mole é argiloso, com SPT menor do que 2 golpes / 30cm. Por outro lado, solo ultramole será argiloso-siltsoso, orgânico ou não, possuindo uma ou mais características abaixo mencionadas:
 - o SPT igual ou menor que 1, sendo comum o equipamento de sondagem descer sob o efeito do próprio peso.
 - o Resistência de palheta menor do que 10kPa, podendo-se encontrar valores menores do que 5kPa.
 - O solo mole pode ser caracterizado como tendo resistência não drenada inferior a 25kPa.

O melhoramento do solo mole

O projeto de qualquer método de melhoramento de solo mole, objetivando-se a construção de uma rodovia, tipicamente necessita de parâmetros de controle, tais como geometria da estrutura a ser levantada, condição geotécnica do solo local,

condição de carregamento, suas características e critério de comportamento e, por último, como aferir sua certificação. Estes parâmetros, necessários ao projeto, tem suas limitações, como a malha de espaçamento entre verticais de bulbos do geoenrijecimento ou das colunas, do georeforço, suas profundidades, diâmetros, dimensões da zona a ser melhorada,

idades de projeto, dos dois métodos principais de melhoria de solos moles, apresentamos a seguir:

1º - O geoenrijecimento do solo mole

O geoenrijecimento caracteriza-se pela homogeneização do solo mole, consistindo das fases de cravação de geodrenos

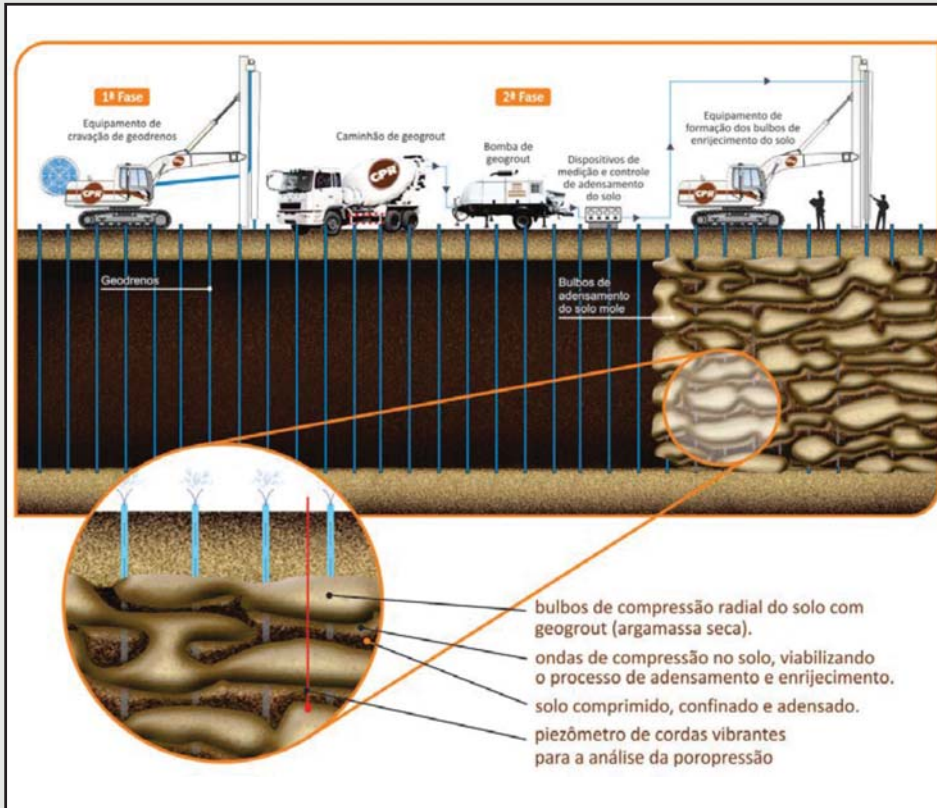


Figura 6 - Representação das fases de execução do processo de Geoenrijecimento do solo mole.

seções, quantidade de material a ser empregado, suas propriedades e a sequência executiva. Com relação ao controle e garantia da qualidade do melhoramento, a ser imposto ao solo de fundação, dever-se-á acompanhar os procedimentos e medições feitas pela empresa executante, de modo a se obter os parâmetros geotécnicos pré-estabelecidos, particularmente, com relação a resistência e a rigidez do solo compósito final. Ao final dos trabalhos de melhoramento do solo, a empresa deverá instalar placas de recalque, ao longo da área melhorada, de modo a acompanhar a elevação do aterro e o nível/velocidade das deformações que, inevitavelmente ocorrerão. Ao final da elevação do aterro, este nível e velocidades de deformação deverão ser tais que atendam aos critérios previamente estabelecidos com o cliente. Particulari-

e da formação de verticais com bulbos de compressão (radial) do solo, aumentando drasticamente sua resistência e rigidez, eliminando-se o recalque residual.

2º - O georeforço do solo mole

O georeforço, efetivamente não melhora o solo, apenas atenua sua crítica condição,

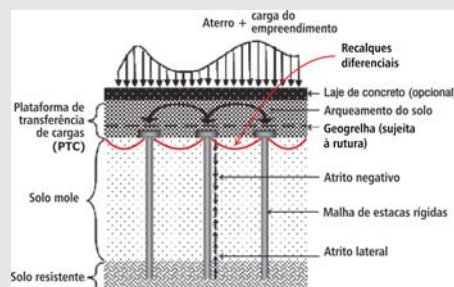


Figura 7 - Esquema do sistema de georeforço com estacas, onde se emprega plataforma de transferência de cargas (PTC).

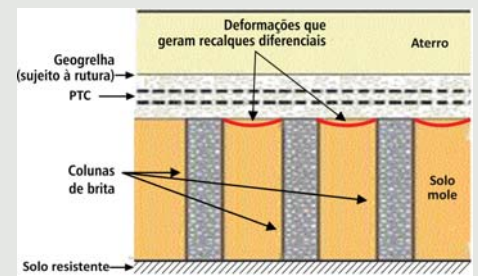


Figura 8 - Esquema do sistema de georeforço com colunas de brita com PTC (plataformas de transferência de cargas).

estabelecendo colunas espaçadas, que se apoiam no solo resistente, abaixo do solo mole. A condição do solo mole continua a mesma entre colunas, ou até piora. Para impedir que as cargas futuras não afundem no solo mole entre colunas utiliza-se, sobre as colunas, um espesso colchão de areia, com geogrelha, denominado plataforma de transferência de carga. O resultado final é a atenuação dos recalques, a níveis que precisam ser avaliados com provas de carga. A presença de solos muito moles, torna proibitivo utilizar esta técnica.

3º - Métodos de melhoramento de solos pouco efetivos

O enorme avanço, nestas três últimas décadas, na arte de melhorar solos moles, com o geoenrijecimento que, pela primeira vez, promove sua homogeneização, com parâmetros geotécnicos pré-estabelecidos, fez com que técnicas tradicionais, que caracterizam-se pela falta e/ou não obtenção de parâmetros reais ou desejados, sejam preteridas. Estamos falando de métodos como o pré-carregamento, com ou sem geodrenos, colunas de brita, misturas de cimento com solo em camadas superficiais e etc. No entanto, a mística que envolve a arte de melhorar solos moles, só será totalmente dissipada, implementando-se um contexto racional, no qual os parâmetros desejados sejam efetivamente obtidos, para um determinado projeto. Não se pode melhorar depósitos de solos moles sem avaliar-se cada uma de suas camadas, identificando-se a presença de matéria orgânica, turfas e a condição muito mole ou ultramole. Trabalhos com este cenário, e isto é uma realidade, é envolver a obra em um enorme risco. Casos e mais casos de insucessos estão aí para justificar.

Análise das soluções de melhoramento de solos mole

As soluções dependem de várias condicionantes técnicas, entre elas o limite de recalque aceitável (eficiência) e o tempo disponível para atingir esta condição. Neste sentido, o impacto é direto nos custos, devendo assim, a decisão da solução passar por análises de custo-benefício e viabilidade.

Alguns fatores relacionados são:

- Perfil geológico-geotécnico do subsolo,
- Ordem de grandeza dos recalques previstos,
- Tempo previsto para o término destes recalques,
- Tipo de obra,
- Prazos para início e conclusão das obras e
- Custos envolvidos.

Não sendo desejável recalques a partir da execução da rodovia, bem como inviável aguardar-se tempo até que recalques residuais, para o tipo de empreendimento, passem a ser insignificantes apresentasse, a seguir, soluções usuais disponíveis no mercado:

- Remoção total da camada do solo compressível;
- Sobrecarga temporária;
- Sobrecarga temporária em conjunto com geodrenos verticais;
- Colunas granulares;
- Geoenrijecimento.

• Remoção da camada de solo compressível

Para os perfis do subsolo dos dois trechos, com profundidades de solo compressível atingindo cerca de 12 metros, esta metodologia não é viável.

• Execução de sobrecarga temporária

Esta solução visa promover uma redução no prazo de ocorrência dos recalques, induzindo na camada de solo compressível, tensões superiores as que estaria submetida para o nível de carregamento de sua construção. Esta solução não é efetiva para depósitos de solos moles profundos, com mias de 5m de profundidade.

Como os recalques previstos são muito

elevados, apenas acelerar este processo para o caso em questão, não seria o mais indicado. Há possibilidades reais de que ocorram rupturas, já que se trata de aterros com grandes alturas. Portanto, esta solução é questionável, principalmente porque também necessitaria de geodrenos, já que há solos argilosos orgânicos muito moles.

• Sobrecarga temporária em conjunto com geodrenos verticais

Com a instalação dos geodrenos verticais, a direção do fluxo de água, no interior da massa de solo, passa de predominantemente vertical para predominantemente horizontal (radial) reduzindo, de forma significativa, o prazo para adensamento do solo. A figura, a seguir, ilustra graficamente o impacto na aplicação de drenos verticais para a aceleração de recalques de um aterro sobre solo mole, quando se compara a evolução dos recalques com o tempo de um aterro sem drenos sobre uma camada de solo mole equivalente. A questão limitante é que há depósitos de solos moles profundos, o que é limitante.

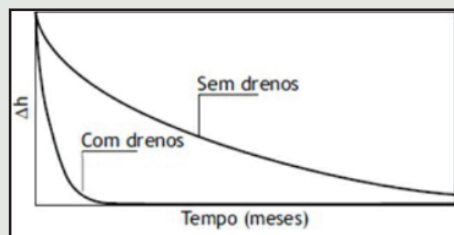


Figura 9 - Evolução dos recalques de um aterro sobre solo mole com o tempo: com e sem drenos.

Teremos, portanto, as mesmas condições de inviabilidade. Ou seja:

- Exige amplo monitoramento das deformações verticais e horizontais ao longo do aterro, em decorrência da instabilidade da camada mole pelo efeito do seu peso. Grande a possibilidade de ruptura do aterro;
- Exige tempo para execução da sobrecarga;
- Tempo para análise de ocorrência dos recalques que pode ser superior ao projetado, fazendo com que a sobrecarga permaneça por mais tempo e estendendo o prazo de execução da obra;
- Necessidade de tempo bom prolongado;

- Os geodrenos aceleram o recalque, mas não aumentam a resistência do solo mole a curto prazo;
- Implantação de equipamentos de monitoramento e controle como piezômetros, inclinômetros, placas de recalque, marcos de referência, etc, que decidirão se a sobrecarga temporária irá prolongar-se além do tempo projetado ou não.
- A execução dos aterros de projeto e de sobrecarga comumente é feita em mais de uma etapa (análise da estabilidade) pois, geralmente, provoca aumento imediato da poropressão, induzindo instabilidade e, com frequência, rupturas. Problemática para classes de aterros 1 e 2.
- Possibilidade de ruptura do aterro ao longo dos trechos.
- Tomar-se-á cuidado especial ao executar-se os aterros próximo a estruturas existentes.

• Colunas granulares

Um dos métodos tradicionais de “melhoramento de solos” é a execução de malha de colunas granulares de areia ou brita, dentro da massa do solo mole, que atuam como estacas assentes na camada subjacente, absorvendo parte da carga transmitida pelo aterro ao solo mole. A utilização de encamisamento com geotêxtil melhora um pouco a condição das colunas. Trata-se de uma solução que necessita da construção de aterro granular com geogrelha, ou plataforma de transferência de carga, sobre as colunas, de modo a diminuir o efeito de afundamento do aterro entre elas. A ordem de recalques ao final é elevado. A presença de solos muito moles inviabiliza a técnica.

• Geoenrijecimento com CPR Grouting

O Geoenrijecimento, feito com CPR Grouting, é um processo de melhoramento de depósitos de solos moles, que não utiliza o conceito de colunas mas, sim, da homogeneização do solo mole com parâmetros geotécnicos pré-estabelecidos. Em síntese promove, no solo mole, um ambiente drenante artificial, seguido da formação de bulbos com argamassa seca, que comprimem o solo radialmente, via expansão de cavidades,

através de malha de verticais, aumentando a resistência e a rigidez do solo como um todo, com eficiência média de 95%. O processo é executado de baixo para cima, escalonadamente, a partir do solo resistente, para cada metro de profundidade. A argamassa seca, ou geogROUT, é ajustado para o solo mole em questão, através de curva granulométrica, com areias, siltes e aglomerantes da própria região, além de aditivos induzindo, via compressão radial, a consolidação do solo e, ao mesmo tempo, impondo níveis de rigidez superiores às exigências de projeto. A neutralização dos recalques imediato e primário é assegurada com o acompanhamento do máximo excesso da poropressão e sua dissipação. A confirmação do recalque secundário é comprovada através das tensões de fluência na curva pressiométrica de acompanhamento do serviço. As verticais com bulbos de compressão e enrijecimento, via expansão de cavidades, confirmam a ordem de deformações (recalques) impostas. Uma vez alcançada a resistência necessária, no solo, intensamente comprimido radialmente com os bulbos, interrompe-se

o enrijecimento naquela cota, suspendendo-se o tubo de bombeamento e repetindo-se a compressão do solo até chegar-se à sua superfície. Toda a mecânica executiva é acompanhada com monitoramento do excesso e dissipação da poropressão causada que, com as curvas pressiométricas pressão-volume, indicam o grau de consolidação e rigidez impostos. O resultado é o aumento da resistência efetiva e da rigidez do solo mole, ao longo de toda a sua profundidade, de maneira proporcional à quantidade de dissipação da poropressão, promovendo a homogeneização de toda a massa de solo mole. Neste projeto associou-se uma resistência à compressão para o geogROUT, formador dos bulbos de compressão e adensamento do solo. O volume e a pressão imposta no solo, por cada bulbo de compressão radial, impõe módulos tensão-deformação característico de solos compósitos, completamente modificados, ajustados ao projeto. Um outro dado interessante é que o solo geoenrijecido passa a trabalhar imediatamente como solo compósito rígido. A partir da programação executiva, obtida com

método específico de elementos finitos, o Geoenrijecimento poderá ser iniciado com a seguinte metodologia:

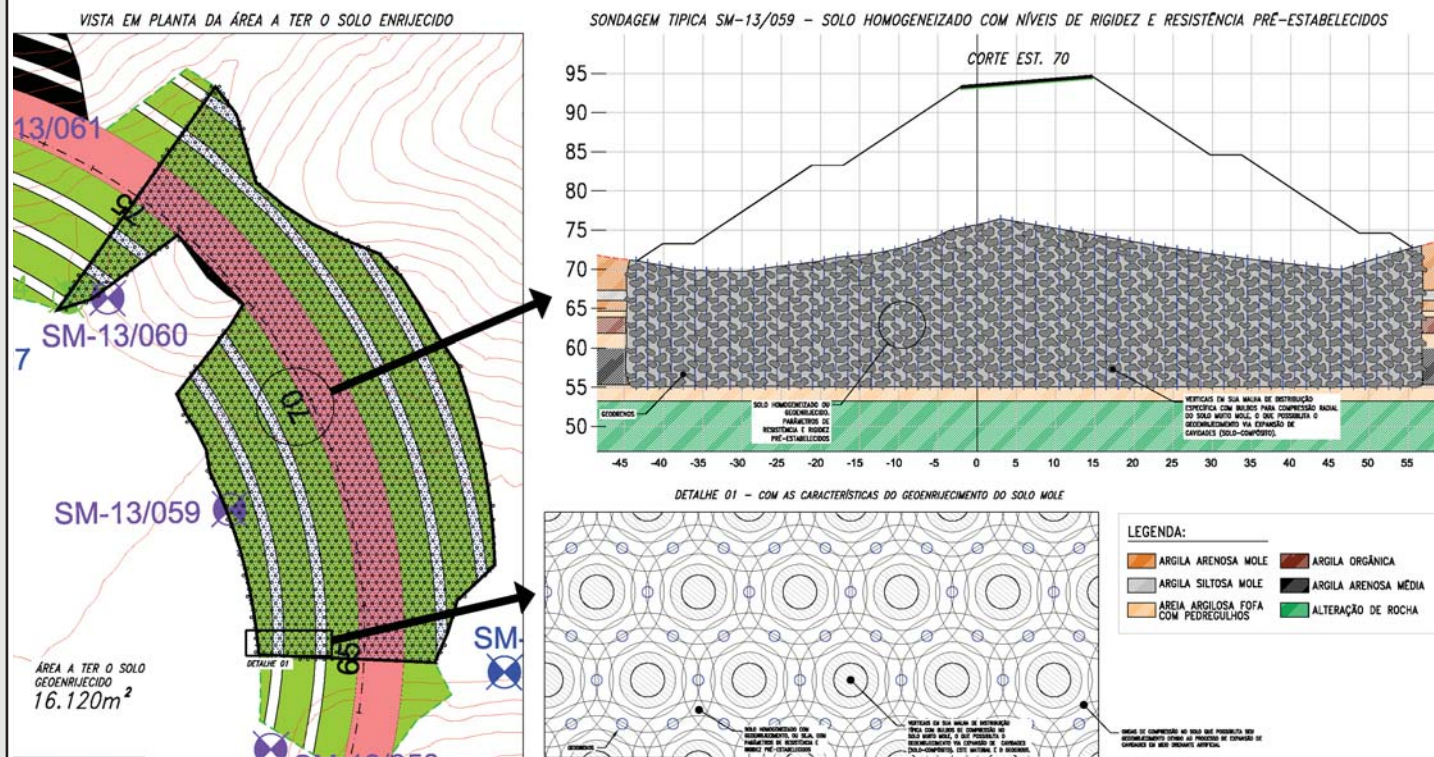
- Campanha de ensaios com pressiômetro e piezômetros.
- O terreno deverá estar com aterro de conquista, de modo a assegurar a trafegabilidade dos equipamentos.
- Início da cravação dos geodrenos com equipamento de esteiras e lança com altura compatível com a profundidade do Geoenrijecimento.
- Com equipamentos sobre esteiras, e lanças com tubulação de bombeamento, chega-se à cota desejada, iniciando-se a formação das verticais com bulbos de compressão radial do solo.
- Nova campanha de ensaios pressiométricos para atestar o Geoenrijecimento do solo.

Vantagens do Geoenrijecimento:

- Resposta imediata do solo com valores instantâneos dos recalques imediato e primário (adensamento). A redução automática da compressibilidade impõe níveis de rigidez programados.

PROJETO TÍPICO

GEOENRIJECIMENTO DE SOLOS MOLES GEOENRIJECIMENTO DE SOLO DE FUNDAÇÃO, EM ÁREA DE 16.120M²



SOLOTEST®

A solotest equipa os melhores laboratórios de solos, concreto e misturas asfálticas da América Latina, com equipamentos próprios e de seus parceiros internacionais.



 1.014.250 - Extrator Shelby de Bancada



 1.055.001 - Prensa de Adensamento



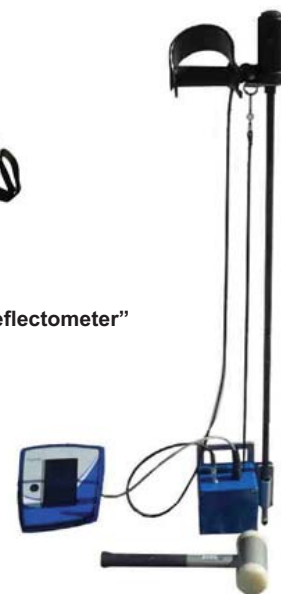
 1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada




 4.100.030 - Medidor de Densidade de Solo Não Nuclear (SDG)



 4.100.300 - LWD "Light Weight Deflectometer"



 4.100.035 - Penetrômetro Dinâmico Eletrônico para Solos Panda



 4.688.020 - Sistema hidráulico para realização de ensaio CPT em diversos tipos de Solos

- Condição construtiva rápida, considerando as tensões de pré-adensamento previamente aplicadas, que viabilizam a construção do aterro principal, o qual pode ser executado em apenas uma etapa ganhando prazo na execução da obra, eliminando qualquer possibilidade de ruptura e recalque pós liberação do aterro.
- A ação dos bulbos de compressão, via expansão de cavidades, ativa o solo mole envolvente.
- O monitoramento geotécnico do aumento da resistência e rigidez do solo é feito, sem custo adicional, checando-se a obtenção dos parâmetros pré-estabelecidos, através de piezômetros e pressiómetros, analisando-se preferencialmen-

te o comportamento tensão-deformação do solo, como num ensaio oedométrico / triaxial.

- Frequentemente é feito junto à obras de arte, com controle total, seja com inclinômetros e células de pressão. O Geoenrijecimento de solos moles junto à obras de arte elimina problemas inerentes nestas regiões, tendo em vista o futuro aterro.
- O Geoenrijecimento atua em toda a profundidade do solo mole com tensões radiais elevadas, impondo tensões e deformações muito superiores às de projeto.
- Não forma colunas, pois não prevê transmissão de cargas, nem sofre indução de cargas adicionais devido a arque-

amento do solo, já que não há contraste de rigidez entre elementos verticais e o solo.

- O solo Geoenrijecido, com CPR Grouting, torna-se um compósito de solo confinado, comprimido e adensado entre bulbos de compressão rígidos: solo compósito.
- Elimina qualquer possibilidade de ruptura, considerando o pré-adensamento produzido e a hibridização do solo.

SSBI

REFERÊNCIAS

- 1 **Thomas Kim** é engenheiro civil e trabalha com melhoramento de solos moles.

Localização estratégica e eficiência logística geralmente estão localizadas em terrenos ruins.

CPR[®]
GROUTING

O CPR Grouting viabiliza.

Entre em contato, para saber mais detalhes a respeito.
www.engegraut.com.br