

Soft Soil Brazilian Review

4 Solo Mole

Solo mole forense.

Até onde vai a efetividade do melhoramento do solo mole?

18 Solo Mole

O básico da investigação forense para solos moles.

24 Solo Mole

Como um projeto geotécnico ingênuo vai parar no tribunal.

16 Consulta

Como seria um guia técnico para investigação geotécnica forense, pertinente a presença de recalques?



SOLO MOLE NO TRIBUNAL

Até onde vai a efetividade do
melhoramento do solo mole?

PÁGINA 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 - Set / Out - Nº 13



SSBI SOFT SOIL
BRAZILIAN
INSTITUTE

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

13

SOLO MOLE
Solo mole forense.
Projetos ingênuos e inconsequentes acabam no **04**
jurídico.

Por Joaquim Rodrigues

SOLO MOLE
O básico de investigação forense para solos moles. **18**

Por Patrícia Tinoco

SOLO MOLE
Solo mole como questão forense. **24**

Por Thomas Kim

EDITORIAL

Quando uma obra geotécnica recalca, o proprietário exige saber o porquê. É utopia geotécnicos acreditarem que praticar a engenharia perfeita, ou em conformidade com o padrão normativo, lhe proporcionará imunidade à responsabilidade civil. Fato é que, quando ocorrem deformações em um empreendimento, assentado sobre solos moles, todas as partes, inclusive geotécnicos, são chamados à depor. A presença de solos moles é sinal de complexidade e de problemas. A solução com estacas é simplória, porque atravessa a camada mole e assenta no solo competente. O fato é que, na maioria das vezes, a execução do aterro básico, para se chegar ao greide de projeto é, realmente, o problema, porque estacas não sustentam aterros. É aí que, via de regra, está o problema. A carga ou peso do aterro esquecido promove toda sorte de deformações, já que comprime e adensa o solo mole, inclusive nas estacas, via atrito negativo. É esse tipo de problema, cada vez mais frequente, que promove litígios entre projetistas, construtoras e proprietários, exigindo a presença de geotécnicos especialistas em solos moles para opinar. Por este motivo estamos, nesta edição, dedicando todo seu conteúdo para realçar a questão, chamando a atenção para a situação inconsequente de projetistas, que nada entendem de argilas moles, especificarem estacas achando que não terão problemas. O correto é consultar geotécnicos, com conhecimento em solos moles para, conjuntamente, analisarem todos os aspectos pertinentes, invariavelmente necessitando de melhorar o solo com Geoenrijecimento, mesmo se persistir a idéia do estaqueamento. Boa Leitura.

Joaquim Rodrigues

SOLO MOLE FORENSE

Até onde vai a efetividade do melhoramento do solo mole?



Figura 1 - A presença de solos moles em obras torna-a complexa, tecnicamente, e é cada vez mais frequente.

A geotécnica forense, pertinente a solos moles, GFSM, tornou-se importante na medida em que surgem cada vez mais casos de litígios. Construir sobre terrenos com solos moles exige conhecimento e atitude com melhoramento de solos, caso contrário ocorrerão deformações ou até mesmo rutura no empreendimento construído. Nesta condição, há inúmeros casos de problemas em construções, executadas sobre solos moles, onde projetistas, sem conhecimento no assunto, estabeleceram soluções inconsequentes que redundaram em recalques excessivos, o que promoveu conflito judicial entre cliente, projetista e construtora. Portanto, uma vez o problema causado, torna-se interessante estabelecer um quadro investi-



Figura 2 - A movimentação de aterro sobre solos moles é crítica e, via de regra, passa despercebida por projetistas, que só dão atenção as cargas do projeto.

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

gativo das causas, de maneira sistemática, começando pelo histórico relacionado ao recalques.

Recalque e breve histórico

Recalque é sinônimo de problemas à séculos. Muitas construções na idade média, simplesmente desapareceram devido a recalques excessivos. A torre de Pisa, que sobreviveu, tornou-se famosa exatamente pelo recalque imposto à construção. Na realidade, trata-se de um problema muito antigo, que chega aos tempos atuais com a mesma intensidade e problemas. Antigas observações concluíram que:

- 1 A espessura das camadas de solo mole, sob as construções, havia reduzido de quantidade igual ao recalque.
- 2 Camadas de solo, que tiveram sua espessura reduzida, passaram a ter relação de vazios menor que as do solo mole fora da região da construção.
- 3 Em solos saturados, as pressões aplicadas, σ , dividem-se em pressão efetiva, σ' , transmitida pelas partículas sólidas e pressão neutra, u , (poropressão), transmitida pela fase líquida. Ou, $\sigma' = \sigma - u$.

4 Compressão no solo refere-se ao aumento da massa do solo por unidade de volume, devido a carregamento imposto ou devido a alterações na poropressão.

5 Compressibilidade é a resistência do solo mole que se opõe a diminuição de seu volume, quando ocorre um carregamento.

6 Em solos argilosos saturados, compressão é chamada de consolidação e depende da drenagem do excesso de poropressão (carregamento), que tem relação imediata com a condutividade e o gradiente hidráulico do solo. em solos não saturados a compressão é chamada de compactação.

Estas simples evidências demonstram que no estrato de solo comprimido pela construção, e confinado pela massa de solo ao redor, há uma pressão relativamente uniforme, fazendo com que a relação de vazios diminua de modo apreciável. Com este problema na mão, Karl Terzaghi, em 1925, idealizou um ensaio de laboratório que reproduziria a questão, utilizando uma amostra de solo mole, que ficava confinada lateralmente,



Figura 4 - Edômetro ou consolidômetro.

coabrindo-a encima e embaixo com material poroso. A este aparato denominou edômetro ou consolidômetro. Para a realização dos ensaios, aplicou uma pressão vertical, σ' , para comprimir a amostra, mantendo-a até virtualmente cessar o processo compressivo no solo. A partir daí, aplicou-se uma pressão maior. Repetiu esta operação



Figura 3 - Esta é a condição de muitas estradas e rodovias. Soluções ingênuas com precarregamento, quando da existência de profundos depósitos de solos moles, não trazem os benefícios desejados, implicando em grandes recalques.

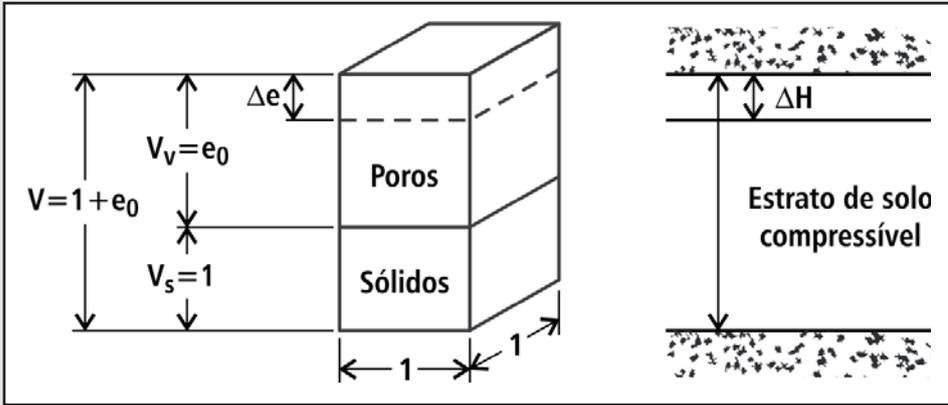


Figura 5 - Comparação do recalque imposto, em camada de solo com espessura H, com a mudança de altura da superfície do solo, cuja altura inicial era $1+e_0$.

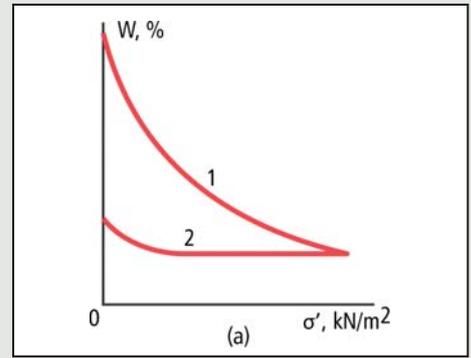


Figura 8 - Curvas do comportamento dos solos saturados argilosos. 1 - curva de compressão daconsolidação; 2 - curva de inchamento pela descompressão.

até alcançar pressão compatível com o solo sob a estrutura em questão. Com o processo compressivo gradual, imposto ao solo, calculou sua quantidade de vazios correspondente a cada uma das etapas compressivas aplicadas. Este resultado pode ser apresentado de diversas formas, a mais simples é expressando a deformação vertical imposta como resultado da pressão efetiva imposta ao solo mole.

O recalque, ΔH , na camada do solo mole de espessura H, é equivalente à deformação ϵ :

$$\epsilon = \frac{\Delta H}{H}$$

A primeira curva, permite melhor compreensão do processo de recalque. Nos solos

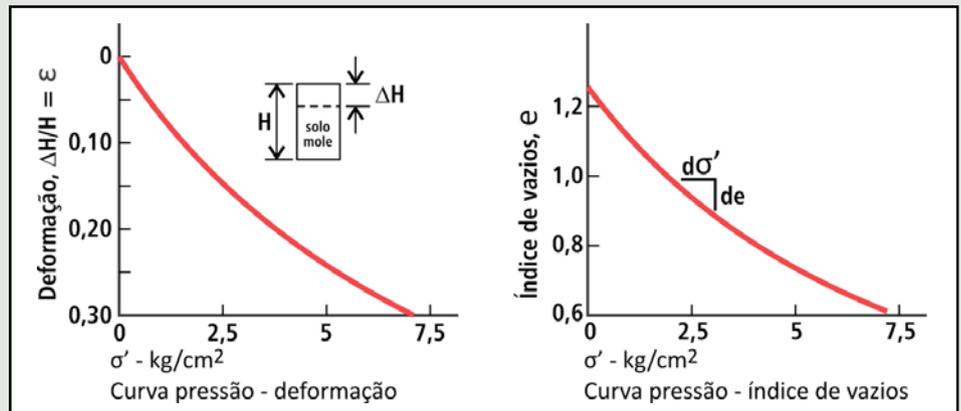


Figura 7 - Compressão consolidativa através de dois gráficos.

argilosos saturados, com muito pouca permeabilidade, Terzaghi observou que para cada aumento do carregamento externo, ocorria uma variação no seu teor de umi-

dade. Esta relação pode ser representada pelo gráfico da figura 8 acima, que pode ser utilizada para estimar a compressibilidade do solo argiloso mole.



Figura 06 - Soluções com Geoenrijecimento do solo, efetivamente, produzem o nível de consolidação desejado no solo mole.

Webinar - Live

SIG Workshop: Geotechnical Analysis - Using SoilVision SVSLOPE to Determine the Factor of Safety

 Apr 14, 2020

 4:00 PM CEST

 1 hr



Slope Stability analysis using the Limit Equilibrium Method is applied worldwide to obtain a factor of safety. With the SoilVision solution, engineers can assess ...

Speaker Bio



Micha van der Sloot

Technical Support Manager
Bentley Systems, Inc.



Marina Trevizoli

Senior Application Engineer
Bentley Systems



Slope Stability analysis using the Limit Equilibrium Method is applied worldwide to obtain a factor of safety. With the SoilVision solution, engineers can assess critical slip failure mechanisms in 2D/3D through a deterministic and probabilistic approach. This Geotechnical Analysis Special Group virtual workshop guides engineers about concepts and methods available in SVSLOPE for determining the factor of safety.

This one-hour session works within SoilVision CONNECT Edition, Version 10 and includes a technical presentation as well as time to share questions. Topics include:

- Assessing a critical factor of safety in SVSLOPE
- Different search methods and their application in 2D/3D
- Analyzing critical slip failure shape mechanism

The Geotechnical Analysis SIG is open to all Bentley users, so invite your colleagues!

www.bentley.com

Como vimos, então, a compressibilidade do solo mole relaciona-se à forma da curva tensão-deformação. Com base na geotecnia, torna-se importante focar mais a questão do recalque, em detrimento do tema resistência ou instabilidade.

Problemas na engenharia geotécnica resume-se à dois tipos. O primeiro inclui os casos onde há possibilidade (e o perigo) das tensões cisalhantes no solo ultrapassarem sua resistência, o que conduz à rutura. Questões deste tipo, são chamadas de **problemas de estabilidade**. O segundo tipo, inclui os casos onde as tensões atuantes são muito inferiores à resistência do solo, no entanto são capazes de promoverem recalques na estrutura, devido a compressibilidade do solo. A compressibilidade do solo, portanto, é causada pela diminuição de sua porosidade e, conseqüentemente, do seu volume total sob a ação do carregamento. É propriedade inerente à solos argilosos saturados. Comprimir solos desta natureza significa consolidá-los, desde que haja alguma permeabilidade.

O índice de compressão e o índice de recompressão são os mais importantes parâmetros da compressibilidade do solo

mole, para se acessar o cálculo do recalque desejado. Embora os parâmetros de compressibilidade possam ser obtidos com teste edométrico, costuma-se utilizar relações entre parâmetros de compressibilidade e as propriedades básicas do solo. Muitas correlações, baseadas em análises de regressão linear, também conduzem ao índice de compressão. De um modo geral, há muitas relações entre o índice de compressão e as propriedades físicas do solo mole, como o índice de vazios inicial, o teor de umidade, o limite de liquidez e o índice de plasticidade. A compressibilidade do solo de fundação deverá ser cautelosamente avaliada com as seguintes questões:

- Qual é o índice de vazios inicial, seu limite de liquidez, teor de umidade e o índice de plasticidade existente nas camadas do solo, ao longo da zona de influência da fundação?
- Como se desenvolve a poropressão nas camadas do solo?
- Até que ponto/tempo tolerar-se-á recalques residuais, promovidos pelo processo de consolidação nas camadas moles?

A condição do solo

Quando se trabalha com a certeza da presença de solos moles, sob o empreendimento, torna-se fundamental levantar os perfis longitudinal e transversal, com ensaios SPT. Um exemplo clássico é a presença de depósitos de solos moles apoiados em taludes subterrâneos. Nesta condição é comum, ao se lançar um simples aterro sobre o solo mole ocorrer, imediatamente, deformações laterais no terreno de fundação, antes mesmo de se levantar o empreendimento. Por outro lado, caso não se interprete adequadamente o perfil do solo, ainda assim, corre-se o risco de se obter capacidade de carga insuficiente para o solo de fundação.

O tipo de fundação

A grande pendência, em qualquer empreendimento sobre terrenos com solos moles é o aterro, necessário para alcançar a cota de projeto. Aterros impõe cargas no terreno, impossíveis de se conter com estacas ou soluções paliativas com colunas de brita ou deep mix, que redundarão em grande processo de recalque, antes mesmo de se iniciar a obra, já que o solo mole continua entre estacas e colunas. Há inúmeros casos de conflito entre clientes e geotécnicos com este tipo de problema. A maneira mais eficiente de preparar terrenos com solos moles, de modo a receber aterros, é com Geoenrijecimento, pois impõe forte processo de adensamento (consolidação), específico às cargas a serem impostas estabelecendo-se, posteriormente, fundação direta. Outro aspecto importante, com a presença de solos moles e conseqüentes movimentos de massa, é a questão da direção do carregamento que, utopicamente, entende-se puramente vertical, conforme é calculado. Em geral, existirá algum componente de carga horizontal e de momento fletor, que reduzem a capacidade de carga do solo, principalmente para pequenas profundidades.

Construções horizontais, fundação direta. Por que fundação profunda?

De um modo geral, a carga do aterro costuma ser compatível com a carga do empreendimento a ser construído, seja uma estrada, uma área portuária ou aeroportuária.



Figura 08 - Neste trecho, um início de ruptura no aterro executado para ampliação rodoviária. Trabalhos emergenciais, com o início da cravação dos geodrenos para o geoenrijecimento. A cunha de ruptura estabeleceu-se à profundidade de 5m.

ria, áreas logísticas, ou seja, obras horizontais. O melhoramento do solo mole, com Geoenrijecimento, é específico para este tipo construtivo, tipicamente da ordem de 5 a 10t/m². A grande questão, no entanto, ainda prevalece, na medida em que o geotécnico não conhecendo sobre melhoramento de solos, estabelece sistemas de fundação profunda, incrivelmente para tensões de 5t/m², com estacas ou colunas, atravessando (perigosamente) camadas de solos moles, tentando apoiar o aterro e o empreendimento em estacas e colunas nas camadas resistentes profundas. Neste particular, dever-se-á questionar:

- Os elementos de fundação estarão adequados para resistir a condição imposta, não tanto pela construção, mas pelo próprio peso do aterro, que impõe tensões axiais de compressão e tração, momento fletor, cisalhamento do solo, torção e empuxos laterais devido a movimentos de massa no terreno?
- Dois tipos de estacas são utilizadas, escavadas (removendo-se o solo) e cravadas (sem remoção do solo). Um caso de litígio muito comum é a utilização de estaca escavada com hélice contínua. Este tipo de estaca não é adequada para ser utilizada em solos moles, seja para qualquer

tipo de obra. Outro caso é com a utilização de estaca escavada, com injeção de pequeno diâmetro (raiz). Os motivos são:

- Estrangulamento do fuste provocado pela armadura.
- Armadura incompleta.
- Descontinuidade do fuste causado pela retirada do revestimento sem controle.
- Seccionamento do fuste pela presença de argila mole - muito mole.
- A utilização de estacas cravadas também é motivo de problemas em terrenos com solos moles. Os motivos são:
 - Falsa nega
Após obtida a nega, ao se tentar cravar a estaca novamente, penetra facilmente. Provoca excesso de poropressão, principalmente em grupos de estacas, ocorrendo relaxação do solo.
 - Flexão dos elementos que estão sendo cravados
Afeta o desempenho da estaca, havendo danos.
- Grandes profundidades de cravação, devido a presença de camadas moles, implica em muitas emendas, que tornam-se desaprumadas frente ao ambiente mole/muito mole. Frequente ocorrência de levantamento dos elementos já cravados, típico em blocos com muitas estacas,

além do desvio da verticalidade durante a cravação, o que dificulta atingir a nega.

- A utilização de estacas metálicas, através de espessas camadas de solos moles, costuma provocar flambagem, devido a obstruções, excesso de energia ou excentricidade do choque do martelo, com surgência de danos pois, com as emendas, ocorrem danos devido a insuficiente resistência do solo para suportar a cravação. Elementos muito esbeltos promovem o desvio da verticalidade durante a cravação. Há dificuldade de se atingir a nega.

Fatores relacionados as cargas e ações estruturais. Hipóteses.

Com relação as diversas formas de carregamento que precisam ser consideradas no sistema de fundação projetado, ou seja, as cargas de projeto e as que efetivamente irão aparecer, dever-se-á questionar:

- Carga do aterro, necessário para se chegar ao greide de projeto (carga morta), sobre as camadas moles é uma carga que, usualmente, não é considerada. Erro grave.
- Cargas induzidas no sistema de fundação, devido a movimentos de massa, verticais (consolidação) e/ou laterais (aterros submersos).

Devido as cargas e momentos provocados pela estrutura, ocorrem ações do tipo forças axiais, laterais e cisalhantes, momentos fletores e de torção no sistema de fundação. As ações estruturais dependem dos seguintes fatores:

- Método de cálculo utilizado.
- Cargas e momentos da estrutura, que atuam no sistema de fundação.
- A resistência e compressibilidade do solo.

Com todos os fatores anteriormente mencionados torna-se, agora, interessante formular hipóteses estabelecendo fatores que contribuíram para o processo deformativo imposto no empreendimento. Cada hipótese levantada, deverá ser analisada mediante cálculo, ensaio de laboratório ou mesmo simulação em campo, de modo a demonstrar sua consistência. Todas as particularidades possíveis, acerca das características do solo deverão ser levantadas, inclusive novas sondagens, se houver necessidade.



Figura 09 - Nesta área de estacionamento, semi coberta, houve recalque do pavimento de cerca de 50cm devido a presença de solo mole. Os pilares foram estaqueados, estabelecendo-se fortes recalques diferenciais.

Exemplo de investigação judicial

1. O projeto

Um projeto de construção horizontal, de uma grande loja de supermercado, localizado na grande Recife, começou a apresentar recalques e deslocamentos laterais em 2/3 de sua área construída. A construção, do tipo logístico, foi realizada, com pilares e paredes premoldadas de concreto armado, assentados em blocos com estacas escavadas em hélice contínua. Seu grande piso interno, por sua vez, com cerca de 7.000m² foi assentado diretamente sobre o aterro. A condição do solo de fundação apresentava um terreno, onde se executou corte e aterro. A região do corte apresentou material alterado geotecnicamente estável. A região aterrada, por sua vez, necessitou de cerca de 5m de aterro, assentado sobre profunda camada de argila mole, com cerca de 25m de profundidade, apoiada em talude submerso, de acordo com o perfil longitudinal abaixo e sondagem ao lado. As estacas, em hélice contínua, apresentavam 50cm de diâmetro, assentadas a cerca de 30m de profundidade, sendo que o fuste armado foi introduzido com apenas 7m de profundidade.

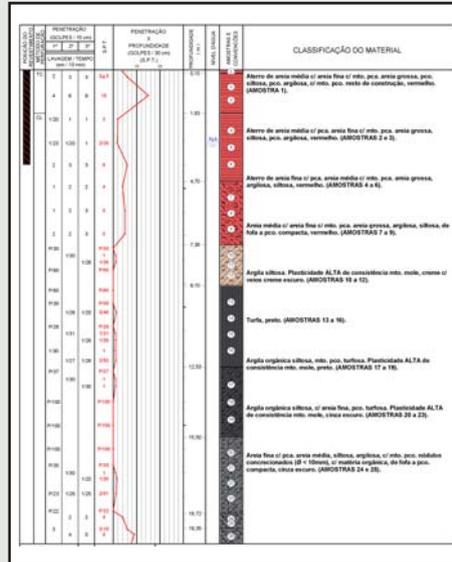


Figura 11 - Sondagem SPT evidenciando a profundidade de solo mole - muito mole orgânico.

2. O processo de recalques e movimentação lateral no empreendimento.

Cerca de 6 meses após a inauguração, e um intenso processo deformativo atuante, o proprietário começou a monitorar com nível ótico, os deslocamentos em toda a área do empreendimento, colocando pinos de recalques nos pilares e no piso. Externamente, placas de recal-

que. No final do primeiro mês de monitoramento, observou-se forte processo de recalque, com cerca de 500µm/dia e movimentação lateral ainda mais intensa, com cerca de 1.500µm/dia. Ou seja, o empreendimento deslocava-se lateralmente 3 vezes mais que verticalmente (recalque).

3. Investigação de possíveis causas do processo deformativo imposto ao empreendimento

A investigação apontou as seguintes causas para o complexo processo deformativo imposto:

- Recalques devido a ação do pesado aterro sobre profunda camada de solo mole - muito mole orgânico, promovendo movimentação de massa vertical.
- Devido a presença de talude subterrâneo ou submerso, induziu-se movimentação de massa lateral, devido ao peso imposto do aterro sobre a espessa camada mole assentada em talude.
- Comportamento geotécnico inadequado das estacas, com possível rutura ou fraturamento devido a ausência de armadura ao longo de todo o fuste, submetido a dupla movimentação de massa

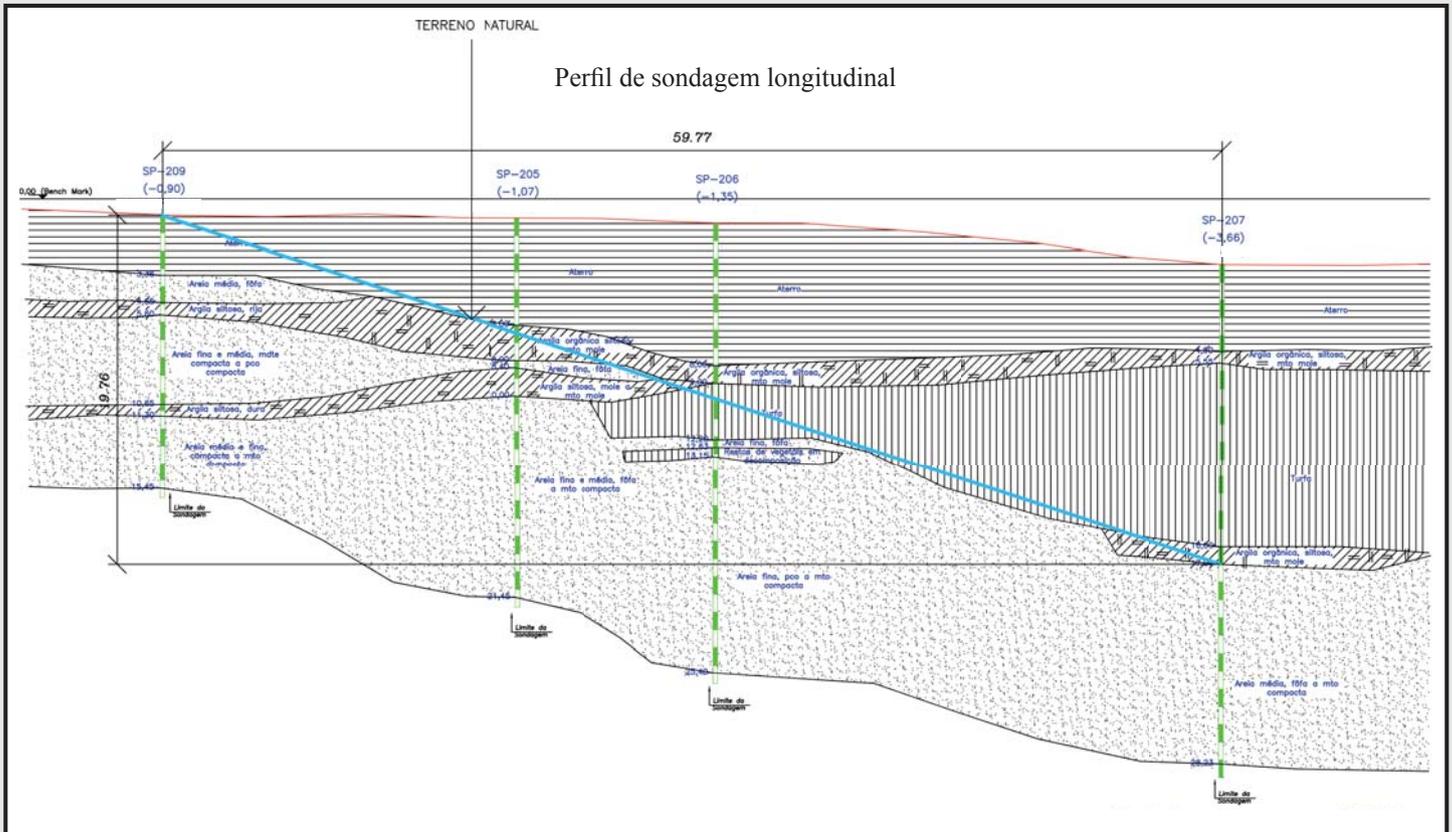


Figura 10 - Perfil geotécnico longitudinal, evidenciando o enorme talude submerso através do qual, antes mesmo de iniciar a montagem da obra, já ocorria movimentação de massa.

(horizontal e vertical). Provável comprometimento, da integridade do fuste das estacas, devido a presença de solo mole - muito mole, seccionando-o.

- Ocorrência de talude submerso.
- Desconhecimento da improbidade das estacas escavadas, com hélice contínua, quando da presença de solo mole - muito mole.
- Desconhecimento da ação compressiva consolidante do aterro, sobre o depósito do solo mole - muito mole existente.
- Desconhecimento da desnecessária utilização de estacas, para esse tipo de empreendimento, que trabalha com pressões extremamente leves, que raramente ultrapassam $5t/m^2$.
- Utilização de dois sistemas de fundação distintos sem utilização de juntas de isolamento.

De um modo geral, percebe-se que os projetistas desconhecem os aspectos apresentados acima, certamente sem domínio geotécnico. Trata-se de uma situação muito comum na área logística, onde prevalecem construções horizontais ca-

racterizadas por grandes pavimentos. Ou seja, o projetista é, tipicamente, especialista em pavimentos de concreto.

4. Movimentação lateral devido ao talude submerso

Trata-se de um problema geotécnico cada vez mais comum, devido a frequência crescente de construção sobre solos moles. A análise geotécnica apurada do solo de fundação, exige o levantamento do perfil transversal e longitudinal do solo, de modo a se identificar este complexo detalhe geológico. Sua existência e o consequente lançamento de aterros, implica em automática movimentação de massa, fazendo com que, antes mesmo da construção do empreendimento, já existam movimentos horizontais e verticais no terreno aterrado.

5. O possível colapso das estacas em hélice contínua

Este tipo de estaca escavada, com hélice contínua, devido as suas particularidades, não deve ser projetada quando da

existência de solos moles - muito moles, considerando-se vários aspectos já apresentados.

Com o advento do talude submerso, e a consequente movimentação de massa, o corpo das estacas, carente de armação e com problemas de integridade do fuste com argila mole, perdem prumo e fraturam, devido a imposição de pressões laterais nas estacas e, portanto, momentos fletores e cisalhamento adicional.

Por outro lado, o processo de compressão-consolidação do solo mole, provocado pelo peso do aterro, impõe tensões cisalhantes axiais adicionais, devido à movimentação vertical da massa do solo, com consequente aumento da força axial nas estacas, devido ao atrito lateral negativo.

6. Questões periciais

Questões periciais são necessárias para precisar as verdadeiras causas do problema, a solução e, claro, os culpados. As questões, para este caso, são as seguintes.



Figura 12 - Movimentação de massa horizontal e vertical do solo de fundação provocou recalques diferenciais entre pilares e piso, afetando as paredes.

1ª QUESTÃO: O que aconteceu neste grande empreendimento?

Trata-se de um modelo de construção horizontal com estrutura pré-moldada, extremamente leve, com extenso piso, pilares pré-moldados e paredes em painéis leves, além do telhado com telhas metálicas que, no final das contas, impõe tensões irrisórias ao solo de fundação, da ordem de 3 a 5 t/m².

O solo de fundação, por sua vez, apresenta espesso aterro recente, com cerca de 5m de profundidade, sobreposto a profunda camada de argila orgânica mole e muito mole, com presença de turfa, chegando aos 25m de profundidade. Ou seja, o impenetrável está à cerca de 30m! O projeto de fundação da loja não analisou geotecnicaamente o solo, não prevendo a presença do pesado aterro, dimensionando o piso diretamente no terreno e os pilares assentados em esta-



Figura 15 - Sistema construtivo da loja: extremamente leve. Se a carga imposta aos pilares é praticamente igual à do piso, porque optou-se por estaquear os pilares?



Figura 13 - Movimentação lateral do terreno desapareceu os pilares periféricos, afetando as estacas também.



Figura 14 - A movimentação lateral fraturou a cabeça da estaca junto ao bloco.

cas. Neste particular, questiona-se:

- A. O peso do aterro foi considerado?
- B. No projeto foram considerados todos os componentes do carregamento?
- C. Imaginou-se que haveria movimento de massa no solo?
- D. Se piso e pilares trabalham com cargas leves, praticamente iguais, porque dimensionou-se dois sistemas de fundação (direta e profunda) distintos?
- E. Com cargas praticamente iguais, por que não dimensionou-se piso e pilares com fundação direta, ou seja, diretamente sobre o aterro?
- F. Por que, ao dimensionar dois sistemas de fundação incompatíveis, ou seja, que não coexistem, não especificou-se juntas de isolamento entre piso e blocos das estacas? Porque lançou-se o piso diretamente sobre os blocos?
- G. Por que, ao dimensionar (equivocadamente) estacas, escolheu-se o tipo hélice contínua que é mais barata, mas apresenta reconhecidas desvantagens.

O projeto da grande loja não analisou geotecnicaamente o solo de fundação, não percebendo primeiro que, em razão do pesado aterro existente, sobre o solo muito mole haveria, certamente, movimentação para baixo, ou seja, recalques ocorreriam, consequência do enorme excesso de poropressão provido pelo carregamento do aterro, projetando-se meses e anos de recalques devido a difícil dissipação da poropressão. Ainda assim, iniciou-se

a construção da loja sobrepondo-a a um solo em movimento de massa para bai-

mava, acompanhando o pesado aterro que deslocava para baixo e para o lado,

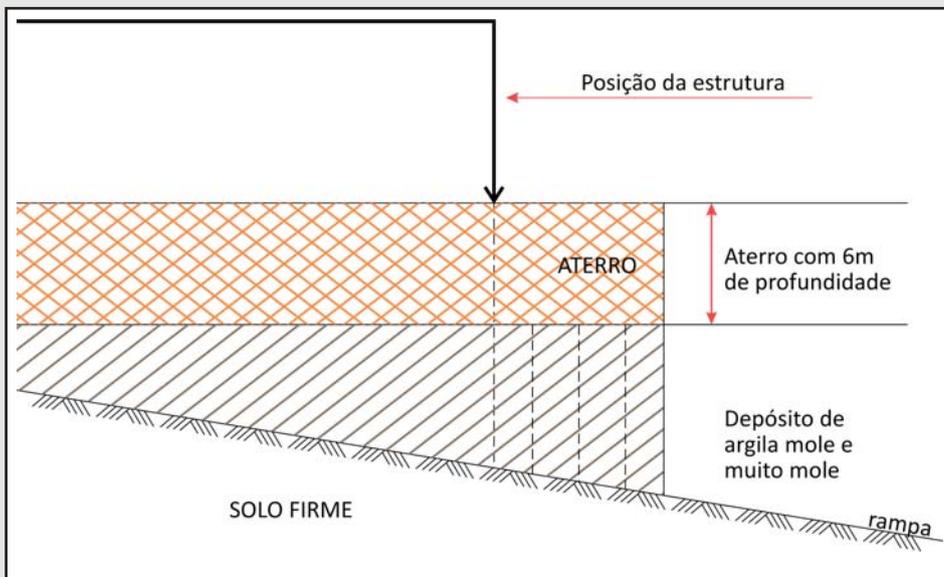


Figura 16 - Mera ilustração do talude subterrâneo, em forma de rampa, com solo mole e aterro acima.

xo. Segundo, não se percebeu, também, que o profundo depósito de solo mole e muito mole está apoiado em um solo residual, disposto em rampa, ou seja, sobre um talude. Nestas circunstâncias, o pesado aterro sobreposto ao solo muito mole, apoiado em um plano inclinado, seria fatalmente deslocado lateralmente. Ainda assim, iniciou-se a construção da loja, sobrepondo-a a um solo que movimentava-se duplamente. Evidentemente, à medida em que a construção elevava-se, sua estrutura já defor-

inclusive as estacas. Isto, porque o terreno sozinho, com cerca de 10.000m², com um pesado aterro de 5m de profundidade, impunha elevadíssima pressão de 10t/m² no solo mole e muito mole, que mal suporta 1t/m². Percebe-se que o peso da construção, com cerca de 3 a 5t/m², também desempenhava papel secundário. A grande questão sempre foi o peso do espesso aterro sobre o profundo depósito de solo mole e muito mole apoiado sobre rampa.



Figura 17 - A utilização de inclinômetros torna-se necessário para informar a movimentação horizontal das camadas do solo. Na foto a introdução do torpedo dentro da tubulação especial.

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 Engenraut 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 com CPR Grouting, para a construção de aterros, estradas, portos, ferrovias e armazenagem.
- ASCE (1989) Guidelines for Failure Investigation. Task Committee on Guidelines for Failure Investigation
- Baker PE, John A (1997) Professional engineering ethics versus expert witness requirements, Los Angeles Section ASCE, Forensic Engineering Technical Group
- Bell PE, John T (2007) What is forensic engineering? Florida Eng Soc J 8-9
- Carper KL (1986) Forensic engineering—learning from failures. ASCE, New York
- Clough GW, Smith EM, Sweeney BP (1989) Movement control of excavation support systems by iterative design. Found. Eng.—Curr. Principles Practices ASCE 2:869-884
- CPI (1991) ERCAP—users' manual. Coffey Partners International, Sydney
- Daniel DE, Olsen RE (1982) Failure of an anchored bulkhead. Jnl Geot Eng ASCE 108 (GT10):1318-1327
- Day RW (1998) Forensic geotechnical and foundation engineering. McGraw Hill, New York.
- Dixon EJ (1992) The NSPE code of ethics applied to forensic engineering. J Nat Acad Forensic Eng IX(1)
- Green DC (1988) Principles for providing geotechnical data in construction contracts. In: Conference on dams, Queenstown, Tasmania (also in Ancold Bulletin No. 81.)
- Grover JD, PE, JL (2003) Ethical considerations for expert witnesses in forensic engineering. Ethical Dilemmas Tech Forensic Pract 441-52
- Leonards GA (1982) Investigation of failures. J Geotech Eng Div ASCE GT2 108:187-246
- Mana AI, Clough GW (1981) Prediction of movements for braced cuts in clay. J Geotech Div ASCE 107(GT6):759-777
- Poulos HG (1989) PIES—users' manual. Centre for Geotechnical Research, University of Sydney, Australia
- Poulos HG (1997) Failure of a building supported on piles. International Conference Foundation Failures, IES Singapore, pp. 53-66
- SEAK inc. (2006) Advanced testifying skills for experts—the master's program, pp 4-11
- Task Committee on Guidelines for Failure Investigation (1989) Guidelines for failure investigation, American Society of Civil Engineer (ASCE)

COMO SERIA UM GUIA TÉCNICO PARA INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA FORENSE, PERTINENTE A PRESENÇA DE RECALQUES?

Na geotecnia do solo mole, uma análise forense envolve a investigação técnica normativa e muita pesquisa, com o intuito de se detectar a extensão dos efeitos deformativos que ocorrem, suas causas e claro, os culpados. Procedimentos padronizados de análise, projeto e construção não se adequam à análise forense, para a maioria dos casos. Parâmetros geotécnicos e premissas do projeto deverão ser representativos da condição real local. Cabe ao geotécnico forense justificar, juridicamente, os parâmetros adotados, o que exige pleno conhecimento de solos moles e das técnicas de melhoramento, assim como dos procedimentos legais. O geotécnico de solos moles deve seguir um programa de ação pré-especificado, abrangendo os seguintes tópicos:

Questões obrigatórias

- Identificar deficiências no projeto original.
- Pesquisar e documentar todos os documentos pertinentes ao projeto.
- Examinar minuciosamente todos os documentos, sejam de campo e laboratório.
- Conversar com todas as pessoas envolvidas no planejamento, projeto, construção e manutenção do empreendimento.
- Analisar o histórico do problema e causas

imediatas.

- Fazer uma análise conclusiva.

Questões opcionais

- Realizar análises ou sondagens adicionais.
- Controle preciso dos recalques (nível ótico).
- Promover e conduzir testes especiais, se possível, promover análises do solo com imagem (tomografia por imagem).

A relação de causas inerentes a problemas em fundações, comumente com presença de solos mole, apresenta-se a seguir

- Presença de recalques
 - Movimentação de massa.
 - Peso do aterro.
- Investigação
 - Insuficiência.
 - Falhas.
 - Interpretação inadequada.
 - As camadas de solo mole foram detalhadas?
 - Existem perfis do solo?
 - O peso do aterro foi considerado?
 - Imaginou-se que haveria movimento de massa?
- Projeto
 - Presença de solo mole.
 - Versatilidade do solo.
 - O contato solo-estrutura.
 - Movimentos do solo induzindo novas tensões. Efeito Tschebotarioff
 - Atrito negativo.
 - Aterro sobre solos moles.
 - Projetou-se fundação direta e profunda?
 - Houve juntas de isolamento?

- As cargas de projeto justificou fundação profunda?

- Realização do projeto
 - Fundação direta
 - * Aterro inadequado.
 - Fundação profunda
 - * Estacas cravadas com problemas.
 - * Estacas escavadas com problemas.
- Condição pós obra
 - Movimentos de massa do solo.
 - Recalques em pilares e pavimento.
 - Movimentos laterais em pilares e pavimento.
 - Afetamento das estacas.
 - Afetamento do pavimento.
- Início da investigação
 - Será necessário mais ensaios de caracterização?
 - Será necessário testes de carga?
 - Será necessário sondagens com imagens?
 - Será necessário retirada de amostras deformadas ou indeformadas para análise laboratorial?
 - Há controle de recalques?

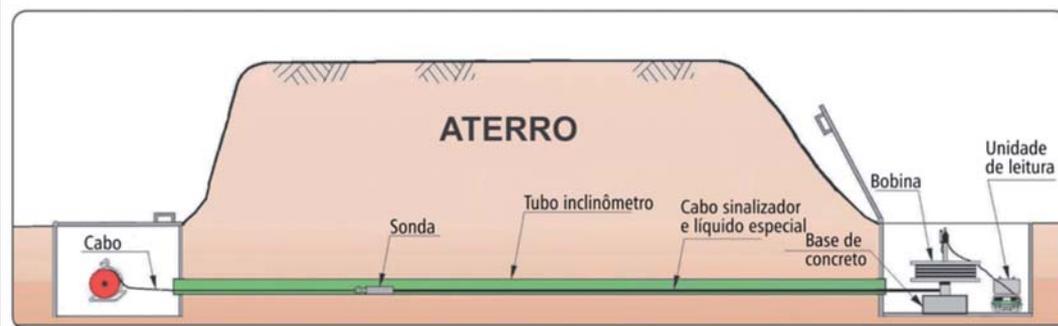
Após a coleta de todos os dados, dever-se-á fazer análise detalhada para se avaliar os parâmetros de projeto. Deve-se evitar a utilização de correlações empíricas, a menos que haja comprovação para a região em questão. Com este guia básico, poder-se-á iniciar a investigação do processo deformativo. O relatório final deverá ser abrangente e facilmente compreendido por pessoas leigas, particularmente o cliente, o que é extremamente importante.

Medidor Portátil do Perfil de Recalques (Perfilômetro)

Este equipamento mede, precisamente, recalques e levantamentos através de aterros, estradas, tanques, etc. O perfilômetro tem sonda conectada com cabo sinalizador e tubo genérico com líquido especial. Quando a sonda passa através do tubo inclinômetro ou qualquer tubo de PVC, analisa a pressão existente, calculando-a como deslocamento vertical.

Aplicações:

- Aterros rodoviários e barragens.
- Reservatórios de água.
- Pontes e viadutos.
- Recalque do solo de fundação.



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

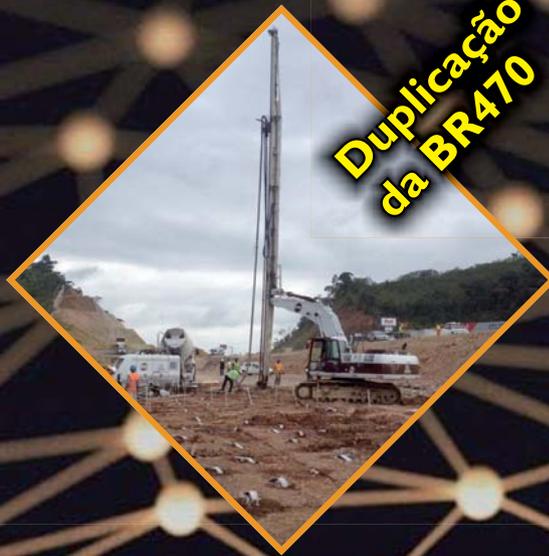
Soft Soil
Group



RODOANEL

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.



Duplicação da BR470



Área Portuária de Manaus

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-se:

contato@softsoilbrazilianinstitute.com.br

Agenda

1 a 4 de março de 2020

PDAC 2020 - Prospectors & Developers Association of Canada

Toronto - Canadá

<http://pdac-2020.org/>

15 e 17 de março de 2020

4ª Conferência Europeia de Modelagem Física em Geotecnia

Luleå University of Technology

971 87 Luleå, Suécia

<http://www.ltu.se/ecpmg>

17 a 19 de março de 2020

Intermodal South America – 2020

São Paulo Expo – São Paulo / SP

<https://www.intermodal.com.br/pt/>

26 a 29 de Abril de 2020

Geoamerica 2020 - 4º Congresso Panamericano de Geossintéticos

Rio de Janeiro - RJ

geoamericas2020@geoamericas2020.com

3 a 6 de maio de 2020

17º Congresso Nacional de Geotecnia & 10º Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia

Lisboa, Portugal

<http://17cng2020.lnec.pt/>

10 a 14 de maio de 2021

International Foundations Conference and Equipment Expo

Dallas - TX - Estados Unidos

<http://ifceexpo.com/>

13 a 15 de maio de 2020

XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

Pestana Rio Atlântica Hotel. Av. Atlântica, 2964 – Copacabana – Rio de Janeiro – Brasil

<http://www.cbpe2020.com.br/site/>

15 e 18 de junho de 2020

Deep Mixing 2020

Gdansk, na Polónia

<http://www.dfi.org/dfieventlp.asp?13330>

15 a 19 de junho de 2020

XIII ISL – International Symposium on Landslides

Cartagena, Colômbia

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

25 a 28/ de julho de 2021

3rd Pan-American Conference on Unsaturated Soils

PUC-Rio - Gávea - Rio de Janeiro, RJ

<https://panamunsat2021.com/>

15 a 18 de setembro de 2020

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica

Campinas – SP

<https://cobramseg2020.com.br/>

21 a 25 de setembro de 2020

Fourth International Dam World Conference

Lisboa - Portugal

<https://dw2020.lnec.pt/>

29 e 30 de outubro de 2020

3rd International Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics

Kyoto University's - Kyoto

<https://cpeg2020.org/details/>

12 a 17 de setembro de 2021

20th International Conference on Soils Mechanics and Geotechnical Engineering

Sydney - Austrália

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

O BÁSICO DA INVESTIGAÇÃO FORENSE PARA SOLOS MOLES



Figura 1 - Análises pressiométricas são necessárias para certificar o melhoramento do solo mole, obtendo-se a relação tensão-deformação ou o módulo pressiométrico, necessário para entender sua compressibilidade antes e pós melhoramento do solo. Da mesma maneira a análise tomográfica por imagem.

Ninguém tem dúvidas que a engenharia geotécnica é mais uma arte do que uma ciência. De um modo geral, solo é classificado como material drenado (areia) ou material não drenado (argila). Na realidade, não existe esta condição, e sim misturas de areia, silte e argila, além da matéria orgânica. Solos argilosos moles é um caso complexo de solos, onde seu comportamento primeiro, do carregamento a ser imposto, particularmente o aterro, que induzirá excesso de poropressão e, conseqüentemente, recalques e, segundo, de quanto tempo necessitará para dissipar o excesso de poropressão provocado. Ou seja, o processo de compressão-



Figura 2 - Nesta duplicação, impôs-se um melhoramento de solos com pré-carregamento. A profundidade dos depósitos moles é superior a 20m, o que torna proibitivo a utilização desta técnica. O resultado são ruturas.

GEO5

Software de Geotecnia para
uma vasta gama de análises:



Análise de Estabilidade



Escavações e Contenções



Muros e Gabiões



Recalque



Sondagens de Solo



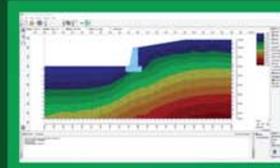
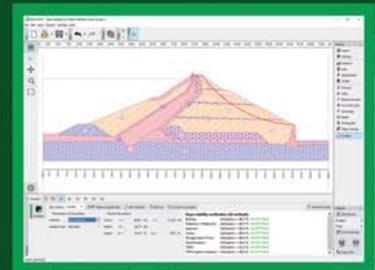
Túneis e Poços



Estudos
geológicos



Muros e
Gabiões



AVALIE GRATUITAMENTE

Solicite: comercial@solucoescad.com.br

Distribuído por:

SOLUÇÕES CAD
BIM

www.solucoescad.com.br



-consolidação é tempo-dependente, pois a taxa de dissipação da poropressão não depende, apenas, da taxa de carregamento mas, também, da permeabilidade existente e o caminho que a água tomará para drenar. A confiabilidade do comportamento do solo dependerá, portanto, de como o solo comportar-se-á com a dependência temporal. É fato que o comportamento do solo é extremamente não linear, existindo modelos de solo neste sentido. Portanto, o resultado de uma análise variará radicalmente, se associarmos diferentes leis constitutivas acerca do comportamento tensão-deformação. Por outro lado, deformações diferenciais em terreno com solos moles ocorrem com frequência, razão pela qual uma retroanálise permite identificar suas causas. Para que uma análise seja confiável, torna-se necessário:

- 1 Utilizar ferramenta analítica adequada ao tipo de problema.
- 2 Exigir-se muita experiência e algoritmos confiáveis.
- 3 Utilizar parâmetros de entrada 100% representativos do solo em questão.
- 4 A sequência construtiva deve ser confiável.
- 5 Instrumentos adequados e leituras também.

6 Interpretação de dados por geotécnicos experientes.

7 Conhecimento de melhoramento de solos.

O engenheiro geotécnico, ao realizar um estudo forense, deverá aplicar ciência e geotecnia com regras e prática legal, objetivando representar a realidade dos fatos e, conseqüentemente, resolver o conflito, de maneira clara e objetiva. A investigação forense exige coleta de dados, caracterização do problema, desenvolvimento de hipóteses para as deformações existentes, retroanálise bem realística, observações in situ e, em alguns casos, bastante monitoramento do local, com nível ótico de precisão e pessoal especializado. É mito acreditar que utilizando soluções geotécnicas de prateleira ou em conformidade com o padrão internacional, ter-se-á imunidade e isenção de responsabilidade civil. Infelizmente, quando ocorrem recalques ou mesmo ruturas em empreendimentos assentados em terrenos com solos moles, todas as partes são envolvidas na ação, independentemente de sua inocência. Vemos, frequentemente nos EUA, advogados processando todos os envolvidos em pro-

jetos geotécnicos com problemas, de modo a garantir compensação e/ou reivindicar o limite do seguro de responsabilidade. Trabalhar com solos moles exige experiência e, principalmente, meios de certificação que comprovem o melhoramento do solo, o que é raro. A geotecnia forense pertinente a solos moles (GFSM), existe para resolver problemas inerentes à utilização de técnicas inadequadas para lidar com solos moles, seja com melhoramento, homogeneizando-o, seja com elementos de fundação, o que é complicado e problemático, considerando-se a pouca eficácia desta última alternativa de trabalho e a inexistência de certificação. A grande questão da GFSM, é possibilitar ajudar o cliente a entender causas e responsabilidades. Evidentemente, opiniões díspares são, normalmente, apresentadas evidenciando tanto o pouco conhecimento de profissionais geotécnicos para a área de melhoramento de solos e até de fundações, como também o fato de sofrerem pressão para beneficiar a posição de seus clientes. Conseqüentemente, omite-se ou manipula-se fatos, como amostras, sondagens e investigações inadequadas ou deturpadas, violando-se abertamente o padrão de ética. Cada sinto-



Figura 3 - Pavimento de casa de máquinas de uma grande loja com grandes recalques diferenciais em relação aos pilares, assentados sobre estacas.

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

ma de um processo deformativo, causado pela presença e ação do solo mole, conta sua história, envolvendo cargas e pressões exercidas, evidenciando o claro desequilíbrio existente entre ação e reação e, nestas condições, expõe que o efeito compressivo consolidativo atuante é tempo dependente, função da perspectiva longínqua de interrupção do processo de recalque.

O geotécnico forense, especialista em solos moles é, acima de tudo, conhecedor da geomecânica de melhoramento de solos moles, o Geoenrijecimento, já que a base desta técnica é a teoria da consolidação das argilas saturadas. Outro aspecto da GFSM é a familiarização com o sistema de jurisprudência, capaz de entender e lidar com questões legais, exatamente porque

necessita checar normas técnicas específicas, leis e regulamentos, função do seu envolvimento em litígios. Frequentemente, envolve-se com as seguintes questões:

- O proprietário quer saber porque ocorreram recalques e quem vai pagar pelos prejuízos?
- A seguradora deseja saber se a causa dos recalques no empreendimento está coberto pela apólice de seguro do proprietário e se foi resultado de problema no qual outra empresa seja responsabilizada.
- A construtora ou empreiteiro, que construiu o empreendimento, deseja saber se o problema está relacionado à construção e, caso afirmativo, qual será sua responsabilidade.

- O projetista do empreendimento deseja saber se é de sua responsabilidade os problemas de recalque no empreendimento, ou seja, se são relacionados ao projeto.

Evidentemente, cada um dos envolvidos poderá contratar seu geotécnico forense.

A ética na geotecnia forense do solo mole

Ética é disciplina que lida com o bem e o mal, o certo e o errado, o dever moral e a obrigação. Por que necessitamos de um código de ética? perguntam um tanto ridícula, já que o que mais vemos hoje é uma mídia sem qualquer ética, assim como



Figura 4 - Neste empreendimento horizontal, sobre terrenos com solos moles, como de costume, projetou-se pilares estaqueados e pavimento sobre aterro recente. Recalques diferenciais ao longo de toda a loja. Ingenuidade ou irresponsabilidade?

nosso governo, e em praticamente todos os seguimentos da sociedade. Sabe-se que em todos os grupos há um percentual que se desvia da norma. Engenheiros são conhecidos como profissionais mais éticos, inclusive acima de médicos. E a ética na GFSM? Ora recalques em empreendimentos, assentados sobre solos moles, raramente ocorrem por um único motivo e, para o caso de litígios entre proprietário do empreendimento, projetista, construtora e subcontratadas, suas causas ficam ainda mais difíceis de serem levantadas. Nesta condição, sugere-se iniciar fazendo suposições de como e porque iniciou-se o processo deformativo, promovendo-se sondagens in situ*, caracterizadas por de-

* As sondagens in situ tem grande importância para a determinação das propriedades geotécnicas do solo mole, medindo-se os parâmetros que determinam o comportamento geomecânico do terreno, como sua resistência, sua deformabilidade, etc. Os ensaios in situ dividem-se em sondagens de resistência (SPT, CPTu, palheta) e de deformação (pressiométrico, placa de carga e tomografia por imagem).

formação, tipo tomografia por imagem e pressiômetro, e menos por resistência, tipo SPT e CPTu.

A maioria dos processos deformativos, que ocorrem em empreendimentos sobre solos moles deve-se a ausência ou insuficiência de investigação, conhecimento do solo mole e de técnicas específicas de melhoramento de solos.

A retroanálise

Torna-se claro e necessário montar um quadro cronológico mostrando toda a evolução do processo de recalques, com fotos e vídeos. Algumas situações envolvem a interação solo-estrutura, podendo ser necessário a ajuda de especialistas em fundações e estruturas. Dever-se-á fazer um checklist para documentar os dados disponíveis e os faltantes. Os dados existentes, deverão ser cuidadosamente checados, havendo a possibilidade de se fazer novas sondagens e análises, mesmo se a(s) causa(s) parecer óbvia. Com relação ao monitoramento do

recalque, com nível ótico, é muito comum haver erro na leitura, já que é difícil trabalhar com a casa do décimo de milímetro. A característica de deformação de qualquer solo é complexa. Significa que a utilização de ferramentas analíticas, com análises deformativas, devem ser validadas e aceitas. Métodos numéricos tem limitações, não devendo-se confiar cegamente em seus resultados. O método dos elementos finitos e das diferenças finitas tornaram-se ferramentas importantes para projetos geotécnicos e para retroanálises.



REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira civil. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- ASCE (1989) Guidelines for Failure Investigation. Task Committee on Guidelines for Failure Investigation.
- Day RW (1998) Forensic geotechnical and foundation engineering. McGraw Hill. New York.
- Green DC (1988) Principles for providing geotechnical data in construction contracts. In: Conference on dams. Queenstown. Tasmania (also in Ancold Bulletin No. 81).
- Leonards, GA (1982) Investigation of failures. Geotech Eng Div ASCE GT2 108:187-246.

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



O CPR Grouting viabiliza.

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



COMO UM PROJETO GEOTÉCNICO INGÊNUO VAI PARAR NO TRIBUNAL

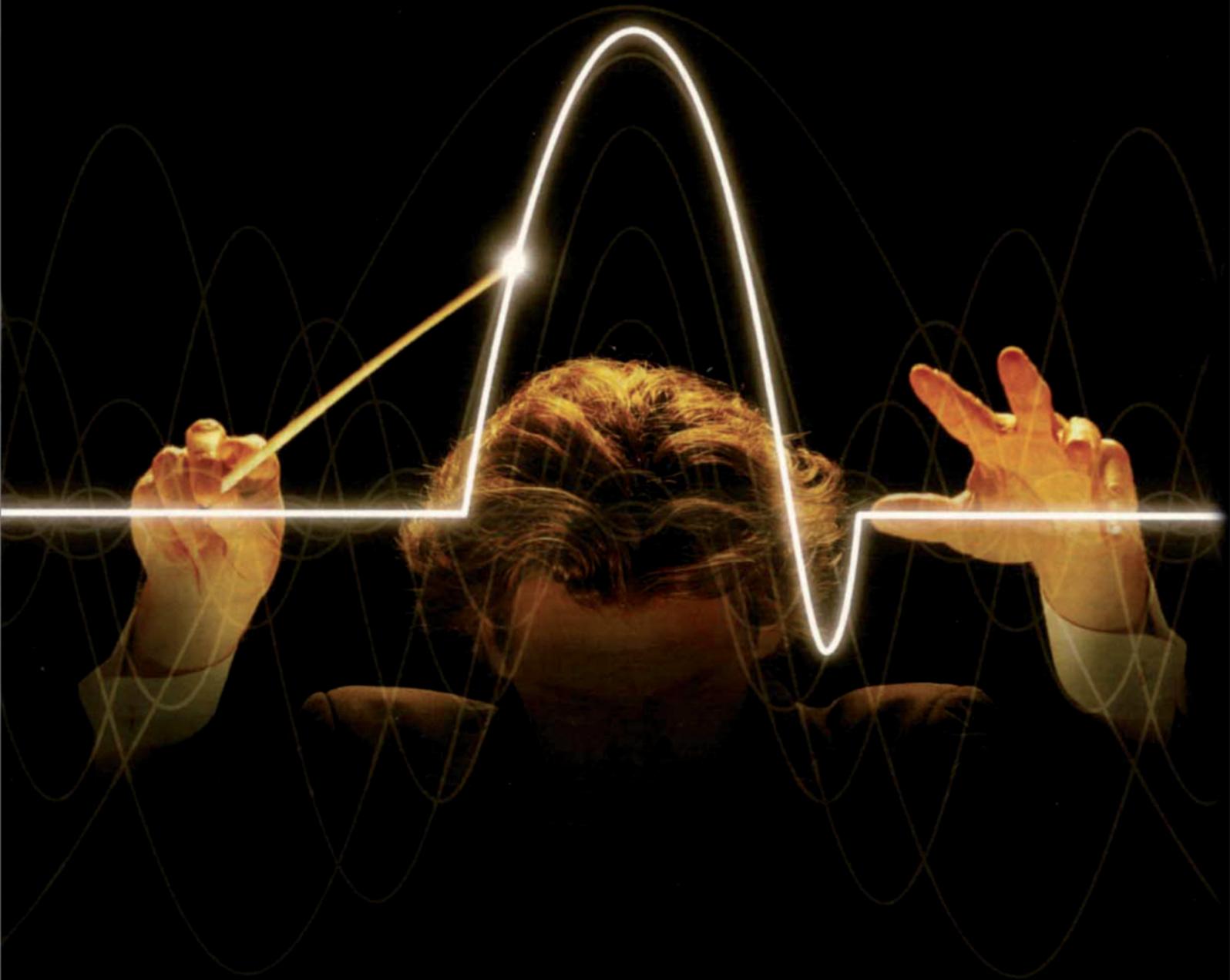
Figura 1 - Rutura, que aconteceu em uma ampliação rodoviária, motivada por execução de aterro sobre profundo depósito de solo mole sem qualquer melhoramento. Repare que trata-se de uma rutura em que não será possível escalar o próximo aterro junto a rodovia antiga, antevendo-se problemas de trincas na rodovia duplicada, considerando-se a diferença de rigidez entre o novo e o antigo maciços.

A escolha deste tema objetiva sensibilizar profissionais envolvidos no processo de projetar e executar melhoramento de solos moles, já antevendo-se problemas que possam surgir e, claro, suas consequências. Determinar a origem do problema, no solo de fundação, é extremamente difícil, já que pode ter origem em diversas fases, do conhecimento do solo, na concepção do melhoramento e sua execução e, também, pode ter origem na forma como é utilizada a estrutura, assim como na degradação do aterro de base. A geotecnia forense do solo mole (GFSM), nada mais é do que conhecimento científico e técnico utilizado para elucidar as-



Figura 2 - A ocorrência de ressaltos, em obras geotécnicas de aterros de encontros de ponte é um problema crônico, quando há ocorrência de solo mole no local. Crônico por que, geralmente, projetam-se soluções de "melhoramento de solos" com base em pré-carregamento ou colunas, cuja eficiência é baixa e, claro, os recalques vão aparecer. Há culpados?

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





Figura 3 - Nesta indústria, o geotécnico dimensionou um robusto radier, sobre profundos depósitos de solo mole, para suportar tensões superiores a 2,5kg/cm². O radier, com apenas 1 ano de uso, deformou formando concavidade com mais de 30cm em seu centro. A solução foi com melhoramento de solo com Geoenrijecimento.

suntos legais, com ação interdisciplinar. A palavra forense vem do latim “forensis”, significando “antes do fórum”. Sua história pertence à época romana, onde acusação significava apresentar o caso, perante um grupo de indivíduos públicos no fórum. Tanto o acusado, quanto o acusador, faziam seus discursos, e o caso decidido em favor do indivíduo com melhor argumento. Esta é a fonte das duas aplicações modernas da questão forense – como prova legal e apresentação pública. Modernamente, apenas o termo “forense”, e não “ciência forense”, é considerado correto já que é, efetivamente, sinônimo de legal



Figura 5 - Neste condomínio de prédios estaqueados, devido a presença de profundos depósitos de solos moles, dimensionou-se précarregamento e aterros estaqueados, sem sucesso, para as áreas circundantes aterradas.

ou relacionado à tribunal. No entanto, devido ao termo ser tão associado com o campo científico, muitos dicionários incluem significado equivalente à forense e ciência forense. Infelizmente, solo mole é motivo de questão forense. A regra é clara, para se trabalhar com geotecnia forense voltada para solos moles, torna-se necessário aplicar ciência e geotecnia de melhoramento de solos, recheadas com regras e prática jurídica, de modo a se obter eficiência e, com isso, delinear a realidade da solução para conflitos entre projetista ou construtora e cliente.

Especificamente, para se apresentar com clareza, a solução do problema de recalques em um empreendimento assentado sobre solos moles, torna-se necessário obter dados específicos, caracterizar o problema, desenvolver hipóteses para as deformações existentes, fazer uma retro-análise realista, além de análises in situ com monitoramento da condição existente. Tudo isto com muita qualidade técnica e representatividade. Este estudo analisa princípios básicos da geotecnia forense, específico para solos moles, e um exemplo típico são os processos de recalques



Figura 4 - Neste encontro de ponte, de uma duplicação rodoviária, projetista e construtora apostaram em levantar cerca de 4m de aterro sobre profundos depósitos de solo mole. Antes de chegar à crista de projeto, ocorreu rutura de toda a região do encontro de ponte, comprometendo os novos pilares/travessas da nova ponte. Como é possível solução tão irresponsável?



Figura 6 - Nesta loja de departamentos, onde havia presença de profundos depósitos de solos moles, o projetista dimensionou um aterro de 3m, mais o pavimento. As paredes periféricas e seus pilares apoiados em estacas. O pavimento sofreu deformações, na forma de ondas, com concavidade da ordem de 30cm...

em aterros de encontro de pontes, pós melhoramento do solo mole. Para casos como este, destaca-se o papel do engenheiro geotécnico, como especialista forense, preparando e apresentando evidências de maneira clara e objetiva, tornando irrefutável a questão existente.

A geotecnia forense do solo mole

A geotecnia forense de solos moles (GFSM) é rica de dados e princípios, contendo componentes com evidências legais,

indiscutíveis. A grande questão é quando um geotécnico, sem conhecimento de melhoramento de solos e do processo deformativo inerente às argilas moles, tenta impor premissas, por exemplo baseadas em soluções com transferência de carga, sem qualquer tipo de certificação, onde a argila continua mole e sedenta de deformações, sem perspectiva de fim. Desta maneira, infelizmente, criam-se conceitos difíceis de serem aceitos e, muito menos debatidos. De um modo geral, geotécnicos não tem domínio sobre assuntos pertinentes à

solos moles e, conseqüentemente, lidam mal com processos forenses específicos. Por outro lado, advogados são hábeis em apresentação de fatos e na resolução de conflitos.

Padrão de melhoramento do solo

A situação utópica, que todos buscam é a conformidade do “padrão de melhoramento do solo”, aplicando-se ciência e geotecnia, com regras e prática legal, objetivando-se apresentar argumentos efetivos,



Figura 7 - ... A solução foi idealizada com melhoramento de solos, utilizando-se Geoenrijecimento.

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



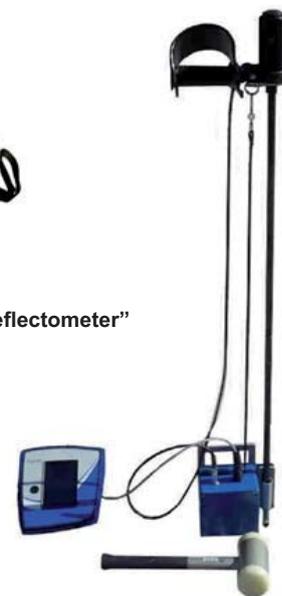
 1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada



 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

assimilados como verdade plena. ASFE, 1993, em seu trabalho “prática recomendada para profissionais de projeto, que atuam em disputas na indústria da construção”, afirma que o padrão de tratamento é um nível de capacidade e competência, demonstrado de maneira comum, obrigatoriamente contemporâneo, por profissionais de mesma disciplina, praticado na mesma região, confrontando-se com fatos e características similares. Felizmente, o que se vê são disputas antenadas com o padrão legal mundial, reconhecendo-se que a prática da geotecnia evolui com o tempo. Muito embora casos extremos ocorram, onde causa e efeito ficam óbvios, na maioria das vezes, a avaliação da conformidade, com o padrão do melhoramento do solo, é completamente nebulosa, ocorrendo choques de opiniões entre lados envolvidos. Ou seja, o padrão de melhoramento de solo pode ser unânime, mas sempre haverá debate.

A prova pericial

A avaliação geotécnica do solo mole, objetiva opinar sobre fatores que conduzem ao processo de recalques atribuindo, inclusive, responsabilidades. Na suprema corte dos EUA, o juiz garante que toda e qualquer prova é relevante e confiável. As regras do que é admissível baseiam-se em cinco critérios:

1º Quando uma teoria ou técnica de trabalho é utilizada no desenvolvimento de uma opinião, perguntar-se-á, sempre, se

- foi testada ou aplicada com sucesso.
 - 2º Esta teoria ou técnica de trabalho foi submetida a publicação de artigos?
 - 3º Esta teoria ou técnica de trabalho tem algum padrão de controle ou certificação e qual sua eficiência?
 - 4º Esta teoria ou técnica de trabalho foi aceita pela comunidade científica?
 - 5º A solução empregada estava adequada a condição do solo mole?
- Contudo, é plenamente aceito que há incertezas na ciência e na engenharia.

Investigação forense e o processo de litígio

Efetivamente, o processo começa quando o cliente chama o projetista ou construtor para informar que não está satisfeito com os recalques existentes no empreendimento. E as perguntas se sucedem, a situação foi prevista ou era do conhecimento? Foi negligência, erro de cálculo ou defeito executivo? O problema existe e de quem é a responsabilidade? Qualquer afirmação, que suponha-se seja verdade, precisará de evidências que a sustentem, ou seja, o ônus da prova recai sobre o proprietário, para demonstrar que o projetista ou construtora não fez, efetivamente, melhoramento de solo. Após concluída a investigação forense, pelos dois lados em litígio, inicia-se o processo de resolução financeira do conflito. A decisão do acordo ou do processo judicial é, geralmente, uma decisão entre profissionais ou mesmo comercial consi-

derando-se, também, os custos inerentes. Felizmente, grande parte dos processos judiciais geotécnicos, pertinentes a solos moles, são resolvidos fora do tribunal.

Estudos de caso

Para ilustrar esta matéria, apresentamos um exemplo de como a qualidade do testemunho, do especialista em melhoramento de solos, pode determinar o resultado de um litígio. Os fatos principais são apresentados na tabela abaixo. A lição aprendida, neste caso de estudo, é que para convencer um júri ou juiz torna-se necessário apresentar fatos importantes, que realmente representem a questão, de tal maneira que qualquer leigo possa entender. Não importa quão complexo possa ser para corrigir uma teoria, um leigo só será convencido se entender plenamente a relação causa-efeito, de preferência com uma analogia através de demonstração física simples.



REFERÊNCIAS

- 1 **Thomas Kim** é engenheiro civil e trabalha com melhoramento de solos moles..
- 2 ASFE (1993) Recommended practice for design professionals engaged as experts in the resolution of construction industry disputes. ASFE (association of engineering firms practicing in the geosciences). Silver Springs, MD, 8 pp
- 3 Best AI, Clayton CRI, Longva O, Szuman M (2003) The role of free gas in the activation of submarine slides in Finneidfjord. In: Locat J, Mienert J (eds) Submarine mass movements and their consequences. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 491–498
- 4 Bondevik S, Løvholt F, Harbitz C, Mangerud J, Dawson A, Svendsen JI (2005) The Storegga slide tsunami—comparing field observations with numerical simulations. Mar Pet Geol 22(195):208
- 5 Bungum H, Lindholm C, Faleide JI (2005) Postglacial seismicity offshore mid-Norway with emphasis on spatio-temporal-magnitudinal variations. Mar Pet Geol 22:137–148
- 6 Bryn P, Berg K, Solheim K, Kvalstad TJ, Forsberg CF (2005) Explaining the Storegga slide. Mar Pet Geol 22:11–19
- 7 Cassidy MJ, Uzielli M, Lacasse S (2008) Probability risk assessment of land slides: a case study at Finneidfjord. Can Geotech J 45:1250–1267
- 8 Day RW (2011) Forensic geotechnical and foundation engineering, 2nd edn. McGraw Hill, New York. 508 p

CASO

Processo de recalque em um aterro de encontro. O solo de fundação apresentava depósito de solos moles orgânicos até 12m de profundidade. Houve pré-carregamento, com aterro feito em etapas, até 4m de altura, que durou 6 meses, sem comprovação do término da dissipação da poropressão, apenas com controle visual do recalque. O pavimento foi concluído com urgência imediata de ressaltos junto à laje de transição da ponte.

Resultado/comentário

É reconhecido que pré-carregamento é ineficiente sobre depósitos de solo mole superiores a 5m de profundidade, já que o efeito compressivo

consolidativo não atua a partir daí. Significando que as demais camadas de solo mole ficarão com muito excesso de poropressão, projetando recalques para longos períodos a frente. Um eficiente controle das deformações, com projeção da curva de recalque evidenciou que o processo demoraria pelo menos mais 3 anos.

Investigação geotécnica de campo, analisando-se precisamente a condição do solo de fundação com demonstração, através de cravação no local de células de pressão especiais (célula espada), equipadas com piezômetro, e determinação das pressões totais, possibilitou demonstrar a con-

tribuição das pressões no solo e que as camadas inferiores do solo mole apresentavam-se com grandes excessos de poropressão, compatíveis ainda com o peso do aterro, demonstrando a ineficiência da solução empregada.

Decisão

O projetista foi declarado culpado.

Solução

Geoenrijecimento

Testemunho

Uma análise simples, bem apresentada e ilustrada, deixa evidente a inadequação e o desconhecimento da solução dada pelo projetista.