

Soft Soil Brazilian Review

14 O poder orgânico do solo
Conheça os solos orgânicos e turfas
Thomas Kim

22 Portos
Melhoramento de solos moles em áreas portuárias
Roger Rodrigues

32 Projetos
Como um projeto de encontro de ponte pode interferir na rigidez do solo
Alessandro Cirone



MELHORAMENTO DO SOLO MOLE

Conheça o conceito e particularidades das técnicas de melhoramento de solos moles.

Joaquim Rodrigues



**A MELHOR PERFORMANCE EM INFORMAÇÕES
SOBRE
MELHORAMENO DE SOLOS**

O SOFT SOIL GROUP ajuda você a tocar sucessos

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias profundas. Cada obra é um caso específico que exige solução específica. Assista nossos Webinars para adquirir informações adequadas e valiosas.



www.softsoilgroup.com.br

SOFTSOIL BRAZILIAN REVIEW • Setembro / Outubro 2018



Soft Soil Brazilian

Edição - Set / Out 2018 - Nº 01



SOLOS MOLES

Melhoramento do solo mole 04

Por Joaquim Rodrigues

O PODER ORGÂNICO DO SOLO

Conheça os solos orgânicos e turfas 14

Por Thomas Kim

PORTOS

Melhoramento de solos moles em áreas portuárias 22

Por Roger Rodrigues

FUNDAÇÕES

Como um projeto de encontro de ponte pode interferir na rigidez do solo. 32

Por Alessandro Cirone

EDITORIAL

O nosso momento

Existem determinados momentos na vida que irão lhe possibilitar um renascer em si mesmo e assumir o comando da própria vida, em vez de se contentar em ser um mero coadjuvante do sonho alheio ou de esperar a iniciativa da empresa onde trabalha, do governo ou de quem quer que seja. O momento da virada diz respeito às pessoas que decidem fazer da reinvenção um estilo de vida.

A primeira providência é jogar fora o que já não serve mais. Despojar-se das velhas receitas a fim de abrir espaço para o novo. Alguns diferenciais que podem ter dado certo no passado hoje já não garantem futuro sólido.

O futuro requer de nós um conjunto bem diferente de atributos: capacidade de criar e consolidar relacionamentos; liderança; capacidade de comunicação; velocidade e rapidez; saber ouvir. Esses são os sinais da criação de nossa própria chance na vida. Estabelecer parcerias, ter cúmplices, mentores e cultivar uma consistente rede de relações pessoais também podem fazer toda a diferença. Um sonho não se faz sozinho. O mais importante, sempre, é exercer sua capacidade como empreendedor. Mesmo que decida continuar na folha de pagamento de uma empresa, pare de pensar como um assalariado e aja como o dono de um negócio, a sua carreira. O empreendedor procura clientes em vez de empregos. Sabe que o sucesso está na atitude, na capacidade de criar.

É com este espírito que criamos o Soft Soil Brazilian Review, uma revista atual, sintonizada com o que acontece no Brasil, envolvendo solos moles, suas propriedades, as soluções necessárias e, evidentemente, o desenvolvimento do serviço e suas potencialidades. Nesta primeira edição, começamos abordando a desejável matéria "Melhoramento do solo mole", estabelecendo conceitos e particularidades das técnicas de melhoramento de solos moles. Esta matéria nasceu da real necessidade de informar que pouco se sabe neste contexto, ou seja, as duas opções de tratamento profundo de solos moles – a que efetivamente modifica as características do solo mole, estabelecendo parâmetros bem superiores de resistência e rigidez, fazendo com que suporte integralmente as futuras cargas e a que estabelece colunas para transferir a totalidade do carregamento, desprezando efetivamente o solo mole. A segunda matéria apresenta particularidades interessantes a respeito de solos orgânicos e turfosos que colaboram eficientemente para a condição mole do solo. A terceira matéria nasceu com o atual advento da expansão portuária, tanto fluvial quanto marítima, e a desafiadora necessidade do conhecimento do solo, invariavelmente, mole nestas regiões e o detalhamento de melhoria.

A quarta matéria nasceu de um caso de obra onde, após o melhoramento do solo, levantaram-se os aterros de encontro de viadutos. Um processo deformativo localizado estabeleceu-se apenas sob uma das paredes de contenção, embora todos os aterros apresentassem ausência de deformação no solo.

MELHORAMENTO DO SOLO MOLE

CONHEÇA O CONCEITO E PARTICULARIDADES DAS
TÉCNICAS DE MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES.



Figura 1 - Geoenrijecimento do solo de fundação, devido a presença de depósitos de solo mole com 20m de profundidade.

Melhoramento de solos moles é uma técnica popular, com objetivo de solucionar problemas geotécnicos, especialmente quando a construção necessita ser feita sobre depósitos de solos moles argilosos ou areias fofas, tornando difícil toda a condição da obra. Esta modalidade geotécnica torna-se atraente, exatamente pelos desafios que impõe, fazendo com que surjam, a cada dia, novas ideias, associando-se novos equipamentos e métodos, tornando-a mais eficiente e econômica. É o caso do método de geoenrijecimento com CPR Grouting, específica para solos moles argilosos, tendo eficácia próxima a 100%, condição inédita até então. O que se vê, com este singular exemplo, é a prática à frente da teoria. Empresas especializadas em melhoramento de solos pesquisam, desenvolvem, testam e, finalmente, patenteadam novas técnicas, adquirindo o direito de propriedade. O que é mais do que justo, em razão de suas despesas em prol da pesquisa e desenvolvimento. A maioria dos livros existentes, sobre melhoramento de solos, focam seus conceitos, aplicações e estudo de casos, não contemplando princípios e métodos de projetos específicos. Este livro procura abordar tanto os aspectos teóricos quanto práticos das duas principais metodologias de melhoramento profundo de solos moles, utilizadas em todo o Brasil e América do Sul: a do geoenrijecimento específico do solo, caracterizada pela real modificação do solo, e as com base em transferência de cargas, utilizando colunas.

Observa-se, não só no Brasil, mas em todo o mundo, a utilização de diferentes terminologias para o conceito de melhoramento do solo, empregando-se termos como estabilização, tratamento e modificação de solos.

Melhoramento do solo e sua evolução

Melhoramento de solo não é novidade. Desde os tempos antigos há relatos de atividades com esse objetivo. Alguns importantes relatos são:

- Há cerca de 3.500 anos, tribos no atual Iraque, utilizavam cabos de junco, com cerca de 100mm de diâmetro para, nada mais nada menos, dissipar a poropressão do solo quando construía estruturas geotécnicas altas (Mittal, 2012).
- Há cerca de 500 anos, chineses da dinastia Ming misturavam cal com solo argiloso de modo a formarem bases, à semelhança de uma laje radier, para suportar suas construções quando da existência de solos com pouca capacidade de carga (Chen et al 1975).
- No início dos anos 1900, na França, já que faziam serviços de Grouting, em solos, utilizando-se bombas rudimentares e calda de cimento.
- Em 1925, Daniel D.Moran apresentava as vantagens dos drenos verticais de areia para dissipar a poropressão em solos moles argilosos, patenteando nos EUA esta invenção em 1926.

- Em 1926, o departamento de estradas de rodagem da Carolina do Sul empregava um tipo de “geogrelha” com tecido de algodão para “reforçar” o subleito de estradas.
- Em 1937, na Alemanha, utilizava-se pela primeira vez a ideia de colunas de brita como forma de minorar os problemas das construções sobre solos arenosos fofos.
- O primeiro tipo de geodreno pré-fabricado foi desenvolvido por Walter Kjellman, na Suécia, em 1947.
- Na década de 1950, Fernando Lizzi, na Itália, desenvolveu e patenteou o método de estaca raiz para reforçar fundações existentes.
- Na década de 1960, Louis Menard, na França, desenvolveu e patenteou o conceito de melhoramento de solos arenosos, de forma superficial, com compactação dinâmica. Paralelamente, desenvolvia-se outros métodos de melhoramento de solos argilosos. Na Suécia e Japão, o Deep Soil Mixing. No Japão, desenvolveu-se o conceito de coluna injetada que, equivocadamente, denominou-se de Jet Grouting. Esta técnica, embora injete calda de cimento no solo, vai de encontro ao conceito de Grouting, já que, primeiro, destrói o solo com jato d’água (Berry 2000).
- Na década de 1980, J. P. Giroud apresentava os primeiros protótipos de geossintéticos (Giroud, 1986).
- Na metade da década de 1980, no Brasil, iniciava-se os primeiros testes de campo, do processo de geoenrijecimento de solos argilosos moles, caracterizado pela cravação prévia de geodrenos, seguindo-se da formação de verticais, estabelecendo-se bulbos com argamassa seca, via expansão de cavidade, com objetivo de comprimir radialmente o solo argiloso mole, promovendo sua consolidação. O grande atraso, em seu desenvolvimento, deveu-se à dificuldade de certificação, in situ, do processo de consolidação do solo geoenrijecido. Ensaio de resistência, tipo SPT, palheta e CPTU mostraram-se incapazes de evidenciar o que acontecia no interior do solo, já que analisava apenas o componente solo do compósito formado, ignorando o contexto global com a inclusão dos bulbos.

A utilização de ensaios de deformabilidade, em especial o pressiométrico, ou seja, a mesma expansão de cavidade, adequou-se perfeitamente, conseguindo “entender” o solo envolvido por bulbos de compressão radial, informando o nível de rigidez e, conseqüentemente, da resistência alcançada, com base no ambiente homogêneo e confinado final. Inúmeros testes foram realizados, todos com sucesso. No início dos anos 2000, a ENGEGRAUT patenteou a técnica de geoenrijecimento de solo com CPR Grouting.

Solos e condições problemáticas

Além da existência dos depósitos de solos moles ou fofos que, efetivamente, tornam obrigatório seu melhoramento há,



também, outras condições geotécnicas problemáticas como o alto nível freático do solo, leitos rochosos inclinados ou taludes submersos e taludes naturais. A atividade humana, cada vez mais, necessita de condições geotécnicas de solos particulares, o que torna ainda mais desafiador a elaboração de projetos na área de melhoramento de solos. A tabela abaixo procura listar os tipos de solos problemáticos e seus inerentes problemas, alvo típico para o melhoramento.

De um modo geral, observa-se que a condição geotécnica de um local é, apenas, parte de sua condição geológica, particularmente a existente próxima à superfície, que estará apta ou não à construção e à atividade humana. Neste cenário, convive-se rotineiramente com grandes recalques total e diferencial, instabilidade, erosão, percolação d'água e a não tão comum ruptura do solo. Base teórica e as razões para estes problemas apresentamos na tabela ao lado.

Solos problemáticos com suas inerentes condições		
Tipo de solo	Nome	Problemas inerentes
Natural	Argila mole	Baixa resistência, alta compressibilidade, recalques por deformação lenta e baixíssima permeabilidade
	Silte	Baixa resistência, alta compressibilidade e permeabilidade e alta erodibilidade
	Solo orgânico	Alta compressibilidade e alta deformação por deformação lenta
	Areia fofa	Baixa resistência, alta compressibilidade e permeabilidade e alta erodibilidade
	Solo expansivo	Grande alteração de volume
Aterro	Aterro simplesmente lançado	Baixa resistência, alta compressibilidade, heterogeneidade e alta possibilidade de colapso
	Material de dragagem	Alto conteúdo d'água, baixa resistência e alta compressibilidade
	Lixões	Alto conteúdo d'água, baixa ou nula resistência e alta compressibilidade
	Material reciclado	Heterogeneidade e alta variabilidade de propriedades
	Lixo sólido	Baixa resistência, alta compressibilidade, e heterogeneidade com alto grau de degradação

Problemas geotécnicos e suas causas		
Problema	Base técnica	Possíveis causas
Ruptura	A carga aplicada é superior a capacidade de carga do solo	<ul style="list-style-type: none"> Alto carregamento aplicado Carregamento inclinado Pequena área de aplicação da carga Solo de baixa capacidade suporte
Grandes recalques total e diferencial	Lei de Hooke e o rearranjo do solo	<ul style="list-style-type: none"> Alta carregamento aplicado Grande área de carga Solo altamente compressível Solo heterogêneo Alta deformação por fluência
Levantamento do solo	A pressão de inchamento é menor que a pressão aplicada	<ul style="list-style-type: none"> Água Solo expansivo
Instabilidade (deslizamento, tombamento, falha rotacional)	A força cisalhante é maior que a resistência ao cisalhamento; o momento aplicado é maior que o momento resistente.	<ul style="list-style-type: none"> Grandes maciços de terra Talude íngreme Presença de água sob pressão Solo mole Sobrecargas elevadas Cargas elevadas
Erosão	A tensão cisalhante induzida pela água é maior que a resistência ao cisalhamento máxima permitida pelo solo.	<ul style="list-style-type: none"> Corrimento d'água Presença de fluxos Solos fáceis de erodir
Percolação	Lei de Darcy	<ul style="list-style-type: none"> Diferentes níveis de pressão d'água Solos permeáveis

Análise preliminar. Escolha da técnica de melhoramento do solo mole

O propósito do melhoramento do solo mole é, essencialmente, alterar sua condição existente, adaptando-o às circunstâncias do projeto. Existem dois objetivos básicos, ao se escolher a técnica de melhoramento, no entanto, ambas objetivam melhorar o solo mole, tornando-o um solo composto ou compósito. São eles:

- Custo reduzido, objetivando-se oferecer estabilidade, reduzir a compressibilidade a níveis toleráveis de recalque, apresentando baixa eficiência e, conseqüentemente, continuidade dos recalques.



Figura 2 - Torna-se importante analisar a presença de turfas nas sondagens, pois exigem cuidados especiais durante o melhoramento do solo.

Inclinômetro para a condição horizontal e inclinada?

Este equipamento mede, precisamente, deslocamentos verticais (recalques ou levantamentos) ao longo de uma horizontal sob aterros. Opera com torpedo horizontal. Atua com bluetooth e smart phase.



Este outro inclinômetro é equipado com sensor de inclinação para taludes e até 45°, informando sua inclinação, assim como em paredes de contenção, barragens, etc. Opera com bluetooth e smart phase.



Para maiores informações, acesse: <http://www.softsoilgroup.com>

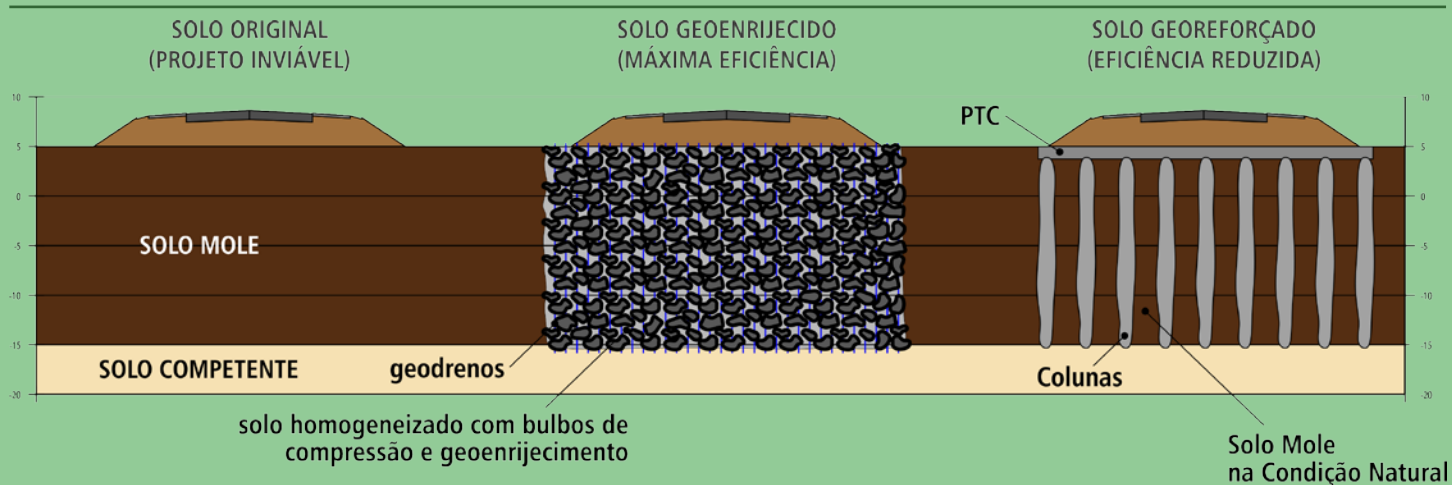


Figura 3 - Corte esquemático com as duas metodologias de melhoramento de solos moles.

- Custo maior, objetivando oferecer estabilidade, eliminar a compressibilidade (e o recalque), como consequência da eficiência próxima a 100%, não havendo recalque residual pós serviço.

Por outro lado, dever-se-á avaliar dois estágios necessários, ao se escolher o método de melhoramento para o solo mole:

- Definir o comportamento final do solo melhorado, de acordo com as necessidades do futuro projeto.
- Identificar a principal característica comportamental final do solo melhorado, fundamental ao projeto.

Estes dois estágios parecem simples e lógicos, no entanto, é o questionamento básico para se escolher o terreno para o futuro empreendimento. Um aspecto bastante rotineiro, normalmente consequência da escolha incorreta do sistema de melhoramento do solo, é a surpresa ao se constatar um estado de recalque existente em um empreendimento que, muito frequentemente, compromete a vida do empreendimento.

A escolha do método de melhoramento, basicamente, recai sobre duas metodologias de trabalho considerando-se sempre para efeito comparativo, sua condição natural sem qualquer intervenção. A primeira, efetivamente é modificar as características geotécnicas do solo mole pelo geoenrijecimento. A segunda, por georeforço, transferindo as cargas para camadas resistentes, necessariamente utilizando plataformas de transferência de cargas (PTCs), com material granular, apoiado em geogrelha. À seguir, na figura 4, as duas metodologias esquematizadas.

Fatores para a seleção da técnica de melhoramento do solo mole

A seleção do método de melhoramento do solo mole precisa considerar condições, no entanto, ambos tem como produto final o solo compósito. As condições básicas são:

- **Estrutural**

Inclui a dimensão da construção a ser levantada, sua forma, tipo, flexibilidade e ductibilidade dos elementos estruturais e fundação. Necessário, também, considerar a distribuição das cargas, tipo e sua magnitude. Finalmente, dever-se-á considerar a tolerância para a surgência de recalques tanto total quanto diferencial, além de movimentos laterais e o fator de segurança mínimo.

- **Geotécnica**

A principal questão geotécnica é o tipo de solo, sua profundidade, abrangência, composição e, naturalmente, o nível freático, importante para a seleção do método de melhoramento de solo. A opção pela substituição, quando da existência de solos moles com dois a três metros de profundidade, hoje, é inviável devido ao aspecto ambiental. A opção por pré-carregamento também só é adequada quando da presença de solos moles com pouca profundidade, já que as tensões verticais, provocadas pelo aterro de pré-carga, são bastante superficiais, o que induz recalques futuros. Um exemplo do uso equivocado desta técnica são as estradas, com a surgência de rupturas e de altos e baixos, agravando-se junto aos aterros de encontro de pontes. O melhoramento do solo, com base nos métodos que

transferem as cargas para camadas resistentes, apresenta aqui suas três principais limitações: a presença de solo argiloso sensível, a profundidade máxima de 10m e o limite mínimo exigido de resistência cisalhante para o solo de 10 a 15kPa. O melhoramento do solo com geoenrijecimento não apresenta limitações.

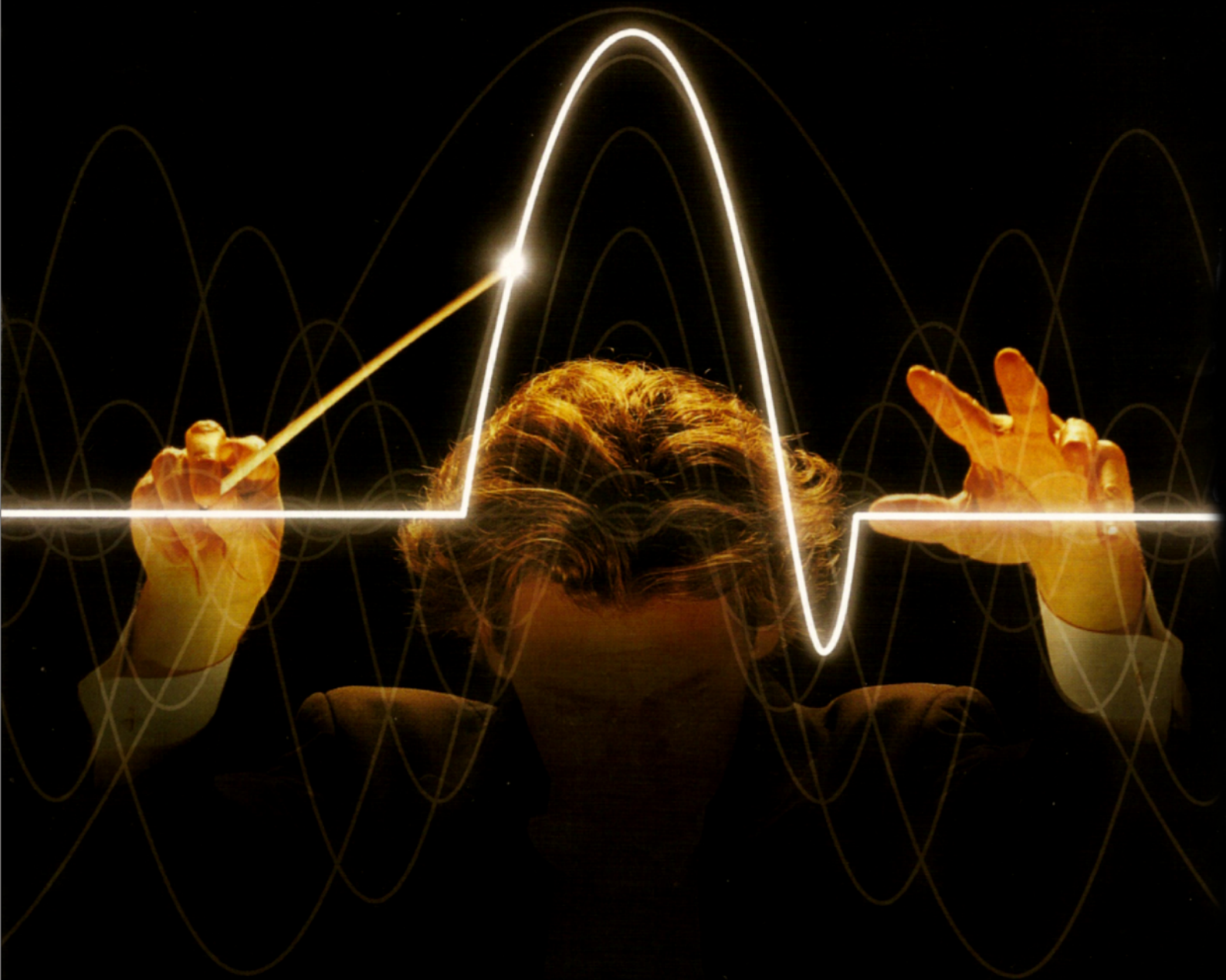
- **Construtiva**

Evidentemente, o tipo de empreendimento a ser construído, assim como o prazo de sua execução, a disponibilidade dos materiais necessários e acesso aos equipamentos ao local, juntamente com a limitação de custos, interfere sobremaneira na escolha da técnica de melhoramento do solo.

- **Eficiência (previsão de recalques)**

Quanto mais alta a eficiência, menor a surgência de recalques. A presença de solos moles argilosos, no contexto da obra, significa naturalmente recalques e instabilidade para o empreendimento. O geoenrijecimento e georeforço, são eficazes em eliminar a questão da instabilidade, ao se construir sobre solos argilosos moles. No entanto, apresentam níveis diferenciados de eficiência com relação à surgência de recalques, pós melhoramento. É esta a questão principal que o proprietário deverá se preocupar. Qual o nível de tolerância à recalques residuais, pós construção, permitido? As metodologias de geoenrijecimento e de georeforço, responsáveis pela maioria dos serviços de melhoramento de solos moles realizados no Brasil, apresentam eficiências bastante diferenciadas, muito embora com preços parecidos.

Soft Soil Group
Apresenta



Webinars solos moles

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

SOFTSOIL BRAZILIAN REVIEW • Setembro / Outubro 2011



Mais critérios para a escolha

Afigura, abaixo, apresenta representação gráfica da análise e definição da escolha do método de melhoramento de solo mole. Para qualquer tipo de empreendimento a ser construído, torna-se necessário analisar, criteriosamente, sondagens existentes, analisando-se as resistências ao cisalhamento existentes, presença de solo orgânico e/ou turfas e, finalmente, a profundidade dos depósitos de solo mole. Estas três condições são limitantes para o melhoramento do solo pelo método de georeforço com transferência de cargas por colunas.

Considerações para projeto e sua execução

O projeto de qualquer método de melhoramento de solo mole, 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. 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, seções, quantidade de material a ser empregado, suas propriedades e a sequência executiva. Com relação ao controle e garantia da

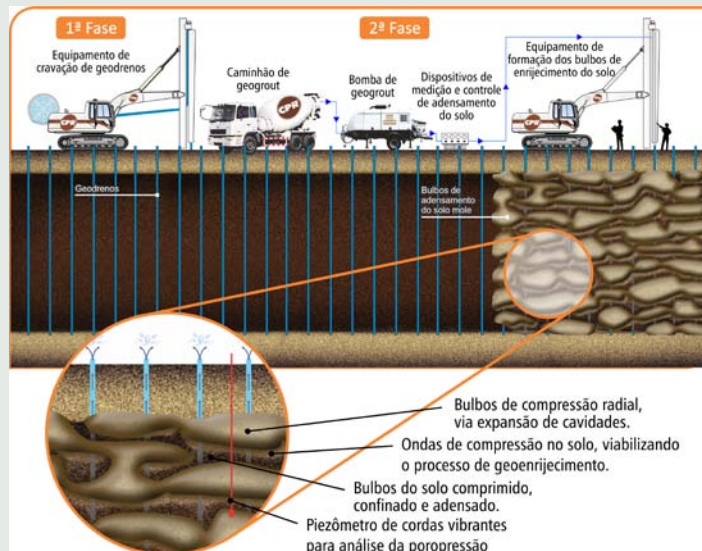


Figura 5 - Representação das fases de execução do processo de geoenrijecimento do solo mole.

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. Para tanto,

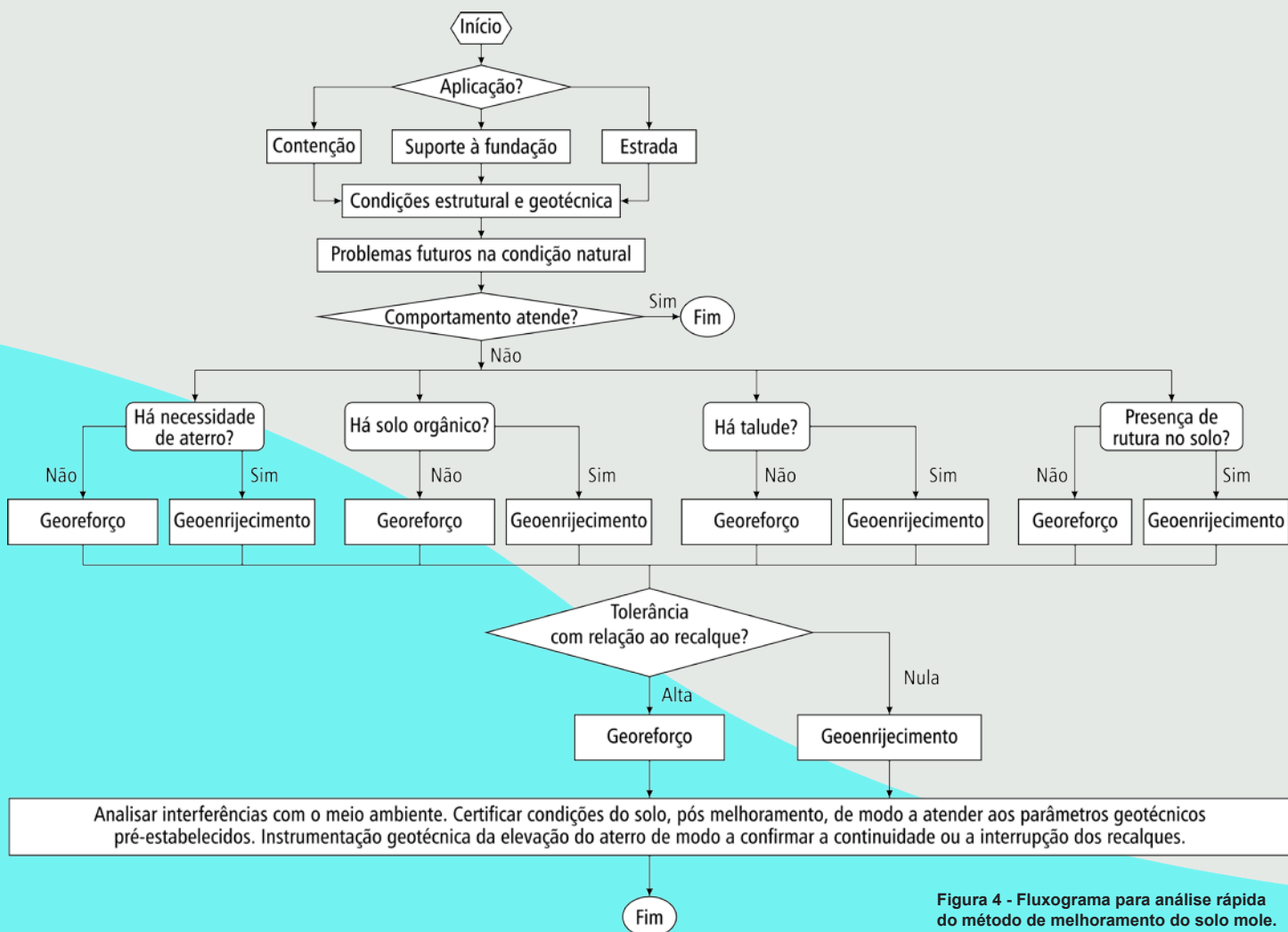


Figura 4 - Fluxograma para análise rápida do método de melhoramento do solo mole.

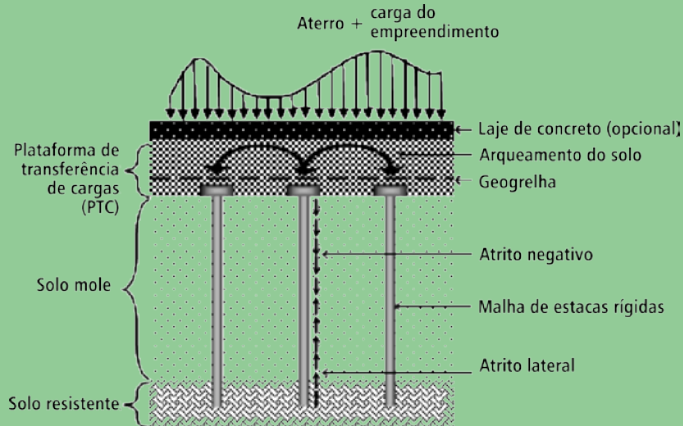


Figura 6 - Esquema do sistema de georeforço com estacas, onde se emprega plataforma de transferência de cargas (PTC).

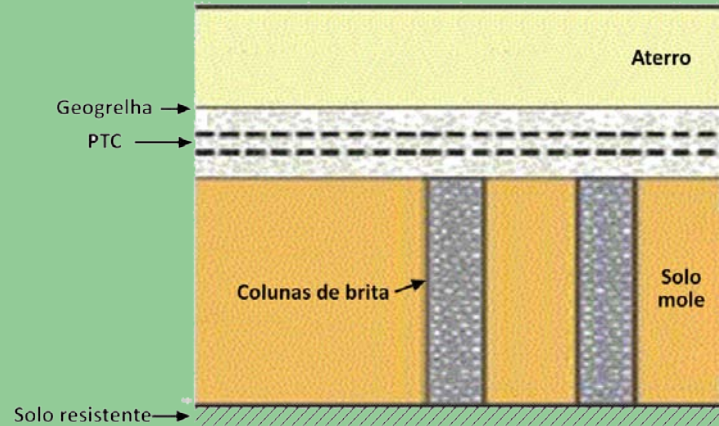


Figura 7 - Esquema do sistema de georeforço com colunas de brita com PTC (plataformas de transferência de cargas).

por se tratar de questão extremamente delicada, dever-se-á executar não sondagens de resistência, como o SPT, palheta ou CPTU, que não conseguem aferir o contexto do solo compósito final mas, sim, sondagens de deformabilidade, com pressiômetro ou teste de carga. 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 velo-

cidade de deformação deverão ser tais que atendam aos critérios previamente estabelecidos com o cliente.

Particularidades de projeto dos dois métodos

O geoenrijecimento do solo mole

O geoenrijecimento basicamente consiste das fases de cravação de geodrenos e da formação de verticais com bulbos de compressão radial do solo, aumentando drasticamente sua resistência e rigidez.



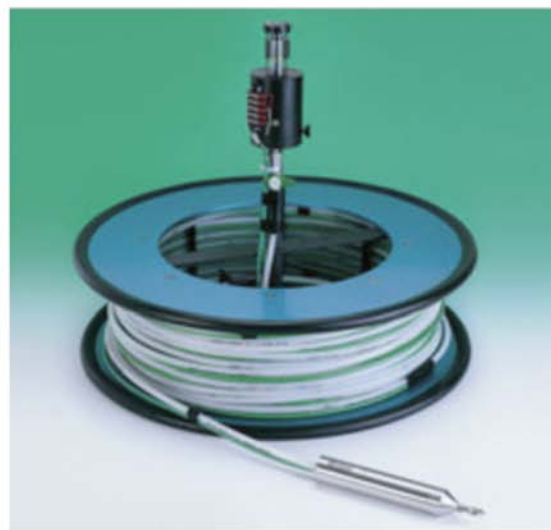
REFERÊNCIAS

- **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 Engegraut 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 CPR Grouting, utilizada hoje em todo o Brasil. Desenvolvimento de trabalhos de Grouting, com empresas parceiras nos EUA e Alemanha. Mais de um milhão de metros de verticais de geoenrijecimento executadas em solos moles com CPR Grouting, para a construção de aterros, estradas, portos, ferrovias e armazenagem.

Perfilômetro de Recalques

O **Perfilômetro de Recalques** permite medir recalque e estabelecer um perfil contínuo ao longo de um tubo instalado horizontalmente. Para tanto é instalado um tubo PEAD (Polietileno de Alta Densidade) no aterro por meio de escavação rasa no sentido transversal.

O princípio de funcionamento do sensor baseia-se na pressão de um líquido contido num reservatório sobre uma membrana, a qual está solidária a um fio de aço tensionado. A variação da tensão no fio é proporcional à variação da frequência de vibração do fio. A calibração efetuada em laboratório fornece a relação entre a altura de coluna d'água e a frequência de vibração. As leituras estão isentas de variações barométricas, uma vez que o sensor é ventilado.



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



10 DICAS PARA UM PROGRAMA DE MONITORAMENTO GEOTÉCNICO EM OBRAS DE SOLOS MOLES

John Dumnidiff
Consultor de Monitoramento Geotécnico

1ª Dica – Analise a condição do projeto

A pessoa responsável pelo programa de monitoramento deve estar familiarizada com o projeto, a estratigrafia e as propriedades do solo subsuperficial, a condição do nível freático, a proximidade e a condição de outras estruturas, a condição ambiental e o método de melhoramento do solo.

2ª Dica – Concentre-se nas questões que precisam ser resolvidas.

Cada instrumento, a ser colocado na obra, deverá atender a uma questão específica.

3ª Dica – Identifique, analise e instrumente os riscos existentes.

A questão do risco geotécnico da obra deve ser identificada e padronizada. Subdivida os riscos de cada área, deixando claro suas responsabilidades, que deverão estar no contrato. É importante determinar a probabilidade de ocorrência de cada risco, estimando-se suas consequências. Evidentemente, a probabilidade da ocorrência de cada risco pode ser reduzida por ações específicas, reduzindo-se suas consequências.

4ª Dica – Seleccione os parâmetros a serem monitorados

- Poropressão
- Deslocamentos
- Tensões totais
- Carga e deformação nas peças estruturais
- Vibrações
- Temperatura

Obs.: A inevitável questão: qual parâmetro é mais relevante? Deverá ser respondida.

5ª Dica – Procurar conhecer a variação destes parâmetros

É interessante conhecer os limites máximos e mínimos atuantes, ficando claro a possível faixa em que dever-se-á atuar para a redução do risco. O conceito de verde, laranja e vermelho deverá ser imposto:

Verde – tudo está bem.

Laranja – possível necessidade de intervenção, havendo a necessidade do aumento da frequência de monitoramento.

Vermelho – necessidade de intervenção imediata.



6ª Dica – A hora da intervenção

A observação geotécnica deverá ser capaz de identificar, qualificar e quantificar a necessária intervenção, se possível com as possibilidades de afetamento de áreas ou estruturas anexas.

7ª Dica – O acompanhamento durante a elevação da obra

Não se iluda. Os dados mais precisos são obtidos em pessoas responsáveis e engajadas, sem comprometimento com a produção da obra. O fato é que o monitoramento geotécnico pode paralisar ou atrasar a produção da obra, feito por subempregados que nada tem a ver com o controle.

8ª Dica – Seleccione os instrumentos e a equipe responsável

Lembre-se que a equipe de monitoramento é tão importante quanto à precisão dos instrumentos a

serem adquiridos. Calibração é um item extremamente importante.

9ª Estabelecer a localização dos instrumentos

São 2 as etapas a serem respeitadas

- Identificar as zonas de risco.
- Estas zonas deverão ter seções transversais, que definirão o comportamento global. Não esquecer que, dependendo do risco, ou das condições do local, poder-se-á instalar mais de um instrumento por zona.

10ª Dica – Identificar possíveis interferências nos dados coletados

É preciso ter uma visão global da obra, já que informações muito localizadas podem não ser significativas para tomada de decisão ou de conclusão.

SOFT SOIL GROUP

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.softsoilgroup.com.br>

E-mail: contato@softsoilgroup.com.br

SOFT SOIL BRAZILIAN REVIEW

Diretor Editorial

ENGº JOAQUIM RODRIGUES

joaquim@softsoilgroup.com.br

Diretor Adjunto

ENGº ALESSANDRO CIRONE

alessandro@softsoilgroup.com.br

Publicidade

PATRÍCIA TINOCO

patricia@softsoilgroup.com.br

Assinatura, Livros e Vídeos

CLEIDE FERREIRA

cleide@softsoilgroup.com.br

Editor de Arte

CRISTIANDER | ALEX CRISPIM

Reprints Editoriais

MARIANA TATI

mariana@softsoilgroup.com.br

Solicite reimpressões de reportagens

ou artigos publicados

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



02 a 06 de Setembro, 2018
**16º Congresso Brasileiro de
Geologia de Engenharia
São Paulo, SP**

[http://www.abge.org.br/50anos/
congresso](http://www.abge.org.br/50anos/congresso)

13 de Setembro, 2018
**I Seminário de Práticas
Contratuais de Túneis
Brasília, DF**

[https://appticket.com.br/i-
seminario-de-praticas-contratuais-
em-tuneis-2018](https://appticket.com.br/i-seminario-de-praticas-contratuais-em-tuneis-2018)

10 a 14 de Setembro, 2018
**Geohazard Risk Reduction in
Unplanned Urban Areas
Caldas Novas, GO**

o.hamza@derby.ac.uk
ancarsil@ufg.br

17 e 21 de Setembro, 2018
**3ª Conferência DAM World
Foz do Iguaçu, PR**

[http://ibracon.org.br/
damworld2018/](http://ibracon.org.br/damworld2018/)

17 a 19 de Outubro, 2018
**XXIV Congreso Argentino de
Mecánica de Suelos e Ingeniería
Geotécnica – CAMSIG 2018
Salta, Argentina**

<http://camsig2018.org/>

20 de Novembro, 2018
**Frederico Falconi fala sobre
Norma de Fundações
Vila Água Funda, SP**

www.mtexpo.com.br

26 a 29 de Novembro, 2018
**M&T Expo - Part of Bauma
Network**

Vila Água Funda, SP
www.mtexpo.com.br

29 e 30 de março de 2019
**Conferência em Tecnologia de
Fundações 2019**

Vitória, Espírito Santo

abms.es@gmail.com

17 a 20 de novembro de 2019

**XVI Congresso Pan-Americano de
Mecânica dos Solos e Engenharia
Geotécnica**

Cancún - México

panamerican2019mexico.com

14 a 16 de agosto de 2019

**IX Congresso Brasileiro de
Geotecnia Ambiental e VIII
Congresso Brasileiro de
Geossintéticos**

São Carlos, SP

regeossinteticos2019.com.br/

29 de Setembro e 2 de Outubro de
2019

**3rd International Conference on
Information Technologies in Geo-
Engineering**

Guimarães - Portugal

3rd-icitg2019.civil.uminho.pt

14-18 de outubro de 2019

**XVI Asian Regional Conference on
Soil Mechanics and Geotechnical
Engineering**

Chinese Taipei, Taipei

www.16arc.org

CONHEÇA OS SOLOS ORGÂNICOS E TURFAS



Figura 1 - Colocação de aterro de conquista sobre solos altamente orgânicos para melhoramento com geoenrijecimento na baixada de Jacarepaguá, RJ.

Solos orgânicos e turfas, geralmente, impõe características de mole a ultramole, formando depósitos superficiais subconsolidados em áreas onde a água cobre o terreno ou a região, podendo ficar presente próximo à superfície na maior parte do tempo. Na medida em que deseja-se construir, particularmente, rodovias, dever-se-á analisar sua abrangência e particularidades, em um programa detalhado de reconhecimento de campo, de modo a não ocasionar recalques diferenciais, quando da utilização de uma mesma modalidade de melhoramento de solo. Sondagens triviais como SPT, CPTU e palheta não conseguem detalhar camadas de solos orgânicos e turfosos, principalmente, turfas fibrosas, já que possuem grande variedade comportamental, função de sua natureza errática. Na realidade, há diferentes opiniões com relação aos métodos de investigação, ficando evidente que qualquer discussão sobre obras de aterros sobre depósitos de turfas inclui, necessariamente, definição do solo de fundação, diferenciando-se a presença de turfas, solos orgânicos turfosos, solos orgânicos e solos com teor orgânico.

Suas propriedades geotécnicas variam enormemente, podendo ser o diferencial para a ocorrência de rupturas no solo. No final das contas, o custo desta exploração, detalhada, costuma ser positivo, o que exige experiência do projetista. Frequentemente, são realizados serviços de geoenrijecimento de solo, com CPR Grouting, em trechos localizados de rodovias e particularmente em encontros de pontes, motivado por bolsões localizados de solos orgânicos e turfas, promovendo um poderoso processo de compressão, seguido de consolidação e total confinamento. Tecnicamente, qualquer solo que contenha carbono é chamado de “orgânico”. Solos orgânicos, portanto, contém quantidade significativa de material orgânico, cuja fração coloidal ativa é o húmus. Identificar este “solo” é extremamente importante para o contexto de uma obra, pois caracteriza-se por ser pouco resistente e bem mais compressível do que os solos inorgânicos (minerais), razão pela qual, tradicionalmente, evita-se estes terrenos. Na realidade, com o advento do geoenrijecimento de solos argilosos moles e orgânicos, como o CPR Grouting, não há mais qualquer dificuldade executiva com estes solos, conforme explicado nos capítulos seguintes deste livro.

O termo turfa refere-se a solos altamente orgânicos provenientes, primariamente, de vegetação, caracterizando-se por formar depósitos não consolidados, tendo alto teor de colóides (húmus) não cristalinos. Sua cor é variável, podendo variar do marrom escuro até o preto, tendo consistência esponjosa e forte odor orgânico. Sua composição fibrosa, ou o que restou das plantas, às vezes, é perfeitamente visível à olho nú, no entanto, em estágios avançados de decomposição não ficam evidências. Em regiões próximas ao mar, depósitos de turfas e solos orgânicos, costumam ser superficiais, aprofundando-se na medida em que interioriza. A presença da água é fundamental para a decomposição e sua preservação. Neste contexto, torna-se importante o equilíbrio entre chuvas e a evapotranspiração,

assim como a topografia local, pois regula as características hidrogeológicas dos depósitos destes materiais. De um modo geral, solos orgânicos e turfas apresentam características que os distinguem da maioria dos solos minerais, exigindo todo um cuidado em sua análise, tendo em vista a construção a ser realizada. Alguns dos cuidados a serem tomados são:

1. Seu alto teor de umidade presente (acima de 1.500%).
2. A alta compressibilidade, incluindo-se significativa compressão secundária e terciária.
3. Baixa resistência cisalhante.
4. Variabilidade espacial alta.
5. Propensão à decomposição favorecida pelo ambiente.
6. Alta permeabilidade comparada à argila.



Figura 2 - É comum proceder-se o melhoramento do solo orgânico mole a partir da superfície. Para tal, necessita-se do aterro de conquista, para acesso dos equipamentos

A questão é que, em termos geotécnicos, solo orgânico e turfa representam formas extremas de solos moles. Para complicar, estes materiais também sofrem alterações químicas e biológicas com o tempo. Por exemplo, um processo posterior de humificação em seu conteúdo orgânico, certamente, alterará suas propriedades mecânicas, como sua compressibilidade, resistência ao cisalhamento e condutividade hidráulica. A redução da água do solo causa contração e oxidação em depósitos de turfa, viabilizando mais humificação e, conseqüentemente, aumento da permeabilidade e compressibilidade. Nota-se, portanto, que é extremamente importante entender profundamente todas as características pertinentes aos solos orgânicos e depósitos de turfa, como o afloramento da água no solo, estratégias topográficas de rebaixamento e, evidentemente, suas propriedades fundamentais que, como veremos, não correspondem ao meio mineral. Faz sentido, portanto, não adotar parâmetros geotécnicos, semelhantes as do solo mineral, quando da presença de solos orgânicos, e, depósitos de turfas.

Nosso trabalho com geoenrijecimento do solo, quase sempre em presença de solos argilosos fortemente orgânicos e depósitos de turfas, tem nos dado experiência para entender seu comportamento considerando-se, sempre, a necessidade do conhecimento de seus parâmetros essenciais.



Figura 3 - Solo argiloso orgânico mole, com cerca de 25m de profundidade, apresentando camadas turfosas à superfície na Lagoa de Jacarepaguá, RJ.

Faixas de conteúdo orgânico (ASTM D4427)

Tipo de solo básico	Descrição	Conteúdo orgânico (%)
Argila, silte ou areia	Ligeiramente orgânica	2 – 20
Solo orgânico	–	25 – 75
Turfa	–	> 75

Conhecendo solos orgânicos e turfosos

Diferentemente dos solos minerais argilosos ou siltosos, solos orgânicos e turfas são caracterizados pelo seu teor de fibras e grau de humificação ou decomposição.

Todos os solos com teor orgânico superior a 20% são denominados solos orgânicos. Já turfas são “solos orgânicos” com teor de orgânico maior do que 75%. Estas duas definições baseiam-se em suas propriedades mecânicas, sendo aceito que quando um solo possui teor orgânico superior a 20%, o critério mecânico do solo mineral convencional (silte e argila) não pode mais ser aplicado, de forma genérica. A tabela abaixo mostra a classificação da ASTM (Standard Classification of Peat Samples by Laboratory Testing) (D4427) de amostras de turfas. Argilas ou siltes levemente orgânicos, provavelmente, aparecerão como solos muito finos

inorgânicos, com cor marrom escuro variando à preto, tendo odor orgânico e sinais de matéria orgânica.

Seu limite de plasticidades deverá ser avaliado de acordo com os demais solos finos inorgânicos e classificado como siltes ou argilas de baixa, média ou alta plasticidade. As turfas, por outro lado, poderão aparecer como material completamente orgânico, contendo matéria orgânica suficiente, tendo baixa densidade e cor marrom escura variando à preto. Solos orgânicos, por outro lado, são mais difíceis de se subdividirem, já que no sistema unificado de classificação do solo (UCS), são reconhecidos como entidade separada de solos, tendo maior divisão, denominada solos altamente orgânicos (Pt), do inglês peat, referindo-se à turfa ou “solos” altamente orgânicos.

O teor de fibras é determinado, tipicamente, a partir do peso seco das fibras retidas na peneira 100, como uma porcentagem da mas-



Figura 4 - Torna-se importante analisar a presença de turfas nas sondagens, pois exigem cuidados especiais durante o melhoramento do solo.

sa seca na estufa (padrão ASTM-1997). As fibras podem ser finas ou grossas e seu teor expressa nada mais nada menos que a textura do solo orgânico/turfoso. De forma característica, uma fibra é definida como tendo um diâmetro superior a 0,15mm. Segundo Molenkamp, 1994, o perfeito conhecimento do material constituinte e sua orientação permite modelar o tipo de solo e, conseqüentemente, compreender seu comportamento mecânico.

O processo de decomposição ou humificação envolve a perda da matéria orgânica, na forma de gás ou diluída em água, desaparecendo sua estrutura física e seu estado químico. A imersão no lençol freático reduz, drasticamente, o fornecimento do oxigênio que, por sua vez, reduz a atividade microbiana aeróbica, encorajando o apodrecimento da matéria de forma rápida. Turfas classificam-se como amorfas e fibrosas.



Figura 5 - É muito comum proceder-se com o melhoramento do solo orgânico mole com geoenrijecimento, objetivando-se a escavação para subsolos de prédios, assim como dar capacidade suporte para a laje de subpressão.

Com base nas fotos microscópicas das turfas amorfas, Landva e Pheeny, 1980, informam que uma vez submetidas a pressões de consolidação, não há diferenças entre a textura natural e o comprimido com pressões de até 7kg/cm². Observa-se, nas fotos a seguir apresentadas, que não há muitos espaços vazios entre as figuras A e B, o que deduz-se que turfas amorfas tem condutividade hidráulica inferior às turfas fibrosas.

Por outro lado, fotos microscópicas de turfa fibrosa mostram, segundo Fox e Edil, 1996, que este material tem coloração marrom escura, aparência de muito mole, esponjoso, contendo grande quantidade de fibras, outros materiais orgânicos além de água. Uma amostra de turfa fibrosa foi comprimida, em uma direção, até 4kg/cm². A seguir, foram feitas microfotografias no plano vertical e horizontal, observando-se que as fibras individuais tendem a se orientar horizontalmente, na medida em que a pressão de consolidação é aplicada às amostras.

Esta situação nos mostra que, sob pressão de consolidação, os espaços vazios na direção horizontal tornam-se maiores do que os existentes na direção vertical, como resultado da orientação das fibras, fazendo-se obter pronuncia-

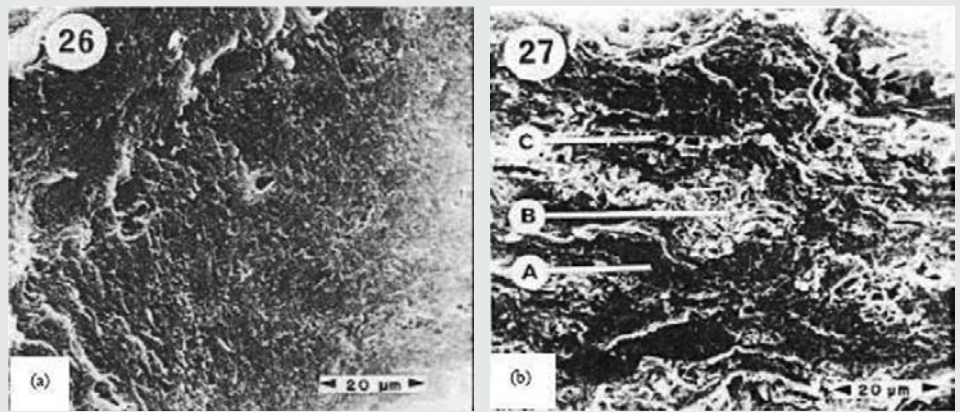


Figura 6 - Microfotografias de turfa amorfa (a) Material granulado amorfo no seu estado natural e (b) Material granulado amorfo comprimido sob pressão de 7000kPa (Landva e Pheeny, 1980).

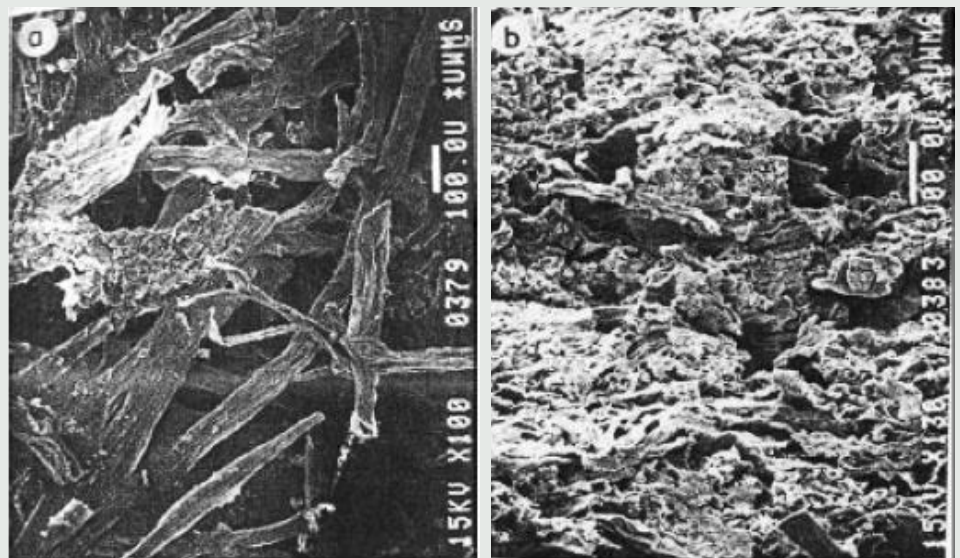
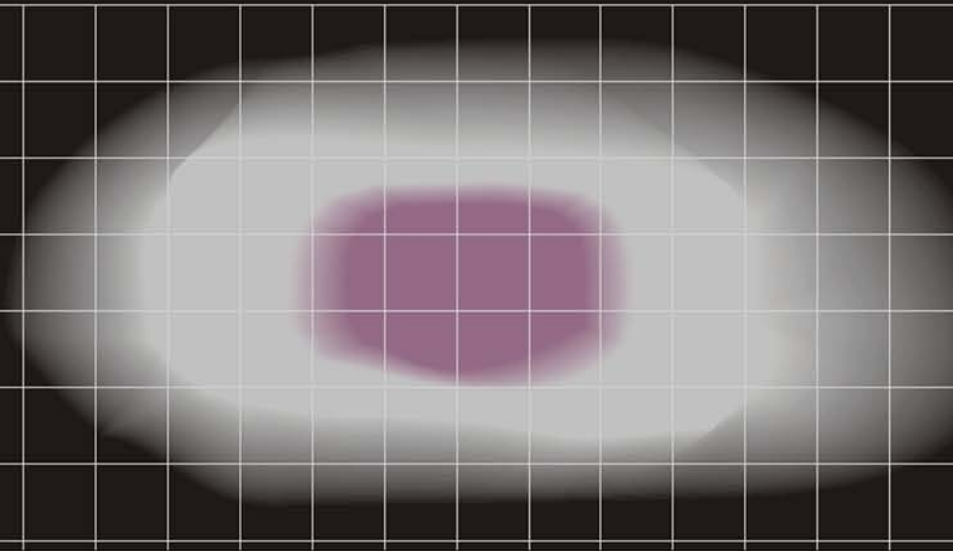


Figura 7 - Microfotografias de turfa fibrosa (a) plano horizontal (b) e plano vertical (Fox e Edil, 1996).

Crie sua própria Planilha de Dimensionamento de Geoenrijecimento para Solos Moles

Para maiores informações, acesse: <http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento>

contaminação de solo?

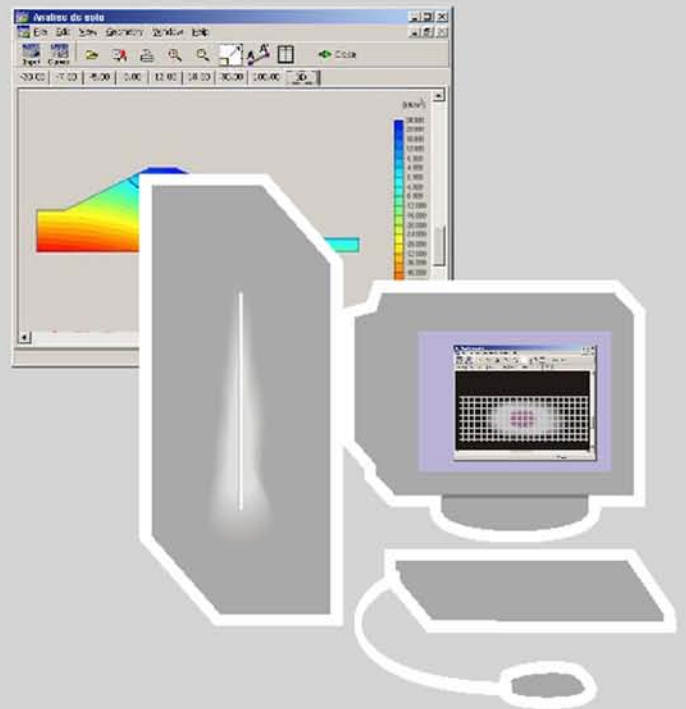


O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



www.engegraut.com.br



da anisotropia estrutural com sugestão de que a condutividade horizontal do “solo” é maior do que sua condutividade hidráulica vertical. Com base nestas conclusões, Kogure, 1993 e Dhowian, 1980 montaram um diagrama esquemático da composição da turfa conforme Figura 8.

Hobbs, 1986, e Edil, 1997, sugerem caracterizar solos orgânicos e turfas da seguinte maneira:

- Cor.
- Grau de humificação (se fibrilar, hêmico ou sáprico).
- Teor de umidade, determinado pela secagem em estufa a 105°C.
- Principais comportamentos na forma de fibras grossas, finas ou amorfa.
- Teor orgânico como porcentagem do peso seco, determinado a partir da perda ao forno nas temperaturas de 450 a 550°, como porcentagem da

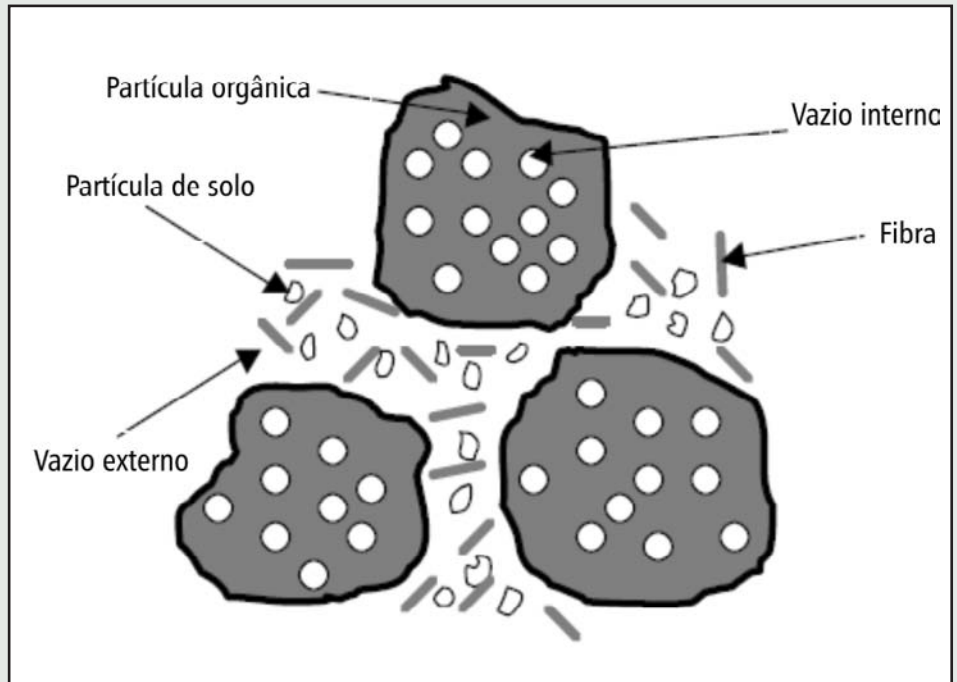


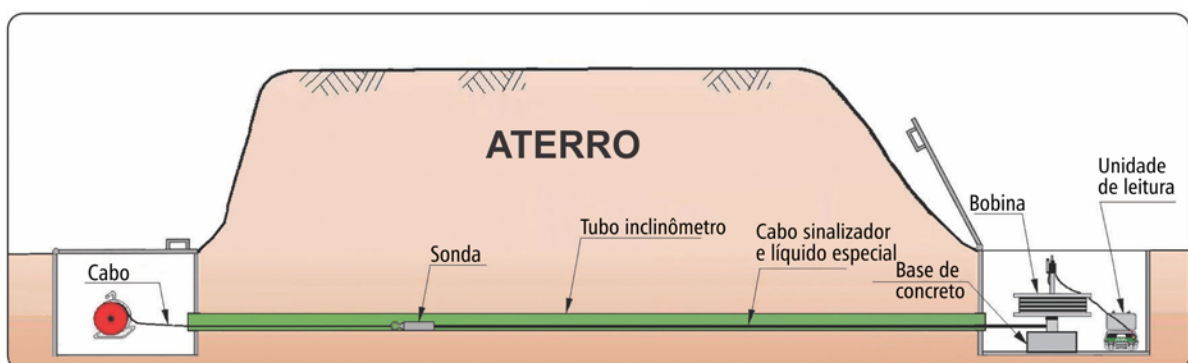
Figura 8 - Diagrama esquemático que ilustra a composição da turfa.

Medidor Portátil do Perfil de Recalques

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 inclinométrico 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.



Instalação do medidor do perfil de recalques

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

Soft Soil
Group



Figura 9 - Presença de solo turfoso em terreno onde, mais tarde, seria construído um grande empreendimento residencial. Foi feito a remoção da vegetação e a colocação de aterro de conquista para iniciar-se o geoenrijecimento do solo, objetivando-se a escavação a -3m e capacidade suporte para toda a infraestrutura de aterro circundante.

massa seca em estufa a 105°C.

- Limites de liquidez e plasticidade.
- Teor de fibra, determinado a partir de seu peso seco de fibras retido na peneira 100, como porcentagem de massa seca na estufa.

Antes de se iniciar um projeto, torna-se extremamente importante avaliar a região em questão, determina-se o panorama da distribuição dos solos, particularmente os orgânicos e se há depósitos de turfas.

A investigação no Google Earth, inclusive os anos anteriores, de modo a identificar regiões planas, depressões e cursos d'água. Segue-se à caracterização do solo, com sondagens SPT (Standard Penetration Test). A identificação da presença de solos orgânicos e depósitos de turfa, impõe a retirada estratégica de amostras, sem a preocupação do amolgamento já que, invariavelmente, a condição do solo é mole ou

muito mole. Se houver a necessidade de se obter informações a respeito da resistência e deformabilidade do solo, haverá necessidade de se obter amostras indeformadas ou não amolgadas. O subcomitê da Sociedade Internacional de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica, ISSMFE, apresenta manual para amostragem de solos coesivos moles, na condição não amolgado, mantendo a condição original de sua textura, tipo, proporção de seus constituintes, propriedades físicas e mecânicas originais no campo.



REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro civil e trabalha com melhoramento de solos moles.
- CASAGRANDE, A. and Fadum, R. E. (1940). Notes on Soil Testing for Engineering Purposes. Publication 268, Graduate School of Engineering, Harvard University, Cambridge, MA.
- COUTINHO, R. Q. Aterro experimental instrumentado levado à ruptura sobre solos orgânicos de Juturnaíba. 1986. 632 f. Tese (Doutorado) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1986.

- DHOWIAN, AW & EDIL, Tuncer. (1980). Consolidation Behavior of Peats. Geotechnical Testing Journal - GEOTECH TESTING J. 3. 10.1520/GTJ10881J.
- EDIL, Tuncer & DHOWIAN, A.W.. (1981). At-rest lateral pressure of peat soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE. 107. 201-217.
- EDIL TB (2003). Recent advances in geotechnical characterization and construction over peats and organic soils. Proceedings of the 2nd International Conferences in Soft Soil Engineering and Technology, Putrajaya (Malaysia), pp. 3-26.
- FOX, P.J. and EDIL, T.B. (1996). Effects of stress and temperature on secondary compression of peat. Can. Geotech. J. 33: 405-415.
- KOGURE, K., H. Yamaguchi and T. Shogaki, 1993. Physical and pore properties of fibrous peat deposit. Proceedings of the 11th Southeast Asian Geotechnical Conference, Singapore.
- LANDVA, A. O. And La Rochelle, P. (1983) Compressibility and shear characteristics of Radforth Peats. In P. M. Jarett (ed.), Testing of peats and organic soils, ASTM STP 820, pp. 157-191.
- LANDVA AO and PHEENEY PE (1980) Peat fabric and Structure. Canadian Geotechnical Journal, 17, p. 416-435.

Medidor de Recalques com Alta Sensibilidade

O medidor de recalques com alta sensibilidade consiste em uma série de vasos contendo sensores de nível de fluido interligados por um tubo cheio de líquido. Um vaso de referência é posicionado em um local de referência estável associado a sensores adicionais posicionados em locais diferentes, aproximadamente na mesma elevação. O recalque diferencial, ou levantamento, entre qualquer um dos sensores, resulta na variação de nível do líquido dentro dos tubos. O sistema é particularmente apropriado para situações críticas onde altas resoluções são necessárias. É possível detectar oscilações de elevação de até 0,02mm, aproximadamente.



Para maiores informações, acesse: <http://www.softsoilgroup.com>

MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES EM ÁREAS PORTUÁRIAS

Em todo o mundo, é cada vez maior a necessidade de se criar e ampliar áreas portuárias, sejam marítimas ou fluviais, invariavelmente sobre profundas camadas de solo argiloso mole. Projetos portuários, geralmente situados ao longo de áreas costeiras, desafiam engenheiros geotécnicos com a combinação de solos moles, cargas pesadas, exposição a riscos naturais e construção em ambiente marítimo ou fluvial. Outros fatores ambientais como ondas, correntes e ventos atuam, insistentemente, em toda e qualquer estrutura geotécnica construída, erodindo-a ou corroendo-a.

De um modo geral, projetos portuários são formados por um cais de atracação, à frente de uma retroárea, cuja função é estocar contêineres. As figuras abaixo, apresentam dois esquemas básicos construtivos para obras portuárias.

Infraestrutura portuária do tipo sólida

Um cais pode ser idealizado do tipo sólido, com contenção frontal, geralmente com estacas prancha, seguido do geoenrijecimento do solo com CPR Grouting, podendo ou não ter dispositivos complementares de tração (figuras B e C). Muito frequentemente recebem, também, plataforma de concreto, de modo a reduzirem os empuxos atuantes nas estacas de contenção. No caso da figura B, quando o cais trabalha com cargas muito elevadas, o sistema suporte pode, ainda, levar tirantes ancorados por sistema de estacas em cavalete, funcionando por compressão e por tração. Na figura C, apenas por tração. Os modelos B e C apresentados podem, também, servirem de modelos de cais para limitar a retroárea, tendo um cais do tipo aberto, com estacas, na frente.



Figura 1 - Obras de CPR Grouting, ao longo do Rio Negro, para ampliação da área portuária de Manaus, com infraestrutura tipo sólida.



Figura 2 - Após a fase de recuperação do solo de fundação da área portuária de Manaus, colapsada pelo desastre de 2010, teve início obras de ampliação do porto, possível graças ao geoenrijecimento com CPR Grouting, com profundidades de até 30m.



Infraestruturas portuárias do tipo aberta

Modernamente, terminais portuários recebem embarcações de grande calado, tornando necessário construir estrutura de contenção com grande profundidade, de forma a ter comprimento de ficha adequado. Para tanto, o reforço do solo com CPR Grouting deverá atingir todas as camadas de solo que não apresentem condições estáveis. Muito comumente, amplia-se a estrutura do cais, utilizando-se ou não plataforma de alívio (figuras D, E e F).

As figuras, a seguir apresentadas, dão uma boa referência do segundo esquema básico construtivo de obras portuárias, do tipo infraestrutura aberta:

A utilização do geoenrijecimento para solos portuários é fundamental para a obtenção de análises de estabilidade e de recalques, eliminando-se qualquer possibilidade de ruptura. Terminais portuários trabalham com sobrecarga atuante, na superfície, da ordem de 50 a 100kPa,

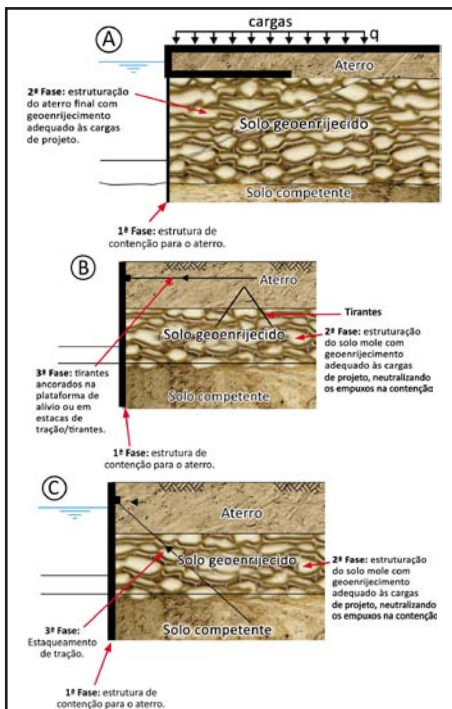


Figura 3 - Esquemas básicos (A, B e C) construtivos de obra portuária, do tipo com infraestrutura sólida.

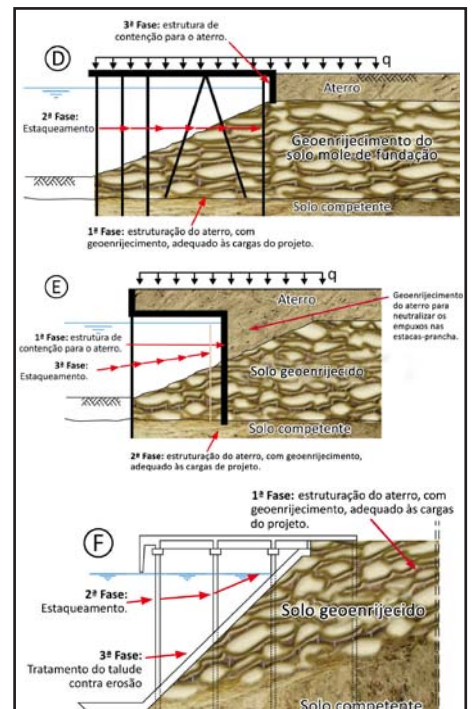


Figura 4 - Esquemas básicos construtivos de obras portuárias a base de infraestrutura aberta.



Figura 5 - Este porto apresenta perfil de infraestrutura portuária do tipo sólida.

decorrente de grandes equipamentos e do armazenamento de pilhas de contêineres. O nível de resistência e rigidez alcançado, com o geoenrijecimento é alto adequando-se, particularmente, às exigências portuárias. Muito comumente, torna-se necessário a dragagem de espessas camadas

superficiais de sedimentos nas áreas próximas. Nestes casos, é comum que camadas superficiais apresentem contaminação, de modo que órgãos ambientais não permitam sua disposição em corpos hídricos e, frequentemente, também na própria área do empreendimento portuário. Uma alternati-

va interessante, nos serviços de geoenrijecimento é que todo o sedimento dragado pode ser utilizado como matéria-prima para o melhoramento do solo, tornando-se inerte com o uso de aditivos e aglomerantes específicos, voltando novamente para o subsolo.



Figura 6 - Área portuária com perfil de infraestrutura do tipo aberta.

FIQUE POR DENTRO DE TODAS AS NOVIDADES DO MEIO GEOTÉCNICO COM NOSSOS WEBINARS

Conhecimento

Mantenha-se atualizado em relação às tecnologias de melhoramento de solos moles.

Comodidade

Acesse nossa plataforma de ensino à distância, em seu computador, tablet ou smartphone.

Feedback

Tire todas as dúvidas com profissionais do mercado, **gratuitamente.**



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





Figura 7 - Cravação de geodrenos. Obras de geoenrijecimento de depósitos de solo argiloso mole, sob aterro, recém lançado, de modo a viabilizar a construção de ferrovia no Porto do Itaqui, Maranhão. Cinco metros de aterro cobrem depósitos de solo mole.

Terminais portuários, basicamente, são formados pelo cais, que recebe equipamentos de carga e descarga, esforços de atracação e amarração de navios (vento, ondas, correntes marítimas e, principalmente, impactos de navios) e ações geotécnicas (empuxos de solo, efeito Tschebotarioff, etc). E pela retroárea, onde são

movimentados e armazenados contêineres. Esta área é comumente pavimentada com piso intertravado, devidamente apoiado no solo. Invariavelmente, este solo de fundação é impróprio, não apresentando capacidade de carga e estabilidade adequados. O geoenrijecimento do solo é o melhoramento mais adequado, considerando-se os

parâmetros geotécnicos pertinentes à cada projeto portuário.

A proximidade do porto em relação ao modal de transporte rodoviário e ferroviário, é fundamental, permitindo que seja feita de maneira rápida, eficiente e com custo adequado. Portanto, o ideal é que o cais tenha uma disposição longitudinal, ou seja, pa-



Figura 8 - Formação das verticais com bulbos de compressão do solo, que possibilitaram o geoenrijecimento no Porto do Itaqui, Maranhão.



Figura 9 - Porto do Rio de Janeiro com infraestrutura do tipo sólida. Geoenrijecimento de solo na retroárea.

ralelo à linha costeira e também à embarcação e que a retroárea esteja diretamente ligada ao cais em todo o seu comprimento, de modo a facilitar a movimentação dos equipamentos entre cais e retroárea. No entanto, uma outra concepção para terminal seria do cais “off-shore”, com ponte de acesso até a retroárea.

A largura do cais deve ser condicionada aos equipamentos de carga e descarga do navio. Por exemplo, o portêiner, pode variar entre 18,0m e 50,0m dependendo da necessidade. Outra situação que pode de-

terminar a largura do cais é a estabilidade geotécnica do solo ao longo do cais, particularmente os de pequeno porte. No caso de cais de grande porte, é determinante os equipamentos de portêineres. No entanto, o bom senso sugere a necessidade de verificação dessas duas condições, sempre. Há, ainda, uma condição que deve ser verificada quando o cais está off-shore, ou seja, afastado da retroárea.

Apresentaremos duas situações básicas de melhoria de solos moles em áreas portuárias. A primeira situação refere-se

ao caso de uma ampliação portuária e, o segundo, uma situação emergencial de estabilização de toda a margem portuária submetida a deslizamentos.

Caso de obra Ampliando área portuária

No município de Navegantes, localizado no estado de Santa Catarina, encontrasse o Terminal Portuário de maior movimentação de cargas em contêineres do Estado. Consolidada como a maior movimentado-



Figura 10 - O controle de qualidade dos serviços, junto as estacas do cais, foi feito com a instalação de inclinômetros. À direita, acima, as áreas que seriam geoenrijecidas e teriam o aterro de 3m.



Figura 11 - Localização geográfica do terminal portuário.

ra de cargas containerizadas de Santa Catarina, responsável por 45% da participação de mercado do Estado.

Esta ampliação, na infraestrutura do Terminal, faz parte do planejamento da Companhia desde a sua fundação. Com a obra, a empresa praticamente dobrou a capacidade estática do pátio de 15 mil para 30 mil TEUs (unidade de medida equivalente a um contêiner de 20 pés). Com a expansão, ganhou mais 810 tomadas para contêineres

reefers – utilizados para cargas congeladas e refrigeradas. Somadas com as 1.890 tomadas já existentes, a capacidade do Terminal passou para 2.700 contêineres refrigerados, importante diferencial tendo em vista que a carga congelada, principalmente frango, representa cerca de 50% da movimentação, no sentido da exportação. A região ampliada encontra-se em sua retroárea, no lado direito do Terminal. O pátio, que tinha 270 mil m², passou para

cerca de 400 mil m². A geologia do local apresenta profundas camadas de solo argiloso orgânico mole, com alta compressibilidade, margeando o Rio Itajaí-açu.

O reconhecimento do solo de fundação foi realizado com sondagens à percussão SPT. Segundo os estudos geológicos, realizados para o projeto desta grande expansão portuária, ocorrem sedimentos quaternários marinhos, caracterizados pela presença de materiais argilosos, arenosos finos, mal graduados e orgânicos.

Na figura 12 apresenta-se o perfil geológico geotécnico com características típicas do subsolo de fundação, evidenciando-se depósitos de solo argiloso mole e presença de estratos fofos de areia. Sobre o perfil natural do terreno, existe aterro com altura variando de 3m a 5m construído com material dragado do fundo do rio, que foi removido para implantação do futuro terminal de contêineres. Os valores típicos da resistência do solo nas camadas de areia variam entre $3 < NSPT < 7$ estabelecendo-se uma areia pouco compacta, tendo ângulo de atrito de 30 a 35°, nas camadas de argilas entre $2 < NSPT < 6$, estabelecendo-se uma argila com consistência mole e resistência de 12 a 25kPa, chegando a profundidade de 35 metros, onde existe estrato de areia mais



Figura 12 - Visão aérea do Porto de Navegantes. As obras de ampliação, em seu retroporto, com presença de depósitos de solo mole, foram possíveis graças ao geoenrijecimento do solo mole.

resistente, sobreposto a uma camada de argila mole. O impenetrável foi encontrado na cota aproximada de 46 metros. O nível d'água do solo é superficial e influenciado pelo movimento do rio e da maré.

Para conhecer mais propriedades de resistência e deformabilidade foram realizados ensaios pressiométricos (PMT), conforme a ASTM D4719 (1987). Os ensaios foram feitos antes e após a execução do geoenrijecimento do solo, com objetivo de verificar as variações do módulo de rigidez (E) e da resistência não drenada da argila (Su) e, assim, comprovar a obtenção dos parâmetros de resistência e rigidez pré-estabelecidos.

Por se tratar de uma área de armazenamento de contêineres, com contínua movimentação de máquinas e equipamentos, recalques diferenciais não são tolerados.

Com base no princípio da expansão de cavidades, semelhante ao geoenrijecimento do solo, os ensaios pressiométricos mostraram melhoria geotécnica do solo, acusando o aumento de sua resistência, rigidez e, conseqüentemente, sua estabilidade para receber o espesso aterro, de cerca de 3 metros e rigidez suficiente para neutralizar recalques futuros. A consistência do solo que antes era muito mole adquiriu, após o geoenrijecimento do solo, características de argila média.

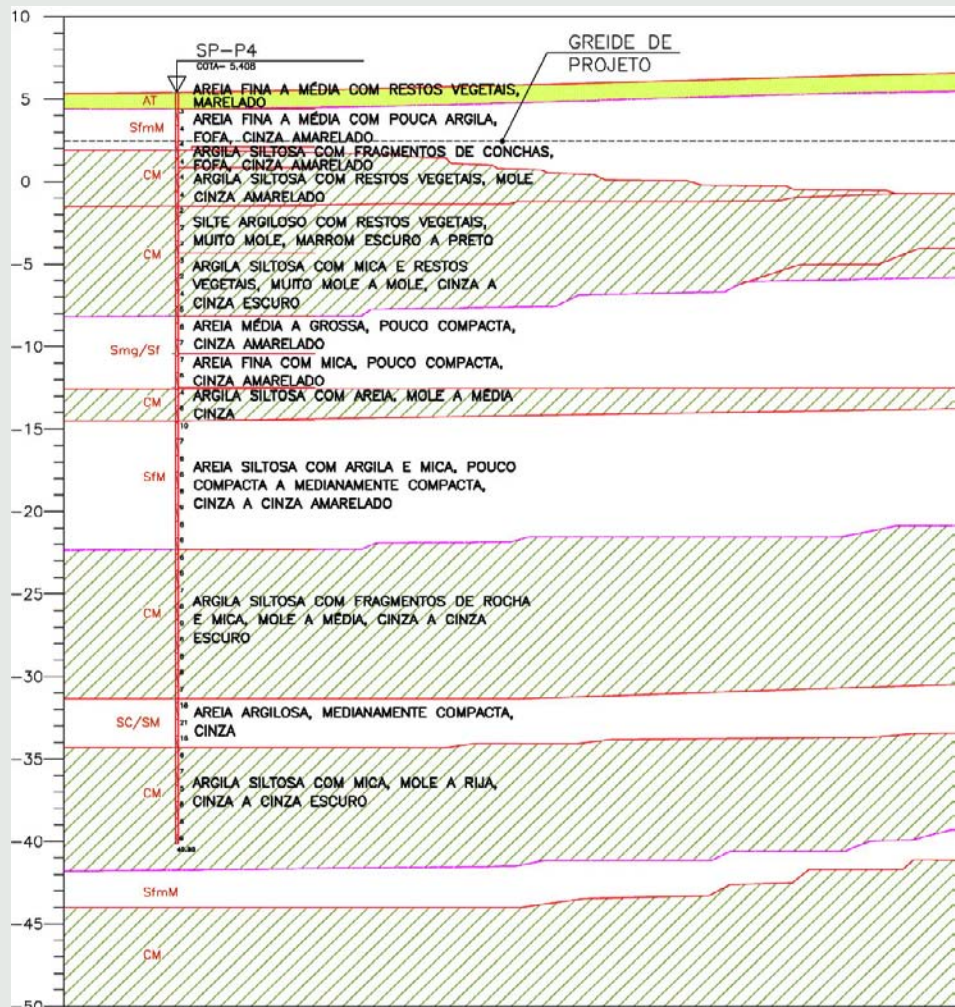


Figura 13 - Perfil típico do subsolo da região.



A tabela ao lado apresenta resumo dos valores médios do módulo de deformabilidade e da resistência do solo, na condição pré e pós o geoenrijecimento do solo.



Figura 14- Após a cravação dos geodrenos, a execução das verticais com bulbos de compressão radial do solo.

Modificação das propriedades de deformabilidade e resistência na pressiometria (média)			
Pressiometria nas camadas ARGILOSAS			
Sondagem PMT	Deformabilidade E (kPa)	Resistência não drenada Su (kPa)	Classificação argila
Pré-geoenrijecimento	700 – 1100	12 – 29,2	MUITO MOLE MOLE
Pós-geoenrijecimento	3000 – 4400	30 – 63,9	MÉDIA RIJA
Pressiometria nas camadas ARENOSAS			
Sondagem PMT	Deformabilidade E (kPa)	Ângulo de atrito (ϕ°) Su (kPa)	Classificação areia
Pré-geoenrijecimento	4000 – 13500	21 – 33	FOFA POUCO COMPACTA
Pós-geoenrijecimento	15100 – 35500	37 – 41	MEDIANAMENTE a COMPACTA



Figura 15 - Geoenrijecimento do solo de fundação junto ao antigo cais do Porto de Navegantes, SC.

O programa de melhoramento do solo, objetivando o aumento da área portuária, neste projeto, foi fundamental para sua efetivação, considerando-se a difícil condição do solo de fundação, o posterior aterro e, finalmente, o pavimento e a carga portuária. Os parâmetros de resistência foram atendidos, garantindo a estabilidade necessária, assim como os de rigidez, verificados com o posicionamento de placas de recalque, pós-melhoramento, seguindo-se a execução do aterro e seu pavimento.



REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira civil. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- ASTM D4719 (1987) Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils. Annual Book of ASTM Standards, New York, v. 04.08.
- BERILGEN M., Investigation of Stability of Slopes under Drawdown condition, Computers and Geotechnics, Vol. 34, 81-91, 2007.
- DIXON, S.J., Burke, J.W. (1973). Liquefaction case history. ASCE J Soil Mech Found Eng SM10:823-840.
- DUNCAN JM, WRIGHT SG, WONG KS. Slope stabil-

ity during rapid drawdown. In: Proceedings of the H. Bolton seed memorial symposium, Vol. 2, May 1990. p. 253–72

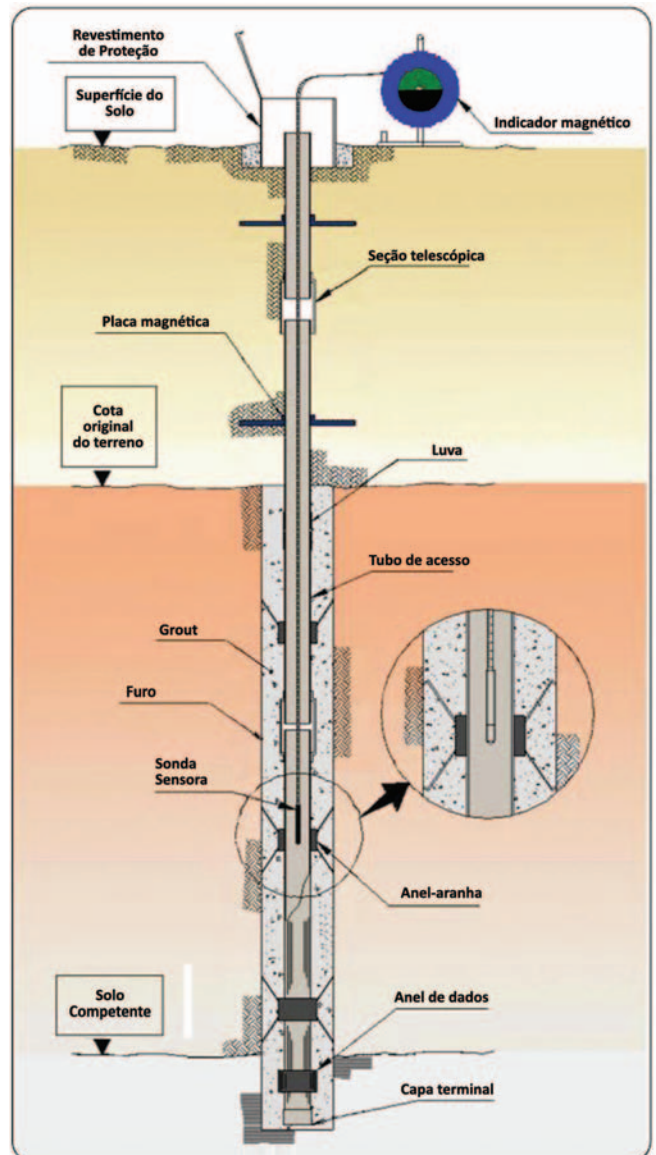
- HEMPHILL, R. W. and Bramley, M. E. (1989). Protection of river and canal banks.
- MORGENSTERN 1963. Stability charts for earth slopes during rapid drawdown. Géotechnique 13(1):121-131.
- EDIL, Tuncer & DHOWIAN, A.W.. (1981). At-rest lateral pressure of peat soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE. 107. 201-217.

Extensômetro Magnético



Descrição

O extensômetro magnético consiste em anéis de sensores, um indicador magnético, um tubo de acesso, acessório de tubo incluindo anel de placa, anel aranha e anel de data. De acordo com o tamanho da medição, o indicador magnético é dividido em 6 tipos como 50m, 100m, 200m, 300m, 350m e 500m.



COMO UM PROJETO DE ENCONTRO DE PONTE PODE INTERFERIR NA RIGIDEZ DO SOLO

Projetos de duplicação rodoviária muitas vezes necessitam de passagens inferiores ou superiores, inclusive com implantação de rodovias marginais ou secundárias. Neste caso, costuma-se elevar o pavimento rodoviário erguendo aterros de terra armada para pontes ou viadutos. Casos de contenção lateral em terra armada incluem-se neste contexto. Particularidades, neste tipo de projeto, sobre depósitos de solos argilosos moles, podem provocar surpresas desagradáveis mesmo considerando-se o solo melhorado. É o que aconteceu ao final da execução do aterro em terra armada, com cerca de 10m de altura. Duas dezenas de placas de recalque, quatro inclinômetros e dois piezômetros informavam a finalização do processo de recalque, durante o carregamento. No entanto, dois parabolts, instalados um em cada parede de contenção posicionavam processo de recalque. A análise dos dados coletados permitiu avaliar o comportamento da obra como um todo, evidenciando a origem do recalque diferencial observado.

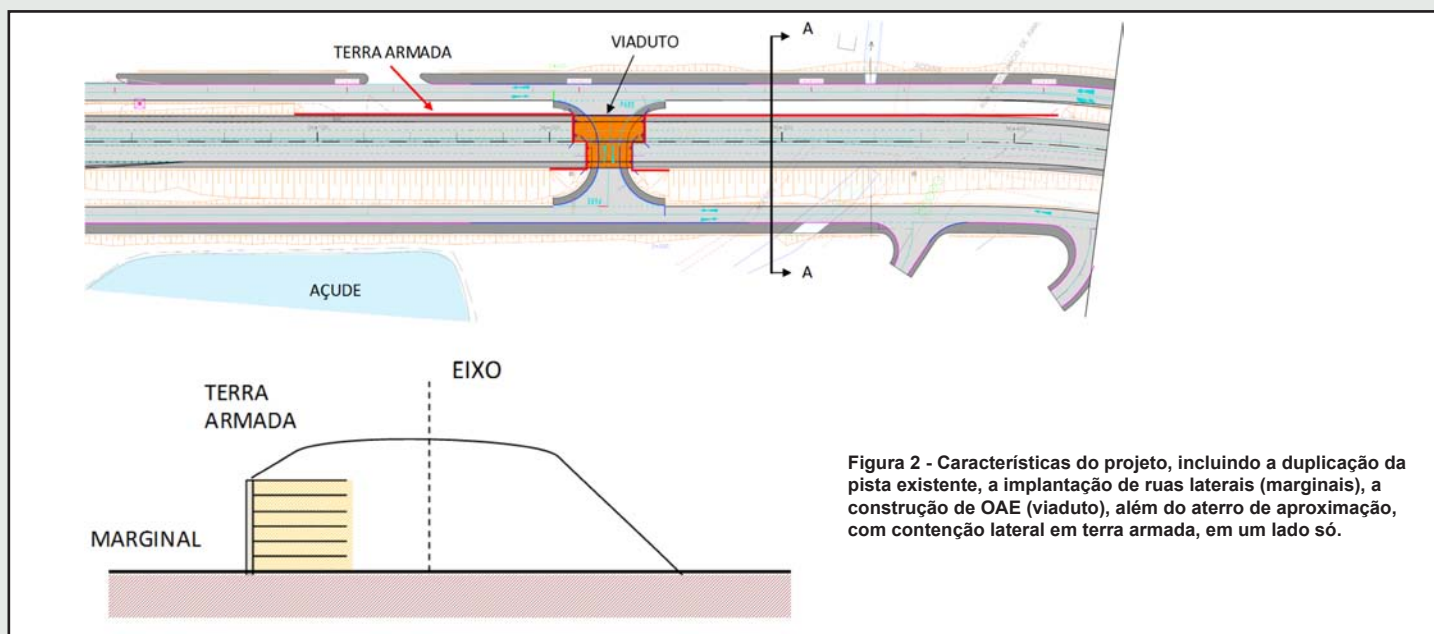


Figura 2 - Características do projeto, incluindo a duplicação da pista existente, a implantação de ruas laterais (marginais), a construção de OAE (viaduto), além do aterro de aproximação, com contenção lateral em terra armada, em um lado só.



O Modelo Geotécnico

Ensaio de campo e de laboratório, realizados para caracterização geotécnica da argila mole cinza, na região do viaduto, indicavam solo argiloso mole com presença de camadas de turfa com coloração escura apresentando, no ensaio de adensamento, fase de compressão secundária igual ao dobro do adensamento primário. A crítica condição deste solo, apresenta-se no perfil geotécnico na figura 3.

O Plano de Monitoramento com a avaliação do comportamento do aterro

Para monitorar o processo de recalques, instalaram-se placas de recalque abaixo da



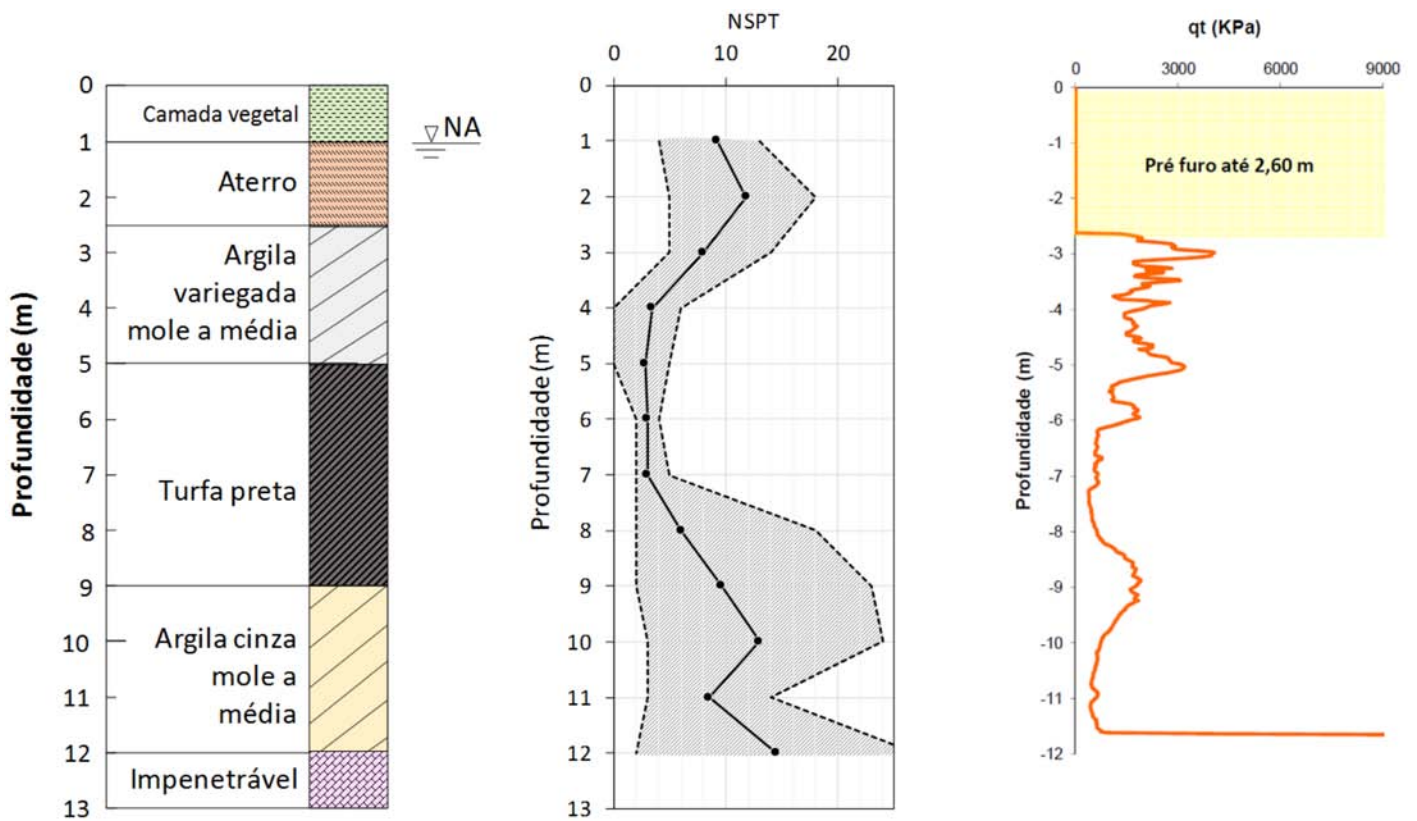


Figura 3 - Perfil geotécnico na região do viaduto. Presença de camada de turfa.

sapata corrida, em concreto simples, que cumpre a função de elemento de fundação das paredes do muro. A instalação de placas de recalque abaixo da fundação, teve como objetivo conhecer o comportamento do solo de fundação, focando atenção no movimento vertical no solo (i.e. recalques). Desta forma, avaliou-se o desempenho geral da construção do aterro, a partir de seu início. Parabolts ou pinos de aço, foram fixados na primeira linha de escamas (placas de concreto armado pré-moldadas).

Instalou-se, também, Parabolts (pinos de recalques) na primeira linha de escamas da Terra Armada, com objetivo de compa-

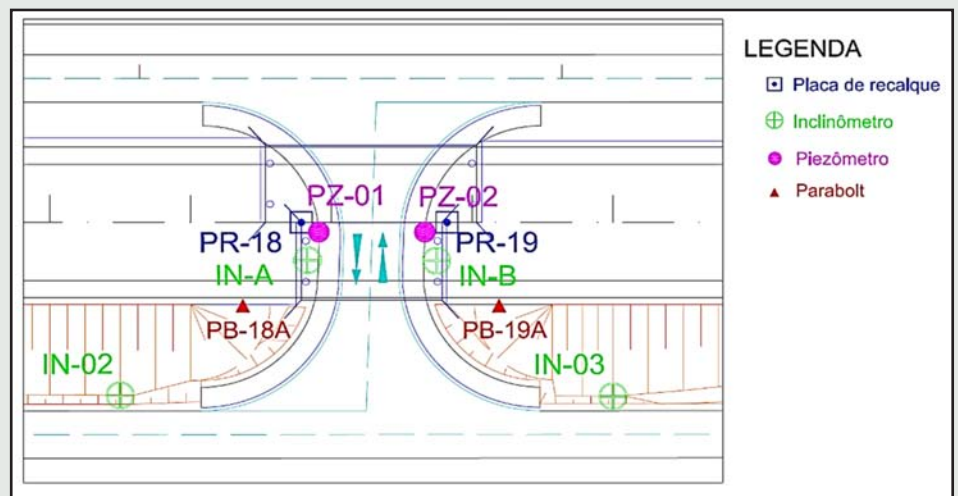


Figura 4 - Instrumentação geotécnica posicionada na região do viaduto.



POR QUE VOCÊ DEVE SE INTERESSAR POR NOSSOS WEBINARS GEOTÉCNICOS?

Construção
Detalhes executivos.

Conhecimento
Através de
profissionais.

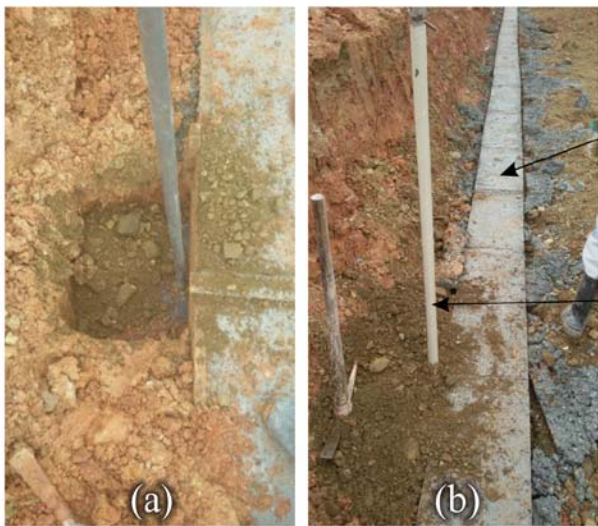
Desenvolvimento
Acesso a cursos,
workshops,
conferências
e artigos.

Atualização
Com todas as
técnicas existentes.



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





Sapata corrida
que serve de base
para a parede de
contenção



Levantamento da
parede de
contenção sobre
a sapata corrida

Figura 5 - Instalação das placas de recalque. (a) Posicionamento da placa na cava, abaixo da sapatinha corrida. (b) Reaterro da cava de instalação. (c) Emenda da haste interna e tubo de proteção ao lado da parede.

rar o processo deformativo do solo com o do maciço, através das placas de recalque e inclinômetros. As curvas de recalques, tanto pelo lado leste, quanto pelo lado oeste, evidenciadas pelas placas de recalques, posicionavam recalque em grupo, ou seja, o corpo do aterro descia por inteiro, com a evolução do carregamento, apresentando recalques diferenciais insignificantes.

Entretanto, o comportamento observado nos parabolts, divergiam do conjunto de placas, indicando situação crítica, localizada apenas nas paredes do lado norte, em



ambas as cabeceiras. Estas paredes, com comprimento de apenas 15m cada, representavam apenas 10% da contenção, num total de 390m do projeto.

Ficou claro, o comportamento diferenciado do solo, para este conjunto de instrumentos, durante a elevação da terra armada. Na Figura 6, o parabolts posicionado, começou a descer mais que o lado oposto, induzindo distorção. Como consequência do recalque diferencial, alguns elementos de fechamento (quinas) apresentaram leves aberturas, preenchidas com argamassa.



Figura 6 - Instalação do parabolts-18 A. Na superfície do elemento pré-moldado.

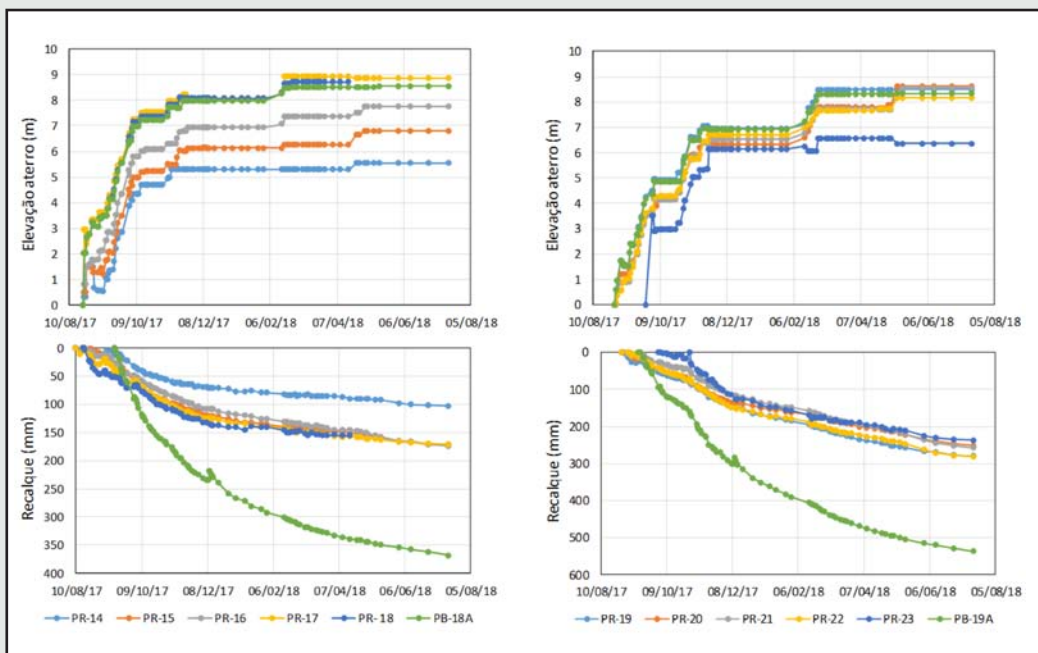


Figura 7 - Monitoramento do recalque, em ambas as cabeceiras, acompanhando a evolução da elevação do aterro em terra armada.

Este processo ocorreu em ambas as cabeceiras. Os muros do lado norte submetidos ao efeito do peso da saia do aterro, posicionavam maiores recalques nos parabolts, em relação às placas de recalque.

Efetivou-se, então, estudo geotécnico, baseado em cálculo analítico e análise numérica, com intuito de interpretar o comportamento geral do maciço, frente às deformações verticais.



Figura 8 - Recalque diferencial entre placa de recalque e parabolts, induzindo rotação do maciço.

Justificativa técnica com base na análise numérica

Calculou-se o acréscimo de tensão vertical, devido à elevação do maciço, nos diferentes pontos, na profundidade de 5m, considerando-se a geometria da terra armada, conforme ilustrado na Figura 8. Analisou-se o mesmo aterro via elementos finitos, de modo a se determinar deformações verticais e a distribuição das tensões verticais, até vinte metros de profundidade. Utilizou-se os mesmos parâmetros apresentados no item anterior, realizando-se análise numérica no estado plano de deformação, ou seja, para carregamento com comprimento infinito (seção contendo os pontos A, E e F da Figura 8). O modelo numérico confirmou os resultados obtidos pela teoria de Boussinesq, mostrando, na profundidade de 5m, ten-

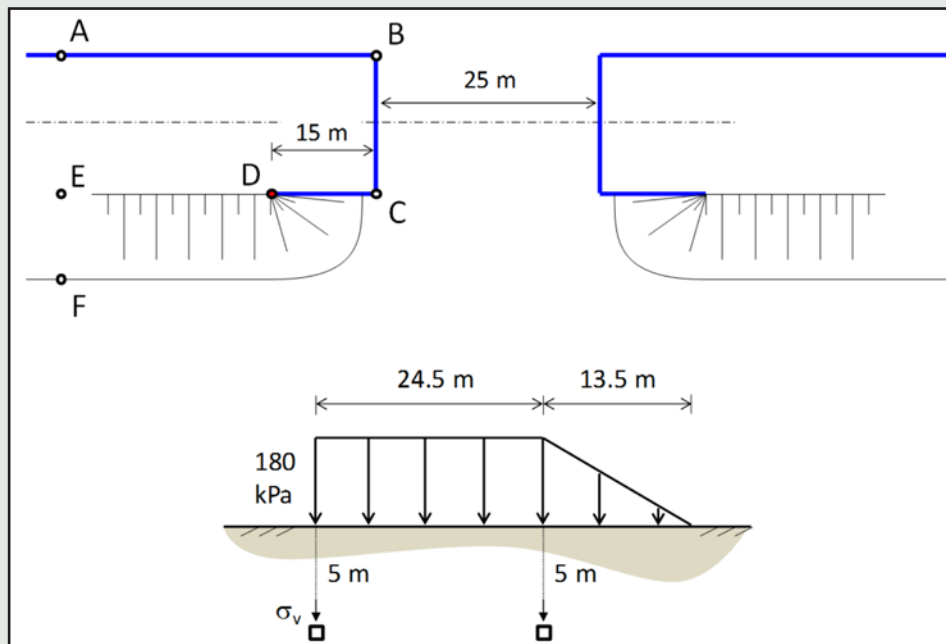


Figura 9 - Idealização do carregamento. Variáveis utilizadas para o cálculo de tensões.

VIBRATING WIRE PIEZOMETER PW Series

PIEZOMETER



The **PW Vibrating Wire Piezometer** is designed to measure pore water or other fluid pressure. It is used for applications such as hydraulic structures, foundations, dams, embankments, excavations, tunnels and waste repository sites. The PW has a rugged stainless steel body with triple stage water protection. It offers reliable surge protection and a high level of resistance to EMI and RFI.

SPECIFICATIONS

Range¹	35 to 7,000 kPa
Accuracy	±0.1% F.S
Resolution with MB-3TL	0.025% F.S.
Outside diameter	19 mm to 38 mm
Length	200 mm to 260 mm

¹ Higher ranges available

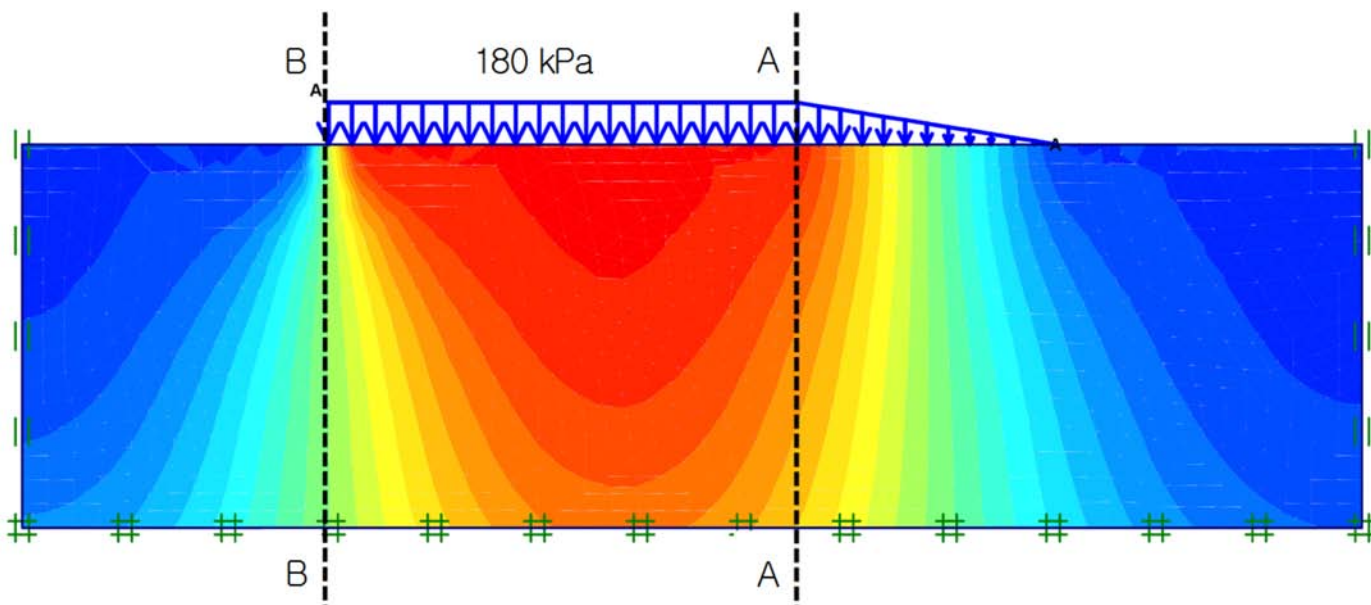


Figura 10 - Acréscimo de tensão vertical, devido ao carregamento trapezoidal.

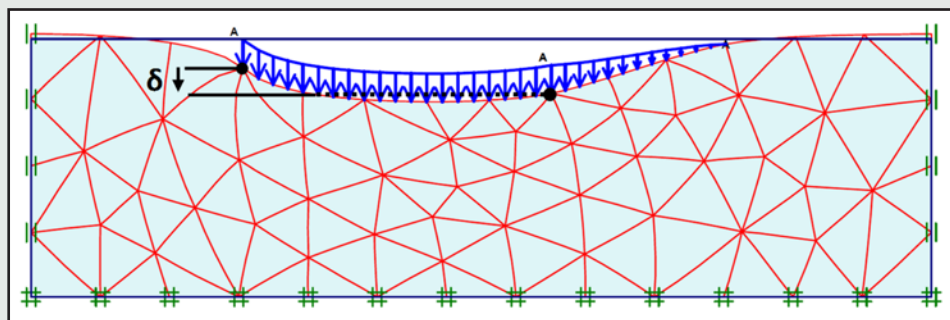


Figura 10 - Deslocamento vertical pelo modelo numérico. O recalque diferencial prejudicou o comportamento da terra armada, indicado pelo símbolo δ .

sões verticais da ordem de 90kPa no lado esquerdo e 160kPa no lado direito.

O estado assimétrico de tensões, gerou recalques diferenciais, como o do modelo numérico, onde a malha de elementos finitos, distorcida pelo carregamento, indicou perfil de recalques assimétrico, desequilibrado para a direita. Recalques mais expressivos, ocorridos junto à crista do talude mostraram-se, então, justificados.

Fica claro, portanto, que o recalque diferencial, observado nos parabolts, difere do conjunto das placas de recalques devido à concentração de tensões induzidas pela saia do aterro, condição verificada com a análise numérica. Concluiu-se que a geometria do maciço projetado foi desfavorável. A parede da terra armada, junto à saia do aterro, submeteu-se a cargas assimétricas, gerando rotação e distorção, comprometendo seu desempenho.

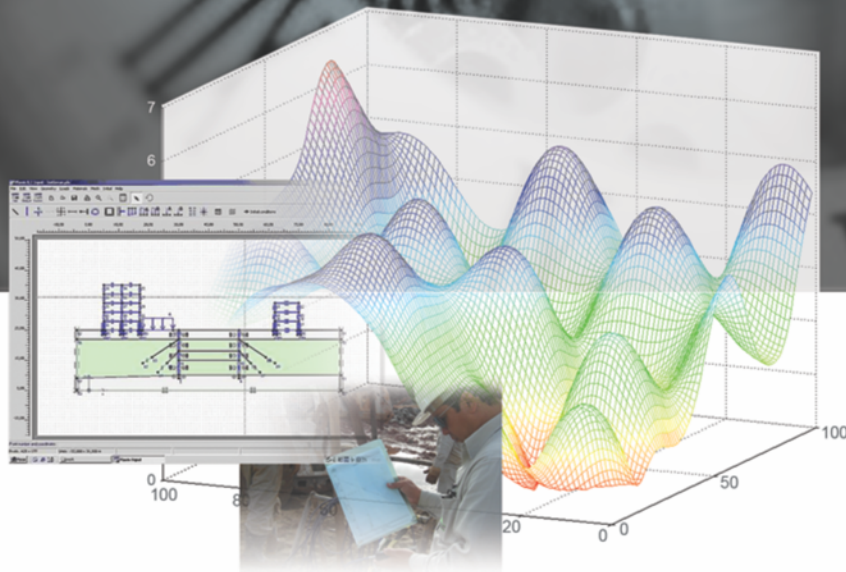


REFERÊNCIAS

- **Alessandro Cirone** é engenheiro civil geotécnico, especialista em projetos e serviços de melhoria de solos moles.
- ASTM D4719 (1987) Standard Test Method for Pressuremeter Testing in Soils. Annual Book of ASTM Standards, New York, v. 04.08.
- BERILGEN M., Investigation of Stability of Slopes under Drawdown condition, Computers and Geotechnics, Vol. 34, 81-91, 2007.
- DIXON, S.J., Burke, J.W. (1973). Liquefaction case history. ASCE J Soil Mech Found Eng SM10:823-840.
- DUNCAN JM, WRIGHT SG, WONG KS. Slope stability during rapid drawdown. In: Proceedings of the H. Bolton seed memorial symposium, Vol. 2, May 1990. p. 253-72

GEOENRIJECIMENTO DE SOLOS MOLES PRECISÃO E SEGURANÇA

Todo solo de fundação exige condições geotécnicas estáveis e precisas, o que se traduz em um investimento sujeito a risco. A presença de solos moles, com valores de SPT inferiores a 5, implica em soluções que podem durar meses e até anos e, assim mesmo, apresentam algum risco, seja ambiental ou de recalques inesperados. O geoenrijecimento do solo é a resposta para o melhoramento de solos moles, pois promove a segurança necessária à presença de deformações laterais e recalques, além de, principalmente, induzir um intenso e seguro processo de adensamento, muito superior ao exigido pelo futuro projeto, eliminando qualquer possibilidade de recalques posteriores. Tudo isto, com o acompanhamento preciso de sondagens tomográficas por imagem e pressiométricas, com respostas antes, durante e depois dos serviços executados. Ou seja, com a precisão e a segurança de um bom relógio Suíço.



CPR
GROUTING

www.engegraut.com.br

O CPR Grouting é tecnologia específica para geoenrijecimento de depósitos de solo mole, desenvolvida pela ENGEGRAUT e executada há 15 anos em todo o Brasil, estando protegida no INPI por patente.

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