

# Soft Soil Brazilian Review

SOFTSOILGROUP.COM.BR

Soft Soil Group MARÇO-ABRIL 2019  
EDIÇÃO AMÉRICA DO SUL

## 16 Solos Moles

Conheça solos orgânicos e turfas IV.

## 22 O poder orgânico do solo

O melhoramento de solos moles com a utilização de colunas, ou geoforço. Conheça suas particularidades.

## GEOENRIJECIMENTO PARA MELHORAR SOLOS MOLES SOB ATERROS DE ENCONTROS DE PONTES

Como modificar o solo de fundação, sem provocar ressaltos no futuro pavimento.





## INFORMAÇÕES SOBRE MELHORAMENO DE SOLOS MOLES?

SOFT SOIL GROUP

**O SOFT SOIL GROUP 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. Assista nossos Webinars para adquirir estas informações.



[www.softsoilgroup.com.br](http://www.softsoilgroup.com.br)



# Soft Soil Brazilian Review

Edição - Mar / Abr 2019 - Nº 04

SOLOS MOLES

Geoenrijecimento de solos moles sob aterros de encontros de ponte **04**

Por Joaquim Rodrigues

O PODER ORGÂNICO DO SOLO

Conheça solos orgânicos e turfas IV **16**

Por Thomas Kim

DIMENSIONAMENTO

O melhoramento de solos moles com a utilização de colunas, ou geoforço. Conheça suas particularidades **22**

Por Patrícia Tinoco

## EDITORIAL

Nesta edição, da SSBR, focamos a arte de melhorar solos moles para encontros de pontes. O planejamento, projeto e construção de aterros de encontro, quase que invariavelmente sobre solos moles é, sempre, uma tarefa difícil e desafiadora: Como compatibilizar o nível de rigidez de uma estrutura de aterro, apoiada em solo mole melhorado, com a inflexibilidade presente na ponte? Sim, é possível compatibilizar com o Geoenrijecimento. O estado da arte do melhoramento do solo mole, com geocompósito, neste segmento de estradas, apresenta dezenas de casos, todos com sucesso, evidenciando que é possível, sim, executar encontros de pontes sobre solos moles sem que haja recalques e ressaltos no pavimento. Por outro lado, procuramos dar aos leitores da SSBR, uma visão geral das propriedades e comportamento do solo mole, uma vez geoenrijecido, enfatizando que trata-se de tarefa 100% geotécnica e, conseqüentemente, não deve ser classificada como tarefa difícil e de custo elevado.

A presença de solos orgânicos e turfas em terrenos com solos moles é bastante frequente, razão pela qual insistimos em expandir o conhecimento sobre estes materiais, o que requer caracterização confiável de suas propriedades e de seu comportamento mecânico, de modo a viabilizar parâmetros de projeto adequados e confiáveis. A presença de "solos" turfosos, em terrenos com solos moles, agrega alta porosidade, extrema compressibilidade, forte dependência da permeabilidade, grande alteração nas propriedades sob tensões, resultando em forte anisotropia das propriedades geotécnicas. O geoenrijecimento é o único sistema de melhoramento de solos moles que, eficazmente, comprime, confina e adensa materiais turfosos, utilizando forças de compressão da ordem de 500 toneladas, suficiente para imobilizar esta matéria orgânica, inviabilizando qualquer tipo de deformação subsequente. Boa leitura.

Joaquim Rodrigues

# GEOENRIJECIMENTO DE SOLOS MOLES SOB ATERROS DE ENCONTROS DE PONTE

Figura 1- Centenas de pontes em nossas estradas padecem do mesmo problema: ressalto no encontro do aterro com a ponte. Pontes recentemente inauguradas já apresentam recalques na região dos aterros de encontro, resultando em ressaltos crescentes.

**P**ontes e viadutos são comumente construídos sobre estacas. Sob os aterros que formam as rampas de acesso, muito frequentemente, há depósitos de solos moles, o que impede sua elevação. Para tanto, torna-se necessário melhorar a condição deste solo, sem o que ocorrerão recalques ou mesmo a ruptura do aterro. Recalques em aterros de encontros promovem degraus ou ressaltos entre o pavimento da ponte e o pavimento do aterro. A grande questão é o método do melhoramento imposto ao solo mole. Tais degraus afetam a qualidade da via e a segurança de seus usuários, principalmente quando há velocidades mais altas, podendo resultar na perda



do controle do veículo.

O problema é, geralmente, causado pelo processo de compressão do aterro e/ou do solo de fundação, seja por compactação inadequada do aterro ou presença de solo mole não melhorado ou pouco melhorado. A presença de depósitos de solos moles, abaixo do aterro de encontro, e a presença de sistemas de apoio/contenção estaqueados é uma equação de difícil resolução, já

que opõe sistemas de fundação profunda e superficial. Pelo lado do aterro de encontro, o processo de consolidação do solo mole continua a ser a principal causa de recalques em pontes e viadutos. Como consequência, deslocamentos laterais, na massa de solos moles, costumam causar deformações em suas estacas. Consequentemente, é extremamente importante analisar as condições do solo de funda-

ção nesta etapa, de modo a analisar sua resposta às cargas do aterro, frente ao sistema de estacas da ponte. Nesta condição, torna-se necessário modificar as características geotécnicas do solo de fundação, particularmente sua resistência e rigidez, de modo a fazer frente às condições de rigidez promovido pelo estaqueamento da ponte. O trabalho de Flavia Pires, COPPE, 2013, aborda este



Figura 2 - O problema dos encontros de pontes e viadutos: o ressalto devido ao recalque do aterro, provocado pela presença de solo mole.

assunto, com base no empuxo de estacas de pontes. O sistema, mais adequado para modificar as características de depósitos de solos moles, de modo a servir de base à aterros de encontro, obtendo-se rigidez suficiente, é o processo de geoenrijecimento, com CPR Grouting, já que modifica as características do solo para níveis de resistência e rigidez pré-estabelecidos. Por outro lado, exige-se, para a construção do aterro, materiais bem mais selecionados, além de níveis de compactação maiores na formação de suas camadas.

Lajes de aproximação, em concreto armado, são utilizadas para proporcionar uma transição suave entre o pavimento da ponte e o pavimento sobre o aterro de encontro. A laje, geralmente, é projetada para adequar pequenos recalques do aterro próximo ao sistema de contenção/apoio da ponte. Juntas de dilatação são instaladas para acomodar movimentos térmicos cíclicos do pavimento da ponte, do sistema de contenção/apoio e do aterro de encontro. O papel da manutenção geralmente é esquecido em projetos de encontros de pontes. O custo de uma futura manutenção costuma ser alto, devido as dificuldades inerentes de intervenção. A colocação de camadas de asfalto, para corrigir o ressalto costuma ser a solução, mas induz mais carga no aterro e, conseqüentemente, maior

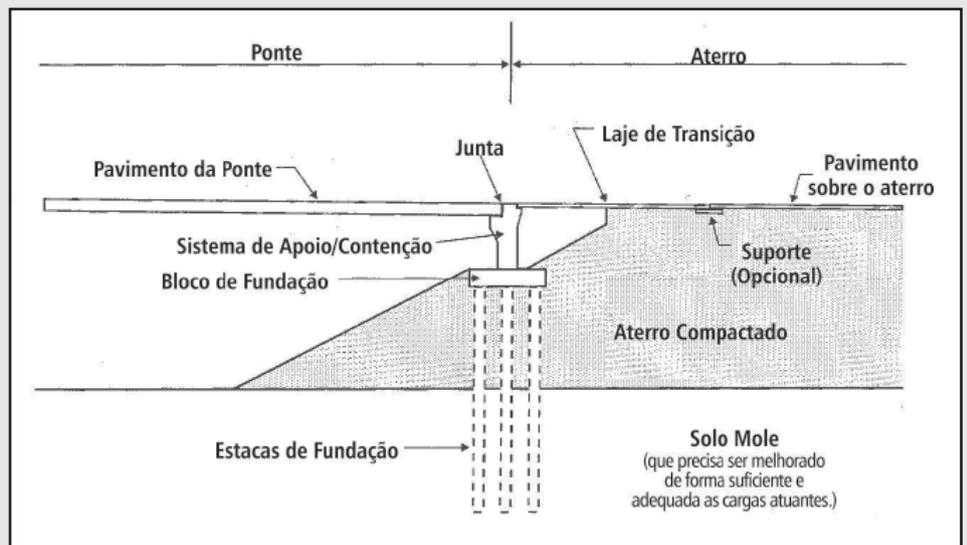


Figura 3 - Detalhes de um aterro de encontro e a ponte.

comprometimento nas estacas, devido ao efeito Tschebotarioff provocado. Em todos os casos, a manutenção futura caracteriza-se pelo impacto das operações de preservação no tráfego, o que é crítico, pois costuma exigir o fechamento temporário de uma ou mais faixas de tráfego, podendo ser inaceitável em áreas urbanas congestionadas, especialmente durante períodos de alto volume de tráfego.

O principal problema da existência de ressaltos no aterro de encontro de uma ponte é o fato de ser grande o suficiente para fazer

com que o motorista perca o controle de seu veículo. Tudo depende da gravidade da diferença de nível entre o encontro da ponte e seu pavimento. Além disso, motoristas se submetem a atrasos e inconvenientes quando uma pista ou via são fechadas para reparos.

Do ponto de vista do departamento de transporte, o problema do ressalto, na via, pode levar a questões de uma cara intervenção, provocando o desgaste do órgão público com processos judiciais. Ambas as perspectivas ilustram que este tipo de



Figura 4 - A correção do ressalto com asfalto só piora o problema, comprometendo as estacas.

patologia cria problemas onerosos, tanto em termos econômicos como estratégicos. Outra questão é a magnitude do problema. No Brasil este é um problema comum. Para efeito comparativo, em 1995, havia 600 mil pontes nos Estados Unidos. Destas, 150.000 tinham problemas com

ressaltos na região dos aterros de encontro, resultando em gastos estimados de US\$ 100 milhões por ano para resolver o problema (Briaud et al., 1997). A solução para problemas tão específicos de recalque em aterros de encontro de pontes, já construídas, deve ser capaz não de reduzir

mas eliminar o ressalto, de forma econômica, e ter aplicações para uma variedade de casos, pois, como será abordado a seguir, há uma variedade de causas para este problema.

Ressaltos em aterros de encontros de pontes podem ter diferentes causas. As principais são:

**Compressão ou Alteração do Volume de Aterro:** encontros de ponte devem ser construídos, com materiais que permitam a elevação do aterro, de modo que a estrada atinja a cota de projeto da ponte. Se forem selecionados materiais inadequados ou mesmo compressíveis, que gerem compactação inadequada, as cargas do próprio aterro e do tráfego fazem com que o aterro de encontro deforme provocando recalques (diminuindo a elevação da estrada), enquanto que a elevação da ponte permanece constante. Além disso, o material do aterro deve ser resistente à rupturas por cisalhamento e deslocamentos laterais que, novamente, reduzirão a elevação da estrada.

**Recalque do Solo de Fundação sob o Aterro:** Obviamente, se a totalidade dos

## 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 de 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 5 - É comum presenciarmos ressaltos em nossos encontros de ponte.

recalques ou deslocamentos, observados na superfície do pavimento da via, não estiver ocorrendo no corpo do aterro, o solo de fundação, estará apresentando recalques, com ou sem movimentação lateral. Neste caso, a solução com geoenrijecimento com CPR Grouting resolve o problema, já que sua atuação, opcionalmente, pode ser feita lateralmente à rodovia, sem intervenção no tráfego.

Drenagem Insuficiente: sistemas de drenagem mal projetados podem resultar em problemas que geram recalques. Se o corpo do aterro e o solo de fundação absorverem umidade, demasiadamente, a capacidade suporte do solo de fundação pode ser reduzida, promovendo recalques ou movimentações laterais.

O desempenho do aterro de encontro é influenciado pelo projeto e construção da

plataforma da ponte, pelo seu sistema de apoio/contenção, pelo pavimento da estrada, pelo próprio aterro e, evidentemente pelo solo de fundação. Os principais problemas, geralmente, são atribuídos à compressão excessiva do aterro e/ou do solo de fundação ou o oposto, ou seja, à compactação inadequada do corpo do aterro de encontro ou do solo de fundação. A erosão localizada do solo, geralmente associado à inadequação do projeto relativo à drenagem, também ocorre com frequência. Solos expansivos também podem ser problemas em algumas áreas.

Um levantamento recente efetuado em diversos aterros de encontro de pontes e viadutos, executados recentemente ou mesmo antigos, nos estados do Rio de Janeiro, Santa Catarina e Pernambuco, concluiu que as principais causas dos recalques, nesta crítica região das obras de arte, são as seguintes, podendo ser uma ou estarem associadas:

- Melhoramento inadequado do solo de fundação.
- Má compactação do aterro de encontro.
- Compactação ineficiente do corpo do aterro, junto ao encontro, devido à dificuldade de acesso de equipamentos padronizados de compactação.
- Erosão do solo na face do sistema de apoio/contenção do encontro e, finalmente,
- Drenagem ineficiente no corpo do aterro e da região do sistema de apoio/contenção do encontro da ponte, apresentando fuga de material.

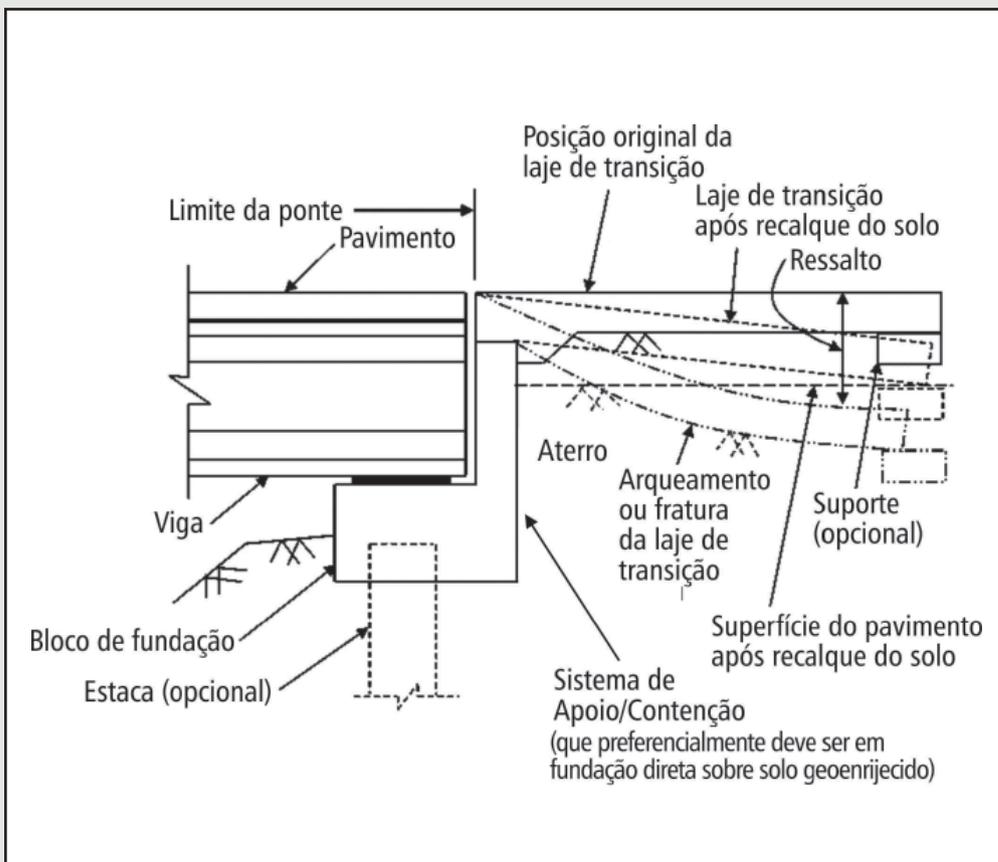
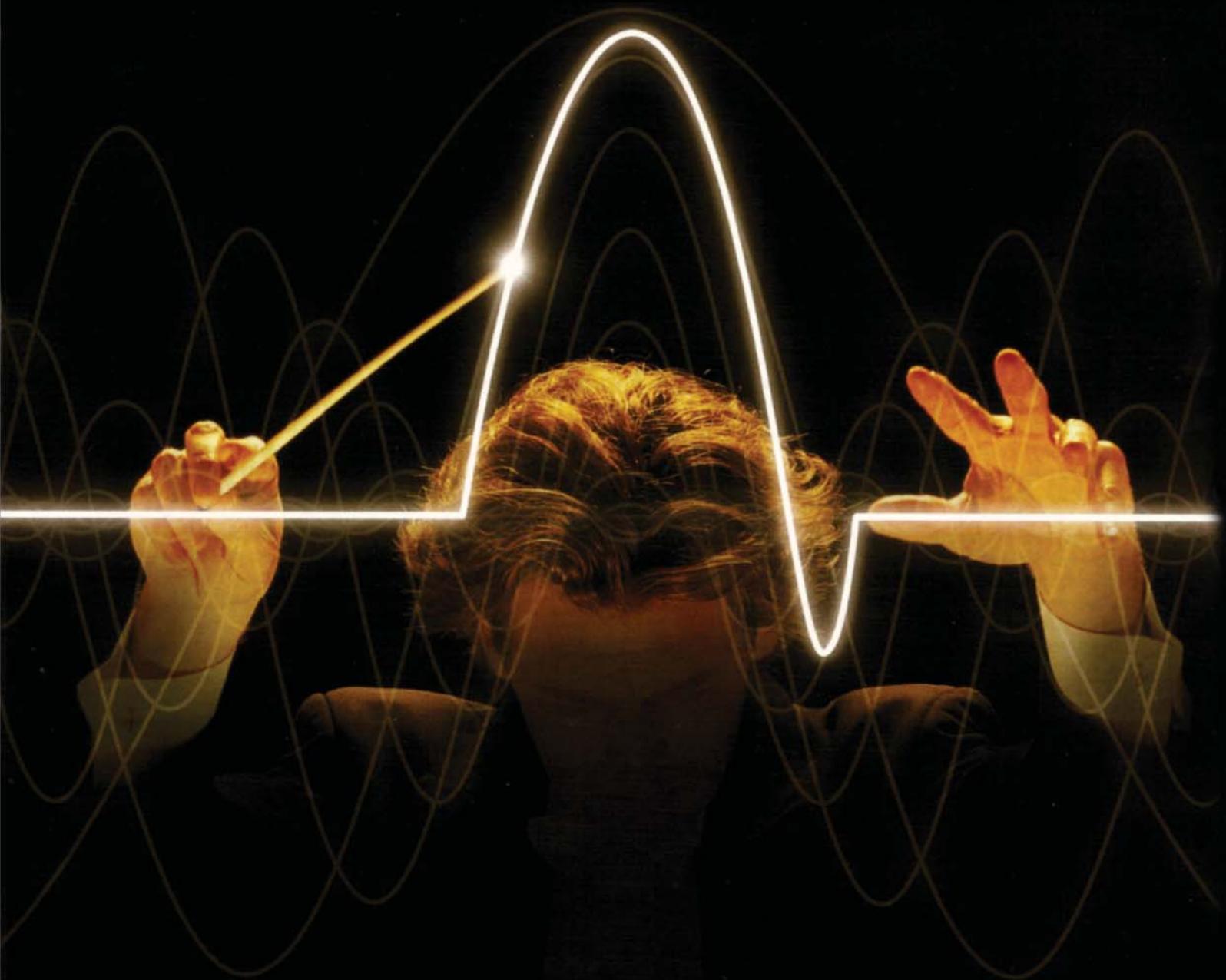


Figura 6 - Situações pertinentes aos encontros de pontes.

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](mailto:atendimento@softsoilgroup.com.br)

SOFTSOIL BRAZILIAN REVIEW • Março / Abril 2013





Figura 7 - Além de ondulações e toda a sorte de desníveis em nosas rodovias, ressaltos nos encontros de pontes caracterizam-as como inseguras e de baixa qualidade.

Todos os fatores anteriores contribuem para promover ressaltos na interface do aterro com a ponte. Além disso, a ruptura lateral do solo de fundação e movimentações laterais do sistema de apoio/contenção do encontro, evidentemente comprometem o aterro. Conclui-se, portanto, que o detalhamento da laje de transição e o tipo de melhoramento do solo de fundação afetam sobremaneira o desempenho desta importante região da obra de arte. Consequentemente, sistemas de apoio/contenção apoiados em fundação superficial, dentro do corpo do aterro de encontro, sobre solo previamente geoenrijecido e homogeneizado com CPR Grouting, costuma ser a melhor resposta para estes problemas, já que são menos custosos e elimina o problema do recalque diferencial.

O perfeito desempenho de um aterro de encontro necessita do conhecimento e experiência de projetistas e construtores. Durante a fase de projeto, torna-se interessante para o projetista conversar com empresas de melhoramento de solos e com construtores, no sentido de viabilizar respostas necessárias ao empreendimento. Por exemplo, é necessário entender o que representa a eficiência do melhoramento

do solo mole, com vistas a receber aterros de encontro. A maior eficiência é sempre desejada, o que implica em maior rigidez e ausência de recalques no solo que receberá o aterro de encontro. Outro aspecto importante é a presença de aterros de conquista, necessários para o trabalho de melhoramento do solo mole, mas que, ao final deste serviço, deverá ser removido e substituído por material compactável e ser motivo de compactação padronizada. O envolvimento de engenheiros geotécnicos experientes, é especialmente importante para resolver estas questões.

Muitas vezes, torna-se necessário reavaliar o projeto geotécnico, podendo ser necessário adequar outra condição em relação ao projetado. Estas alterações, nos procedimentos do projeto original, devem ser desenvolvidas em conjunto com o órgão público, a construtora, o geotécnico e o projetista. A resistência cisalhante e a rigidez necessárias para o geoenrijecimento do solo mole devem ser previamente discutidos, particularmente sua certificação, durante o avanço dos serviços, sem o que, não há como aceitar os serviços de melhoramento do solo mole. Com este objetivo, análises pressiométricas e tomografia por

imagem permitem obter estas duas diretrizes, de forma rápida e segura. Na realidade, pouco ou nada se exige hoje em obras de aterros de encontro. A construtora recebe o projeto, contrata pelo menor preço a empresa especializada de melhoramento do solo mole, que executa o serviço, e pronto. Não se discute a eficiência do melhoramento, se haverá ou não recalques, simplesmente porque já foi projetado. Não se discute sua certificação, porque a empresa “é idônea”. A ideia de que se surgir ressaltos, corrige-se com uma camada de asfalto é, minimamente, inconsequente pois, certamente, movimentações horizontais poderão estar ocorrendo e o renivelamento só agravará ainda mais o problema.

Em resumo, o projeto, a construção e a futura manutenção dos aterros de encontro de pontes e viadutos precisam ser rediscutidos amplamente pelo departamento de estradas e geotécnicos envolvidos, de modo a diminuir ou mesmo eliminar o problema comum de ressaltos que, além de agregar prejuízo ao erário, diminui a segurança de nossas estradas.

Serão apresentados dois casos de obras de encontros de pontes, um durante sua construção e outro pós construção.

## Caso de obra

Construção de aterro de encontro de ponte sem melhoramento do solo mole Começou-se a executar um aterro com aproximadamente 5m de altura sobre depósito de solo mole com cerca de 20m de profundidade, sem qualquer melhoramento de solo em uma obra de duplicação rodoviária. O resultado foram dois processos de ruptura, onde o primeiro, quase comprometendo a antiga rodovia, estabeleceu um alto plano de ruptura praticamente vertical, impedindo a execução de escalonamento para melhorar a estabilidade do novo aterro. A extensão total da ruptura chegou próximo aos 150m. O segundo processo de ruptura ocorreu alguns dias depois, rompendo as estacas dos novos pilares e suas vigas travessas. Com tamanho comprometimento, estabelecendo-se planos profundos de ruptura, nos dois casos, optou-se pelo geoenrijecimento do solo com CPR Grouting. A seguir, apresenta-se o perfil geotécnico da região do encontro rompida.

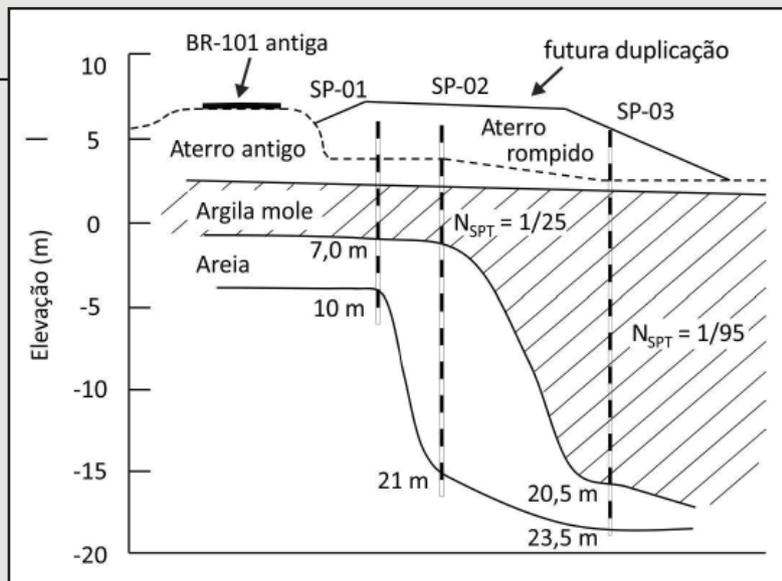


Figura 8 - Perfil geotécnico do solo no encontro da nova ponte evidenciando um profundo e crítico depósito de solo mole com talude submerso.

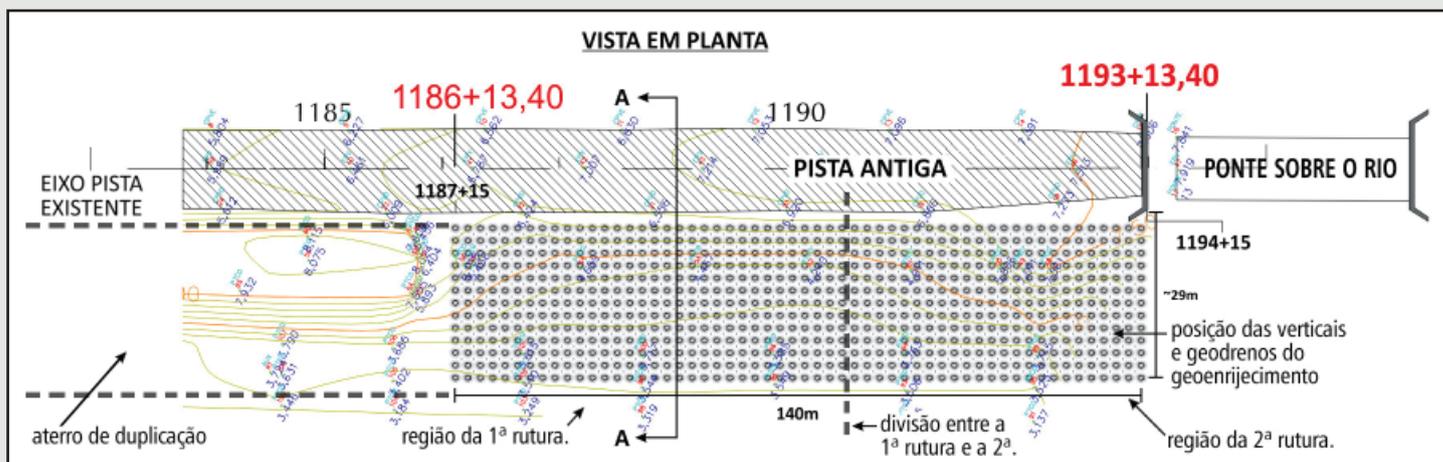


Figura 9 - Vistas em planta da região do encontro onde ocorreram as duas rupturas e o processo de geoenrijecimento.

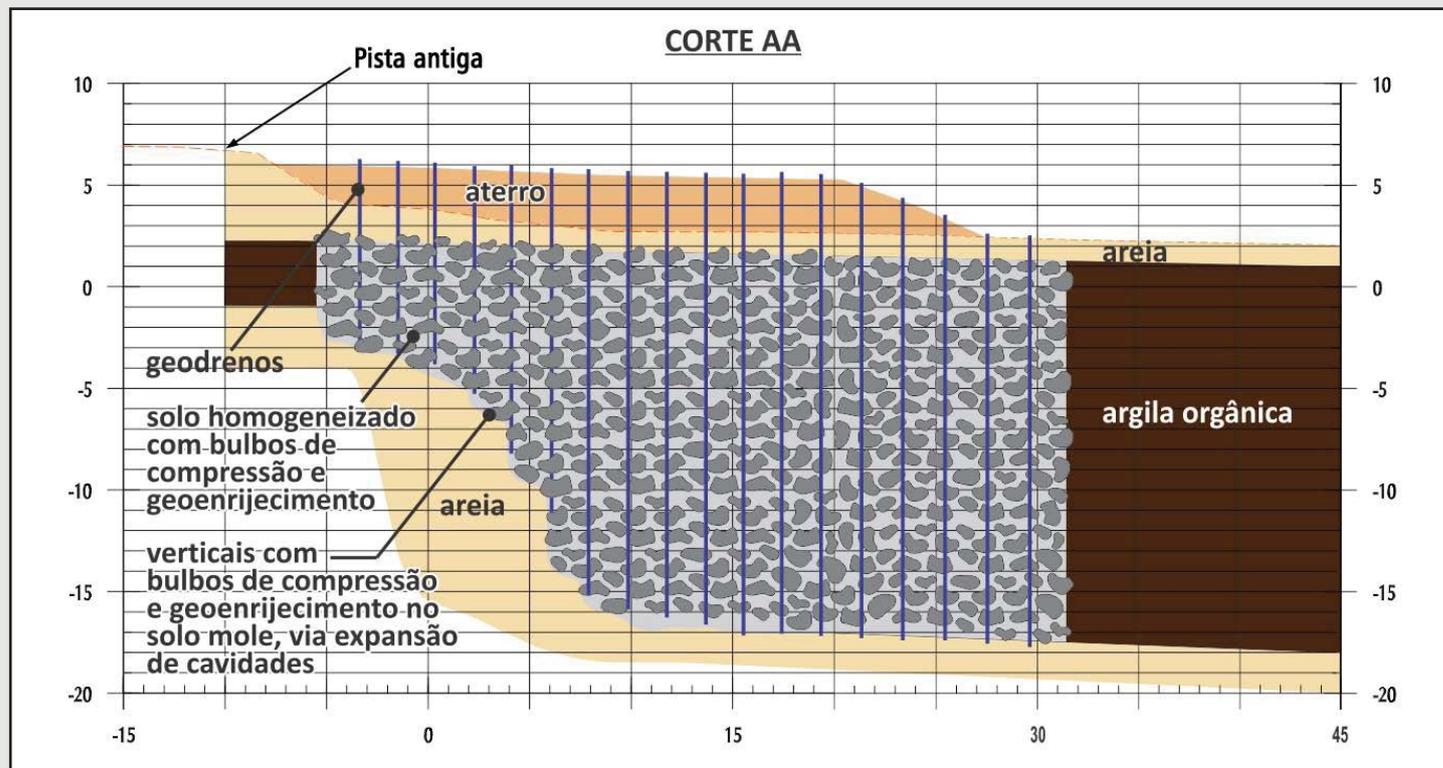


Figura 10 - Vistas em corte da região do encontro onde ocorreram as duas rupturas e o processo de geoenrijecimento.

Nas figuras anteriores, o plano de geoenrijecimento do solo, que permitiria adequar a estabilidade, de todo o contexto da obra, ao mesmo tempo em que eliminaria a compressibilidade existente e os delicados planos de ruptura estabelecidos a cerca de 8m de profundidade. Os trabalhos de geoenrijecimento do solo foram executados em caráter emergencial, considerando-se as características dos processos de ruptura ocorridos, os planos de instabilidades criados, os excessos de poropressão existentes e as necessidades do projeto.

No processo de investigação deste primeiro processo de ruptura, delineou-se um mapa da seção do aterro colapsado, através de medidas da resistência do solo, de modo a se determinar o provável modo de ruptura. Medidas pressiométricas, feitas no local, em diversos locais, estabeleceram o provável modo de ruptura, caracterizado por grandes aberturas, ao longo da zona rompida, com significativo levantamento da borda do aterro, evoluindo para uma modalidade de deslizamento rotacional, confirmado pelas análises pressiométricas



Figura 11 - O geoenrijecimento na região da primeira ruptura.



Figura 12 - O geoenrijecimento na região da segunda ruptura.



Figura 13 - O geoenrijecimento na região da segunda ruptura.



Figura 14 - Fotos da primeira ruptura, devido ao aterro levantado, sem que houvesse qualquer trabalho de melhoramento do profundo depósito de solo mole no local, a 50m da ponte.



Figura 15 - A segunda ruptura ocorreu em direção ao rio, destruindo a nova estrutura da ponte, interrompendo seu fluxo.



Figura 16 - Nesta foto, no lado esquerdo, a remoção do aterro após a 2ª ruptura, ficando evidente o corte efetuado na cabeça das estacas. No outro lado do rio, nota-se, comparativamente, o que foi removido em consequência da segunda ruptura.

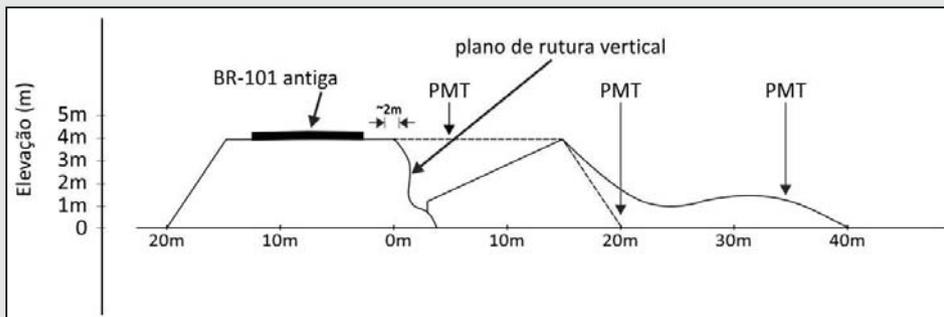


Figura 17 - Seção típica da 1ª ruptura, estabelecendo-se um desnível vertical de cerca de 4m entre a pista antiga e as porções do aterro rompido. As setas verticais indicam as posições das análises pressiométricas realizadas.

posteriormente realizadas. A seção de ruptura provável encontra-se na figura a seguir apresentada. Não houve, parentemente, comprometimento da estrutura da ponte antiga. Esta segunda ruptura, assemelha-se à primeira, exceto pelo desnível criado entre a superfície do terreno e porções do aterro rompido, promovendo camadas plastificadas, bem moles, a cerca de 8m de profundidade. Iniciou-se, então, após a remoção dos aterros rompidos, o processo de geoenrijecimento do solo, pré-estabelecendo-se novos parâmetros de resistência

e rigidez, para o solo de fundação rompido, com atenção especial às camadas de solo formadoras dos planos de ruptura. Esta, talvez, seja a grande vantagem do processo de geoenrijecimento em relação aos métodos de georeforço, que não tratam efetivamente o solo mole, apenas transferem cargas para camadas profundas, deixando toda região do solo, envolvida na cunha de ruptura – camada esta plastificada bem mole – fragilizada e suscetível a outras rupturas. Esta situação de nova ruptura, após

melhoramento do solo com coluna de brita, pode ser apreciada nos trabalhos de Gue & Tan, 2003 e 2004. Paralelamente ao desenvolvimento dos serviços, monitorava-se a condição do novo solo geoenrijecido com os novos parâmetros de resistência e rigidez, com ensaios pressiométricos.



## 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 quadrados de verticais de geoenrijecimento executadas em solos moles com CPR Grouting, para a construção de aterros, estradas, portos, ferrovias e armazenagem.
- CHEN WF (1975) Limit analysis and soil plasticity. Elsevier, Amsterdam.

## A DEFORMAÇÃO NOS SOLOS ORGÂNICOS E TURFOSOS

Enga. Patrícia Tinoco

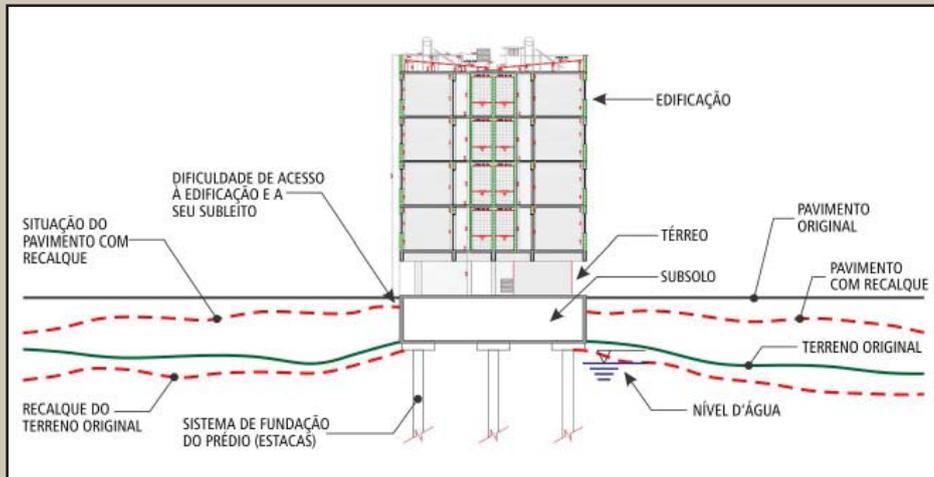
A presença de solos orgânicos e turfosos, caracterizados como solos moles, em projetos de estruturas verticais, significa execução de fundação profunda com estaqueamento. A questão do terreno circundante, no entanto, passa a ser problema já que, invariavelmente o aterro, necessário para estabelecer o greide do projeto, estará carregando o solo mole e, conseqüentemente, promoverá recalques, como apresentado na figura abaixo.



Visão panorâmica das edificações da Vila do Pan (RJ), apresentando recalques e colapso no pavimento. Presença de depósitos de solos moles orgânicos.

Infelizmente, esta é uma situação bastante comum, tanto em áreas residenciais, quanto industriais e comerciais. Esqueça-se que o aterro, necessário ao greide do

empreendimento, gera carga no solo mole que, sem capacidade resistente, promove processos de recalque que acabam por inviabilizá-lo. No caso de projetos horizontais, o desnecessário e equivocado projeto de estaqueamento, muito comum em áreas logísticas, com cargas extremamente leves, vai de encontro ao bom senso, já que na maioria das vezes, o próprio aterro, necessário ao empreendimento, gera cargas superiores ao da própria estrutura a ser construída, estabelecendo-se um sério problema entre a situação interna e externa. Neste particular, fica evidente que o geoenrijecimento do solo, com CPR Grouting, não é só a melhor, mas a única situação viável, pois é preciso, acima de tudo, conter o peso do aterro. Com altos valores de eficiência, o que soluções com geoforço não produzem, pois deixam recalques residuais.



Layout típico da construção de um prédio em terreno com solos moles. Adequa-se a estrutura mas não o solo ao redor. O resultado são recalques generalizados em todo o entorno, ilhando o imóvel.

## SUBSTITUINDO SOLO?



ENEGRAUT  
40 ANOS

Soft Soil Improvement

www.engegraut.com.br  
contato@engegraut.com.br  
tel: 21 - 3154-3250

Existe maneira mais moderna, inteligente e barata para consolidar solos moles em grandes áreas.

# GEOENRIJECIMENTO

Soft Soil  
Group

**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](mailto:contato@softsoilgroup.com.br)

**SOFT SOIL BRAZILIAN REVIEW**

Diretor Editorial

**ENGº JOAQUIM RODRIGUES**

[joaquim@softsoilgroup.com.br](mailto:joaquim@softsoilgroup.com.br)

Diretor Adjunto

**ENGº ALESSANDRO CIRONE**

[alessandro@softsoilgroup.com.br](mailto:alessandro@softsoilgroup.com.br)

Publicidade

**PATRICIA TINOCO**

[patricia@softsoilgroup.com.br](mailto:patricia@softsoilgroup.com.br)

Assinatura, Livros e Vídeos

**CLEIDE FERREIRA**

[cleide@softsoilgroup.com.br](mailto:cleide@softsoilgroup.com.br)

Editor de Arte

**ALEX CRISPIM**

Reprints Editoriais

**MARIANA TATI**

[mariana@softsoilgroup.com.br](mailto:mariana@softsoilgroup.com.br)

Solicite reimpressões de reportagens

ou artigos publicados

---

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



06 de Fevereiro de 2019

**International Conference on  
Geotechnics Fundamentals and  
Applications in Construction:  
New Materials, Structures,  
Technologies and Calculations  
(GFAC 2019)**

**Russia, Saint Petersburg**

[https://www.issmge.org/events/  
international-conference-on-  
geotechnics-fundamentals-and-  
applications-in-construction-new-  
materials-structures-technologies-  
and-calculations-gfac-2019](https://www.issmge.org/events/international-conference-on-geotechnics-fundamentals-and-applications-in-construction-new-materials-structures-technologies-and-calculations-gfac-2019)

---

21 e 22 de Fevereiro, 2019

**FloripaTun - Seminário  
Internacional de Túneis**

**Florianópolis, SC**

[https://floripatun.tuneis.com.br/  
inscricao/floripatun-2018/](https://floripatun.tuneis.com.br/inscricao/floripatun-2018/)

---

29 e 30 de março de 2019

**Conferência em Tecnologia de  
Fundações 2019**

**Vitória, Espírito Santo**

[abms.es@gmail.com](mailto:abms.es@gmail.com)

---

29 e 30 de Maio, 2019

**Conferência em Tecnologia de  
Fundações 2019**

**Vitória - ES**

[abms.es@gmail.com](mailto:abms.es@gmail.com)

---

16 e 17 de Maio, 2019

**CBPE 2019 - XI Congresso  
Brasileiro de Pontes e Estruturas  
São Paulo - SP**

<http://www.abece.com.br/>

14 a 16 de Agosto, 2019

**Regeo 2019 (IX Congresso  
Brasileiro de Geotecnia  
Ambiental) e o Geossintéticos  
2019 (VIII Congresso Brasileiro de  
Geossintéticos)**

**São Carlos - SP**

[http://www.regeossinteticos2019.  
com.br/](http://www.regeossinteticos2019.com.br/)

---

20 a 25 de Setembro, 2019

**ISRM 2019 - International  
Congress of Rock Mechanics  
Foz do Iguaçu - PR**

[http://www.isrm2019.com/  
message.php](http://www.isrm2019.com/message.php)

---

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](http://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](http://www.16arc.org)

---

17 a 20 de novembro de 2019

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

**Cancún - México**

[panamerican2019mexico.com](http://panamerican2019mexico.com)

# CONHEÇA SOLOS ORGÂNICOS E TURFAS IV E A IMPORTÂNCIA DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DOS SOLOS ORGÂNICOS E TURFOSOS.



Figura 1 - A presença de solos orgânicos é uma constante nos serviços de melhoramento de solos.

**S**olos orgânicos e turfosos são conhecidos por sua alta compressibilidade e baixa resistência cisalhante. O acesso a terrenos com este tipo de solo, à superfície, é extremamente difícil, na medida em que o nível d'água do solo está próximo à superfície ou mesmo acima, ou seja, um dos motivos principais de se evitar construir nestes locais. Infelizmente, esta condição costuma abranger grandes extensões de terra.

Torna-se, portanto, necessários obter parâmetros para estes solos, de modo a caracterizar sua resistência e compressibilidade, objetivando projetos diversos, seja portuários, rodoviários, logísticos e etc.

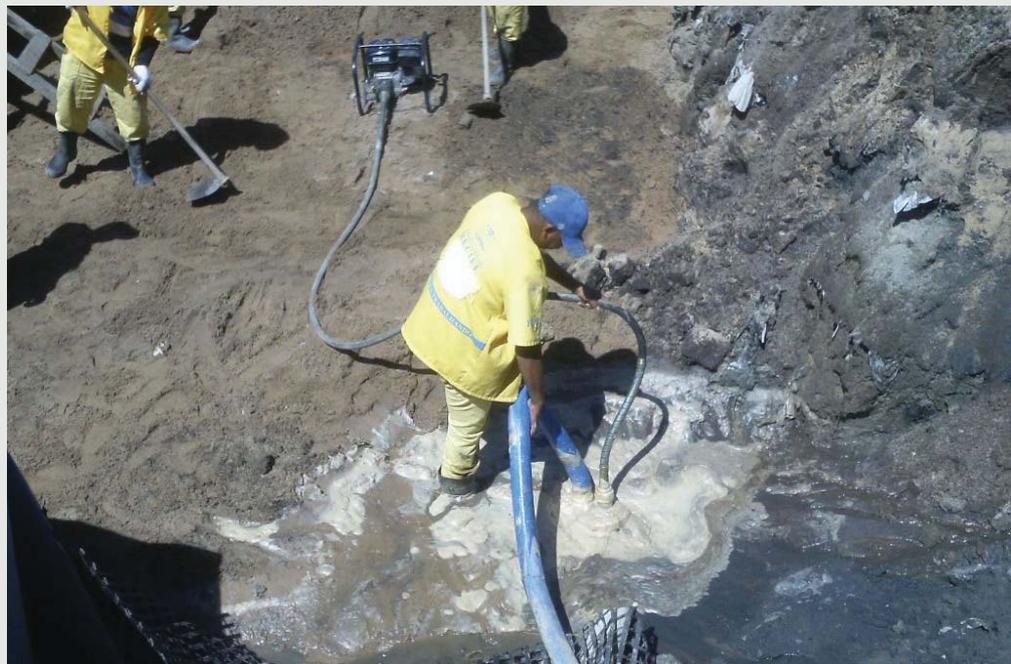


Figura 2 - Dificuldade de se trabalhar em terrenos com solos moles orgânicos e nível freático alto.



A resistência ao cisalhamento do solo é um dos principais parâmetros geotécnicos, especialmente útil para o período de duração da obra, objetivando sua estabilidade e capacidade de carga. Se esta resistência máxima é ultrapassada, haverá recalques ou mesmo ruptura do solo. O critério de ruptura é desenvolvido conhecendo-se a relação tensão-deformação, sempre à luz da teoria da elasticidade. A quantidade de deformação, que ocorrerá, dependerá da intensidade do carregamento aplicado, da natureza do solo, do seu histórico de tensões até então presente no local, do seu índice de vazios e, claro, da maneira como o cenário de tensões se apresenta no solo.



Figura 3 - É completamente desaconselhado equiparar, geotecnicamente solos orgânicos/turfas, com solos minerais. Torna-se necessário avaliar, para o primeiro, sua intensidade e características... já que sua resistência e compressibilidade são únicas ou diferenciadas.

Solos orgânicos e turfosos, rotineiramente, apresentam baixa resistência cisalhante e sua determinação, no aspecto geotécnico, é difícil devido a dependência de fatores como a origem do solo, teor de umidade, matéria orgânica e grau de humificação. O amolgamento da amostra é, como nos solos moles, um problema inerente, que compromete a resistência cisalhante.

À medida em que se processa a consolidação do solo orgânico/turfoso, ocorrerá aumentos significativos de sua resistência cisalhante. No entanto, este parâmetro poderá diminuir, à medida em que aumentam o teor de umidade e a decomposição da matéria orgânica ali presente. O aumento do teor mineral, por outro lado, faz aumentar sua resistência. Solos orgânicos e, principalmente os turfosos, são caracterizados como materiais não coesivos que se comportam com base no atrito entre suas partículas, devido ao teor de fibras e sua orientação espacial. Assim, ângulos de atrito com valores elevados, na verdade, não significam uma resistência cisalhante superior, já que as fibras nem sempre são sólidas mas, quase sempre, saturadas de água e gás.

A presença das fibras modificará o comportamento da resistência, exatamente pelo fato de que comportam-se como verdadeiras armaduras, promovendo e induzindo anisotropia. Determina-se, *in situ*, a resistência cisalhante destes solos utilizando-se a palheta (Vane test), ao invés de coletar-se infrutíferas amostras que pouco ou, nada representam. O pressiómetro é um ensaio adequado (Culloch, 2006). Com estas amostras, no laboratório, poder-se-á

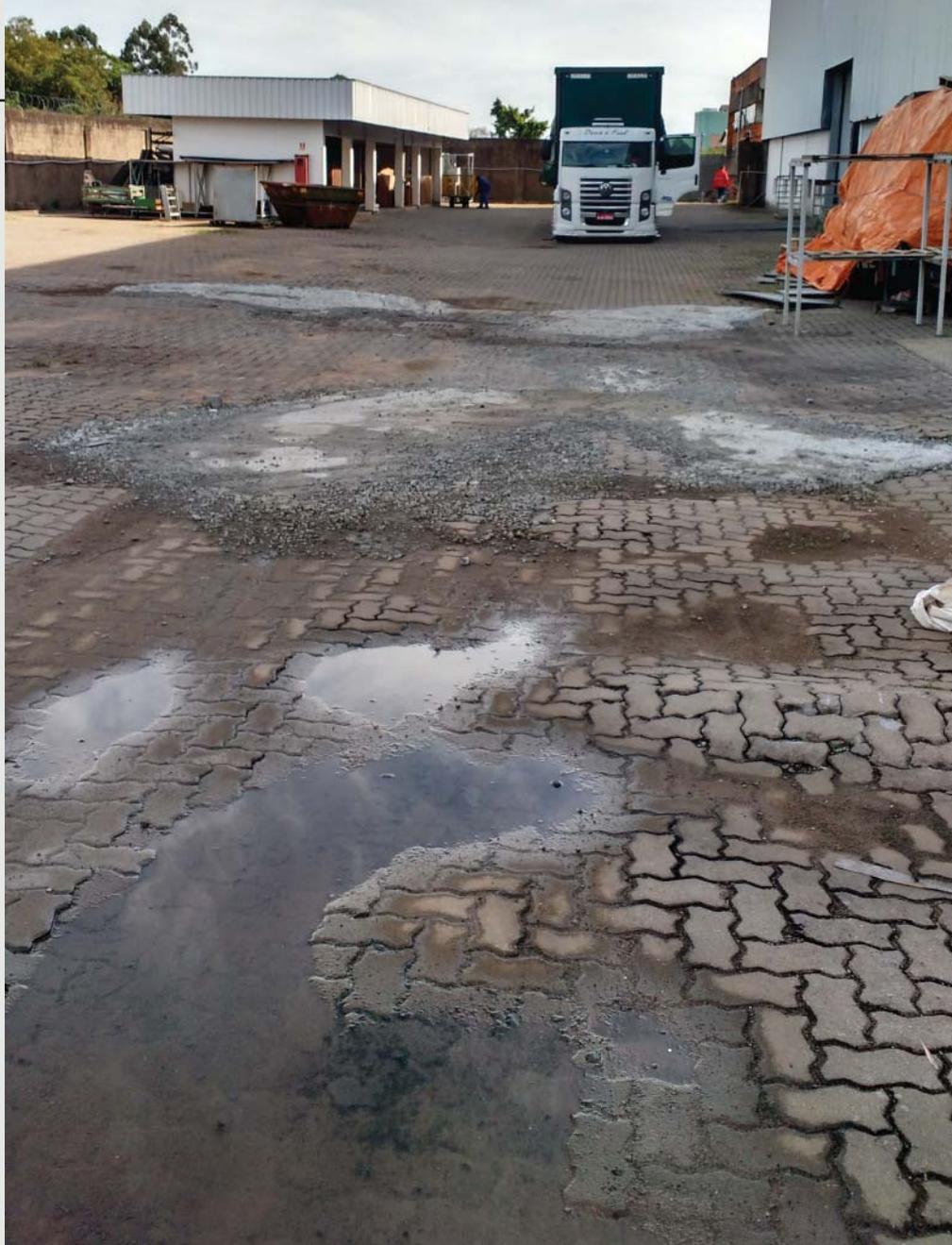


Figura 4 - Áreas de empreendimentos logísticos, rotineiramente, apresentam solos moles e a presença de matéria orgânica e turfa que, mais cedo ou mais tarde, promovem recalques...

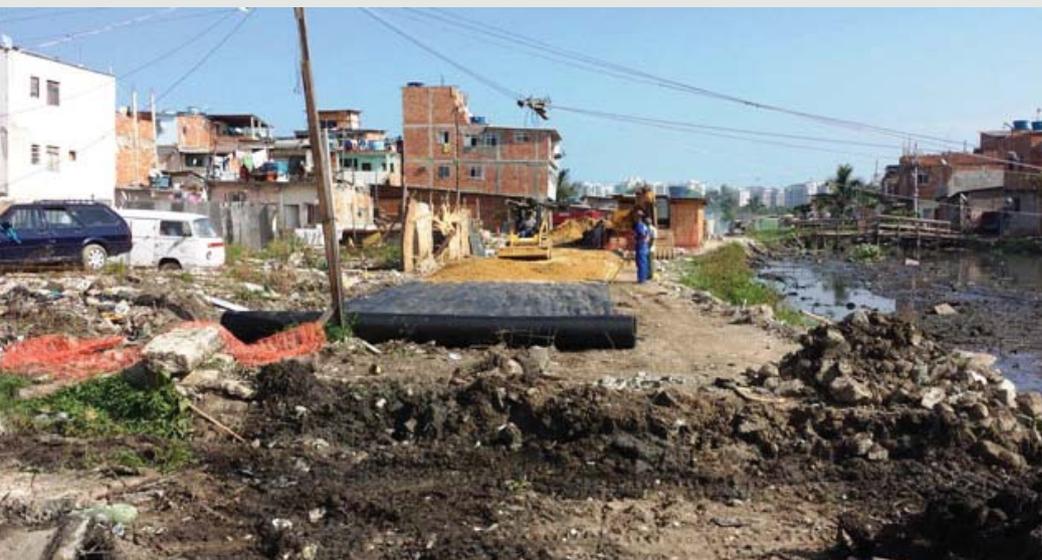


Figura 5 - ... assim como em comunidades, o que torna qualquer tipo de melhoramento inespecífico extremamente difícil.

executar o teste de cisalhamento direto, de modo a se determinar a resistência cisalhante não drenada do solo orgânico fibroso.

Na condição consolidado-não drenado, frequentemente, utiliza-se o ensaio triaxial para se obter a resistência cisalhante, exatamente porque é difícil de interpretar os resultados, já que as fibras funcionam como armaduras horizontais que, literalmente, impedem a ruptura do solo orgânico ou turfoso no teste drenado, pois o ambiente é de baixa permeabilidade, o que exige diversos dias para se finalizar. Edil e Dhowian, 1981, além de Landva e La Rochelle, 1983, informam que o atrito interno efetivo  $\phi'$ , do solo orgânico/turfoso, geralmente, é maior do que o dos solos inorgânicos.

# LANÇAMENTO DO LIVRO

## MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquirar seu exemplar através do email [ofitexto@ofitexto.com.br](mailto:ofitexto@ofitexto.com.br)  
ou pelo site [www.lojaofitexto.com.br](http://www.lojaofitexto.com.br)



Figura 6 - Após o geoenrijecimento, com o processo de compressão radial imposto, pela expansão de cavidades, a matéria orgânica fica confinada e adensada.

Ou seja, o ângulo de atrito não drenado dos solos orgânicos/turfosos amorfos e fibrosos varia de 27 a 32°, sob pressão normal de 3 a 50kPa. Por outro lado, solos orgânicos/turfosos granulares amorfos, o atrito interno efetivo é 50°, e na condição fibroso varia de 53 a 57°.

A determinação da resistência cisalhante não drenada é, também, importante porque solos orgânicos/turfosos situam-se, que sempre, abaixo do nível d'água do solo. Sua resistência ao cisalhamento, normal-

mente muito baixa, pode variar de 3 a 5 kPa, muito semelhante aos solos inorgânicos moles. Noto, 1991, sugere um fator de correção de 0,5 para os valores dos testes com solos orgânicos cujo limite de liquidez seja superior a 200%.

De acordo com Hanzawa, 1994, o comportamento da resistência cisalhante destes solos é altamente anisotrópica e concordante com sua composição e seu estado de tensões. Todo o conteúdo é pouco, portanto, ao se obter a resistência cisalhante do solo

pois, será fundamental para o bom andamento da obra, suportando os equipamentos que chegarão, a realização do aterro necessário e, finalmente, a construção do empreendimento. Portanto, se solos argilosos moles já impõem cuidado, quando do dimensionamento do futuro projeto, com a presença de solos orgânicos e turfosos o cenário piora, não dando qualquer margem para erros ou omissões. De forma característica, fornecem valores reduzidos de  $k_0$ , comparado às argilas inorgânicas.

Finalmente, poder-se-á manter níveis de resistência cisalhante, com grandes deformações sem, no entanto, ocorrer comportamentos de pico. No geral, o que há é uma grande incerteza quando se apresentam solos orgânicos e/ou turfás, já que não se sabe se funcionam com base no atrito, como as areias, ou coesivo, como as argilas.



### REFERÊNCIAS

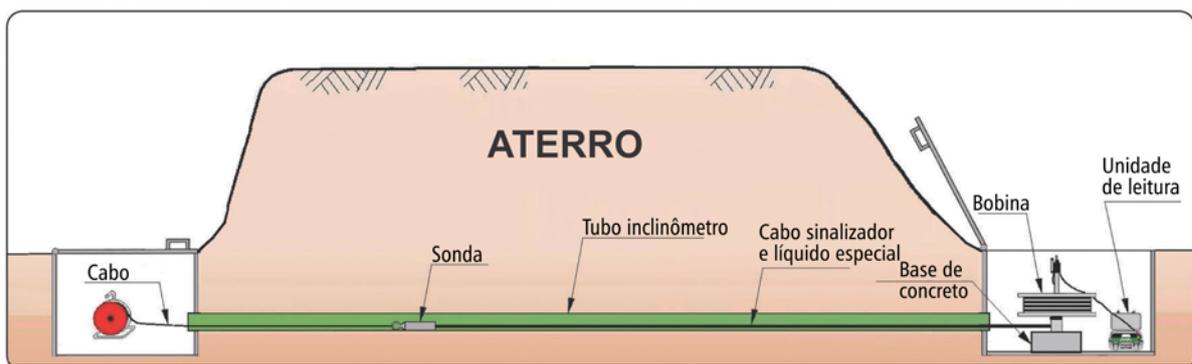
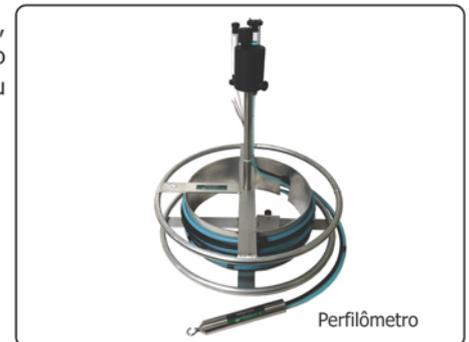
- Thomas Kim é engenheiro civil e trabalha com melhoramento de solos moles.

## 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 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.

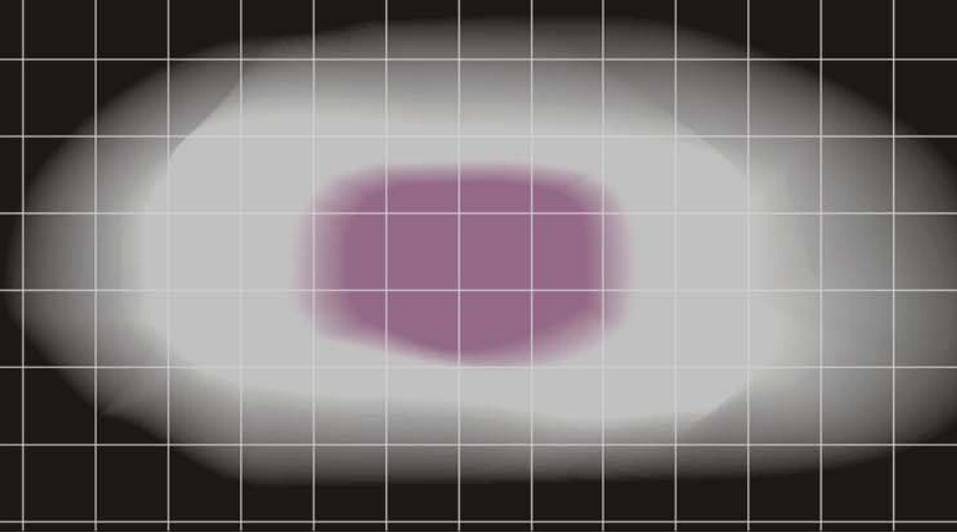


Instalação do Perfilômetro

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



# contaminação de solo?

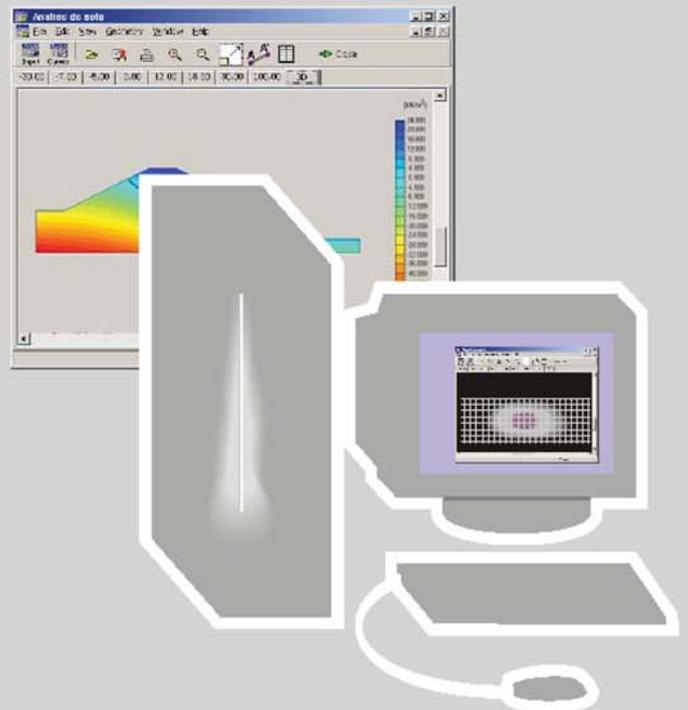


O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



[www.engegraut.com.br](http://www.engegraut.com.br)



# O MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES COM A UTILIZAÇÃO DE COLUNAS, OU GEOREFORÇO. CONHEÇA SUAS PARTICULARIDADES.

O processo de georeforço, diferentemente do geoenrijecimento, baseia-se no conceito de transferência de cargas para camadas de solo mais resistentes. É composto por elementos verticais resistentes, denominados inclusões colunares, seguido da execução de plataforma de transferência de carga (PTC) para efetuar o transporte

da carga do aterro e do empreendimento para as colunas. Segundo o proceedings of the second BGA international conference on foundations, ICOF 2008 e Andromeda/Briancon, 2008, “o sistema de melhoramento do solo mole, a base de mecanismos de transferência de carga, com PTCs, suportadas por colunas ou estacas, é so-

lução alternativa adotada para resolver o problema do solo mole. Sua principal vantagem está em reduzir os recalques total e diferencial, transferindo a carga do aterro e da estrutura, a partir da superfície PTC para substratos rígidos através de malha de colunas ou estacas”. Os mecanismos de transmissão de cargas são agrupados com



Figura 1 - Sistema de melhoramento de solos moles à base de colunas de brita: qualquer problema na transferência de cargas pelas colunas, tipo embarrigamento, ocasionará recalques significativos.

os seguintes métodos:

1. Coluna de brita.
2. Deep soil mixing.
3. Jet Grouting.
4. Estacas (aterro estruturado).

Todos estes métodos, com base em elementos colunares, recebem as cargas, transmitidas pela PTC, tanto pelo efeito de arco, como da geogrelha, transferindo-as para a camada de solo resistente. Estes elementos colunares, ao receberem as cargas, ou grande parte, minimizam futuros recalques já que atuam diretamente no solo mole. Adicionalmente, minimizam possíveis deslocamentos horizontais, provocados pelo natural cisalhamento do solo mole.

### História dos aterros suportados por colunas

Nos países Escandinavos, aterros sobre estacas já eram bastante utilizados, como alternativa à construção de pontes ou para a utilização de drenos de areia (Rathmayer, 1975). De fato, o Regulamento do National



Figura 2 - Sistema de melhoria de solos moles à base de colunas com mistura do solo (DSM): os espaços entre colunas, onde permanece o solo mole, pode apresentar recalques.





Figura 3 - Colunas com mistura do solo (DSM) é uma técnica de georeforço, que pode ser usada para melhorar as propriedades do solo, como um todo.

Swedish Road Board, 1983, recomenda o uso de estacas ou colunas para construção de aterros sobre solos moles, com mais de 6 metros de profundidade (Holmberg, 1978).

Mais tarde, surgiram estacas com capitéis que apresentavam maior área à superfície, permitindo reduzir o intervalo do solo carregado, entre colunas e, desta forma, aumentando seu espaçamento (Abdullah, 2006).

A ideia de utilizar geossintéticos sobre a cabeça das estacas ou colunas, adveio da dificuldade da instalação de estacas inclinadas em solos moles, até a camada resistente. Este método, provou ter alguma eficiência na prevenção da instabilidade horizontal do aterro. O trabalho, então desenvolvido por Holtz e Massarsch, 1976, foi pioneiro.

Reid e Buchanan (1984) documentaram que a técnica de georeforço de aterros so-

bre colunas, utilizando-se geossintéticos, foi aplicada para minimizar recalques diferenciais nos encontros de pontes com presença de estacas. Os trabalhos de Jones (1990), no Reino Unido, culminaram com a introdução dos aterros sobre estacas ou colunas utilizando-se geossintéticos, conforme a British Standard BS8006, de 1995. A utilização de geossintético passou a ser, portanto, item obrigatório em toda PTC que complemente qualquer solução de georeforço utilizando-se colunas ou estacas. Aterros construídos sobre solos moles induzem carregamento significativo sobre área extensa. A técnica de georeforço baseia-se em colunas que transferem a carga para camadas de solos resistentes. Este tipo de técnica de melhoramento de solo combina três componentes:

- O material do aterro.
- A plataforma de transferência de cargas (PTC).
- E elementos verticais que interligam a PTC com o substrato rígido.

Configurações opcionais incluem geogrelhas dentro da PTC ou sobre a cabeça das estacas. As cargas do aterro é parcialmente transferida para as estacas por arqueamento, que ocorre através do material granular da PTC, Alexiew e Vogel, 2002. Este efeito promove um efeito de homogeneização e conseqüente redução dos recalques na superfície. O atrito ao longo das colunas/estacas também está envolvido no mecanismo citado, promovendo uma complexa interação solo/estrutura, Jenck et al, 2005; Smith, 2005; Cambarieu, 2008. Embora a técnica de georeforço seja amplamente utilizada, seus mecanismos ainda são muito pouco compreendidos, Cambarieu, 2005. Muitos pesquisadores continuam desenvolvendo mecanismos para entendi-

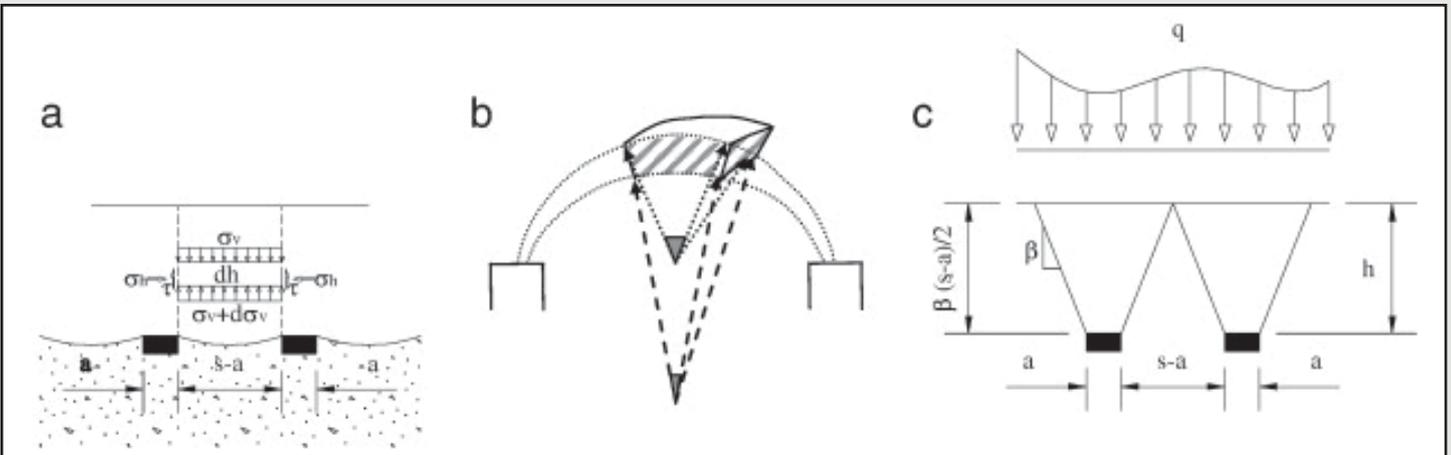


Figura 4 - Métodos analíticos.

mento do seu comportamento, entretanto, a compreensão do comportamento do solo reforçado em pequena escala não consegue reproduzir o efeito da interação solo/estrutura, Briançon e Simon, 2010.

Outros métodos analíticos propõem uma idealização do efeito de arqueamento entre colunas/estacas, figura 4.

Neste caso, o fenômeno do arqueamento, que desenvolve-se no aterro, supõe-se com complexas formas de domo semi-cilíndrico, Hewlett e Randolph, 1988, ou Conchas esféricas, Kempfert et tal, 2004, ou conchas espiraladas, Naughton, 2007.

Segundo Nunez, Briançon e Dias, 2013, todos os métodos analíticos testados superestimam o efeito de arqueamento na região sem PTC. Quando incluída, a eficiência das tensões atuantes aumenta substancialmente. Por outro lado, a não utilização de PTC, promove um intenso e perigoso nível



Figura 5 - Aterro estaqueado sobre plataforma de transferência de cargas: grandes recalques sob a plataforma, impondo enormes tensões na geogrelha e nas cabeças das estacas.

de tensões sobre colunas e/ou estacas naquela região. Alguns pesquisadores informam que o real comportamento da geogrelha não pode ser corretamente reproduzido nas simulações numéricas.

### Tipos de georeforços

#### Colunas de brita

Caracteriza-se pela transferência das cargas, através das colunas de brita, para um

**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](http://www.engegraut.com.br)**

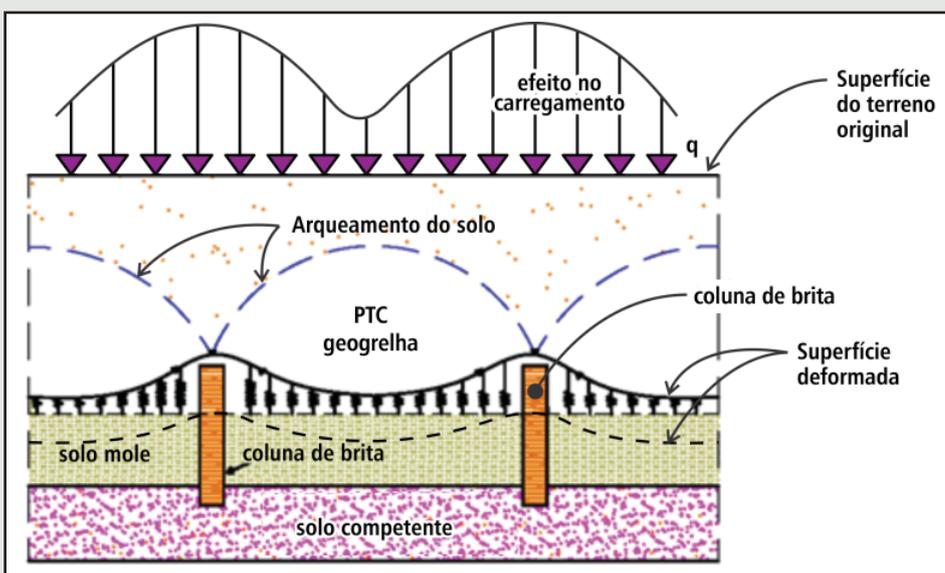


Figura 6 - Esquema do geoforço com colunas de brita.

substrato mais resistente tendo, idealmente, comprimento em torno de 6m e, no máximo 10m abaixo da superfície do terreno com características de mole a fofo (NYS-DOT\* Geotechnical). A utilização de PTC

é obrigatória, assim como o solo mole, em torno das colunas de brita, deverá fornecer suporte lateral suficiente (mínimo de 15 kPa), de modo a impedir embarrigamento excessivo em qualquer região ao longo da

coluna (NYSDOT Geotechnical Design-Manual). Na figura, a seguir, apresenta-se o sistema de geoforço à base de coluna de brita.

#### Viabilidade e limitações

A capacidade de carga do sistema a base de colunas de brita atribui-se às propriedades do atrito da massa de brita e da coesão/atrito do solo mole com as colunas, da flexibilidade ou rigidez para transmitir tensões para o solo mole, da magnitude das pressões laterais suportadas pelo solo envolvente além de, finalmente, da interação de todos estes mecanismos.

\*NYSDOT –York State Department of Transportation.

#### Princípios básicos e análise do geoforço com colunas de brita

Colunas de brita tem origem, evidentemente, em sua capacidade axial, a partir das pressões passivas existentes no solo

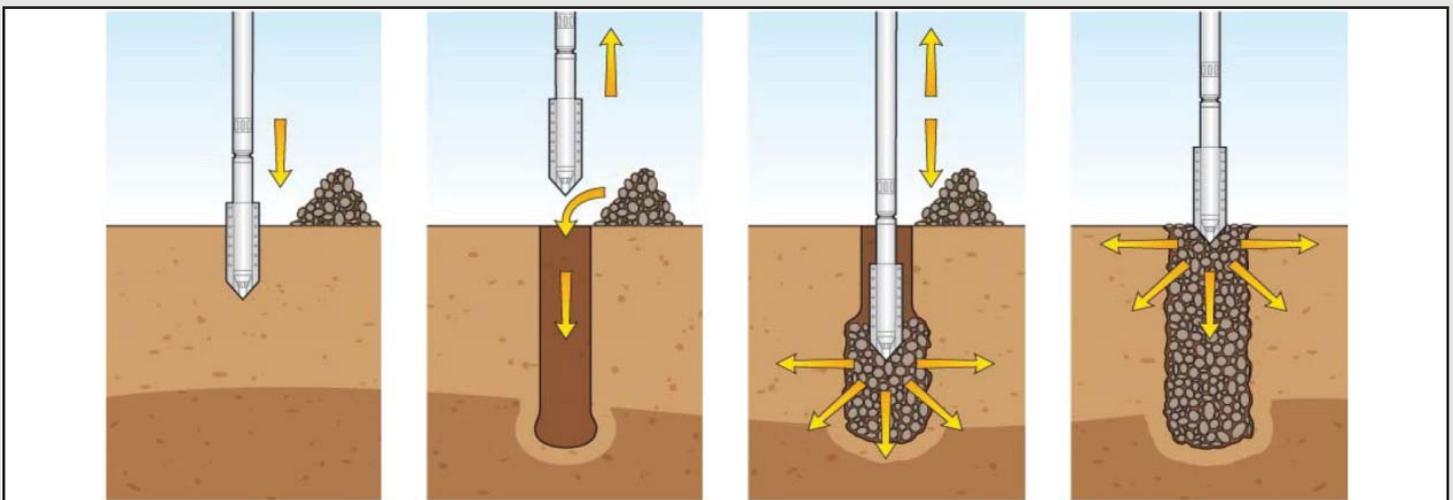


Figura 7 - Método de alimentação a seco pelo topo (Taube, 2001).

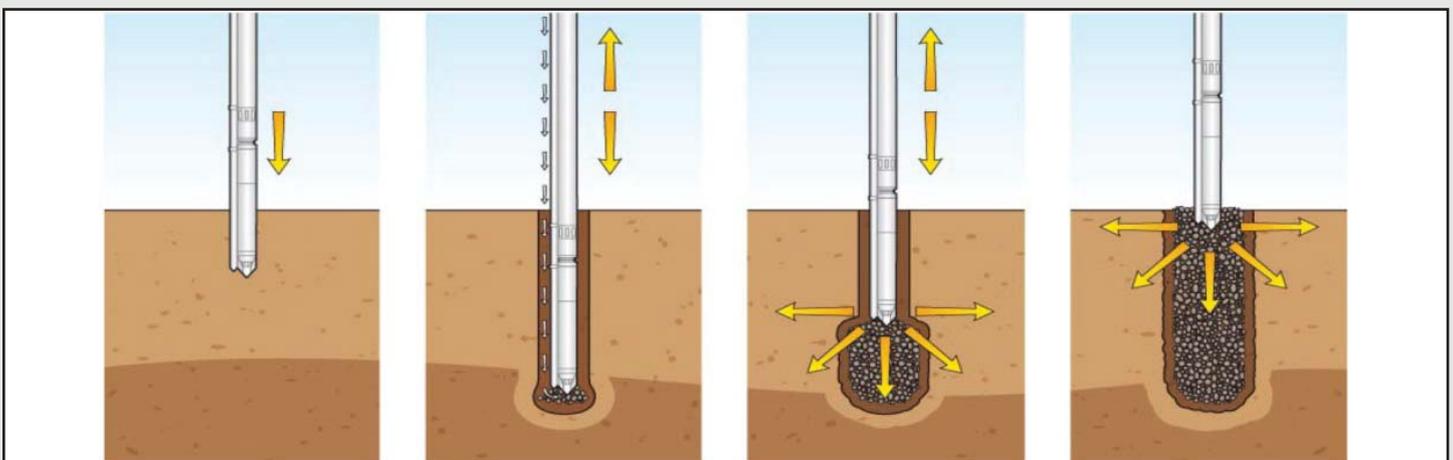


Figura 8 - Método de alimentação a seco pelo fundo (Taube, 2001).

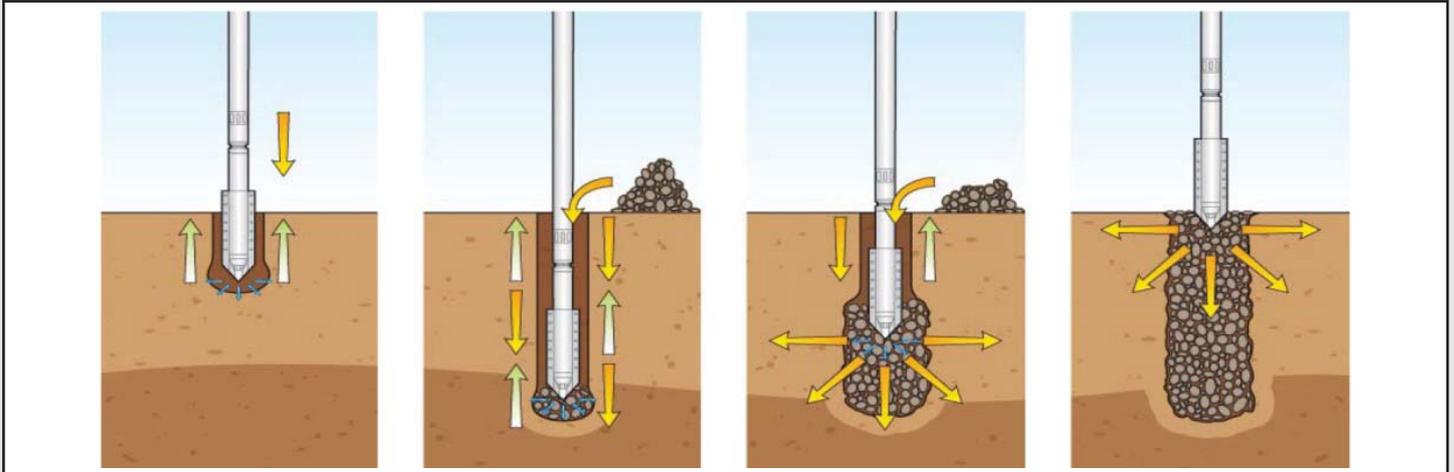


Figura 9 - Método de alimentação úmida pelo topo (Taube, 2001).

mole, manifestadas pelo efeito do embarrigamento das colunas e do aumento da resistência contra deformações laterais, motivadas pela carga imposta. A teoria da transferência de carga, a estimativa da capacidade suporte e recalque total/diferencial, foi desenvolvida por vários pesquisadores (Malarvizhi, 2004). Dois são os métodos de instalação das colunas de brita, o primeiro é o sistema de vibro-substituição, com método de alimentação úmida pelo topo e, o segundo, um sistema de vibro-deslocamento, com método de alimentação à seco, pelo topo ou pelo fundo do tubo, conforme figuras 7 a 9.

As colunas, formadas com material granular, funcionam como geodrenos que, com o tempo, promovem alguma consolidação do solo mole ao redor, reduzindo seu volume e provocando mais recalques, até o momento em que há “entupimento” nesta drenagem. Com o advento da utilização do

encamisamento com geotêxtil, melhora a condição de ruptura por embarrigamento, no entanto, fica susceptível a desaprumos, na medida em que alguma camada de solo mole, intermediária, apresenta pouca ou nenhuma resistência, o que é muito comum. Não é recomendado para profundidades de depósitos de solos moles superiores a 10m, devido a total ausência de suporte lateral. Esta solução não deve ser utilizada em solos argilosos com valores de sensibilidade superior a 5.

Segundo o NYSDOT, Geotechnical Design Manual, a eficácia da transferência das cargas do aterro e do empreendimento para as colunas de brita dependerá, fundamentalmente, da PTC feita com solo grosso e do suporte lateral oferecido pelo solo mole circundante, ou seja, por sua resistência cisalhante não drenada. De acordo com normas alemãs, esta solução só poderá ser empregada quando o solo apresentar

resistência superior a 20kPa. A presença de qualquer camada muito mole, solo orgânico ou turfa inviabilizará o método, já que faltará suporte lateral e, conseqüentemente, ocorrerá forte embarrigamento com incidência de recalques proibitivos. De um modo geral colunas de brita são feitas para transferir cargas pelas pontas, descarregando em um substrato resistente. Para melhor aplicação, dever-se-á compreender os vários mecanismos de ruptura que este sistema pode apresentar. São quatro os modos de ruptura deste sistema:

- Ruptura geral por cisalhamento.
- Ruptura local por cisalhamento.
- Ruptura por embarrigamento.
- Ruptura por deslizamento.

Ainda, segundo o “NYSDOT Geotechnical Design Manual”, o processo de ruptura por embarrigamento é o mais comum, considerando-se que é muito frequente



Figura 10 - O processo de melhoramento do solo com coluna de brita.

### Considerações de projeto

De modo avaliar-se a aplicabilidade deste sistema de georeforço para um determinado local e sistema de fundação, faz-se necessário avaliar, primeiro, a performance do solo original para, então, determinar se o sistema irá obter o resultado desejado, em termos de capacidade suporte, densificação, redução de recalque, etc. De maneira simplificada, sugere-se as seguintes medidas na elaboração do projeto:

- Estimar o recalque, na a condição do carregamento proposto, para o solo em sua condição original, utilizando-se métodos de cálculo de recalque convencionais.
- Determinar a redução do recalque, necessária à exigência do projeto, expressa como coeficiente do recalque total, no solo original, recalque no solo com coluna de brita, georeforçado, refere-se ao “coeficiente de recalque” ou “fator de melhoramento”. Este conceito foi desenvolvido por Priebe.
- Determinar, baseando-se na experiência da empresa executora e dados empíricos existentes, se o sistema pode fornecer a redução do recalque necessária. Tipicamente, coeficientes de recalque estão entre 2 e 3 (por exemplo, recalques podem ser reduzidos de um fator entre 2 e 3).
- Determinar a razão de substituição da área (área da coluna dividida pela área do entorno) necessária para proporcionar a redução do recalque necessária. O conceito de razão de substituição, para uma configuração com dois tipos de malha é ilustrada na figura 12.

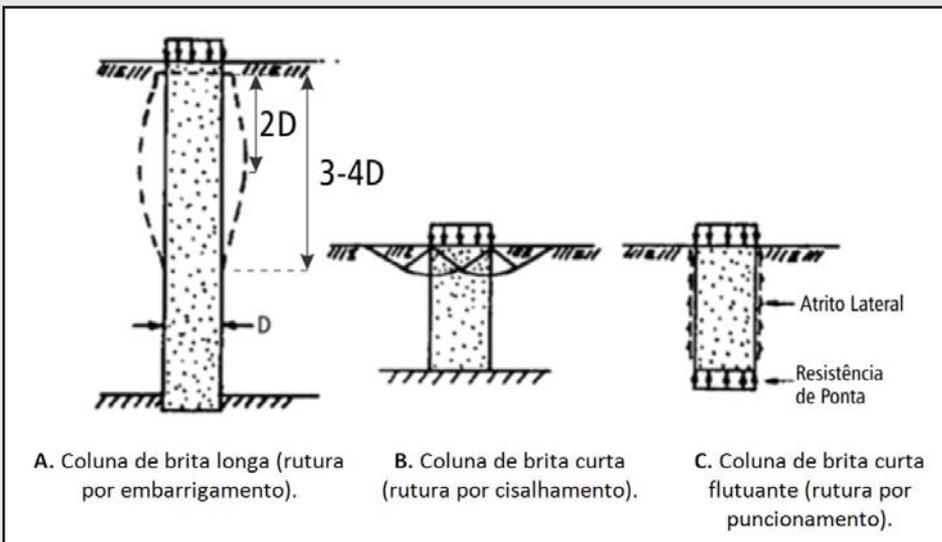


Figura 11 - Mecanismos de ruptura isolados quando em camada de solo mole homogêneo (Ghanti & Kashliwal, 2008).

ocorrer camadas de solo mole com pouca ou nenhuma resistência, o que deflagra muita deformação na forma de recalques. O NYSDOT informa também que se a espessura de alguma camada de solo mole for maior que o diâmetro das colunas não haverá suporte lateral. Os modos de ruptura dependem dos seguintes parâmetros:

- Características das colunas.
  - Tipo de carregamento.
  - Resistência passiva da argila envolvente.
- Como pode ser visto na Figura abaixo, a área com linhas tracejadas é mais provável que tenha efeito de abaulamento.

Nas figuras abaixo, apresentam-se detalhes do padrão de ruptura deste sistema de georeforço, quando executado em camada homogênea de solo mole. Para se calcular a máxima tensão a ser aplicada, torna-se

necessário determinar o ponto da ruptura da tensão, na vertical,  $q_r$ , para uma coluna isolada, com base em suas características e nas do solo após o georeforço, levando-se em consideração os possíveis modos de ruptura ilustrados abaixo, de acordo com Soiez, 1985:

- Ruptura por embarrigamento (critério para determinação das dimensões).
- Ruptura cisalhante generalizada (é rara, apenas quando as colunas são curtas).
- Ruptura cisalhante com efeito de punção (sistema flutuante).

No exemplo B acima, apresenta-se o tipo de ruptura por ausência de capacidade de cargas, surgindo tensões e bulbos que, simplesmente, seguem o tipo de análise de “Meyerhof” e “Terzaghi”.



## AMOSTRADOR PARA SOLOS TURFOSOS



Este é um dos kits para amostragem de solos turfosos.

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

Soft Soil Group

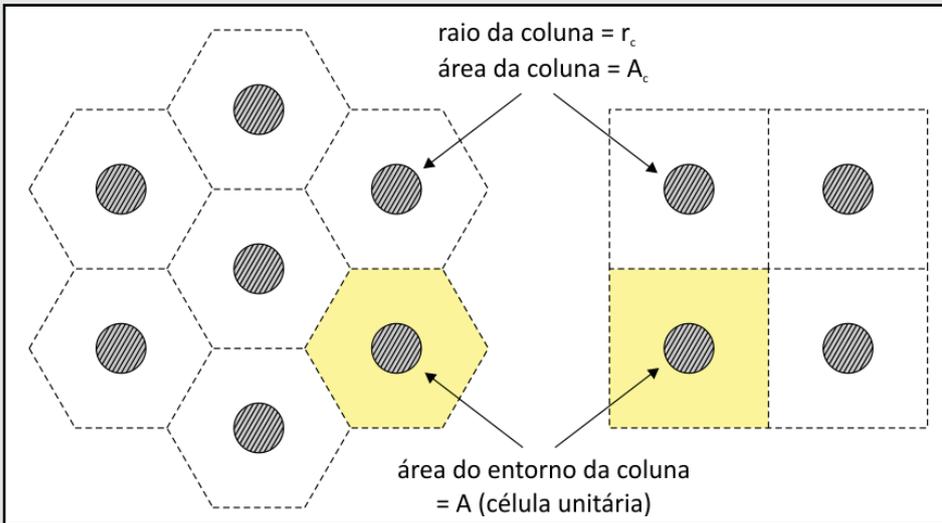


Figura 12 - Esquema de coluna de brita, em malha triangular e quadrada, respectivamente (Cabe, 2007).

- Analisar a capacidade de carga das colunas.
- Determinar o comprimento das colunas, seu diâmetro e espaçamento. Este comprimento é determinado pela avaliação dos cálculos do recalque. O diâmetro de coluna e seu espaçamento são determinados pela experiência do empreiteiro.
- O sistema de georeforço com colunas de brita, reduz de 30 a 50% os recalques originais. O recalque diferencial, por sua vez, é reduzido de 5 a 15% (NYSDOT Geotechnical DesignManual).

A estimativa do diâmetro das colunas é parte crítica do projeto e baseia-se na experiência do empreiteiro, tipicamente empírica, com base no seu método de construção (método seco ou úmido, alimentação pelo topo ou fundo), características vibratórias da sonda, e características da estratigrafia do solo local, no qual as colunas serão implantadas. Conhecendo-se a razão de substituição e a previsão do diâmetro das colunas, o espaçamento é calculado de maneira simples. O diâmetro típico da coluna de brita, com a utilização do método úmido, varia de 60 a 90 centímetros, enquanto pelo método seco apresenta diâmetros maiores, algo como 20 a 40% (Taube, 2002).

- Este sistema só poderá ser utilizado quando a resistência cisalhante média mínima seja igual ou maior que 15kPa, devido à alta probabilidade de colapso do furo.
- Colunas de brita não devem ser utilizadas em solos com sensibilidade maior que 5.
- A determinação da resistência cisalhante do solo compósito pós-coluna de brita dependerá, portanto, do método empíri-

co utilizado e, frequentemente, envolve uma complexa combinação de concentração de tensões nas colunas, uma razão de substituição, a variação das pressões entre linhas de colunas e a média ponderada do peso unitário da matriz colunasolo.



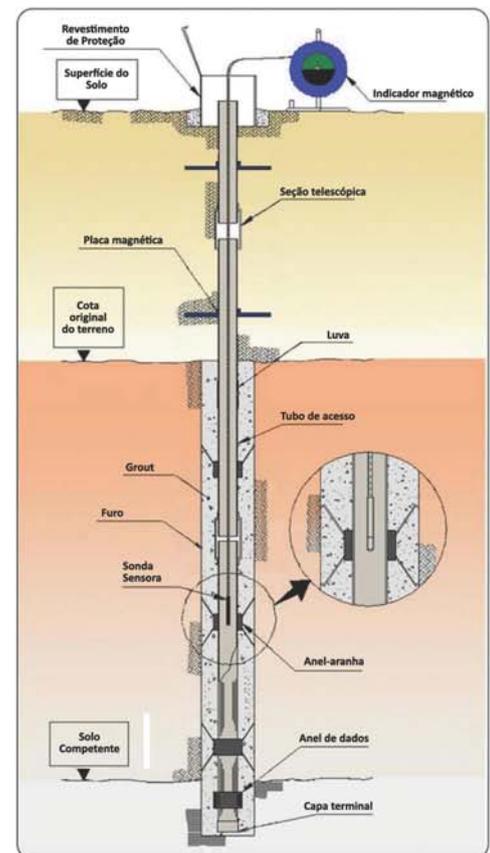
## REFERÊNCIAS

- **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 stability 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.
- 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



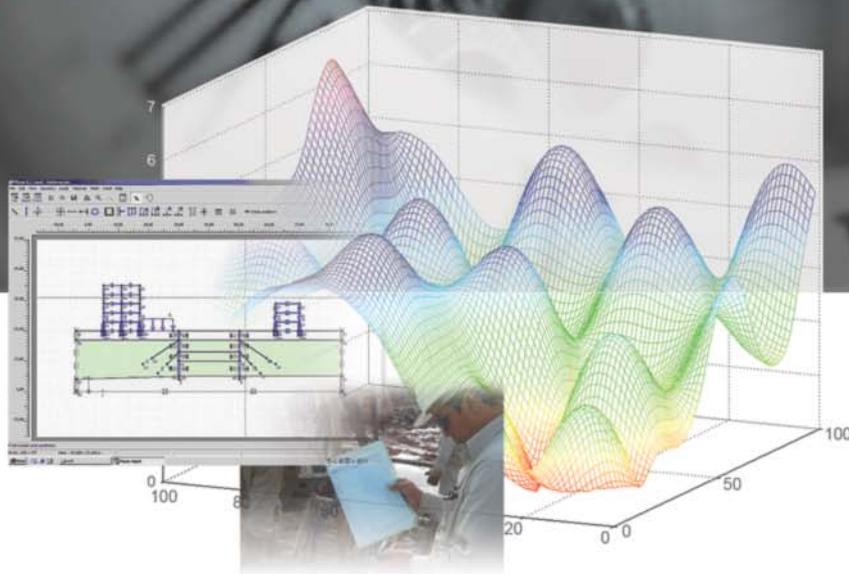
## Descrição

Aranhas magnéticas consistem de anéis sensoriais, indicadores magnéticos, tubo de acesso incluindo anel de placa e anel aranha. De acordo com o tamanho da medição, o indicador magnético é dividido em 6 tipos com 50m, 100m, 200m, 300m, 350m e 500m.



# SOLOS MOLES EXIGE 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](http://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.



# UNIONTECH

TECNOLOGIA DE JUNTAS

UNIONTECH JUNTAS E IMPERMEABILIZAÇÕES LTDA.

Fone/Fax: (11) 2215-1313 / 2215-1325 E-mail: [uniontech@uniontech.com.br](mailto:uniontech@uniontech.com.br)

[www.uniontech.com.br](http://www.uniontech.com.br)