

# Soft Soil Brazilian Review

SOFTSOILBRAZILIANINSTITUTE.COM.BR

SSBI

SOFT SOIL  
BRAZILIAN  
INSTITUTE

NOVEMBRO-DEZEMBRO 2019  
EDIÇÃO AMÉRICA DO SUL

## 4 Solos moles

Empreendimentos logísticos. A arte de construir sobre solos moles.

## 12 Solos moles

Aterros de encontro construídos sobre solos moles. Novos conceitos.

## 18 Recalques

Solo mole e recalques diferenciais na edificação (III)

## EMPREENDIMENTOS LOGÍSTICOS A ARTE DE CONSTRUIR SOBRE SOLOS MOLES



## INFORMAÇÕES SOBRE MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES?

### 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

## Sumário

# Soft Soil Brazilian Review

Edição - Nov / Dez - Nº 08



**SSBI** SOFT SOIL  
BRAZILIAN  
INSTITUTE  
A PRIMEIRA E ÚNICA REVISTA DIGITAL GEOTÉCNICA  
ESPECIALIZADA EM SOLOS MOLES.

# 8

SOLOS MOLES  
Empreendimentos logísticos. A arte de  
construir sobre solos moles. **04**

*Por Joaquim Rodrigues*

SOLOS MOLES  
Aterros de encontro construídos sobre solos  
moles. Novos conceitos **12**

*Por Thomas Kim*

RECALQUES  
Solo mole e recalques  
diferenciais na edificação (III) **18**

*Por Patrícia Tinoco*

## EDITORIAL

Prezado leitor, como programado estamos dando, de novo, ênfase a questão dos empreendimentos logísticos ou construções horizontais quando há presença de solos moles no terreno. No meio geotécnico, ainda há o completo desconhecimento da técnica que, efetivamente, melhora solos moles. Com este cenário, projetistas fazem uso abusivo de estacas, todo o tipo de estacas, neste tipo de estrutura, mesmo sabendo que a estrutura impõe ao solo pequenas tensões, da ordem de 5 ton/m<sup>2</sup>. Só neste ano que finda, fui chamado a dar solução para três casos de empreendimentos logísticos, que foram estaqueados, piso e pilares, outros apenas pilares, no entanto, com o mesmo problema comum: a ação do aterro, necessário ao greide de projeto, carregando o solo mole de fundação, com valores da ordem de 10 ton/m<sup>2</sup>, ou seja, maior que a própria carga da estrutura, impondo deformações verticais, inclusive nas estacas. Junta-se ainda, a este crítico cenário, a presença de taludes submersos que cobram seu preço, impondo deformações laterais no aterro e, conseqüentemente, na estrutura. É preciso entender que o efeito sanduíche, com a presença do solo mole entre pesados aterros e o talude submerso é um importante fator a ser considerado, analisado simplesmente com a elaboração de perfiz geotécnicos. Todas estas considerações precisam ser visualizadas pelo projetista de estruturas horizontais ou logísticos. O confortável e sistêmico uso de estacas, para atravessar solos moles, está sendo minimamente inconseqüente e muito desastroso. É impressionante o nível de deformação, imposto em estruturas construídas nestas condições, seja nas próprias estacas, na estrutura e em toda a volta do empreendimento pois, como de costume, quando carrega (o solo mole) não é a estrutura mas sim, o aterro. Na verdade, quando da existência de taludes submersos, o projetista logístico não percebe que irá dimensionar uma estrutura em que pode já haver processo progressivo de rutura do talude.

Esta situação torna-se cada vez mais comum e frequente, na medida em que cada vez mais construímos sobre terrenos com solos moles, já que é o que sobrou. O melhoramento do solo mole, com Geoenrijecimento, estabelece o padrão de solução para este tipo de empreendimento, caracterizado pela leveza das cargas impostas ao solo, e naturalmente, a interrupção do erro sistemático de se estaquear.

Joaquim Rodrigues

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

# EMPREENDIMENTOS LOGÍSTICOS.

A arte de construir sobre solos moles.

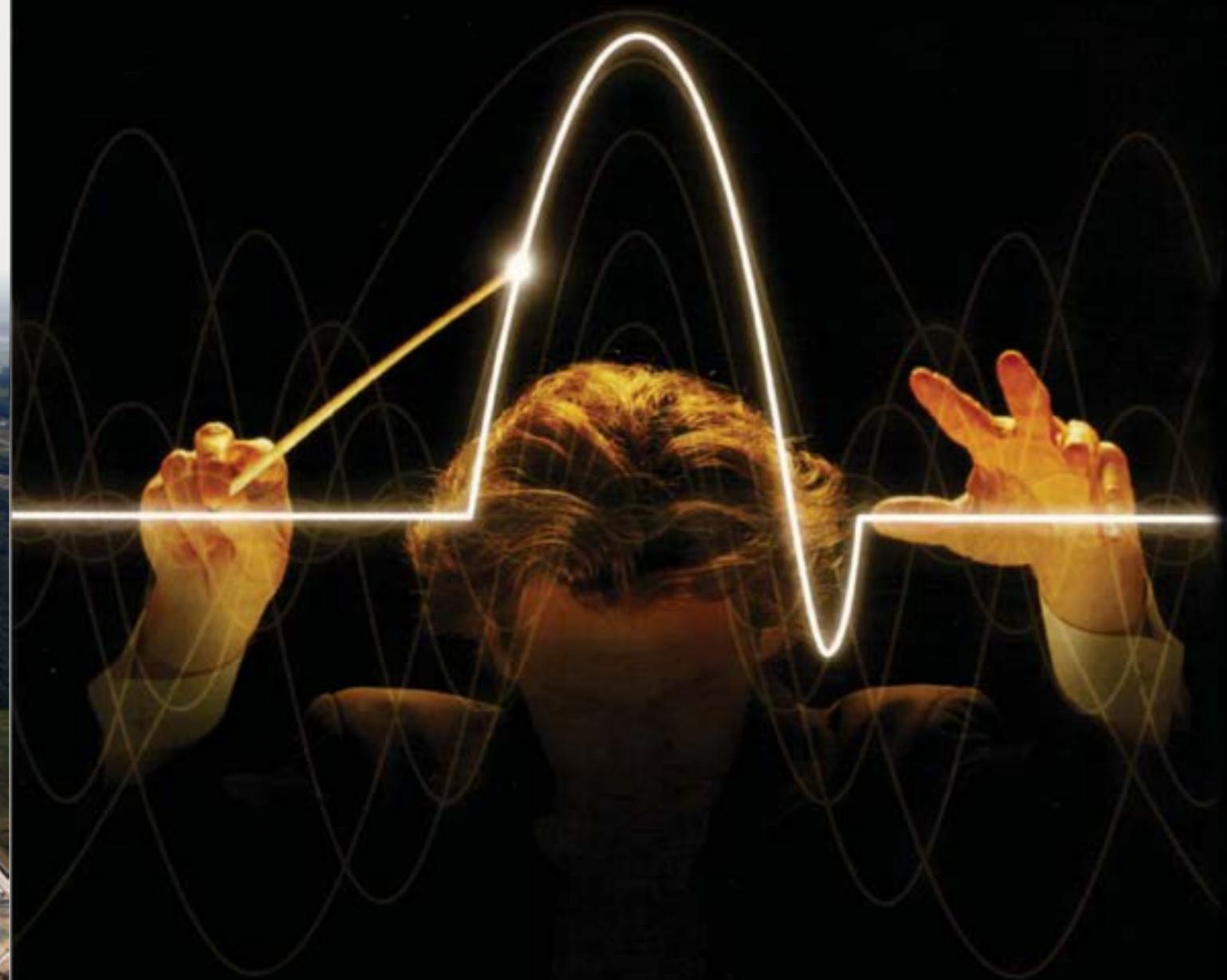


Figura 1 - A presença de solo mole tornou necessário serviços de geoenrijecimento para construção da fábrica de carros estrangeiros, no sul do país.

**N**um cenário de intensa transformação, impulsionado por avanços tecnológicos diários e acirrando a concorrência mundial, a logística tornou-se área central para empresas. A internacionalização das industriais, no mundo global, amplia cada vez mais a importância da logística, na medida em que mais custos, principalmente relativo ao transporte, representam parcela expansiva no custo total das empresas. Neste cenário,

Figura 2 - Os serviços de melhoria do solo com Geoenrijecimento objetivou modificar a condição do solo para atender as diversas áreas da fábrica de carros.

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)

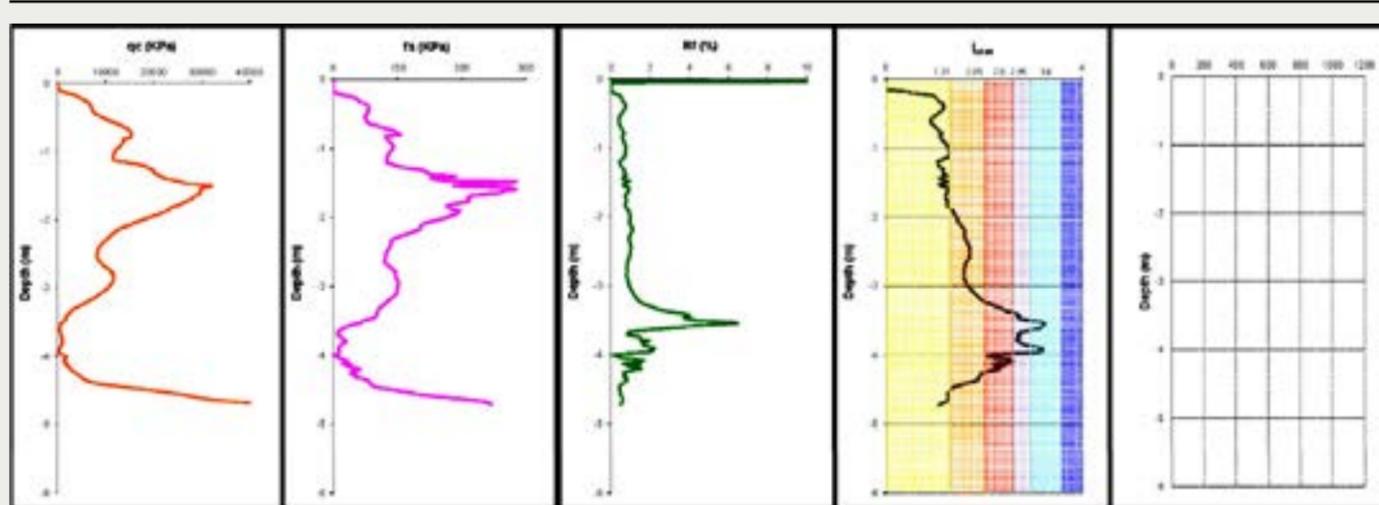


Figura 3 - Ensaio CPTU evidenciando a presença de areias fofas que impediam a execução do necessário aterro e das cargas da estrutura da fábrica.

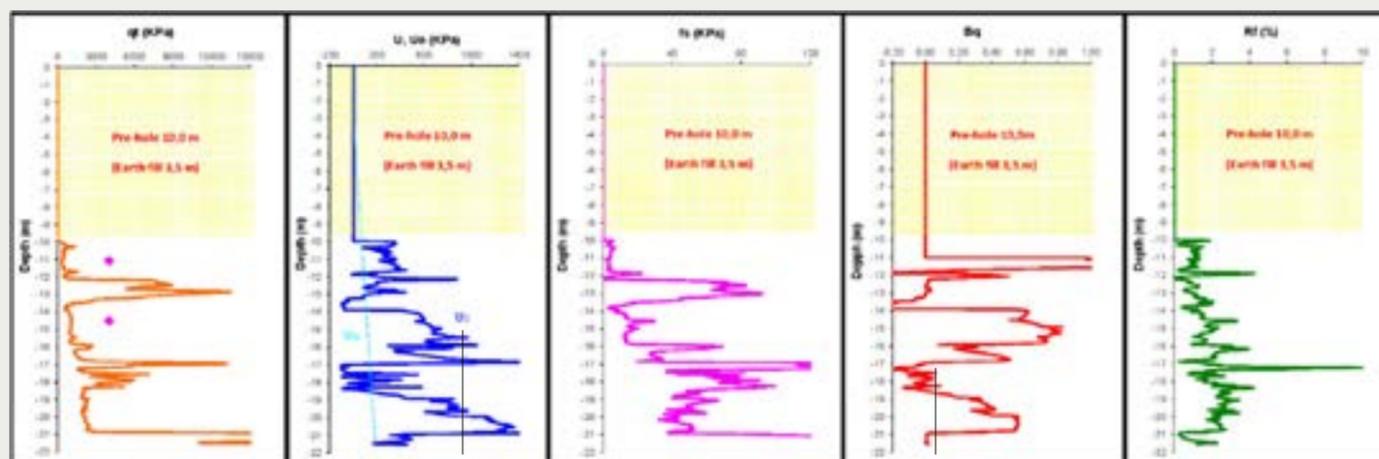


Figura 4 - Ensaio CPTU evidenciando as características citadas anteriormente.

uma montadora de veículos de luxo estrangeira decidiu montar sua fábrica no estado de Santa Catarina.

No terreno escolhido, havia presença de camadas de areias fofas e siltes moles que inviabilizaria o grande projeto com fundação direta. O melhoramento do solo tornou-se necessidade, para adequar as cargas do aterro, para obtenção do greide de projeto e, a seguir, a estrutura da fábrica com suas cargas. Melhoramento de solo é sinônimo de Geonrijecimento, técnica que promove a readequação do solo aos parâmetros geotécnicos de projeto.



Figura 6 - Geonrijecimento do solo de fundação, devido a presença de depósitos de areias fofas e siltes/ argilas moles com 20m de profundidade.

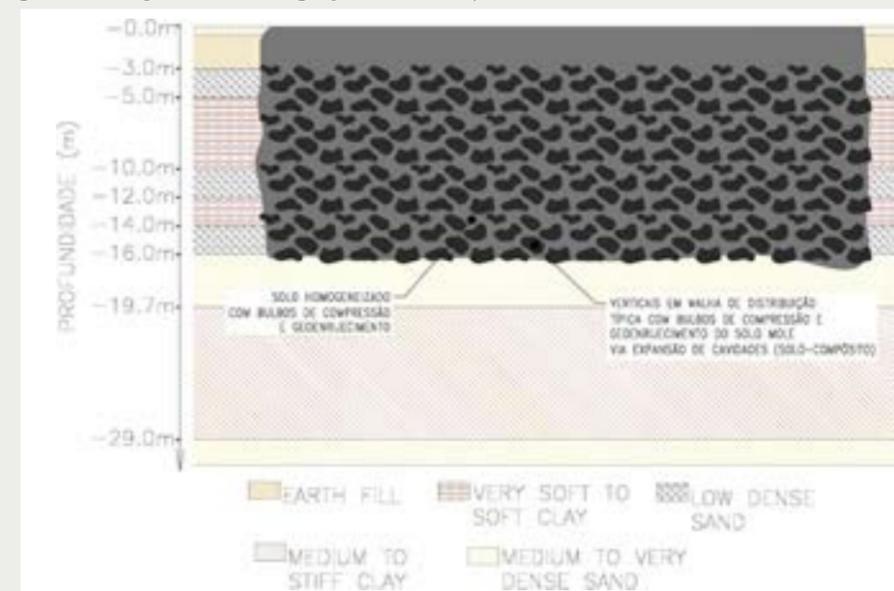


Figura 7 - Imagem ilustrativa do projeto de melhoramento do solo, onde todas as camadas de solo tiveram seus parâmetros geotécnicos modificados em função das sondagens CPT-U e SPT fornecidas.

Com 250.000m<sup>2</sup> de área construída, este parque industrial objetiva a fabricação de 30 mil veículos/ano.

Duas sondagens CPTu foram escolhidas para representar o solo em questão. A primeira, analisa o solo até 5m de profundidade e, a segunda, até 22m.

Em termos de resistência de ponta ( $q_c$ ) e resistência de atrito ( $f_s$ ), fica claro a formação de depósitos de areia fofa entre 3 e 5m, 10 e 12m e entre 14 e 16m. A característica arenosa do solo de fundação local é confirmada pela taxa de atrito ( $R_f$ ), que apresenta valores médios variando de 0,5% a 1,5%. Assim, caracterizou-se a necessidade do melhoramento de todos os estratos de solo, tanto as duas camadas de silte argiloso mole a muito mole, quanto os depósitos arenosos fofos, particularmente para as profundidades de 3 a 5m, 10 a 12m e 14 a 16m.



Figura 5 - A execução de pré-furos para se atravessar camadas de areia compacta iniciais, acessando-se a areia fofa e siltes moles até 20m de profundidade.



Figura 8 - Três frentes de serviço de geoenrijecimento de solos foram necessários para atender o apertado cronograma da obra, e a grande área a ser geoenrijecida.

A compressibilidade do solo (capacidade de deformação) apresentava-se alta, em função do desenvolvimento das poropressões e, principalmente, pelo fato da extrapolação das resistências de ponta, para a profundidade zero, interceptar o eixo

negativo das resistências de ponta, o que caracteriza solo subconsolidado, ou em processo de recalque. A avaliação do  $R_p$ ,  $f_s$  e  $B_q$  também informou que o solo é tipicamente arenoso, com variações para areias argilosas, siltosas ou siltes arenosos.

O grande processo deformativo, presente no solo de fundação, foi neutralizado pelo processo de expansão de cavidades, com a formação de bulbos de compressão radial do solo, utilizando-se pressões de ordem de  $10\text{kg}/\text{cm}^2$ , muito superior a exigida para o projeto. Com monitoramento feito por análises pressiométricas, principal equipamento de certificação de melhoramento de solos, comparou-se os ensaios antes e após o geoenrijecimento. Como resultado, o solo ficou perfeitamente apto ao empreendimento, transformando-se em um solo-compósito, com característica semelhante a de uma areia muito compacta. **SSB**

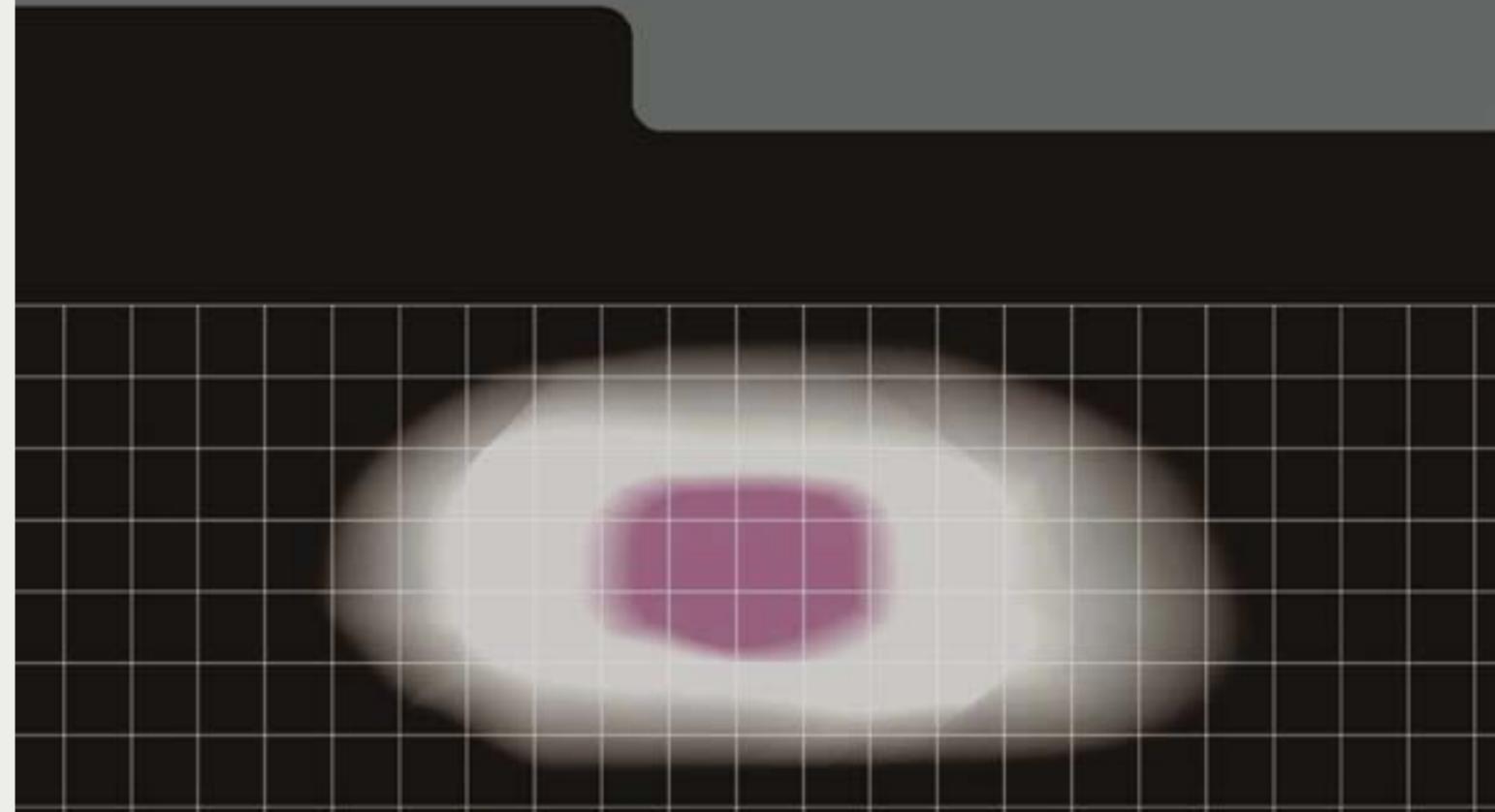
#### REFERÊNCIAS

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



Figura 9 - Procedimento executivo de ensaio pressiométrico

## contaminação de solo?

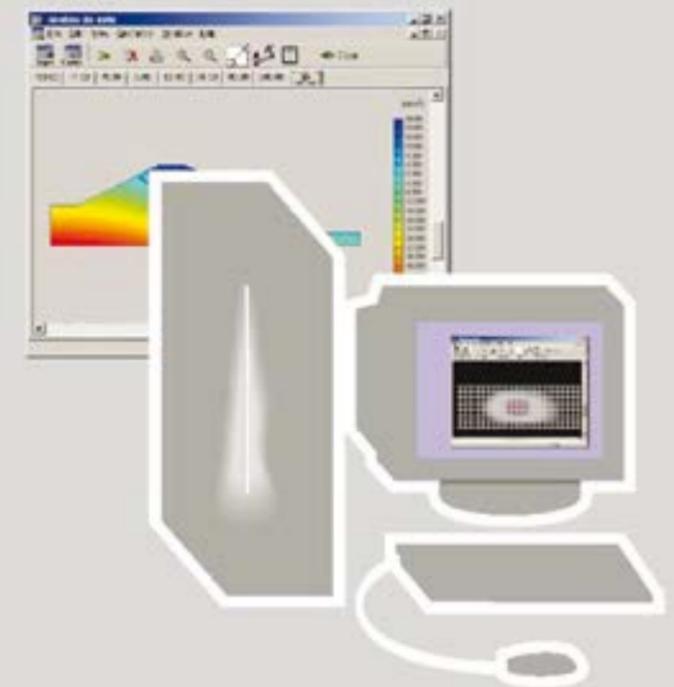


O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



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



## SOLO MOLE CADA VEZ MAIS PRESENTE

O grande problema da construção, nas regiões costeiras brasileiras, é a escassez cada vez maior de terrenos com solos firmes. Neste cenário, proporcionalmente surgem, em profusão, terrenos com solos moles altamente compressíveis, que exigem melhoramento, objetivando-se eliminar ou restringir recalques futuros. Com este objetivo, visualiza-se o Geoenrijecimento do solo mole como única modalidade específica de melhoramento do solo mole e a mais utilizada em todo o país. Outras modalidades de "melhoramento de solos moles" na verdade, são técnicas alternativas, que não melhoram efetivamente o solo mole mas, apenas, usam colunas para transpassá-lo apoiando em solo firme, oferecendo baixa eficiência, na medida em que o solo mole permanece ao seu redor, produzindo recalques. Muito frequentemente, nestes terrenos, encontram-se solos moles, muito moles ou ultra-moles (como encontrado na Cidade do Rock, no Rio de Janeiro), além de serem locais de despejos de lixo, turfas e entulhos, cujo comportamento deformativo, devido as cargas adicionais, é completamente diferente de solos moles normal ou sobreconsolidados. Estimar, portanto, a intensidade ou o tempo de deformação, utilizando-se a mecânica do solo convencional é tarefa inglória. Existem vários tipos de deformação aplicáveis em solos, como fluxo plástico, deformação elástica e cisalhante, fluência não drenada, compressão primária e secundária, além de liquefação. Alguns tipos de deformação são dependentes de tensões e outros dependentes do tempo, sendo que a existência de grandes deformações está associada a solos coesivos compressíveis. Terzaghi, em 1923, propôs um modelo de comportamento compressivo elástico linear, independente do tempo, considerando uma fina camada de solo

permeável. Em 1940, Taylor e Merchant explicaram, com um modelo elastovisco, o comportamento compressivo após o estágio primário. Com estes dois modelos, pode-se estimar a quantidade de tempo do processo primário e secundário compressivo a ser aplicado em um solo. Mais recentemente, pesquisadores desenvolveram estudos sobre a compressibilidade dos solos argilosos, naturalmente sedimentados, normal e sobreconsolidados. Niscon e Mc Roberts, em 1976 e Tan em 1995, aplicaram a teoria da sedimentação à sedimentação do solo. Este mesmo Tan, em 1988, estudou a transição do processo de sedimentação ao da consolidação. Toorman, em 1996, investigou o processo de consolidação do solo, que ocorre com seu próprio peso. Beckman, em 1984, estudou o processo de compressão (consolidação) de solos argilosos com consistência de lama. Novamente Tan, em 1988, propôs uma equação não-linear para estimar a condutividade hidráulica e a tensão efetiva a partir do índice de vazios, considerando-se níveis de tensões acima de 50kPa.

Devido a crescente procura por grandes terrenos em nossas cidades litorâneas, particularmente na área logística, torna-se necessário entender de melhoramento de solos moles, particularmente os ultra moles, depositados recentemente nos deltas ou estuários. É interessante observar que este estudo, o de melhoramento de solos ultra-moles está

também, associado à situação crítica das minas com suas barragens de rejeitos, onde o material encontra-se subconsolidado e consolidando-se com seu próprio peso. O comportamento da consolidação dos solos ultra-moles, quando induzida pela compressão de cargas adicionais, é diferente dos solos normal ou sobreconsolidados. Segundo Bo, 1997 e 1999, a estimativa de tempo, para ocorrer a deformação, utilizando-se a teoria da consolidação de Terzaghi, não é um bom caminho, pois subestima a intensidade e superestima o grau de consolidação.

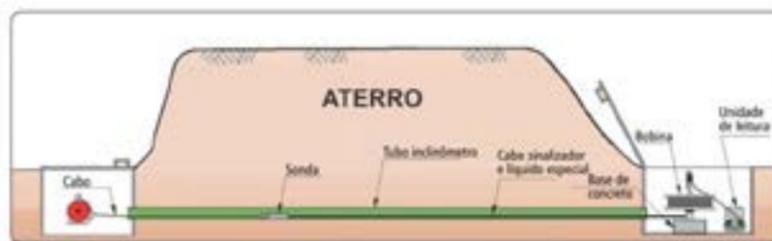
Portanto, a estimativa teórica de recalque, neste tipo de solo mole, para a situação pré e pós melhoramento de solo, é difícil de ser realizada, já que há falta do modelo de deformação. No entanto, este autor trabalhou em diversos casos, com presença de solos ultra-moles, e todo o planejamento foi feito com ensaios de carga no local, leitura piezométrica e pressiométrica, além de tomográfica por imagem, com diagnóstico da rigidez, o que permite dimensionar o tempo da consolidação, como foi o caso da consolidação recorde do terreno na Cidade do Rock, no Rio de Janeiro.

Contudo, o desenvolvimento do modelo de compressão, que permite estimar o comportamento compressivo a ser imposto, durante o estágio viscoso, é importante e necessário em qualquer obra de melhoramento de solos moles.



O aterro de conquista lançado sobre solos ultra-moles na Cidade do Rock, no Rio de Janeiro. Houve necessidade de se instalar um geocomposto para dar estabilidade ao aterro de conquista. O Geoenrijecimento sendo realizado.

## Medidor Portátil do Perfil de Recalques (Perfilômetro)



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

### Aplicações:

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



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

Soft Soil  
Group



SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE  
Rua Correia de Araújo, 131 - Barra da Tijuca  
Rio de Janeiro/RJ - Brasil - CEP 22611-070  
Tel.: (21) 3154-3250 • Fax: (21) 3154-3259  
WEBSITE: <http://www.softsoilbrazilianinstitute.com.br>  
E-mail: [contato@softsoilbrazilianinstitute.com.br](mailto:contato@softsoilbrazilianinstitute.com.br)

### SOFT SOIL BRAZILIAN REVIEW

#### Diretor Editorial

ENGº JOAQUIM RODRIGUES

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

#### Diretores Adjuntos

ENGº THOMAS KIM

ENGº ROGER RODRIGUES

#### Publicidade

PATRICIA TINOCO

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

#### Assinatura, Livros e Vídeos

CLEIDE FERREIRA

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

#### Editor de Arte

ALEX CRISPIM

#### Reprints Editoriais

MARIANA TATI

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

Solicite reimpressões de reportagens  
ou artigos publicados

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



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/>

20 a 25 de Setembro, 2019  
**ISRM 2019 - International Congress of Rock Mechanics Foz do Iguaçu - PR**  
<http://www.isrm2019.com/message.php>

7 a 11 de Setembro de 2019  
**6ª Conferência Internacional de Geotécnica e Geofísica Budapeste, Hungria**  
<http://www.isc6.org/>

11 a 14 de Setembro de 2019  
**Congresso Brasileiro de Redução de Riscos e Desastres - CBRDD Belém - PA**  
<http://www.cbrdd2019.com.br/>

12 de Setembro de 2019  
**Workshop de Geofísica Vila Mariana - SP**  
<https://www.abge.org.br/workshop-de-geofisica/> / [abge@abge.org.br](mailto:abge@abge.org.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](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)

16 a 18 de Outubro de 2019  
**GeoMin - Congresso de Geotecnia Aplicada à Mineração Ouro Preto - MG**  
[panamerican2019mexico.com](http://panamerican2019mexico.com)

17 a 19 de Outubro de 2019  
**GeoSUL - XII Simpósio de Práticas de Engenharia Geotécnica da Região Sul Joinville - Santa Catarina**  
<http://geosul2019.com.br>

8 e 9 de Novembro de 2019  
**GeoBASE - Seminário Geotécnico Bahia/Sergipe Cruz das Almas - BA**  
<https://geobase2019.com.br/>

13 e 14 de Novembro de 2019  
**GeoNE - 6º Simpósio de Geotecnia do Nordeste Recife - Pernambuco**  
<http://www.geone.com.br/2019/inicial/>

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)

26 a 29 de Abril de 2020  
**Geoamerica 2020 - 4º Congresso Panamericano de Geossintéticos Rio de Janeiro - RJ**  
[geoamericas2020@geoamericas2020.com](mailto:geoamericas2020@geoamericas2020.com)

# ATERROS DE ENCONTRO CONSTRUÍDOS SOBRE SOLOS MOLES.

Novos conceitos.



Figura 1 - Um processo de ressalto neste aterro de encontro desta ponte. Observar as setas que informam o recalque da laje de transição.

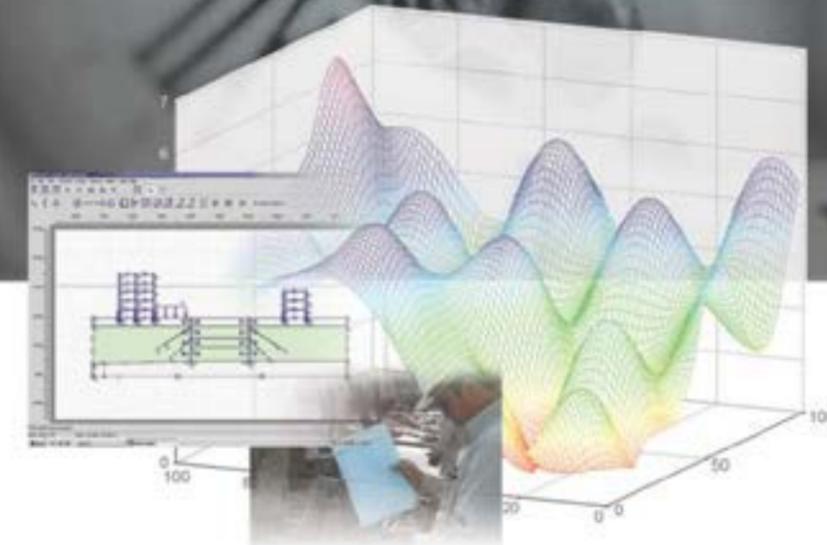
**É** gratificante investigar problemas inerentes a aterros de encontros, quando construídos sobre solos moles, para desenvolver novos conceitos de construção e manutenção, de modo a reduzir a inerente dificuldade executiva, e suas crônicas consequências, que interferem na funcionalidade e na qualidade da obra de arte.

Figura 2 - De outro ângulo, observa-se o processo de recalque imposto.

## MELHORAMENTO DE 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.

### O problema

Aterros de encontro ligam rodovias a pontes e viadutos, e são estratégicos para sua funcionalidade e segurança. O problema, que chega a ser crônico, é a surgência de ressaltos na junção do aterro de encontro com o tabuleiro da ponte/viaduto. Os transtornos começam com a depreciação da imagem do departamento de estrada de rodagem, as dificuldades dos motoristas e seu controle reduzido na direção, possíveis danos nos veículos e na própria rodovia. No entanto, em praticamente todas as regiões do Brasil, onde há presença de solos moles, e exemplos são os estados de Santa Catarina, Pernambuco e Rio de Janeiro, os aterros de encontro em pontes e viadutos apresentam ressaltos em sua interligação, o que é considerado um sério problema geotécnico, e por que não multidisciplinar. A causa desta questão é que o aterro de encontro da rodovia foi construído sobre so-

Com relação ao projeto, há várias alternativas, assim como práticas construtivas e métodos de manutenção de modo a minimizar o ressalto, todos com maior ou menor eficiência.

### Detalhando o problema

Observando-se a prática de obra em pontes e viadutos, e seus aterros de acesso, que estão em construção, pode-se concluir imediatamente que:

- O material de aterro, existente sob a laje de aproximação, é suspeito e porque não dizer insatisfatório, ou impróprio, além de pouco compactado.
- O aterro superior, com material granular de qualidade questionável, estava sendo (adequadamente) compactado, embora sem pessoal da fiscalização presente.
- Observou-se que a umidade do material não estava sendo adequadamente controlada, o que promove compactação inade-

- quada.
- Verificou-se a não utilização de material granular graúdo entorno dos drenos instalados junto à estrutura de contenção.
- Evidenciam-se recalques, seja pelo solo de fundação ou pelo aterro, na maioria das obras de arte inspecionadas.
- Verifica-se a presença de vazios, sob o aterro de acesso às obras de arte, o que indica material de aterro pouco compactado, além de processos de erosão.
- Drenagem completamente inadequada, quesito frequente nas observações realizadas. Como se sabe, a erosão promove a formação de vazios sob a laje de aproximação, promovendo recalques e falhas na proteção dos taludes.
- Há uma grande variedade de técnicas e produtos de drenagem para aterros de acessos a pontes e viadutos, perfeitamente adequados a qualquer projeto. Alguns com desempenho melhor do que outros. Verifica-se que a maioria dos drenos instalados, não estavam funcionando adequadamente, apresentando-se meio entupidos, com deposição de material fino e detritos, ou mesmo completamente bloqueados.
- A maioria das juntas de dilatação das pontes/viadutos observadas apresentavam defeitos, permitindo a passagem d'água para o interior do aterro. A qualidade das borrachas, do material das juntas de dilatação, suspeita.

### Como evitar o problema do ressalto

Tradicionalmente, utilizam-se técnicas alternativas de "melhoramento de solos moles", com georeforço, utilizando-se colunas que transferem as cargas da superfície



Figura 3 - Pode-se observar, neste início do aterro de acesso a esta ponte, que o solo empregado apresenta condição imprópria.

los considerados moles, com alta compressibilidade, enquanto a estrutura da ponte/viaduto é rígida, assentada sobre estacas assentadas em solo firme. O ressalto, segundo a maioria das pesquisas é, fundamentalmente, provocado pelo processo de consolidação da argila mole, que é tempo dependente. Causas secundárias, podem ser o tipo de solo empregado no aterro de encontro, seu modo de compactação, a deficiência ou ausência de drenagem, rupturas nos dentes da laje de transição com o pavimento e grandes cargas de tráfego.



Figura 4 - Na continuidade, a qualidade do material do aterro é diversificada, começando com uma espécie de rachão. O processo de compactação simplesmente não existe.

# LANÇAMENTO DO LIVRO

## MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



Adquira 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 5 - Fôrma e armação da laje de transição apoiada sobre aterro completamente heterogêneo e com matéria orgânica, conseqüentemente difícil de obter grau de compactação adequado, o que significa recalques futuros.

para camadas resistentes mantendo-se as condições do solo mole envolvente. Outra modalidade de melhoramento é utilizando-se aterros de sobrecarga com geodrenos. As técnicas de geofortificação são colunas de brita, deep soil mixing, jet grouting e estaqueamento. Na medida em que o solo mole, que envolve as colunas permanece mole, ocorre recalques e, conseqüentemente, ressaltos no aterro elevado. Aterros de sobrecarga e geodrenos, por sua vez, são ineficientes quando há depósitos de solos moles com profundidade superiores a 5m, pois as tensões verticais dissipam-se e não produzem a compressão necessária. O resultado é o desconforto dos usuários, com a redução da velocidade, além de problemas de tráfego e segurança, com sérios reflexos no custo de manutenção das es-

tradas. O problema é extremamente sério, na medida em que se apresenta o valor da despesa de manutenção dos órgãos de estradas americanas, superior a 100 milhões de dólares, todos os anos, corresponde a cerca de 150 mil pontes (Briaud). Melhorar solo mole, significa modificar suas características, impondo parâmetros geotécnicos seguros, que permitam adequação a diferentes projetos e suas respectivas cargas. É preciso entender que o Geoenrijecimento é que, efetivamente, melhora o solo argiloso mole, pois comprime e drena cada metro cúbico, impondo novos parâmetros geotécnicos, sem formação de colunas. O princípio do Geoenrijecimento é a criação de um meio drenante artificial (geodrenos), seguido do processo de expansão de cavidades, com bombea-

mento de argamassa seca, que gera bulbos e a necessária compressão radial, em cada metro cúbico de solo mole, assegurando a obrigatória dissipação da poropressão e o conseqüente aumento das tensões efetivas, produzindo-se um novo solo, denominado solo homogêneo equivalente. O processo de formação das verticais de Geoenrijecimento é feito de baixo para cima, com a formação dos bulbos, sem formação de colunas, pois o solo mole não permite a verticalidade.

**A necessidade de, efetivamente, conhecer o recalque após o melhoramento do solo mole**

Considerando-se os parâmetros do Geoenrijecimento imposto, presente na memória

de cálculo e os resultados das sondagens, possibilita-se conhecer o recalque com o solo Geoenrijecido, utilizando-se os parâmetros geotécnicos do solo homogêneo equivalente. Ao lado, apresentamos uma situação típica.

Desta forma, projeta-se um recalque máximo de 10cm, eliminado durante a execução do Geoenrijecimento, ou seja, ausência total de recalque.

Parâmetros pós-geoenrijecimento: Meio Homogêneo Equivalente	
Resistência não drenada	$S_{u,eq} = 84\text{kPa}$
Rigidez (módulo elástico drenado)	$E_{eq} = 9.510\text{ kPa}$
Coefficiente de adensamento equivalente	$c_{v,q} = 22,2\text{ m}^2/\text{ano}$
Tensão admissível	$\sigma_{adm} = 2,30\text{kg/cm}^2$
Fator de redução de recalques	$\beta = 8,5$

Figura 8 - Propriedades do meio homogêneo equivalente (simulação típica)

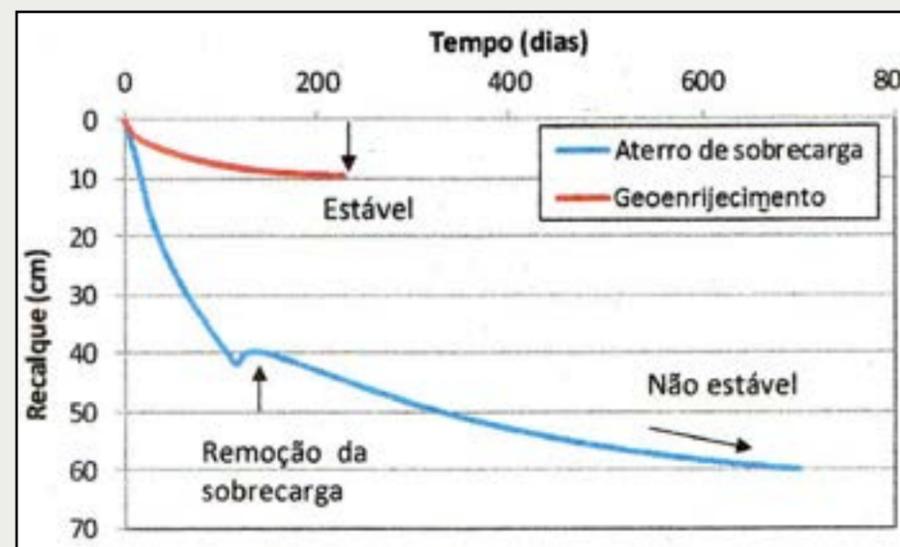


Figura 9 - Comparação entre curvas de recalque.

O gráfico, na Figura 9, compara a curva de recalque do Geoenrijecimento com solução de aterro de sobrecarga, utilizou-se geodrenos. A solução com aterro sobre geodrenos terá recalques na ordem de 70cm, e tempo...

Os resultados da análise mostram que, caso seja adotada a solução com aterro de sobrecarga e geodrenos, haverá crescente processo de deformação, com alguma probabilidade de rutura, profundamente condicionado à geologia do local, o pouco tempo de permanência da sobrecarga e os parâmetros geotécnicos existentes. Como se observa, a solução mais adequada é o Geoenrijecimento. Trata-se de serviço diferenciado, que visa modificar as características geotécnicas do solo, como um todo, de forma volumétrica, basicamente impondo resistência e rigidez a níveis pré-estabelecidos. A estabilidade é naturalmente obtida e os recalques pós-constructivos são, antecipadamente, eliminados.



**REFERÊNCIAS**

- Patricia Karina Tinoco é engenheira civil. Trabalho 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, Wrigh 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 Bsolidation Behavior of Peats. Geotechnical Testing Journal - GEOTECH TESTING J. 3. 10.1520/GTJ10881J.
- EDIL, Tuncer & DHOWIAN, A.W.. (1981). Atrest lateral pressure of peat soils. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE. 107. 201-217.



Figura 6 - Fissuras/trincas na junção da laje de transição com a viga console, devido ao recalque do aterro suporte, que permite a entrada d'água, que piora ainda mais os sintomas



Figura 7 - Juntas e brechas nas quais a água infiltra no aterro. Nesta foto, estes locais estão sendo preenchidos com aterro. Forte erosão sob a laje de transição. Percebe-se que a laje está deformando sobre o solo suporte



Figura 10 - Serviços de Geoenrijecimento em depósitos de solo mole para receber aterro de encontro em uma duplicação rodoviária.

# SOLO MOLE E RECALQUES DIFERENCIAIS NA EDIFICAÇÃO (III)



Figura 1 - Construção logística apoiada sobre solo mole sem melhoramento. Trincas e fraturas nas paredes.

**A** grande questão da presença de recalques e a surgência de trincas e fissuras, em pequenas edificações ou empreendimentos logísticos, devido ao solo de fundação construídos com alvena-

rias de blocos de concreto, é como interpretar sua trajetória. De um modo geral, trincas e fissuras são consequência de um estado tensional limite, levado à rutura. As trincas mantêm-se perpendicular às

tensões de tração máxima, no conjunto de pontos que a formam, localizando-se sobre a isostática de compressão. Sua localização e trajetória contribuem, sobremaneira, para detectar a região onde se produz a causa do

problema. Para tanto, traçando-se perpendiculares às tangentes, nos diversos pontos formadores das trincas parabólicas ou curvilíneas, na região de convergência, desco-

As isostáticas de tração (família de curvas ortogonais), formam um conjunto de circunferências concêntricas com o ponto de aplicação da carga.

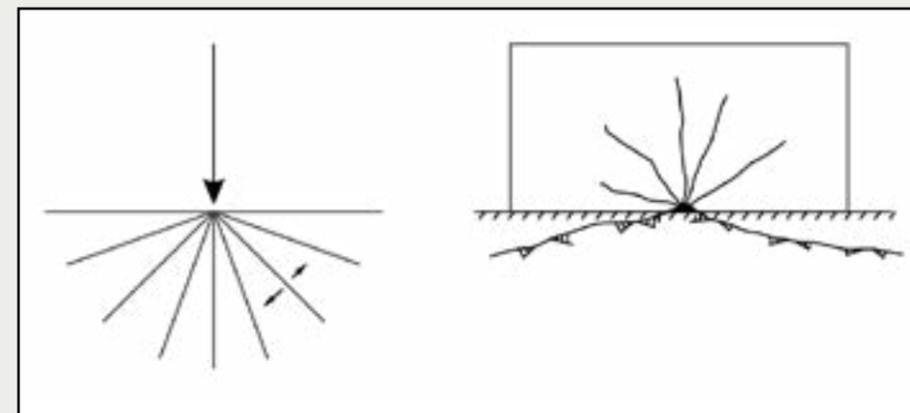


Figura 2 - Carga vertical e a difusão das isostáticas de compressão.

bre-se a região problemática da fundação. As trincas de um modo geral, ao acompanhar as isostáticas de compressão, apontam ou convergem para a região do elemento de fundação menos deformável. Ora, sabe-se que ao se aplicar uma carga vertical, em um semiespaço elástico, limitado por um plano vertical, as isostáticas de compressão formam uma radiação de retas que saem de um ponto de aplicação, conforme figura 2.

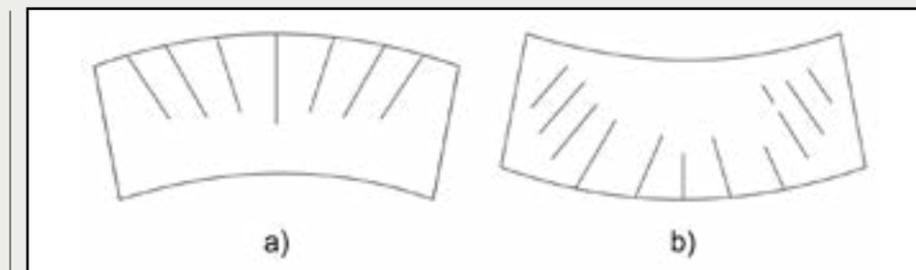


Figura 3 - a) corresponde ao caso de deformação convexa. b) corresponde ao caso de deformação côncava.



Figura 4 - Presença de solo mole induz fraturas na alvenaria, estabelecendo o padrão deformativo coerente com os vãos existentes.

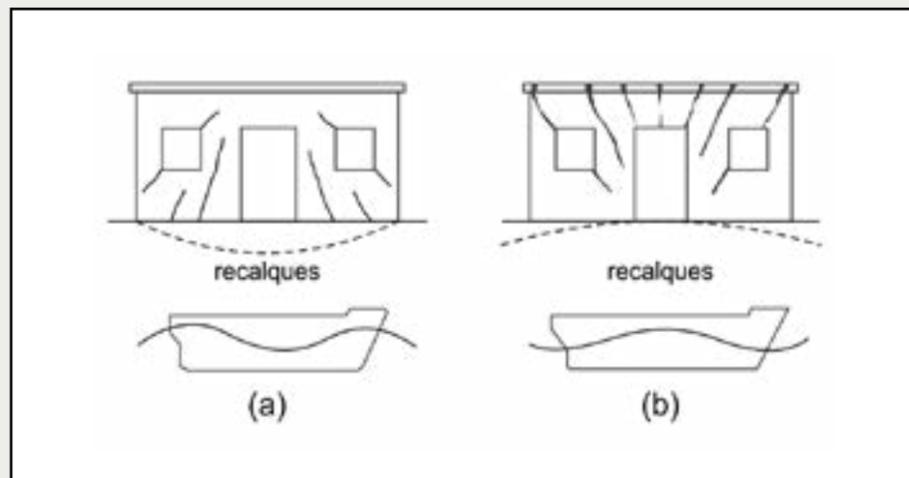


Figura 5 - Os efeitos das deformações côncavas e convexas.

empreendimento. No caso de deformação côncava, é exatamente o oposto. Os efeitos da deformação convexa dependem da rigidez e da amarração da edificação em seu nível superior ou cobertura. Este tipo de deformação ocorre muito frequentemente quando há surgência de argilas expansivas.

Os efeitos nas situações apresentadas, tanto em uma edificação como em em-

preendimentos logísticos, como galpões, dependerão da resistência do material formador das paredes, de sua inércia à flexão, da esbeltez e da curvatura imposta pelos movimentos diferenciais.

#### A questão dos arcos de descarga

A sintomatologia mais comum das trincas, existentes nas paredes de pequenas

edificações ou em empreendimentos logísticos, é que são inclinadas e formam arcos de descarga, que tem como causa recalques provocados pela cedência de elementos de fundação em um determinado vão. Quando isto ocorre, aparecem tensões cisalhantes nas paredes, dando lugar aos arcos de descarga. A carga acima das paredes, sobre o arco, é transmitida ao terreno na região dos elementos de fundação, impondo mais pressão no solo. A carga interna, sobre o arco, é suportada pela resistência residual do solo mais a própria resistência (tração-cortante) do material da parede.

Arcos de descarga adequam-se em linhas parabólicas, de modo a adaptarem-se às isostáticas de compressão. Quando a alvenaria da parede é bem homogênea, as trincas tendem a formar arcos parabólicos claros. É preciso ficar atento para entender que, caso paredes sejam anisotrópicas ou contenham vazios, janelas ou mesmo vigotas circundantes, que aumentam a resistência à tração ao nível de cada pavimento, as trincas contornarão os vários arcos. Para a situação em que um elemento de fundação extremo recalca, havendo vigas



Figura 6 - Trincas escalonadas obedecendo o padrão da cerâmica.

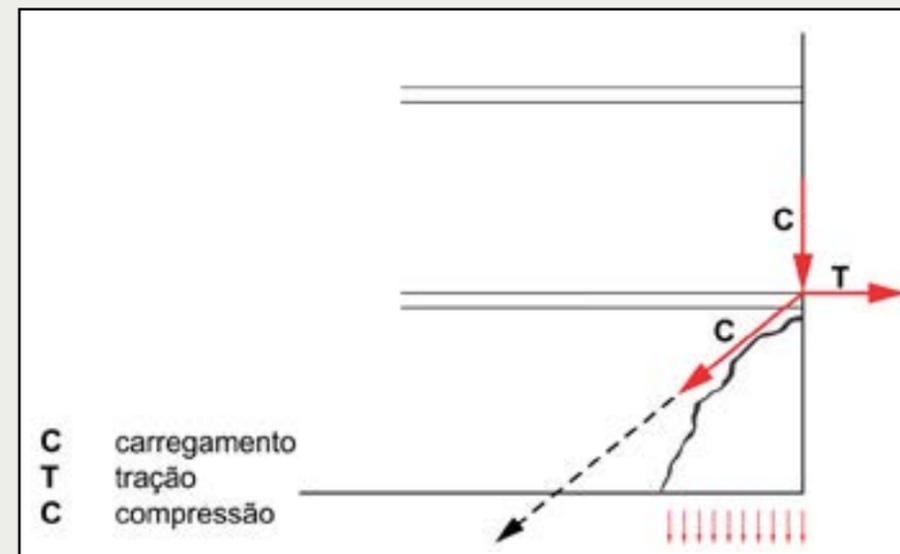
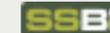


Figura 7 - Redistribuição dos esforços devido a recalques na extremidade da fachada, provocado pela presença de vigas.



Figura 8 - Ausência de suporte sob a alvenaria da parede faz com que deforme recalcando e perdendo contato com a viga superior.

que sustentam lajes de pavimentos, ocorre redistribuição (plana) dos esforços, representados na figura 7.



#### REFERÊNCIAS

• Thomas Kim é engenheiro civil e trabalha com melhoroamento de solos moles.

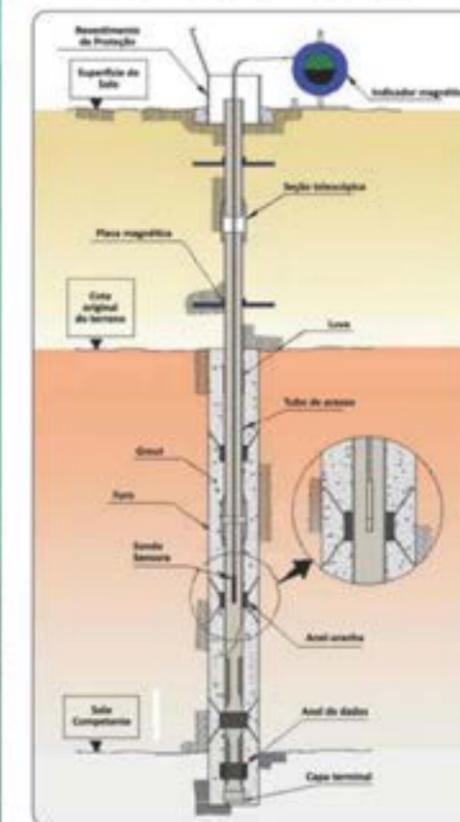
- CASAGRANDE, A. and Fadum, R. E. (1940). Notes and Soil Testing for Engineering Purposes Publication 268, Graduate School Engineering Harvard University, Cambridge, MA.
- ANGEL URIEL ORTIZ. Patología de las cimentaciones.
- FRANCISCO SERRANO. Patología de la edificación.

## Aranhas Magnéticas



### 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.



## SUBSTITUINDO SOLO?



ENEGRAUT  
40 ANOS

Soil Repair Solution  
for  
Making Your  
Project a Success

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



**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)