

# Soft Soil Brazilian Review

#### 4 Solo Mole

Taludes e solos moles:  
O que precisamos saber.

#### 14 Solo Mole

Rutura de aterros em estradas. In put  
equivocados. Out put inconsistentes.

#### 20 Solo Mole

Análise de soluções geotécnicas de  
aterros de encontro para pontes  
existentes, em rodovia situada no  
nordeste.

#### 12 Consulta

Qual a melhor sugestão para  
estabilização de taludes?

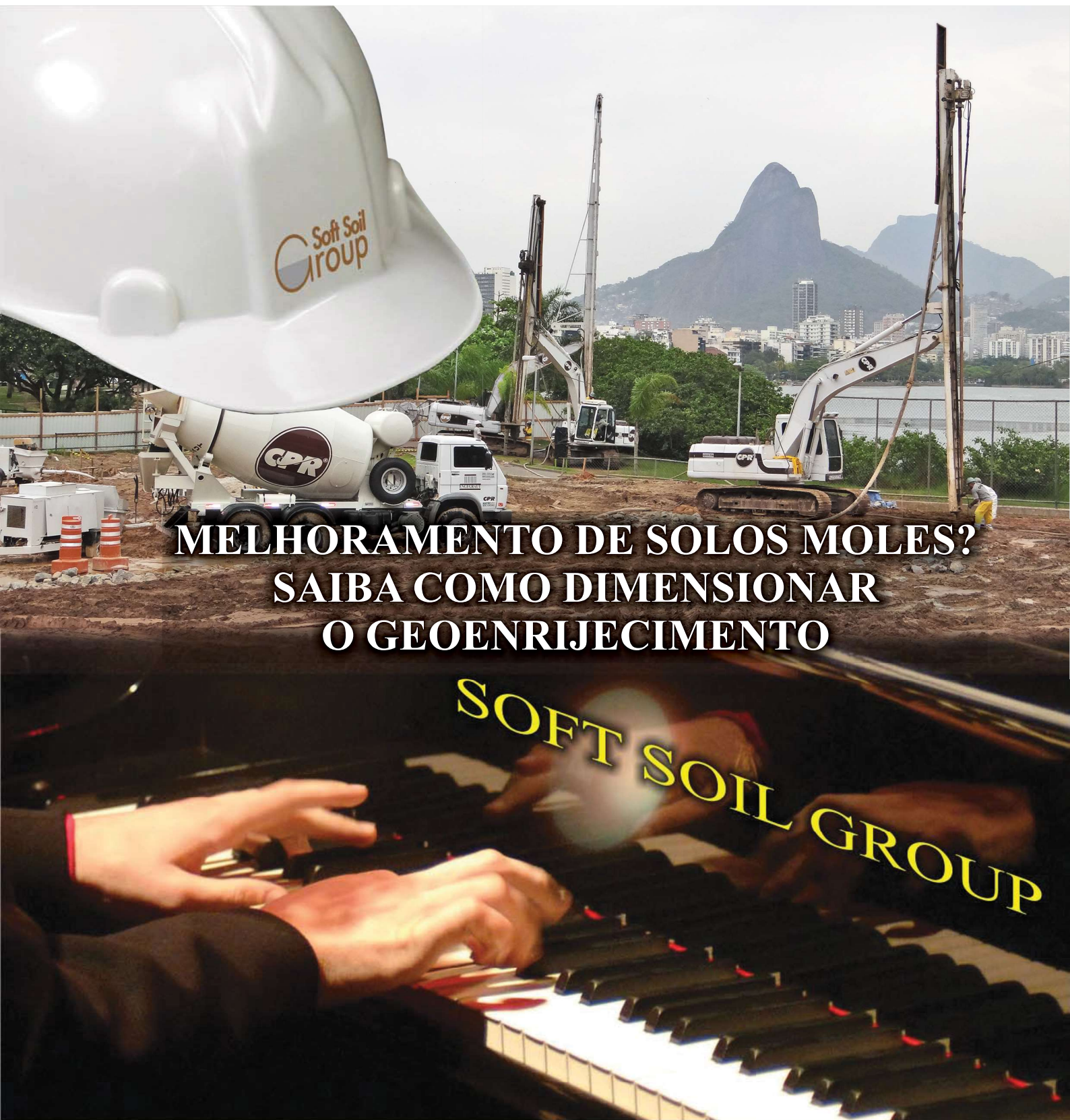


## TALUDES & SOLOS MOLES

O que precisamos saber?

PÁG. 4





## MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES? SAIBA COMO DIMENSIONAR O GEOENRIJECIMENTO

**O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a tocar sucessos**

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada. Saiba como dimensionar o Geoenrijecimento do solo mole, através de planilha exclusiva. Basta apenas acessar o link: [http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento/MC\\_v1.0.rar](http://www.engegraut.com.br/geoenrijecimento/MC_v1.0.rar)



<http://softsoilbrazilianinstitute.com.br>

# Soft Soil Brazilian Review

Edição - Mar / Abril - Nº 16



**SSBI** SOFT SOIL  
BRAZILIAN  
INSTITUTE

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

# 16

SOLO MOLE **04**

*Taludes e solos moles. O que precisamos saber.*

Joaquim Rodrigues

SOLO MOLE **14**

*Rutura de aterros em estradas.*

*In put equivocados. Out put inconsistentes.*

Patrícia Tinoco

SOLO MOLE **20**

*Análise de soluções geotécnicas de aterros de encontro para pontes existentes, em rodovia situada no nordeste.*

Thomas Kim

## EDITORIAL

Nesta edição, procuramos falar sobre taludes e, claro, solos moles, seja genericamente, seja através da análise de um caso de obra com rutura. Uma análise racional, para a estabilização de solos e rochas, necessita da profunda compressão de vários assuntos e conceitos. Nestas 16 edições de nossa revista, nunca publicamos assunto pertinente a taludes, razão pela qual procuramos abordar conceitos gerais, utilizados nos estudos de estabilidade de taludes, abordando aspectos geológicos que, de certa forma, personifica-o, assim como o tratamento da água do solo e questões inerentes de percolação, o que frequentemente causam problemas de estabilidade. A matéria foi escrita com objetivo de acrescentar mais informações aos nossos leitores. O objetivo desta revista, é informar sobre a pouca conhecida técnica de melhoramento de solos moles, que tem na análise de estabilidade da taludes um parceiro, cujo desenvolvimento é quase que recente. Estamos nos referindo a estes últimos 20 ou 30 anos. A grande questão é que os métodos de estabilização de taludes, assim como a técnica de melhoramento de solos, com geoenriquecimento, precisam ser compreendidos e modelados de maneira realística. A presença de solos orgânicos e turfas é cada vez mais frequente, razão pela qual insistimos em expandir o conhecimento sobre estes materiais. É o caso da análise de soluções apresentada na terceira matéria desta edição.

Boa leitura  
Joaquim Rodrigues

# TALUDES E SOLOS MOLES

## O que precisamos saber.

De um modo geral, executam-se taludes com o máximo de inclinação possível, ao passo que nos taludes naturais, há sinergia entre o ângulo máximo possível e sua estabilidade. Os métodos de estabilização de talude são bem conhecidos, assim como suas limitações. Procuramos, neste artigo, evidenciar detalher técnicos e executivos, pertinentes à área de melhoramento de solos, mostrando seu mecanismo de estabilidade rasa e profunda, tanto para aterros quanto para cortes, observando-se a influência da água subterrânea e o aspecto das chuvas.

### Figura 1:

Nesta rutura de talude, observa-se que a simples proteção contra a erosão, com gramado, ocultou problemas de estabilidade no corte efetivado.

A realidade das obras de aterros e cortes, evidencia taludes cada vez mais altos e lineares, tornando necessário a compreensão do nível pluviométrico local, da geomorfologia e hidrologia e, claro, dos parâmetros geotécnicos do solo. Inevitavelmente, alguns trechos de taludes situam-se em áreas de solos moles, necessitando de estratégias diferenciadas para readequação.

### MECANISMOS DE RUTURA

Taludes são submetidos, constantemente, à tensões cisalhantes decorrentes da atuação da própria gravidade e da sua superfície, além dos efeitos climáticos, que variam sazonalmente/ocasionalmente, promovendo ruturas. Dentro deste cenário, propriedades do solo e sua morfologia tendem a tornar taludes verdadeiros “corpos vivos”, equilibrando-se continuamente para evitar ruturas de dois tipos:

### 1º TIPO:

Rotação profunda ou com blocos deslizantes, em solos argilosos, envolvendo volumes substanciais de talude. O cisalhamento ocorre ao longo de uma camada superficial, progressivamente enfraquecida pelas deformações atuantes, entre o material de base intacto e blocos deslizantes. Solos arenosos, de um modo geral, não se submetem a deslizamentos ou ruturas profundas.

# Leica Geosystems introduces rig solutions for pile drivers and drill rigs

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



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

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

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

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

## Seamless integration improves construction workflows between the field and office

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

SOFTSOIL BRAZILIAN REVIEW • Março / Abril 2021

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

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

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

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

when it has to be right

**Leica**  
Geosystems

## 2º TIPO:

Por processo de fluência nas camadas superficiais (1 a 2m) do talude, significando lento processo de perda de massa do solo, sob a influência da gravidade, podendo ocorrer tanto em solos argilosos como arenosos, evidentemente por diferentes mecanismos. A ação da chuva é preponderante. Estes dois tipos de rutura são acionados pela notória variação da poropressão no solo, que minam as tensões efetivas e sua própria resistência. A maioria dos taludes construídos apresentam inclinação 1H:1V (45°), 1H:2V (27°) e, ocasionalmente 1H:3V (18°). Estes ângulos são efetivados graças a solos sobreconsolidados, parcialmente saturados, de modo

que as tensões capilares aumentam a resistência cisalhante do solo, enquanto persistem. A construção do talude modifica, naturalmente, a superfície freática ou, artificialmente, devido a projetos de drenagem, que interferem nas poropressões. Flutuações da superfície freática e do teor de umidade do solo interferem diretamente no fator de segurança e, claro, na estabilidade total. Portanto, o equilíbrio entre o excesso e a dissipação da umidade do solo, controlado por mudanças climáticas sazonais, é significativo. A elevação capilar da água do solo, acima da superfície freática é, portanto, significativa, particularmente com a presença de solos

finos, ocasionando modificações significativas nas tensões de solos parcialmente saturados que, com a saturação, são completamente neutralizadas. Percebe-se, portanto, o quão crítica é a alteração do fornecimento de umidade no solo. Como exemplo, o clima seco de apenas algumas semanas de duração, em diversas regiões do Brasil, produzem trincas superficiais em aterros, da ordem de 3 a 4m de profundidade. A chegada ocasional de chuvas, preenchem rapidamente as trincas, produzindo pressões hidrostáticas laterais destes volumes de solos contraídos, diminuindo as tensões efetivas atuantes e sua própria resistência, induzindo um outro equi-

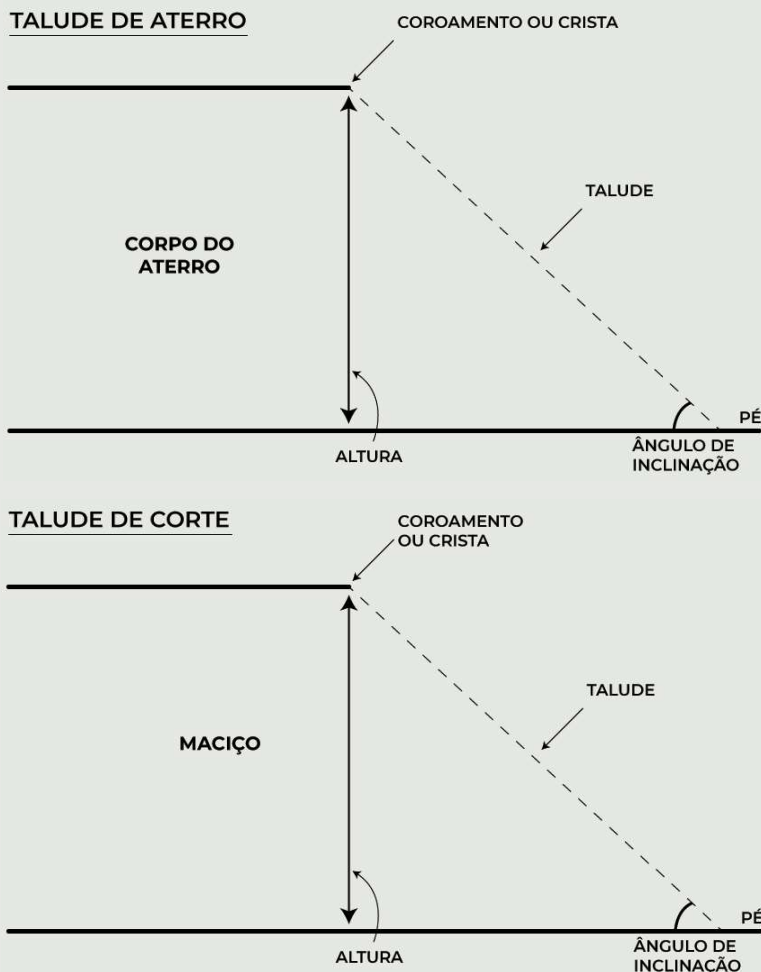


Figura 2:

Cortes esquemáticos de taludes efetuados com cortes e com elevação do aterro

Webinar - Live

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



Apr 14, 2020



4:00 PM CEST



1 hr



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

## Speaker Bio



### Micha van der Sloot

Technical Support Manager  
Bentley Systems, Inc.



### Marina Trevizolli

Senior Application Engineer  
Bentley Systems



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

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

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

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

[www.bentley.com](http://www.bentley.com)

líbrio de forças que favorecerão deslizamentos. A presença de deformações no solo, promovidas pelo lento processo de perda de massa (fluência), sob domínio da gravidade, reduz sua resistência a valores residuais, em zonas submetidas a grandes deformações, possibilitando deslizamentos rotacionais rasos, conforme figura 3:

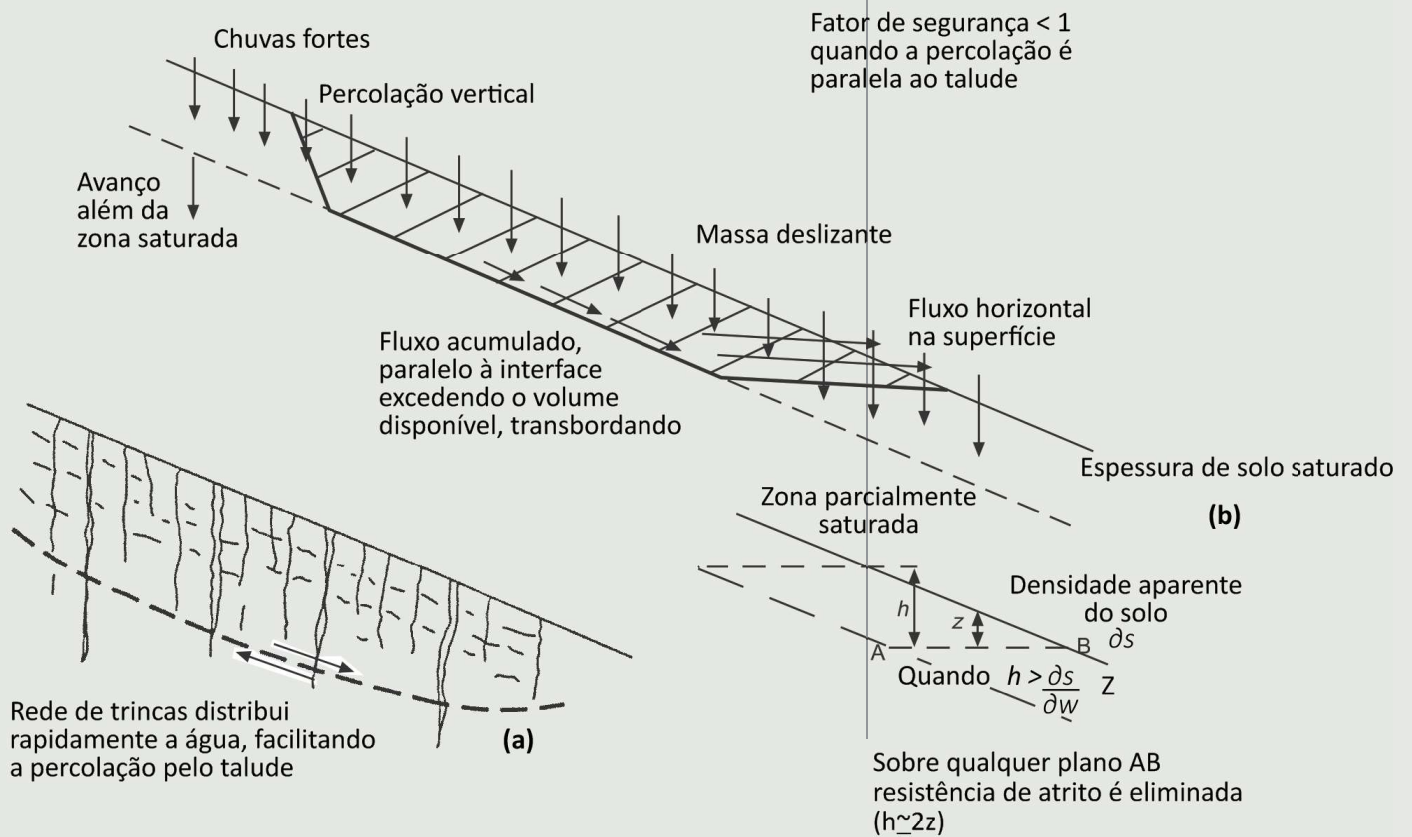


Figura 3: Deslizamentos superficiais promovidos por chuvas a) argilas b) siltes arenosos

## ATERROS SOBRE SOLOS SEM CAPACIDADE SUPORTE

Cada vez mais constrói-se sobre solos sem capacidade suporte. Neste cenário, observam-se patologias típicas como recalques e acomodamentos, independentemente da estabilidade do novo aterro. Assim, provavelmente será necessário considerar a estabilidade interna do sistema aterro-fundação, mais do que propriamente do aterro apenas. A figura 4, a seguir, evidencia variações no fator de segurança, resis-

tência, poropressão, carga e tensões cisalhantes em relação ao tempo, para um aterro construído sobre depósito de argilas. Com o tempo, diminui o excesso de poropressão na fundação do aterro e aumenta a resistência cisalhante da argila, assim como o fator de segurança de rutura do talude. O aterro em si, costuma ser bem mais resistente e compacto do que sua própria fundação, possibilitando a formação de

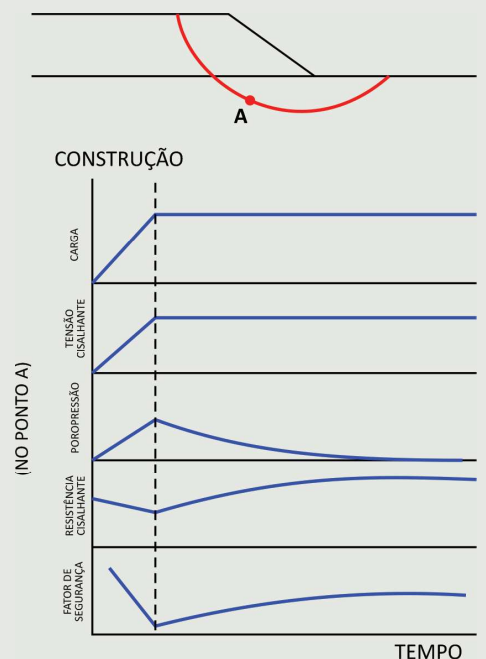


Figura 4 Condições de estabilidade para um talude de aterro sobre depósito argiloso. (a partir de Bishop e Bjerrum, 1960)



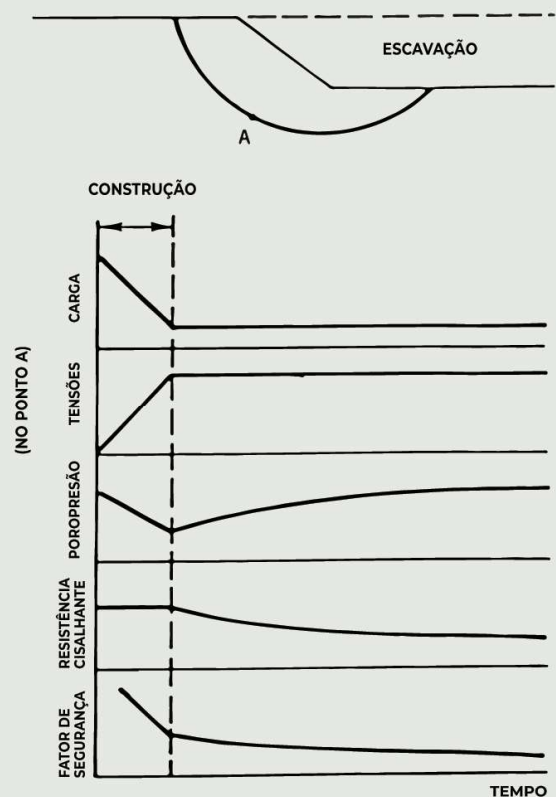
trincas e fraturas, na medida em que o solo deforma e recalca sob seu próprio peso, não se descartando a possibilidade de uma rutura progressiva, devido a incompatibilidade tensão-deformação entre aterro e sua fundação. Devido a incompatibilidade tensão-deformação, entre aterro e solo de fundação, não há como ocorrer picos de resistência simultâneas (figura 5). Conseqüentemente, a análise de estabilidade, utilizando-se picos de resistência do solo, estaria superestimando o fator de segurança. É comum realizar-se análise de estabilidade utilizando-se a resistência do solo, que é menor que os valores de pico, de modo a obter possíveis ruturas progressivas.



**Figura 5**  
Exemplo de incompatibilidade tensão-deformação

## CORTES

Freqüentemente, realizam-se cortes profundos e rasos em uma construção. Em um projeto de talude, objetiva-se determinar o binômio altura-inclinação mais econômico e duradouro. O projeto, é influenciado pelo propósito do corte, pelas condições geológicas, pelas propriedades do solo, pelas pressões de percolação, pelos métodos construtivos e, claro, por situações indesejáveis como fortes chuvas, enxurradas e erosão. Cortes, quase verticais, são quase exigências construtivas, (fatores não técnicos), ao mesmo tempo em que projeta-se prevendo-se ruturas imediatas/repentinias, com exigências de durabilidade. Esta é a questão: a durabilidade, que exige periódica manutenção e acompanhamento. Coisa rara entre nós, razão pela qual é comum a ocorrência, sem aviso prévio, de pequenas ou grandes ruturas que, invariavelmente exigem serviços perigosos e caros de reconstrução. Por outro lado, cortes planos são antieconômicos e impraticáveis. A figura 6, evidencia a variação, em relação ao tempo, do fator de segurança, da resistência, do excesso de poropressão, da carga e das tensões cisalhantes em cortes efetuados em solos tipicamente argilosos. As resistências cisalhante inicial e a não drenada são iguais, assumindo-se que não há drenagem durante a construção. A poropressão dentro do corte, em contraste com taludes de aterros, aumenta com o tempo, paralelamente com um inchamento da argila, resultando em



**Figura 6**  
Condições de estabilidade em um corte do talude

MELHORAMENTO DE SOLOS.  
EXCLUSIVIDADE



GEOENRIJECIMENTO  
IDEAL PARA AMPLIAÇÃO RODoviÁRIA.



GEOENRIJECIMENTO  
ÚNICA TÉCNICA DE MELHORAMENTO EFETIVO DE SOLOS MOLES.

redução da resistência cisalhante. Portanto, o fator de segurança diminui com o tempo, até obter-se uma indesejável

condição de instabilidade. Esta é a razão pela qual, após cortes efetuados em solos “duros” argilosos ocorrem, sempre, ruturas, mais cedo ou mais tarde. Nos cortes executados em solos argilosos sobreconsolidados, a resistência cisalhante in situ é função direta da máxima pressão imposta pela cobertura existente, presente ou passada logo, quanto maior a pressão existente na região do corte, maior será a resistência cisalhante.

Em resumo, a resistência cisalhante do solo, na região do corte, diminuirá ao longo do tempo, possivelmente atribuído a redução da poro-pressão negativa após a escavação/corte realizado, ou seja é função tempo-dependente relacionada à taxa desta dissipação. A estabilidade de longo prazo, do talude no corte efetuado é, também, dependente das forças de percolação e, claro, do máximo nível da água do solo. Após o corte ou escavação, a superfície livre da água do solo cairá lentamente, até uma cota estável, onde permanecerá, abaixo do corte efetuado. Este rebaixamento, usualmente, ocorre rapidamente quando a formação tem característica arenosa. No caso de material argiloso, ocorrerá lentamente.



Figura 7: Delizamento pela percolação d'água à montante do corte

soluções, ou uma análise computadorizada, com base no método do equilíbrio limite para um modelo a duas ou três dimensões. Programas mais complexos, com base em elementos finitos, são mais difíceis. Exibindo modelos de solo relativamente completos, com parâmetros constitutivos, baseados em programas de testes em laboratórios.

## MÉTODOS NATURAIS E EFICIENTES DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

Qualquer método de estabilização de taludes, geralmente promove duas situações, a primeira é que reduz as forças atuantes, seja pela escavação (atenuação do talude) remoção/escalonamento do solo da região superior instável, seja pela drenagem da água para reduzir as pressões hidrostáticas. Por outro lado, o aumento efetivo das forças resistentes, pode ser realizado por 3 alternativas:

- Melhoramento geral do solo (Geoenrijecimento), de modo a aumentar sua resistência cisalhante e reduzir/eliminar possível compressibilidade.
- Instalação de reforços pontuais.
- Construção de estruturas de contenção.

Antes de selecionar qualquer método, torna-se necessário determinar ou levantar a real causa da instabilidade do talude que, frequentemente, podem ser várias, figura 8 e 9.

O mecanismo de atenuação de um talude de aterro é diferente de um talude de corte. Na figura 10, apresentam-se aterros (caso a), onde o círculo crítico, originalmente, situa-se na base L1. Atenuando-se a inclinação do talude, obtém-se um novo círculo crítico L2, aumentando-se as forças resistentes, com melhor e maior distribuição da resistência cisalhante. O melhoramento do solo suporte com geoenrijecimento é a solução natural.

## O CONCEITO DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Uma vez determinada as condições geométrica e do solo, sua estabilidade pode ser investigada, utilizando-se tanto uma tabela típica com

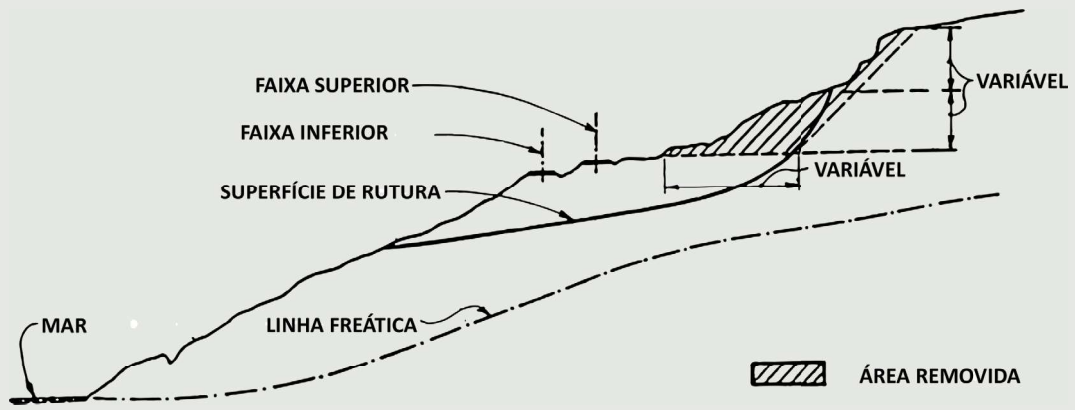


Figura 8: Situação típica de rutura em estradas costeiras brasileiras

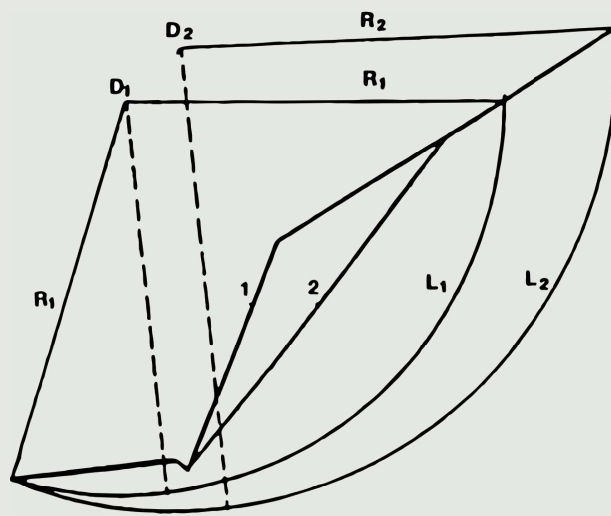


Figura 9: Mecanismo sugerido para aumento da estabilidade, diminuindo-se a inclinação do talude, o que diminui a soma das forças atuantes e obriga a superfície de rutura adentrar no solo mais profundo.

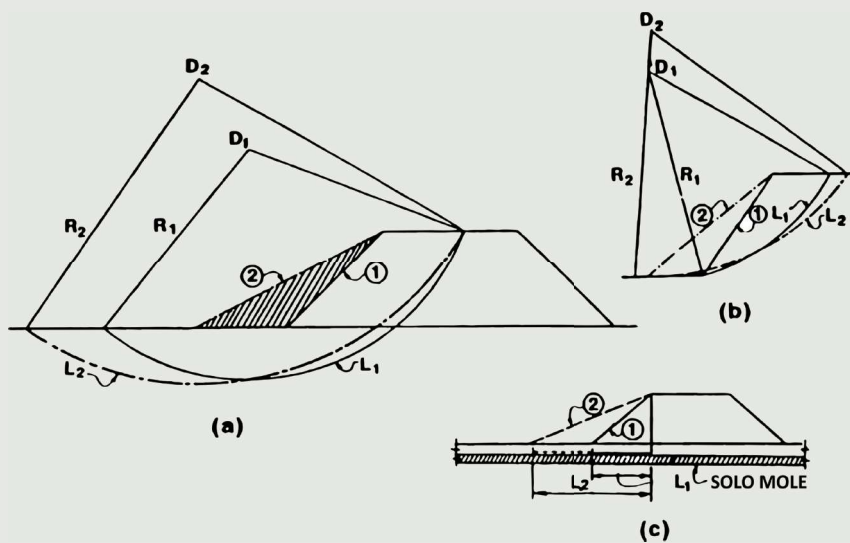
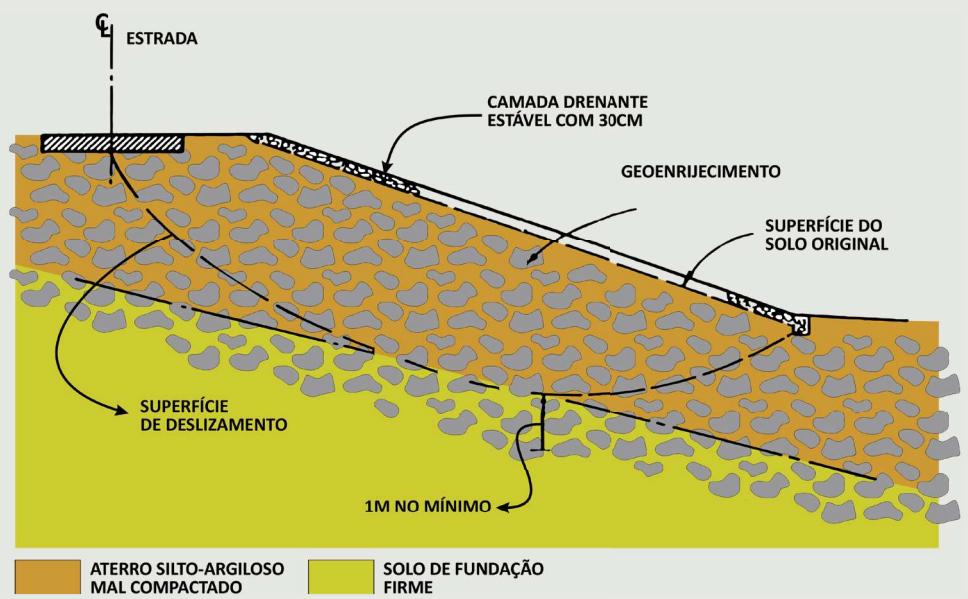


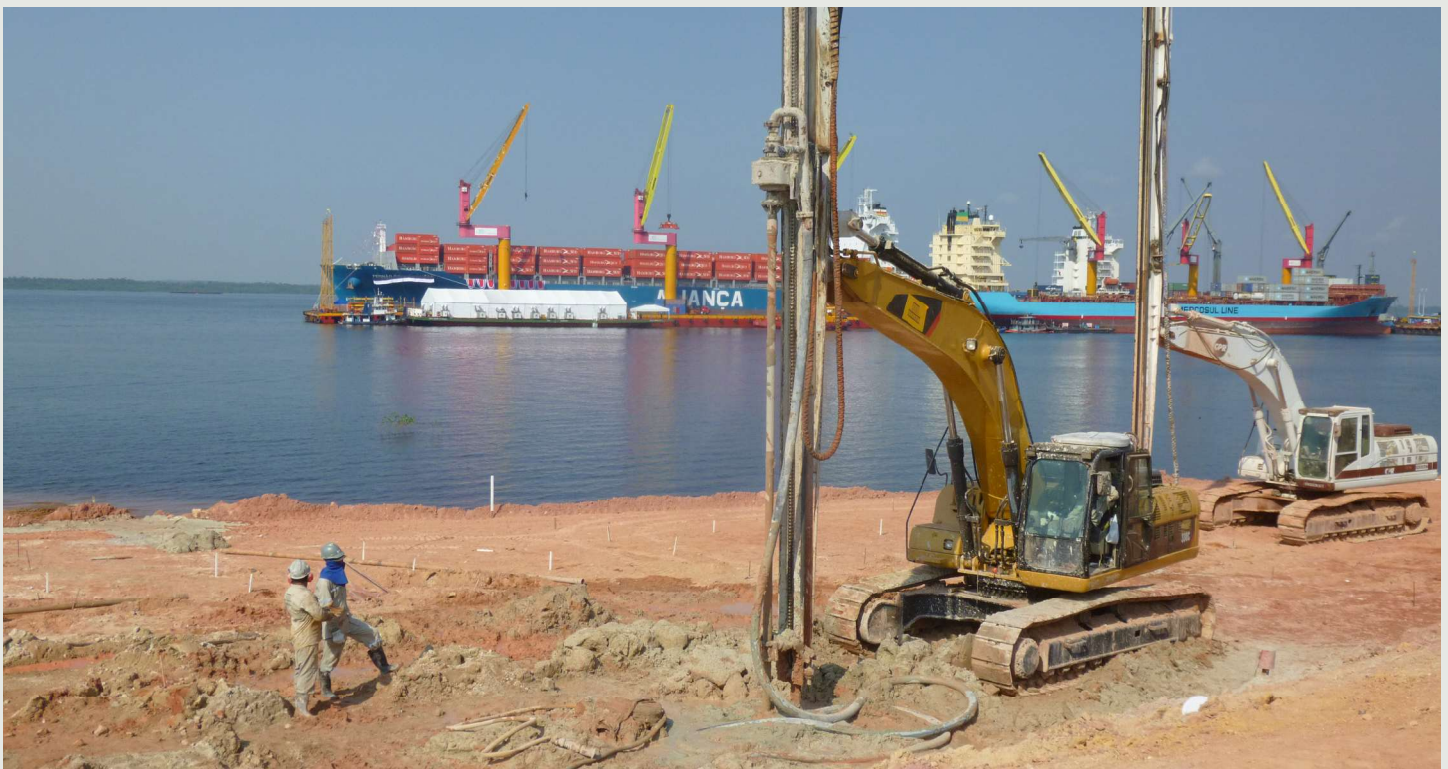
Figura 10: Atenuação de taludes do aterro. Para os três casos, o melhoramento do solo de fundação readequaria os parâmetros geotécnicos, estabilizando os taludes.

Há o caso, também, da redução da inclinação do talude, de modo que o círculo passe pelo seu pé (caso b). O caso c, é típico onde o melhoramento do solo suporte, com Geoenrijecimento, soluciona integralmente o problema, considerando que aumenta a resistência e elimina a compressibilidade do solo argiloso acelerando, de forma segura e rápida, sua consolidação, com os parâmetros desejados, seja para uma nova estrada ou empreendimento logístico, neutralizando futuros recalques. O melhoramento do solo, com Geoenrijecimento, reduz a compressibilidade e estabiliza o solo, impedindo a rutura do talude, promovendo sua homogeneização e estabelecendo uma resistência cisalhante média alta, entre bulbos expandidos de argamassa e o solo.



**Figura 11:** Diagrama esquemático, evidenciando o geoenrijecimento com geoenrijecimento, que estabiliza o talude.

**A única técnica de melhoramento de solos moles é o Geoenrijecimento já que, efetivamente, melhora sua condição, estabelecendo parâmetros geotécnicos efetivos. As demais técnicas, com base em colunas, que transferem cargas, não melhoram o solo.**



**Figura 12:** Extenso talude da área portuária de Manaus, onde melhorou-se o solo com geoenrijecimento. O geoenrijecimento, além de estabilizar o antigo e problemático talude portuário, com histórico de ruturas, permitiu recuperar antigas áreas perdidas para o Rio Negro, adentrando-se 30 metros.

# SOLOTEST®

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



 1.014.250 - Extrator Shelby de Bancada



 1.055.001 - Prensa de Adensamento



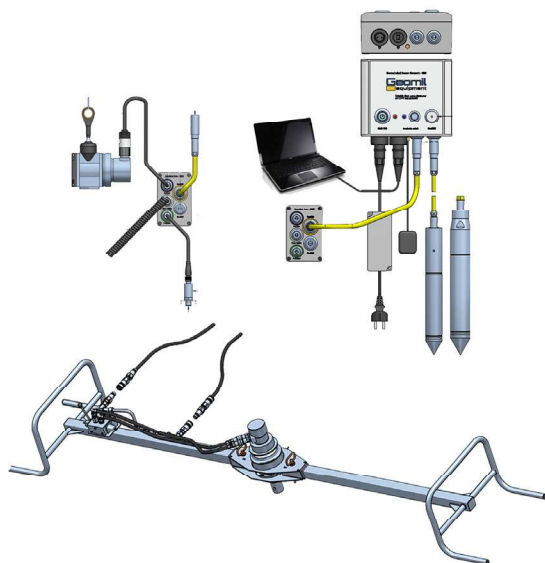
 1.022.250 - Prensa CBR / Marshall Digital Microprocessada




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



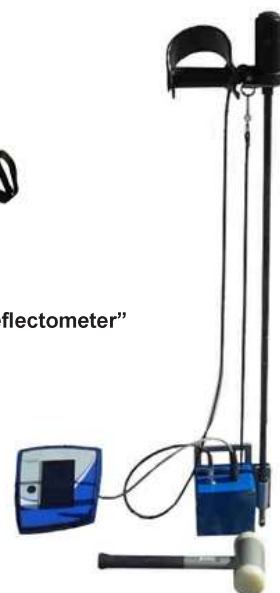
 4.100.300 - LWD "Light Weight Deflectometer"



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



 4.100.035 - Penetrômetro Dinâmico Eletrônico para Solos Panda



Para o caso de solos argilosos saturados, o melhoramento do solo com geoenriquecimento, remove os excessos de poropressão, neutralizando a compressibilidade e aumentando a resistência cisalhante. As duas técnicas de geoenriquecimento de solos, para solos arenosos e argilosos são as seguintes:

| Melhoramento de solos com geoenriquecimento   |   |
|---|---|
| Solos arenosos com problemas  | Solos argilosos moles   |
| Compaction Grouting   | CPR Grouting  |
| - Execução de pré-furo.<br>- Introdução do tubo de bombeamento.<br>- Formação de bulbos, com argamassa seca, expandindo cavidades e comprimido radialmente o solo, aumentando significativamente sua resistência, recompactando-o | - Execução de pré-furo.<br>- Instalação de sistema de drenagem.<br>- Formação de bulbos, com argamassa seca, expandindo cavidades e comprimido radialmente o solo, eliminando a compressibilidade e aumentando sua resistência, consolidando-o. |

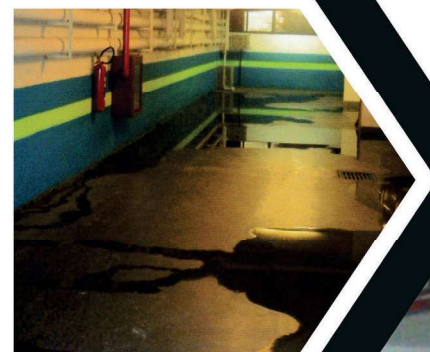


## REFERÊNCIAS

- 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.
  - . Aboshi, H., E. Ichimoto, M. Enoki, and KHazaad, 1979. "A Method to Improve Characteristics of Soft Clays by Inclusion of Large Diameter Sand Columns". *International Conference on Soil Reinforcement*, Paris, pp. 211-216, March
  - . Barrows, R., and G. Machan, 1991. "Reinforcement of a Failed Embankment Over Slough Mud," *Proceedings of Geosynthetics Conference*, Atlanta, Georgia, February.
  - . Bruce, D. A., 1992. "Two New Specialty Geotechnical Processes for Slope Stabilization," *Proceedings: Stability and Performance of Slopes and Embankments-II*, ASCE Geotechnical Special Publication No. 31, Berkeley, California, pp. 1,505 - 1,519.
  - . Earth Tecnology Corporation, 1988, "Instability of Landfill Slope, Puente Hills Landfill, Los Angeles County, California," Report submitted to Los Angeles County Sanitation District.
  - . Eckel, E. B., Ed, 1958, *Landslides and Engineering Practice*, Highway Research Board, Special Report 29.
  - . Slope Stability and stabilization methods. Lee Abramson

# SURGÊNCIAS D'ÁGUA EM SUBSOLOS

Cada vez mais são comuns surgências d'água no piso e paredes de subsolos de edificações. Nossa tecnologia, com injeção de resina hidroexpansiva, que interrompe todo e qualquer vazamento é única no Brasil. Nossa experiência é sua segurança. Consulte-nos.



www.engegraut.com.br  
tel.: (21) 3154-3250  
desde 1982

# QUAL A MELHOR SUGESTÃO PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES?

**N**em todos os métodos de estabilização são apropriados para resolver os tipos de rutura em encostas e na construção de aterros. Por exemplo, a atenuação de um talude e bermas, juntamente com drenagem superficial, são as primeiras opções de métodos de estabilização. Da mesma forma a subdrenagem é outra efetiva e rápida solução para evitar deslizamentos e problemas de estabilidade de taludes, em qualquer magnitude. Os métodos de proteção superficial, numa escala menor, podem ser utilizados para promover uma cobertura protetora, quando da existência de solos ou alterações de rocha, propensas a terem variação volumétrica por modificação do seu teor em água, passíveis de sofrerem meteorização por expansão – aumento do volume devido à absorção d’água ou retração - redução do volume devido a perda d’água. Segundo pesquisa de Nuhfer, 1997, solos ou alteração de rochas, argilosas ou siltosas, que sofrem de aumento de volume de apenas 3%, já são considerados problemáticos. Esta característica geotécnica é uma

manifestação direta do tipo e teor de minerais argilosos presentes. Evidentemente, as consequências da variação volumétrica refletem-se em qualquer obra de engenharia. Fatores que influenciam variações volumétricas, classificam-se em internos, como a composição mineralógica e química da fração fina do solo, e externos, associados ao ambiente e a condição estrutural do maciço. Paredes de contenção são imbatíveis e constantemente utilizadas quando há perspectiva de pequenos deslizamentos. Quando há limitações de espaço, utilizam paredes de contenção passivas (solo grampeado) ou ativas (parede atirantadas), como solução para problemas de estabilidade. O número e a variedade das técnicas de estabilização é evidência de que não há regra geral para de projetar um talude instável ou situações de deslizamento. Em outras palavras, não há “um método específico” de tratamento. Nem sempre o tratamento mais caro é o mais efetivo e vice-versa. Tanto é verdade que, rotineiramente, vemos soluções associadas por combinação de duas ou mais técnicas de estabilização

e, interessante, a escolha final nem sempre será do projetista, já que questões de estabilização mais efetivas e econômicas podem ser superadas por temas tipo segurança, cronograma, disponibilidade de materiais e equipamento, estética, impacto ambiental, questões políticas e a própria mão de obra. Finalizando, é importante enfatizar que quando da necessidade de uma solução para problemas de estabilidade, nem sempre “aquela” solução que estamos familiarizados será a escolhida, pois inerentes problemas técnicos associados, como a particularidade do tipo do solo ou alteração da rocha que, devido a questões pertinentes a meteorização, por exemplo, exige a impermeabilização das faces expostas ao tempo. As situações, também, de compatibilidade deformativa, fluência do maciço in situ, a corrosividade do solo, a questão da durabilidade e a própria construção, costumam ser decisivos.



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

PATRÍCIA TINOCO

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

**Publicidade, Assinatura, Livros e Vídeos**

CLEIDE FERREIRA

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

**Editor de Arte**

PIETRO NÓBREGA

**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.

**NEWSLETTER**  
em casa

Receba sua revista SSBR em seu e-mail.

Inscrição:

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

# Agenda

18 e 19 de janeiro de 2021

**14th Baltic Sea Geotechnical Conference 2020 - Virtual Conference**

**Finland, Helsinki**

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

22 a 26 de fevereiro de 2021

**XIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LANDSLIDES**

**Colombia, BOGOTÁ**

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

31 de março a 02 de abril de 2021

**International Conference on Challenges and Achievements in Geotechnical Engineering**

**Albania, Tirana**

[emy@greengeotechnics.com](mailto:emy@greengeotechnics.com)

3 a 5 de Maio de 2021

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

**Italy, Torino**

[info@symposium.it](mailto:info@symposium.it)

23 a 26 de maio de 2021

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

**United States, Chicago**

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

26 a 28 de maio de 2021

**XXV Congreso Argentino de Ingeniería Geotécnica - CAMSIG**

**Argentina, Posadas**

<https://camsig2020.com/>

27 a 29 de maio de 2021

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

**PNorthern Cyprus, NICOSIA**

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

27 e 30 de junho de 2021

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

**Portugal, Lisboa**

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

12 a 17 de julho de 2021

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

**India, Bengaluru**

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

25 a 28/ de julho de 2021

**3rd Pan-American Conference on Unsaturated Soils**

**PUC-Rio - Gávea - Rio de Janeiro, RJ**

<https://panamunsat2021.com/>

10 a 12 de setembro de 2021

**7th International Young Geotechnical Engineers Conference**

**Australia, Sydney**

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

17 a 20 de outubro de 2021

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

**United States, Arlington**

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

20 e 22 de outubro de 2021

**Third International Symposium on Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics**

**Japan, Kyoto**

<https://cpeg2020.org/>

22 a 24 de novembro de 2021

**XI Congreso Chileno de Geotecnia**

**Chile, Talca**

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



# RUTURA DE ATERROS EM ESTRADAS

INPUT EQUIVOCADOS. OUTPUT INCONSISTENTES.

**Figura 1:** Entroncamento rodoviário onde ocorreu a rutura do aterro

**A** boa notícia é que ninguém discute nossa capacidade de analisar e computar fatores de segurança em 2D e 3D, que aumentou tremendamente nestes últimos anos, incluindo as análises com elementos finitos e diferenças finitas. A má notícia, é que está tornando-se comum equívocos neste tipo de análise, particularmente pertinente à solos moles, sem a adequada compreensão, seja dos parâ-

metros de entrada, seja dos modos de ruptura ou, propriamente, da incompatibilidade deformativa entre materiais envolvidos. O geotécnico, especialista em melhoramento de solos moles, deverá entender a complexidade dos métodos analíticos utilizados, descartando a ideia de que trata-se de soluções precisas. Procuramos, neste artigo, apresentar recomendações para a escolha das propriedades dos materiais,

além de um caso de obra, abordando a incompatibilidade deformativa e considerando os modos de rutura possíveis, antes da análise pertinente. O caso de obra, refere-se a um processo de rutura, ainda durante a construção, de uma pista de acesso à uma rodovia interestadual. Posteriormente, foi feita a investigação subsequente do projeto existente e de seu comportamento. A técnica de melhoramento do solo utilizada,

para as camadas de solo mole existente, ficou apenas na cravação de geodrenos, para induzir o processo de consolidação. Pelo resultado obtido, ficou evidente que o solo mole apresentou drenagem insuficiente e, conseqüentemente, submeteu-se a pouca ou nenhuma consolidação e ganho de resistência, revelando um coeficiente horizontal de consolidação ( $Ch$ ) superestimado. A análise da estabilidade inversa mostrou, também, que a rutura foi causada pelo fato de superestimarem a resistência cisalhante do aterro compactado.

cravação de geodrenos para acelerar o processo de consolidação, objetivando, aumentar de 2 a 2,5 vezes a resistência cisalhante do solo mole, “impondo um adequado fator de segurança”. Cravou-se cerca de 100 mil metros de geodrenos, em malha triangular de 1,8m de lado, estabelecendo uma área afetiva de drenagem de aproximadamente  $3m^2$ , indo até o solo impenetrável. As cabeças dos geodrenos ficaram imersas no colchão de areia, construído na base do aterro. O valor do  $Ch$ , dimensionado para os geodrenos, foi de  $18,6m^2/ano$ , checa-

do durante a elevação do aterro, monitorando-se os valores do recalque obtido. Os valores do  $Ch$  utilizados ( $6,4$  a  $8,4m^2/ano$ ), para o solo mole existente no local da rutura, ficaram bem abaixo do valor apresentado no projeto, razão pela qual o solo mole não ganhou a devida resistência cisalhante não drenada, de modo a manter a estabilidade do aterro que subia. Ainda na fase de projeto, foram realizados testes de consolidação, em amostras de argila mole siltosa, apresentando limites de liquidez de 34% e de plasticidade 23%. Os resultados, destes testes produziram valores do coeficiente de consolidação vertical de  $1,78$  e  $2,47m^2/ano$ , para tensões verticais efetivas de  $223$  e  $418kPa$ , respectivamente. Ambas as tensões efetivas verticais, excederam a tensão efetiva de campo de  $140kPa$ , para a profundidade máxima coincidente com a superfície de rutura. As taxa de  $Ch$  e  $Cv$ , tipicamente, variaram de  $1,5$  a  $4,0$ , de forma que a estimativa do  $Ch$ , utilizando valores de laboratório de  $Cv$ , variaram de  $2,7$  a  $9,9m^2/ano$ , também bem abaixo do valor  $18,6m^2/ano$ , recomendado no projeto. A utilização



**Figura 2:** Trincas no aterro, à medida em que subia.

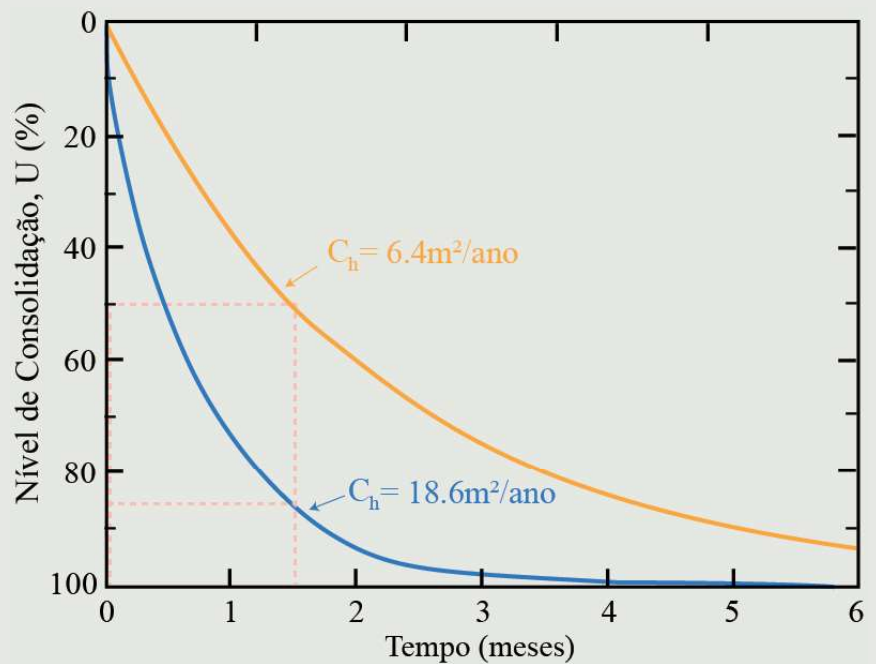
## A HISTÓRIA DO ATERRO

O caso ocorreu recentemente na cidade de Medina, estado de Ohio, EUA, onde construía-se um aterro com extensão de 91m, sobre depósitos de solos moles, necessário à pista de acesso à rodovia interestadual. Com uma altura final de projeto de 10m, toda a extensão do aterro rompeu quando estava na metade da altura, ou seja, com cerca de 5m. O método de melhoramento do solo, simplório, fez uso apenas da

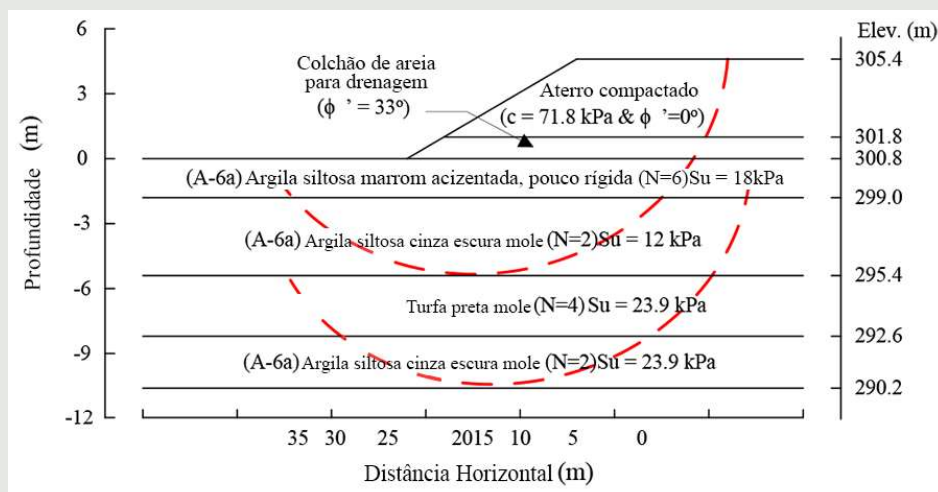


**Figura 3:** Início da rutura, onde metade do aterro inicia um giro para a esquerda

do  $c_h$ , de  $6,4\text{m}^2/\text{ano}$ , particularmente na área rompida, produziu uma relação de  $c_h$  para  $c_v$  de 3,6 a 2,6, utilizando-se os testes de consolidação de laboratório do  $c_v$ , ou seja, a relação de  $c_h$  para  $c_v$  de 2,6 a 3,6, bem concordante com a típica relação de  $c_h$  para  $c_v$  de 1,5 a 4,0. Uma das lições, tiradas deste caso de obra, é que a relação de  $c_h$  para  $c_v$ , de 1,5 a 4,0, deve ser utilizada com valores de laboratório do  $c_v$ , de modo a se obter um espectro razoável de  $c_h$  para os geodrenos, objetivando-se obter a consolidação e o consequente ganho de resistência. A figura 4 evidencia a evolução do processo de consolidação,  $U$ , em relação ao tempo, considerando-se os valores de projeto e o real do  $c_h$



**Figura 4:** Evolução do processo de consolidação,  $U$ , em relação ao tempo



**Figura 5:** Perfil de sondagem e o esquema da rutura.

=  $18,6\text{m}^2/\text{ano}$  e  $6,4\text{m}^2/\text{ano}$ , respectivamente. A rutura do aterro ocorreu um mês e meio após o início da obra, o que corresponde a  $U \sim 86\%$  de consolidação se  $c_h = 18,6\text{m}^2/\text{ano}$  (figura 4). Se  $U$  fosse 86%, a resistência não drenada seria suficiente para impedir a rutura do aterro.



É interessante observar que, se utilizarmos o tempo de 1,5 meses e os valores de  $c_h$ , produzir-se-ia um  $U < 50\%$  (ver figura 4 acima), o que explicaria a rutura do aterro, atrelada a uma resistência cisalhante não drenada, completamente insuficiente para o solo de fundação.

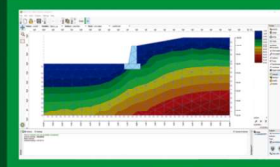
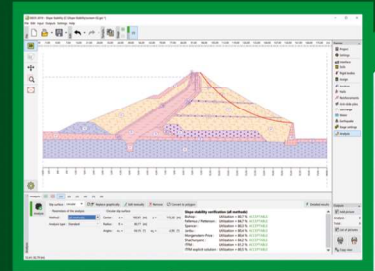
## A RESISTÊNCIA DO ATERRO E A SURGÊNCIA DAS TRINCAS

O projeto deste aterro foi modelado com tensão total ou resistência cisalhante não drenada ( $\phi = 0$ ), se bem que o solo compactado não apresentava-se saturado. Evidentemente, na análise de estabilidade, a contribuição da resistência cisalhante do aterro, foi a coesão ( $71,8\text{ kPa}$ ), e o comprimento da superfície de rutura ( $\sim 4\text{m}$ ) do aterro. Esta resistência cisalhante, corresponde a cerca de 50% da resistência cisalhante total, existente ao longo de toda a superfície da rutura. Consequentemente, o fator de segurança foi superestimado cerca de 2 a 2,5 vezes, já que as trincas de tração, ao longo do pavimento do aterro, não foram inclusas na análise do projeto. O fator de segurança calculado



## Software de Geotecnia para uma vasta gama de análises:

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



**AVALIE GRATUITAMENTE**

Solicite: [comercial@solucoescad.com.br](mailto:comercial@solucoescad.com.br)

Distribuído por:

**SOLUÇÕES** CAD  
BIM

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



de 1,64, utilizando-se  $C = 71,8$  kPa e  $\phi = 0^\circ$  e a altura do aterro compactado de 4,6m, confirmou que o projeto atendia ao fator de segurança especificado pelo departamento de estradas, superestimando o fator de segurança real, já que o aterro rompeu com apenas 4m de altura. Na presença de solos moles, a modelagem de aterros compactados, com resistência cisalhante não drenada, poderá superestimar sua resistência cisalhante, a menos que as trincas de tração sejam incluídas na análise, tendo em vista as características de rigidez e fragilidade do maciço, incompatíveis com as propriedades do solo mole de sua base. Resulta que, se na análise de estabilidade, ignorou-se a necessária compatibilidade deformativa, poder-se-á chegar à resistência cisalhante de pico do aterro, atrelado a um deslocamento extremamente pequeno, em relação ao solo suporte. Consequentemente, surgiram trincas de tração, devido a condição do solo mole de fundação. Assim, na análise de estabilidade, poder-se-á estimar a profundidade das trincas, que surgem na superfície do aterro, assumindo-se uma superfície de ruptura planar, considerando-se a equação da teoria de Rankine da pressão ativa, aquela em que o “equilíbrio plástico no solo” tem a ver com a condição de que cada ponto, dentro de um maciço, está na iminência de ruptura:

$$Prof. Trincas = \frac{2 \times C_{aterro}}{\gamma_{aterro} \times \tan\left(45^\circ - \frac{\phi_{aterro}}{2}\right)}$$

Equação 1

Onde  $\gamma_{aterro}$  é o peso unitário do aterro compactado

Onde  $\phi_{aterro}$  é o ângulo de atrito da tensão total do aterro compactado

Onde  $C_{aterro}$  é a coesão do aterro compactado

Considerando-se a condição não drenada e o projeto inicial do  $\phi_{aterro} = 0$ , a equação acima é simplificada para:

$$Prof. Trincas = \frac{2 \times C_{aterro}}{\gamma_{aterro}}$$

Equação 2

Utilizando  $C_{aterro} = 71,8$  kPa e  $\phi_{aterro} = 0$  na equação 1, a Prof. Trinca = 6,7m. Esta profundidade de trinca, excede de forma significativa a altura de 2,4m de aterro quando:

1 – as trincas de tração no maciço começaram a surgir

2 – o aterro rompeu com apenas 4m de altura

Este resultado demonstra que considerando-se a análise de estabilidade, a resistência cisalhante não deveria ter sido utilizada para o aterro. O fator de segurança crítico é 1,59, justificado por uma pesquisa de equilíbrio limite, em uma superfície de ruptura circular, nenhuma trinca de tração e metade da altura do aterro (4,6m), o que indica estabilidade, sendo concordante com o fator de segurança do projeto, 1,64. Contudo, esta análise de equilíbrio limite evidenciou significantes esforços de tração nas superfícies do aterro, causados por tensões normais negativas, à medida em que elevava-se. Se utilizarmos a mesma

análise de equilíbrio limite, considerando-se trincas de tração para a altura do aterro de 4,6m, como sugerido pela equação 1, produz-se um fator de segurança crítico de 0,91. Portanto, se fossem incluídas as trincas de tração na análise de estabilidade do projeto inicial, a ruptura tornar-se-ia visível e prognosticada. O fator crítico de segurança, para esta análise, é 1,02 o qual, também, está em perfeito acordo com a ruptura do aterro na altura de 4m. O fator de segurança também pode ser estimado, utilizando-se a análise da capacidade de carga não drenada, de modo a auxiliar a análise do equilíbrio limite, utilizando-se um valor médio ponderado de  $Su_{VMP}$  ao longo da superfície de ruptura, um fator relativo à capacidade de carga,  $Nc = 5,14$ , a altura desejada do aterro,  $H_{aterro}$ , e o peso unitário do material do aterro,  $\gamma_{aterro}$ , conforme equação abaixo:

$$FS = \frac{Nc \times Su_{VMP}}{\gamma_{aterro} \times H_{aterro}}$$

Equação 3

Utilizou-se o valor  $Nc = 5,14$ , porque o aterro não adentrou no solo de fundação e foi modelado como uma sapata corrida. Para a seção transversal da subsuperfície rompida, o valor ponderado no  $Su_{VMP}$  foi calculado em cerca de 17,9 kPa. No início de agosto, o aterro atingiu a cota de 4m de altura, tendo com o peso unitário médio de 21kN/m<sup>3</sup>, já que utilizou-se lastro de concreto no aterro, correspondendo a um aumento na tensão total de 87,1 kPa. Utilizando-se a expressão da capacidade de carga simplificada, ter-se-á um fator de segurança resultante de 1,06 (equação 4), concordante com o começo da ruptura no início

de agosto, corroborando os resultados do equilíbrio limite, apresentados anteriormente, os quais resultaram no fator de segurança 1,02. Portanto, esta análise rápida da capacidade de carga, evidencia que uma altura do aterro, de apenas 4m, já não atendia as exigências do departamento de estradas, com fator de segurança maior que 1,5.

Apresenta-se na tabela ao lado, cálculo dos fatores de segurança, utilizando-se a equação 4, considerando-se diversas alturas do aterro, o que ratifica as observações apresentadas. Esta análise, bastante simples, evidencia a importante questão da sensibilidade do fator de segurança, já que aumentando-se sua altura de 2,4m para 4,0m, diminui-se o FS de 1,77 para 0,92. Ou seja, a importância dos input no projeto.

$$FS = \frac{Nc \times Su_{VMP}}{\gamma_{aterro} \times H_{aterro}} = \frac{5,14 \times 17,9 \text{ kPa}}{21,7 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \times 4\text{m}} = 1,06$$

Equação 4

| Condição do Aterro                              | Altura do Aterro (H <sub>aterro</sub> ) (m) | Capacidade de carga com FS utilizando-se a Equação 4 |
|---|---|--|
| Início de Julho – surgiram as primeiras trincas | 2.4m  | 1.77   |
| Início de Agosto – as trincas reapareceram      | 4.0m  | 1.06   |
| Altura do estágio 1                             | 4.6m  | 0.92   |
| Altura total do aterro                          | 9.2m  | 0.46   |

**Tabela 1:** Cálculos de capacidade de carga para o FS, considerando-se diversas alturas de aterro e o solo de fundação nas áreas rompidas, o que ratifica as observações apresentadas

SSBi

#### REFERÊNCIAS

- Timothy D. Stark, PhD, PE, D.GE, F.ASCE, Perry J. Ricciardi, PE, M.ASCE, and Ryan D. Sisk, PE, M.ASCE. *Highway Embankment Failure on Soft Clay Geostrata*- Edição Maio/Junho 2020

**ENGEGRAUT**  
GEOTECNIA E OBRAS LTDA

**Duplicação da BR470**

**Área Portuária de Manaus**

**INCONFUNDÍVEL**

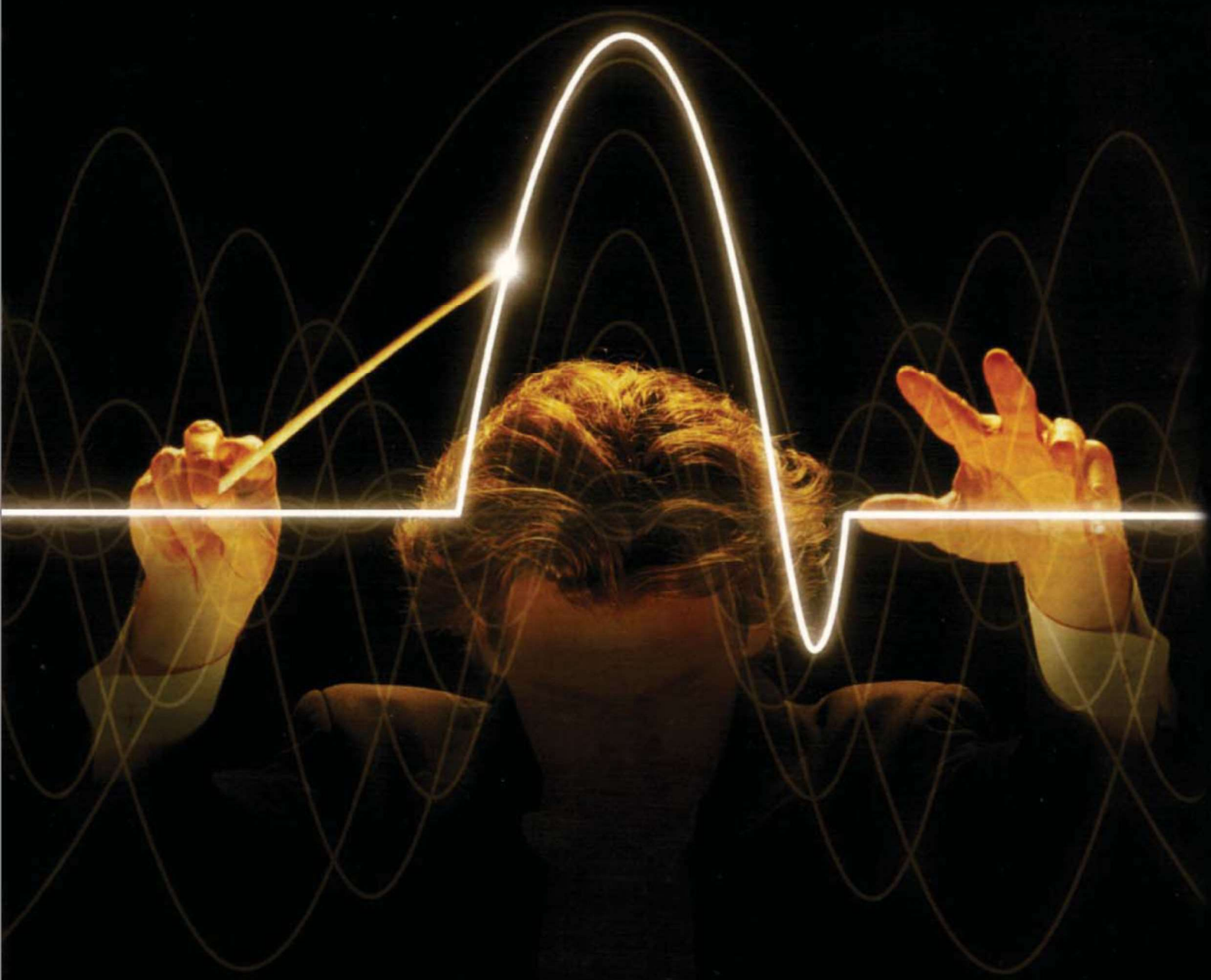
Melhorar solos moles só com Geoenrijecimento. Sistemas a base de transferência de cargas (com colunas) são pouco eficientes porque não melhoram o solo mole.

**CUSTO-BENEFÍCIO**

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

**GEOENRIJECIMENTO**  
100% melhoramento de solos  
tecnologia exclusiva ENGEGRAUT.

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)







Análise de soluções geotécnicas de aterros de encontro para pontes existentes, em rodovia situada

# NO NORDESTE

Trata-se de uma importante rodovia, com 37km de extensão, que passa por cidades turísticas, essencialmente praianas.

## Figura 1:

Início do aterro, na obra de duplicação rodoviária, próximo ao encontro de pontes

**N**os trechos em que esta rodovia atravessa sedimentos holocênicos, vulgarmente chamados de “solos moles”, seus aterros sofrem recalques progressivos devido à elevada compressibilidade e baixa resistência do solo de fundação, traduzindo-se em grandes e visíveis deformações e trincas, além no pavimento da estrada.

Este processo de recalque, torna-se ainda mais crítico nos aterros de aproximação de pontes ou viadutos, onde é comum verificar desníveis entre o pavimento rodoviário e o tabuleiro da obra-de-arte, causado pela cedência vertical do aterro em relação à ponte ou viaduto, promovendo o efeito de “salto” nos veículos que entram e saem na obra de arte. Tais

ressaltos acabam promovendo redução na segurança dos usuários da via, principalmente quando há velocidades mais altas, podendo resultar na perda de controle do veículo. A qualidade da via fica afetada. Este processo de recalque, consequência do lento processo de adensamento, promovido pelo peso do aterro e das cargas existentes, seguido da com-

pressão secundária, provoca no solo deformações plásticas incrementais e contínuas, gerando recalques na superfície, além de forças adicionais nas estacas das pontes existentes. O movimento resultante é tanto vertical como horizontal. Estas forças geradas, cuja intensidade não é necessariamente a mesma nas duas direções, comprometem a integridade física das estacas, sua operacionalidade e durabilidade, como consequência do movimento do solo em seu entorno, que se deforma sob o peso do aterro. Como estacas são dimensionadas para resistirem a esforços verticais, horizontais e flexionais, além das cargas “usuais”, a presença, de deformações permanentes e, sobretudo, crescente (em decorrência da natureza progressiva dos recalques), impõe deformações nas estacas, ficando praticamente impossível avaliar as consequências a médio e longo prazo. Consequentemente haverá a formação de ressaltos no pavimento e uma crítica condição para as obras de arte existentes.

## Analizando as soluções

A interação solo-estaca, em um encontro de ponte, resume-se em um conjunto de deslocamentos, forças e pressões que dependem, principalmente, de três fatores:

- 1) Comprimento, diâmetro e rigidez da estaca;
- 2) Compressibilidade e movimentação do solo;
- 3) Rigidez relativa entre solo e estaca.

Dentro deste contexto, ocorrem movimentos relativos solo-estaca

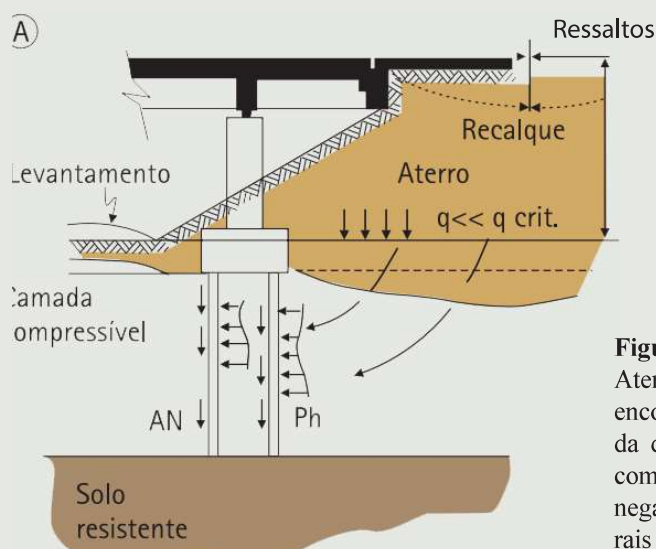
e forças adicionais, pouco comuns, que afetam os elementos de fundação, propagando-se nos elementos estruturais acima. **De uma maneira geral, estas forças dividem-se em duas categorias:**

### 1) Força de arraste:

Forças verticais, com direção para baixo, provocadas pelo atrito negativo, que atua na superfície lateral da estaca. Com estas cargas adicionais, a capacidade de carga de estacas poderá, eventualmente, ser ultrapassada desenvolvendo-se outros recalques, agora no corpo da obra-de-arte.



**Figura 2:** Testes pressiométricos para avaliação da rigidez e da resistência após o melhoramento do solo.



**Figura 3:**

Aterro de aproximação em um encontro de ponte, sobre camada de solo mole compressível, com as estacas sofrendo atrito negativo (AN) e empuxos laterais (Ph).

### 2) Força cortante e momento:

Agindo como obstáculo, ou mesmo “freio”, aos deslocamentos horizontais da massa de solo, as estacas ficam submetidas a pressões horizontais que atuam em seu corpo, provocando deformações, deslocamentos, podendo chegar a fraturas (efeito Tschebotarioff).

Evidentemente, o surgimento destas forças é causado pelo próprio peso do aterro, que gera deslocamentos no solo mole na forma de recalques verticais e escoamentos laterais, permanentes e proporcionais à altura do aterro. Como consequência, ao se elevar pontualmente o nível do pavimento rodoviário, com correções feitas através de novas camadas de asfalto ou aterro, em última análise, afeta ainda mais as estacas, pela geração de mais tensões no solo. A Figura 3 a seguir mostra estacas de um encontro de ponte atravessando uma camada de argila mole sobre a qual se depositou um aterro. A argila mole, em processo de adensamento, sofre recalques, ocorrendo deslocamentos de sua massa. Atrito negativo e empuxos laterais surgem ao longo do corpo das estacas.

# 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)

Quando há atrito negativo o solo, que envolve a estaca, transfere parte do próprio peso. Em outras palavras, o solo “pendura-se na estaca”. Como consequência, a solicitação ao longo da estaca e em sua ponta torna-se maior, gerando recalques adicionais na fundação, podendo chegar a sua ruptura (Figura 4). Uma vez carregado o solo, como qualquer outro material, deforma-se nas camadas mais compressíveis, impondo às estacas toda sorte de movimentos horizontais (efeito Tschebotarioff), na forma de pressões horizontais, levando-as à ruptura. (Figura 5).

## Ações horizontais no solo mole

As cargas, devido ao peso do aterro no encontro com a ponte, geram deslocamentos laterais que são verificados para o estado limite de utilização. A fundação e a estrutura da obra de arte são, inevitavelmente, submetidas a esforços laterais que, para efeito de cálculo, podem ser esquematizadas conforme as figuras 6 e 7. Em decorrência do processo de adensamento existente, ocorre o deslocamento lateral da argila, gerando cisalhamento ( $\tau_1$  e  $\tau_2$ ) na base do aterro, com consequente carregamento lateral na fundação da ponte, que soma-se ao empuxo do aterro ( $f_1$ ) atuante sobre a estrutura de contenção. Consequentemente, a força horizontal total será:

$$F_h = E_{at} + \tau_1 l_1 + \tau_2 l_2$$

Onde:

$$E_{at} = 1,5K_0\gamma_{at}H_{at}^2$$

$\tau_1 = \tau_2 = \alpha s_u$  o fator de adesão  $\alpha$  é tomado igual a 0,5.



Figura 4:

Efeito do atrito negativo em elementos de fundação profunda. Houve a separação entre estacas e blocos de fundação pelo comprometimento das estacas.



Figura 5:

Colapso de edifícios por ruptura das estacas sob efeito Tschebotarioff. O peso do aterro solicitou excessivamente os elementos de fundação.

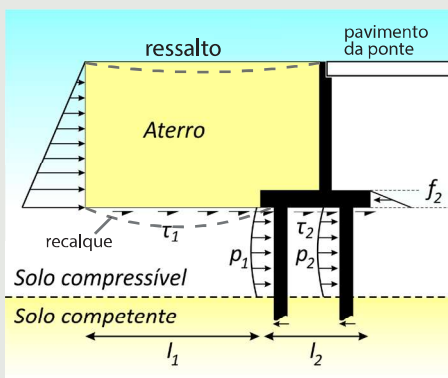


Figura 6: Componentes do carregamento lateral composto

Supondo-se, então, que as cabeças das estacas suportem forças horizontais, por metro de largura, igual a:

$$F_h = 735 + 177 + 100 = 1012\text{kN/m} = 101 \text{ t/m}$$

Este resultado foi obtido considerando-se os seguintes dados:

$$\gamma_{at} = 20\text{kN/m}^2$$

$$k_0 = 0,5$$

$$H_{at} = 7\text{m}$$

$$l_1 = 14\text{m}$$

$$l_2 = 8\text{m}$$

$$\alpha = 0,5$$

$$S_u = 25\text{kPa}$$

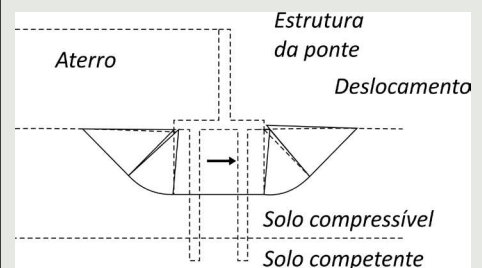


Figura 7: Mecanismo de transferência de carga por deslocamento de solo.



# Geotechnical Analysis SIG: Simulating Soil Lab Tests for PLAXIS Soil Model Parameters



Micha van der Sloot  
Technical Support Manager  
Bentley Systems, Inc.

11 February 2020  
10:00 A.M. CET  
04:00 P.M. CET

*PLAXIS: Simulating Soil Lab Tests*

[www.bentley.com](http://www.bentley.com)

Dear User,

When conducting laboratory test results – such as Triaxial and Oedometer tests – you want to make sure that the behavior of your chosen constitutive soil model captures the test result data. With the SoilTest feature, PLAXIS offers a quick and simple method to simulate these lab tests and verify the model behavior. To learn more, this Geotechnical Special Interest Group virtual workshop is a must see!

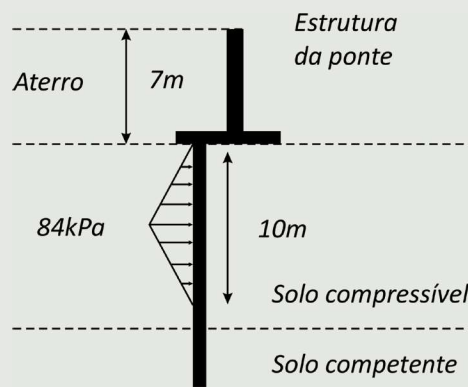
The agenda for the one-hour session encompasses:

- How to start a soil lab simulation
- Optimizing your model parameters to replicate real-life behavior
- After optimizing, how to quickly update the soil material definition in PLAXIS

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

**Geotechnical Analysis SIGs – complimentary virtual workshops to keep you working optimally!**

A esta força, soma-se o empuxo lateral, devido ao movimento horizontal da massa do solo, transmitindo pressões horizontais ao longo do corpo das estacas. Na prática, considera-se distribuição triangular de pressões com um máximo igual a  $K_0 \gamma_v$ , no meio da camada. Supondo que o efeito concentre-se nos primeiros 10m do fuste da estaca, ocorrerá a seguinte distribuição de pressões horizontais, conforme figura ao lado.



As deformações laterais resultantes podem ser estimadas, via análise estrutural, desde que seja conhecida a rigidez da estaca, deduzindo-se o momento fletor atuante, considerando uma viga duplamente engastada, com pressão lateral triangular, conforme mostrado acima, com deslocamento imposto no topo da força horizontal anteriormente calculada ( $F_h$ ).

Abaixo, os principais fatores que influenciam a extensão e a magnitude das deformações laterais:

1. Razão  $q/S_u$ . Segundo Marche e Lacroix (1972), surgem movimentos laterais importantes quando  $q/S_u > 3$  ( $q$  = carga devido ao peso do aterro;  $S_u$  = resistência não drenada);
2. Profundidade do depósito mole. Em geral, quanto mais profunda for a camada compressível, maior será o volume de solo mobilizado;
3. Perfil de  $S_u$ . Rupturas localizadas desenvolvem-se em função dos valores da resistência não drenada, ao longo da profundidade.
4. Efeitos de longo prazo. Deslocamentos laterais nas estacas, associados ao adensamento e à compressão secundária, aumentam mesmo sob carregamento constante

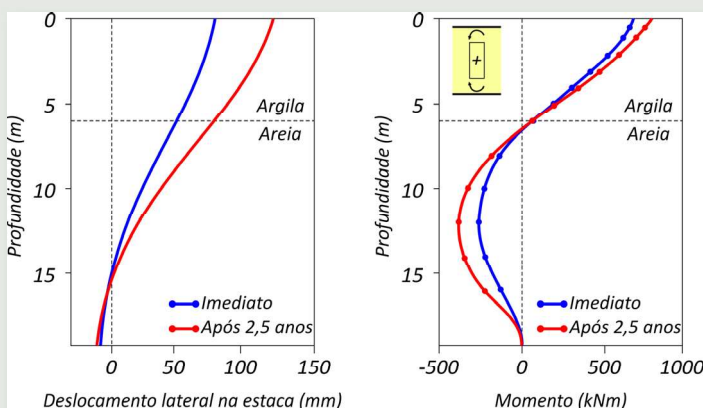


Figura 7: Evolução temporal do deslocamentos laterais e momento fletor nas estacas.

## Patologias resultantes

O pavimento, sob o aterro de encontro recalca, produzindo ressaltos na junção com a ponte e, no interior do solo as deformações causam empuxos crescentes nas que perdem sua ortogonalidade de concreto armado, ocorrem trincas mesmo fraturas, desenvolvendo-se processos de corrosão em suas armaduras. A durabilidade da fundação da ponte, e seu desempenho, ficam prejudicados sem, necessariamente, ultrapassar-se a resistência última das estacas. A ação combinada das forças geradas pelo solo, na fundação, transmite-se em última análise, na ponte, comprometendo seus elementos estruturais. Movimentos excessivos, repercutem em toda a estrutura da ponte, provocando o fechamento de juntas e movimentação nos apoios livres entre base e tabuleiro.



Figura 8: Melhoramento do solo mole com geoenriquecimento

## O limite da tolerabilidade

O ressalto entre o pavimento do aterro e o tabuleiro da ponte manifesta-se cada vez mais intensamente, chegando ao intolerável. Torna-se necessário quantificar estes movimentos e avaliar se ultrapassam os limites toleráveis impostos à estrutura, devendo-se consultar o limite de tolerabilidade.

## Dois princípios básicos que sancionam o limite da tolerabilidade:

### Segurança:

A maior preocupação é com a segurança do usuário, no entanto, o princípio é muito mais abrangente, pois engloba a preservação do meio ambiente e da qualidade de vida do motorista. Segundo este princípio, todos os efeitos adversos ao ser humano e ao meio ambiente, decorrentes das patologias, devem ser considerados para a tomada de decisão.

**E**stabelecer apenas um dos critérios, para definição do limite de tolerabilidade, levaria a uma decisão errada. Por exemplo, priorizando o aspecto econômico, a segurança ficaria reduzida excessivamente, ocorrendo rupturas. Por outro lado, algo considerado seguro

poderia gerar perdas e incalculáveis danos econômicos aos usuários e proprietários. Dentro deste contexto, para aterros de encontro de pontes, a definição de limite de tolerabilidade depende, então, dos seguintes fatores:

### Custo-benefício:

Precisa-se evitar, sempre, desperdícios de meios e recursos disponíveis, utilizando-os de modo racional e inteligente, de modo a otimizar resultados e benefícios alcançados. Vincula-se à idéia fundamental do desempenho qualitativo, visando obter o melhor resultado estratégico possível dos recursos financeiros, econômicos e/ou patrimoniais, dentro da equação custo-benefício.



**Figura 9:**  
Elevação do aterro de encontro do viaduto

1. Intensidade do movimento
2. Tipo de ponte ou viaduto
3. Efeitos em cada componente da estrutura
4. Custo das soluções alternativas
5. Influência nas condições de trafegabilidade
6. Parâmetros adotados no cálculo
7. Prognóstico de ausência de qualquer tipo de movimento

## Planilha de Soluções

O bom desempenho da obra-de-arte está intimamente ligado ao controle e à qualidade de sua fundação, objetivando-se garantir padrão de segurança, funcionalidade e, claro, sua durabilidade. Neste sentido, no quadro a seguir, estão evidentes as possíveis opções de procedimentos, diante de processos de recalques existentes nos aterros de encontro da rodovia.

| Opção  | Descrição   | Segurança   | Custo-Benefício  |
|--|---|---|--|
| <b>Nada a fazer</b>  | Deixar a via tal como está  | Patologias nas estacas persistem, junto aos problemas nos aterros de encontro, havendo continuidade das deformações.<br>O desnível entre tabuleiro e pavimento vai crescendo, como consequência de movimentos no solo de fundação. O afetamento das estacas aumenta perigosamente.  | Não há aplicação de capital. Por outro lado, há risco de imagem e perdas indiretas: redução da vida útil da infraestrutura, queda do valor da rodovia, discrepância entre o valor percebido e custo do pedágio, com consequente perda de clientes. O eventual aumento da sinistralidade pode onerar o custo do seguro.   |
| <b>Correção periódica apenas do desnível do asfalto (ressalto)</b> | Aplicação de revestimento asfáltico ou aterro quando surgirem os primeiros ressaltos na intenção de nivelar a via ao tabuleiro. | A correção dos ressaltos, nas pistas, melhora a sensação de segurança e confiança dos motoristas. No entanto, os problemas patológicos na fundação aumentam e tendem a se agravar com o passar do tempo. Camada após camada, sob o efeito de um empuxo crescente, as estacas tendem a falhar, com risco de colapso estrutural de toda a ponte, com consequente ferimento de pessoas ou morte. | Intervenções apenas para conferir o nível adequado do pavimento. Resultado econômico imediato, em detrimento do médio e longo prazo, produzindo-se custos adicionais, como substituição de juntas de dilatação e aparelhos de apoio, inclusive custos de sinalização e desvio provisório, custos de inspeção e monitoramento do estado da ponte. A vida útil da obra de arte fica comprometida a médio e longo prazos. |
| <b>Geonrijecimento (CPR Grouting)</b>                              | Solução geotécnica definitiva e avançada visando eliminar a causa do processo de recalque                                       | Restabelecimento das condições de segurança, tanto sob o aterro como entorno das estacas da ponte, eliminando-se a influência das camadas de solo compressíveis e solucionando-se definitivamente os problemas detectados na cabeceira. Não há outra tecnologia de melhoramento de solo similar.  | Solução de maior custo imediato, mas que garante a produtividade da rodovia ao longo de sua vida útil, preservando o patrimônio existente, sem provocar transtornos ao usuários da rodovia, durante a execução dos serviços de geonrijecimento.  |

A ausência de monitoramento geotécnico e estrutural, compatível com a complexidade e o risco do problema, juntamente com o des-

conhecimento das características do solo, simplesmente prejudicam a tomada de decisões, que acaba priorizando prazo e custos mais

importantes do que o aspecto de segurança, na maioria das vezes optando-se por soluções que acabam agravando ainda mais o problema. A opção 2, da planilha apresentada, “Correção periódica apenas do desnível no asfalto” é tecnicamente inconsequente e perigosa, pois não resolve o problema, que é inerente às forças atuantes permanentes e crescentes, em consequência dos repetidos alteamentos, na tentativa de se manter as vias no nível original, após um histórico de recalques. Neste sentido, sob a ação de empuxos laterais e momentos fletores



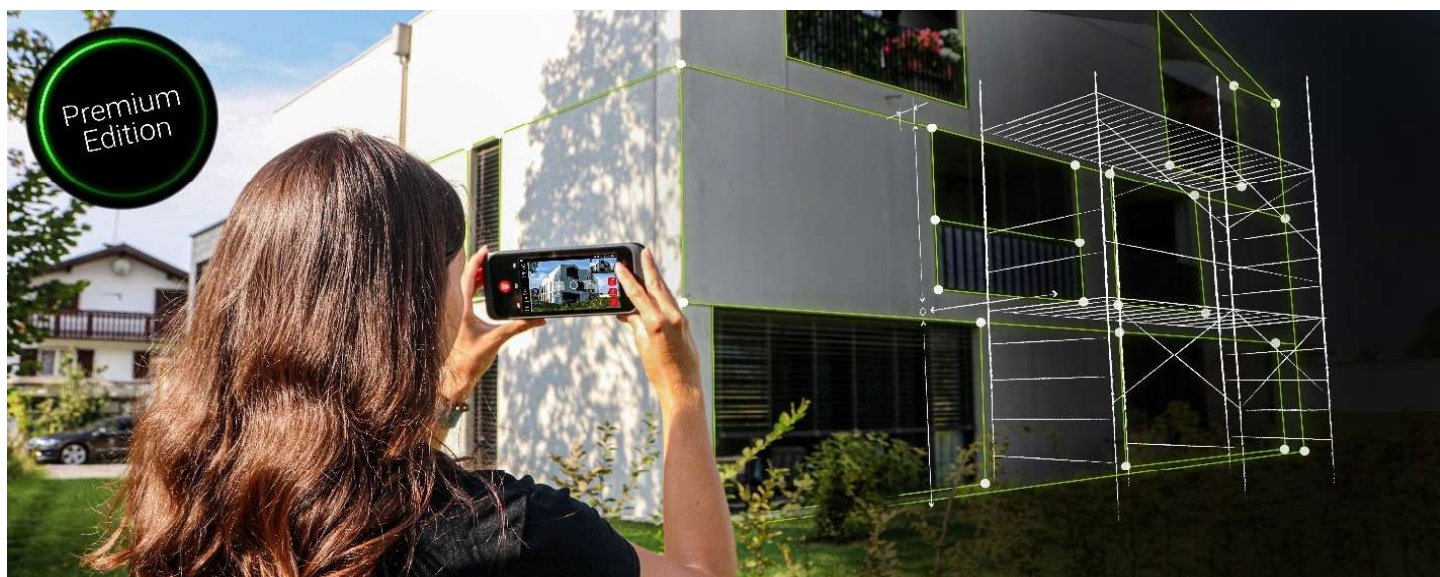
**Figura 10:** Elevação do aterro em terra armada, após o melhoramento do solo com geonrijecimento



# Leica Geosystems Announces BLK3D Update

*Leica BLK3D - the in-picture measurement solution*

HEERBRUGG, SWITZERLAND, 18 March 2021) – Leica Geosystems, part of Hexagon, today announced the Leica BLK3D update. The new handheld imager has doubled its operating range and in-picture measurement accuracy for many indoor and outdoor applications, such as exterior building measurements for scaffolding, façade, roofing, and architecture projects.



## *Leica BLK3D – leave no detail behind.*

The BLK3D users can capture façades of four-storey buildings with centimetre accuracy in seconds. In addition, users benefit from new guidance and accuracy indication features that allow them to optimise the capturing process to achieve highest measurement accuracy. This is achieved by significantly enhancing BLK3D image processing algorithms alongside workflow adaptation which allows for capturing multi-shots with up to 4 shots.

The BLK3D Update is rolled out with the new BLK3D Mobile and Desktop software version 3.0.

### **The simplest step into digitalisation**

BLK3D with Publisher license enables seamless collaboration among teams with increased accessibility to published 3D images through the cloud. Therefore, measurements can be created and shared on mobile devices such as smartphones and tablets for project teams to make the right decisions at the right time.

“Detailed project documentation, team collaboration and remote decision making

are just a few of the needed abilities for today’s professionals across a wide variety of industries,” said Tobias Heller, senior product manager for Leica BLK3D. “In developing the latest version of the software, these needs were our focus. We designed BLK3D mobile and desktop 3.0 for users starting their journey into digitalisation and digital experts who have already been working in the area for some time. With the increased accuracy, longer range and added functionality, the BLK3D is for anyone who is looking to make their work more efficient, effective and productive.”

### **Leica Geosystems – when it has to be right**

Revolutionising the world of measurement and survey for 200 years, Leica Geosystems, part of Hexagon, creates complete solutions for professionals across the planet. Known for premium products and innovative solution development, professionals in a diverse mix of industries, such as aerospace and defence, safety and security, construction, and manufacturing, trust Leica Geosystems for all their geospatial needs. With precise and accurate instruments, sophisticated software, and trusted services,

Leica Geosystems delivers value every day to those shaping the future of our world.

### **Hexagon**

Hexagon is a global leader in sensor, software and autonomous solutions. We are putting data to work to boost efficiency, productivity, and quality across industrial, manufacturing, infrastructure, safety, and mobility applications. Our technologies are shaping urban and production ecosystems to become increasingly connected and autonomous — ensuring a scalable, sustainable future.

Hexagon (Nasdaq Stockholm: HEXA B) has approximately 21,000 employees in 50 countries and net sales of approximately 3.8bn EUR. Learn more at [hexagon.com](http://hexagon.com) and follow us @HexagonAB.

### **Contact**

Leica Geosystems AG  
Penny Boviatsou  
Phone: +41 41 727 89 60  
[penny.boviatsou@hexagon.com](mailto:penny.boviatsou@hexagon.com)  
[leica-geosystems.com](http://leica-geosystems.com)

**Leica**  
Geosystems

crecentes, faz surgir a preocupação com o aspecto durabilidade das estacas, cujo estado de conservação está diretamente ligado ao desempenho da estrutura como um todo. O melhoramento do solo com Georrijecimento, que tem a opção de não causar transtornos, solucionar-se-á definitivamente o processo de

recalques nos aterros de encontro das pontes da rodovia. Desta maneira, eliminar-se-á qualquer risco de incidentes em veículos e, principalmente, garantir-se-á a continuidade operacional da rodovia, acrescentando valor à infraestrutura, eliminando/minimizando as intervenções de manutenção, inclusive



## GEODRENO **ROGERDRAIN**



O GEODRENO VERTICAL ROGERDRAIN É  
INDICADO PARA TODOS OS CASOS DE  
*solos argilosos, orgânicos, turfas  
e siltes saturados.*