

# Soft Soil Brazilian Review

- 1- Movimento de solo em taludes. Causas e agentes geomecânicos.
- 2- Técnicas para reestabelecer a estabilidade de taludes.
- 3- Chuvas, condição do solo e escorregamentos em taludes. Entenda a relação.

## 22- CONSULTA

Gostaria de saber mais sobre taludes naturais, os mecanismos que induzem ao escorregamento e os aspectos a serem considerados para sua estabilidade.

## MOVIMENTO DE SOLO EM TALUDES.

Causas e agentes geomecânicos.





PROGRAMA

- 2** MOVIMENTO DE SOLO EM TALUDES. CAUSAS E AGENTES GEOMECÂNICOS.
- 12** TÉCNICAS PARA RESTABELECEM A ESTABILIDADE DE TALUDES.
- 23 CONSULTA** GOSTARIA DE SABER MAIS SOBRE TALUDES NATURAIS, MECANISMOS QUE INDUZEM ESCORREGAMENTO E OS ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS PARA SUA ESTABILIDADE.
- 32** CHUVAS, CONDIÇÃO DO SOLO E DESLIZAMENTO EM TALUDES. ENTENDA A RELAÇÃO.



Editorial

De um modo geral, taludes naturais são constituídos por solo residual ou transportado (coluvionar), tendo faces plana, convexa ou côncava, o que afeta diretamente o fluxo natural d'água. A dificuldade do estudo de um talude natural, deve-se aos problemas constantes de sua estabilidade, exatamente pelas ações permanentes da gravidade, que contribui diretamente para os movimentos da massa do solo, até mesmo em taludes que se mantem estáveis por anos. Fatores externos, que atuam no maciço, igualam tensões cisalhantes com a resistência cisalhante do solo. Os consequentes tipos de deslizamentos/ruturas, são os movimentos da massa do solo, associados aos problemas de instabilidade do talude. Os métodos de cálculo, para definir a estabilidade do talude, são feitos com intuito de garantir que forças resistentes sejam suficientemente maiores que as que atuam no sentido de causar sua rutura. Praticamente todas as formas de cálculo utilizam as definições do fator de segurança e as equações do equilíbrio está-

tico, para obtenção desses dados, sendo que os parâmetros básicos são as características das forças cisalhantes, a poropressão causada pela presença d'água e as propriedades físicas e geométricas do talude. A água é considerada um dos fatores mais importantes em estudos de estabilidade, representando a pressão positiva (instabilizante) ou negativa (ganho temporário de resistência) e estar em movimento sob condição de fluxo ou não (hidrostática). Sua influência na estabilidade é atribuída a infiltração, saturando o solo, a elevação do lençol freático, ao desenvolvimento de fluxos, a variação do peso da massa do solo e ao escoamento superficial. Finalmente, para a elaboração final desta edição de nossa revista, abordamos os tipos de obras necessárias à estabilização de um talude, lembrando que "cada caso é um caso" e que "a natureza não se repete". A adoção de uma solução deve estar embasada em estudos cuidadosos considerando as características do meio físico e os processos de instabilização envolvidos.

Boa leitura

SEÇÕES



Pesquisadores definem movimento de massa de solos, como um processo de mudança no estado tensão-deformação, em terreno em declive, conduzido a uma separação da massa e movimento para baixo.

Fig 1 – A medida em que o rio desce, ficam excessos de poropressão no maciço, o que causa deslizamentos/escorregamentos.

## MOVIMENTO DE SOLO EM TALUDES. CAUSAS E AGENTES GEOMECÂNICOS.

Nossa revista tem abordado o importante assunto do movimento de massas de solos, com uma certa periodicidade, principalmente devido à sua importância, sobressaindo seu mecanismo, denominado escorregamento, independentemente da diversidade dos processos, sejam causas, velocidades, formas, etc que, notoriamente, apresentam grande dificuldade de análise. Por exemplo, um mesmo agente ou uma mesma causa, pode ser responsável por diferentes formas de movimentos de massas de solo. Entende-se como causa o modo de atuação de um determinado agente que, pode se expressar por meio de uma ou mais formas. O agente infiltrante água, influi na estabilidade de uma determinada massa de solo, das mais diversas formas, como saturação respectivo à chuvas intensas e liquefação devido ao aumento da poropressão. Batemos muito na tecla da oscilação rápida dos rios e do lençol

freático dos taludes da Amazônia que, ao baixar ao seu nível máximo, nos meses de outubro/ novembro, acumulam volumosos valores de poropressões em seus maciços ribeirinhos, particularmente em enormes extensões portuárias por onde é abastecido suas cidades derrubando, praticamente, todas as técnicas tradicionais de contenção à base de muros de peso, com ou sem contrafortes, muros flexíveis (cib-wall, gabião, terra armada), cortinas atirantadas/ ancoradas e estaqueadas, além de técnicas superficiais de proteção, seja devido a recalque ou instabilidade,

deixando claro que a única maneira de solidificar taludes na Amazônia é com o cuidadoso e rigoroso melhoramento do solo, com geoenrijecimento onde, inicialmente, cria-se condições de drenagem, seguindo-se o processo compressivo radial do solo, o que modifica-o integralmente, tornando-o apto à alta e rápida variação de seus rios e do lençol freático, não excluindo o forte processo erosivo causado.

### **Olhando internamente o maciço do talude**

O deslizamento em um talude é um evento tipicamente progressivo, com mobilização da resistência



Fig 2 – Cortinas estaqueadas, em região portuária de Manaus. Técnicas localizadas de contenção não se sustentam nos taludes amazônicos.

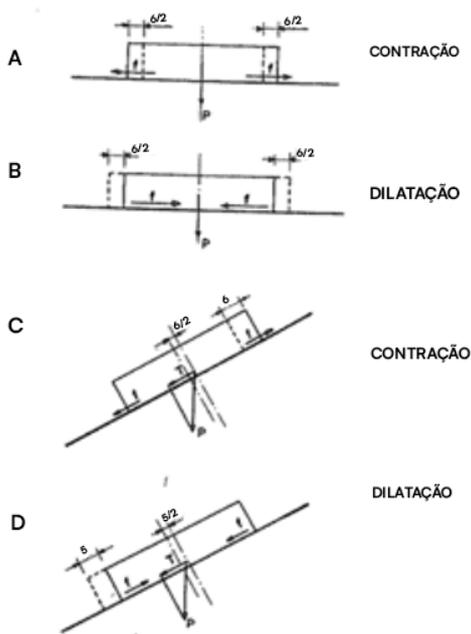


Fig 3 – Efeito, também, da oscilação térmica de maciços de solos sobre superfícies horizontais e inclinadas.

do solo, dependente de seu estado de tensões atual e histórico, assim como das alterações em sua estrutura. Causas internas ao talude conduzem ao escorregamento do solo, sem que haja qualquer alteração em sua condição geométrica resultando, claro, na diminuição de sua resistência (aumento da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito interno por processos de alteração). A

alteração diária da temperatura é apontada como uma das principais causas do desencadeamento de movimentos lentos e contínuos do solo, em taludes de uma região inteira, sobressaindo a ação da gravidade. Maciços de solos ribeirinhos sofrem processos de contração e dilatação, de origem térmica, simetricamente em relação ao seu eixo distribuindo, assim, tensões cisalhantes na superfície de contato com o plano inclinado, fazendo com que a componente tangencial do peso, torne assimétrica a sollicitação sobre o maciço, resultando em movimento, seja por contração ou dilatação. Acrescente-se a este cenário o

forte processo de intemperismo, característico de nosso clima, relêvo, micro-organismos envolvidos e as características do solo que enfraquecem-no, gradualmente, devido à transformação e remoção de elementos solúveis constituintes de seus minerais, promovendo a dissolução de seus cimentos. Esta ocorrência traduz-se na diminuição dos parâmetros da resistência, como a coesão e o ângulo de atrito.

### Olhando externamente o maciço do talude

A alteração natural ou artificial da condição geométrica do maciço do talude, acarreta condição de

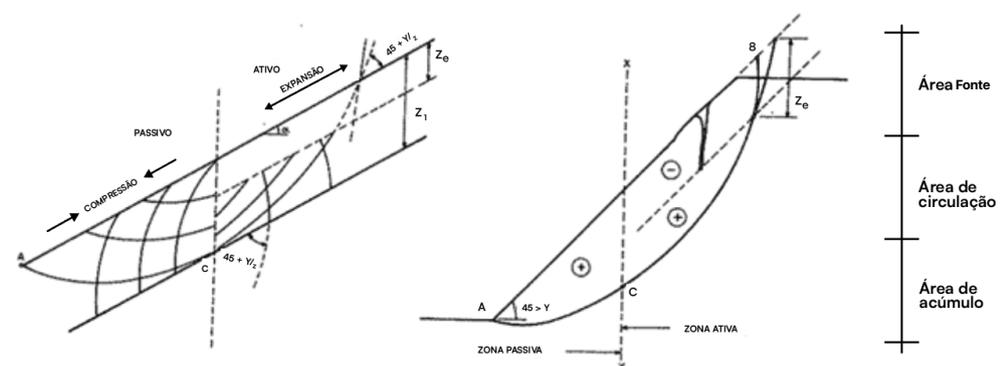


Fig 4 – À esquerda: distribuição esquemática de empuxos em talude  $a > x$ . À direita: representação esquemática de um caso real de ruptura. O sinal + assinala zonas de empuxo passivo, sujeitas à compressão. O sinal - marca zonas de empuxo ativo, sujeitas à tração.



**SOLO MOLE NO SEU PROJETO?**

NÃO TRABALHE COM TÉCNICAS  
ALTERNATIVAS OU ADAPTADAS

**FAÇA MELHORAMENTO DE SOLO**

MELHORAMENTO DE SOLOS MOLES É  
**GEOENRIJECIMENTO\***

*\*100% TEORIA DO ADENSAMENTO DA ARGILA*

 [facebook.com/engegraut](https://facebook.com/engegraut)

 [@engegraut](https://instagram.com/engegraut)

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

VISITE NOSSO SITE: [WWW.ENEGRAUT.COM.BR](http://WWW.ENEGRAUT.COM.BR)

instabilidade, seja retirando parte de sua massa na região inferior, seja acrescentando sobrecarga. O próprio retaludamento, para aumentar sua estabilidade, pode reduzir forças sollicitantes que induzem o escorregamento mas, também, a pressão normal atuante no plano de ruptura e, conseqüentemente, a força do atrito resistente. Uma das situações mais comuns é a erosão no pé do talude, frequentemente causado pela ação do rio, removendo parte de sua massa, instabilizando-o. Na figura 4 à esquerda, observa-se que o ângulo de inclinação do talude,  $\alpha$ , é maior que o ângulo de atrito do solo, provocando empuxo passivo em sua região inferior. Na mesma figura, à direita, na região superior do talude, surgem trincas de tração (região de empuxo ativo), enquanto no pé o solo sofre compressão, representando o elemento mais importante no futuro escorregamento. Em nossa vida diária, com o tráfego pesado, cravação de estacas, operação de máquinas pesadas, vibrações causadas por bombas potentes acabam por transmitir, invariavelmente, vibrações de alta frequência no solo. Como a aceleração, componente principal da nociva força resultante da vibração (lembrar que  $a = 4\pi^2 f^2 A$ , onde  $a$  é a aceleração,  $f$  é a frequência e  $A$  é a amplitude da vibração), é proporcional ao quadrado da frequência pode atingir, assim, valores consideráveis. Imaginemos um volume de solo, situado abaixo da superfície de um talude, submetido a uma série de tensões cisalhantes alternadas, provenientes da posição que ocupa, função do carregamento existente, que poderá ser cíclico ou não. Este volume de

solo poderá permanecer estável por um certo período, no entanto, a poropressão não quer saber e cresce progressivamente, fazendo perder sua correspondente condição estável confinante e, conseqüentemente, sua resistência. Para o caso de solos predominantemente arenosos saturados, esta perda da resistência total, aliado à capacidade da areia movimentar-se, como um fluido, provoca a trágica liquefação, o que apresentamos em diversas edições de nossa revista. Em todos os tipos de solos, sabe-se que quanto maior a relação entre tensões cisalhantes e pressão de confinamento, menor a possibilidade de ruptura. É exatamente o que promove o melhoramento do solo com geoenrijecimento. Não se pode esquecer que a água, que ocupa os vazios do solo saturado, encontra-se sobre pressão. Assim, considerando a expressão

$$S = (p - \gamma_{h_2o} \cdot h) \operatorname{tg} \phi,$$

**Onde:**

$P$  é a pressão em um ponto na superfície de escorregamento, devido ao peso do solo e da água acima;

$H$  é a altura piezométrica neste ponto;  
 $\gamma_{h_2o}$  é o peso específico da água;  
 $\phi$  é o ângulo de atrito na superfície de escorregamento,

se a superfície piezométrica eleva-se, o valor de  $h$  cresce e a resistência ao cisalhamento,  $s$ , diminui, podendo zerar. A ação da pressão da água  $\gamma_{H_2O} h$  pode ser comparada à de um macaco hidráulico, ou seja, quanto maior  $\gamma_{H_2O} h$ , maior será a parcela do peso do solo acima, carregado pela água e, no momento em que  $\gamma_{H_2O} h$  torna-se igual a  $P$ , o solo acima simplesmente flutuará.

### A questão do rápido rebaixamento do lençol freático.

Esta rapidez equivale a razão de pelo menos 1m por dia, muito comum nos rios da Amazonia e em reservatórios de barragens após uma enchente. A figura abaixo evidencia uma condição extremamente interessante. Se o nível do rio ou do reservatório diminui lentamente, o lençol freático no talude permanecerá aproximadamente horizontal.

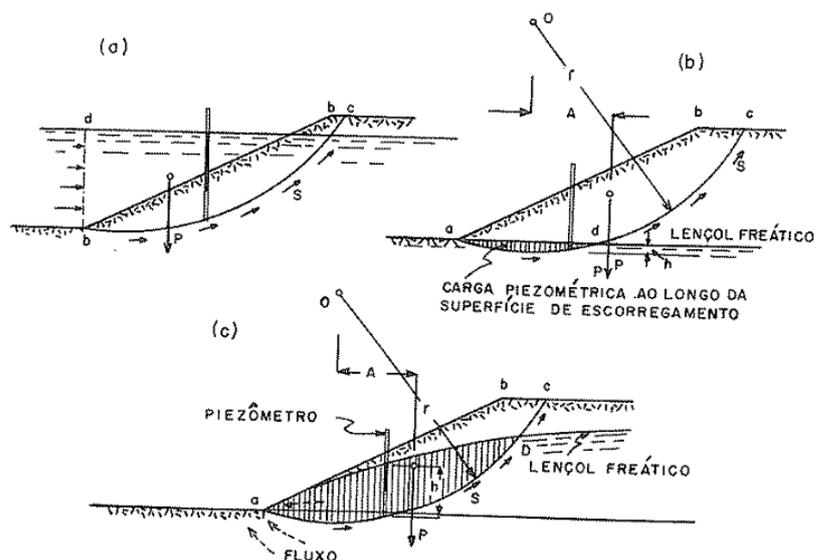


Fig 5 – Diagrama mostrando o efeito do rebaixamento rápido do nível de água sobre a estabilidade de taludes temporariamente submersos.

A figura b, anterior, representa a condição de rebaixamento lento, com superfície piezométrica junto à base do talude. A resistência cisalhante,  $s$ , do solo, nas proximidades da superfície de escorregamento,  $ac$ , é representada pela equação abaixo, sendo  $(P_i - \gamma_{H_2O} \cdot h)$  a pressão efetiva ( $c$  é a coesão) que atua em cada ponto do solo

$$S = c + \sum (P_i - \gamma_{H_2O} \cdot h) \cdot \text{tg } \phi$$

com espessura unitária da superfície de rutura. Agora, se o rebaixamento for rápido, a descida da superfície piezométrica não acompanhará a do nível livre  $e$ , ao final do processo, estará acima do pé do talude, como indicado na figura c, interceptando a superfície de escorregamento, em um ponto "D" muito acima. As áreas hachuradas nas figuras B e C, equivalem a pressão total (da água) atuante sobre a superfície de escorregamento "ac" nas duas situações. Neste caso, como pode ser visualizado, a pressão total da água é muito maior que na condição lenta e a pressão efetiva atuante insignificante, tornando as forças resistentes (ao escorregamento)

inoperantes com insuficiente fator de segurança. Na prática das regiões portuárias da Amazônia, estratégicas para a vida nas capitais e municípios, muitos taludes eventualmente resistem anos à vazante máxima de seus rios, nos meses de outubro/ novembro, no entanto, sofrem rutura catastrófica quando menos se espera.

### A erosão subterrânea retrogressiva (piping)

A água que percola pelo interior do maciço do talude, exerce pressão nas partículas do solo, atuando na direção do fluxo. No pé do talude, a

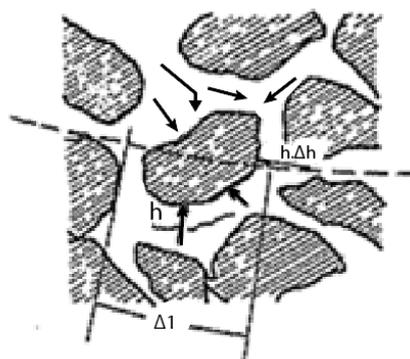


Fig 6 – Pressão atuante sobre partículas do solo arenoso em meio a fluxos da água.

velocidade e a pressão da percolação são bem maiores que em sua região superior, promovendo maior movimentação das partículas do solo ao longo das linhas de fluxos. Evidentemente, em solos predominantemente arenosos, com ausência de coesão, haverá maior tendência de arraste das partículas. Com o tempo, e o processo lixiviante atuante, haverá mais vazios, o que favorece fluxos d'água, impedindo que se estabeleça gradientes elevados. Exatamente por isto que no pé do talude observa-se, mais rapidamente, situações de desequilíbrio, devido ao arraste de partículas, comparando-se em relação a região mais alta. Consequentemente, é comum a base do talude entrar em colapso, comprometendo sua região superior que cede, devido a perda de apoio. Se o colapso ou a rutura do talude não for imediato, em sua base, desenvolver-se-á uma cavidade alongada, rotineiramente de seção circular, resultando em processo

## Medidor de Recalque com Alta Sensibilidade

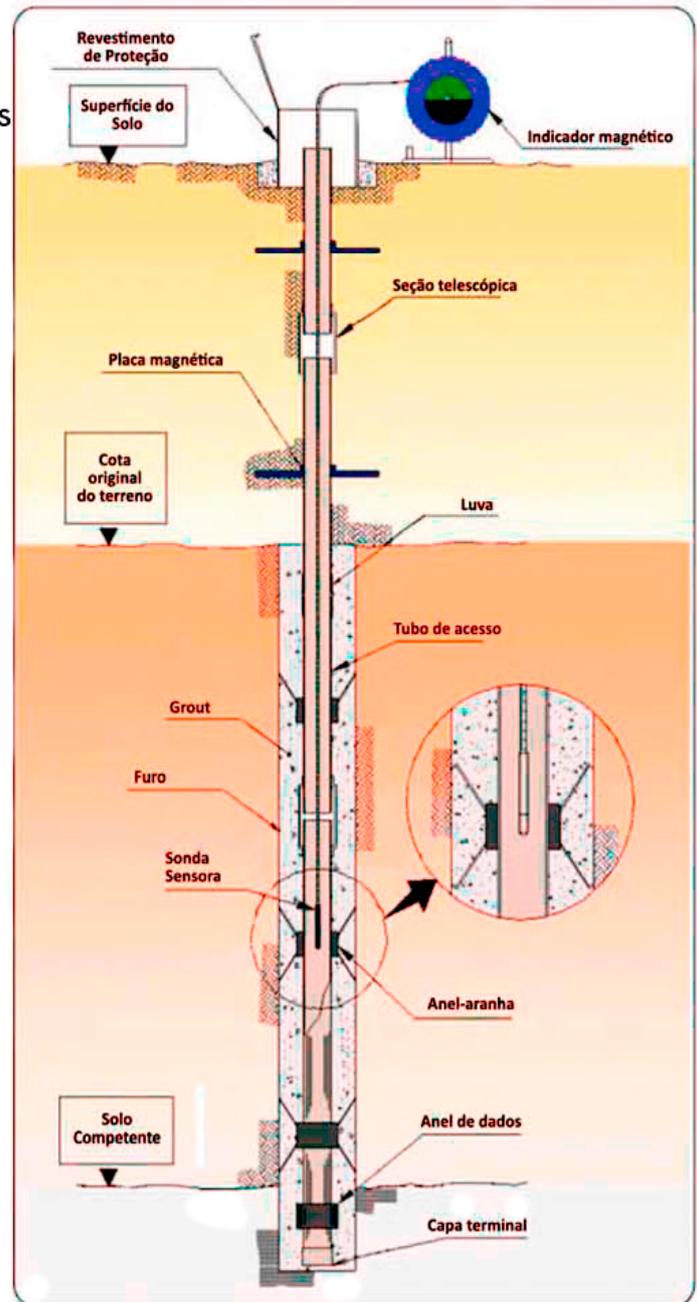
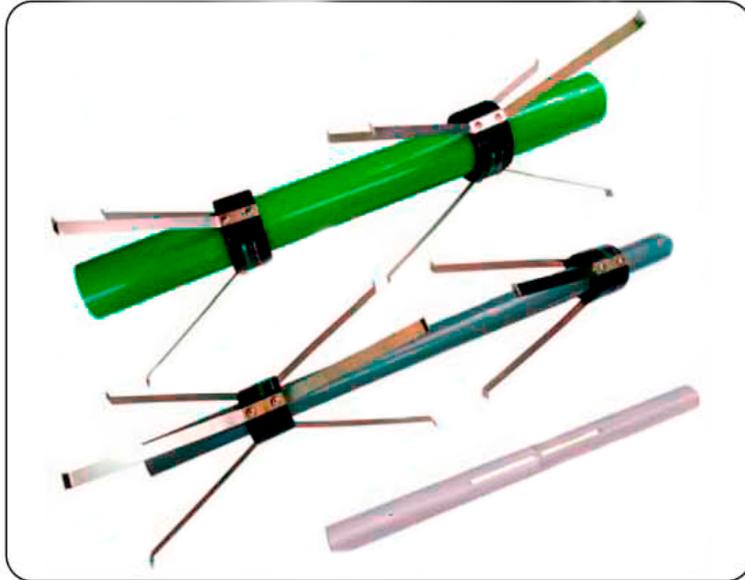
O medidor de recalques com alta sensibilidade consiste em uma série de vasos contendo sensores de nível de fluido interligados por um tubo cheio de líquido. Um vaso de referência é posicionado em um local de referência estável associado a sensores adicionais posicionados em locais diferentes, aproximadamente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



Para mais informações, acesse: [Rogertec.com.br](http://Rogertec.com.br) ou [Atendimento@rogertec.com.br](mailto:Atendimento@rogertec.com.br)

# Você conhece as Aranhas Magnéticas?

O acompanhamento do recalque em profundidade possibilita, além da definição direta das camadas de fundação, que controlam recalques do aterro, ou de uma construção, quantificar, no campo, os parâmetros do solo, tal como  $c_v$ , que controlam sua evolução.



Em profundidade, os deslocamentos verticais são quantificados a partir da instalação de aranhas magnéticas, também conhecido como sensores magnéticos, que possuem forma de um cilindro vazado, instalados em tubos guia de PVC que, por sua vez, são instalados em furos de sondagem previamente executados.

Durante a instalação desses sensores, as hastes são fechadas e amarradas (laço) por um fio de plástico, o que permite fazer o deslocamento do instrumento, pelo espaço entre as paredes do tubo guia e do furo, até a profundidade definida em projeto, quando, o laço é solto e as hastes se abrem, fixam-se no solo mole adjacente. O acompanhamento dos deslocamentos é feito por meio de um torpedo que, no interior do tubo guia, acusa a presença do sensor quando passa na profundidade em que este encontra.



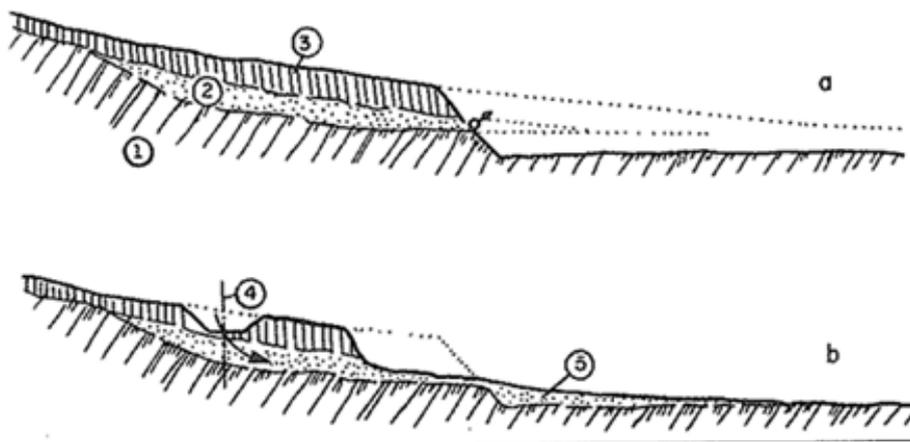


Fig 7 – Colápsso de um talude provocado pela “lavagem” de material arenoso: 1) folhelhos, 2) areias finas, 3) argilas, 4) corte para uma rodovia, 5) areias finas depositadas em leque. O estágio (a) permaneceu estável por dois anos até que a camada de argilas foi cortada pela escavação (b).

de erosão retrogressiva, ao longo dos pontos de concentração das linhas de fluxo, como consequência da heterogeneidade do solo, conforme figura ao lado.

## 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 Enggegraut 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.
- BARBI, A. L - Comportamento do modo rochoso em função da escavação do canal de desvio do rio Paran8•Usina Itaipu. - In: CONGRESSO BRASILEIRO DE, GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, Itapema , ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1981 . v. 2, p. 463-485 .
- BARBOSA, S. M. & CAAnais, MPOS, R. A. B. - Experiência corn taludes rodoviários. Casa da BR- 116/ Minas Gerais, na regiço da Serra do Mar. In: ENCONTRO TÉCNICO SOBRE TALUDES URBANOS, DE ESTRADAS DE MINERAÇÃO. Belo Horizonte, 1980, Informativo ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGEN HARIA, 119), 7, 1981, il . lresumos).
- B. GARELLA, J. J. - Aspectas geomorfológicos e geológicos do problema da erosao. - In: SIMPOSIO SOBRE O CONTROLE DE EROSÃO, Curitiba, 1980. Informativo ASSOCIAÇÃO BRAS ILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, Sao Paulo, 114), 5, Abcil, 1980.
- CAR LSTRON FILHO, C. & SALOMÃO, F. X. de T. - Experiência acumu!ada em estudos geológicos geotécnicos de estabilidade de taludes em dois trechos ferroviários no Rio Grande do Sul -Inc CONGRES- SO BRASI LEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. 1 Rio de Janeiro, 1976. Anais, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHA' RIA, 1976, v. 1, p. 293-305, il.
- CARVALHO, o. A. - Estabilidade de taludes: otimização do projeto par meio de instrumentação geome- cânica. - Construção Pelada , sao Paulo: 5 (561; 20-28, Setembro, \_1975, 11.
- CAVALCANTI, A. Vietnam - “A ombreira de!ta e sua interferencia na reconstrução da barragem de Eudides da Cunha - In: SEMINARIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGNS, 1, Rio de Janeiro, 1980, COMITE BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS. Anais , v. , p. 205-226.
- BUSCH, R. G. - Stabiliztion of a landlside with deep drainage. - In: CONGRESSO PANAMERICANO DE MECANICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDACÕES 5 Buenos Aires, 1975, Anais, Bue- nos Aires, INTERNATIONAL SOCIETY FOR SÛIL MÉ:CHANICS AND FOUNDATION ENGINEE- RING, 1975, 1, 3 sessao, p. 357-366, il.



# AGENDA DE EVENTOS GEOTÉCNICOS - 2024

## AGOS TO

EVENTO	LOCAL	DATA
12 Congresso Luso-Brasileiro e 8as Jornadas Luso-Espanholas de Geotecnia	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)	23/08/2024
8 Conferência Europeia de Mecânica de Solos e Engenharia Geotécnica	Altice Arena, Lisboa	26/08/2024

## SETEM BRO

EVENTO	LOCAL	DATA
GeoenvironMeet 2024	Portland, Estados Unidos da América	08/09/2024
Cobramseg 2024	Balneário Camboriú, Santa Catarina	24/09/2024

## OUTU BRO

EVENTO	LOCAL	DATA
5th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics	Delf, Holanda	02/10/2024

## NOVEM BRO

EVENTO	LOCAL	DATA
17ª Conferência Pan-Americana de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (PANAMGEOCHILE2024)	La Serena, Chile	12/11/2024

## DEZEM BRO

EVENTO	LOCAL	DATA
Conference on Transportation Geotechnics 2024 International	Sydney, Austrália	18/12/2024

# Diminuir as incertezas gera mais SEGURANÇA



As variações do clima trazem muitas incertezas e problemas para a realização de obras e são responsáveis por + de 15% dos atrasos e aumentos de custos no setor.

**Sistema para gestão de risco de impacto climático no planejamento e execução de obras**



**Aumente a produtividade e reduza custos durante a ocorrência de chuvas com previsão personalizada e alertas de tempestade em tempo real.**



<https://www.nimbusmeteorologia.com.br/>

<https://www.linkedin.com/company/nimbusmeteorologia>

## TÉCNICAS PARA RESTABELECER A ESTABILIDADE DE TALUDES



*Fig 1- Melhoramento do solo com geoenrijecimento em um talude fluvial, em estado de pré-rutura, após correção da plataforma com aterro de conquista. Monitoramento prévio da poropressão, seguido de cravação de geodrenos e a conseqüente dissipação. A seguir iniciou-se trabalhos de geoenrijecimento.*



**F**requentemente batemos de frente com a questão da estabilidade de taludes, seja na construção de estradas, zonas portuárias e barragens, percebendo que o movimento da massa do solo pode ser catastrófico. O dimensionamento de uma solução, para estabilizar um talude, exige a utilização de um coeficiente de segurança 1,5. Para a condição muito comum, onde a empresa é convidada para dar a solução a um talude rompido, conhecendo-se as características mecânicas do solo que, se for de boa qualidade, poder-se-á trabalhar c'om coeficiente de segurança 1,3. Caso contrário, e ainda com ausência total de deformações, dever-se-á optar mesmo por 1,5. Para encarar este

desafio, dever-se-á analisar os parâmetros geotécnicos do local e conhecer técnicas de melhoramento de solos. De um modo geral, poder-se-á resumir em três as técnicas, para reestabelecer a estabilidade de talude. São elas:

- 1- Alterando a geometria do talude;
- 2- Promovendo a drenagem da água do solo;
- 3- Melhorando o solo do talude.

### **Alterando a geometria do talude**

Reduzindo sua altura ou seu ângulo, sem dúvidas, é a alternativa mais econômica para estabilizar um talude, devido a efetiva utilização das profun-

didades inerentes ao maciço e pelas mudanças permanentes no sistema de forças atuantes. Observa-se que quanto menor o ângulo de inclinação do talude, com o plano horizontal, maior será sua estabilidade, pois a massa de solo, que gera o momento desestabilizador é menor, porém o processo torna-se cada vez mais complexo, visto a dificuldade em se escavar grandes volumes em áreas de difícil acesso para operação de máquinas pesadas. Assim, como a condição da instabilidade esta diretamente ligada à inclinação do talude, a movimentação de terra, que objetiva a alteração geométrica, pode ser feita de três maneiras. 1º- com ações sobre o equilíbrio da massa do solo, ou seja, alívio do solo na crista e

colocando aterro em seu pé. 2º- ação sobre sua geometria, como remoção de terra e reperfilamento. 3º- substituição parcial ou total da massa do solo instável. As figuras a seguir, esquematizam as diferentes ações de movimentação de terra, e os termos geralmente interligados para execução, objetivando dar mais estabilidade ao talude.

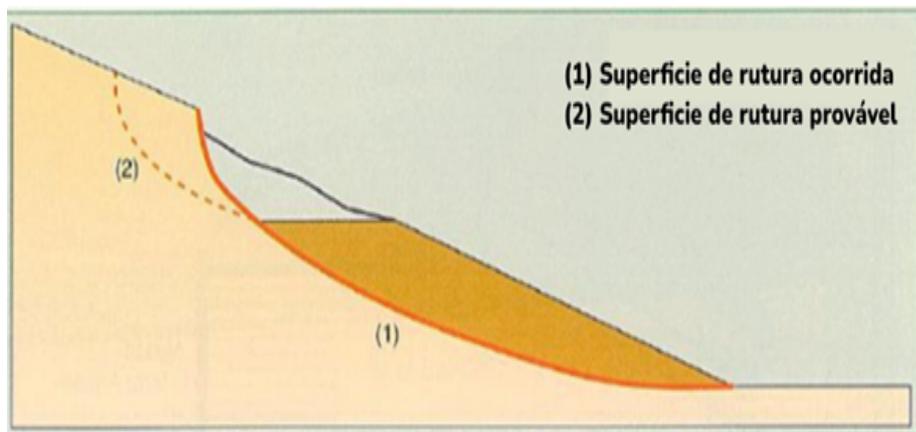


Fig 3- Alívio na região superior do talude

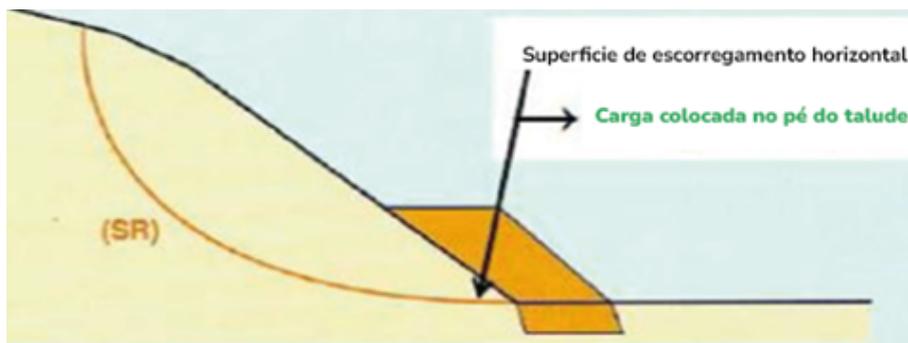


Fig 2- estabilização com carga colocada no pé do talude

clinação média, ao mesmo tempo em que elimina-se a idéia perigosa de uma única inclinação criando, inclusive, vias de acesso para sua manutenção. Dever-se-á avaliar a renovação do material deslizado, já que poderá criar nova instabilidade ao talude. Caso se opte por remover todo material escorrega-

Na figura acima, a técnica tradicional de se colocar cargas (aterro) no pé do talude, que atua contrabalançando forças motrizes. Como no caso de uma obra de contenção, o dimensionamento deve justificar a estabilidade contra o tombamento, deslizamento sobre a base do talude e, finalmente, um grande escorregamento. Na prática, é a estabilidade ao longo da superfície de ruptura ao deslizamento, que está sendo dimensionado, entendendo-se que limita os riscos de ruptura, impedindo deslizamentos na região inferior do talude, além de sua função de "peso". Utilizando-se material granular, garante suficiente drenagem para o talude. O vazio, na região superior do deslizamento, promove redução no peso motriz e, conseqüentemente, um aumento no coeficiente de segurança. O método de dimensionamento consiste no cálculo

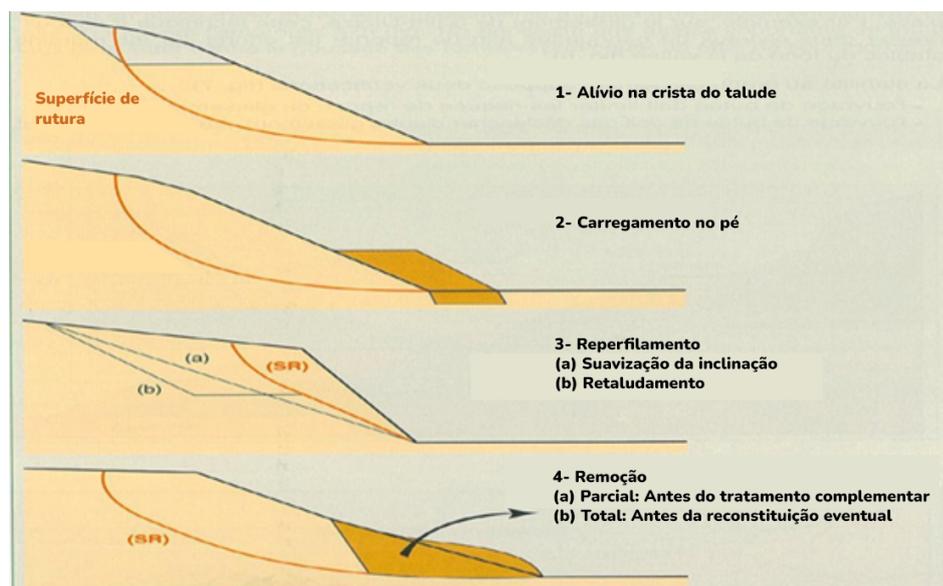


Fig 4- diferentes metodos de estabilização por movimentação de terra.

lo da estabilidade ao longo da superfície de ruptura deslocada, correspondendo à modificação da geometria na região superior. Circunstancialmente, poder-se-á substituir o solo escorregado por um solo mais leve. Como a condição de estabilidade está diretamente ligada à inclinação do talude, ao retaludarmos, por exemplo, estaremos aumentando sua segurança, suavizando a in-

do, com segurança, dever-se-á substituí-lo por material de qualidade, possibilitando reconstruir a condição original com a sua inclinação. É importante verificar a estabilidade durante todas as fases da obra, considerando-se o talude definitivo. O processo de substituição do material escorregado, pressupõe que conhecemos seu volume, que escavamos mais profundamente, e que realizamos

uma preparação do substrato para garantir boa aderência com o novo material. Toda esta movimentação de terra, claro, dependerá da condição imposta à terraplanagem, à meteorologia e à geologia local. Em caso de risco, é melhor começar a trabalhar com pequenos acessos, tomando cuidado para não manter aberto o local por grande período de tempo. O coeficiente de segurança do talude, assim tratado, pode ser estimado tomando-se a média ponderada dos coeficientes de segurança do talude, com e sem substituição.

## Drenagem da água do solo

Drenando-se a água do maciço, sempre incrementar-se-á sua estabilidade, pelo simples fato de reduzir o efeito da poropressão, de maneira mais simples e barata, minimizando a quantidade que infiltra na crista e na face do talude. Cálculos simples mostram que a água que infiltra, nas trincas de tração abertas na superfície, gera pressão suficiente no interior do talude. Como sempre, as trincas que ocorrem sobre à crista do talude, deverão ser preenchidas e seladas com solo argiloso impermeável, de modo a evitar a penetração da água superficial, particularmente durante chuvas pesadas. A superfície do talude, claro, deverá ser protegida. Por outro lado, a drenagem profunda horizontal é extremamente efetiva, quando o solo não for totalmente argiloso, para a estabilização do talude, devendo-se analisar muito bem seu posicionamento. Da mesma forma, furos verticais, operados com bomba

submersa caneta, tem a vantagem de permitir sua operação, mesmo antes de qualquer outra atividade. Muitos parâmetros condicionam a eficácia de um sistema de drenagem, em particular à natureza e à heterogeneidade do solo, à geometria das camadas aquíferas, à permeabilidade e sua anisotropia, assim como de onde vem a água. Portanto, contando toda a dificuldade para a determinação de todos estes elementos, o dimensionamento do sistema

### a) Coleta e canalização da água superficial

Objetiva-se impedir ou limitar que a água superficial, seja de chuvas, de redes d'água ou de qualquer origem, que venha de montante, penetre no maciço, que encontra-se em movimento, através das trincas e pequenas bacias existentes, agravando o processo de instabilidade. O processo de vedação das trincas ou fissuras, embora não seja uma atividade de coleta e canalização, deverá ser realizado,

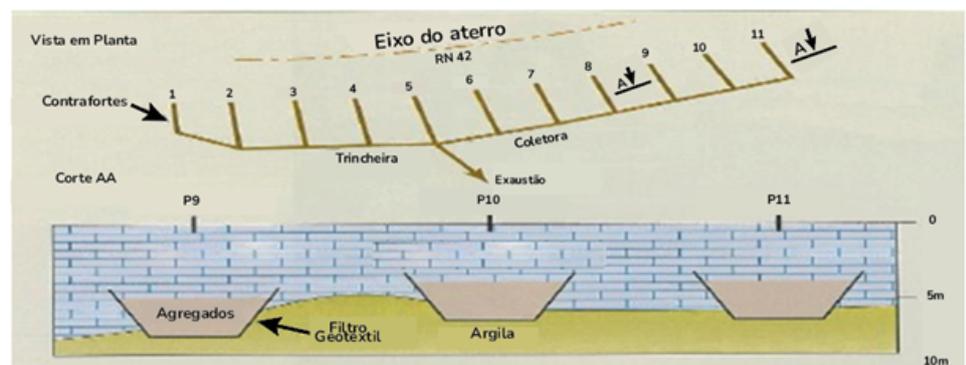


Figura 5 - drenagem subterrânea

de drenagem, a ser implantado em um talude, poderá adotar um coeficiente de segurança maior do que aquele considerado para outras técnicas de estabilização. Como a maioria das obras, dispositivos de drenagem exigem manutenção regular que, caso seja esquecida, o que é muito frequente, perde toda sua eficiência e até torna-se perigosa. Poder-se-á promover uma drenagem superficial, com coleta das águas circulantes, valas de drenagem, drenos sub-horizontais, bermas drenantes, contrafortes drenantes, drenos verticais, galerias, e outras obras individualmente, combinadas ou associadas a outras técnicas de estabilização. A figura acima ilustra um exemplo de drenagem da água do solo. Os sistemas mais comuns apresentamos a seguir:

primeiro, como medida emergencial. O de captação d'água superficial, através de calhas e valas, pode e deve ser feito utilizando-se geomembranas e outros dispositivos.

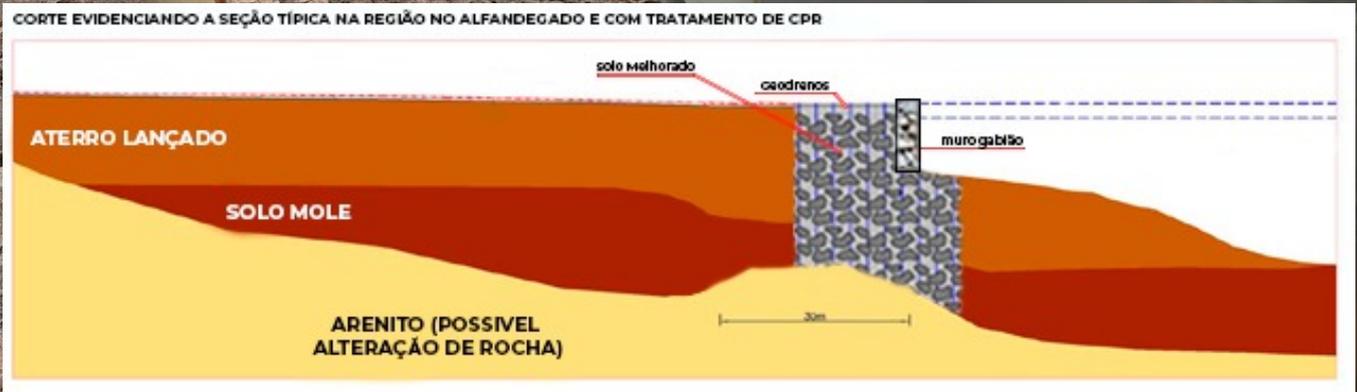
### b) Valas ou trincheiras drenantes

Este tipo de obra, como ilustrado na figura acima, são utilizados para baixar o nível do lençol freático, localizando-se de tal modo que cruze cursos d'água (linhas de corrente em um horizonte homogêneo, camada aquífera, surgências pontuais d'água, etc). A escolha do local de implantação (no sentido de maior declive ou paralelo às limites de nível), da profundidade e do espaçamento das valas, dependerá do estudo hidrogeológico do local, o que condicionará a eficácia do sistema de drenagem.

Figura 6 - Aterro praticamente finalizado, observando-se a cheia do Rio Negro, na argila Portuária de Manaus- AM. Abaixo o corte esquemático do melhoramento do solo e o posicionamento da contenção, de modo a permitir o novo aterro com muro Gabião



Corte evidenciando a largura do melhoramento do solo (35m) com geoenrijecimento, após rutura ocorrida. A seguir foi feita contenção com gabião para elevação do aterro.



Poder-se-á utilizar uma retroescavadeira, já que a vala/ trincheira poderá chegar a 5 ou 6mts de profundidade, com largura da ordem de 1m. O enchimento é feito com material drenante, tipo brita ou, na falta de cascalho, utilize tubo perfurado e geotêxtil, conforme figura abaixo. Situações bem comuns são com profundidade de 2 ou 3mts, tendo largura da ordem de 30cm.

### c) Drenos sub-horizontais ou horizontais profundos (DHPs)

Empregam-se quando há restrição de acesso ao talude e circunvizinhança, ou mesmo dificuldade de circulação ou da realização de trincheiras drenantes para captação da água subterrânea ou de aquíferos localizados. A técnica dos DHPs consiste em realizar inúmeras perfurações com leve inclinação em relação à horizontal

(2 a 5%), introduzindo-se tubos previamente perfurados, geralmente de PVC (de 50 a 100mm de diâmetro), podendo-a utilizar tubos de aço galvanizado, quando houver possibilidade de ocorrer grandes deformações. Finalizando-se, utiliza-se um dispositivo terminal para captação da água coletada. O DHP é disposto em uma ou mais linhas, e seu dimensionamento é realizado comumente por métodos de abordagem, baseados na escolha de diversas hipóteses simplificadoras, como assimilação a uma linha de poços a um sistema de agulhas filtrantes ou de drenagem bidimensional em direção a um colchão drenante. Trata-se de uma solução utilizada em inúmeras situações passíveis de deslizamentos. Contudo, se o solo for predominantemente argiloso, ou com permeabilidade muito baixa, a solução com DHP não é boa, já que a funcionalidade dos drenos será muito baixa ou simplesmente nula. São, na verdade, muito adequados para drenar camadas ou bolsões aquíferos, tipicamente carregados, além de interceptar movimentos d'água localizados em camadas filtrantes exigindo-se, para efeito

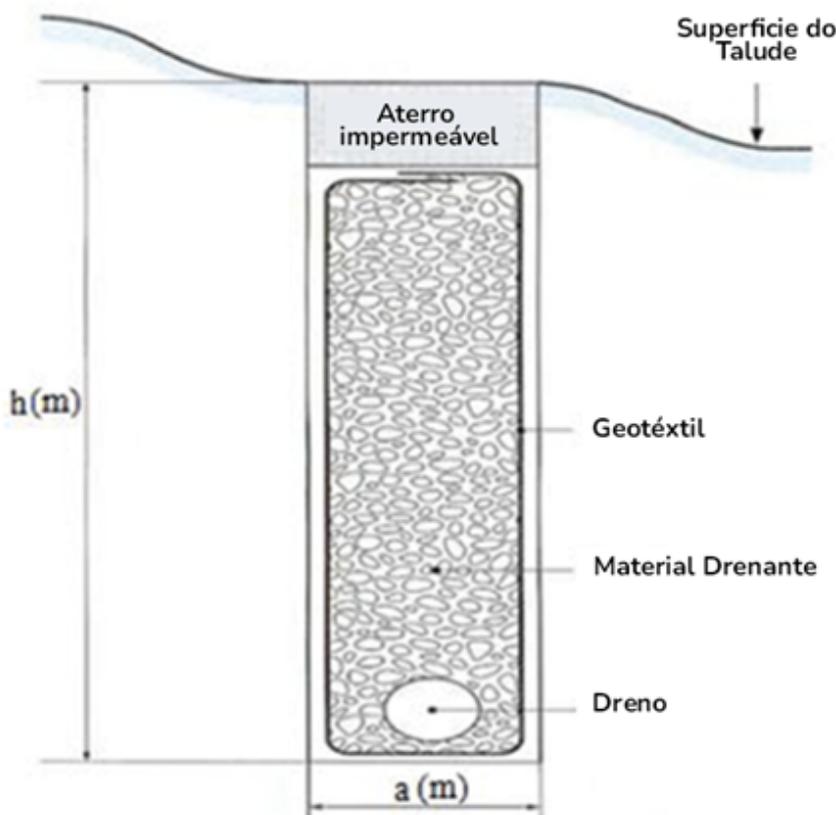


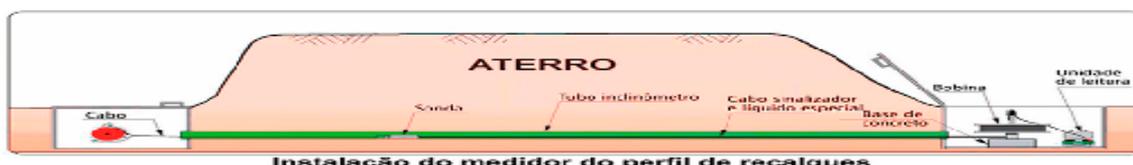
Fig 7- Corte típico de uma trincheira drenante.

## Medidor Portátil do Perfil de Recalques

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

#### Aplicações:

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



Para maiores informações, acesse: [www.regerte.com.br](http://www.regerte.com.br)  
ou [atendimento@regertec.com.br](mailto:atendimento@regertec.com.br)

Soft Soil Group

de manutenção, utilizar jato d'água para remover entupimentos e, claro, manutenção do sistema de coleta.

#### d) Bermas drenantes

Trata-se de um volume de material tipicamente drenante, colocado no paramento do talude, que ajuda a dissipar a poropressão. Pode ser integrado ao perfil do talude, caso mais comum, ou mesmo fora do perfil, quando houver necessidade de reforçar a região inferior do talude, conforme figura abaixo. Para ser eficaz  $\Delta F_s/F_s > 30\%$ . A berma drenante deve ter espessura média maior que a metade da altura do talude. Do ponto de vista prático, a berma drenante deve ser executada inteiramente com material granular drenante (20 – 250mm por exemplo), ou com material menos nobre, desde que seja autoestovável, sem causar excessos de poropressão, ao mesmo tempo em que possibilite a drenagem da água por um filtro (ou seja, material drenante ou geotêxtil). Para as duas condições da berma drenante, o dimensionamento resume-se em garantir margem de segurança necessária, realizando-se uma

análise de estabilidade do sistema, supondo-se uma convergência da superfície livre do nível freático sobre a junção. Para o caso da condição "fora do perfil", a superfície infiltrante inicial é, portanto, mantida em sua posição. A vantagem da berma drenante é que sua eficiência é muito boa, se for bem projetada e construída.

#### e) Contrafortes drenantes

Esta solução consiste em realizar cortes perpendiculares ao eixo do aterro, preenchendo-se com rachão ou material granular, com características de triturado e angular, ao invés de seixo rolado, conforme figura abaixo, possibilitando a drenagem pelo pé do talude.

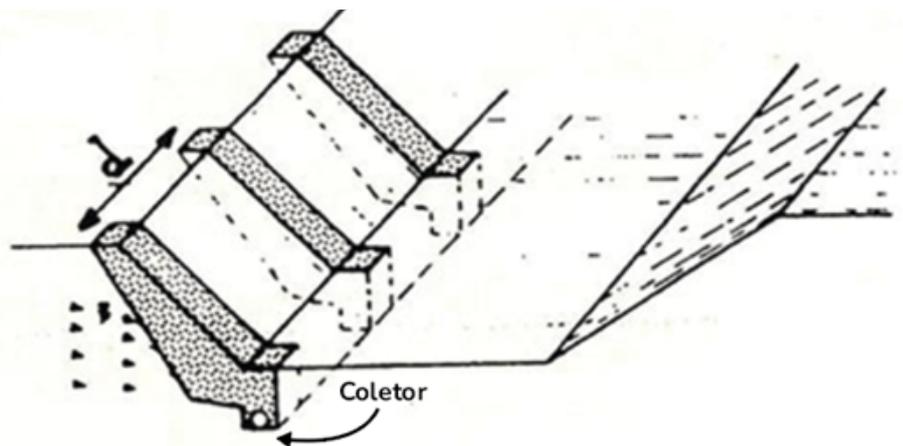


Figura 9- Esquema de contrafortes drenantes

Estes contrafortes devem penetrar bem no talude, tendo espaçamento entre cada um de 4 a 10mts. Sua inclinação, na região livre, não pode ultrapassar a metade do ângulo de atrito do seu material. Sua grande vantagem é que pode ser executado sem comprometer a estabilidade do talude, limitando a extensão de eventuais problemas. O material de enchimento também permite melhorar características mecânicas relacionadas ao cisalhamento. De um modo geral, a utilização de contrafortes drenantes é preferível às bermas drenantes, no entanto, quando a permeabilidade do solo a ser dre-

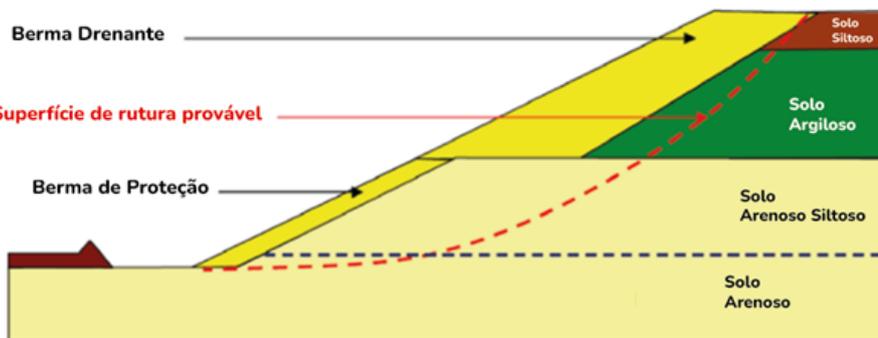
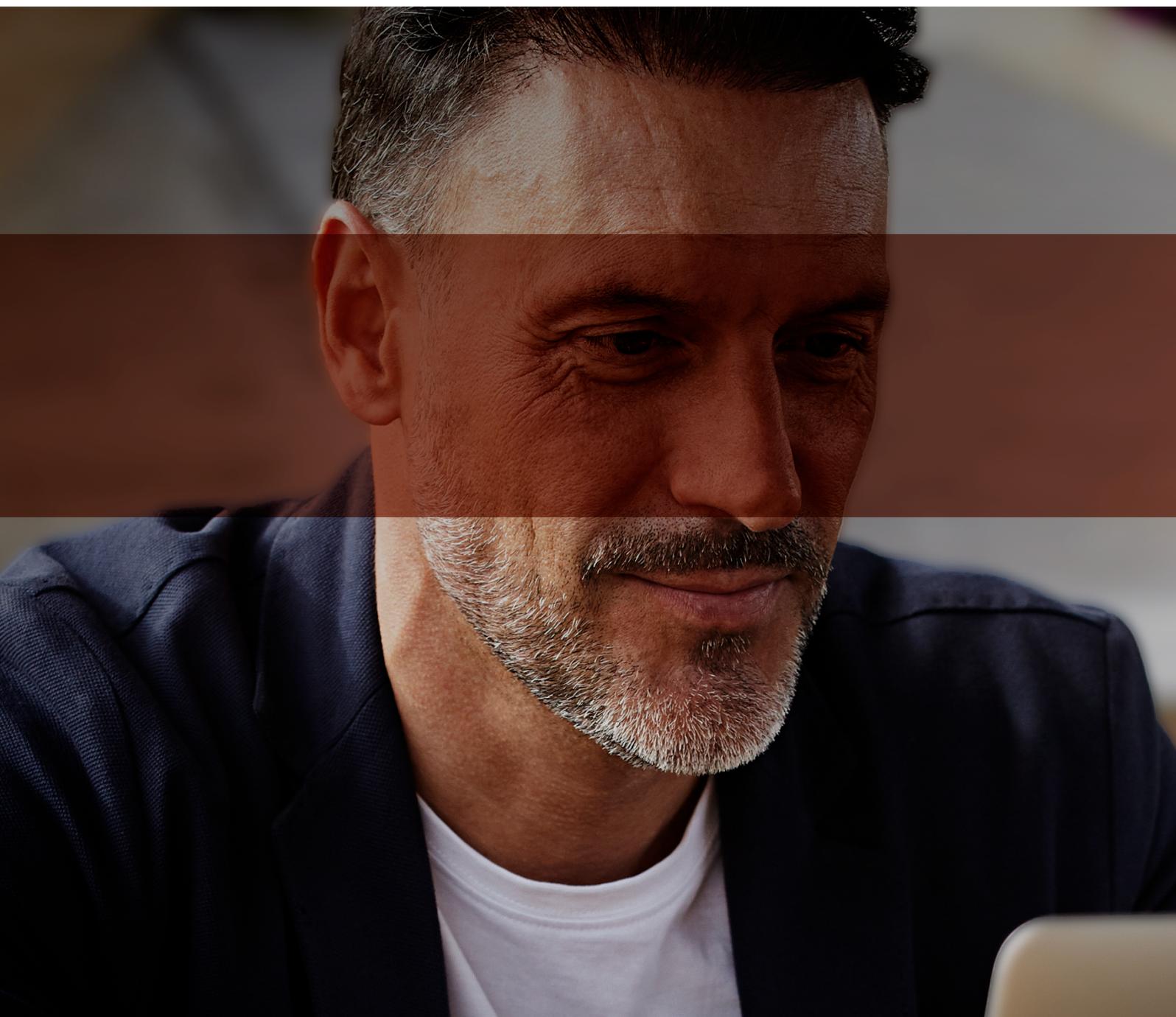


Fig 7 – Idéia para estabilização de talude



Figura-8- cortes com bermas drenantes



**:: NOTÍCIAS EM TEMPO REAL;**

**:: ANÁLISES EM PROFUNDIDADES;**

**:: CONSENSO DE OPINIÕES SOBRE SOLUÇÕES;**

**:: GRÁFICOS E FERRAMENTAS ANALÍTICAS**

Os principais dados e informações, antes disponíveis apenas por especialistas, agora estão abertos pra você também tomar as melhores decisões na hora de projetar e fazer negócios. Em um só lugar, um serviço completo com a chancela da instituição especialista em melhoramento de Solos moles, com quase 50 anos de experiência.

CHEGOU SUA  
VEZ DE TER

# VISÃO

MAIS PROFISSIONAL  
DA GEOTECNIA  
DO SOLO MOLE.



ACESSE [SOFTSOILBRAZILIANGROUP.COM](https://softsoilbraziliangroup.com) E ESCOLHA  
A EDIÇÃO IDEAL PARA SUA PESQUISA.



nado for inferior a  $10^{-6}$  m/s, poderá haver risco de falta de interação entre os contrafortes e o solo.

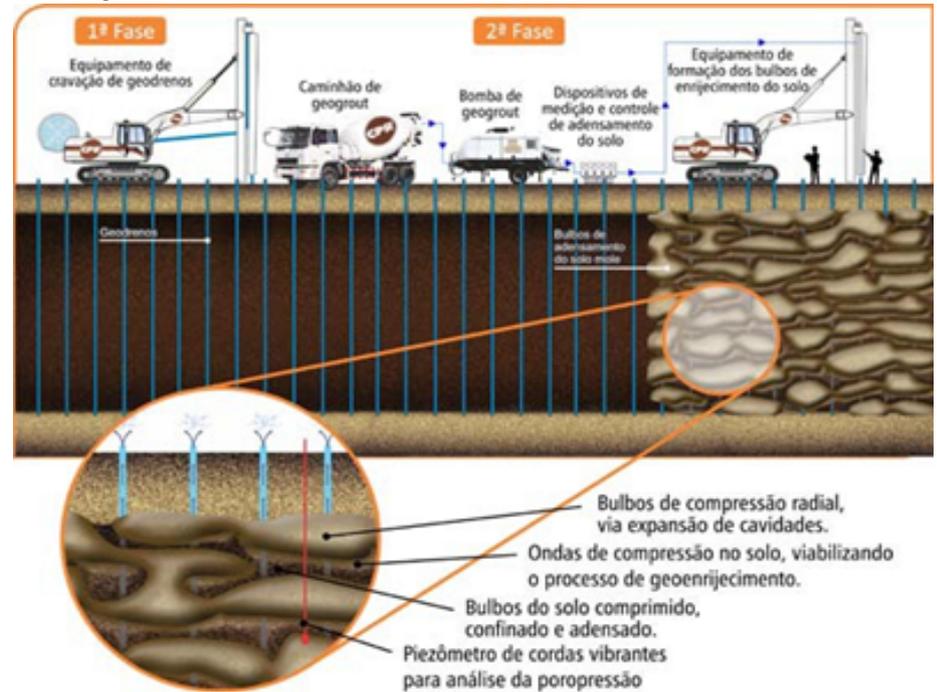
### f) Drenos verticais e poços.

As técnicas de drenagem vertical e poços raramente são utilizadas para estabilização de deslizamentos de terra, devido a dificuldade da evacuação da água drenada para cima. São bastante úteis para cortar um aquífero, da mesma forma que um vale de drenagem, sem limitação de profundidade.

## Melhorando o solo do talude

O processo é o de geoenrijecimento produzindo-se pressões que induzem a consolidação, à medida em que comprime-se o solo radialmente, via expansão de cavidades, com argamassa seca, fazendo com que o excesso de poropressão, intencionalmente criado, seja, agora, dissipado na rede de geodrenos pré-fixada. Este forte processo deformativo imposto no solo, é pré-estabelecido metro a metro, ao longo de verticais, em seu contexto volumétrico, promovendo alterações irreversíveis em sua massa, à medida em que modificam-se porções relativas de seu volume. Para tal, estabelece-se critérios de volume e de pressão, para a formação dos bulbos de compressão radial do solo, considerando-se a diversidade de camadas mais ou menos resistentes. Assim, por exemplo, se o programa de cálculo estabelece o critério de volume de 900 litros e o de pressão de  $7\text{kg/cm}^2$  para cada bulbo, significa dizer que, no campo, se o solo está aceitando 900 litros por bulbo, metro a metro, apresenta bastante compressibilidade. Se, por exemplo, surgir uma camada mais resistente o que acontecerá é que não será possível expandir

Fig 10- Sequência do processo de geoenrijecimento, com CPR Grouting em solos argilosos moles.



os 900 litros, mais sim, digamos 500 litros. Automaticamente adotar-se-á o critério de pressão até obter-se os  $7\text{kg/cm}^2$  naquele bulbo de 500 litros e assim sucessivamente. Os dois critérios deverão ser atendidos. O objetivo conceitual do geoenrijecimento é a homogeneização completa do volume de solo, estabelecendo novos parâmetros geotécnicos. A análise de projeto, no geoenrijecimento do solo, assume que cargas verticais cisalhantes sejam integralmente suportadas pela massa de solo homogeneizado, através das seguintes proposições:

- Desenvolvem-se verticais, com bulbos que comprimem radialmente o solo em meio drenante artificial previamente imposto, estabelecendo-se o conceito de célula unitária;
- Estabelece-se uma razão de substituição, função do volume necessário de bulbos que comprimem radialmente o solo, via expansão de cavidades;
- A célula unitária é deforma-

da com consequente aumento da resistência e rigidez do solo;

- Induz-se tensões positivas;
- Estabelece-se a resistência equivalente e, finalmente;
- Utiliza-se o conceito de solo homogeneizado.



O melhoramento efetivo do solo de um talude, com sinais evidentes de instabilidade, é a maneira mais efetiva de estabilização, mesmo com parte de sua resistência perdida, devido a abertura de trincas, fraturas e de deslocamentos transversais. Taludes fluviais, submetidos a rápidos processos de vazantes em seus rios, subordinam-se a grandes volumes de poropressão em seus maciços, o que torna completamente inviáveis soluções tradicionais à base de contenção ou contrafortes, já que não são páreo para este jogo de forças. O melhoramento efetivo do solo,

com viabilização de drenagem, seguida da compressão profunda radial do solo, altera completamente a natureza do solo original, transformando-o em solo composto, com parâmetros geotécnicos adequados a cada projeto. O sistema de drenagem, que se impõe, com geodrenos, seguido da formação de malha de verticais, onde formam-se bulbos, a cada metro de profundidade, da camada competente até a superfície, comprimindo-o, via expansão de cavidades, consolida/ compacta efetivamente o solo, ao mesmo tempo que confina-o a cada metro cúbico, tornando-o 100% estável.



Fig 12- Rutura em um talude junto ao Rio Negro, em Manaus.



Fig 11- Estabilização de talude para ampliação da rodovia Anhanguera, na altura de Campinas, utilizando-se geoenrijecimento.

## REFERÊNCIAS

- Patricia Karina Tinoco é engenheira geotécnica. Trabalha com melhoramento de solos moles.
- ABRAMSON, L.A.W.; LEE, T. S.; SHARMA, S. & BOYCE, G.M. (1996). Slope Stability and Stabilizations Methods. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- ANDRADE, M.H.N., DE CAMPOS, T.M.P & VARGAS JR, E.A. (1992). Retroanálise do Escorregamento da Encosta do Cactáreo. I Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, v. I, pp. 161-172.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro, v. II, pp. 721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. (1995). Escorregamentos em encostas naturais ocupadas: análise e controle. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 3.4, p.77-100.
- BISHOP, A.W. (1955). The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes, Geotechnique, 5(1): 7-17.
- BISHOP, A.W.; ALPAN, I.; BLIGHT, G.E. & DONALD, I.B. (1960). Factors controlling the strength of partially saturated cohesive soils. Proc. Research Conference on Shear Strength of cohesive Soils - ASCE, VA, pp. 500-532.



**SENSORES DE RECALQUE**



**CÉLULAS DE PRESSÃO  
PARA ATERROS**

# **GEO**KON

**TRUSTED MEASUREMENTS®**

**EQUIPAMENTOS GEOTÉCNICOS**



**CÉLULAS DE PRESSÃO  
CRAVÁVEIS NO TERRENO**



**PIEZÔMETROS**

**A Geokon é líder mundial em automação e instrumentação  
geotécnica para monitoramento de solos**

**Representante Exclusivo no Brasil**



**G5 Engenharia LTDA**  
Tel: (41) 3402-1707  
[g5engenharia.com.br](http://g5engenharia.com.br)

# GOSTARIA DE SABER MAIS SOBRE TALUDES NATURAIS, OS MECANISMOS QUE INDUZEM AO ESCORREGAMENTO E ASPECTOS A SEREM CONSIDERADOS PARA ESTABILIDADE.

Fig 1- Rutura com escorregamento de talude.

## CONSULTA

Taludes naturais são constituídos por solo residual e/ou coluvionar, sujeitos à problemas de estabilidade, já que ações das forças gravitacionais, naturalmente, contribuem para a deflagração do movimento. É muito comum observar taludes que se mantêm estáveis e, de repente, sofrem processos de movimentação. Isto ocorre quando outros fatores, que alteram o estado de tensões da massa, promovem tensões cisalhantes que anulam a resistência do solo. De fato, a instabilização de taludes é consequência da própria dinâmica evolutiva, de seu ambiente resultante, que vai se tornando menos resistente e, dependendo da influência da topografia, geram condições propícias para a movimentação da massa. Movimentos de massa, dependendo da forma e da velocidade, são classificados e recebem diferentes nomencla-

turas, como queda, tombamento, escorregamento, expansão lateral, escoamento e misto. Apesar de representar movimento de massa em taludes, a erosão não está incluída no sistema de classificação. O objetivo da análise da estabilidade, é avaliar a possibilidade da ocorrência do

movimento de massa no talude natural. Em geral, projetos adotam abordagem determinística e um Fator de Segurança (FS) é calculado, comparando-se as tensões cisalhantes mobilizadas, com a resistência cisalhante. Caso  $FS = 1,0$ , o talude fica na condição iminente de



Fig 2- Após a trágica ruptura, em praticamente toda a extensão portuária de Manaus, AM, rapidamente iniciou-se o melhoramento do solo, com geoenrijecimento. Ao fundo à direita, parte do Porto, que escorregou, encontrando-se adernado.



Fig 3- A massa de solo rompida apresenta diversas formas

ruptura e, conseqüentemente, se  $FS > 1$ , encontra-se estável. A Norma de Estabilidade de Encostas (NBR 11682), estabelece valores mínimos admissíveis (FSadm) para deslizamentos em função do tipo de obra, da vida útil e do risco de perda humana e material. A norma ressalta que, no caso da grande variabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, os fatores de segurança mínimos admissíveis devem ser majorados em 10% ou, alternativamente, utilizando-se enfoque probabilístico. Um aspecto fundamental, a ser observado é que, independente da forma de se estabelecer o grau de segurança de um talude, é sempre recomendável, além da investigação geotécnica, a instalação de instrumentação de campo, com objetivo de acompanhar a movimentação (horizontal e vertical) do talude e dos níveis piezométricos que devem ser feitos durante e/ou mesmo após a execução da obra. Somente de posse dessas informações, o projetista terá condições de avaliar as premissas de projeto e/ou sugerir correções no modelo original. O estudo da estabilidade de um talude é uma atividade corriqueira, que envolve a concepção do projeto, o estabelecimento da topografia, es-

tratigrafia, peso específico e parâmetros de resistência do solo envolvido, bem como análise detalhada das situações possíveis da pressão na água em seus vazios. Na sua grande maioria, utiliza-se rotinas numéricas que incorporam diversos métodos de análise em equilíbrio limite, distinguindo-se em função da forma da superfície de ruptura e das hipóteses simplificadoras. Historicamente, a dificuldade da incorporação do conceito de solo não saturado, resultava na simplificação do problema pela adoção de premissas do tipo: (i) acima do nível freático, o solo é considerado seco, isto é, a sucção é ignorada; (ii) parâmetros de resistência, obtidos em corpos de prova em condições de umidade natural, de certa forma, considera o efeito da sucção. Com o avanço científico, na área de solos não saturados, tornou-se possível não só definir uma nova equação da resistência do solo, capaz de considerar o efeito da sucção  $\Psi = u_a - u_w$  (onde  $u_a$  é a pressão do ar nos poros e  $u_w$  é a poropressão) mas, também, desenvolver metodologias experimentais para determinação dos novos parâmetros ( $\phi^b$  e  $\Psi$ ). Apresentaremos, exclusivamente, o movimento de massa clas-

## ESCORREGAMENTO

Escorregamento é um movimento de massa rápido com superfície de ruptura bem definida, caracterizada pela formação de superfície de cisalhamento contínua na massa de solo. Portanto, existe camada de solo em torno da superfície de cisalhamento, que perde sua característica durante o processo de ruptura formando, assim, a zona cisalhada, conforme mostrado na Figura 4, observando-se que, em meios homogêneos, a superfície tende a ser circular. Quando a heterogeneidade envolve contraste de solos, de resistências diferentes, faz com que a superfície de ruptura passe a ser constituída

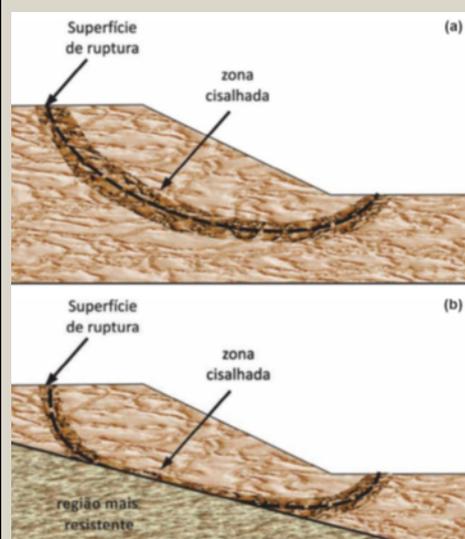


Fig 4- A ruptura ocorre pela superfície que apresenta a menor resistência.

por combinação de formas. A deflagração do movimento, ocorre quando tensões cisalhantes, mobilizadas na massa de solo, atingem a resistência ao cisalhamento do solo, sabendo que a ruptura ocorre pela superfície que apresenta menor resistência. Uma massa de solo pode romper segundo diferentes formas: circular, planar, multiplanar, mista, etc. A previsão dos possíveis modos de ruptura está, em geral, condicionada à presença da heterogeneidade ao longo do perfil do talude. Camadas com contrastes elevados de resistência ou a existência de descontinuidades acarretam mudanças bruscas na superfície da ruptura, tornando-a multiplanar ou mesmo mista. Tridimensionalmente, na falta de ferramenta adequada, a análise da estabilidade pode ser realizada para diferentes seções transversais. Em solos relativamente homogêneos, a superfície tende a ser circular, como mostra a Figura 5. Quando a anisotropia com relação à resistência, é significativa, a superfície pode ter uma aparência mais achatada, na direção horizontal ou vertical.

O escorregamento ainda pode mobilizar, simultaneamente, mais de uma superfície de ruptura (escorregamento múltiplo) ou ainda apresentar combinação de trechos circulares e planares (escorregamento misto). No escorregamento múltiplo, quando a sequência do movimento ocorre por descalçamento, denomina-se retrogressivo; Caso contrário, denomina-se progressivo. A Figura 6 mostra exemplos de



Figura 5 – Exemplos de superfícies de ruptura: (a) Escorregamento translacional em solo residual – Foto do acervo da GeoRio; (b) escorregamento rotacional (Salvador, 2005)

superfície de ruptura mista, combinando forma circular (rotacional) e planar.

## A DEFLAGRAÇÃO DO ESCORREGAMENTO

Sendo o FS o resultado da razão entre a resistência ao cisalhamento do solo e as tensões cisalhantes mobilizadas em sua massa, a condição  $FS = 1$  pode ser atingida caso haja aumento das tensões cisalhantes ou redução da resistência. São considerados como mecanismos secundários: a perda da resistência por alterações físico-químicas nos minerais, devido ao processo de intemperismo, a perda de resistência devido a variação cíclica do umedecimento e secagem em função do ciclo

hidrológico, ocorrendo ao longo do tempo e dificilmente respondem individualmente pela ruptura de um talude. Não há qualquer dúvida que o processo de infiltração da água de chuva, tem impacto direto na estabilidade do talude. A Figura 7 mostra de um exemplo dessa relação, em que, em um período de 1 ano, foram monitoradas chuvas e variações nos perfis da poropressão. Como resultado, o FS se altera ao longo dos eventos pluviométricos e da redistribuição da poropressão. Quando uma determinada quantidade de água chega à superfície de um solo não saturado, inicia-se um processo de infiltração, essencialmente vertical, em decorrência da ação conjunta de forças capilares e gravitacionais. Com o fluxo, a condição de umidade da

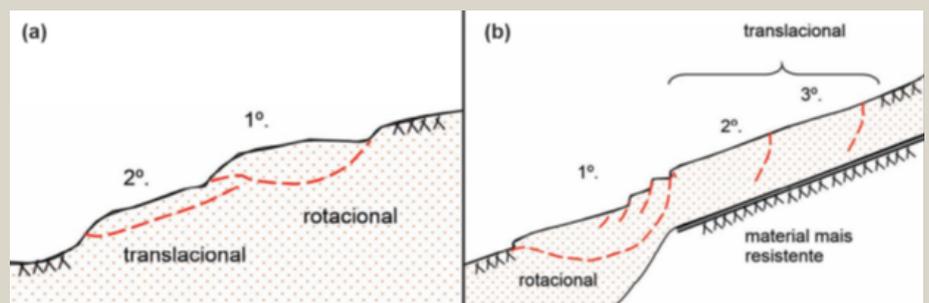


Figura 6 – Exemplos de superfície de ruptura múltipla mista (translacional e rotacional): (a) Retrogressiva; (b) Progressiva

# GE05

Análises Numéricas



MEF

Este programa permite modelar uma vasta gama de problemas de geotecnia, tais como: assentamento de terrenos, estabilidade de taludes, escavações, análise de túneis, percolação, análise de paredes diafragma e outras estruturas de contenção, etc. Sendo possível assumir deformações planas ou condições assimétricas. É possível realizar as análises através dos seguintes modelos: Drucker-Prager, Mohr-Coulomb, Mohr-Coulomb Modificado com o endurecimento e amolecimento, Cam-Clay Modificado e Argila Hipoplástica.



Túnel

Este módulo é uma extensão do programa MEF que contém funções úteis à modelação de túneis, tais como: gerador de revestimento, condições de carga devido a efeitos térmicos ou dilatação dos solos, método de escavação sequencial.



Percolação

Este módulo é uma extensão do programa MEF que permite analisar o fluxo de água em regime constante ou transitório.



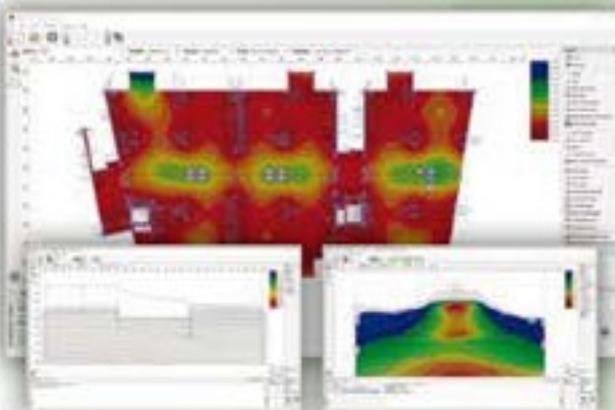
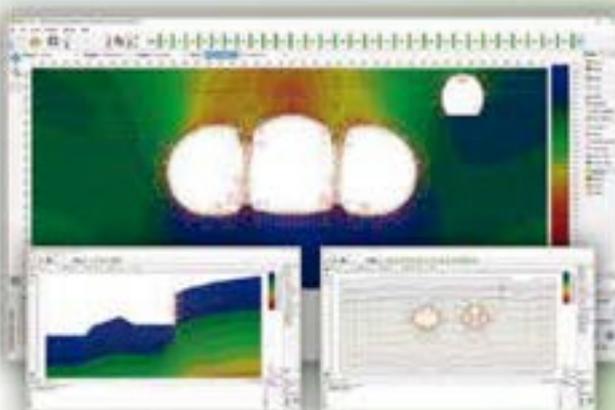
Consolidação

Este módulo de extensão do programa MEF realiza análises de assentamento em função do tempo, sob aterros, fundações ou devido a outras sobrecargas.



Laje e radier

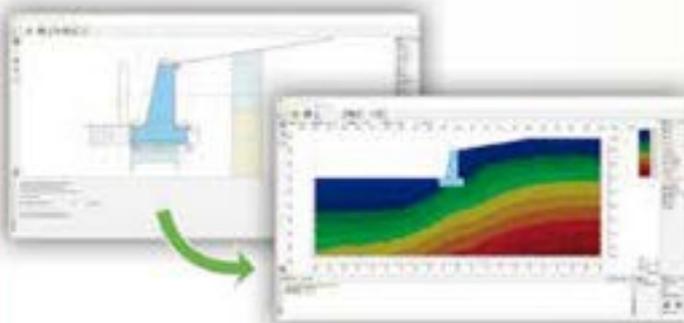
Este programa pode ser utilizado para analisar placas e lajes de fundação, independentemente da sua forma, assentes em subsolo elástico.



## O que torna o GEO5 único?

### Combinação de Métodos Analíticos e Numéricos

Os métodos analíticos permitem dimensionar e verificar estruturas de forma rápida e eficaz, no entanto, em alguns casos, pode ser aconselhável recorrer ao MEF. O facto de o ambiente de trabalho ser comum aos vários programas e a possibilidade de transferência de dados entre programas permitem que o utilizador tire o máximo proveito do conjunto de programas GEO5.



### Aplicação de Várias Normas

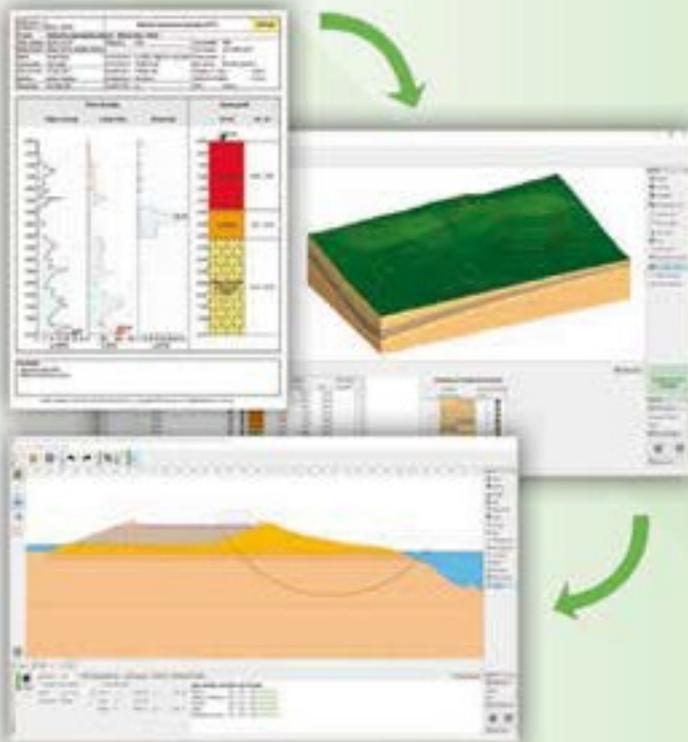
Os métodos geotécnicos aplicados pelo software GEO5 são utilizados em todo o Mundo. O GEO5 adota um sistema único de aplicação de normas e coeficientes parciais que são introduzidos de forma independente em relação aos dados da estrutura em análise. O GEO5 possui uma base de dados de normas, sendo que também é possível que o utilizador defina as suas próprias configurações.

GEO5 suporta:

- Fatores de Segurança (ASD)
- Teoria de Estados Limites (LSD)
- Eurocódigos EN 1997, incluindo Anexos Nacionais
- Load Resistance Factor Design (LRFD – USA)
- Outras normas geotécnicas (SNIP – Rússia, GB – China)
- Normas para betão armado (EN, ACI, SNIP, GB, AS, etc.)

### Desde a Prospeção a Dimensionamentos Avançados

O GEO5 baseia-se num conjunto de programas que fazem a conexão entre a modelação de dados geológicos com soluções para todos os tipos de problemas geotécnicos complexos.



www.finesoftware.com.br

Zaverka 12  
169 00 Praha 6  
Czech Republic

tel.: +420 233 324 889  
fax: +420 233 321 754  
e-mail: hotline@finesoftware.eu

Estão disponíveis pacotes com preços muito acessíveis acoplados com planos de manutenção e de leasing atrativos. Por favor, contacte o seu distribuidor para cotações.

O seu agente local

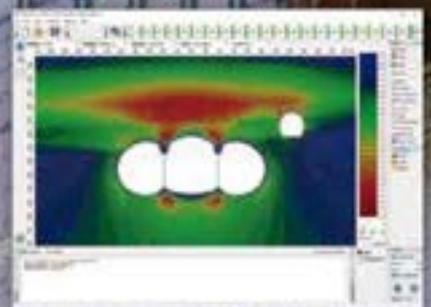
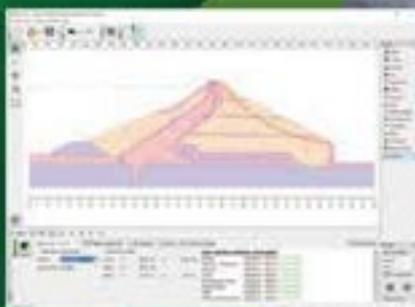
**SOLUÇÕES** CAD BIM

Tel.: (11) 3294-4800 | (11) 9 8995-1170  
Av Nova Cantareira, 2014 - Sl 123  
Tucuruvi - São Paulo/SP

# GEO5

Software de Geotecnia para  
uma vasta gama de análises

-  Análise de Estabilidade
-  Escavações e Contenções
-  Fundações
-  Muros e Gabiões
-  Túneis e Poços
-  Assentamentos
-  Estudos Geológicos
-  Sondagens de Solo



Com recurso ao MEF e a Métodos Analíticos

região não saturada vai sendo alterada, acarretando a redução do nível de sucção e, conseqüentemente, reduzindo a parcela do gradiente hidráulico, devido à carga da pressão. Como consequência, a taxa de infiltração reduz-se com o tempo, e não é necessariamente igual à intensidade da chuva que atinge a superfície do talude. No caso de superfícies horizontais, dependerá da capacidade de infiltração, regida pela condutividade hidráulica da região superficial e da intensidade da chuva. No caso de taludes, soma-se, ainda, a redução do volume de água infiltrada devido ao fluxo superficial (runoff), o qual varia em função da inclinação do talude e do tipo de cobertura. Diversos pesquisadores sugerem uma simplificação para solução do problema de infiltração de água em superfícies horizontais, a qual se mostrou adequada para solos granulares inicialmente secos. A solução incorpora a existência de frente de saturação bem definida, na frente de saturação, a sucção matricial é constante, independentemente do tempo e da posição, acima da frente de saturação a umidade e, conseqüentemente, a condutividade do solo são constantes. Para o caso de taludes, considerou-se diversas condições de contorno, como a lâmina d'água na superfície e solo homogêneo, a intensidade da chuva constante, e a intensidade de chuva variável. Não existe consenso de qual seja a melhor estratégia para relacionar intensidade da chuva com escorregamento. No entanto, chuvas localizadas de alta intensidade e curta duração têm sido responsáveis por diversos escorregamentos. A relação ideal entre chuva x escorregamento, adequada para determinada localidade, tem sido

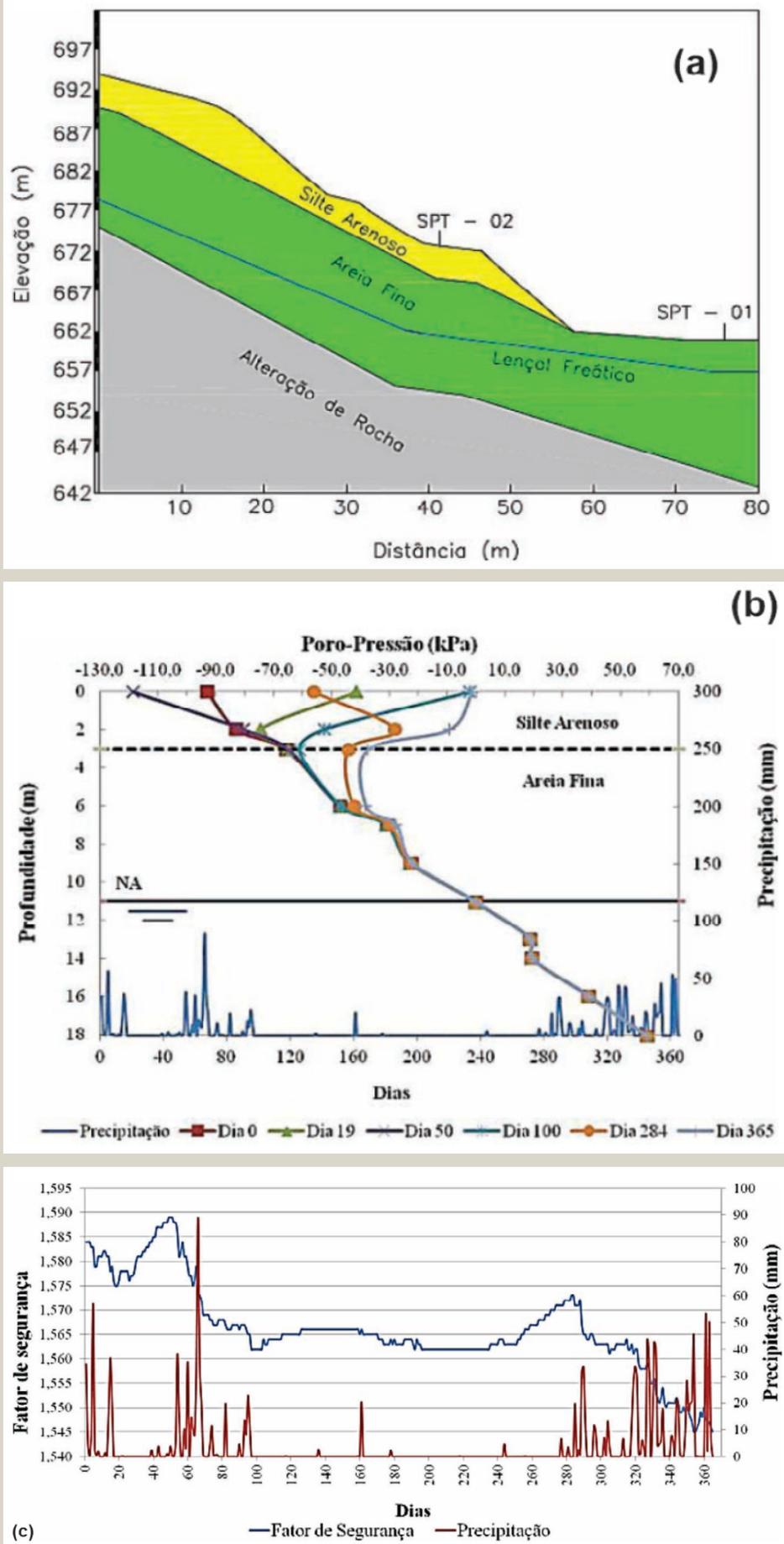


Figura 7 – Efeito da infiltração da chuva na estabilidade (a) Seção analisada – solo residual de gnaiss; (b) perfis de propressão; (c) Variação do FS e intensidades de chuva

buscada incessantemente (Figura 8), de forma a subsidiar políticas públicas para minimizar o número de perdas humanas, principalmente em comunidades de baixo poder aquisitivo. O Rio de Janeiro foi pioneiro, em 1996, na implantação de um sistema de alerta (Sistema Alerta Rio). Desde então esse sistema, iniciado como função semelhante à apresentada na Figura 8a, vem sendo alterado para melhor representar a condição crítica da cidade. A partir de 2005, o critério para definição dos níveis risco, durante a ocorrência de eventos chuvosos, ficaram definidos a partir de registros horários, diários e de 96 horas (4 dias), como mostra a Tabela 1. Três são os aspectos importantes quando se pretende, em análises de estabilidade, relacionar chuva x escorregamento:

A) Processos de fluxo interno continuam a ocorrer após a chuva ter cessado. A Figura 9 mostra exemplo da redistribuição da umidade ao longo da profundidade, após saturação superficial em decorrência da infiltração da chuva. Com isso, é possível que o mecanismo de ruptura, em decorrência da redução da sucção, seja deflagrado algum tempo após o evento pluviométrico.

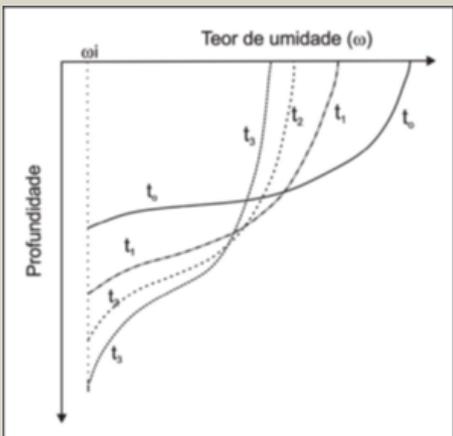


Figura 8 – Redistribuição de umidade

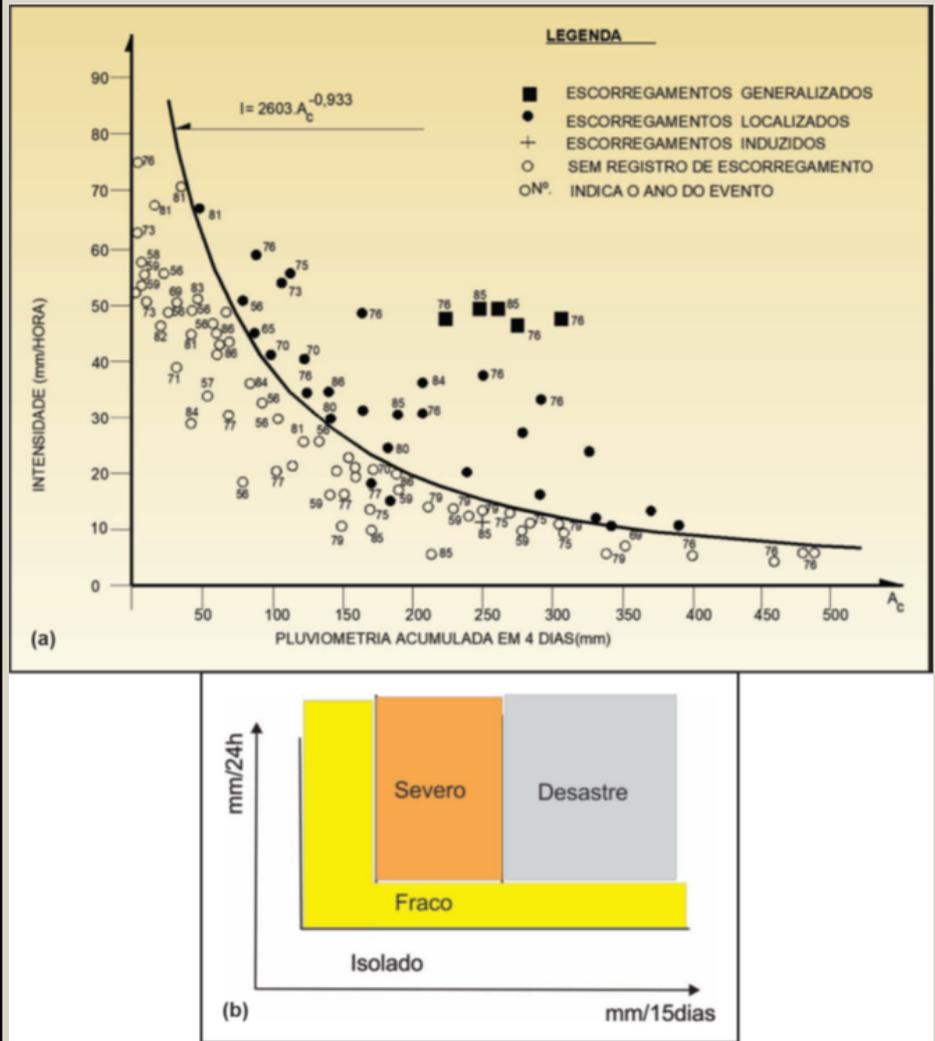


Figura 8 – Correlação entre chuvas e escorregamentos: (a) Cubatão (b) Hong Kong

Intensidade de chuva	Probabilidade de ocorrência de escorregamentos		
	Média	Alta	Muito Alta
mm/h	10 a 30 mm	30 a 50 mm	> 50 mm
mm/24h	50 a 100 mm	100 a 175 mm	> 175 mm
mm/96h	100 a 175 mm e 10 a 30 mm/24h	175 a 250 mm e 30 a 50 mm/24h	> 250 mm e > 100 mm/24h

Tabela 1 – Sistemas pluviométricos utilizados pelo sistema alerta.

B) Nos taludes, é comum a existência de perfis de intemperismo mais ou menos espessos, subjacente à rocha matriz alterada e altamente permeável, bastante mais elevada que a do solo, funcionando como uma região drenante, garantindo que o nível freático se mantenha em níveis profundos. Assim, durante boa parte do tempo, os horizontes de solo, se mantêm em um estado de não saturação.

C) A heterogeneidade presente no solo, e a complexidade da geometria associada ao talude natural, pode gerar padrão de fluxo complexo. A presença de fraturas no substrato pode criar situações de fluxo preferencial, gerando poro pressões positivas e que, rapidamente, levam o talude à condição de ruptura. Modelagens numéricas tridimensionais, do processo de fluxo indicam que a infiltração da

chuva, mesmo associada a uma trinca no topo do talude, seria insuficiente para deflagrar ruptura.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMSON, L.A.W.; LEE, T. S.; SHARMA, S. & BOYCE, G.M. (1996). Slope Stability and Stabilizations Methods. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- ANDRADE, M.H.N., DE CAMPOS, T.M.P & VARGAS JR, E.A. (1992). Retroanálise do Escorregamento da Encosta do Cactáreo. I Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, v. I, pp. 161-172.
- AUGUSTO FILHO, O. (1992). Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, v. II, pp. 721-733.
- AUGUSTO FILHO, O. (1995). Escorregamentos em encostas naturais ocupadas: análise e controle. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 3.4, p.77-100.
- Gersovich, D. Vargas, E., Campos, T, Estabilidade de talude.s. Capítulo 25.



Success Factors  
SIG WORKSHOP



Image courtesy of Adviseurs in Bouwtechniek (ABT)

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



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

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!**

Are you looking for a soil improvement in portuguese?

**BEST SELLER**

# MELHORAMENTO DO SOLO MOLE E O GEOENRIJECIMENTO



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

## CHUVAS, CONDIÇÃO DO SOLO E DESLIZAMENTOS EM TALUDES. ENTENDA A RELAÇÃO.



Thomas Kim

Fig 1 - Condição com rutura do talude estradal. Ruturas sucessivas implicaram em estudo.

**R**uturas ou deslizamentos de taludes são considerados os maiores desastres em todo o mundo, causadores de grandes perdas econômicas, além de fatalidades. Solos predominantemente argilosos, altamente plásticos, possuem resistência suficiente para suportar taludes, em locais com condição seca, no entanto, como são propensos à expandir e retrair, de maneira cíclica, sob carregamento climático, com ação pluviométrica e evapotranspiração, tudo muda. Regularmente vemos taludes, seja de estradas em todo o Brasil e particularmente em regiões portuárias fluviais de toda a Amazônia, caírem impedindo a mobilidade regular. Neste últi-

mo caso, não iremos considerar a ação cíclica de cheia e vazante dos rios da Amazônia. O mecanismo de rutura de um talude com solo propenso à expansão, devido à precipitação pluviométrica, possui um complexo mecanismo que necessita ser entendido. As propriedades hidráulicas do solo, relativa à sucção matricial e ao teor de umidade (combinação de forças que atuam no solo, e em sua água, impõe às camadas acima do nível freático, ação particular de atração para água, denominada de "sucção", usualmente chamada de poropressão negativa) seguem relação não linear. Rápidas alterações na poropressão e no teor de umidade do solo, tem efeito significativo na resistência e, conseqüentemente, na estabilidade do talude. Naturalmente, o

solo tende a perder sua resistência cisalhante, tornando-se mole com redução do coeficiente de segurança. Durante a estação seca, o solo predominante com características de expansivo, produz trincas em sua superfície, perdendo parte de sua integridade. Adicionalmente, trincas naturais de retração que ocorrem no solo, somam-se na superfície do talude, permitindo que a água da chuva penetre mais facilmente. Assim, a combinação de chuvas intensas e/ ou prolongadas e o processo cíclico de expansão/retração do solo, predominantemente argiloso, tornam-o propenso a deslizamentos. A presença de trincas de dissecação (resultado da redução do teor de umidade do solo) afeta, de forma significativa, o comportamento hidromecânico do solo, incluído

mudança de volume da argila, sua hidratação, permeabilidade, cisalhamento residual e resistência à tração. Adicionalmente, devido ao cíclico período de saturação e secagem, a alta plasticidade do solo argiloso faz com que se perca suas propriedades de resistência cisalhante, ao mesmo tempo em que aumenta a poropressão. Conseqüentemente, as forças resistentes, que sustentam o solo do talude diminuem, tornando-o vulnerável à deslizamentos. Há diversas pesquisas de campo e laboratório, associadas à simulações numéricas, realizadas recentemente, para investigação de mecanismos de rutura de taludes, identificando-se critérios para seu início, como o desenvolvimento de deformações excessivas, deslocamento do solo, crescimento do nível freático, avanço da frente de molhação do solo, trincas e condição de solo fofo ou mole na superfície do talude. Quando qualquer um destes critérios citados ocorrer de forma abrupta, poder-se-á considerar rutura eminente do talude, entendendo que o evento pluviométrico correspondente é denominado de crítico. Estes indicadores da rutura de taludes, podem ser monitorados por instrumentação de campo, através de inclinômetros, extensômetros, variação da umidade do solo, com sensores dielétricos de umidade

e tensiômetros, além da condição da água do solo com piezômetros. Evidentemente toda esta instrumentação exige um alto custo, devido à necessidade de monitoramento por longos períodos. Outra forma de determinar ou analisar critérios de rutura em taludes, é realizar análises numéricas, incorporando o efeito pluviométrico, acoplado análises de estabilidade com efeitos de percolação, para determinar o tempo necessário da rutura em diferentes casos. A principal diferença conceitual entre a resistência ao cisalhamento do solo saturado e não saturado é, exatamente, a resistência adicional induzida pela sucção matricial do solo. Softwares, baseados no método de elementos finitos (MEF) como o SEEP/W, PLAXIS 2D, PLAXIS FLOW, SVFLUX, GEO5, etc, são utilizados com grande frequência para análises de percolação. Análises de estabilidade de taludes podem ser realizadas utilizando o equilíbrio limite (EL), MEF e métodos probabilísticos. Recentemente, o desenvolvimento de módulos bem avançados do GEOESTUDIO, incluindo percolação transiente e análises de deformação, onde incorporam-se variáveis do solo, promovem opções para análises mais rigorosas de ruturas de taludes induzidas por chuvas. Adicional-

mente, análises desvinculadas (percolação e deformação) tornam-se populares para análises de percolação passageiras. Um método para monitoramento de rutura de taludes, pode basear-se na observação das propriedades hidráulicas do solo e em suas mudanças ao longo do tempo para pequenas profundidades. Diversos estudos recentes, evidenciam a análise numérica e a modelagem dos parâmetros físicos, com o objetivo de estabelecer limites. Entretanto, torna-se necessário um estudo mais abrangente de campo, juntamente com análises numéricas, para investigar propriedades hidráulicas, o processo da infiltração da água da chuva e o e o comportamento da rutura de taludes induzidos por chuvas. Portanto, procuramos realizar uma análise numérica, juntamente com monitoramento dos dados de campo, com objetivo de observar a influência das propriedades hidráulicas do solo na estabilidade do talude. As análises de fluxos momentâneos, foram realizadas utilizando-se o SEEP/W, seguido por análises de estabilidade do talude com SLOPE/W.

## Conhecendo o solo

Uma determinada estrada estadual, em um trecho com aproximadamente 100m de extensão, (figura 1) apresentava repetidos problemas de rutura nos taludes dos aterros construídos, observando-se inclinação de 3H:1V. A plataforma, situada anexa à rodovia, sofreu trincas longitudinais profundas, devido a movimentação do talude. Com base em sondagens SPT e tomografia do solo com imagens, utilizando-se resistividade elétrica, observou-se dois extratos bem distintos, contendo solo argiloso, com alta plasticidade, e o outro com xisto. O SPT indicou que a primeira camada é dividida em duas outras, com diferentes parâmetros de rigidez, ou seja, uma argila mole de 0 a 3 mts e uma argila média e rija de

### Medidor Portátil do Perfil de Recalques

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

#### Aplicações:

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



Para maiores informações, acesse: [www.regerte.com.br](http://www.regerte.com.br)  
ou [atendimento@regertec.com.br](mailto:atendimento@regertec.com.br)

Soft Soil  
Group

3 a 6,7 mts. A caracterização física do solo, em laboratório, apresentou potencial de retração/ expansão. Devido a este cíclico comportamento de retração/ expansão, a resistência cisalhante do solo diminuiu consideravelmente para a condição mole. As propriedades de resistência e hidráulica do solo foram realizadas em laboratório. Foram obtidas amostras indeformadas e amolgadas em diferentes profundidades, ao longo de dois furos realizados, obtendo-se valores médios. O solo pertinente ao talude apresentou teor de umidade variando de 10 a 40%. Os valores do limite de liquidez e do índice de plasticidade variaram entre 55 a 74% e de 39 a 43, respectivamente. A fração da argila, das amostras obtidas, variaram de 85 a 95%.

## A instrumentação de campo

Instalou-se instrumentos para monitorar a presença d'água e a umidade do solo a 0,60m, 2,0m e 3m de profundidade, conforme figura 2 acima.

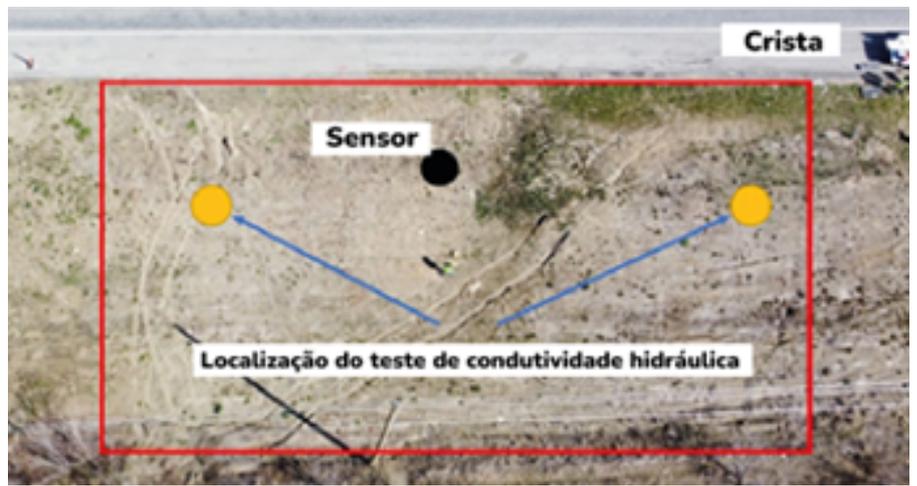


Fig 2- Local com 45mts de extensão com a posição do sensor e sua localização



Fig 3- Sensor de umidade do solo e o registrador de dados

Utilizou-se sensores TEROS 12 (ROGERTEC) para medir o teor volumétrico da água, além do TEROS 21, sensor para presença de água no solo, ambos com o objetivo de medir a sucção matricial. Para receber e armazenar os dados do campo, utilizou-se

registradores de dados tipo ZL6, com intervalo de medição de 60 minutos, permitindo armazenar 24 dados por dia. A figura, a seguir, mostra os dados do sensor da umidade instalado no talude. Os valores iniciais de umidade do solo a 0,60m, 2,0m e 3,0m

Crie sua própria **Planilha de Dimensionamento de Geoenrijecimento** para solos moles escaneando o QR Code abaixo!

MEMÓRIA DE CÁLCULO		v. 1.0	
<b>Dados de Entrada</b>			
Solo mole pré-CPR			
1.1 Perfil geotécnico	H	18,0 m	
1.2 Espessura da camada de solo mole	H <sub>sm</sub>	18,0 m	
1.3 Resistência não drenada	s <sub>u</sub>	15,0 kPa	
1.4 Coeficiente de adensamento	e <sub>0</sub>	2,2 (7) fase	
1.5 Rigidez (módulo elástico)	E	1.000 kPa	diáta
1.6 Condições de drenagem			
<b>CPR Geogratia</b>			
2.1 Tipo de malha	Z	Quantidade	
2.2 Espaçamento de geodrenos	S <sub>g</sub>	1,50 m	
2.3 Volume de geogratia por metro de profundidade	V <sub>g</sub>	900 l/m	
2.4 Quantidade de adensamento de geogratia	Q <sub>g</sub>	1,5 kPa	
2.5 Coeficiente de redução volumétrica por adensamento	k <sub>v</sub>	0,65	
2.6 Profundidade de geoenrijecimento	F	10,0 m	
2.7 Espaçamento entre verticais	S <sub>v</sub>	3,00 m	
2.8 Razão de substituição	R <sub>s</sub>	10,0%	
<b>Dados Calculados: solo enrijecido</b>			
<b>1. Resistência não drenada</b>			
1.1 Resistência não drenada	s <sub>u</sub> enr	42 kPa	
1.2 Rigidez (módulo elástico)	E <sub>enr</sub>	3.275 kPa	
1.3 Coeficiente de adensamento equivalente	e <sub>0</sub> enr	50,8 (7) fase	
1.4 Tensão admissível	σ <sub>adm</sub>	1,55 kg/cm <sup>2</sup>	
1.5 Fator de redução de recalques	β	3,3	

Copyright © 2018 Engegraut Ltda - Todos os direitos reservados.  
A Engegraut não se responsabiliza pelo uso incorreto desta planilha eletrônica.  
Qualquer dúvida, por favor, entre em contato.

Para mais informações acesse: [Engegraut.com.br](http://Engegraut.com.br)

Ou envie um e-mail para: [Atendimento@engegraut.com.br](mailto:Atendimento@engegraut.com.br)

# FIQUE POR DENTRO DE TODAS AS NOVIDADES DO MEIO GEOTÉCNICO SOLICITANDO SEU WEBNAR

## Conhecimento

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

## Comodidade

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

## Feedback

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



Solicite seu webinar através do número: (21) 99359-9105

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



de profundidade deram, respectivamente 44,4%, 52,1% e 46,8%, indicando que no tempo analisado o grau de saturação foi similar. Após o ajuste inicial, cada sensor começou a mostrar tendências diferentes. O sensor instalado mais superficialmente (0,60m) oscilou mais 6,2% em comparação com os outros dois mais profundos, que apresentaram coeficiente de variação de 1,27% e 1% respectivamente. Ou seja, para pequenas profundidades, o conteúdo volumétrico d'água do solo diminui, após alguns dias de sol aumentando, repentinamente, após dias de chuvas. Monitorou-se mensalmente a variação sazonal das propriedades hidráulicas do solo do talude, utilizando-se o permeâmetro GUELPH, visualizado na figura abaixo, para medir a condutividade

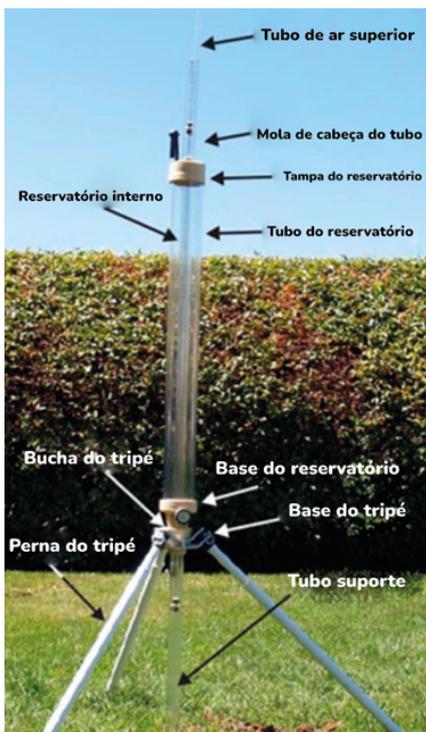


Fig 5- Instrumentação do teste de condutividade hidráulica.

hidráulica do solo saturado, com base no prognóstico de que, na zona saturada, é isotrópico e uniformemente impregnado. Antes da montagem no campo, o reservatório do equipamento foi enchido com água e selada

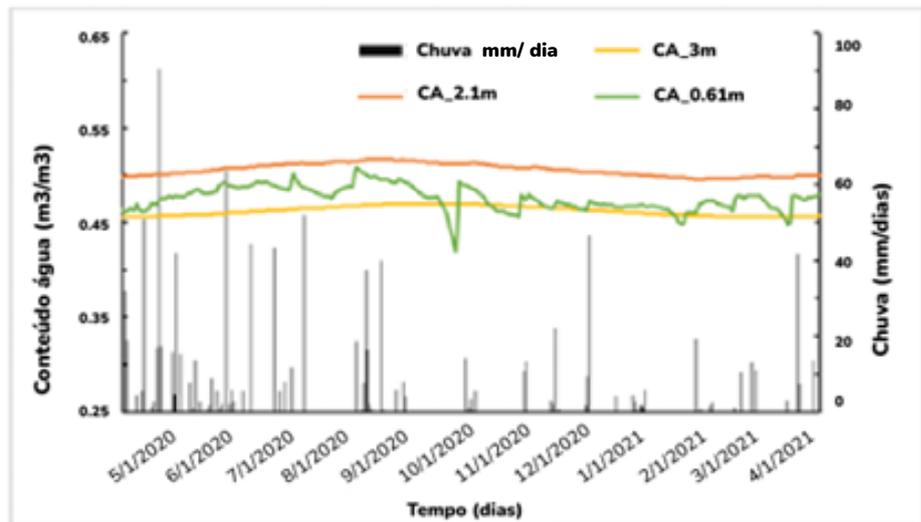


Fig 4- Alteração do conteúdo de água (CA) para diferentes profundidades.

a tampa. Para introduzi-lo no solo, abre-se um furo com trado manual a profundidade desejada. Durante o teste, assegurou-se que o solo saturou, monitorando-se o nível d'água do reservatório em intervalos de 5 minutos. Monitorou-se a proporção de carga, com o tempo, de maneira simultânea, de modo a detectar a condição do estado estacionário do fluxo d'água, através do solo subjacente. Selecionou-se, em cada mês, dois pontos específicos para leitura, determinando-se a média para se obter a condutividade hidráulica do solo do local, com base nas equações:

$$Q1 = \bar{R}1.2,16$$

$$C1 = \left[ \frac{H2/a}{2,081 + 0,0121\left(\frac{H2}{a}\right)} \right]^{0,672}$$

$$K_{fs} = \left[ \frac{C1.Q1}{2\pi H_1^2 + \pi a^2 C_1 + 2\pi\left(\frac{H1}{a}\right)} \right]^{0,672}$$

Onde  $K_{fs}$  é a condutividade hidráulica do solo saturado,  $C$  é um fator de forma adimensional,  $R$  é a taxa do estado estacionário da queda da água no reservatório (cm/s),  $H$  é a profundidade estável da água no reservatório,  $H1$  é a primeira queda hidráulica no furo (cm),  $H2$  é a segunda queda hidráulica estabelecida no furo (cm),  $a$  é o pa-

râmetro de comprimento capilar microscópico, 0,01 para solos argilosos compactados, 0,04 para solos argilosos de grão fino, 0,12 para solo estruturado na areia média e fina não estruturada, 0,36 para solo arenoso grosso e cascalho, solo com grandes trincas.

Na figura à seguir, apresenta-se a condutividade hidráulica calculada em relação às chuvas. Conclui-se que é pequena durante o verão e quase duas vezes maior no outono e na primavera. No verão, o solo é relativamente seco, formando bolsões de ar que evaporam a umidade por seus poros. O ar preso, não permite que a água flua por seus poros, resultando em menor condutividade hidráulica. No outono e na primavera, ao contrário, os poros do solo contêm vários graus de umidade, e a água flui devido ao movimento capilar (no solo ocorre o fenômeno da ação capilar, da mesma forma que a água sobe por um tubo, contra a força gravitacional) A água move-se para cima, pelos poros do solo/ espaços entre partículas. A altura que sobe depende do tamanho dos poros, o que é evidente em outubro, estimando-se em  $4,4 \times 10^{-6}$  cm/s a condutividade hidráulica. No entanto, o padrão oposto foi observado no final do outono e início da primavera, indicando condição saturada do solo,

com o qual a água não flui facilmente, conforme figura 6 abaixo.

precipitação. A análise da percolação, foi realizada utilizando-se o módulo SEEP/W no GEOESTU-

Fez-se a calibração, utilizando-se a função deste conteúdo volumétrico d'água, de modo a comparar a condição real de campo com a análise numérica atual. Os dados do índice pluviométrico e do teor d'água volumétrico obtidos dos sensores, em datas anteriores, foram calibrados e comparados com a análise da percolação atual. Observa-se, pela Figura 9 que os dados de campo e os da análise SEEP/W, mostram um padrão similar, muito embora, as diferenças em intensidades nas curvas de campo e da análise numérica ficam evidentes. Isto deve-se a propagação das fissuras e ao processo de evapotranspiração que ocorre e que

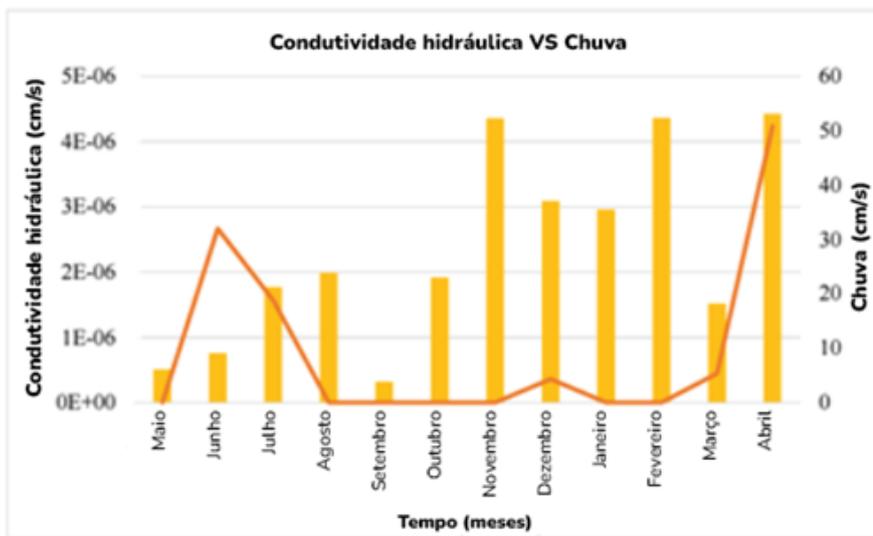


Fig 6- Alteração na condutividade hidráulica com o tempo

## A avaliação numérica

Utilizou-se dados volumétricos do conteúdo d'água dos sensores de umidade, dos resultados do teste de condutividade hidráulica de campo, do índice pluviométrico e dos parâmetros de resistência, obtidos em laboratório, para avaliar numericamente a estabilidade do talude. O GEOESTUDIO é um software de elementos finitos, utilizado neste estudo, juntamente com os módulos SEEP/W e SLOPE/W para investigar a atuação/ infiltração da chuva no solo e as conseqüentes alterações ocorridas no fator de segurança do talude. Desenvolveu-se um modelo, tendo relevante condição de contorno, conforme figura 7, criando-se um modelo 2D, para iniciar a modelagem. Consideramos três camadas de solo, do perfil existente onde, em ambos os lados, não havia condição de fluxo, atribuindo-se o grosso da chuva à camada superficial, calibrando-se o modelo com os dados do campo. Considerou-se, como escoamento superficial, para a modelagem, 30% do total das chuvas atribuídas à 70% da

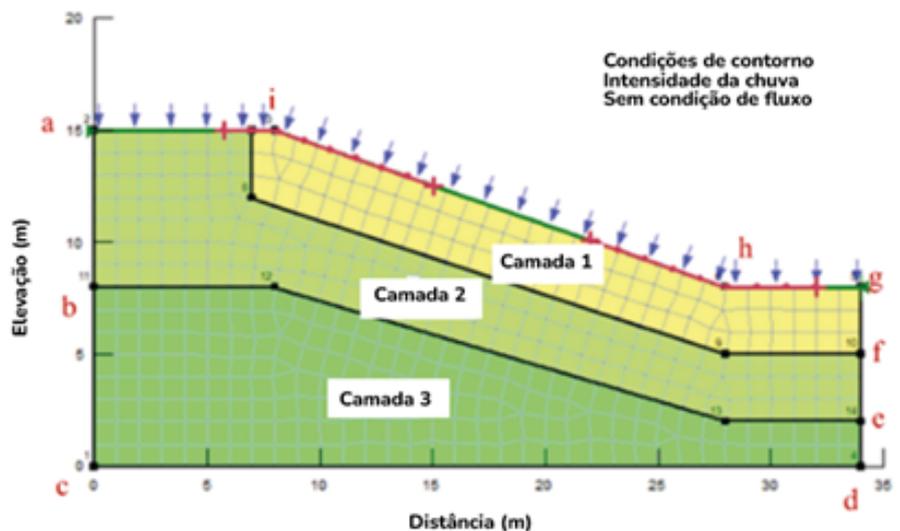


Fig 7- Modelo numérico desenvolvido utilizando-se GEOESTUDIO

DIO. As funções do teor volumétrico d'água, para as três camadas diferentes, estão na figura abaixo.

não foi incorporado à análise numérica. Contudo, a semelhança no padrão preenche os requisitos da simulação das condições

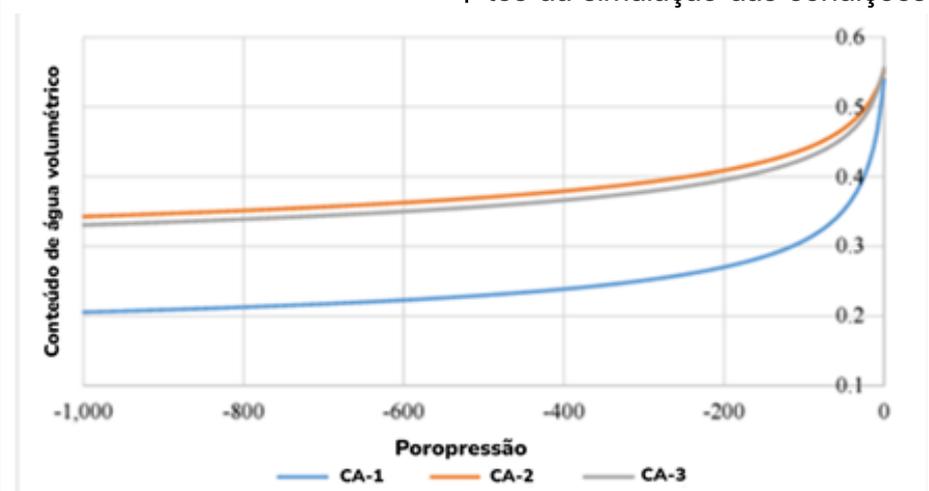


Fig 8- Função do conteúdo de água (CA) volumétrico para três camadas

de campo. Após a calibração do modelo, a condutividade hidráulica foi alterada mensalmente, de acordo com os dados de campo, de acordo com a figura 6. Na análise do SLOPE/W, as propriedades da resistência, que foram consideradas, são apresentadas na tabela a seguir. Estes valores foram obtidos de testes em laboratório com amostras de solo não amolgadas, coletadas no local. Durante a modelagem numérica, as propriedades da resistência foram mantidas constantes, de modo a se observar as alterações nos fatores de segurança devido, apenas, à mudança na condutividade hidráulica.

Camada	Peso Unitário (kN/m <sup>3</sup> )	Coesão (kPa)	Ângulo de Atrito (°)	Phi-B (°)
1	17.28	5.31	11.6	5.8
2	18.07	1.63	21.06	10.53
3	20.05	214.3	0	0

Figura 9 - Propriedades da resistência utilizada na análise numéri-

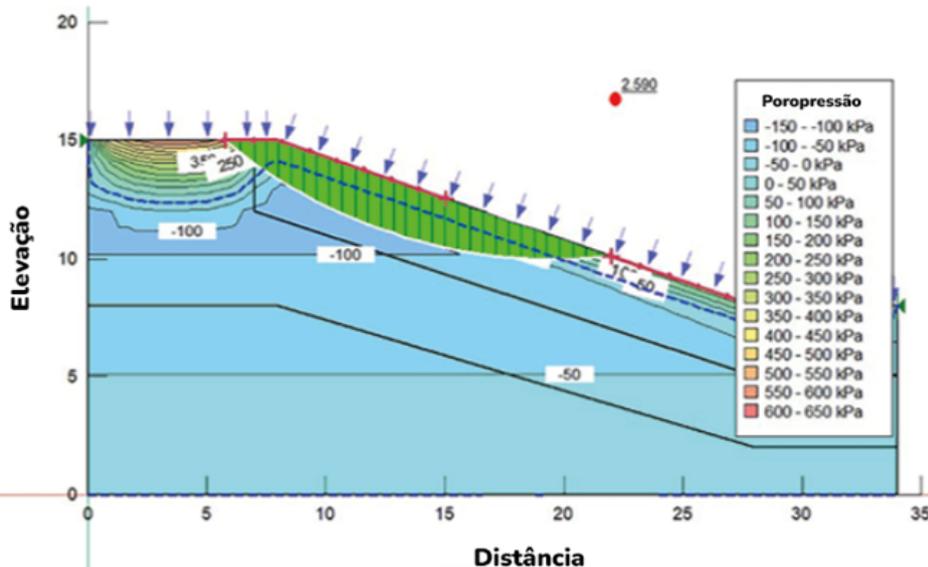


Fig 10a – diagrama da poropressão em maio

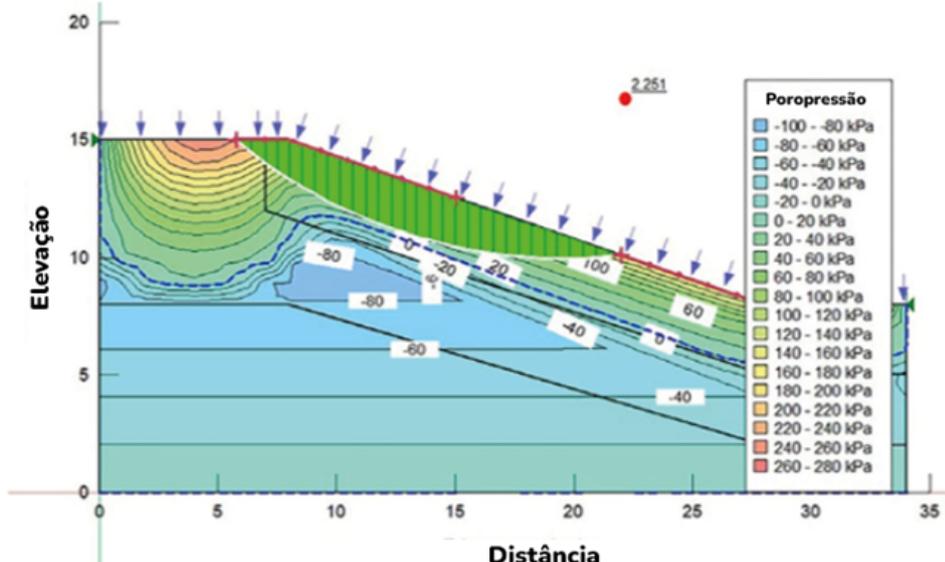


Fig 10b – diagrama da poropressão em setembro

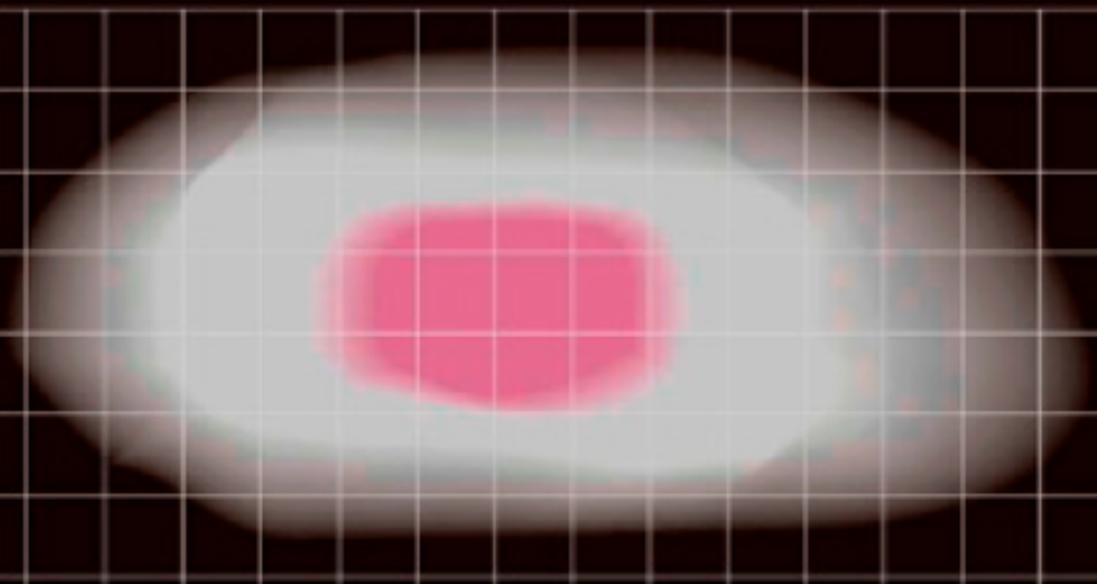
## A análise dos dados numéricos

Realizou-se análises SEEP/W e SLOPE/W para os dados obtidos ao longo de um ano, de modo a incluir todo o ciclo de resultados no monitoramento. As figuras à seguir apresentam diagramas de poropressões, ao final de cada mês. A sequência das figuras 10a à 10D representam a percolação d'água ao longo de um ano, apresentando os perfis da poropressão, ao longo de 4 meses. As linhas azuis, em cada figura, representam a condição de pressão zero. Observa-se a percolação d'água na figura 4, desde quando a condutividade d'água dobra no 3° e 4° mês, se comparada à inicial. Observa-se que a linha de pressão zero, desce gradualmente à medida em que a água escoava lentamente através do solo, ao longo de 6 meses, sendo que em dezembro a queda é significativa. No ponto vermelho, a poropressão aumenta de 20 para 50kPa, representando um incremento de quase 200%. De maio a novembro, esta taxa de aumento foi inferior a 70%. Com

a continuação, a condutividade hidráulica foi estimada como alta, entretanto, a poropressão foi inferior a 20kPa ao longo de toda a seção do talude. Considerou-se a condutividade hidráulica, na segunda e terceira camada,  $10^{-6}$  e  $10^{-10}$ cm/s, respectivamente. Com valores muito baixos, não houve percolação apreciável na 3ª camada do solo. Objetivou-se, portanto, determinar o coeficiente de

segurança do talude, tentando-se entender o motivo das ruturas/deslizamentos repetidos. Na figura 11, explica-se o padrão de rutura do talude, em termos de fator de segurança. Nos primeiros dois meses de monitoramento, o fator de segurança aumentou quase 175%, ou seja, de 2 para 3,5. Inicialmente, a água demorou a percolar pelo solo, pelo fato da condutividade hidráulica ser muito baixa de maio de junho. Observou-

# contaminação de solo?

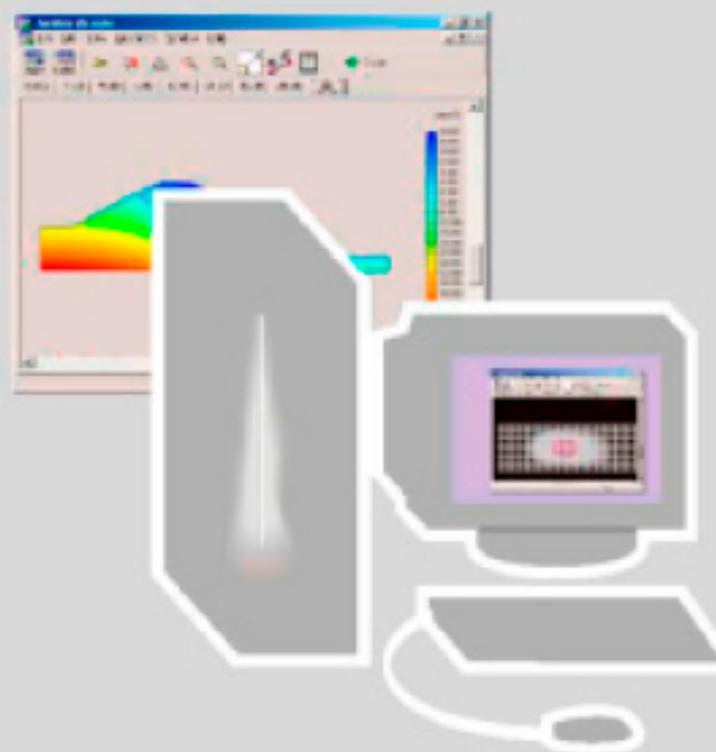


O segredo do tratamento de solos contaminados está na adequação do processo de compressão, confinamento e adensamento do solo, analisado com piezômetros e imagens tomográficas antes e depois.

Confie em quem tem experiência.



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



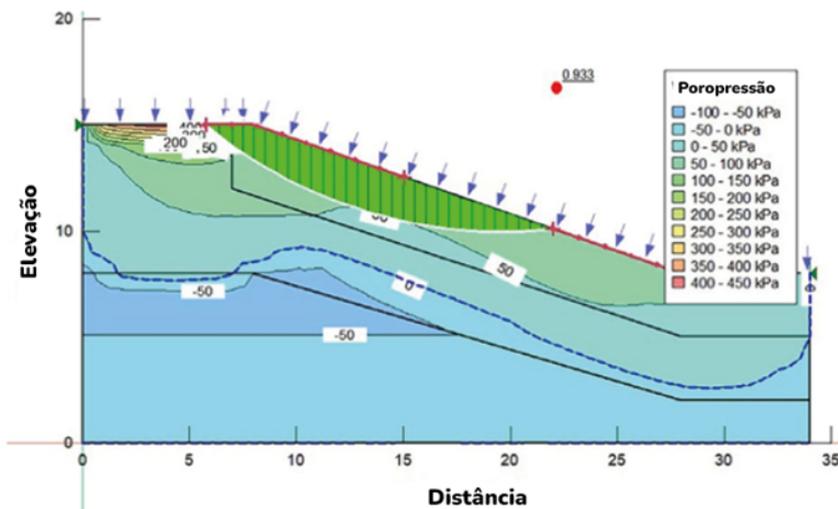


Fig 10c – diagrama da poropressão em dezembro

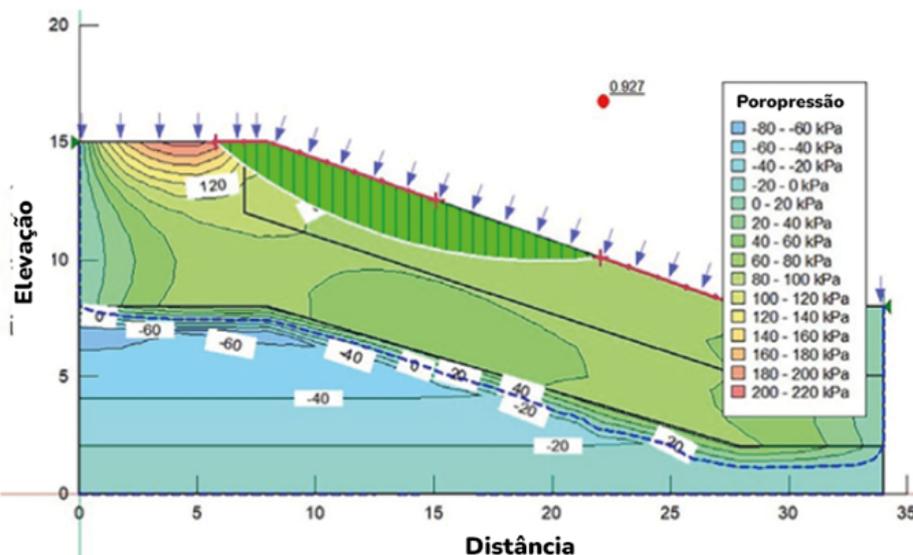


Fig 10d – diagrama da poropressão em abril

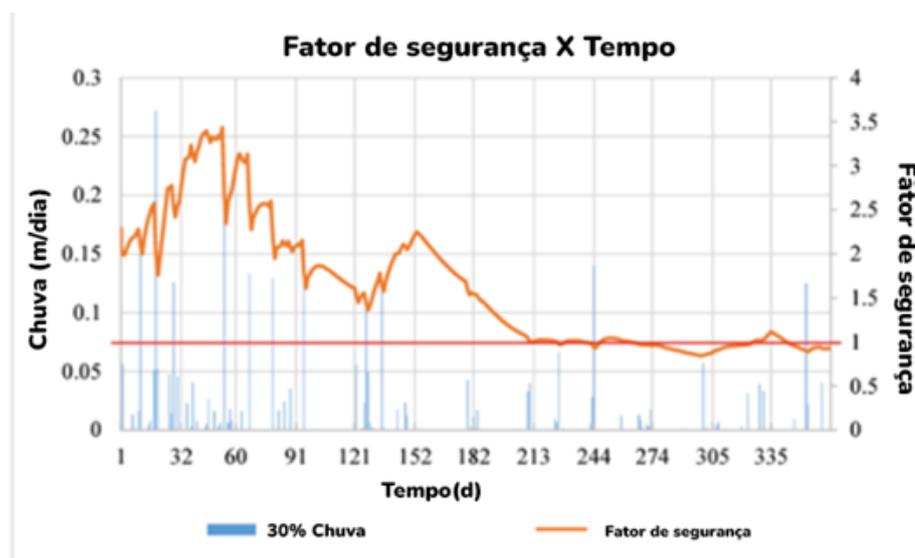


Fig 11- Alteração no fator de segurança com o tempo

período de chuvas intensas. Do dia 120 ao dia 150 a condutividade hidráulica foi muito pequena, mesmo por que as chuvas não foram significativas como nos demais meses,

fazendo aumentar o coeficiente de segurança. Após setembro, a condutividade hidráulica aumentou para  $4 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ , fazendo com que a água adentrasse facilmente

no solo do talude, fazendo aumentar a poropressão, diminuindo sua resistência cisalhante. Em resumo, o fator de segurança caiu abaixo de 1, indicando provável rutura do talude, com uma superfície crítica de rutura entre 2 e 3,5mts, conforme observado na figura 10c. Como resultado, mostrou-se o que ocorre efetivamente em taludes, submetidos a processos de deslizamentos, deixando claro a importância do conteúdo volumétrico d'água e a condutividade hidráulica, principalmente com a ajuda de sensores de umidade e um permeâmetro em campo, assim como ensaios de laboratório, de modo a replicar numericamente a condição do local, com ajuda do software de elementos finitos GEOESTUDIO.



## REFERÊNCIAS

- Thomas Kim é engenheiro geotécnico especializado em melhoramento de solos moles.
- S. G. Wright, Evaluation of Soil Shear Strengths for Slope and Retaining Wall Stability Analyses with Emphasis on High Plasticity Clays, FHWA/TX06/5-1874-01-1, Federal Highway Administration, Washington, D.C, (2005).
- S. J. Abbey, E. U. Eyo, & S. Ng'ambi. Bull. Eng. Geol. Environ. 79, 2119 (2020)
- W. McCormick, and R. Short, Cost Effective Stabilization of Clay Slopes and Failures using Plate Piles, in Proceedings of the IAEG2006, The Geological Society of London, London, United Kingdom, 1-7, (2006).
- C. S. Tang, X. J. Pei, D. Y. Wang, B. Shi, & J. Li, J. Geotech. Geoenv. Eng. 141(4), 04014122. (2015)
- J. Hossain, Geohazard potential of rainfall-induced slope failure on expansive clay. Doctoral dissertation, The University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, USA, (2013)
- S. Wang, G. Idinger, & W. Wu, Acta Geotech. 16(9), 2899 (2021)
- E. Damiano, & L. Olivares. Nat. Hazards, 52(2), 329 (2010)
- H. Rahardjo, T. H. Ong, R. B. Rezaur, & E. C. Leong. J. Geotech. Eng. 133, 1532 (2007)
- Olinda Gupta, Azijul Islam, Jabair Bim Alam – Numerical evaluation of slope stability based on temporal variation of hydraulic contutivity.



**SSBI** SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE

**O SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE ajuda você a entender solos moles**

Melhorar solos moles exige conhecimentos geotécnicos práticos e teorias sofisticadas. Cada obra é um caso específico que exige solução diferenciada.

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

**PARCEIROS**



**SOFT SOIL BRAZILIAN INSTITUTE**  
 Rua Correia de Araújo, 12- Barra da Tijuca  
 Rio de Janeiro/ RJ- Brasil- CEP 22611-070  
 Tel: (21) 3851-6218

**EDIÇÃO**  
 DIRETOR EDITORIAL  
 M.Sc. Joaquim Rodrigues  
 DIRETORES ADJUNTOS  
 Eng° Thomas Rodrigues  
 Eng° Roger Kim  
 Engª Patricia Tinoco

PUBLICIDADE, ASSINATURA  
 Cleide Ferreira

EDITOR DE ARTE  
 Victor Peres

REPRINTS EDITORIAIS  
 Mariana Tati

**FALE CONOSCO**  
[softsoilgroup.com.br](http://softsoilgroup.com.br)  
 @engegraut  
 (21) 3154-3250  
[atendimento@softsoil-brazilianinstitute.com.br](mailto:atendimento@softsoil-brazilianinstitute.com.br)

"Soft soil Brazilian Review" é uma revista digital com publicação bimestral  
 Receba notificação de nossa revista.  
 Inscreva-se em:  
[atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br](mailto:atendimento@softsoilbrazilianinstitute.com.br)