

Investigação Geotécnica Para Quê?

Marinho, F. A. M.

Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, fmarinho@usp.br

Resumo: *O presente trabalho trata de um tema que tem se tornado áspero para a maioria dos geotécnicos. Áspero pelo fato de ter se criado uma mentalidade de que o conhecimento geotécnico está apenas associado à chamada “experiência”. No mundo todo a investigação geotécnica tem sido uma exigência, associada com a Experiência. Com o avanço tecnológico têm surgido tecnologias que facilitam a investigação e a instrumentação de obras geotécnicas. Também é objetivo deste trabalho apresentar algumas destas tecnologias que estão cada dia mais comuns no meio científico brasileiro, mas que não têm recebido a devida atenção da indústria geotécnica.*

Abstract: *The present work deals with a subject that has become rough for the majority of the geotechnical engineering. Rough for the fact that it was created a mentality that the geotechnical knowledge is only associated to what is called "experience". Around the world, geotechnical investigation has been a requirement, associated to the Experience. With the technological advance technologies have been developed in order to facilitate the investigation and the instrumentation of geotechnical works. It is the objective of this work to present some of these technologies that are more and more common into the Brazilian scientific society, but that has not yet received the deserved attention from the geotechnical industry.*

1. Introdução

Pearl (2000) apresenta uma bem estruturada justificativa sobre a nossa capacidade de explicar as coisas. Tomando emprestado o seu raciocínio pode-se criar a idéia da importância e da necessidade de justificar ações de engenharia geotécnica com base nas investigações que se pode e deve fazer.

Nos primórdios dos tempos a casualidade das coisas não era um problema. Embora a necessidade de se saber o porquê das coisas tenha surgido muito cedo na história da humanidade. A Bíblia informa que apenas algumas horas após Adão ter comido da árvore do conhecimento ele já era um grande conhecedor da argumentação causal. Quando Deus perguntou: “você comeu desta árvore?” Adão respondeu: “A mulher que o senhor me trouxe como companheira me deu a fruta e eu a comi”. Eva habilmente diz: “A serpente me persuadiu e eu a comi”.

Mais uma vez Pearl (2000) chama atenção para um aspecto interessante sobre esta história. Deus não pediu explicações, ele pediu apenas os fatos. Adão achou por bem explicar. Ou seja, a explicação das causas é um conceito criado pelo homem. Outro aspecto interessante desta passagem é o fato de que a explicação é usada apenas para transferir responsabilidade e foi assim por muito tempo, e em muitos casos ainda é hoje.

No início apenas Deus, pessoas e animais podiam ser agentes causadores dos eventos. Objetos, eventos ou processos físicos não eram responsabilizados por nada.

Todos os eventos naturais eram predeterminados por deuses enfurecidos e assim sendo não podiam eles próprios, os eventos, serem responsabilizados pelas causas. Estas explicações eram até certo ponto ingênuas, claras e não causavam nenhum mal em si. É neste momento que a engenharia entra como elemento “perturbador”. A necessidade de se construir máquinas para a execução de trabalhos, além de outros usos levou a engenharia a buscar causas para os eventos em geral. Esta busca só teve sucesso com investigações.

É curioso observar que um dos instrumentos mais usados na geotecnia, o piezômetro, tenha sido desenvolvido na área de saúde. Em 1733, Stephen Hales mediu a pressão sangüínea de um cavalo. A Figura 1 apresenta uma ilustração do experimento de Hales (Forssmann, 1956). O tubo visto na Figura 1 é, na verdade, um piezômetro. Desde este desenvolvimento até os dias de hoje a medicina tem feito uso de instrumentação e investigação para salvar vidas.

A engenharia geotécnica não difere das demais ciências e teve o seu desenvolvimento ligado a

muita investigação. No Brasil, a construção de barragens, estradas, metrô e fundações em geral, geraram uma sólida base de conhecimento que teve a colaboração fundamental de recursos utilizados para realizar investigações. Isto, associado ao fato de que nas empresas públicas o papel do engenheiro geotécnico era fundamental para o desenvolvimento dos projetos e para a definição das ações investigativas.



Figura 1 – O primeiro “piezômetro”.

A investigação na geotecnia, mais especificamente voltada para taludes, tem como objetivo avaliar as condições geológicas e dos solos que afetam a segurança, o custo, o projeto e a execução do mesmo ou remediações.

As preocupações com os aspectos ditos “ambientais” têm exigido investigações que em nada diferem do conceito de investigação para fins geotécnicos. Sendo assim, investigação geotécnica nada mais é do que fornecer subsídios para os aspectos ambientais dos projetos.

O Eurocode 7, que na sua parte 1 trata do projeto geotécnico, faz uma distinção entre categorias de obras geotécnicas para fins de investigação. As obras são divididas em três grupos sendo que apenas no primeiro grupo, que apresenta risco desprezível em termos gerais, não se exige investigação geotécnica. Em muitos pontos o código europeu chama a atenção para a experiência e destaca a sua importância em muitos casos. Sem, no entanto, querer descartar a possibilidade de investigações geotécnicas. Nas outras duas categorias o código sugere que se deva ter dados geotécnicos quantitativos, com ensaios laboratoriais e de campo.

No item 2.4.1 do Eurocode 7- parte 1 tem-se a seguinte observação “Deve-se considerar que o conhecimento das condições do sub-solo depende da extensão e da qualidade das investigações geotécnicas. Tal conhecimento e o controle da mão de obra são em geral mais significativos para preencher os requerimentos fundamentais do que a precisão nos cálculos e em fatores de segurança parciais.”

Os grandes riscos envolvidos com obras de engenharia estão associados a problemas com o subsolo. Os problemas estão associados às incertezas que são resultados da ação da natureza e do homem. Isto pode prejudicar substancialmente o projeto e o meio ambiente se o subsolo não é adequadamente conhecido (Becker, 2001).

O principal objetivo deste artigo é abordar aspectos sobre a necessidade de se estimular a investigação geotécnica, para evitar que soluções sejam dadas com base na falta de conhecimento sobre as características geotécnicas do local das obras.

2. Antes de investigar

Antes de tudo é necessário se definir o escopo e o propósito da investigação. O escopo é determinado pelo estágio do projeto, ou seja, viabilidade, básico ou executivo. O propósito da investigação está associado às características do projeto, ou seja, estabilidade de taludes naturais, remediação de rupturas, etc.

A geotecnia é uma ciência que necessita de observação. Antes e depois de programada a campanha de investigação é fundamental que a observação seja quase uma obsessão. É sempre bom lembrar os ensinamentos contidos no método observacional proposto por Peck (1969). Peck (1969) destaca que a investigação é fundamental, juntamente com o estabelecimento das condições mais prováveis e mais desfavoráveis (a condição mais desfavorável é o que tem levado a análise sob a ótica dos solos saturados. O clima tem papel fundamental neste aspecto). O geotécnico deve escolher aqueles parâmetros que deverão ser monitorados durante a construção e vida útil da obra (lembrando-se que a variação sazonal dos parâmetros é de fundamental importância para a estabilidade de taludes). A investigação deve servir de base para que se tenha sempre em mente uma alternativa que responda às observações feitas por meio da monitoração da obra. Lembrando que projetos de taludes quase nunca podem ser feitos com o sistema “design as you go”.

Diversos são os fatores que influenciam a escolha dos métodos de investigação, são eles:

1. Natureza dos materiais de subsuperfície.
2. Condição do lençol de água.
3. Tipo de obra a ser construída ou investigada.
4. Complexidade da área.
5. Topografia local.
6. Grau de perturbação de cada método investigativo.
7. Tempo.
8. Aspectos geo-ambientais.
9. Limitações de orçamento.
10. Aspectos políticos.

Em geral os dois últimos itens são responsabilizados pela redução das investigações.

O código Europeu apresenta uma estrutura que vincula a obtenção de parâmetros ao seu uso nos projetos. Na Figura 2 está apresentada a estrutura contida no prEN 1997-2 (2003).

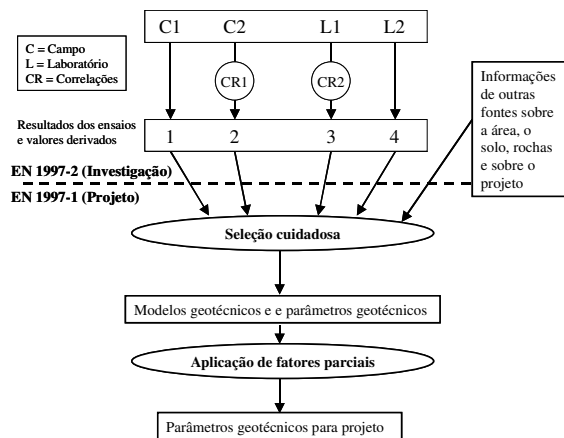


Figura 2 – Estrutura geral para seleção de parâmetros geotécnicos para projeto (modificado da prEN 1997-2 (2003))

3. Por que investigar?

A falta de investigação geotécnica ou a má interpretação de dados, resulta em: projetos inadequados, atrasos na obra, aumento de custos por modificações de última hora e remediação, problemas ambientais e até mesmo a ruptura da obra.

A investigação geotécnica além de minimizar os riscos e custos, é uma forma de demonstrar responsabilidade para com a sociedade e respeito à natureza. Deve-se saber que os resultados e análises das investigações geotécnicas são documentos de projeto.

4. A quem interessa a investigação geotécnica?

Definir a quem interessa a investigação geotécnica é fundamental para podermos responder as seguintes perguntas:

- O que é uma investigação geotécnica adequada?
- Como saber qual a melhor investigação a ser feita?
- Qual investigação nos fornecerá parâmetros para o projeto?

Projetar conhecendo-se os aspectos geológico-geotécnicos é a melhor forma de fazer engenharia. Devemos trabalhar para resolver os problemas previstos e evitar trabalhar para resolver os problemas ocorridos.

Investigar interessa a sociedade, ao poder público, e ao engenheiro geotécnico.

5. Parâmetros

A investigação geotécnica além de permitir a identificação de características geométricas e estruturais que podem condicionar determinadas soluções, ela pode fornecer parâmetros para projeto e análises.

Estes parâmetros podem ser classificados em três grupos, quais sejam: resistência, deformabilidade e fluxo.

Com a proliferação de programas computacionais a ferramenta da análise paramétrica tem se tornado muitas vezes um substituto de uma investigação adequada. Muitas vezes o próprio programa apresenta sugestões de parâmetros. Na grande maioria dos casos as particularidades dos solos das diversas regiões do Brasil não são consideradas.

6. Geomorfologia e Estratigrafia

A análise de estabilidade de taludes tem, cada vez mais, integrado os estudos geomorfológicos e estratigráficos, com ferramentas de sistemas de informações geográficas (GIS).

A incorporação a estes sistemas de modelos baseados em processos físicos tem contribuído para o aperfeiçoamento do GIS. Guimarães et. al (2003) destacam que um aspecto fundamental no uso de modelos que tomam como base os processos físicos (e.g. hidrológico e de estabilidade de taludes), é a parametrização das propriedades do solo obtidas em investigações

prévias. Os autores chamam atenção de que o potencial da combinação GIS-modelos está na possibilidade de incorporar a variabilidade espacial de parâmetros topográficos, tais como declividade, forma da encosta, entre outros. O fator escala é crucial nestes estudos. Dietrich *et al.* (1998) apresenta um estudo onde o GIS é usado associado à análise de estabilidade. No Brasil estes recursos vêm sendo cada vez mais utilizados, embora sempre restritos ao meio acadêmico. (e.g. Jesus *et al.*, 2005; Araújo, 2005).

Deve-se ter em mente que o uso de ferramentas como o GIS obriga a uma criteriosa análise dos parâmetros disponíveis e ao uso responsável dos mesmos na representação da geomorfologia da região estudada.

A estratigrafia é fundamental para definição dos estratos ou camadas que estão presentes na região a ser estudada. A obtenção da estratigrafia é talvez a ferramenta mais comum que o geotécnico dispõe para programar maiores investigações. As formas mais comuns no Brasil de se obter a estratigrafia é utilizando SPT ou CPT. No entanto, pode-se fazer uso de outras técnicas que em determinadas situações podem fornecer mais informações. O GPR (Ground Penetrating Radar) é uma destas técnicas e pode ser usada tanto como de superfície como por procedimento de “cross hole”.

7. Ensaios Geofísicos

A geofísica permite estudar as propriedades físicas dos solos e rochas usando para isto os princípios básicos da física. São vários os métodos usados para se obter informações importantes para a engenharia geotécnica, tais como: métodos elétricos, magnéticos, sísmicos, dentre outros.

Destaca-se aqui o método que utiliza o radar. O GPR determina as condições de subsuperfície por meio do envio de pulsos eletromagnéticos de alta frequência. O pulso é enviado por uma antena, a estratigrafia do local faz com que parte da onda emitida seja refletida de volta enquanto o restante da onda prossegue. A energia da onda refletida é então captada por uma antena receptora. Estes sinais são plotados num gráfico que relaciona distância versus tempo. Modificando-se a posição das antenas tem-se uma “imagem” da subsuperfície. A reflexão é causada pela existência de singularidades presentes nos materiais e que possuem diferentes propriedades elétricas.

Estas singularidades podem ser devidas aos seguintes aspectos:

- Teor de umidade.
- Teor de argila.
- Mudança de densidades.
- Fraturas.
- Além de elementos como tubulações.

A profundidade de penetração depende das condições de cada local. A absorção ou reflexão das ondas depende de determinadas propriedades do solo. A mais importante delas é a condutividade elétrica do material. A maior penetração ocorre em solos arenosos secos e as menores em solos argilosos com elevado teor de umidade.

A resolução do radar pode ser aumentada com o aumento da frequência das ondas transmitidas. Isto pode ser feito com o uso de antenas diferentes. No entanto, existe um comprometimento entre o aumento de resolução e profundidade de penetração. (e.g. Davis & Annan, 1989). Antenas de alta frequência (900 e 500MHz) permitem penetrações da ordem de 1.5 a 4.5m com uma resolução da ordem de 5cm. Antenas de baixa frequência atingem de 9 a 24m, com resolução da ordem de 0.9m.

Além de possibilitar a determinação da estratigrafia o GPR pode ser usado como um meio de se obter o teor de umidade volumétrico do solo (e.g. Machado *et al.*, 2004). Esta informação pode ser importante na avaliação do risco de escorregamentos de taludes. Conforme salientado por Huisman *et al.* (2003), existe uma demanda por um sistema de medição de teor de umidade que permita cobrir maiores áreas. As técnicas que utilizam eletromagnetismo de alta frequência são as mais promissoras para o monitoramento do teor de umidade. Os métodos dentro desta categoria também medem a constante dielétrica do solo, como o TDR.

Da mesma forma que no caso do TDR o GPR necessita de uma relação entre o teor de umidade volumétrico e a constante dielétrica do material. Esta relação é a curva de calibração. A mais conhecida curva de calibração é a apresentada por Topp *et al.* (1980). No entanto, para solos residuais Vieira *et al.* (2005) obtiveram uma relação entre θ e K_a que é dependente da densidade do material e difere da equação sugerida por Topp *et al.* (1980). Huisman *et al.* (2003) salientam que as correlações entre θ e K_a obtidas com o uso do TDR podem não ser adequadas para o GPR.

8. Variação Sazonal de Parâmetros

A estabilidade de taludes, em geral, está fortemente relacionada com as condições

ambientais às quais os mesmos estarão sujeitos. Os parâmetros de resistência devem levar em conta a condição não saturada do solo e os aspectos relacionados com o fluxo de água em meio não saturado. Os parâmetros estão sujeitos a variações sazonais e estas variações são particularmente importantes nos seguintes parâmetros: sucção, teor de umidade e condutividade hidráulica.

8.1. Sucção

A sucção é, em muitos casos, a responsável pela estabilidade dos taludes. Além de contribuir para a resistência ao cisalhamento, a sucção pode fornecer uma indicação da característica de fluxo a que o solo estará sujeito.

As trajetórias sazonais de sucção permitem a avaliação do grau de risco que determinado talude tem, ao se aproximar a estação de chuvas.

Investigar a sazonalidade da sucção possui papel equivalente ao acompanhamento do tempo de recorrência de chuvas. Infelizmente o monitoramento de sucção em taludes tem sido pouco adotado. Vieira e Marinho (2001) apresentam perfis de sucção, monitorados por um ano, em um talude de solo residual de gnaiss.

Existem alguns métodos para se monitorar a sucção em taludes. O mais conhecido deles é com o uso de tensiômetros. Os tensiômetros, em geral, permitem a medição de sucção até um valor de aproximadamente 85kPa. Este equipamento exige manutenção sistemática. Os tensiômetros além de fornecerem medições precisas e acuradas, possuem um tempo de resposta rápido e podem ter suas leituras automatizadas.

Para se minimizar o problema de manutenção, que dificulta o seu uso em campo, pode-se utilizar outros equipamentos, tais como o GMS (Granular Matrix Sensor). O GMS não exige manutenção após a sua instalação e pode ter as leituras automatizadas. O principal problema do GMS é o tempo de resposta que é significativamente maior que o do tensiômetro. Estudos preliminares realizados na Escola Politécnica da USP indicaram que o retardo pode ser da ordem de duas a três horas. Salienta-se, no entanto, que para o acompanhamento sazonal este sistema é perfeitamente adequado e pode ser uma ferramenta bastante útil no acompanhamento de risco em taludes.

8.2. Teor de umidade

O teor de umidade pode ser usado para se avaliar o comportamento sazonal ao qual o talude pode

estar sujeito. Conhecendo-se as características de retenção de água do solo pode-se fazer uso da variação sazonal do teor de umidade para avaliar riscos em determinadas situações.

Um dos métodos mais difundidos para medição do teor de umidade é o TDR (Time Domain Reflectometer). O método é descrito em detalhes por Vieira *et al.* (2005). Após a instalação dos sensores não há necessidade de manutenção, embora o sistema exija equipamentos sofisticados. Outros métodos mais baratos podem ser utilizados, tais como os métodos capacitivos. A precisão destes métodos é da ordem de 3% (teor de umidade volumétrico).

8.3. Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica não é um parâmetro único, mas sim uma função que depende do grau de saturação. A determinação da função de permeabilidade ainda é complexa e exige um tempo significativo para sua obtenção (e.g. Benson & Gribb, 1997). A função de permeabilidade é fundamental para o estudo da estabilidade de taludes. A forma mais comum de obtenção da função de permeabilidade tem sido por meio de modelos que fazem uso da curva de retenção de água (e.g. van Genuchten, 1980).

A condutividade hidráulica não só varia por questões de capacidade de retenção de água do solo, mas também por aspectos climáticos. A associação do conhecimento da função de permeabilidade com a variabilidade sazonal do perfil de sucção são importantes para a compreensão dos riscos envolvidos com a estabilidade de taludes.

Um dos parâmetros para a determinação da função de permeabilidade é a condutividade hidráulica na condição do solo saturado. Este parâmetro pode ser obtido em laboratório, mas pode ser obtido em ensaios de campo de simples execução. Uma das formas é utilizando-se infiltrômetros. O mais conhecido é o permeâmetro de Guelph. Estes sistemas fazem uso do “frasco de Mariotte” para impor carga constante. O ensaio pode ser feito em diversas profundidades dentro de furos feitos com trado apropriado.

9. Ensaios de Laboratório

9.1. Amostragem

Não há dúvida que o sucesso dos resultados de ensaios de laboratório começa no campo e depende fundamentalmente da amostragem. A amostragem, não somente no aspecto de cuidados físicos com a amostra, mas também com relação à

representatividade das amostras obtidas. Logo, existe um vínculo entre esta fase da investigação e a fase anterior que deve identificar as características a serem avaliadas

Amostras indeformadas devem ser obtidas prioritariamente por meio de blocos indeformados. Quando do uso de amostradores deve-se ter em mente as limitações e as especificações de cada um deles.

9.2. Variabilidade dos resultados

A variabilidade das características dos solos é por si só um fator que deveria estimular a investigação. Por não conhecermos completamente a natureza das coisas é que devemos investigar e observar.

É necessário ter em mente que a variabilidade dos parâmetros de resistência e condutividade hidráulica dependem de características bem estudadas pela mecânica dos solos. Estas características sugerem que a variabilidade de resistência é menor do que a de condutividade hidráulica.

9.3. Ensaios

Com a sistemática falta de atividades investigativas, muitos laboratórios comerciais deixaram de existir. Aqueles que permanecem em atividade o fazem quase por diletantismo. No entanto, os laboratórios das instituições de pesquisa são hoje muito bem equipados e possuem técnicos de alto nível.

Os ensaios de laboratório não podem ser vistos apenas como uma maneira de se obter os tradicionais parâmetros para projeto e análise. Os experimentos de laboratório são antes de tudo ferramentas investigativas para os problemas específicos de cada obra.

A sistematização da obtenção do chamado ângulo de atrito e coesão usados nos programas de análise de estabilidade tem uma parcela de culpa na falta de cuidado com que muitas vezes se programa e realiza ensaios.

Ainda é comum se realizar ensaios UU, quando é sabido que é um ensaio pouco representativo. É incomum se solicitar superfícies de resistência para que se possa avaliar o comportamento do solo em função de variações sazonais de sucção.

É cada vez mais comum o uso da curva de retenção para se avaliar o comportamento dos solos. Neste sentido, a indústria tem lentamente absorvido este ensaio que dentre outras coisas

permite obter a maioria dos parâmetros usados em programas de análise de estabilidade e de risco.

10. Inclinômetros

Não se pretende aqui detalhar o uso de inclinômetros, mas sim apresentar um exemplo de variações tecnológicas que podem, e em muitos casos, devem ser introduzidas nas obras de monitoramento de taludes.

Em geral o acompanhamento de movimentações de taludes é feito por meio de marcos superficiais ou de inclinômetros tipo torpedo. Os marcos superficiais são ferramentas importantes e freqüentemente utilizadas. Com o aprimoramento do sensoriamento remoto este procedimento fica cada vez mais ágil e preciso.

Os inclinômetros tradicionais possuem algumas desvantagens que podem ser supridas por outro tipo de inclinômetro. As desvantagens principais são:

- A aquisição de dados é trabalhosa e exige a presença de um operador.
- O torpedo deve ser introduzido em cada furo, posicionado em cada profundidade e direção.
- O custo dos tubos é elevado.
- O processamento dos dados demanda muito tempo e em geral é feito no escritório.

Um outro tipo de inclinômetro que faz uso da técnica TDR possui algumas vantagens em relação ao inclinômetro tradicional. O sistema utiliza um cabo coaxial único e permite a determinação da reflexão ao longo do cabo identificando assim o tipo e local de deformidade que o cabo tenha sofrido. O sistema é ideal para determinação de zonas de rupturas. A zona de deformação é detectada pelo cabo do TDR que emite um pulso de voltagem. Este pulso sofre uma deflexão onde a deformação do cabo ocorre. A posição da zona de ruptura é feita computando-se o tempo para a reflexão do pulso (e.g. O'Connor and Dowding, 1999).

As vantagens do inclinômetro TDR são:

- Baixo custo de instalação.
- Não há limites para o comprimento do cabo.
- Todo o equipamento de monitoração foca fora do furo.
- As medições são rápidas, tomando apenas alguns minutos.
- As leituras podem ser feitas longe do talude.

- Pode-se ter vários cabos e um único local de monitoramento.

11. Retroanálises

Olhar para o que aconteceu é a melhor forma de se investigar as causas dos eventos. Retroanálises têm sido uma ferramenta importante na análise de estabilidade. Bjerrum (1972, 1973) retroanalisou rupturas bem documentadas para obter fatores de correção usados nos resultados de ensaios de palheta. Retroanálises de rupturas de taludes podem fornecer informações importantes. Muitas vezes tais análises geram inúmeras dúvidas quanto à fixação dos parâmetros a serem adotados. Um procedimento bastante interessante é apresentado por Gomes e Barros (2005).

Outra técnica que vem sendo usada é a chamada análise inversa (e.g., Trujillo & Busby, 1997; Durner *et al.*). Esta técnica pode ser aplicada não só a problemas de estabilidade (e.g. Kojima e. Obayashi, 2003), mas de fluxo (e.g. Durner *et al.*, 1997, Velloso, 2000) e também aos métodos geofísicos (e.g. Zhdanov, 2002). Além de ser de grande utilidade nas análises de ensaios de laboratório.

12. Considerações Finais

Tendo em vista a necessidade e a obrigação que temos de definir causas, evitar as conseqüências de rupturas e documentar os projetos, fazem-se necessárias investigações geotécnicas.

É óbvio que o grau de investigação está associado com o tipo de obra e os riscos envolvidos.

Ao observarmos o desenvolvimento tecnológico tanto em outras áreas como na geotecnia percebe-se que existe uma busca permanente pela simplicidade dos procedimentos e acurácia dos resultados. Salienta-se, mais uma vez, que o grau de sofisticação e acurácia dependem também do tipo de obra e riscos envolvidos.

13. Agradecimentos

O autor agradece as sugestões e informações fornecidas pelo Prof. Nelson F. Fernandes, Prof. Eurípides Vargas Jr e pelo Prof. Antônio J. P. Viana da Fonseca.

14. Referências

Araújo, W. T. (2005). Uso da modelagem numérica de terreno para a construção de um mapa de riscos em encostas em

Salvador/BA. IV COBRAE – Salvador. vol. 1. pp 27-32.

Benson, C. H. e Gribb, M. M. (1997). Measuring Unsaturated Hydraulic Conductivity in Laboratory and Field. Unsaturated Soil Engineering Practice. Geotechnical Special Publication nº 68. ASCE. pp: 113-168.

Bjerrum, L. (1972) "Embankments on Soft Ground," Proc. Specialty Conf. of Earth and Earth Supported Structures, ASCE, Vol. II, 1-54.

Bjerrum, L. (1973). Problems of soil mechanics and construction on soft clays and structurally unstable soils (collapsible, expansive, and others), State-of-the-Art Report, Proc. 8th Intl. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Moscow, v.3, 111-160.

Dietrich, W. E.; Asua, R. R.; Coyle, J; Orr, B & Trso, M (1998). A validation study of the shallow slope stability model, SHALSTAB, in forested lands of Northern California. Stillwater Ecosystem, Watershed & Riverine Sciences. 59p.

Dowding, C. H. e O'Connor, K. M. (2000). Comparison of TDR and Inclimeters for Slope Monitoring. GeoDenver 2000. GeoInstitute of ASCE. Denver, Colorado. pp.

Durner W, Schultze B and Zurmühl T (1997) State-of-the-art in inverse modeling of inflow/outflow experiments. Proc. Int. Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. ed M Th van Genuchten, F J Leij and L Wu (Riverside, CA: University of California Press) pp 661-681.

Forssmann, W. (Nobel Lectures, Physiology or Medicine 1942-1962, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964

Gomes, C. L. R. & Barros, P. L. A. (2005). Metodologia para obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do solo através de retroanálise de escorregamentos ocorridos. IV COBRAE – Salvador. Vol. 1. pp.213-226.

Guimarães, R. F., Montgomery, D. R., Greenberg, H. M., Fernandes, N. F., Gomes, R. A. T. Carvalho Júnior, O. A. (2003). Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on

shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. Engineering Geology 69 (2003) 99–108.

ISBN: 0-444-510893, 628 pages, ELSEVIER.

Jesus, A. C.; Miranda, S. B.; Dias, L.S.; Brito Júnior, J. A.; Burgos, P. C. & Campos, L. E. P. (2005). Contribuição para o zoneamento das áreas com características geotécnicas semelhantes da cidade de Salvador visando aplicação em mapeamento de risco.. IV COBRAE – Salvador. vol. 1. pp 17-25.

Kojima, H. and Obayashi, S (2003). Sensitivity analysis of slope failure trigger-factors based on structural equation modeling. International Association for Mathematical Geology. IAMG Portsmouth, UK

Machado, S. L.; Botelho, M. A. B.; Amparo, N. S.e Dourado, T. C. (2004). Utilização do radar de penetração do solo, GPR, para medidas de teores de água no solo. 5º Simpósio Brasileiro de Solos Não Saturados. Vol. 1. pp.61-68.

Pearl, J. (2000). Causality: Models, Reasoning, and Inference. New York: Cambridge University Press, 2000. 384 pp.
prEN 1997-1 (2004) Eurocode 7 Geotechnical design - Part 1: General rules. Final draft.
prEN 1997-2 (2003) Geotechnical design - Part 1: General rule

Trujillo, D. M. and Busby, H. R. (1997) Practical Inverse Analysis in Engineering. July 1997, 256 pp., ISBN: 0-8493-9659.

van Genuchten, M. Th. (1980). A Closed Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science of America Journal, 44, pp: 892-898.

Velloso, R. Q. (2000). Estudo numérico de estimativa de parâmetros hidráulicos em solos parcialmente saturados. Dissertação de mestrado. 80p. PUC/RJ.

Vieira, A. M. e Marinho, F. A. M. (2001). Variação Sazonal de Sucção em um Talude de Solo Residual em São Paulo. In III Congresso Brasileiro de Estabilidade de Encostas, III Congresso Brasileiro de Estabilidade de Encostas, Rio de Janeiro, 1:287-295.

Zhdanov, M. S. (2002). Geophysical Inverse Theory and Regularization Problems.