

Monitoramento da Umidade e Sucção de um Solo Residual de Granito-gnaiss no Instante da Ruptura de um Talude

Thiago de Souza Carnavale

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, thicarnavale@gmail.com

Tácio Mauro Pereira de Campos

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, tacio@puc-rio.br

Antônio Roberto Martins Barbosa de Oliveira

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, antonio@puc-rio.br

RESUMO: Este artigo apresenta os resultados do monitoramento de umidade e sucção de um talude situado a 15 metros de distância de um processo de ruptura, ocorrido em uma encosta constituída por solo residual, originado predominantemente por granito-gnaiss, localizado no Rio de Janeiro. A metodologia de pesquisa foi pautada no confronto de dados de sucção e umidade volumétrica aferidos em campo, com os valores obtidos em laboratório. Mais precisamente, utilizou-se o FDR EC-5 para aferição de umidade volumétrica e MPS-2 para aferição de valores de sucção matricial e verificou-se a possível correlação com a curva característica de retenção de umidade obtidos através do método do papel filtro, em laboratório. O monitoramento de campo ocorreu de forma constante, ao longo de 15 dias. Nesse intervalo foram extraídos anéis volumétricos de solo e aferiu-se valores de umidade volumétrica, que serviram para ajuste dos valores da curva de campo. Os resultados mostram marcantes variações de umidade e de sucção, enfatizando a amplitude de ciclos de umedecimento e secagem do solo, ressaltando-se que, no instante ao qual o movimento de massa ocorreu, os instrumentos indicaram valores baixos de sucção matricial e altos de umidade volumétrica. A observação de campo indica a saturação do solo no instante da ruptura através da comparação com os dados obtidos na curva característica de retenção de umidade em laboratório e ressalta que a sucção matricial permaneceu baixa e constante após o fenômeno.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento, instrumentação, sucção e umidade.

1 INTRODUÇÃO

O entendimento dos ciclos de umedecimento e secagem do solo é um objeto de suma importância, ao qual através de variações do teor de umidade e sucção podem deflagrar movimentos de massas.

Em termos gerais, a sucção dos solos relaciona-se à capacidade de um determinado solo reter água. Sendo assim, quando uma parcela de água livre se desloca no interior do solo, ela pode ser adsorvida ou retida por ele e, *“para desprender esta água adsorvida, energia externa tem de ser aplicada. O valor da energia*

aplicada por unidade de volume de água para desprendê-la, é a sucção” (Lee & Wray, 1995).

Deste modo, o monitoramento do teor de umidade e sucção dos solos se faz um objeto de estudos pertinentes no que tange o comportamento físico-mecânico dos solos, uma vez que o aumento do teor de umidade e a redução da sucção promovem a redução da resistência dos mesmos.

O presente artigo aborda tal fenômeno como um agente deflagrador de um movimento de massa ocorrido na cidade do Rio de Janeiro, em 30 de abril de 2015, e utiliza os equipamentos EC-5, MPS-2, ECRN-100 e Em-50, da Decagon

Devices Inc para avaliações das condições de campo.

Assim sendo, objetiva-se: Avaliar o custo benefício do uso dos equipamentos para o monitoramento de campo da umidade volumétrica e da sucção do solo em questão; Quantificar as variações em termos de umidade volumétrica e sucção matricial ao passo das precipitações ocorridas; Confeccionar a curva característica de retenção de umidade de campo com os equipamentos; Comparar as curvas de campo e laboratório obtidas; Avaliar o comportamento de umidade e sucção do solo.

2 MATERIAL

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área em que o movimento de massa ocorreu está inserida faz parte do conjunto denominado como Maciço da Tijuca, marcado por materiais plutônicos e metamórficos, que apresentam lineamentos e juntas de alívio atrelados aos eventos tectônicos correlatos.

O maciço apresenta-se em meio às baixadas fluviomarinhas e o litoral e divide as zonas sul, norte e oeste do município do Rio de Janeiro, atuando como zona dispersora de águas entre as baixadas da Guanabara e de Jacarepaguá (Guerra, 1997).

A área caracteriza-se por alinhamentos de cristas de direção WSW-ENE, tais como a Serra da Carioca, e pequenos alinhamentos serranos associados, como a Serra da Misericórdia ao norte, ou o Alinhamento Morro dos Cabritos - Pão de Açúcar ao sul.

Do ponto de vista geológico, o sítio é composto predominantemente por Biotita Gnaiss (Migmatito), Gnaiss Facoidal e Granito.

No que toca a classificação climática da área, o recorte está inserido em uma zona Megatérmica, sob a variedade de clima úmido (De Mello, 1998). Segundo Brito (1981), no mês mais frio, a temperatura mínima é de 18°C. No mês mais seco a precipitação mínima é de 60 mm e nos meses mais úmidos, facilmente são observados eventos de precipitação maiores que 100 mm em intervalos de 24 até 48 horas. De acordo com a classificação de Köppen, o

sítio é classificado como Aw.

2.2 Caracterização Física do Solo

Para este estudo foi utilizado um solo residual jovem com $e = 0,715$; $S = 50\%$; $p = 1,78$; $G = 2,66$. A granulometria (Figura 1) é composta por: pedregulho – 1,4 %, areia – 60,5 %, silte – 31,9 % e argila = 6,2 %. De acordo com o sistema de classificação universal de solos, o mesmo foi classificado como SF - Areia Siltosa.

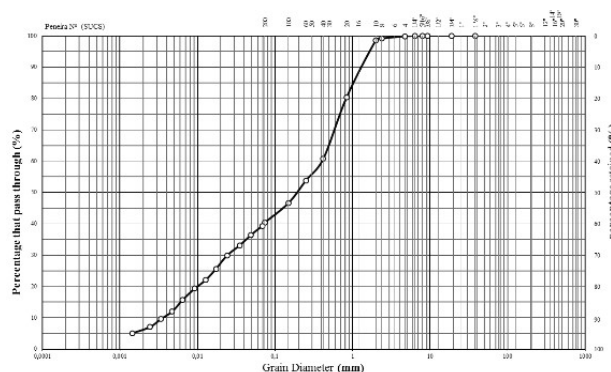


Figura 1. Curva granulométrica.

Além da análise das frações granulométricas, foi efetuada a análise do material através de lupa binocular/microscopia (Figura 2 e Figura 3). Esta análise indicou textura granular composta por quartzo/sílica, feldspato muito alterado e óxidos de ferro e alumínio, sugerindo cuidados com a instalação dos equipamentos (sobretudo no que tange o contato solo-haste e a dureza do solo no instante da cravação).



Figura 2. Disposição de quartzo angular.



Figura 3. Presença de feldspato.

Ainda para que a etapa de caracterização do material, desenvolveu-se em laboratório, a curva característica de retenção de umidade dos solos (Figura 4) para a determinação do comportamento do solo mediante ao processo de umedecimento e secagem, implícito às variações climáticas.

O procedimento foi desenvolvido através do método do papel filtro (Marinho, 2006), com ramos de umedecimento e secagem partindo de um ponto central marcado pelas características de umidade e sucção naturais de campo (De Campos, 1992).

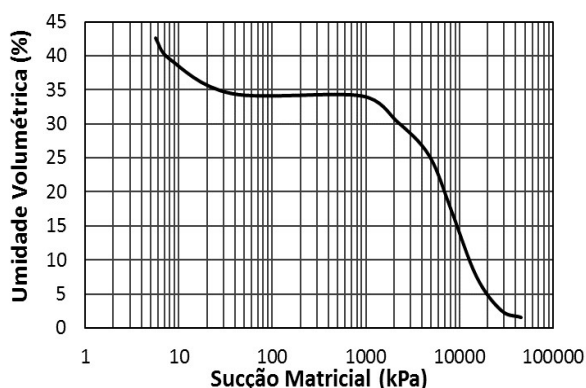


Figura 4. Curva característica de retenção de umidade (método do papel-filtro).

3 MÉTODOS

Com o intuito de se analisar as variações de umidade e sucção no solo (que por ventura situa-se distante em 15 metros do movimento de massa ocorrido), o monitoramento das condições de campo foi efetivamente disposto através da confecção de dados primários dos sensores EC-5, MPS-2 e ECRN-100, (Figura 5,

b), c) e d), respectivamente), e da aquisição de dados realizada pelo logger Em-50 (Figura 5a)), da Decagon Devices Inc. (adquiridos com recursos FAPERJ).



Figura 5. Logger EM-50 - a), EC-5 - b), MPS-2 - c) e ECRN-100 - d).

3.1 Metodologia do Monitoramento

Os sensores foram programados para efetuar aferição de dados em intervalos de 10 minutos através do logger Em-50.

A instalação dos equipamentos é uma etapa fundamental no que toca à qualidade dos dados obtidos, sendo necessário seguir as especificações mencionadas nos seus respectivos manuais.

Para o MPS-2, que afere sucção mátrica, foi efetuada a instalação do equipamento com o auxílio de uma lama, onde impregnou-se a pedra porosa e alocou-se o sensor no furo confeccionado com um trado.

No caso do ECRN-100, o pluviógrafo foi disposto em uma haste vertical com 1 m de altura, devidamente fixada ao solo. Para tal equipamento destaca-se a necessidade de se manter o instrumento nivelado. Como o seu sistema elétrico é composto por uma balança, caso o nivelamento seja devidamente efetuado,

a energia necessária para colocar os distintos lados da balança em movimento serão diferentes, perdendo a calibração.

Para o sensor EC-5, baseado no princípio da reflectometria no domínio da frequência e que afere valores de umidade, o manual do equipamento discorre para a necessidade do cuidado na instalação no que toca a introdução da haste no solo. Tal demanda é solicitada pois, caso o sensor apresente folgas no contato haste-solo, valores subestimados ou superestimados serão aferidos.

Antes da produção de resultados finais, foi efetuada uma comparação das aferições de campo efetuada pelos sensores de reflectometria no domínio da frequência com os valores aferidos com a confecção de anéis volumétricos do solo local.

Para cada dia de análise foram coletados 5 anéis, de onde um valor médio de umidade volumétrica foi extraído e confrontado com o valor de umidade volumétrica aferido pelo sensor no mesmo momento da coleta dos anéis (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação da umidade volumétrica obtida com o EC-5 e com anéis volumétricos.

Solo Coluvionar - PUC-Rio - Campo 08/01/2015	
Umidade Volumétrica (%)	33,1
Anéis Volumétricos	
FDR - VWC (%) – EC-5	30,4
Solo Coluvionar - PUC-Rio - Campo 16/01/2015	
Umidade Volumétrica (%)	30,3
Anéis Volumétricos	
FDR - VWC (%) – EC-5	27,2
Solo Coluvionar - PUC-Rio - Campo 08/04/2015	
Umidade Volumétrica (%)	32,3
Anéis Volumétricos	
FDR - VWC (%) – EC-5	29,5

Tal comparação nos permitiu concluir que os valores aferidos pelos sensores EC-5 subestimavam a umidade volumétrica de campo em aproximadamente 2,7 % em relação ao valor obtido via relação de massa-volume no anel volumétrico.

4 RESULTADOS

Ao longo do período disposto no presente artigo, ressalta-se a ocorrência de 211,8 mm de chuvas acumuladas, sendo destes, 127,6 mm dispostos de 00:00 até 11:30 do dia 30 de abril de 2015 (Figura 6).

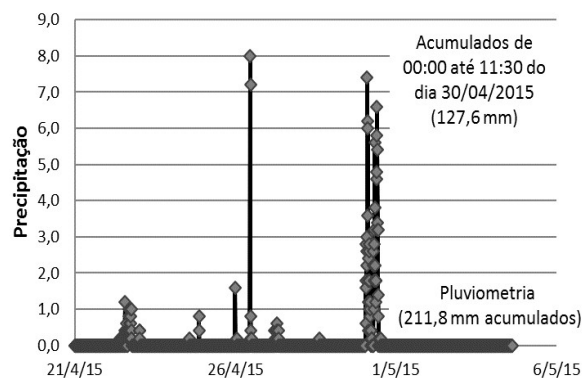


Figura 6. Pluviometria ao longo do recorte temporal analisado.

Analizando a resposta dos equipamentos EC-5 em termos de umidade volumétrica (Figura 7) ressalta-se que picos de 16,7 % de aumento ocorreram em intervalos de tempo muito curtos (menos de 1 hora).

Ainda sob o mesmo enfoque, o sensor alocado mais próximo da superfície apresentou um valor de pico maior do que o disposto na profundidade de 50 cm, sugerindo que o mesmo tenha se aproximado de forma mais intensa da saturação do solo.

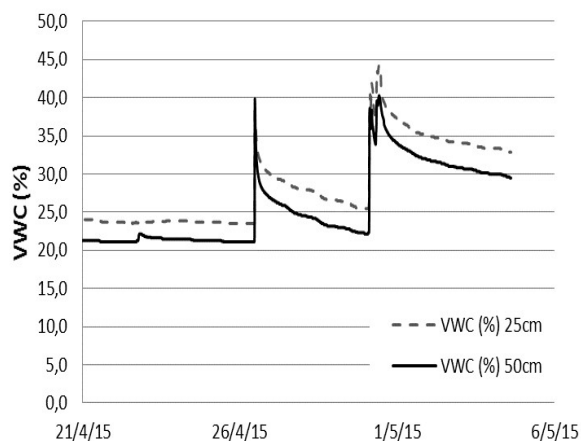


Figura 7. Umidade volumétrica (*volumetric water content* - VWC) nas profundidades de instalação e ao longo do período analisado.

Analisando a resposta em termos de sucção mátrica dos equipamentos MPS-2 (Figura 8), observou-se uma saturação abrupta, assim como o sensor EC-5. No entanto, nota-se que a dessaturação se mostra em um intervalo de tempo maior. Além disso, verificou-se maiores variações de sucção mátrica no sensor instalado mais próximo da superfície.

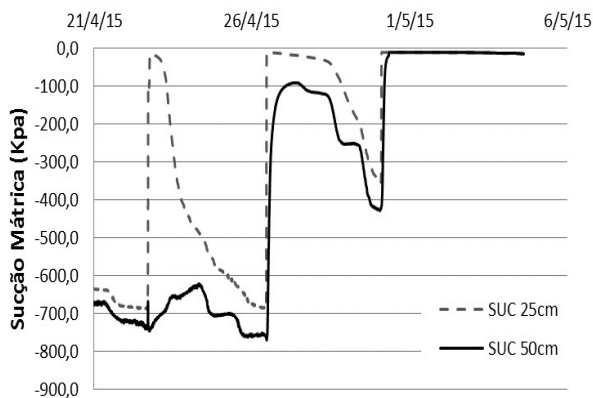


Figura 8. Sucção mátrica nas profundidades de instalação ao longo do tempo.

Outro aspecto relevante observado refere-se ao fato de que, após o instante da ruptura, o sensor permanece dispondo de forma constante valores baixos de sucção mátrica.

Através da análise dos valores dispostos ao longo desta campanha de investigação, foi gerada uma massa de dados que permitiu se confeccionar a curva característica de retenção de umidade de campo e comparar a mesma com os resultados obtidos em laboratório. O resultado desta comparação destaca que a curva de campo apresenta uma boa correlação com a curva característica efetuada através do método do papel filtro (desenvolvida em laboratório), para baixos níveis de sucção mátrica e altos teores de umidade volumétrica (Figura 9).

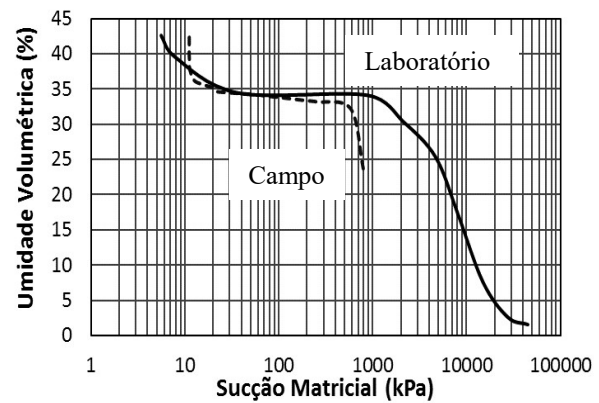


Figura 9. Comparação das curvas características de retenção de umidade de campo e de laboratório

5 CONCLUSÕES

Os equipamentos utilizados são adequados para a finalidade do monitoramento de campo, uma vez que possuem boa trabalhabilidade e fácil interação com o usuário por consequência da existência do software dedicado ECH2O Utility. Além disso, o baixo consumo de energia é fundamental para quem deseja efetuar o monitoramento em áreas de difícil acesso ou projetos com pouca verba com despesas de campo.

Como ponto negativo, ressalta-se que o EC-5 é frágil e nem sempre a cravação direta nos solos é possível. Para este caso, o manual (Decagon, 2016) recomenda o uso de um gabarito para realizar um pré-furo e então permitir a instalação do sensor. Cabe aqui destacar que a resposta fornecida pelo sensor é diretamente proporcional ao contato entre a sonda e o solo, sendo assim, eventuais folgas acarretarão em resultados discrepantes da realidade.

O emprego dos sensores em conjunto é uma ferramenta de interesse para o geotécnico por consequência da identificação precisa do instante da saturação dos solos, servido como ferramenta para a tomada de decisões às respostas para situações de risco.

No que toca a rápida variação de pressão neutra no solo, sugere-se que tal variação é governada por macroporos e por consequência do extenso patamar intermediário da curva de retenção de umidade.

Ainda além, a boa correlação entre os resultados de campo e laboratório, no ramo

saturado da curva característica de retenção de umidade de laboratório, ressalta a boa qualidade do uso dos equipamentos em solos com teores de umidade situados próximos da saturação.

AGRADECIMENTOS

À FAPERJ e ao CNPQ pelo apoio concedido ao longo do programa de doutorado. À PUC-Rio, pelo constante apoio e por nos capacitar da melhor maneira possível.

REFERÊNCIAS

- Brito, A.T. (1981). "*Estudo Químico e Mineralógico de um Perfil de Alteração de Gnaisse Magmático do Campo Experimental da PUC-Rio*". Departamento de Engenharia Civil. Dissertação de Mestrado, 283p.
- De Campos, T. M. P. et al. (1992). "*Determinação da curva caracterísitca de sucção em laboratório*". In 10 COBRAE. R.J., Anais. pp. 835-851.
- De Mello, B.D. (1998). "*Estudo Experimental da Permeabilidade Saturada-Não Saturada de um Solo de Uma Encosta do Rio de Janeiro*". Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil - PUC-Rio, Rio de Janeiro, 84 p.
- Decagon Devices, Inc. (2016). "*EC-5 Operators Manual*". Version: March 11, 2016 — 12:01:03. http://manuals.decagon.com/Manuals/13876_EC-5_Web.pdf. Acessado em : 28/04/2016.
- Guerra, A.T. & Guerra, A.J.T. (1997). "*Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*". Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 652p.
- Lee, H.C. & Wray, W.K. (1995). "*Techniques to evaluate soil suction – A vital unsaturated soil water variable*". In: Precedings of the First International Conference of Unsaturated Soils, v. 2. Paris, France, Balkema. pp. 615-622.
- Marinho, F. and Oliveira, O. (2006) "*The Filter Paper Method Revisited*". Geotechnical Testing Journal, Vol. 29, No. 3, pp. 1-9, <http://dx.doi.org/10.1520/GTJ14125>. ISSN 0149-6115