

Comportamento de um Colúvio em Zona de Falhamento

Maurício Ehrlich

COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, me@coc.ufrj.br

Rafael Cerqueira Silva

COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, rafael@enggeotech.com.br

Douglas Pereira da Costa

COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, douglas.costa@engenharia.ufjf.br

RESUMO: O coeficiente de segurança observado nas encostas naturais geralmente não se apresenta muito elevado, comumente situa-se próximo às condições limite de estabilidade. Tal se verifica pois a conformação foi sendo estabelecida na busca do equilíbrio para o conjunto de esforços aos quais estiveram submetidas até aquele momento, ao longo de sua evolução geomorfológica. No particular, as massas coluviais apresentam-se muito próximas ao fator de segurança unitário, e, com frequência, verificam-se nestas reativações das movimentações por causas naturais, ou por ações antrópicas. Dentre as causas mais frequentes, tem-se a execução de escavações e a elevação do lençol freático, N.A. O presente artigo apresenta um caso de ambiente geológico cujos agentes predisponentes favorecem de forma significativa as movimentações da encosta. Trata-se de uma massa coluvial situada em zona de falha geológica, com a contraencosta funcionando como uma bacia de acumulação de precipitações, cuja água se infiltra preferencialmente nas fraturas das rochas, que mergulham na direção da base do colúvio. Soma-se, ainda, a presença de dois aquíferos com artesianismo, separados por camada de menor permeabilidade. Além dos aspectos geológicos e hidrológicos desfavoráveis à estabilidade da encosta, em meados de 1976, houve a escavação da mesma para implantar uma rodovia. Desde então, observam-se movimentações significativas no local, do tipo rastejo, com sazonalidade controlada pela variação do N.A.

PALAVRAS-CHAVE: Colúvio, Falha Geológica, Artesianismo, Monitoração.

1 INTRODUÇÃO

Massas coluviais de grandes dimensões em equilíbrio precário são ocorrências muito comuns ao longo da Serra do Mar, situada na região Leste-Sul do Brasil, que vai do norte do Espírito Santo ao Rio Grande do Sul (Lacerda e Sandroni, 1985). Nessa faixa, que segue praticamente paralela à costa, também ocorrem os maiores índices pluviométricos do Brasil. Um número considerável de movimentos de massa ocorre durante a estação chuvosa de janeiro à março, sendo associado a chuvas intensas, precedidas ou não de chuva antecedente (Lacerda, 1997). A movimentação, por vezes, pode se verificar dias após o evento chuvoso.

Massas coluviais apresentam estabilidade precária (coeficiente *in natura* muito próximo à unidade) bastando, por exemplo, uma escavação relativamente pequena na base para que as mesmas se ponham em movimento (Lacerda e Sandroni, 1985). Em meados de 1976, a escavação realizada para a implantação da rodovia, foi suficiente para exarcebar uma movimentação do tipo rastejo, com sazonalidade controlada pela variação do lençol freático.

O comportamento da encosta vem sendo monitorado com maior detalhe a partir do final de 2011, sendo composta por pinos de controle topográfico, inclinômetros, medidores de nível d'água e piezômetros elétricos e de Casagrande. Os perfis geotécnicos foram definidos com base

nos resultados de sondagens à percussão, mistas e rotativas. Os parâmetros dos solos foram determinados por ensaios em amostras indeformadas de solo e verificados por retroanálises.

As análises efetuadas indicam a influência do lençol freático na movimentação da encosta. O movimento contínuo de massa vem sendo controlado por meio de drenagem constituída por drenos sub-horizontais (DHPs) instalados em diferentes níveis. A monitoração vem possibilitando atestar a forte influência da subida do N.A. nas movimentações observadas e a contribuição da drenagem na redução destas. As movimentações da encosta mantêm-se melhor controladas após a instalação dos drenos, no entanto, ainda não cessaram por completo.

2 PECULIARIDADES DAS MASSAS COLUVIAIS

Lacerda e Sandroni (1985) relatam que a maioria das massas coluviais compõe-se de uma mescla de solo escorregado e de blocos/lascas emanados tanto dos próprios escorregamentos como de quedas. Como consequência, não é raro encontrar cavidades, por vezes com muitos metros, resultantes da remoção (por *piping*, provavelmente) dos grãos mais finos adjacentes a estas peças maiores.

O nível d'água nas massas coluviais está frequentemente muito próximo à superfície do terreno. Na prática se constata que, embora o modelo de fluxo paralelo à superfície seja grosseiramente aplicável, as condições de fluxo nas massas coluviais são bastante mais complexas. Ocorrem situações artesianas tanto no pé como no topo da massa. A experiência tem demonstrado que a circulação da água em massas coluviais não se processa de forma nem aproximadamente homogênea. Por exemplo, é comum que drenos sub-horizontais de idêntica geometria e contíguos forneçam vazões fortemente contrastantes.

O deslocamento das massas coluviais se inicia por escoamento para, em seguida, passar a uma situação de escorregamento translacional com zona de escoamento e, finalmente, caracterizar-se francamente como

escorregamento translacional com plano de escorregamento, nos termos propostos por Lacerda (1966). Este processo não ocorre uniformemente, tendendo a se propagar talude acima. Em planta, os deslocamentos tendem a se apresentarem semelhantes ao de um fluido viscoso (semelhantes aos dos *mudflows*) com deslocamentos maiores na região central da massa. A zona superficial das massas coluviais pode estar sujeita ao fenômeno de rastejo ou *creep* do tipo sazonal. O movimento da massa como um todo é, via de regra, determinado pela paleotopografia subjacente ao colúvio e costuma ser sinuoso à maneira das geleiras e dos *mudflows*, como já se mencionou.

Na Tabela 1 são apresentados os principais processos de ativação e reativação de movimentos em massas coluviais (Lacerda, 2004). Em todos esses casos, o que acontece na realidade é a reativação de um escorregamento preexistente, com a superfície de escorregamento normalmente situada na fronteira entre o colúvio e o solo residual. Às vezes o colúvio está assente diretamente sobre a rocha, previamente denudada por um escorregamento pretérito do solo residual primitivo.

Tabela 1. Principais processos de ativação e reativação em encostas coluviais (Lacerda, 2004).

Interferência humana:	a. Sobrecarga no topo. b. Escavação no pé.
Causas naturais:	c. Elevação do lençol freático. d. Diques impermeáveis causando elevação do lençol freático. e. Artesianismo sob colúvio. f. Recarga de aquífero através de fraturas permeáveis e zonas alteradas de rocha. g. Aumento localizado de sobrecarga no meio da encosta devido acúmulo de colúvio. Dependendo da velocidade do aumento da sobrecarga, o movimento pode iniciar um <i>debris-flow</i> . h. Carga súbita de queda de blocos de rocha.

2 GEOLOGIA E GEOTECNIA

Na Figura 1 apresenta-se a configuração geomorfológica local. O depósito coluvial, próximo à divisa entre os estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, encontra-se em ambiente de falha geológica constituído por

rochas granito-gnáissicas, com fraturas mergulhando na direção do fundo do talvegue.

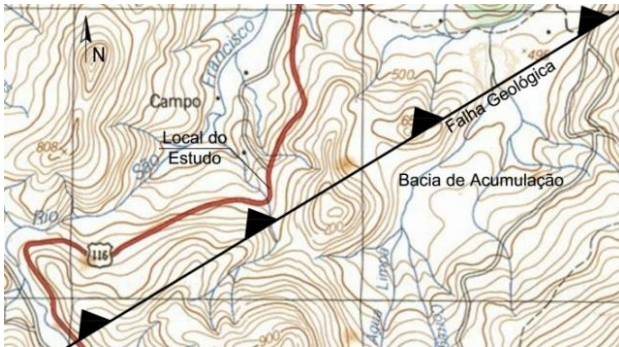


Figura 1. Geomorfologia e zona de falhamento da região em que a massa coluvial encontra-se inserida.

A hidrologia subterrânea da encosta é comandada por caminhos preferenciais de percolação. O deflúvio se infiltra no contato superior do colúvio com a escarpa rochosa. A contra encosta funciona como uma bacia de acumulação de precipitações, na qual a água se infiltra preferencialmente nas discontinuidades das rochas. O perfil geológico propicia a formação de lençol artesianos, fato confirmado por piezômetros instalados no local. Ocorrem aquíferos local e regional em cotas distintas, separados por camada impermeável. Esse conjunto de características intrínsecas, função apenas de condições naturais, constituem os agentes predisponentes para a movimentação da massa coluvial. A pluviosidade e o aumento do lençol freático atuam como agentes efetivos

preparatórios e o período chuvoso como agente efetivo imediato. O rastejo é condicionado pela posição do lençol freático, que por sua vez está relacionado à precipitação.

Na Figura 2 apresenta-se o perfil geológico-geotécnico da encosta. A massa coluvial apresenta ângulo e comprimento médios de 19° e 450 m, respectivamente. As sondagens realizadas revelam espessuras de aproximadamente 19 m para a massa coluvial em movimento (delimitada pelos resultados da inclinometria), solo arenoso com matações, sobrejacente ao solo residual jovem, com espessura da ordem 5 m, vindo a seguir o granito-gnaíse com presença de oxidação nas fraturas e injeções de veios de quartzo esparçados paralelos à xistosidade da rocha. Verifica-se que a rocha é muito bandada com atitude desfavorável à estabilidade do talude (mergulho de 30°) com discontinuidades paralelas muito persistentes formando lajes e lascas de rocha. O lençol freático tem profundidade média de 6 m em relação à superfície do terreno. Como pode ser observado, ocorrem camadas de rocha intercaladas com camadas de solo. O afloramento rochoso situado no nível da plataforma rodoviária se movimenta em conjunto com a massa coluvial. Na Figura 3 apresenta-se a planialtimetria da encosta.

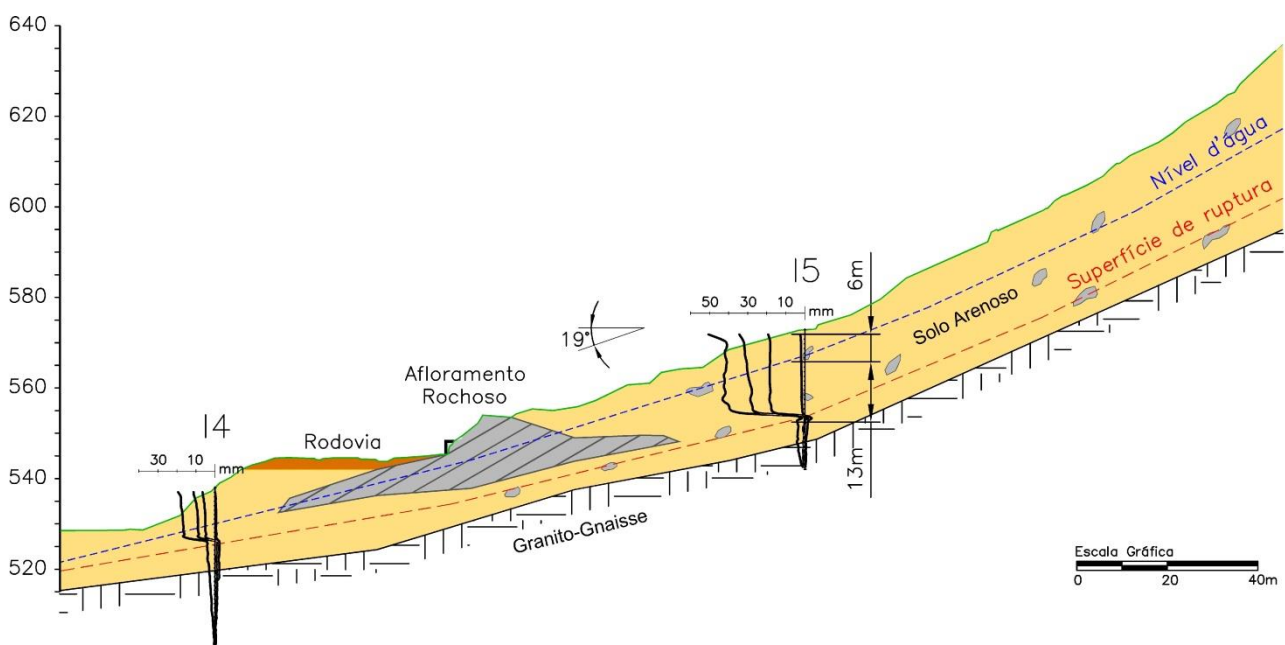


Figura 2. Perfil geológico-geotécnico, com superfície de ruptura indicada pelos dos inclinômetros I4 e I5.

4 ENSAIOS LABORATORIAIS

Nas Tabelas 2 e 3 apresentam-se resultados de ensaios de caracterização e na Figura 5 de cisalhamento direto efetuados em amostras do solo coluvial (Carvalho, 2013).

Tabela 2. Limites de Atterberg, umidade natural e peso específico real dos grãos.

Amostra	h_{nat} (%)	G_s	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Am - 1	11,2	2,731	NP	NP	-

Tabela 3. Composição granulométrica (escala ABNT - NBR 6502).

Argila	Silte	Areia Fina	Areia Média	Areia Grossa	Pedregulho
(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
2	11	31	38	12	6

Foram ensaiados quatro corpos de prova em amostras indeformadas sob as tensões normais (σ_n) de 25, 50, 100 e 200 kPa para as amostras embebidas e dois nas tensões normais de 25 e 100 kPa para as amostras ensaiadas na umidade natural. Na Figura 5 são apresentados os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, incluindo as envoltórias de resistência.

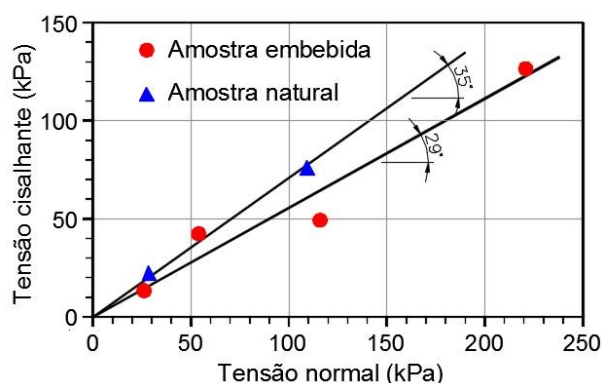


Figura 5. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto e envoltória de resistência.

Os resultados dos ensaios indicam intercepto coesivo nulo e ângulo de atrito efetivo variando entre 29° e 35°. As massas coluviais se movimentam ao longo de uma superfície de cisalhamento preexistente, permanentemente molhada, sendo que a resistência ao cisalhamento dessa superfície é residual. Como a massa de solo é originada de alteração de rocha granito-gnáissica com predominância de partículas de areia e silte, o seu ângulo de atrito residual efetivo não é baixo. Os resultados dos

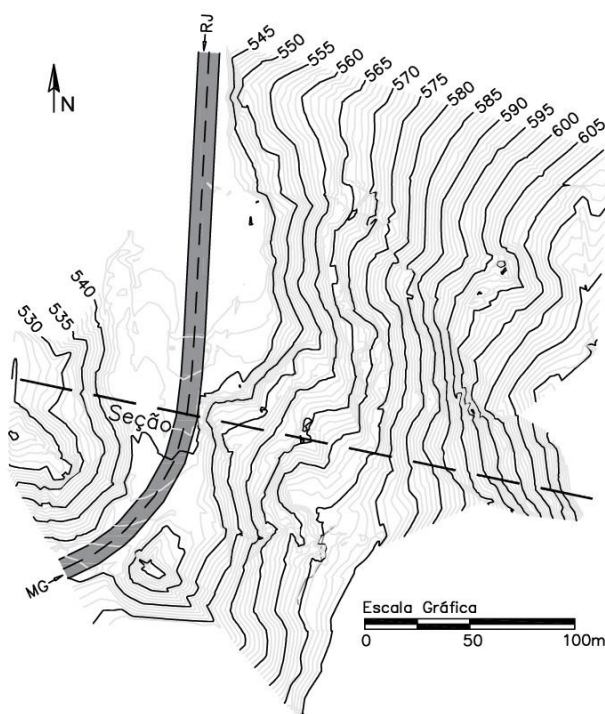


Figura 3. Planta topográfica e localização da seção do perfil geológico-geotécnico.

Um modelo de instabilização de massas coluviais pode ser observado na Figura 4. Os movimentos de fluência dependem das tensões efetivas e eles aumentam à medida que o N.A. se eleva. A camada de solo residual abaixo do colúvio é, em geral, estável, principalmente em função do intercepto de coesão do solo, que é geralmente superior a 10 kPa, mesmo no estado saturado (GeoRio, 2014). Em contraste, a massa coluvial tem um intercepto de coesão que é praticamente nulo na interface com o solo residual.

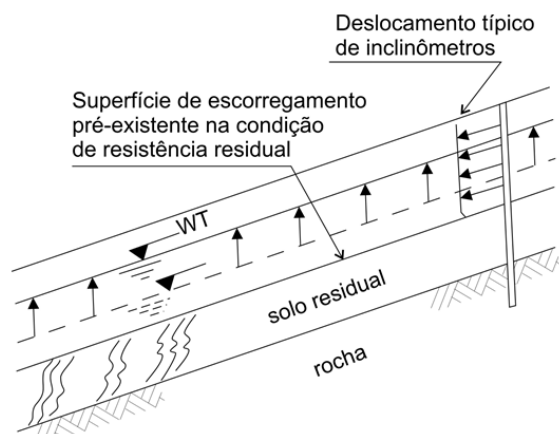


Figura 4. Modelo de instabilização de massas coluviais (Lacerda, 2002).

ensaios são consistentes com aqueles obtidos por Lacerda e Silveira (1992), cujos valores variaram de 26° a 30°.

4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

No caso de uma camada de solo de altura h localizada sobre material mais resistente (por exemplo, rocha ou ainda o caso de colúvio sobre solo residual) em um talude de comprimento igual ou maior que $10 \cdot h$ e com inclinação que possa ser considerada aproximadamente constante, a condição de contorno assemelha-se à de um talude infinito. Nesse caso, o comprimento do talude não influi na segurança (GeoRio, 2014).

Geralmente a superfície do terreno é paralela à interface entre os dois materiais. Se houver fluxo e o nível d'água também for paralelo à superfície, a rede de fluxo obedecerá ao padrão desenhado na Figura 6.

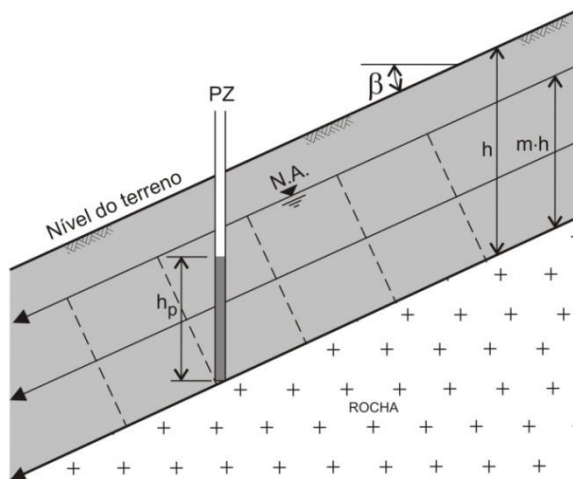


Figura 6. Análise de estabilidade de talude infinito com fluxo paralelo à superfície (GeoRio, 2014).

Nessas condições, o fator de segurança é igual a (Skempton e DeLory, 1957):

$$FS = \frac{c' + (\gamma - m \cdot \gamma_w) \cdot h \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan \phi'}{\gamma \cdot h \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (1)$$

O parâmetro adimensional m varia entre 0 (sem nível d'água) e 1 (nível d'água na superfície) e γ_w é o peso específico da água.

Em outras situações, o fluxo pode assumir um padrão diferente. A Equação 2 permite elaborar análises de taludes infinitos para

qualquer situação de poro pressão u . O valor da poropressão considerando uma inclinação genérica da superfície do lençol freático, i , é calculado da seguinte forma:

$$FS = \frac{c' + (\gamma \cdot h \cdot \cos^2 \beta - u) \cdot \tan \phi'}{\gamma \cdot h \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta} \quad (2)$$

Onde:

$$u = \gamma_w \cdot h_w \cdot \cos^2 i \quad (3)$$

Sendo h_w a altura da lâmina d'água, ou seja, $m \cdot h$.

Como a ruptura já foi mobilizada, pode-se assumir parâmetros pós-pico de volume constante, cuja superfície de ruptura encontra-se espelhada, atuando somente a força de atrito, em que a coesão é nula. Considerando que na superfície de ruptura o intercepto coesivo é nulo ($c'=0$) e o fluxo de água é paralelo ao terreno e à superfície de ruptura ($\beta=i$) a Equação 2 pode ser apresentada da seguinte forma:

$$FS = \left(1 - \frac{\gamma_w \cdot h_w}{\gamma \cdot h}\right) \cdot \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \quad (4)$$

Como o nível d'água não é coincidente com o nível do terreno tem-se:

$$\gamma \cdot h = \gamma_{nat} \cdot h_1 + \gamma_{sat} \cdot h_w \quad (5)$$

Sabendo que $h_1 = h - h_w$ e aplicando (5) em (4), tem-se:

$$FS = \left(1 - \frac{\gamma_w \cdot h_w}{\gamma_{nat} \cdot h_1 + \gamma_{sat} \cdot h_w}\right) \cdot \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} \quad (6)$$

4.1 Retroanálise

Massas coluviais tem um Fator de Segurança (FS) próximo à unidade, e em alguma época passada podem ter estado sujeitas a uma posição do N.A. ainda mais elevada. O método utilizado para o estudo de retroanálise foi o de talude infinito com fluxo paralelo à superfície do terreno, conforme definido na Equação 6. Em função da movimentação de rastejo da encosta, para fins de retroanálise, admitiu-se FS

igual a 1. Considerando o intercepto coesivo nulo ($c'=0$) e os pesos específicos natural e saturado do solo, respectivamente, $\gamma_{\text{nat}} = 17\text{kN/m}^3$ e $\gamma_{\text{sat}} = 20\text{kN/m}^3$, pelo método do talude infinito tem-se que o ângulo de atrito efetivo (ϕ') ao longo da superfície de ruptura corresponderia a 28° .

O valor do ângulo de atrito encontrado na retroanálise se aproxima da faixa de valores obtidas nos ensaios de cisalhamento direto, 29° a 35° , e fica dentro do intervalo encontrado por Lacerda e Silveira (1992), 26° a 30° . Considerando as simplificações realizadas para permitir a utilização do método do talude infinito e a variabilidade natural dos parâmetros do solo, os ensaios corroboram a aplicação do método para o caso avaliado.

4.2 Solução de Estabilização

Utilizando o método do talude infinito, verifica-se que o rebaixamento total do N.A. pode garantir um Fator de Segurança (FS) superior ao comumente adotado para uma rodovia. Adotando uma inclinação com ângulo de 21° a fim de considerar as incertezas na inclinação do terreno e no horizonte rochoso, ter-se-ia:

$$FS = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} = \frac{\tan 28^\circ}{\tan 21^\circ} = 1,38 \quad (8)$$

Considerando um FS mínimo de 1,20 poder-se-ia verificar qual a altura máxima do N.A. que permitiria garantir tal condição. Rearranjando a Equação 4, tem-se:

$$h_w = \left(1 - FS \frac{\tan \beta}{\tan \phi'}\right) \cdot \frac{\gamma \cdot h}{\gamma_w} \quad (9)$$

Onde:

$$\gamma \cdot h = \gamma_{\text{nat}} \cdot h_1 + \gamma_{\text{sat}} \cdot h_2 \quad (10)$$

Foram realizadas análises iterativas até que o valor de h_w seja igual a h_2 . Na Figura 7 apresentam-se as alturas máximas do N.A. para fatores de segurança variando entre 1,10 e 1,30 para diferentes inclinações do terreno e horizonte rochoso, considerando que $\beta = i$.

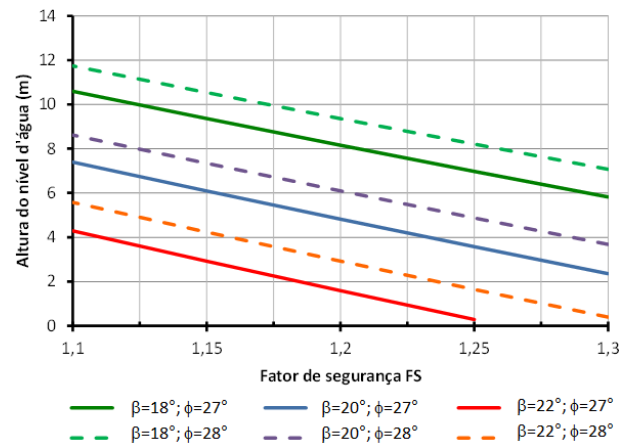


Figura 7. N.A. máximos para diferentes FS, inclinações e ângulos de atrito (Ehrlich e Silva, 2014).

Os resultados demonstram a relevância do lençol freático, e da drenagem subterrânea, na estabilidade da encosta. Para uma inclinação (β) de 22° e ângulo de atrito (ϕ') de 28° , verifica-se que para garantir um FS igual ou superior a 1,20 deve-se manter o lençol freático a altura inferior a 3 m em relação à superfície de ruptura. Uma altura de coluna d'água da ordem de 5,5 m ainda permitiria a estabilidade do talude, entretanto, com fator de segurança igual a 1,10.

5 MONITORAÇÃO DA ENCOSTA

Na Figura 8, apresenta-se a localização dos instrumentos instalados na encosta em questão.



Figura 8. Localização da instrumentação.

Discutem-se os resultados das medições realizadas pelos medidores de nível d'água (NAh e NAg), piezômetro de Casagrande (PZf), inclinômetros (I5 e I4) e pino de controle topográfico (R1).

5.1 Variações do N.A. e Piezometria

A Figura 9 apresenta as leituras dos medidores de nível d'água (MNA) e do piezômetro de Casagrande (PZC), em conjunto com os dados pluviométricos fornecidos por pluviógrafos instalados na rodovia. Verifica-se influência significativa das precipitações.

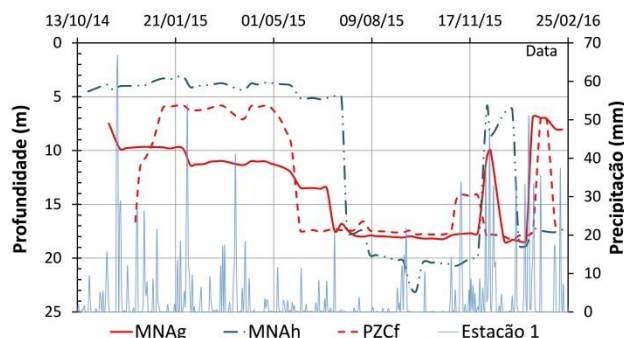


Figura 9. Variações do N.A. e piezométricas no local.

Os instrumentos MNAg e o PZCf foram instalados na mesma estação, um ao lado do outro. Nessa estação de monitoração observam-se inversões da condição de fluxo da água subterrânea, indicando períodos em que a subpressão atinge 5 m.c.a. O fluxo de água voltou a ser descendente, após a instalação de drenos sub-horizontais, estabelecendo uma condição quase estacionária, com subpressão da ordem de 0,4 m.c.a. Observa-se, no entanto, que as respostas das variações do N.A. e das condições de fluxo (ascendente ou descendente) continuam sendo fortemente controladas pela precipitação.

O medidor MNAh, situado no ponto mais a montante apresentava N.A. praticamente constante até a instalação dos drenos, que rebaixou o N.A. em mais de 15 m. Entretanto, mesmo com a drenagem subterrânea, em períodos prolongados de chuvas, o N.A. praticamente volta ao seu patamar medido antes da instalação dos drenos.

A drenagem subterrânea exerceu uma função importante no rebaixamento dos N.A. e redução dos níveis piezométricos, mas provavelmente as

fontes de recarga do aquífero são significativas e podem estar distantes da encosta. Nos períodos de chuva, o N.A. tende a voltar às cotas anteriores à instalação dos drenos.

Aspecto interessante dessa seção refere-se à existência de um aquífero regional na porção inferior da massa coluvial, que não se comunica com o aquífero superior. Tal ocorrência foi constatada quando da execução de drenos em cotas inferiores ao fundo dos medidores de nível d'água e piezômetros. Após a instalação, os drenos apresentaram vazões elevadas, entretanto, não afetaram as vazões dos drenos superiores (cota da rodovia) e, também, não afetaram as leituras do N.A. e piezométricas.

5.2 Deslocamentos Superficiais

Os deslocamentos superficiais horizontais são apresentados nas Figuras 10 e 11. Apesar das limitações inerentes ao controle topográfico, verifica-se que a movimentação da encosta tem se estabilizado.

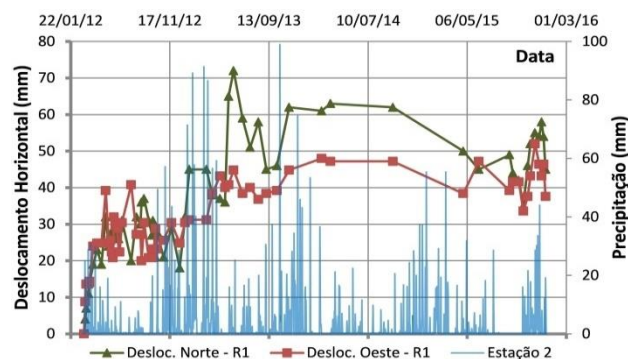


Figura 10. Pluviometria e deslocamentos horizontais medidos pela topografia.

5.3 Inclinometria

Os resultados da inclinometria juntamente com os dados pluviométricos são apresentados nas Figuras 11 e 12.

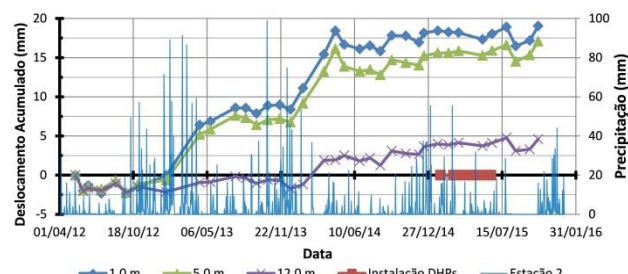


Figura 11. Pluviometria e deslocamentos horizontais medidos no inclinômetro I4 (Eixo AA).

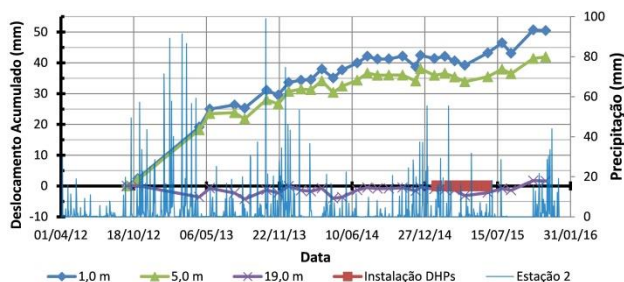


Figura 12. Pluviometria e deslocamentos horizontais medidos no inclinômetro I5 (Eixo AA).

Na Figura 2, observa-se com clareza a superfície de ruptura da encosta, pela inflexão observada na curva de movimentações laterais mensurada pela inclinometria.

Os deslocamentos são maiores na vertical inclinométrica de montante, sendo o dobro daqueles registrados a jusante. Observa-se que a partir de meados de 2014 os deslocamentos vêm se reduzindo. Com a instalação dos drenos, o N.A. se manteve baixo durante um período maior de tempo, reduzindo os deslocamentos horizontais. No entanto, tem corroborado também para minimização das movimentações o menor montante de chuvas observado nos últimos anos.

6 CONCLUSÕES

Apresentou-se um caso de encosta com geologia caracterizada por uma massa coluvial situada em zona de falhamento, com forte contribuição de água subterrânea e presença de dois aquíferos artesianos posicionados em diferentes horizontes.

As análises de estabilidade demonstraram que o Fator de Segurança da encosta pode chegar a valores aceitáveis com a redução do N.A.. Com base nestes estudos foi proposta a execução de DHPs para estabilização do rastejo.

Estabeleceu-se também uma monitoração complementar para melhor avaliar o comportamento da massa coluvial e a efetividade das medidas adotadas. A instrumentação composta por inclinômetros e pinos de controle topográfico foi complementada por medidores de nível d'água e piezômetros. As análises efetuadas e a monitoração dão importante suporte para tomadas de decisão quando às intervenções necessárias para estabilização da encosta.

Antes da instalação dos drenos sub-horizontais, a piezometria indicava artesianismo com sub-pressão de 5 m.c.a e elevado N.A., com variação dos níveis influenciados pela precipitação. Após a instalação dos drenos verificou-se o rebaixamento do N.A. e alívio da subpressão. Através do controle de vazão dos drenos e da variação do lençol freático, constatou-se a presença de dois aquíferos artesianos, sendo o aquífero inferior, provavelmente controlado regionalmente.

Embora o rastejo ainda não tenha cessado por completo, os resultados da monitoração da encosta revelam significativa redução dos deslocamentos e tendência à estabilização.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1995). *NBR 6502, Rochas e Solos*, Rio de Janeiro, p. 18.
- Carvalho, P. A. (2013) *Análise do Comportamento da Encosta Situada na Rodovia BR116-RJ, km 29, Projeto Graduação*, Escola Politécnica UFRJ, 145 p.
- Ehrlich, M. e Silva, R. C. (2014) *Estudo e Projeto Executivo de Estabilização de Depósito Coluvial, Relatório Técnico*, COPPETEC.
- GeoRio (2014) *Manual Técnico de Encostas*, Prefeitura do Rio de Janeiro, v. 1, p. 518.
- Lacerda, W. A. (1966) A Estabilização de um Aterro a Meia Encosta, *III Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos*, Belo Horizonte, v.1, tema 6, p. 31.
- Lacerda, W. A. (1997) Stability of Natural Slopes along the Tropical Coast of Brazil, *Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics*, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, p. 17-40.
- Lacerda, W. A. (2002) Comportamento Geotécnico de Massas Coluviais, *III Geosul*, Joinville, p. 219-231.
- Lacerda, W. A. (2004), The Behavior of Colluvial Slopes in a Tropical Environment, Keynote Lecture, Landslides – Advances in Evaluation and Stabilization, *Proceeding of the Ninth International Symposium on Landslides*, Rio de Janeiro, v. 2, p. 1315-1342.
- Lacerda, W. A. e Sandroni, S. S. (1985) Movimento de Massas Coluviais, *Anais da Mesa Redonda sobre Aspectos Geotécnicos de Encostas*, ABMS, Rio de Janeiro, v.3, p. 1-19.
- Lacerda, W. A. e Silveira, G. C. (1992) Características de Resistência ao Cisalhamento e de Compressibilidade dos Solos Residuais e Coluvionares da Encosta do Soberbo, RJ, *I COBRAE*, ABMS, Rio de Janeiro, v. 2, p. 445-462.
- Skempton, A. W. e Delory, F. A. (1957) Stability of Natural Slopes in London Clay, *IV International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Proc*, London, v. 2, p. 378-438.