

PREVISÃO DOS DESLOCAMENTOS DE UMA ENCOSTA SUJEITA A RASTEJO POR MEIO DE UM MODELO VISCOPLÁSTICO

PREDICTION OF DISPLACEMENTS OF A CREEPING NATURAL SLOPE BY A VISCO-PLASTIC MODEL

Yara Barbosa Franco¹, Jefferson Lins da Silva²

¹Engenheira Civil e Mestranda em Geotecnia na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. E-mail: yarabf@usp.br

²Doutor em Engenharia Civil e Professor da Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Universidade de São Paulo. E-mail: jefferson@sc.usp.br

RESUMO

O rastejo é caracterizado por um movimento muito lento do solo nas encostas naturais, provocado pela ação da gravidade associada a fatores ambientais. Ele pode preceder os escorregamentos e gerar danos de ordem econômica, social e ambiental. Daí a importância da avaliação de risco por meio da análise, modelagem e previsão do movimento de forma a garantir a segurança da região e do desenvolvimento urbano. Para este fim, as análises convencionais de equilíbrio limite não são adequadas, visto que o solo se encontra agora em movimento. Assim, o presente artigo visa, a partir de dados de monitoramento disponíveis na literatura de uma encosta na Serra do Mar (Brasil), analisar o comportamento dinâmico do rastejo por meio de um modelo viscoplástico, baseado no modelo viscoso de Bingham. A análise dinâmica determinou o parâmetro de viscosidade por meio da comparação dos deslocamentos modelados e medidos, em que foi encontrada uma semelhança boa entre os mesmos. A análise limitou-se a um ponto da superfície de deslizamento, mas foi possível verificar o papel da viscosidade no mecanismo de deformação por rastejo e ainda a importância do estudo do comportamento reológico dos solos sujeitos a este fenômeno para a previsão dos seus deslocamentos ao longo do tempo.

Palavras-chave: Rastejo, Análise Dinâmica, Modelo Viscoplastico.

ABSTRACT

The term creep refers to the very slow movement of soil in natural slopes caused by gravity associated with environmental factors. This phenomenon can precede faster landslides and lead to economic, social and environmental damages. Thus, the importance of risk assessment through analysis, modeling and prediction of the movement to ensure the security of the region and urban planning. For this purpose, conventional limit equilibrium analyzes are not suitable, since the soil is now in motion. Thereby this paper aims to analyze the dynamic behavior of a creeping natural slope in Serra do Mar (Brazil) with available monitoring data using a visco-plastic model based on the viscous model of Bingham. The dynamic analysis intended to determine the viscosity parameter by comparing the modeled and measured displacements and it was found a good similarity between them. The analysis was limited to a single point in the sliding surface, but it was possible to verify the viscosity role in the creep deformation mechanism and also the importance of the study of soil rheological behavior to predict the movements of creeping natural slopes over time.

Keywords: Creep, Dynamic Analysis, Visco-Plastic Model.

1 – INTRODUÇÃO

Segundo Oliveira e Brito (1998), o rastejo é uma deformação de caráter plástico originado por movimentos descendentes, lentos e contínuos do material da encosta com limites indefinidos e velocidades da ordem de alguns milímetros por ano. Ele pode afetar desde pequenas obras (casas, edificações, rede de abastecimento, etc.), até grandes construções (pontes, viadutos, etc.), e ainda preceder movimentações mais rápidas, como os escorregamentos (HAM *et al.*, 2009; OLIVEIRA, 2010). Assim, Cazacu; Cristescu (2000) destacam que, devido à importância da avaliação de risco de encostas naturais, nas últimas décadas grandes esforços têm sido feitos visando a análise, a modelagem e a previsão do fenômeno de rastejo. Neste sentido, Ranalli *et al.* (2009) afirmam que a previsão da movimentação de encostas é essencial para garantir a segurança da região e o desenvolvimento urbano.

Análises de estabilidade convencionais, que se baseiam no método de equilíbrio limite, podem fornecer informações a respeito do fator de segurança da massa de solo estável ou na iminência da ruptura, mas não permitem simular a cinemática do movimento de rastejo (perfis de deslocamento, velocidades), que se trata de uma massa de solo em movimento, conforme destacado por vários autores (ANGELI *et al.*, 1996; CAZACU; CRISTESCU, 2000; COROMINAS *et al.*, 2005; HAM *et al.*, 2009; RANALLI *et al.*, 2009; VULLIET; HUTTER, 1988). Assim, Maugeri; Motta; Raciti (2006) ressaltam que o que interessa neste tipo de análise é modelar a velocidade e definir as características dinâmicas do movimento.

O movimento em encostas ativas se dá sobre uma ou mais superfícies de deslizamento pré-existentes, em que a resistência do solo mobilizada corresponde à condição residual (LEROUEIL *et al.*, 1996). Quando a maior parte da deformação por cisalhamento ocorre em uma estreita zona cisalhante sobre a superfície de cisalhamento, muitos

autores, segundo Cascini, Calvello e Grimaldi (2008), consideram a natureza da deformação como viscosa. Ranalli *et al.* (2009) consideram uma componente resistente viscosa do material para explicar o porquê da velocidade não aumentar linearmente com o tempo, de maneira a tornar a força resultante desestabilizadora próxima de zero.

Dessa forma, visando analisar o comportamento dinâmico do rastejo, foi utilizado um modelo viscoplástico proposto por Adinolfi (2008) que inclui parâmetros de viscosidade para a estimativa da velocidade do movimento ao longo do tempo de uma encosta localizada na Serra do Mar, região de Coroa Grande, e estudada por Aguiar (2008), onde dados de deslocamento e variação do nível d'água, obtidos por meio do monitoramento da encosta no período de 1986 a 1999, estão disponíveis.

2 – CASO ANALISADO

A encosta localiza-se na Serra do Mar, região de Coroa Grande, Município de Itaguaí no Estado do Rio de Janeiro. Considerando a BR-101, que se localiza ao sopé da serra, como referência, a área em questão encontra-se nas proximidades do quilômetro 23 (AGUIAR, 2008). A seguir são apresentadas a descrição do movimento de rastejo presente na região e ainda os parâmetros de resistência, obtidos por retroanálise, utilizados na análise dinâmica realizada.

2.1 Descrição do movimento

De acordo com Aguiar (2008), a instrumentação foi implantada na encosta entre 1986 e 2004. A série de intervenções na região teve origem com a implantação de um oleoduto em 1976. Assim, em 1985, com a verificação de grandes movimentações em vários pontos da encosta decorrentes de fortes eventos chuvosos, foram instalados os primeiros instrumentos para monitoramento da região: inclinômetros, piezômetros e medidores de nível d'água. Instrumentação complementar foi instalada no período de 1993 a 1995 (inclinômetros), de 1998 a 2000 e 2001 a 2004 (inclinômetros e piezômetros). Os inclinômetros utilizados foram do tipo removível DIGITILT fabricados pela Slope Indicator Company e os piezômetros do tipo Casagrande (AGUIAR, 2008). O período de monitoramento escolhido neste trabalho foi de 1988 a 1991, por apresentar conjuntos de dados contínuos e de boa qualidade, necessários para a análise dinâmica a ser realizada. A planta de locação da instrumentação é apresentada na Figura 1. O perfil estudado (Figura 2) segue o alinhamento formado pelos inclinômetros SI-6 e SI-8, e a instrumentação restante projetada nesta seção.

Ainda segundo Aguiar (2008), a seção da encosta instrumentada apresenta inclinação média de 14°, e o subsolo constituído por uma camada mais superficial de areia argilosa com pedregulho (material coluvionar) assentada sobre uma camada de silte argiloso e arenoso com pedregulho (material residual). Esta, por sua vez, encontra-se sobre o leito rochoso composto de rocha gnáissica.

A superfície de deslizamento na seção considerada foi obtida por Aguiar (2008) por meio dos resultados dos inclinômetros instalados na encosta e apresentou profundidade entre 4,5 e 10,5 m (Tabela 1 e Figura 2). A velocidade do movimento ao longo do tempo caracteriza um movimento lento a extremamente lento (velocidade da ordem de 0,01 mm/dia) apresentando variações com influência da intensidade de chuvas, indicando que a massa de solo movimenta-se por rastejo (AGUIAR, 2008).

Tabela 1 – Ordem de grandeza das profundidades da superfície de deslizamento nos inclinômetros (AGUIAR, 2008)

Inclinômetro	Superfície de deslizamento (m)
SI-5	5,0
SI-6	5,0
SI-7	9,5
SI-8	4,5
SI-97-1	8,5
SI-97-2	10,5

Os dados utilizados na análise dinâmica posterior referem-se ao ponto na superfície de deslizamento correspondente ao inclinômetro SI-6 (Figura 2), que apresentou profundidade de 5,31 m, segundo Aguiar (2008). Dessa forma os dados do piezômetro PZ-1 foram utilizados na obtenção de informações referentes à carga piezométrica e poropressão no ponto considerado. Na

Figura 3 é possível observar a relação entre as variações da carga piezométrica no piezômetro PZ-01 e a velocidade do movimento na posição do inclinômetro SI-06 (Figura 2). Observa-se que as velocidades de deslocamento oscilam em torno da média de 0,05 mm/dia apresentando picos que parecem estar relacionados a aumentos rápidos da carga piezométrica. Entre abril e julho de 1989, por exemplo, a carga piezométrica aumentou de 0,7 m para cerca de 1,7 m e acompanhando essa tendência, a velocidade do movimento passou de valores próximos a 0,03 mm/dia para 0,13 mm/dia (

Figura 3). Como a variação da carga piezométrica está diretamente relacionada à flutuação do nível d'água e este, por sua vez, aos índices pluviométricos, essa observação reforça a influência do regime de chuvas no fenômeno de rastejo.

Figura 1 – Localização da instrumentação e seção MM analisada (AGUIAR, 2008)

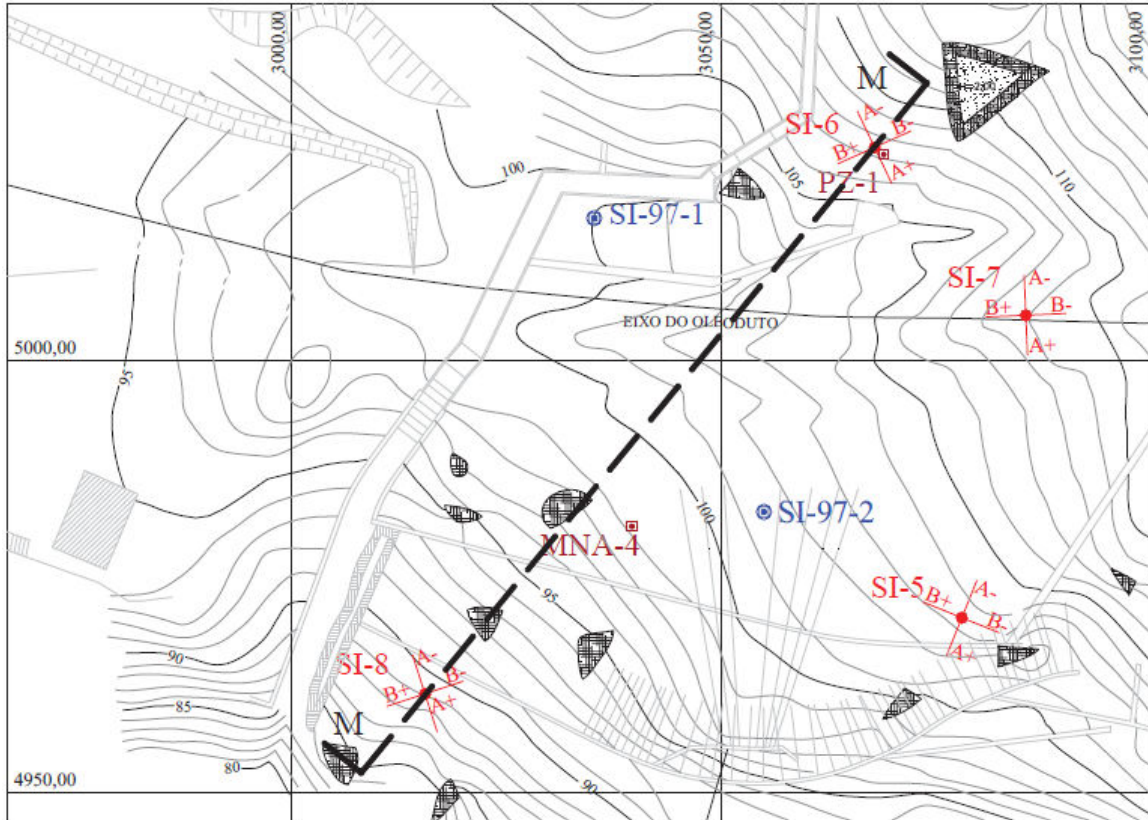


Figura 2 – Seção da região instrumentada com indicação da superfície de deslizamento no período (AGUIAR, 2008)

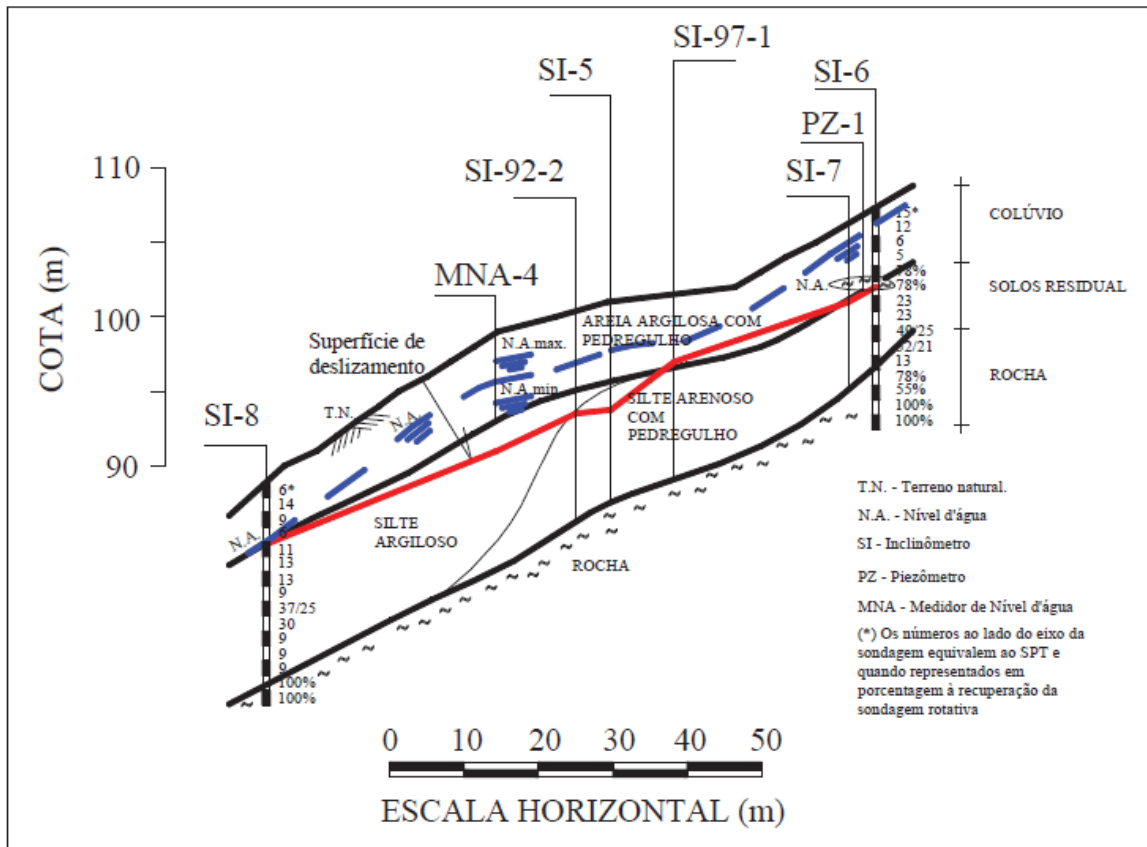
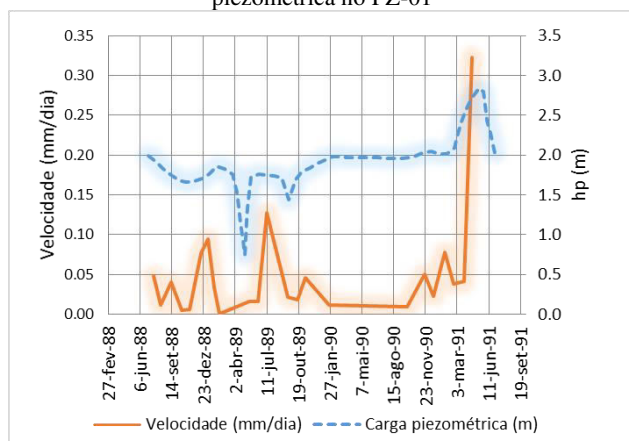


Figura 3 – Velocidade do deslocamento no SI-06 e carga piezométrica no PZ-01



Fonte: dados de Aguiar (2008).

2.2 Obtenção dos parâmetros de resistência por retroanálise

Para encostas com histórico de movimentações pode-se assumir a resistência do solo próxima à condição residual (ADINOLFI, 2008; LEROUEIL *et al.*, 1996; MAIO; VASSALLO; VALLARIO, 2013; RANALLI *et al.*, 2009), com coesão nula.

Freitas (2004) realizou ensaios de laboratório para a obtenção de parâmetros do solo na região estudada como peso específico, coesão e ângulo de atrito. Por meio de ensaios de torção do tipo *ring-shear* a autora buscou ainda determinar os parâmetros de resistência residual do solo. Inicialmente buscou-se utilizar tais parâmetros no presente estudo, no entanto, o fator de segurança nessa situação encontrava-se sempre superior a 1, ou seja, não haveria movimentação e portanto não faria sentido realizar a análise dinâmica aqui apresentada. Atribuiu-se tal resultado ao fato de que as amostras indeformadas utilizadas nos ensaios foram retiradas de profundidades variando entre 9,45 m e 16,57 m, valores superiores à profundidade da superfície de deslizamento na região do inclinômetro SI-6. Desse modo, buscando utilizar parâmetros de resistência mais condizentes com a condição da encosta na região estudada, que encontrava-se em movimento, foi conduzida uma retroanálise admitindo que, devido ao longo histórico de movimentação, o material da encosta na superfície de deslizamento apresentava-se na sua condição residual.

Dessa forma, utilizando o programa SLOPE/W do pacote GeoStudio/2012 foi feita uma retroanálise para a obtenção do ângulo de atrito residual (solo na zona de deslizamento) no momento de início do movimento (fator de segurança igual a 1).

A superfície de deslizamento (Figura 4) foi imposta como igual àquela apresentada na Figura 2. O método utilizado foi o de Spencer (1967), por ser aplicável para qualquer geometria da superfície de deslizamento e ainda satisfazer todas as equações de equilíbrio para a determinação do fator de segurança. Este método assume que as forças entre as fatias verticais que subdividem a massa de solo sobre a superfície de deslizamento são

paralelas. A incinação da força é a variável a ser alterada de modo a satisfazer tanto às equações de equilíbrio de forças quanto à de momentos. Conforme Duncan; Wright; Brandon (2014) este é um método que fornece resultados acurados, sendo o mais simples dentre aqueles que satisfazem todas as equações de equilíbrio. Assim, Aguiar (2008) afirma que este procedimento é recomendado para o estudo do caso analisado no presente trabalho, levando-se em conta as características geotécnicas e geométricas da encosta.

O peso específico natural do solo (γ) foi obtido por Freitas (2004) a partir de ensaios de caracterização de amostras retiradas na profundidade da superfície de deslizamento e equivale a 18 kN/m³, considerado o mesmo valor para o solo não saturado acima do nível d'água. Este por sua vez foi determinado a partir dos dados do piezômetro PZ-01 e é dependente do tempo. Por esse motivo foram selecionados os níveis mínimo, máximo e ainda um valor intermediário para a realização das retroanálises, e ainda considerando-o paralelo à superfície do terreno. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2.

Figura 4 – Superfície de deslizamento imposta no SLOPE/W (NA máximo) e indicação do ponto a ser utilizado na análise dinâmica

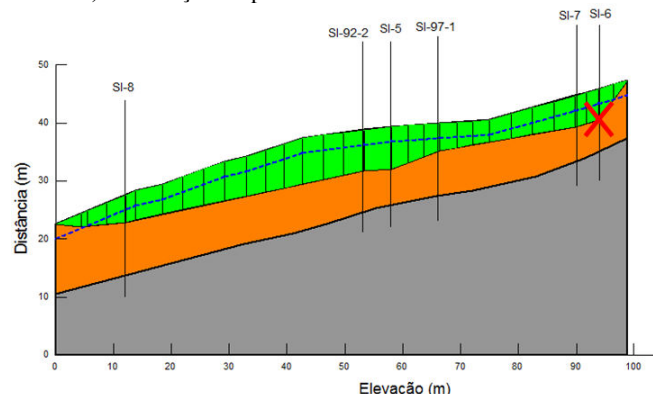


Tabela 2 – Parâmetros de resistência obtidos na retroanálise

NA	c' (kPa)	ϕ' (°)	FS
Mínimo	0	14,2	1,002
Intermediário	0	16,0	0,999
Máximo	0	17,7	0,997

Dessa forma, foi adotado o valor intermediário de 16° para o ângulo de atrito residual do solo na superfície de deslizamento.

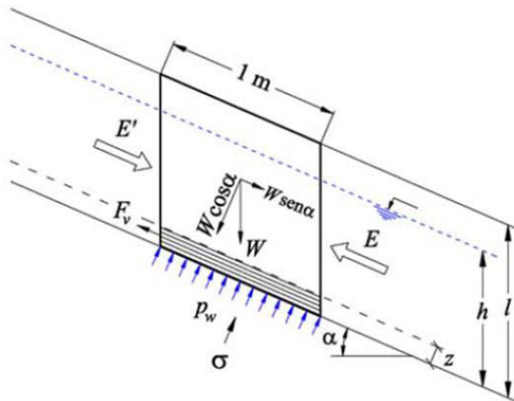
3 – MODELO VISCOPLÁSTICO

O modelo viscoplástico proposto por Adinolf (2008) e utilizado no presente trabalho considera o modelo de talude infinito, e dessa forma a equação do movimento para um elemento de solo de peso W , altura l , nível piezométrico h e inclinação da superfície α (Figura 5), considerando a resistência do solo segundo o critério de Mohr-Coulomb, é dada pela Equação (1):

$$\tau - [c' + (\sigma - p_w) \tan \phi'] - \tau_v = m \cdot a \quad (1)$$

Em que: τ é a tensão cisalhante desestabilizadora, c' a coesão do solo, σ a tensão normal, p_w a poropressão, ϕ' o ângulo de atrito do solo, τ_v a componente viscosa, m a massa do elemento e a a aceleração. Todos os valores referem-se à superfície de cisalhamento.

Figura 5 – Geometria e variáveis utilizadas na análise (COROMINAS *et al.*, 2005)



Nota: W : peso; l : altura do elemento; h : nível piezométrico; α : inclinação da superfície; p_w : poropressão; $E=E'$: empuxo de solo; z : espessura da zona de cisalhamento; F_v : força viscosa

A Equação (1) pode ser reescrita considerando as variáveis apresentadas na Figura 5 conforme Equação (2):

$$\gamma \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - [c' + (\gamma \cdot l \cdot \cos^2 \alpha - p_w) \tan \phi'] - \tau_v = m \cdot a \quad (2)$$

Em que: γ é o peso específico do elemento de solo considerado. As forças estão expressas por unidade de área da superfície de cisalhamento.

Adinolf (2008) sugere agrupar os termos da Equação (2) para obtenção da Equação (3) simplificada:

$$P + Q \cdot p_w - \tau_v = m \cdot a \quad (3)$$

Em que:

$$P = \gamma \cdot l \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha - [c' + (\gamma \cdot l \cdot \cos^2 \alpha) \tan \phi']$$

$$Q = \tan \phi'$$

Para a componente viscosa da Equação (3) foi utilizado o modelo de Bingham, considerando variação linear da velocidade em relação a z , de acordo com a Equação (4):

$$\tau_v = \eta \frac{v}{z} \quad (4)$$

Em que: η é a viscosidade dinâmica e z a espessura da zona cisalhante.

Assim, introduzindo a Equação (4) na Equação (3) e considerando a aceleração em termos de velocidades (diferenças finitas) tem-se que:

$$v_i(t_i) = \frac{(t_i - t_{i-1}) \cdot [P + p_w(t_i) \cdot Q] + m \cdot v_{i-1}}{\left[m + (t_i - t_{i-1}) \cdot \frac{\eta}{z} \right]} \quad (5)$$

Com base na Equação (5) são obtidas as velocidades calculadas pelo modelo viscoplástico para um ponto da superfície de deslizamento (análise local), considerado representativo da encosta. Os deslocamentos podem então ser obtidos por meio da Equação (6):

$$d_i(t_i) = d_{i-1} + v_i \cdot (t_i - t_{i-1}) \quad (6)$$

Observa-se que o termo η/z na Equação (5) não é conhecido e por isso um valor inicial deve ser assumido. A partir da comparação dos resultados calculados com os medidos no monitoramento é possível encontrar o valor que melhor aproxima os deslocamentos calculados e medidos, de forma a encontrar o valor buscado da viscosidade.

4 – APLICAÇÃO DO MODELO AO CASO ANALISADO

Dados de entrada no modelo para o caso analisado, considerando a hipótese de talude infinito, incluem parâmetros geométricos (l e α) e mecânicos do solo (c' , ϕ' e γ) a partir dos quais é possível calcular P e Q da Equação (3) e a massa m . Assim, para a encosta analisada estes dados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de entrada do modelo

Parâmetros do solo		Fonte
γ (kN/m ³)	18,0	Freitas (2004)
ϕ' (°)	16,0	Retroanálise
c' (kPa)	0	Consideração
Dados de entrada do modelo		Fonte
α (°)	14	Aguiar (2008)
l (m)	5,31	Aguiar (2008)
P (kPa)	-3,367	Calculado
Q	0,287	Calculado
m (kg)	9274,09	Calculado

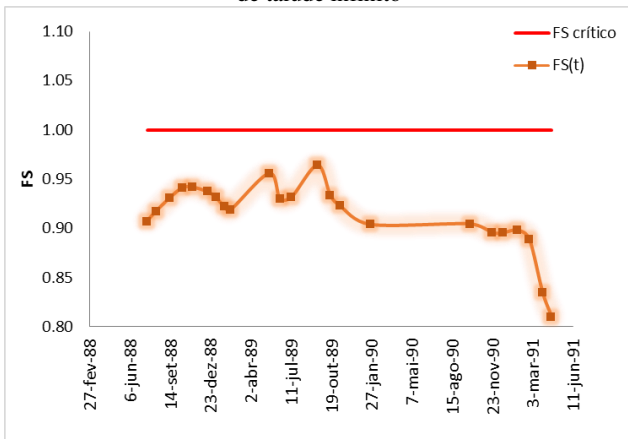
Conforme a Equação (5), a poropressão no instante considerado também é um dado de entrada. Como os dados existentes de velocidade e poropressão foram obtidos em datas diferentes é importante compatibilizá-los de forma a obter velocidades pelo modelo nas mesmas datas em que há registros do monitoramento. Para este fim considerou-se, assim como Adinolfi (2008) em seu trabalho, a hipótese que a poropressão varia linearmente entre dois instantes de tempo em que os dados de p_w são conhecidos.

O fator de segurança (FS), que analisa a estabilidade de uma encosta, pode ser dado a partir da Equação (7):

$$FS = \frac{c' + (\sigma - p_w) \tan \phi'}{\tau} \quad (7)$$

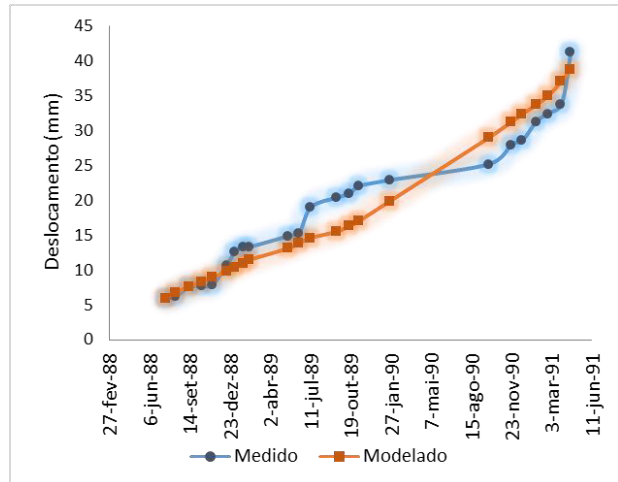
A partir dos dados de entrada é possível obter, portanto, a evolução do fator de segurança ao longo do tempo, conforme apresentado na Figura 6. Nota-se que o mesmo é sempre menor que o valor crítico de 1, o que implicaria na movimentação da encosta com velocidades crescentes, ao contrário do que realmente ocorre. De fato, a velocidade do movimento é muito lenta (da ordem de 0,01 mm/dia) o que sugere a existência de uma componente de resistência viscosa no solo, considerada neste trabalho por meio do termo η/z .

Figura 6 – Fator de segurança ao longo do tempo com a hipótese de talude infinito



Assim, por meio da alteração do valor do termo η/z na Equação (5) e da comparação gráfica dos deslocamentos calculados e medidos encontrou-se o valor de 5.10^{-9} kPa.s/m, valor que encontra-se na faixa de viscosidades obtidas em outros estudos (ADINOLFI, 2008; COROMINAS *et al.*, 2005; RANALLI *et al.*, 2009). A comparação dos deslocamentos medidos e calculados é apresentada na Figura 7, em que se observa que houve uma semelhança relativamente boa entre as curvas.

Figura 7 – Comparação entre deslocamentos medidos e modelados



CONCLUSÃO

O comportamento reológico de materiais sujeitos a deformações lentas em encostas ao longo do tempo (rastejo) torna-se cada vez mais significativa na engenharia geotécnica. No entanto, para a previsão da evolução destes movimentos, as análises convencionais de estabilidade são limitadas. Assim neste trabalho foi aplicado um modelo visco-plástico a uma encosta com dados de monitoramento disponíveis durante o período de cerca de 3 anos.

Do ponto de vista da análise de estabilidade por equilíbrio limite, o fator de segurança ao longo do tempo apresenta valores próximos de 1. No entanto, conforme dados do monitoramento, nessas condições não ocorre a ruptura do solo da encosta, visto que a aceleração da massa instável é muito pequena e, portanto, as velocidades muito baixas, sugerindo a existência de uma componente viscosa resistente.

Deste modo foi realizada uma análise dinâmica pontual levando em consideração parâmetros de resistência residuais calculados a partir de retroanálise. Os deslocamentos foram calculados considerando um parâmetro de viscosidade constante ao longo do tempo e os resultados encontrados foram relativamente satisfatórios. Obviamente, este tipo de análise é limitado às condições do ponto selecionado, sendo desejável realizá-la para um conjunto de pontos em que se disponham de informações de monitoramento. Porém, ela é um passo inicial para o desenvolvimento futuro de modelos globais e uma ferramenta promissora para a previsão dos movimentos e até mesmo desenvolvimento de sistemas de alerta.

REFERÊNCIAS

- ADINOLFI, M. **Displacements scenarios for active landslides by using creep phenomenological model.** 2008. 114 p. Minor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, BarcelonaTech, Barcelona, 2008.
- AGUIAR, M. F. P. de. **Estudo da estabilidade de um colúvio na serra do mar por elementos finitos.** 2008. 204 p. Tese (Doutorado), Curso de Engenharia Civil,

- Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 2008.
- ANGELI, M-G.; GASPARETTO, P.; MENOTTI, R. M.; PASUTO, A.; SILVANO, S. A visco-plastic model for slope analysis applied to a mudslide in Cortina d'Ampezzo, Italy. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 29, n. 3, p.233-240, August 1996. <http://dx.doi.org/10.1144/GSL.QJEGH.1996.029.P3.06>.
- CASCINI, L.; CALVELLO, M.; GRIMALDI, G. Modelling the transient groundwater regime for the displacements analysis of slow-moving active landslides. **Proceedings of the 10th International Symposium on Landslides And Engineered Slopes**, p. 607-613, June 2008. <http://dx.doi.org/10.1201/9780203885284-c72>.
- CAZACU, O.; CRISTESCU, N. Constitutive model and analysis of creep flow of natural slopes. **Italian Geotechnical Journal**, v. 34, n. 3, p. 44-54, 2000.
- COROMINAS, J.; MOYA, J.; LEDESMA, A.; LLORET, A.; GILI, J. A. Prediction of ground displacements and velocities from groundwater level changes at the Vallcebre landslide, Eastern Pyrenees, Spain. **Landslides**, v. 2, n. 2, p. 83-96, May 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/s10346-005-0049-1>.
- DUNCAN, J. Michael; WRIGHT, Stephen G.; BRANDON, Thomas L.. **Soil Strength and Slope Stability**. 2. ed. Wiley, 2014. 317 p.
- FREITAS, N. C. de. **Estudos dos movimentos de um colúvio no Sudeste brasileiro**. 2004. 106 p. Tese (Doutorado), Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro, 2004.
- HAM, G. van Den; ROHN, J.; MEIER, T.; CZURDA, K. Finite Element simulation of a slow moving natural slope in the Upper-Austrian Alps using a visco-hypoplastic constitutive model. **Geomorphology**, v. 103, n. 1, p.136-142, January 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.10.019>.
- LEROUEIL, S.; LOCAT, J.; VAUNAT, J.; PICARELLI, L.; LEE, H.; FAURE, R. Geotechnical characterization of slope movements. In: **International Symposium Landslides**, 7, 1996, Trondheim. Proceedings..., v. 1, p. 53-74, 1996.
- MAIO, C. di; VASSALLO, R.; VALLARIO, M. Plastic and viscous shear displacements of a deep and very slow landslide in stiff clay formation. **Engineering Geology**, v. 162, p. 53-66, July 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.05.003>.
- MAUGERI, M.; MOTTA, E.; RACITI, E. Mathematical modelling of the landslide occurred at Gagliano Castelferrato (Italy). Natural hazards and earth system. **Sciences**, v. 6, n. 1, p. 133-143, February 2006. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-6-133-2006>.
- OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. 1. ed.. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 1998, 576 p.
- OLIVEIRA, L. M. **Acidentes geológicos urbanos**. 1. ed. Curitiba: Mineropar, 2010, 78 p.
- RANALLI, M.; GOTTARDI, G.; MEDINA-CETINA, Z.; NADIN, F. Uncertainty quantification in the calibration of a dynamic viscoplastic model of slow slope movements. **Landslides**, v. 7, n. 1, p.31-41, November 2009. <http://dx.doi.org/10.1007/s10346-009-0185-0>.
- SPENCER, E. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. **Géotechnique**, v. 17, n. 1, p.11-26, March 1967. <http://dx.doi.org/10.1680/geot.1967.17.1.11>.
- VULLIET, L.; HUTTER, K. Viscous-type sliding laws for landslides. **Canadian Geotechnical Journal**, v. 25, n. 3, p. 467-477, August 1988. <http://dx.doi.org/10.1139/t88-052>.