

Análise da influência da evapotranspiração em uma encosta litorânea rodoviária

Nelson Henrique Joly
UFPR, Curitiba, Brasil, nelsonjoly91@gmail.com

Alessander Christopher Morales Kormann
UFPR, Curitiba, Brasil, alessander@ufpr.br

Liamara Paglia Sestrem
UFPR, Curitiba, Brasil, liamarasestrem@gmail.com

Vitor Pereira Faro
UFPR, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

Andrés Miguel González Acevedo
UFPR, Curitiba, Brasil, andresmgonzaleza@gmail.com

RESUMO: O estudo do problema dos deslizamentos deflagrados pelas chuvas é uma questão de interesse tanto para a hidrologia como para a geotecnia. Muitas vezes as condições de interação solo-clima-vegetação são simplificadas subestimando a importância deste sistema para entender a complexidade que envolvem movimentos de terra. A retirada de água pelas plantas é regida pelo fenômeno da evapotranspiração, este fenômeno interfere diretamente na sucção uma vez que diminui a umidade do solo. Este trabalho buscou quantificar a influência da evapotranspiração nos valores da sucção após eventos de chuva. As plantas através da evapotranspiração retiram a água do solo e a transformam em vapor, conclui-se que quanto mais intenso este processo for, menor será a umidade do solo e consequentemente mais rápido se dará o acréscimo de sucção, reduzindo o risco de escorregamentos na região vadosa.

PALAVRAS-CHAVE: Sucção, Solos Não-Saturados, Evapotranspiração, Taludes.

1 INTRODUÇÃO

O Fenômeno dos deslizamentos deflagrados pelas chuvas envolve uma grande incerteza e complexidade. Parte desta incerteza é devida à variabilidade inerente do solo e dos problemas que influenciam nas condições de fronteira. No entanto, esta variabilidade não é considerada nas análises pela difícil quantificação dos efeitos. (CHOK, 2008)

Guidicini e Nieble (1984) apontam que a maioria dos deslizamentos ocorrem em períodos de elevada pluviosidade, evidenciando a relação dos fatores hidroclimáticos com

escorregamentos. À vista disso tais problemas servem tanto para a geotecnia como para a hidrologia.

A geotecnia ao longo dos anos tem preocupado-se apenas nas modelagens realistas do solo e subestima os fatores relacionados a dinâmica espacial e temporal das condições que circundam o problema, desconsiderando o efeito da vegetação e assumindo taxas constantes de infiltração.

Este trabalho busca quantificar a importância da evapotranspiração em uma encosta litorânea através de análises dos dados obtidos em um tensiômetro.

2 INTERAÇÃO DO SISTEMA SOLO-CLIMA-VEGETAÇÃO

Segundo Rueda (2008) este sistema é levado por diferentes relações de retroalimentação e dependência dos fundamentos presentes nos diversos subsistemas. A dinâmica deste sistema está representada pela quantidade de água no solo e o seu comportamento, pelo fato deste parâmetro resumir os fatores que se apresentam no solo, na vegetação e atmosfera.

O solo como participante deste sistema tem peculiaridades das quais depende da relação com outros fatores. A composição mineralógica, arranjo das partículas e textura determinam a quantidade de água que o solo pode armazenar. A vegetação controla os fluxos de energia e água, dividindo a precipitação em escoamento, evaporação, transpiração e quantidade de água armazenada dentro do solo. O clima é um fator que irá disponibilizar água para vegetação e ditar os ritmos de difusão e evaporação.

2.1 Evapotranspiração

Conforme Rodrigues e Porporato (2004) a evapotranspiração é o fenômeno no qual a água no estado líquido é transformada em vapor por meio da troca de calor.

A fim de interpretar os efeitos da vegetação, o potencial de evapotranspiração (PET; mm/dia) foi estimado pela equação de Peman-Monteith (Allen et al., 1998). Esse método é tido, internacionalmente, como o mais pertinente para a estimativa da evapotranspiração. Além de procurar representar, de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, o método considera parâmetros meteorológicos que são medidos e registrados em estações meteorológicas de observação de superfície. Para tal, utiliza-se uma equação semiempírica onde considera-se o balanço de energia da vegetação devido a considerações da resistência de superfície e aerodinâmica.

A Equação 1 apresenta a equação proposta por Allen et. al (1998)

$$PET = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) \mu (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34\mu)} \quad (1)$$

Onde Δ é a declividade da curva de pressão de vapor, G é o fluxo de calor no solo, T é a temperatura média diária do ar, γ é constante psicométrica, μ é a velocidade do vento, e_s é a pressão de saturação do vapor média diária e e_a é a pressão atual de vapor média diária.

3 DESCRIÇÃO DO CASO ESTUDADO

O presente trabalho foca uma encosta situada em um maciço denominado Morro do Boi, localizado à Sudeste do município de Balneário Camboriú, no estado de Santa Catarina. Dentre outros parâmetros, as variações de sucção na encosta vêm sendo monitoradas desde meados de 2012.

A Figura 1 ilustra a visão geral da encosta utilizada nas análises



Figura 1: Vista geral da área de estudo (Fonte: Google Earth (2016).

Lazarim (2012) realizou a caracterização geotécnica do talude estudado, observando a ocorrência de uma camada superficial de areia fina a média, com profundidade variando entre 2,50 e 3,00 metros; rocha muito alterada a alterada, chegando até a 10,00 metros de profundidade e, por fim, a camada de rocha sã de migmatito

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção será apresentada os resultados deste artigo.

4.1 Vegetação do campo em estudo

A fim de ilustração, visitas foram realizadas ao talude visando caracterizar a vegetação da região. Há predominância das herbáceas arbustivas sobre as demais. Inspeções visuais identificaram as três espécies com maior ocorrência no campo. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam as três espécies com maior incidência.



Figura 2: Vegetação típica da região estudada.

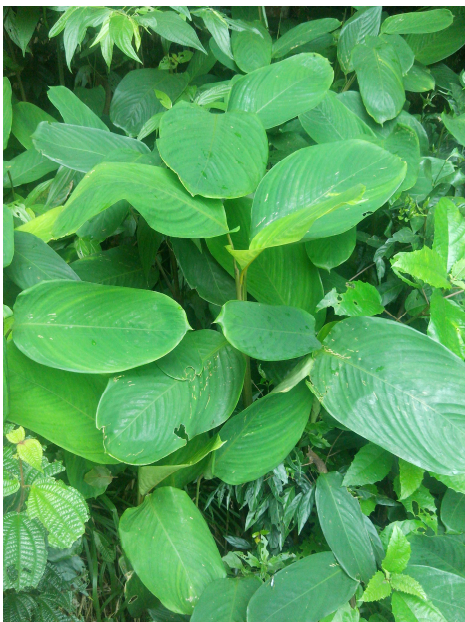


Figura 3: Espécie com alta incidência no campo.



Figura 4: herbácea típica do campo de estudo.

4.2 Dados climatológicos.

Parâmetros meteorológicos necessários para o cálculo da evapotranspiração foram coletados em uma estação meteorológica de observação de superfície localizada no município de Itajaí (SC) pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e identificada pelas siglas Itajaí A-868, situada nas proximidades da encosta em análise.

O período das análises começa em 6 de Junho de 2013 e vai até 31 de Julho de 2014, representando assim, um ciclo completo em termos de estações climáticas.

4.3 Série histórica do tensiômetro (TENS-03).

Os instrumentos instalados no campo e o tensiômetro utilizado nas análises podem ser visualizados na Figura 5, a qual aparece em destaque o tensiômetro utilizado nas análises. O TENS-03 está instalado a uma profundidade de 1,0 metros de profundidade

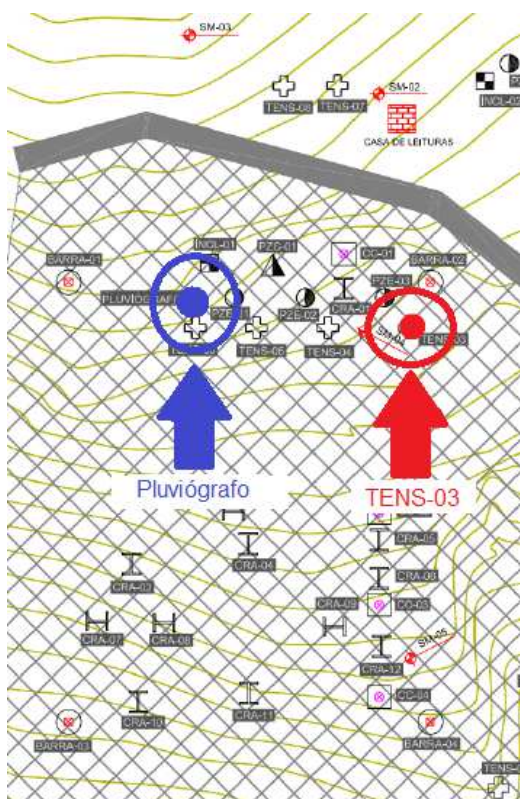


Figura 5: Instrumentos instalados no campo com destaque ao pluviômetro e tensiômetros utilizados nas análises (Fonte: adaptado de Sestrem (2012)).

A Figura 6 apresenta os valores da sucção matricial do instrumento TENS-03 ao longo do período das análises. As áreas do gráfico hachuradas em cinza representam períodos sem captação de leituras devido a problemas técnicos com o sensor.

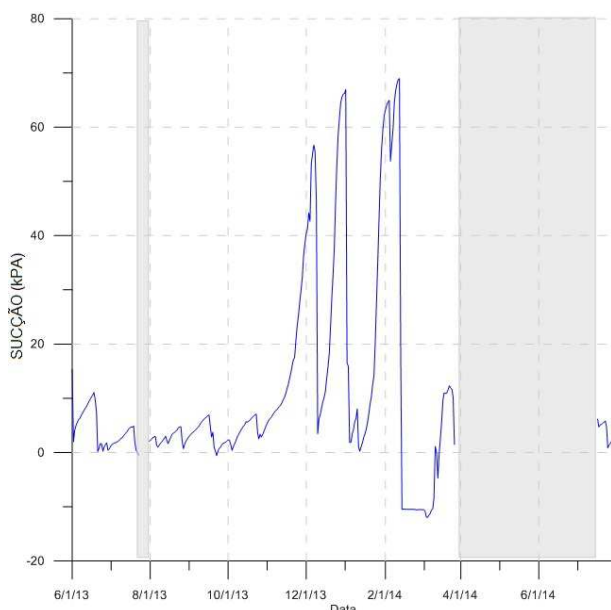


Figura 6: Série histórica do tensiômetro analisado.

Considerou-se que o tensiômetro instalado a 1 m de profundidade estava contido dentro do limite que as raízes da vegetação infiltram no solo. Sofrendo influência da retirada de água do solo através da evapotranspiração.

4.4 Série histórica do pluviômetro.

As precipitações diárias acumuladas foram obtidas a partir do pluviômetro instalado na região analisada. A posição do pluviômetro no talude pode ser vista na Figura 5. Os acumulados de pluviosidade podem ser visualizados na Figura 7.

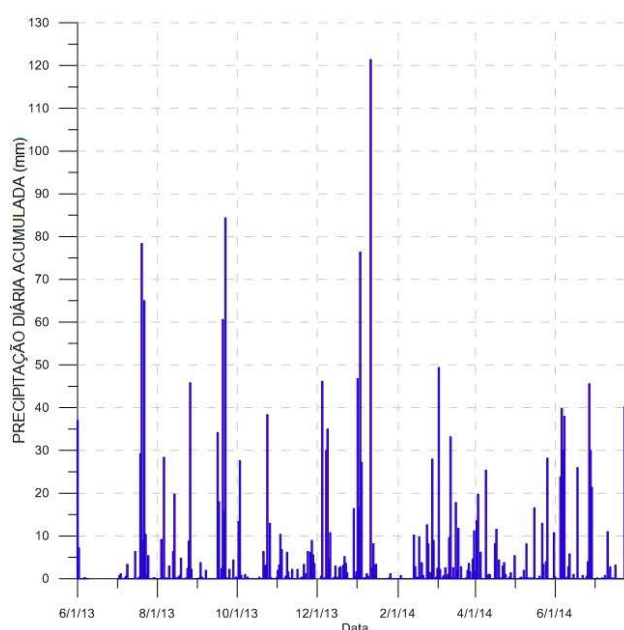


Figura 7: Série histórica do pluviômetro utilizado nas análises.

Diversos trabalhos científicos (Menezes et al., 2010; Neto, 2008) mostram que o aumento da umidade do solo reflete sobre a sucção. Após um evento de chuva a tendência é ocorrer um decréscimo da sucção matricial. Após a interrupção da precipitação a sucção matricial sofre um acréscimo em seus valores uma vez que existe a retirada da água do solo a partir das plantas.

Este artigo irá avaliar o quanto esta recuperação da sucção ocorre após um evento de chuva, supondo que o decréscimo de umidade do solo é consequência do efeito da evapotranspiração.

Afim de interpretar o efeito da evapotranspiração sobre a sucção, a partir da Figura 7, foram escolhidos eventos a serem estudados após o fim de um evento de chuva. Estes podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição dos eventos utilizados nas análises.

Eventos	Fim do evento de chuva
1	06 de Agosto de 2013
2	14 de Agosto de 2013
3	26 de Agosto de 2013
4	22 de Setembro de 2013
5	03 de Outubro de 2013
6	26 de Outubro de 2013
7	11 de Dezembro de 2013
8	03 de Janeiro de 2014
9	16 de Janeiro de 2014
10	24 de Julho de 2014

4.5 Aplicação da equação proposta por Allen et al. (1998).

Os dados climatológicos obtidos a partir da seção 4.2 e as pluviosidades acumuladas diárias obtidas na seção 4.4 foram lançadas na Equação 1. Obteu-se então o potencial de evapotranspiração estimado (mm/dia), este está representado na Figura 8.

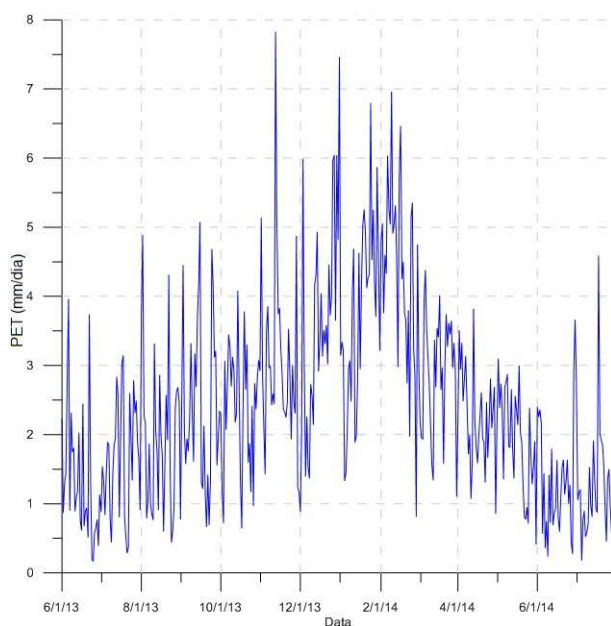


Figura 8: Potencial de Evapotranspiração estimado conforme Allen et al. (1998).

4.6 Comportamento da sucção medida no tensiômetro após evento de chuva

Após receber um evento de chuva a sucção tende a ter seu valor reduzido devido à infiltração de água no solo e nos dias seguintes sem chuva, estes valores de sucção tendem a aumentar.

Foram confeccionados gráficos para ilustrar este fenômeno utilizando os eventos selecionados na Tabela 1.

As Figuras 9 e 10 ilustram essas variações na sucção matricial no dia do fim do evento de chuva e nos três próximos dias sem chuva.

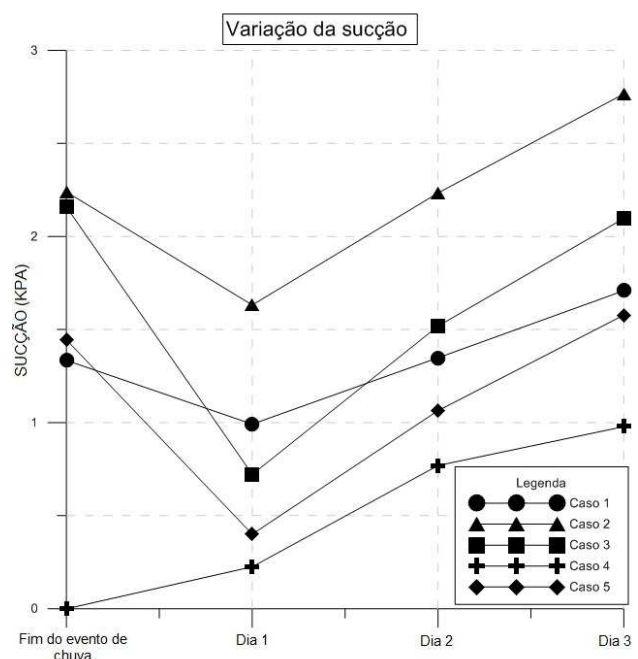


Figura 9: Comportamento da sucção após um evento de chuva nos casos 1, 2, 3, 4 e 5.

Analizando a Figura 9 foi escolhido o caso 1 para exemplificar a metodologia utilizada. A sucção medida no dia da chuva era 1,33 kPa, com a infiltração da água no solo o valor da sucção no dia 1 foi de 0,99 kPa, no dia 2 foi de 1,34 e por fim no dia 3 de 1,70 kPa. Podemos dizer então que nos 3 dias seguintes após o final do evento de chuva a sucção teve um acréscimo de 0,71 kPa. Assim como no caso 1, foi observado também um acréscimo na sucção para os casos 2, 3, 4 e 5 de 1,13 kPa, 1,37 kPa, 0,75 kPa e 1,17 kPa respectivamente.

A Figura 10 apresenta o comportamento da sucção após um evento de chuva para os

casos 6, 7, 8, 9 e 10.

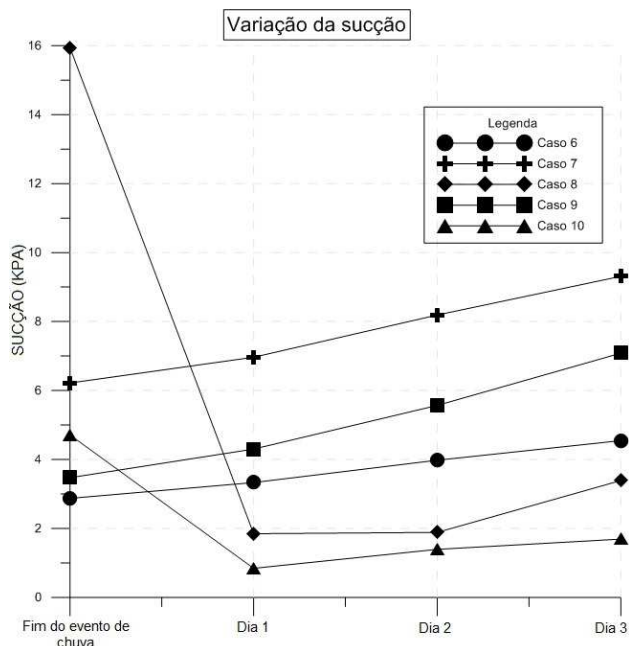


Figura 10: Comportamento da sucção após um evento de chuva nos casos 6, 7, 8, 9 e 10.

Como na figura anterior, conseguiu-se quantificar o acréscimo na sucção para os casos 6, 7, 8, 9 e 10, sendo de 1,21 kPa, 2,34 kPa, 1,54 kPa, 2,78 kPa e 0,84 kPa respectivamente.

4.7 Acumulado da evapotranspiração

Para verificar o efeito da sucção matricial foi analisado o comportamento desta nos 3 dias posteriores do final da precipitação. Visando correlacionar o efeito da evapotranspiração na sucção, foi analisado o acumulado de 1, 2 e 3 dias da evapotranspiração.

A Figura 11 ilustra os acumulados de 1, 2 e 3 dias da evapotranspiração para os casos 1, 2, 3, 4 e 5

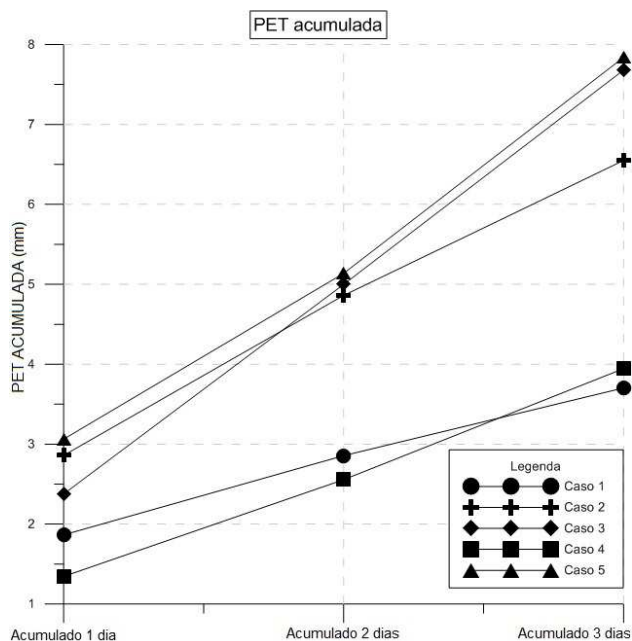


Figura 11: Acumulado da Evapotranspiração para 1, 2 e 3 dias acumulados nos casos 1, 2, 3, 4 e 5.

O acumulado de 3 dias para evapotranspiração dos casos 1, 2, 3, 4 e 5 são 3,70 mm, 6,55 mm, 7,68 mm, 3,94 mm e 7,84 mm respectivamente.

A Figura 12 apresenta o acumulado de 1, 2 e 3 dias da evapotranspiração para os casos 6, 7, 8, 9, 10.

O acumulado de 3 dias para a evapotranspiração dos casos 6, 7, 8, 9 e 10 são 7,95 mm, 13,40 mm, 8,53 mm, 14,50 mm e 3,81 mm;

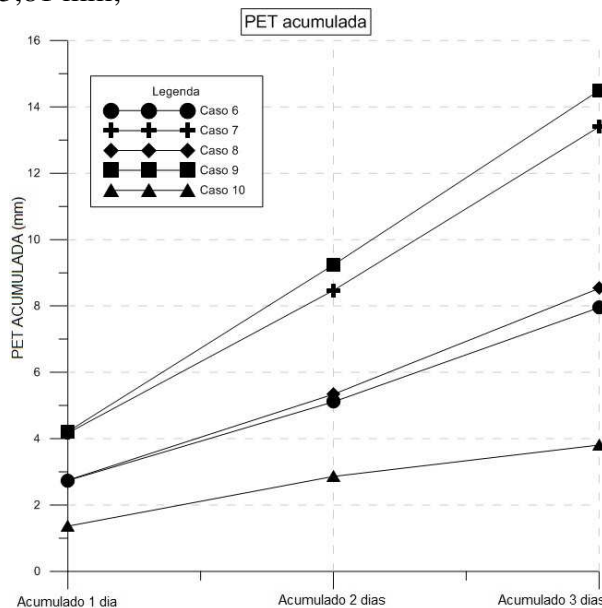


Figura 12: Acumulado da Evapotranspiração para 1, 2 e 3 dias acumulados nos casos 6, 7, 8, 9 e 10.

4.7 Correlação entre variação da sucção e acumulado da evapotranspiração.

Como demonstrado nas Figuras 9 e 10 logo após o fim do evento de precipitação a sucção tem seu valor acrescido ao longo dos dias seguintes em que não há precipitação. A retirada de água do solo através da evapotranspiração é vital neste processo.

A Figura 13 ilustra a relação entre a variação da sucção e o acumulado de evapotranspiração.

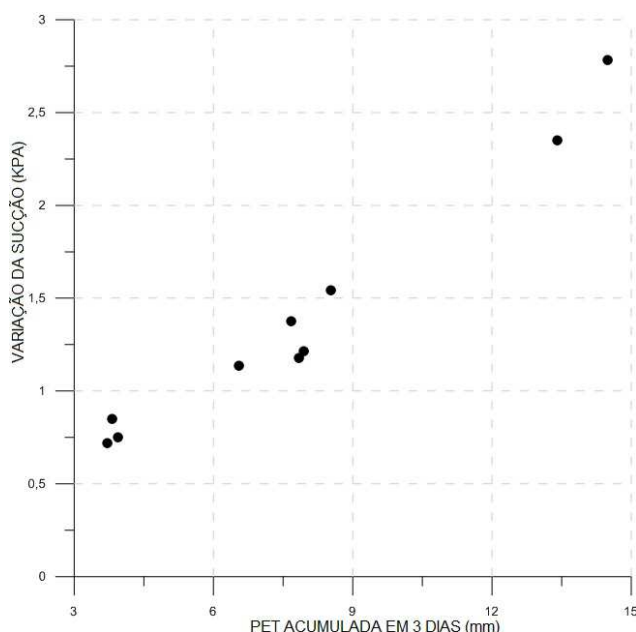


Figura 13: Correlação entre variação da sucção e acumulado da evapotranspiração.

Na Seção 5 serão apresentadas as conclusões sobre este estudo.

5 CONCLUSÕES

Os fatores hidroclimatológicos exercem grande importância na estabilidade de maciços terrosos. Tais parâmetros devem ser avaliados criteriosamente para ampliar o entendimento sobre os mecanismos de ruptura.

A partir das análises realizadas na Figura 13 observa-se que quanto maior o acumulado de evapotranspiração de 3 dias maior é a recuperação da sucção após efeito de precipitação. As plantas através da evapotranspiração retiram a água do solo e a

transformam em vapor, quanto mais intenso este processo for, menor será a umidade do solo e conseqüentemente mais rápido se dará o acréscimo de sucção, reduzindo o risco de escorregamentos na região vadosa.

A Equação 1 busca quantificar a evapotranspiração através de uma modelagem numérica. As limitações desta equação consistem em não levar em consideração a intensidade solar real recebida pela vegetação, uma vez que a radiação solar medida na estação não recebe influência de nenhum corpo que possa evitar esta de chegar, diferente da situação observada no campo o qual a luz solar incide mais sobre uma região do que outra.

Pretende-se ampliar o entendimento da vegetação na região do Morro do Boi, para compreender de fato a influência dos parâmetros clima-solo-vegetação na estabilidade do talude. Reduzindo as incertezas referentes aos escorregamentos.

REFERÊNCIAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, K.; Smith, M. Crop evapotranspiration. Rome: FAO, 1998. 300 p.
- Chok, Y.H. (2008). Modelling the Effects of Soil Variability and Vegetation on the Stability of Natural Slopes. PhD Thesis, The University of Adelaide, Australia, 249 p.
- Guidicini, G.; Nieble, C. M. (1984). Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo.
- Lazarim, T. P. (2012); Caracterização geotécnica e retroanálise da ruptura de um talude rodoviário – BR - 101, Santa Catarina. Trabalho de conclusão de curso (Graduação). Bacharel em Engenharia Civil, Curitiba.
- Menezes, M. ; Pejon, O. J. (2010). Análise da influência do teor de umidade na absorção d'água e sucção dos solos em estudos de erodibilidade. vol.29, n.2, pp. 211-228. ISSN 0101-9082.
- Neto, O. F. (2008); Resistência ao cisalhamento de um solo não saturado com medida direta de sucção. Dissertação(Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos.
- Rodriguez, I., Porporato, A. (2004). Eco hydrology of Water-Controlled Ecosystems. Cambridge University Press, USA, 478 p.
- Rueda, O.A. (2008). Modelamiento de la Humedad del Suelo en la Región Cafetera de Colombia Bajo Diferentes Coberturas Vegetales. Master, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 104 p.
- Sestrem, L. P. (2012). Concepção e implantação de um plano de instrumentação para avaliação das condicionantes geotécnicas de uma encosta litorânea.

Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação
em Construção Civil. Curitiba.