

Um Estudo Preliminar Sobre a Infiltrabilidade Vertical de Alguns Solos da Cidade de Salvador-BA

Luis Edmundo Prado de Campos

Universidade Federal da Bahia

Paulo Cesar Burgos

Universidade Federal da Bahia

Universidade do Estado da Bahia

Abstract

This work presents the preliminary results of a geotechnical survey about two soils from Salvador-BA city. The results are analysed in order to comprehend these soils behaviour in face of the wetting front progress aiming applications in slope stability.

Resumo

Este trabalho apresenta resultados preliminares de um estudo geotécnico sobre a infiltrabilidade vertical de dois solos da cidade de Salvador-BA. Os resultados da presente investigação são analisados de modo a compreender o comportamento desses materiais em conjunto ao avanço da frente de umedecimento, visando a aplicação em estabilidade de taludes.

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa estudar o comportamento geotécnico de dois solos residuais, provenientes de perfil característico da Cidade de Salvador-BA, através de ensaios de campo (infiltrômetro de anel duplo concêntrico) e de laboratório (ensaios de caracterização).

Historicamente, a região metropolitana da cidade de Salvador, apresenta episódios de movimentos de massas que estão relacionados aos períodos chuvosos. Para se obter uma correlação de movimentos de massa com precipitação, tornam-se necessários dados de infiltrabilidade. Infelizmente, são escassos na literatura correlata informações sobre a infiltrabilidade desses materiais em regiões tropicais, fato esse que levou a realizar um estudo sobre o referido assunto, bem como a realização de ensaios.

Elbachá et al (1992) reporta que o número de dias de chuvas que apresenta influência nos escorregamentos da Cidade de Salvador é de quatro dias acumulados, observando-se que para valores acima de 120 mm existe a predominância de eventos associados a escorregamentos.

Neste contexto, o trabalho descreve um estudo preliminar que objetiva determinar a equação de infiltrabilidade para os solos em questão utilizando o tratamento matemático descrito por Reichardt (1987).

2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

A fim de se obter a caracterização dos materiais em estudo, as amostras de solos foram submetidas aos ensaios convencionais de caracterização, envolvendo granulometria por peneiramento e sedimentação, peso específico dos sólidos e limites de Atterberg, segundo orientações das normas da ABNT.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados de granulometria dos solos estudados, com as respectivas profundidades para coletas de amostras deformadas e ensaios de infiltração. Enquanto, a Tabela 2, ilustra os resultados de peso específico dos sólidos, acompanhados pelos limites de liquidez, índice de plasticidade, atividade coloidal de Skempton (1953) e classificação unificada. Nota-se que os solos considerados neste trabalho envolvem materiais finos, solo 1 (CL) e solo 2 (MH), respectivamente, com limite de liquidez

superior a 50%, indicando solos muito plásticos. Fato corroborado pelos valores de índice de plasticidade. No que tange a atividade coloidal, os solos foram classificados como de atividade normal ($0,75 < AC < 1,25$), sendo o solo 1 o mais ativo.

Tabela 1. Resumo dos resultados de granulometria.

Solo	Prof. (m)	Pedregulho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
1	0,50	10	42	10	38
2	2,00	2	38	18	42

Nota: Granulometria - ABNT.

Tabela 2. Resumos dos resultados de peso específico dos sólidos, limite de liquidez, índice de plasticidade, atividade coloidal e classificação.

Solo	γ_s (kN/m ³)	w _L (%)	IP (%)	AC	Classificação USCS
1	27,0	75	36	0,95	CL
2	26,6	67	33	0,78	MH

Nota: AC = IP/% argila (< 2? m).

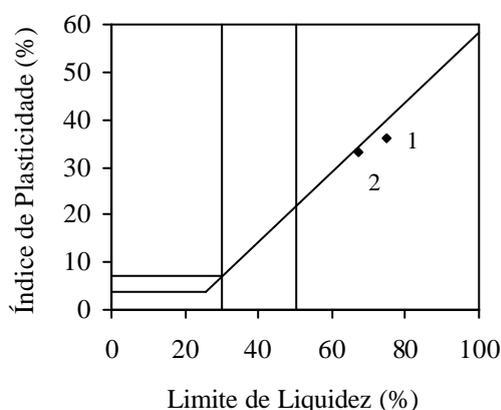


Figura 1. Carta de Plasticidade.

A Figura 1 mostra o posicionamento dos solos estudados na carta de plasticidade. Observa-se que os mesmos situam-se próximos da Linha A, região limítrofe entre os solos siltosos e argilosos e à direita da linha B, indicando materiais de alta plasticidade.

3 INFILTRAÇÃO VERTICAL

O processo de entrada de água no solo, através de sua superfície é denominado infiltração. Isso ocorre quando a superfície do solo recebe água proveniente de chuva, irrigação ou inundação, com a água se movimentando no sentido vertical de cima para baixo, atingindo camadas mais profundas. Percebe-se, portanto, que durante o processo, a água distribui-se dentro do solo, movimento esse que não pára, mesmo finalizada a infiltração.

Vargas Jr. et. al, (1992) comentam que apesar do seu interesse prático, poucos foram os estudos voltados para a solução numérica do problema do fluxo de água em meio saturado/não saturado em encostas naturais.

Vargas Jr. et. al. (1990) mostram, a partir de estudos bi-dimensionais de infiltração, que essa ocorre sob condições essencialmente uni-dimensionais em diversas circunstâncias, mesmo em partes do talude apenas. O mecanismo de infiltração uni-dimensional é associado com a redução da sucção sem, no entanto, levar a poro-pressões positivas, sendo em geral responsável pela ocorrência de escorregamentos superficiais rasos.

Reichardt (1987) comenta que o processo de infiltração ocorre porque a água da chuva ou da irrigação tem potencial total (?) aproximadamente nulo e a água do solo tem potencial negativo, isto é, tanto mais negativo quanto mais seco o solo. No início da infiltração, quando o solo ainda está relativamente seco, o gradiente é muito grande e, depois de longo tempo de infiltração, o gradiente total passa a ser igual ao gravitacional que é relativamente pequeno em relação ao início do processo. Por isso, o processo de infiltração é um processo desacelerado, isto é, rápido no início, decaindo com o tempo. O mesmo autor reporta que durante o processo de infiltração, se o solo estiver relativamente seco, existe uma diferença visível entre o solo molhado pela lâmina d'água que avança e o solo seco. Esse plano é denominado frente de molhamento (umedecimento). No caso da infiltração de água em solos relativamente úmidos, à frente de molhamento (umedecimento) é difusa e difícil de ser determinada.

Segundo Reichardt (1987) várias sugestões foram dadas para descrever o processo de infiltração por meio de uma equação. Sendo a equação 1 a que mais se adapta a dados experimentais da maioria dos solos e, por isso a mais utilizada:

$$I = a t^n \quad (1)$$

Sendo “I” a infiltração acumulada em centímetros, “t” o tempo acumulado em minutos e “a” e “n” duas constantes dependentes do tipo de solo.

Foi seguido o procedimento recomendado por Reichardt (1987) que consiste na cravação de dois cilindros concêntricos. O cilindro interno possui uma régua graduada que permite realizar as medidas de infiltração, enquanto, o cilindro externo visa diminuir efeitos de “borradura”.

A velocidade de infiltração (V_i) tem definição idêntica à definição de fluxo de água Q da equação de Darcy, portanto, é o volume de água que infiltra na unidade de área em função do tempo, resultando em cm/s, cm/min, cm/h etc (Reichardt, 1987).

Se o nível de água no interior do cilindro central para medir V_i é h_1 , no instante t_1 e h_2 em t_2 , temos:

$$V_i = \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Os valores da velocidade de infiltração (V_i) são plotados em função do tempo (t), o mesmo ocorrendo para a infiltração acumulada (I), que é dada diretamente pela leitura da régua. Agora aplicando logaritmo a ambos os membros da equação 1, temos:

$$\log I = \log a + n \log t \quad (3)$$

Com a aplicação deste procedimento matemático, o gráfico de $\log I$ em função de $\log t$ se transforma em linear, com um coeficiente angular n um coeficiente linear igual a $\log a$, ou podendo ser igual a anti- $\log a$.

A partir da equação 1, podemos calcular a infiltração acumulada (I) para qualquer tempo.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os materiais em análise foram classificados pelo sistema unificado, como solos de textura fina de elevada plasticidade, com atividade mineralógica normal. Os teores de umidade iniciais de campo variaram de 18,1% a 23,6%, conforme pode ser visto na Tabela 3, que apresenta também os valores de condutividade hidráulica saturada (infiltração básica, K_o). Nota-se que os solos 1 e 2, respectivamente, se manifestaram com K_o de 10^{-4} cm/s. O solos em análise possuem percentagens de argila e areia semelhantes, diferindo nas frações silte e pedregulho, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 3. Resultados do teor de umidade inicial de campo e da condutividade hidráulica saturada proveniente do ensaio de infiltração.

Solo	w_i (%)	K_o (cm/s)
1	18,1	$2,9 \times 10^{-4}$
2	23,6	$3,3 \times 10^{-4}$

Encontram-se na Tabela 4 os coeficientes a e n , que são duas constantes dependentes do tipo de solo, resultantes do tratamento matemático proposto por Reichardt (1987) e a equação de infiltração para cada um dos solos estudados. A partir da referida equação pode-se calcular para qualquer tempo o valor da infiltração acumulada (I), evidenciando-se assim a sua utilidade prática.

Tabela 4. Valores das constantes a e n , acompanhados das equações de infiltração.

Solo	a	n	Equação
1	0,1632	0,7495	$I = 0,1632t^{0,7495}$
2	0,0546	0,8354	$I = 0,0546t^{0,8354}$

Nota: I (cm) e t (min).

A Tabela 5 mostra os valores calculados de infiltração acumulada (I) em cm, a partir das equações encontradas neste estudo para os solos 1 e 2, respectivamente, para tempos distintos de dias de chuva. Deve-se observar os resultados de 4 dias (5760 min), número este representativo para a Cidade de Salvador conforme estudo de Elbachá et. at. (1992).

Tabela 5. Resultados de infiltração acumulada para tempos distintos.

Solo	1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	7 dias
1	38,0 cm	63,9 cm	86,6 cm	107,4 cm	163,4 cm
2	23,7 cm	42,4 cm	59,5 cm	75,6 cm	120,7 cm

As Figuras 2 e 5 ilustram as curvas de velocidade de infiltração em função do tempo para os solos 1 e 2, respectivamente. Encontram-se nas Figuras 3 e 6, respectivamente, as curvas de infiltração acumulada em função do tempo para os solos 1 e 2. Enquanto, as Figuras 4 e 7 mostram os gráficos de $\log t$ versus $\log I$, com as respectivas equações dos solos em questão.

A Figura 8 ilustra a evolução da infiltração acumulada em relação ao número de dias de chuva acumulados para ambos os solos. Nota-se que o solo 2 se manifesta com menor capacidade de infiltração em comparação ao solo 1, para o mesmo número de dias.

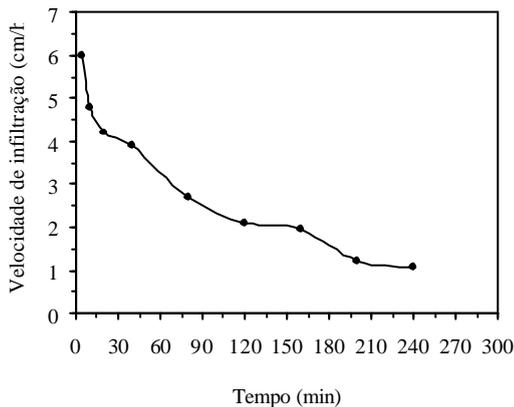


Figura 2. Velocidade de infiltração versus tempo - Solo 1.

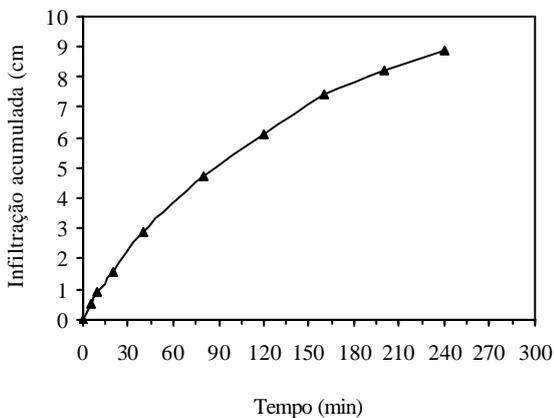


Figura 3. Infiltração acumulada versus tempo - Solo 1.

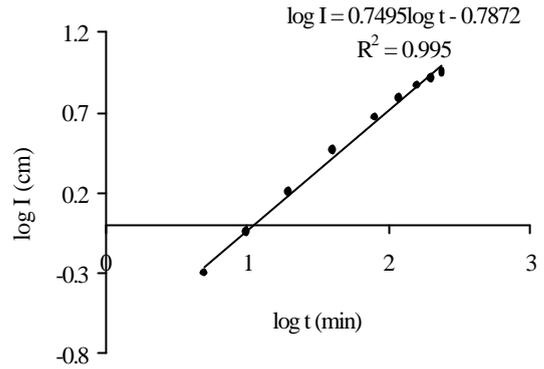


Figura 4. Logaritmo do tempo versus logaritmo da infiltração acumulada - Solo 1.

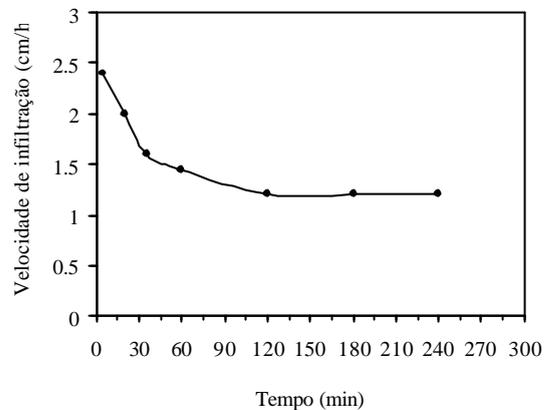


Figura 5. Velocidade de infiltração versus tempo - Solo 2.

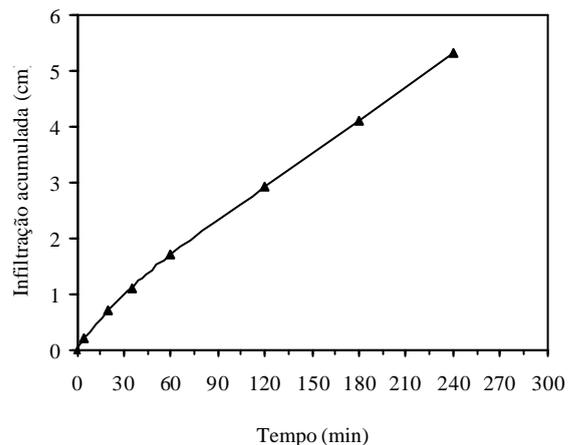


Figura 6. Infiltração acumulada versus tempo - Solo 2.

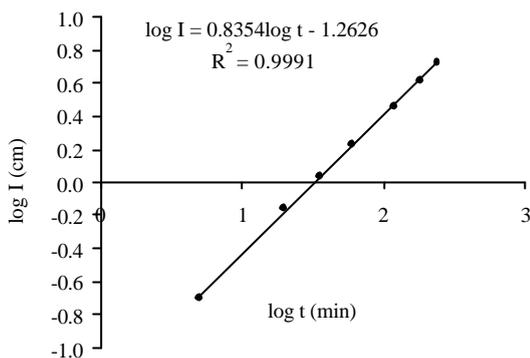


Figura 7. Logaritmo do tempo *versus* logaritmo da infiltração acumulada - Solo 2.

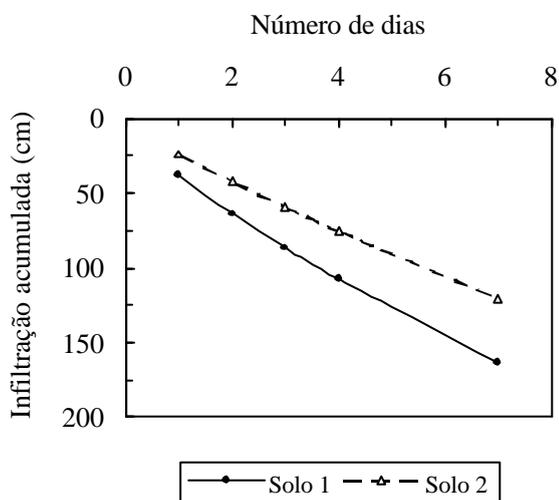


Figura 8. Evolução da infiltração acumulada *versus* número de dias de chuva acumulado para os solos 1 e 2.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da equação de infiltração do solo, é possível estimar a frente de umedecimento dos materiais e fornecer informações sobre a capacidade do solo em absorver água, se constituindo numa ferramenta bastante útil, de interesse prático.

Os valores encontrados reforçam os estudos anteriormente realizados, indicando a possibilidade da frente de umedecimento atingir profundidades que permitam a ocorrência de deslizamentos de terra superficiais, desde que a precipitação permaneça igual ou superior a infiltração básica, no período de pelo menos quatro dias consecutivos.

REFERÊNCIAS

- Elbachá, A. T., Campos, L. E. P.; Bahia, R. F. C. (1992). Tentativa de Correlação Entre Precipitação e Deslizamentos na Cidade de Salvador. 1^a Conferência Brasileira Sobre a Estabilidade de Encostas, V. II: 647-656.
- Reichardt, K. (1987). A Água em Sistemas Agrícolas. Editora Manole Ltda.
- Skempton, A. W. (1953). The Colloidal Activity of Clays, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, Proceedings, Zurich, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, V. 1:57-61.
- Vargas Jr., E. A.; Costa Filho, L. M.; De Campos, T. M. P. (1992). Análise de Infiltração em Solos de Encostas no Rio de Janeiro e sua Consequência na Estabilidade. 1^a Conferência Brasileira Sobre a Estabilidade de Encostas, V. III: 759-770.
- Vargas Jr., E. A.; Velloso, R. C.; De Campos, T. M. P.; Costa Filho, L. M. (1990). Saturated – Unsaturated Analysis of Water Flow in Slopes of Rio de Janeiro, Brazil. Computers and Geotechnics, V. 10.