



7^{mo}
Congreso de
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

PROCESSO DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA EM SOLO ARGILOSO PARA SUPERFÍCIES COM DIFERENTES DECLIVIDADES UTILIZANDO UM LISÍMETRO VOLUMÉTRICO

Process of water infiltration in clayed soils under different slopes inclination using
volumetric lysimeter

Nilton Santos Paes Junior ,^{1,2}; George de Paula Bernardes ³

¹ Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista (UNESP). Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, CEP 12516-410, Guaratinguetá/SP, fone:(12)3123-2128, e-mail: niltonjr.paes@gmail.com

² Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) - Bacia do Paraíba e Litoral Norte. Largo Santa Luzia, 25, CEP 12010-510, Taubaté/SP, fone:(12)3622-6748, e-mail: nilton.paes@daee.sp.gov.br

³ Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista (UNESP). Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, CEP 12516-410, Guaratinguetá/SP, fone:(12)3123-2128, e-mail: gpb@feg.unesp.br

Palavras-chave: lisímetro, balanço de água no solo, infiltração

Keywords: lysimeter, soil water balance, infiltration

ABSTRACT

The mobility of rain water that infiltrate in land with considerable slopes inclination is still not well understood, therefore, the present study aimed to evaluate, at the laboratory scale tests, the dynamic of water infiltration in clayed soil under different

surface slopes. The studies were conducted using a lysimeter made with glass plates with a volume capacity equal to 0.0324 cubic meters (0.90 m long, 0.15 m wide and 0.28 m high). The input water system used five spreaders to simulate the "rainfall simulator" which was developed and calibrated in the laboratory. During the tests, the runoff and base flow were evaluated by volumetric and temporal relations. The results indicate that with increasing slope there is an increase of the flow surface and reducing the infiltration and disposed groundwater volumes, but without reducing the speed of wetting front.

RESUMO

Tendo em vista a escassez de conhecimentos sobre a mobilidade da água de chuva em vertentes e taludes com declividades acentuadas, esse trabalho teve como objetivo avaliar, em nível laboratorial, a dinâmica da água em solo argiloso para diferentes declividades da superfície. Os estudos foram realizados em um lisímetro de vidro, com capacidade volumétrica igual a 0,0324 m³ (0,90 m de comprimento, 0,15 m de largura e 0,28 m de altura). Para a entrada da água no sistema utilizou-se um "simulador de chuva" desenvolvido e calibrado no próprio laboratório. No decorrer do ensaio, as parcelas de água, *runoff* e fluxo de base, foram avaliadas por meio de relações temporais e volumétricas. O avanço da frente de umedecimento foi monitorado por meio de uma câmera filmadora. Os resultados indicam que, com o aumento da declividade, ocorre aumento do escoamento superficial (*runoff*) e redução do volume infiltrado e do escoamento de base, porém, sem redução de velocidade da frente de umedecimento.

INTRODUÇÃO

A interferência antrópica no meio ambiente e a ocupação e utilização inadequada das terras vêm gerando a insustentabilidade dos recursos naturais (Fajardo *et al.*, 2010). Dentro desse contexto, a compreensão dos processos hidrológicos é fundamental para que se avance nos estudos ambientais, na gestão dos recursos

hídricos, no planejamento urbano e em projetos de obras hidráulicas. O tempo de residência da água nos diversos compartimentos da hidrosfera influencia, entre outros, a disponibilidade hídrica, a ocorrência de desastres como escorregamentos e inundações e a dinâmica de elementos, nutrientes e poluentes (Moraes *et al.*, 2003).

O processo de infiltração de água no solo, corresponde a parcela da precipitação que se move para o interior do solo sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte, que a retém, gerando com isso um armazenamento de água no solo (Libardi, 2000).

Segundo Pereira *et al.* (1997), cada tipo de solo apresenta uma capacidade de armazenamento ou retenção (Capacidade de Campo) específica. Assim, as propriedades físicas do solo, em especial, a textura e estrutura granular, podem afetar significativamente a sua Capacidade de Campo. Além disso, o conteúdo de água no solo é função do tamanho e do volume dos seus poros, estando a umidade intimamente relacionada à pressão capilar (Tucci, 1993). Já quanto à declividade do terreno, Ahrendt (2005) e Camarinha (2011) afirmam que a mesma não influencia na velocidade de infiltração propriamente dita, mas sim na quantidade de água disponível na superfície do terreno para ser infiltrada.

Além disso, segundo Miyazaki (2006), a declividade influencia na profundidade alcançada pela frente de saturação e no tempo necessário para que esta saturação ocorra.

Lisímetria

O estudo fez uso de dispositivo lisimétrico, que segundo Faria *et al.* (2006) consistem de tanques contendo solos representativos da área de interesse utilizados, sobretudo, para medir os componentes do balanço de água no sistema solo-planta-atmosfera, sob tratos culturais e condições climáticas específicas. O mesmo autor destaca ainda que dentre os vários métodos de medida de água no solo disponíveis, os lisímetros, além de serem largamente usados, são considerados padrões para aferição dos demais.

Segundo Campeche (2002), os lisímetros foram inicialmente desenvolvidos para a quantificação e qualificação da água do solo percolada em estudos hidrológicos, o que é confirmado por Kirkhan *et al.* (1984) in Carvalho *et al.* (2007), que mencionam que o dispositivo é uma estrutura destinada a medir, de maneira precisa, eventos de precipitação, evaporação e drenagem.

Em complemento, de acordo com Aboukhaled *et al.* (1982), citada por Cunha & Wendland (2005), os lisímetros são divididos em duas categorias: os não pesáveis, também chamados de volumétricos, de drenagem ou de compensação e os de pesagem ou gravimétricos.

Considerando que o Brasil se encontra em uma região de clima tropical úmido, com variações representativas dos índices pluviométricos ao longo do ano, assim como, da necessidade de se conhecer melhor o comportamento das variáveis hidrológicas do solo frente a essas variações, este trabalho tem por objetivo, quantificar em escala laboratorial, os processos de infiltração, retenção e percolação da água em um solo

argiloso sob diferentes declividades da superfície. Para isso, utilizou-se lisímetro de vidro, onde as parcelas de água foram avaliadas por meio de relações temporais e volumétricas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O solo argiloso ensaiado foi inicialmente colocado em bandejas galvanizadas para secar naturalmente. Em seguida, toda a amostra, cerca de 0.035 m³, foi submetida a um processo de destorroamento e retirada de raízes e pedregulhos.

O lisímetro, medindo internamente 90 cm de comprimento, 15 cm de largura e 28 cm de altura, foi construído em placas de vidro de 5 mm de espessura devidamente vedadas com borracha de silicone e contidas, em suas extremidades superior e inferior, com o emprego de cantoneiras de alumínio e parafusos.

Previamente ao preenchimento do dispositivo, foi confeccionada em seu fundo uma camada drenante, composta por pedrisco de diâmetro variando entre 1.70 e 2.00 mm e manta de geotêxtil não-tecido previamente saturada.

A coleta da água percolada pelas amostras, fluxo de base, se deu por um orifício de 10 mm de diâmetro, localizado no fundo do lisímetro, ao qual foi afixada uma conexão de PVC e uma mangueira para direcionamento do fluído às provetas de medição.

Visando garantir a uniformidade dos ensaios, o solo foi depositado no interior do lisímetro pelo processo "sand rain", mantendo-se uma altura de queda de aproximadamente 1 cm. Todas as vezes que a deposição completava 3 cm de altura, se procedia a compactação da camada por meio de um soquete de madeira de 140 g de peso, mantendo-se uma altura de queda de cerca de 1 cm.

Ao fim do processo de preenchimento do lisímetro, uma outra manta de geotêxtil nao-tecido foi disposta na superfície do solo, visando protegê-la contra possíveis processos erosivos e consequente carreamento de parte do material ensaiado.

Como todas as amostras foram moldadas com uma altura de 24.0 cm, e anéis volumétricos extraídos após cada ensaio, as propriedades físicas do solo em cada preenchimento foram determinadas e apresentadas na tabela 1, sendo os índices de vazios totais determinados através de correlações entre os demais índices físicos.

Tabela 1. Propriedades físicas das amostras.

Table 1. Physical properties of samples.

Declividade do Lisímetro	5%	30%	50%
Massa de solo (g)	39679.30	39860.70	38968.20
Volume de solo (g)	32400.00	32400.00	32400.00
Massa específica (g.cm ⁻³)	1.225	1.230	1.203
Índice de vazios	1.275	1.275	1.317

Os ensaios foram realizados com o reaproveitamento do solo, onde após cada ciclo, o material foi retirado do lisímetro e disposto em bandejas galvanizadas para a secagem.

Para a aplicação de água à superfície do solo do experimento fez-se o uso de 5 "bicos" de pulverizadores, modelo ultrajet, da marca Guarany®, afixados a um tubo de PVC de diâmetro de 3/4", o qual é alimentado pela rede de abastecimento do Laboratório. Os "bicos" foram distribuídos de forma a pulverizarem toda à superfície do solo contido no dispositivo lisimétrico de forma a não haver sobreposição das plumas de pulverização e posicionados à 30 cm de distância da superfície. A captação da água escoada pela superfície das amostras foi feita por meio de um recipiente plástico afixado a borda do lisímetro, e também conduzida por mangueira até as provetas de medição.

Visando a uniformização dos ensaios, procedeu-se a calibração prévia do "simulador de precipitação".

O esquema do ensaio é apresentado na Figura 1 e a foto do experimento na Figura 2.

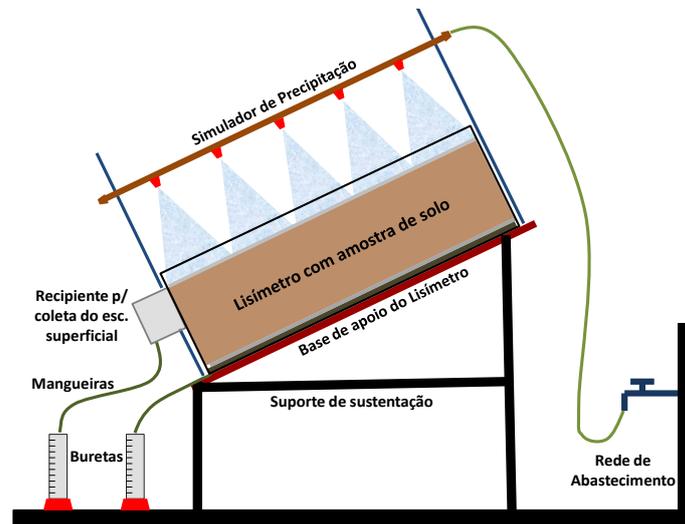


Figura 1. Esquema do ensaio.

Figure 1. Sketch of the test.



Figura 2. Foto do experimento.

Figure 2. Photo of the experiment

O ensaio se inicia com a abertura do registro de alimentação do "simulador de precipitação". O controle dos volumes de água escoados do sistema é realizado por buretas graduadas e cronômetro. O avanço da frente de umedecimento foi acompanhado através de uma fita métrica colada à parede do lisímetro e também através de uma câmera fotográfica. O experimento era encerrado assim que o escoamento básico se estabiliza, sendo então registrados os comportamentos dos escoamentos superficial e básico até que os mesmos não mais sejam observados.

A Figura 3 ilustra o avanço da frente de infiltração ao longo do ensaio.





Figura 3. Exemplo do processo de infiltração

Figure 3. Example of the infiltration front process

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os gráficos das Figuras 4, 5 e 6 apresentam os volumes precipitados, escoados e infiltrados obtidos nos ensaios, e na figura 7 são apresentadas as curvas de evolução da frente de saturação.

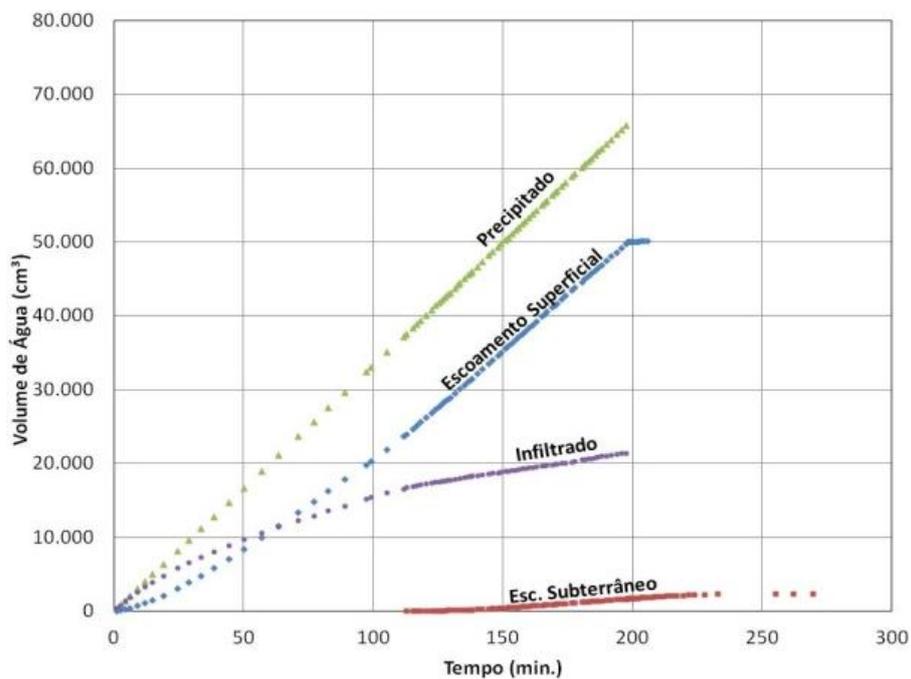


Figura 4. Declividade de 5%
Figure 4. Slope of 5%

Da observação das figuras pode-se constatar que, para um mesmo intervalo de tempo, quanto maior a declividade da superfície menor o volume infiltrado, confirmando assim as afirmações de Ahrendt (2005) e Camarinha (2011).

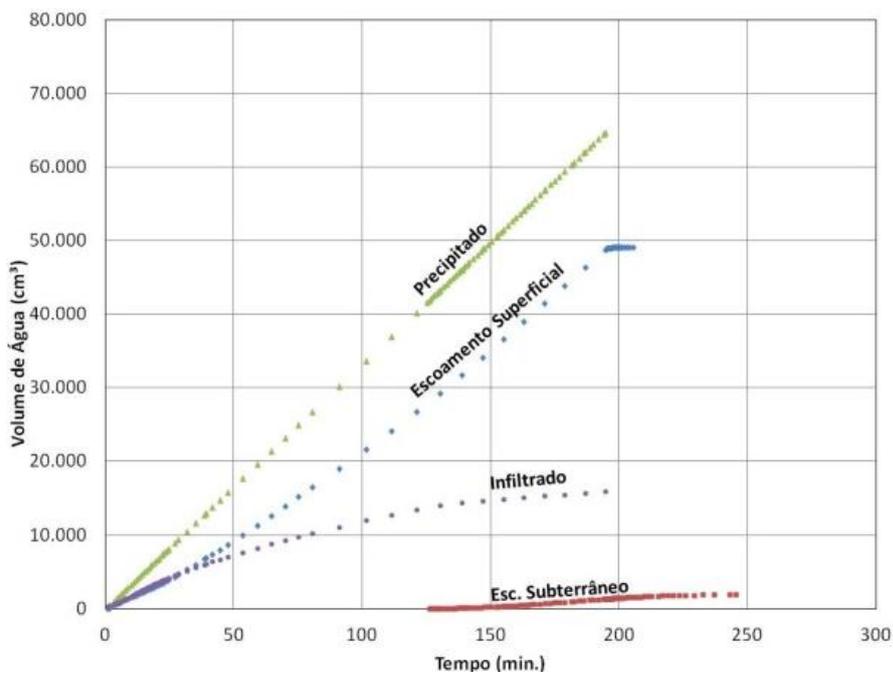


Figura 5. Declividade de 30%
Figure 5. Slope of 30%

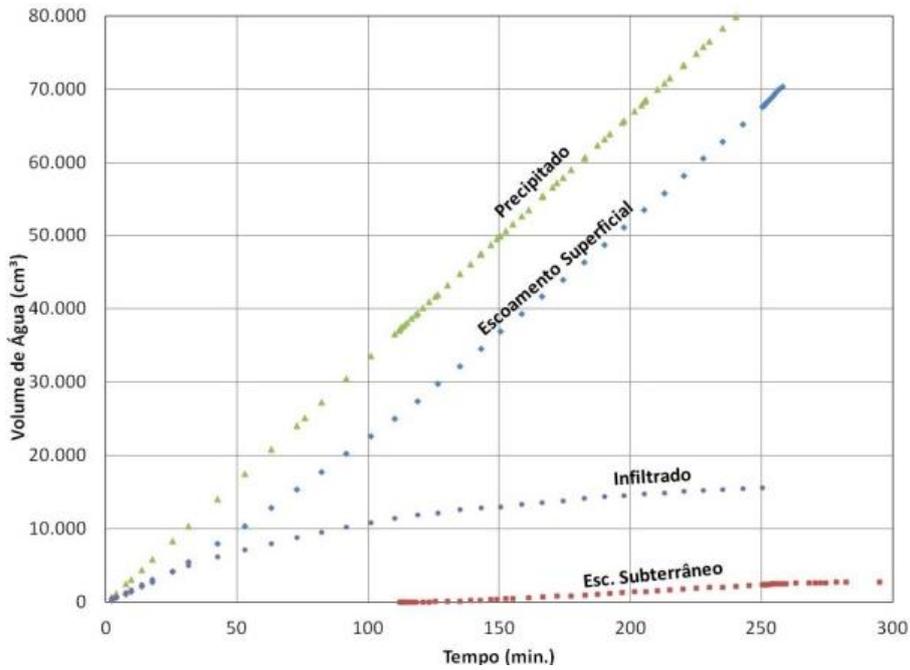


Figura 6. Declividade de 50%
Figure 6. Slope of 50%

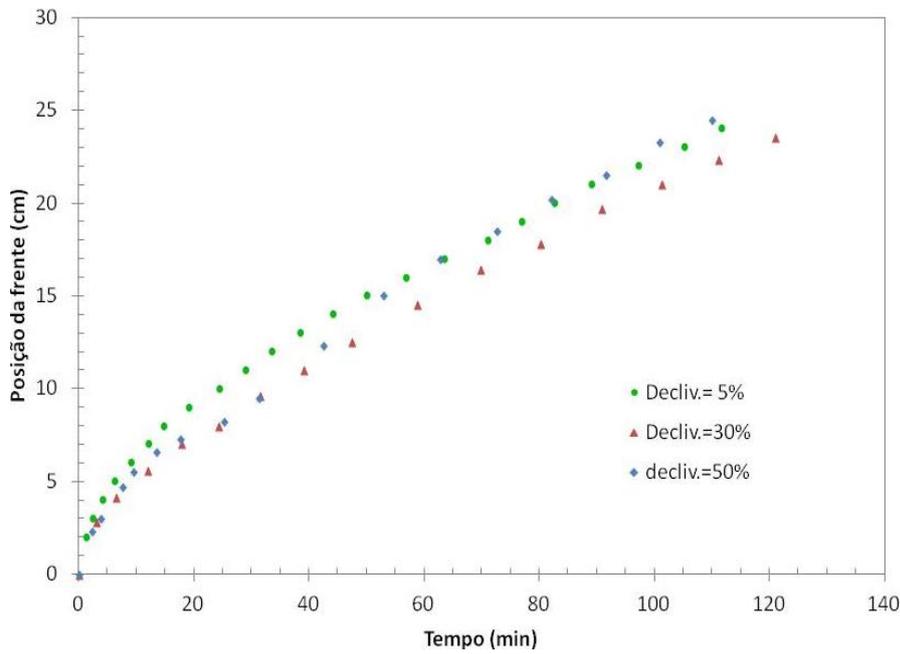


Figura 7. Evolução da frente de infiltração.
Figure 7. Evolution of the infiltration front.

Quanto a evolução da frente de infiltração observa-se praticamente um mesmo comportamento para as 3 declividades, não confirmando assim, para o solo ensaiado e sua condições iniciais, o colocado por Miyazaki (2006).

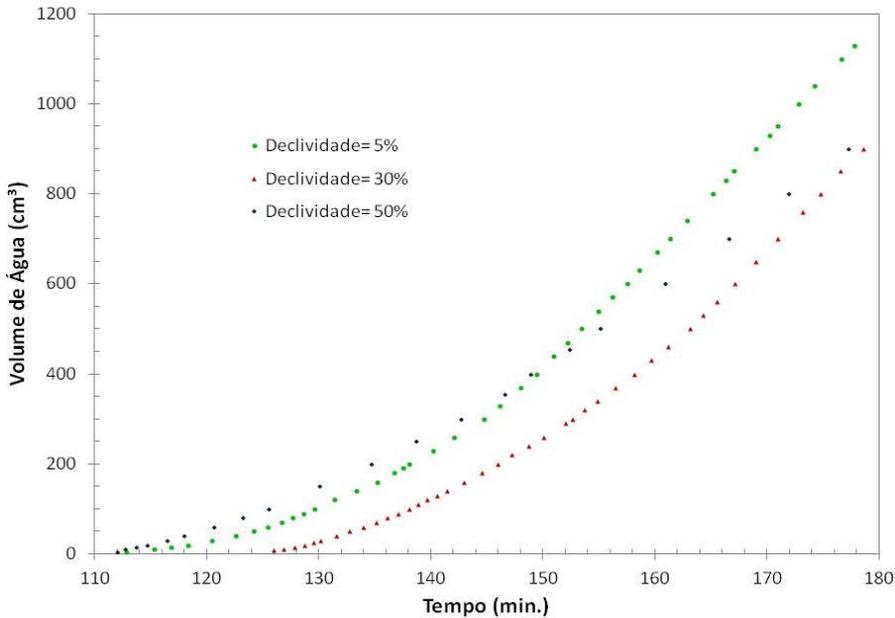


Figura 8. Início do escoamento subterrâneo
Figure 8. Beginning of the groundwater flow

Analisando-se as curvas dos escoamentos subterrâneos em uma escala mais apropriada (Figura 8), pôde-se observar que os tempos registrados para o início e estabilização dos mesmos foram muito semelhantes, confirmando o comportamento observado para a evolução da frente de infiltração. Assim, diferenças nos trechos iniciais e não lineares das curvas, indicam a influência de fatores como a ascensão capilar, umidade do geotextil, umidade do pedrisco e armazenamento de fundo do lisímetro.

Quando os escoamentos subterrâneos se estabilizaram, por volta de 160 minutos, observou-se um comportamento diferenciado para a declividade de 50%, (Tabela 2), com uma diminuição da declividade do trecho linear da ordem de 21.2%. Já os volumes de água retidos no solo não apresentaram variações significativas, ficando em torno de 14000 cm³ para todas as declividades ensaiadas.

Na fase final do ensaio, após o desligamento do simulador de chuva, observou-se a redução do volume drenado subterraneamente, com o aumento da declividade (Figura 9).

Tabela 2. Comportamento do escoamento subterrâneo
Table 2. Behavior of the groundwater flow

Declividade do Lisímetro	Coefficiente angular
5%	26.120
30%	26.332
50%	20.664

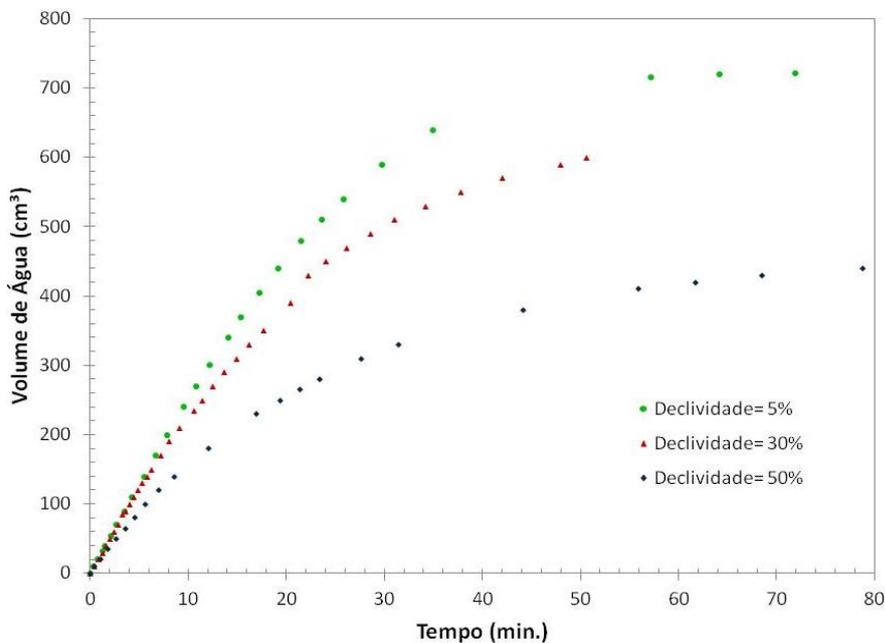


Figura 9. Escoamento subterrâneo após o fim da precipitação

Figure 9. Groundwater flow after the end of precipitation

CONCLUSÕES

A metodologia de ensaio desenvolvida através de lisímetros para o estudo dos mecanismos de infiltração, retenção e percolação, para diferentes declividades de superfície, apresentaram resultados satisfatórios, os quais permitiram quantificar todas

as parcelas de água envolvidas nas diferentes fases do processo, bem como nos permitiu calcular a quantidade de água nos sistemas, para às três declividades propostas.

O controle da frente de saturação através de uma fita métrica fixada na parede do lisímetro permitiu analisar a evolução da mesma de forma clara e objetiva.

Os resultados demonstram que, com o aumento da declividade da superfície, ocorre o aumento do escoamento superficial, com conseqüente redução do volume infiltrado e também diminuição do volume escoado subterraneamente, porém sem redução de velocidade da frente de infiltração.

O trabalho encontra-se na fase de determinação da curva característica do solo e modelagem dos processos através do programa Hydrus-1D.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abaukhaled A, Alfaro A & Smith M. 1982. Lysimeters. *Irrigation and Drainage Paper*. FAO, Rome: 68 p
- Ahrendt A. 2005. *Movimentos de massa gravitacionais - Proposta de um sistema de previsão: Aplicação na área urbana de Campos de Jordão - SP*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos: 390 p
- Camarinha PIM. 2011. *Mapeamento do potencial de infiltração como subsídio ao planejamento de microbacias de cabeceira. Uma proposta metodológica*

- utilizando geotecnologias*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Bauru: 120 p
- Campeche LFSM. 2002. *Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da cultura da lima ácida "Tahiti" (Citrus latifolia Tan)*. Tese de Doutorado em Irrigação e Drenagem, Escola Superior "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba: 67 p
 - Carvalho DF et al. 2007. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 27 (2): 363-372
 - Cunha AT & Wendland E. 2005. Uso de lisímetro para avaliação da infiltração em zona de afloramento da formação Botucatu, na região de São Carlos-SP. *Águas Subterrâneas*, São Paulo-SP, 19(2): 77-90
 - Fajardo JDV et al. 2010. Características hidrológicas do solo saturado na reserva florestal Adolpho Ducke - Amazônia Central. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, 34 (4): 677-684
 - Faria RTD, Campeche FDSM & Chibana EY. 2006. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, 10 (1): 237-242
 - Kirkhan RR, Gee GW & Jones TL. 1984. Weighing lysimeters for long-term water balance investigations at remote sites. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 48 (5): 1203-1205
 - Libardi PL. 2000. *Dinâmica da Água no solo*. 2ª ed. ESALQ, USP, Piracicaba, SP: 497p
 - Miyazaki T. 2006. *Water flow in soils*. 2ª ed. Taylor & Francis, New York: 418 p
 - Moraes JM. et al. 2003. Propriedades físicas do solo na parametrização de um modelo hidrológico. *RBRH, Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, 8 (1): 61-70

- Pereira AR, Villa Nova NA & Sedyiama GC. 1997. *Evapo(transpi)ração*. FAEALQ, Piracicaba
- Tucci CEM. 1993. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2ª ed. Edit. da Universidade, Porto Alegre- ABRH, EDUSP: 943 p