

VAZÕES AFLUENTES EM TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO DOMICILIAR

INPUT FLOWS FOR THE INFILTRATION TRENCH HOUSEHOLD

Alfredo Akira Ohnuma Júnior¹, Luciene Pimentel da Silva², Eduardo Mario Mendiondo³

^{1,2}Professor Dr. no Departamento de Engenharia Sanitária e de Meio Ambiente na Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ

¹E-mail: akira@uerj.br

²E-mail: luciene.pimenteldasilva@gmail.com.

³Professor Dr. na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, SP

E-mail: emm@sc.usp.br.

RESUMO

A impermeabilização do solo sem planejamento dificulta o processo de infiltração das águas pluviais em loteamentos residenciais, o que favorece o aumento da precipitação efetiva, além de diminuir o tempo de resposta da bacia. Nesse contexto, determinadas técnicas de controle do escoamento, como as trincheiras de infiltração, consolidam-se como alternativa para amenizar as dificuldades relacionadas aos volumes de águas precipitadas, especialmente nas condições de volume excedente. Este trabalho visa analisar vazões afluentes de eventos não induzidos com monitoramento de uma trincheira de infiltração durante 5 meses de tempo contínuo em lote urbano residencial. O dispositivo possui capacidade de até 5,7 m³ e área de 8,8 m² composto por geomanta, britas, terra e vegetação em grama. As descargas de infiltração foram monitoradas com 2 linígrafos automáticos e a precipitação com uma estação meteorológica instalada no lote. Os resultados estimam um volume de infiltração médio de 8 m³ ao mês para uma precipitação de 220 mm. As abstrações iniciais de 60 mm ao mês, equivalente a 24% do total precipitado, correspondem às perdas por evapotranspiração e armazenamentos não observados. O experimento contribui de forma significativa na determinação de volumes afluentes em trincheiras de infiltração como dispositivo compensatório em drenagem urbana.

Palavras-chave: trincheira de infiltração, armazenamento, águas pluviais.

ABSTRACT

The unplanned soil sealing hinders the process of infiltration of rainwater in residential settlements, which favors the increase of the precipitation, and reduce the response time of the basin. In this context, certain flow control techniques, such as infiltration trenches are consolidated as an alternative to alleviate the difficulties related to the volume of water precipitated, especially in conditions exceeding volume. This work aims to analyze inflows of non-induced events with monitoring a trench infiltration for 5 months of continuous time in residential urban lot. The device has a capacity of up to 5.7 m³ and area of 8.8 m² composed of geomanta, gravel, earth and vegetation in grass. The infiltration of discharges were monitored with 2 automatic linígrafos and precipitation with a weather station installed on the lot. The results infiltration estimate an average volume of 8 m³ per month for a rainfall of 220 mm. The initial abstractions of 60 mm per month, equivalent to 24% of total precipitation, evapotranspiration losses correspond to the stores and not observed. The experiment makes a significant contribution in determining volumes forecast in infiltration trencher as a compensatory measure in urban drainage.

Keywords: infiltration trench, storage, rainwater.

1 – INTRODUÇÃO

Condomínios residenciais ocupam grandes áreas, tornando-as impermeáveis, de modo que os volumes efluentes de escoamento superficiais tendem a ser maiores do que na saída de loteamentos ainda não ocupados por edificações, o que significa que a modificação da cobertura vegetal influencia na quantidade de vazões efluentes. A partir do instante em que se retira a camada original do solo, permite-se uma perda da capacidade de retenção da precipitação e da infiltração da água no solo, devido às mudanças nos processos hidrológicos locais (MARTINS, 2004). Os sistemas de infiltração da água da chuva podem ser integrados aos sistemas prediais de águas pluviais, de forma a reduzir o volume escoado e o amortecimento das vazões de pico do hidrograma de escoamento (REIS e ILHA, 2014).

Diferentes tipos de cobertura do solo desempenham funções variadas na geração do escoamento (WEI *et al.*, 2014). Eventos extremos indicam um aumento de até seis vezes do pico de cheia em relação ao pico anterior na condição de mudança do coeficiente de escoamento superficial, definido como sendo a relação entre o volume escoado e o volume total precipitado (FCTH-PMSP, 1999). O uso da terra é fator determinante no teor de umidade do solo, sobretudo quando há variação da profundidade do tipo de cobertura do solo (YANG *et al.*, 2014), o que pode afetar diretamente as condições do escoamento e armazenamento das águas pluviais. As propriedades físicas dos solos, sobretudo de umidade, causam dispersão ou coesão das moléculas de água no interior do solo criando condições de mudanças de temperaturas regionais no microclima a partir de alterações na geração do

escoamento, perda de massa e transporte de sedimentos (LEGATES *et al.*, 2011).

As trincheiras de infiltração são estruturas normalmente lineares capazes de armazenar a água por um determinado período de tempo, cuja infiltração ocorre naturalmente pela área de fundo do solo e áreas laterais da superfície. O preenchimento da valeta constituiu-se de material granular envolto por um filtro geotextil de forma impedir a entrada de material fino na estrutura. Em lotes urbanos, as trincheiras de infiltração tendem a reduzir os volumes de cheias e retardar os picos de hidrogramas (RECESA, 2007). A concepção de projeto das trincheiras de infiltração tem como objetivo principal mitigar os efeitos da urbanização como medida de controle na fonte sobre os processos hidrológicos da bacia, na forma de captação e armazenamento de águas pluviais em pequenas áreas de drenagem. Considerando-se o efeito da biorretenção associado à trincheira, as técnicas compensatórias se tornam de maior eficiência, sobretudo na adaptação para o controle da drenagem urbana a longo prazo, pois são responsáveis pela detenção para o controle de sedimentos e atenuação de cheias de forma simultânea (ROSA; MENDIONDO; SOUZA, 2013). Esses dispositivos possuem custo de implantação estimado em US\$ 60 (dólares) por metro cúbico construído e custo de operação e manutenção em torno de US\$ 20 (dólares) por metro cúbico construído anualmente (OHNUMA JÚNIOR; MENDIONDO, 2015). Na implantação de um sistema integrado de trincheiras, é possível reduzir os custos no loteamento em relação à sua aplicação em um lote individual (GRACIOSA; MENDIONDO; CHAUDHRY, 2008b). Este trabalho visa analisar vazões de infiltração a partir de eventos não induzidos precipitados sobre superfície de captação direcionada para uma trincheira de infiltração instalada em lote urbano.

2 – METODOLOGIA

A trincheira de infiltração está localizada em área do Condomínio Residencial Samambaia, extremo norte do município de São Carlos, SP, distante 230 Km do município de São Paulo-SP. A área de estudo pertence à micro-bacia hidrográfica do Córrego do Jararaca, pertencente ao Rio Quilombo, como afluente do Rio Mogi Guaçu (Figura 1). A precipitação média anual na região é de 1400 mm, com temperaturas máxima e mínima respectivamente de 27 °C e 15 °C (CEPAGRI, 2015).

O condomínio possui área total aproximada de 41,5 hectares (ha), sendo: 4,2 ha de áreas de lazer (10%), 10,4 ha de arruamentos do tipo asfáltico (25%), 3,4 ha de área institucional (8%) e 23,1 ha (56%) destinado para ocupação residencial. Cerca de 3325 m² corresponde à faixa de proteção ambiental (PMSC, 1997). Ao todo são 880 unidades loteadas no condomínio com dimensão aproximada de 260 m² por lote. Até meados do ano 2014, praticamente todos os lotes estavam ocupados por edificações, com pequena parcela de solo exposto.

O lote experimental deste estudo possui área total aproximada de 507 m², correspondente à duas unidades de lotes, com área de contribuição de 160 m² para a trincheira conforme declividade do terreno, sendo 120 m² de grama e 40 m² de concreto (Figura 2).

O método de dupla massa, utilizado neste estudo, consiste de análise de consistência de dados pluviométricos entre a estação meteorológica de referência instalada no lote e 03 (três) estações vizinhas.

Figura 1 – Regiões hidrográficas do município de São Carlos, SP e Loteamento Residencial Samambaia (PMSC, 2007, adaptado)

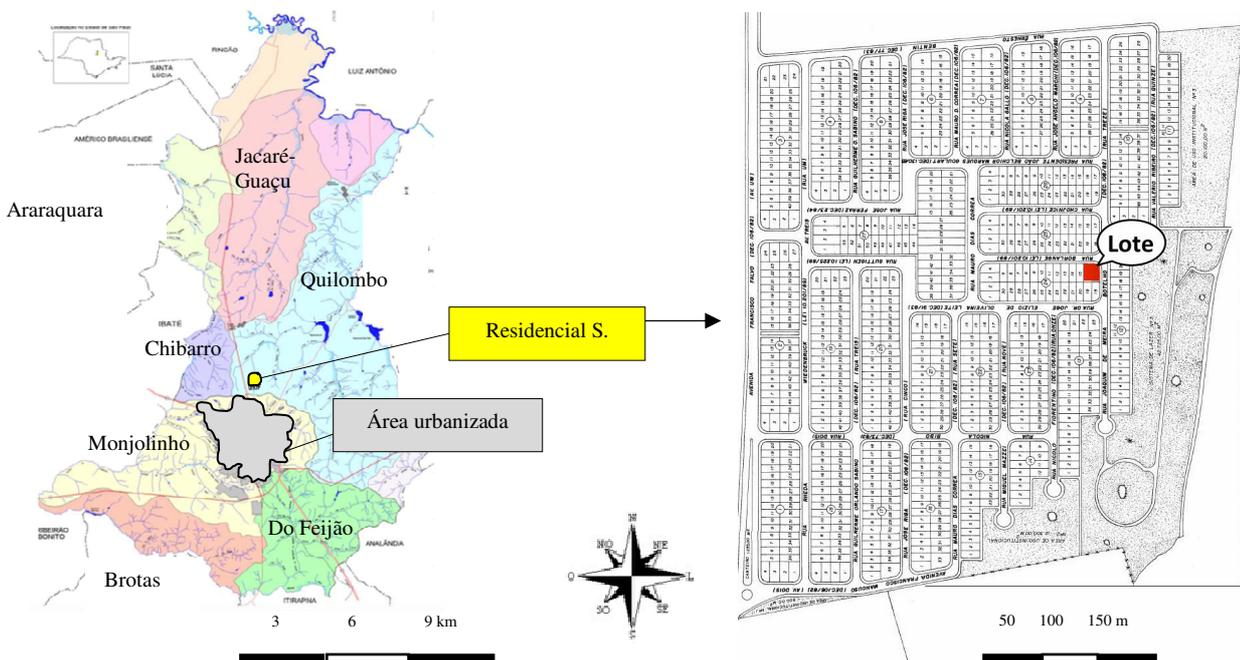
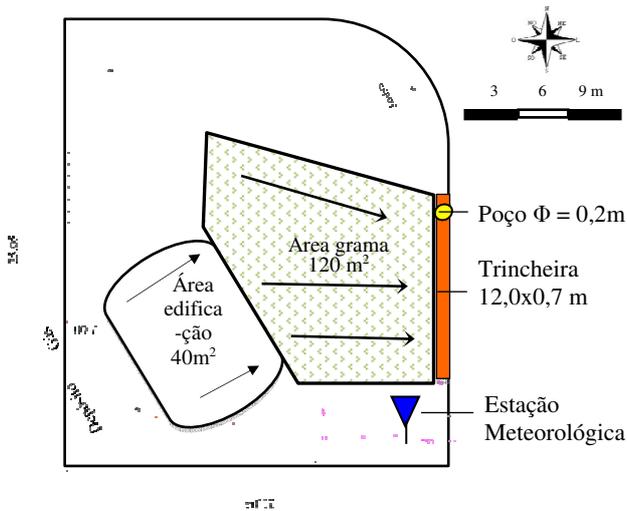


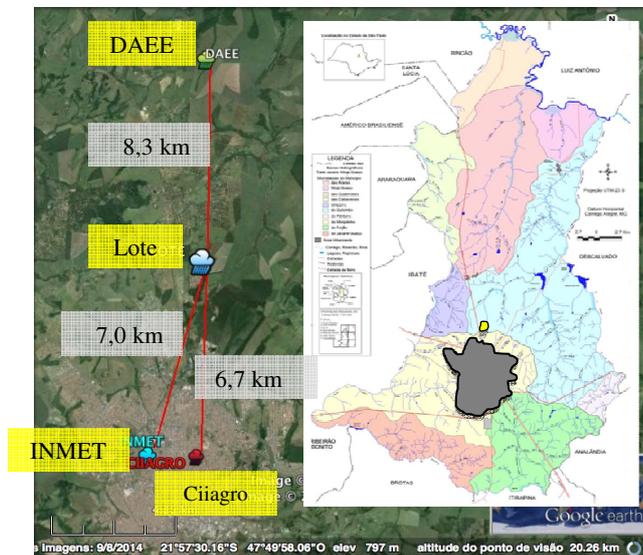
Figura 2 – Esquema de implantação da trincheira de infiltração em lote residencial



Para análise da consistência de dados pluviométricos a partir de dados observados em postos pluviométricos vizinhos à estação instalada no lote, utilizou-se o Método da Curva Dupla Massa ou Análise de Dupla Massa, utilizado para séries mensais. O método depende da elaboração de um gráfico cartesiano, onde se relacionam os totais mensais acumulados do posto observado nas ordenadas e dos postos vizinhos nas abscissas. Considera-se que os valores tem consistência quando há proporcionalidade nos valores do posto em análise aos dados observados pelos postos vizinhos a partir do alinhamento obtido por uma reta, cuja declividade determina o fator de proporcionalidade entre as séries.

Os dados pluviométricos de estações vizinhas correspondem aos postos do: Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIAGRO, 2014), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE, 2014) e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014), todas localizadas no município de São Carlos, SP (Figura 3).

Figura 3 – Localização de postos pluviométricos de São Carlos, SP



Após a consistência dos dados pluviométricos a partir do Método de Análise de Dupla Massa obteve-se a caracterização do período hidrológico do monitoramento, compreendido entre 13 de novembro de 2006 e 19 de março de 2007. Os dados agrupam-se em 128 eventos sub-diários distribuídos em 84 dias com registros de precipitação, o que resulta 66% do período classificado como úmido ou com algum evento sub-diário registrado. A identificação do evento para classificação entre dia úmido e dia seco foi a partir do registro mínimo na balsa ou coletor da estação de 0,25 mm. As intensidades pluviométricas calculadas estão entre 2 e 75 mm/h, com duração máxima de precipitação encontrada de 276 min. Na Tabela 1 são apresentadas as características dos eventos organizados mensalmente, correspondentes aos dias úmidos, secos e o total precipitado. Foram desprezados eventos entre 27:01:07 e 30:01:07 por falha de registros.

Tabela 1 – Caracterização sazonal da precipitação

Mês	Quantidade de dias		P (mm)
	Úmidos	Secos	
Nov ⁽¹⁾	09	09	115,0
Dez	21	10	246,4
Jan	26	05	366,6
Fev	18	10	239,6
Mar ⁽²⁾	10	09	115,4
Total	84	43	1.083,0

Nota: ⁽¹⁾ de 13:11:2006 até ⁽²⁾ 19:03:2007. P: Precipitação mensal.

Os eventos também estão caracterizados, conforme estiagem antecedente máxima (EAM), o que significa período imediatamente anterior ao evento do dia sem registro de chuvas. A capacidade de infiltração da água no solo depende de período seco antecedente correspondente à umidade. À medida que ocorre precipitação logo após este período maior tende a ser o volume infiltrado devido ao maior intervalo de estiagem. O período consiste de análise do término da chuva anterior e início do próximo evento (Tabela 2). A precipitação P_i corresponde a precipitação total do mês acumulada anterior ao período de EAM.

Tabela 2 – Estiagem antecedente máxima (EAM) mensal

Mês:Ano	EAM (hh:mm)	Data	P_i (mm)
Nov:2006 ⁽¹⁾	122:50	25:11:06	30,5
Dez:2006	95:16	20:12:06	45,0
Jan:2007	58:40	13:01:07	15,1
Fev:2007	156:21	18:02:07	19,2
Mar:2007 ⁽²⁾	137:35	06:03:07	0,8

Nota: ⁽¹⁾ desde 13:11:2006 até ⁽²⁾ 19:03:2007. EAM: Estiagem Antecedente Máxima; P_i : Precipitação anterior.

O período máximo sem chuva antecedente foi de aproximadamente 6,5 dias, observado entre 12:02:2007 e 18:02:2007. A influência dos dias secos, correspondente à estiagem antecedente reflete diretamente na capacidade de infiltração da água, dadas às condições de maior volume de vazios nas partículas do solo. Para identificação do evento na classificação entre dia úmido e dia seco foi considerada a acurácia ou a precisão do pluviômetro da estação meteorológica de marca *Davis Vantage Pro*, com registro mínimo na balsa ou coletor de 0,25 mm. Na tabela 3 são apresentadas as coordenadas geográficas e distâncias

correspondentes entre as estações pluviométricas vizinhas ao lote.

Tabela 3 – Coordenadas geográficas de estações no município de São Carlos, SP e totais pluviométricos mensais (mm)

Coord.:Mês:Ano	Lote	Ciiagro ⁽¹⁾	DAEE ⁽²⁾	INMET ⁽³⁾
Latitude S	21°57'30"	22°01'00"	21°53'00"	22°01'00"
Longitude O	47°53'00"	47°53'00"	47°53'00"	47°54'00"
Distância do Lote (km)	---	6,70	8,30	7,00
Nov:2006	158,5	146,8	147,9	164,6
Dez:2006	246,4	233,0	244,5	270,0
Jan:2007	453,7	328,8	253,7	260,2
Fev:2007	239,6	205,0	218,8	217,3
Mar:2007	148,8	158,0	174,4	171,0
Total	1.247,0	1.071,6	1.039,3	1.083,1

Nota: ⁽¹⁾ Média mensal entre 1992 e 2014; ⁽²⁾ Média mensal entre 1970 e 1995; ⁽³⁾ Média mensal entre 1962 e 1998.

O dimensionamento da trincheira é baseado no Método da Curva Envelope ou *Rain Envelope Method* (REM), que consiste do cálculo do volume de armazenamento como a diferença entre o volume de entrada e o volume de saída da trincheira (JONASSON, 1984 e URBONAS; STAHR, 1993).

A trincheira foi executada para captação das águas pluviais do telhado da edificação com área de 40 m² e parte de área do terreno em grama com área de 120 m², à medida que ocorre a saturação do solo. A trincheira encontra-se posicionada na cota mais baixa do lote. Após escavação da vala e revestimento com manta geotextil, utilizou-se brita nº 2 para o preenchimento da trincheira (Figura 2a) por obter permeabilidade média ou condutividade hidráulica de 0,25 m/s e cobertura de acabamento com terra e grama do tipo esmeralda, pela facilidade de manutenção e boa capacidade de infiltração. As tubulações em PVC longitudinais à trincheira estão perfuradas de forma obter volumes afluentes ao dispositivo provenientes da área de captação do telhado da edificação. A Figura 2b ilustra o comportamento da umidade na superfície drenante da trincheira após determinado período de eventos de precipitação. Em julho:2006 a foto ressalta época de baixo volume precipitado e em novembro:2006 indica à operação da trincheira devido ao elevado volume infiltrado observado pela diferença de cores no registro fotográfico.

Figura 2a – Manta geotextil e preenchimento com brita



Figura 2b – Efeito da umidade na trincheira de infiltração



Na Tabela 4 são apresentados os dados hidrológicos utilizados no dimensionamento da trincheira e as características principais correspondentes ao dispositivo.

Tabela 4 – Dados hidrológicos e características do dispositivo

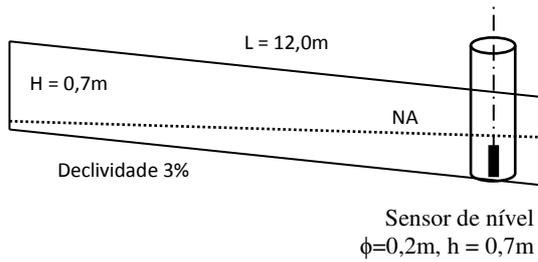
Dado	Descrição	Valor	Unidade
<i>T</i>	Período de retorno	2,0	anos
<i>I</i>	Intensidade pluviométrica	50,0	mm.h ⁻¹
Φ	Porosidade da brita	45,0	%
<i>C</i>	Sortividade do solo	5,7x10 ⁻³	m ³ .s ⁻¹ .m ⁻²
<i>A_{ed}</i>	Área edificação	40,0	m ²
<i>A_{gr}</i>	Área grama	120,0	m ²
<i>C_{eed}</i>	Coef. escoam. da edificação	0,9	-
<i>C_{egr}</i>	Coef. escoam. da grama	0,15	-
<i>F</i>	Fator de segurança	3	-
<i>V_i</i>	Volume útil da trincheira	1,08	m ³
<i>H</i>	Altura útil da trincheira	0,7	m
<i>B</i>	Largura da trincheira	0,7	m
<i>L</i>	Comprimento da trincheira	12,0	m

A análise granulométrica conjunta utilizando as ABNT NBR 6502:1995 e 2395:1997 permite classificar o solo como: areia média a fina marrom claro com a seguinte composição: 5% areia grossa, 38% areia média, 21% areia fina, 12% silte e 24% argila, cuja composição textural revela solo tipo franco-argilo-arenoso, conforme classificação de solo definida pela USDA (SOIL SURVEY DIVISION STAFF, 1993). Esta classe de textura do solo representa grupo hidrológico tipo C com condutividade hidráulica saturada média de 4,3 mm/h (RAWLS; BRAKENSIEK; SAXTON, 1982).

Para evitar o processo de colmatagem ou de redução da condutividade hidráulica no interior do dispositivo, foram instaladas mantas geotexteis de recobrimento da área escavada. Durante os intervalos de eventos de precipitação, a fase crítica do processo de colmatagem é interrompida à medida que não há suprimento de água de forma contínua para o interior do dispositivo. No entanto, são recomendadas inspeções periódicas, especialmente nos períodos de maior frequência de chuvas.

As medições dos volumes afluentes à trincheira foram realizadas de forma contínua com uso de linígrafos automáticos de precisão, que permitem realizar leituras de níveis a cada minuto. Localizado na seção jusante da estrutura, foi instalado um poço de monitoramento, cujo volume de armazenamento considera a distribuição do nível d'água em todo perfil, inclusive a distribuição do volume em função da declividade (equação 1). Nesse caso, à medida que há infiltração na área superficial da trincheira, o escoamento ocorre por gravidade até junto ao poço. As medições são acompanhadas de registros na memória do *datalogger* do equipamento, com capacidade para um intervalo de coleta de até 7 dias, conforme intervalo de discretização de 1 minuto. Na Figura 3 é ilustrado o esquema de instalação do linígrafo no poço de 20 cm de diâmetro, capaz de monitorar os volumes efluentes à trincheira de modo instantâneo à medida que há saturação no perfil de umidade do solo.

Figura 3 – Esquema longitudinal da trincheira e poço de monitoramento com sensor de nível



O volume de armazenamento V_{armaz} na trincheira foi obtido a partir do monitoramento de nível localizado na seção jusante da trincheira, conforme Equação 1. O cálculo do volume considera o nível d'água distribuído em toda seção da trincheira (GRACIOSA, 2007).

$$V_{armaz}(t) = \left\{ \frac{2 \cdot \left[\frac{h(t)}{h_0} \cdot (B-b) + b \right] + b}{2} \cdot h(t) \right\} \cdot \frac{h(t)}{h_0} \cdot \frac{L}{2} \cdot \phi_b \quad (1)$$

Em que: V_{armaz} : volume de armazenamento (m^3); $h(t)$: nível medido no poço de monitoramento (m); h_0 : altura da trincheira (m); b : base menor da seção transversal da trincheira (m); B : base maior da seção transversal da trincheira (m); L : comprimento da trincheira (m); ϕ_b : porosidade da brita.

O volume afluente à trincheira V_{af} é obtido pelo produto da precipitação com a respectiva área de contribuição e coeficiente de escoamento correspondente, conforme Equação 2. As áreas de drenagem e de contribuição à trincheira com $160 m^2$ referem-se: ao jardim em grama e à edificação principal.

$$V_{af} = \frac{P}{10^3} \times \sum_{i=1}^n (A_i \times C_{e_i}) \quad (2)$$

Em que: V_{af} : volume afluente ou precipitado (m^3); P : precipitação (mm); A_i = área de contribuição (m^2); C_{e_i} : coeficiente de *runoff*.

As perdas iniciais foram estimadas como o valor da precipitação acumulada imediatamente anterior ao instante em que se inicia o escoamento. O volume efluente, também denominado volume de infiltração, foi obtido pela diferença entre o volume afluente e a variação do volume de armazenamento na trincheira, conforme Equação 3.

$$\Delta V_{armz} = V_{af} - V_{ef} \quad (3)$$

Em que: ΔV_{armz} : variação de volume na trincheira (m^3); V_{af} : volume afluente à trincheira (m^3); V_{ef} : volume efluente à trincheira (m^3).

O cálculo da lâmina equivalente ou efetiva de escoamento sub-superficial foi obtido pela relação entre o volume armazenado e a parcela de área de contribuição do escoamento superficial ao poço, cujo valor considera o coeficiente de escoamento correspondente à área, conforme Equação 4.

$$L_{eq} = \frac{V_{armz}}{\sum_{i=1}^n (A_i \times C_{e_i})} \times 10^3 \quad (4)$$

Em que: L_{eq} : lâmina efetiva de escoamento subsuperficial (mm); V_{armz} : volume armazenado (m^3); A_c : área de contribuição (m^2); C_{e_i} : coeficiente *runoff*. No coeficiente de *runoff* utilizou-se $C_{egr} = 0,15$ para cobertura em grama exposta a solo arenoso de pequena a média declividade entre 2% e 7% e $C_{eed} = 0,90$ para uso como edificação (ASCE, 1992).

Na composição dos valores precipitados e infiltrados mensais, $I_a + F$, atribui-se aos mesmos valores de perdas reais decorrentes dos diferentes processos hidrológicos que ocorrem no lote, especialmente por evapotranspiração e acúmulos d'água não observados.

As perdas correspondentes a I_a referem-se àquelas imediatamente antes do início do escoamento, ou seja, é uma pequena parcela escoada para dentro da trincheira ou superficialmente sobre a área de captação do dispositivo. As perdas F consistem de toda parcela de chuva precipitada sobre o lote e também não observada. Neste caso, são eventos pluviométricos sem geração de escoamento subsuperficial, ainda que tenha ocorrido infiltração através da trincheira, sem dados observados. Como há provável contribuição de I_a e F na precipitação afluente P_{af} , os valores estão corrigidos pela Equação 5.

$$I_a + F = P_T - P_{af} \quad (5)$$

Em que: I_a : perdas iniciais em mm; F : perdas por infiltração não observada em mm; P_T : precipitação total em mm; P_{af} : precipitação afluente à trincheira em mm.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os totais precipitados durante o período de análise de dados observados pela estação meteorológica instalada no lote estão cerca de 20% acima dos totais obtidos pelas estações vizinhas, baseado na média de precipitação mensal correspondente ao período de até 4 décadas retrospectivas e condições de dados históricos disponíveis. Na análise de consistência pelo Método de Curva Dupla Massa, os resultados revelam homogeneidade na relação de dados disponíveis pela estação instalada no LOTE com as estações pluviométricas vizinhas: CIIAGRO (Figura 4), DAEE (Figura 5) e INMET (Figura 6).

Figura 4 – Curva Dupla Massa entre estação do lote e CIIAGRO

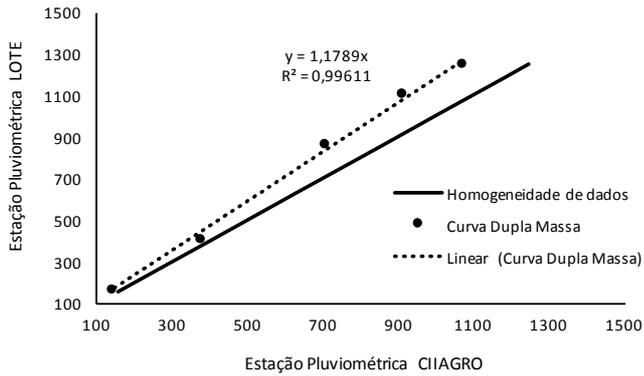


Figura 5 – Curva Dupla Massa entre estação do lote e DAEE

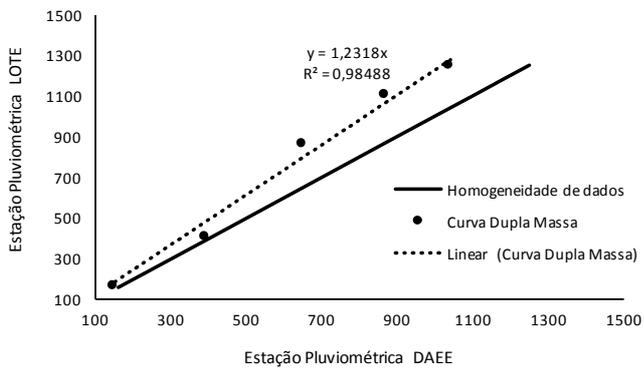
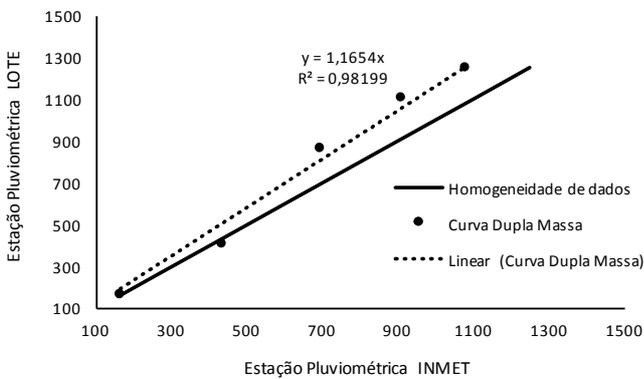


Figura 6 – Curva Dupla Massa entre estação do lote e INMET



A série histórica de dados de precipitação obtida das estações CIIAGRO (Figura 4), DAEE (Figura 5) e INMET (Figura 6), vizinhas à estação no lote, apresentaram um grau de homogeneidade de 99,6%, 98,5% e 98,2%, respectivamente. A declividade de cada reta pontilhada das Figuras 4, 5 e 6, gerada pela Curva Dupla Massa, indica o fator de proporcionalidade correspondente as séries dos postos vizinhos com o posto em análise do lote. As diferenças de declividade das retas ocorrem por erros sistemáticos do pluviômetro, alterações climáticas, e pequenas variações do regime pluviométrico dadas às distâncias entre os postos.

A partir da análise de consistência dos dados de precipitação determinados pelo pluviômetro instalado no lote foram calculados os volumes de entrada e saída na trincheira, como: os volumes afluentes ou precipitados e os

volumes de armazenamento temporário ou de infiltração. Também foram determinadas as lâminas correspondentes à precipitação acumulada e a precipitação efetiva acumulada ao escoamento interior à trincheira.

Nas Figuras 7, 8, 9 e 10 são indicadas as lâminas de precipitação (linha contínua) e de escoamento sub-superficial (linha pontilhada) na trincheira, cujos valores correspondem aos volumes armazenados temporariamente até o nível máximo adquirido pelo evento para posterior infiltração. Durante cada evento é observado o total de volume afluente, assim como a variação do volume infiltrado, correspondente à vazão de infiltração, cujos valores são obtidos a partir da geometria da seção transversal da trincheira, da declividade e da altura do nível d'água. A evapotranspiração no cálculo foi desprezada, devido lâminas de infiltrações com tempo de concentração inferior a 1 min e não observadas no monitoramento. Os gráficos das figuras ilustram os eventos principais de forma a demonstrar o comportamento dos volumes totais precipitados e de escoamento superficial no dispositivo.

Figura 7 – Lâmina de escoamento e precipitação acumulada em 29:11:2006

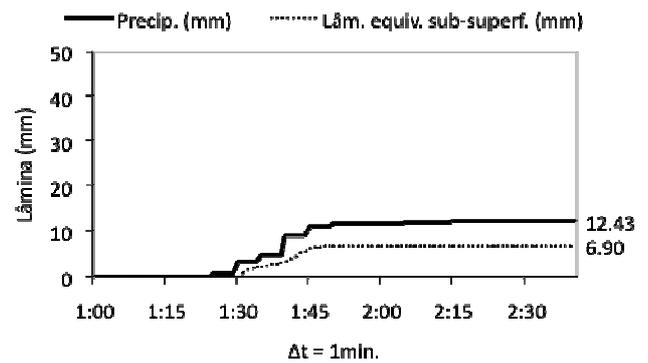


Figura 8 – Lâmina de escoamento e precipitação acumulada em 20:12:2006

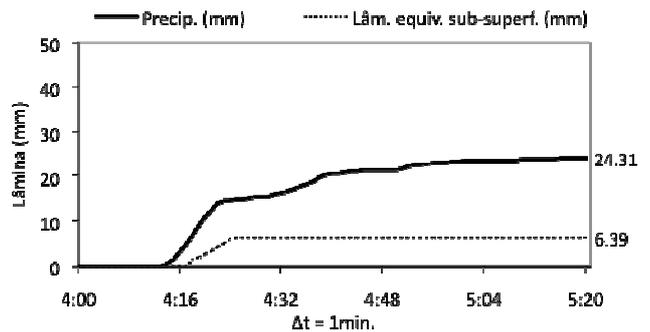


Figura 9 – Lâmina de escoamento e precipitação acumulada em 26:02:2007

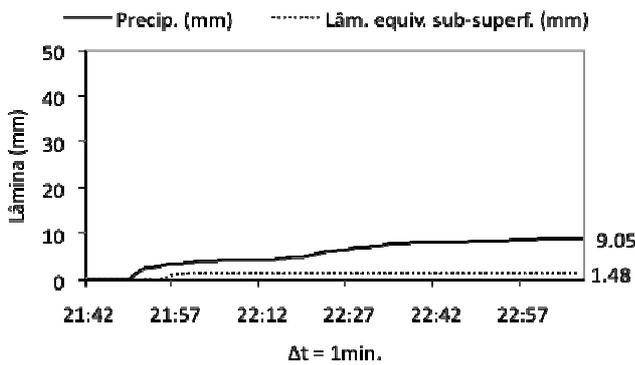
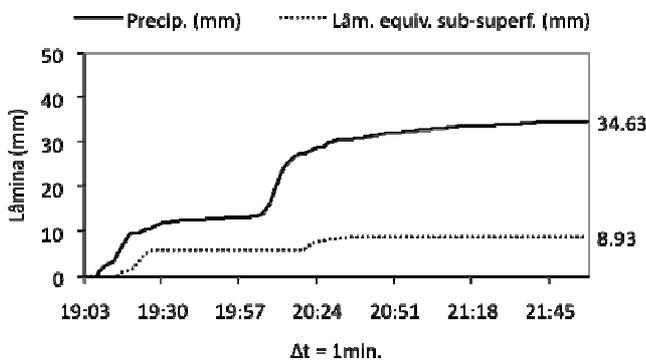


Figura 10 – Lâmina de escoamento e precipitação acumulada em 27:02:2007



Embora com precipitação total superior, o evento de 20:12:2006 obteve menor lâmina de escoamento sub-superficial correspondente à vazão de infiltração que o evento em 29:11:2006, devido provavelmente ao tempo de estiagem antecedente em 20:12:2006 ser duas vezes superior ao tempo seco em 29:11:2006. Isto significa maior volume de infiltração no evento em 29:11:2006, à medida que ocorre maior volume de escoamento sub-superficial.

A relação entre o volume de infiltração e o volume afluente, neste dia, indicam um coeficiente de escoamento sub-superficial equivalente a 0,56 o que significa que 56% do volume precipitado gerou escoamento sub-superficial. Em 20:12:2006 foram estimados 26% de volume infiltrado em relação ao volume total precipitado, similar ao ocorrido em 27:02:2007.

As Figuras 11, 12, 13 e 14 correspondem à análise dos eventos de forma obter os volumes afluentes (*Vol. afluente*: linha contínua), volumes armazenados (*Vol. armz*: linha tracejada) e volumes de infiltração (*Vol. infilt*: linha pontilhada). No final de cada evento, todo volume afluente é equivalente ao volume de infiltração e o volume armazenado temporariamente significa parcela do escoamento superficial que penetrou na trincheira. Baixas precipitações revelam pouca necessidade de uso da trincheira, quando instalada à jusante de áreas permeáveis, pois os volumes amortizados são pequenos (Figura 13).

Por outro lado, precipitações elevadas e associadas a períodos de baixa estiagem antecedente resultam escoamentos significativos pela trincheira (Figuras 11, 12 e 14).

Figura 11 – Volumes de infiltração em 29:11:2006

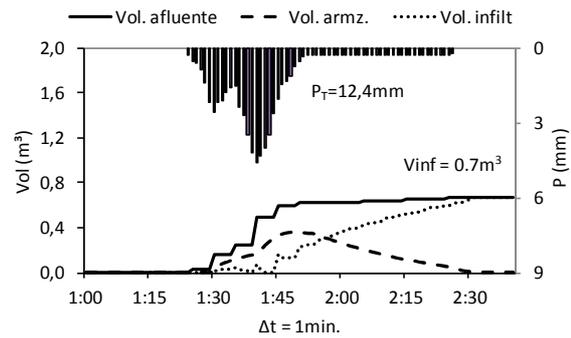


Figura 12 – Volumes de infiltração em 20:12:2006

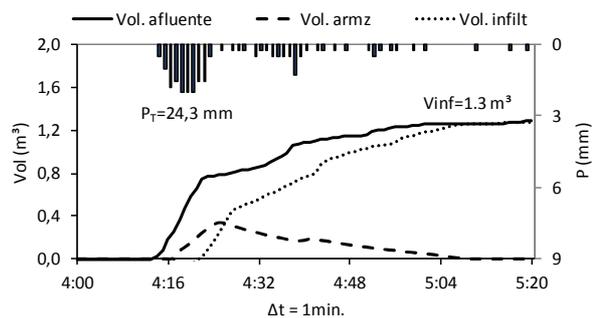


Figura 13 – Volumes de infiltração em 26:02:2007

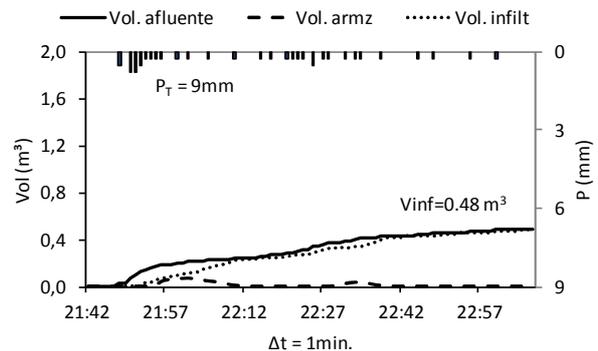
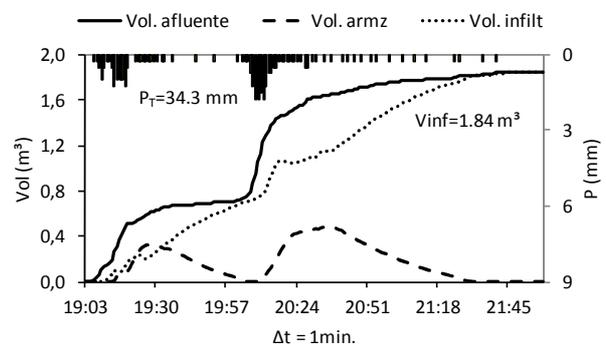


Figura 14 – Volumes de infiltração em 27:02:2007

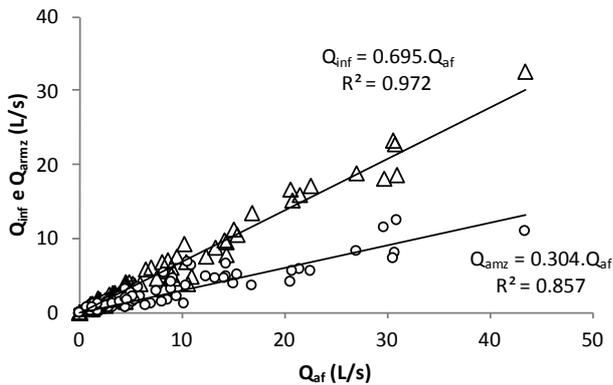


Do volume total precipitado que entra na trincheira correspondente à vazão afluente, cerca de 30% é armazenado temporariamente para posterior infiltração. Este resultado reflete significativamente com a simulação hidráulica apresentada por GRACIOSA, MENDIONDO e CHAUDHRY (2008a), que obtiveram na condição de

saturação do solo uma infiltração de 40% da chuva de projeto. Os outros 70% consistem de infiltração sem armazenamento, ou seja, não há acúmulo de vazão afluyente dentro do dispositivo. Os resultados estimam ainda que cerca de 20% da precipitação total são perdas decorrentes de volumes não monitorados nos cálculos, como: lâminas de rápida infiltração, evapotranspiração e acúmulos de volume d'água em micro-depressões de áreas impermeáveis. Essas perdas estão relacionadas à capacidade de armazenamento do solo num curto espaço, devido ao baixo tempo de concentração do escoamento no lote residencial. Precipitações com valor abaixo de 2 mm e de longa duração resultam lâminas pequenas, sendo desprezadas ou consideradas como de rápida infiltração, podendo ou não adentrar no dispositivo. Em estudo similar na cidade de Rio Claro, SP, Moruzzi; Trindade (2011) estimaram uma redução de 60% do volume escoado para um período de retorno de 2 anos.

Na Figura 15 é apresentado o comportamento de resposta das vazões afluentes Q_{af} em função das vazões de infiltração Q_{inf} em cada evento, assim como o resultado das vazões afluentes em relação às vazões de armazenamento Q_{armz} . Para determinação das vazões de infiltração Q_{inf} foram desprezados os eventos sem armazenamento ou com nível d'água igual a zero.

Figura 15 – Relação entre vazão de infiltração, vazão afluyente e vazão de armazenamento



Os valores correspondentes às perdas iniciais I_a e F estão corrigidos pela equação 4, assim como os valores de volumes afluentes, por necessidade de compatibilizar lâminas precipitadas e efetivas. Na Tabela 5 são indicadas as variações mensais de lâminas correspondentes à precipitação total P_T , perdas I_a e F , precipitação afluyente P_{af} e de armazenamento L_{eq} , cujo valor corresponde à infiltração após armazenamento. Então, nesse caso, L_{eq} está contido em P_{af} .

Tabela 5 – Precipitação total P_T , afluyente P_{af} e perdas associadas (I_a+F) na trincheira de infiltração (mm)

Mês:Ano	P_T	I_a+F	P_{af}	L_{eq}
Nov:2006	115,0	4,0	111,0	40,1
Dez:2006	246,4	88,5	157,9	55,0
Jan:2006	366,6	136,9	229,7	88,1
Fev:2006	239,6	57,3	182,3	47,7
Mar:2007	115,4	15,1	100,3	30,6
Total	1.083,0	301,8	781,2	261,5

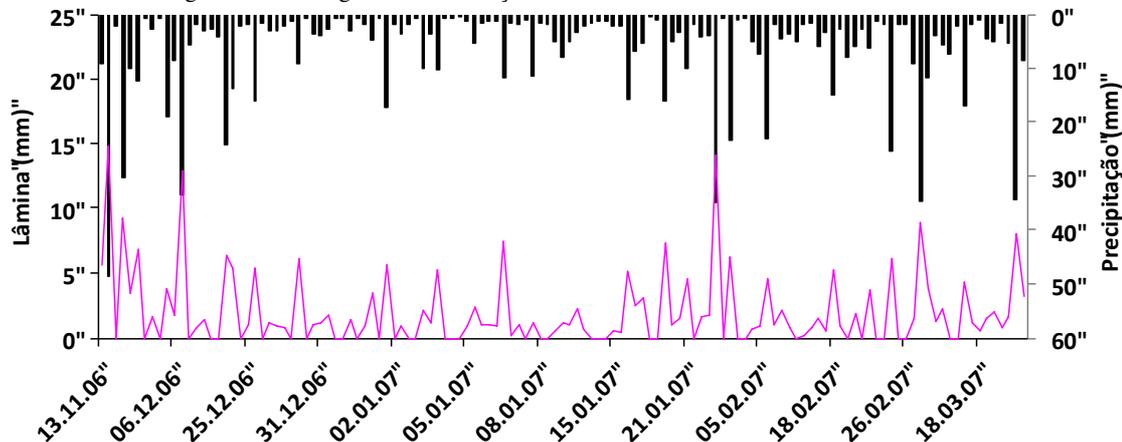
Nota: L_{eq} : lâmina equivalente ao armazenamento temporário na trincheira.

As perdas nos meses de novembro e março são menores que os outros meses pois correspondem a metade do total precipitado mensal, além de maior período seco antecedente. Em novembro, considera-se também o início da operação do dispositivo, com elevada capacidade de infiltração.

A lâmina equivalente sub-superficial aparente do volume de armazenamento temporário é a variação de nível d'água dentro da trincheira à medida que se obtém os registros correspondentes no linígrafo. A Figura 16 apresenta os eventos pluviométricos observados pela estação do lote, assim como as lâminas de escoamento subsuperficiais, correspondentes ao armazenamento temporário obtido pelas variações de níveis d'água dentro da trincheira.

Os dados indicam precipitação máxima diária de 48,8 mm em 19:11:2006 para a segunda maior lâmina de infiltração observada de 14,9 mm. O maior escoamento sub-superficial de 15,8 mm ocorreu em 26:01:2007 para uma precipitação de 42,3 mm.

Figura 16 – Hidrograma de infiltração na trincheira entre 13:11:2006 e 20:03:2007



Na Tabela 6 é apresentado o volume total precipitado V_T sobre a área de contribuição da trincheira. Então, para determinação do volume total V_T precipitado sobre o lote com área de 500 m², obtido pela precipitação total, as perdas $I_a + F$ não são consideradas no cálculo do volume afluente V_{af} e volume de armazenamento V_{armz} pela trincheira, mesmo que possam contribuir como escoamento lateral subsuperficial. São quantificados os volumes totais e amortizados pela trincheira para área total do lote com 500 m², sendo o volume de armazenamento V_{armz} equivalente à lâmina L_{eq} decorrente das variações de nível dentro do dispositivo. Embora com maior volume precipitado em janeiro:2006, não há maior acúmulo de volume infiltrado em relação a área total do lote. Devido às menores perdas nos meses de novembro:2006 e março:2007, houve maior volume infiltrado em relação ao volume total precipitado sobre a área do lote.

Tabela 6 – Volumes discretizados pela trincheira de infiltração para área de 500 m² do lote (m³)

Mês:Ano	V_T	V_{af}	V_{armz}
Nov:2006	57,5	5,9	2,0
Dez:2006	123,2	8,4	2,9
Jan:2007	183,3	12,2	4,5
Fev:2007	119,8	9,7	2,6
Mar:2007	57,7	5,3	1,6
Total	541,4	41,6	13,6

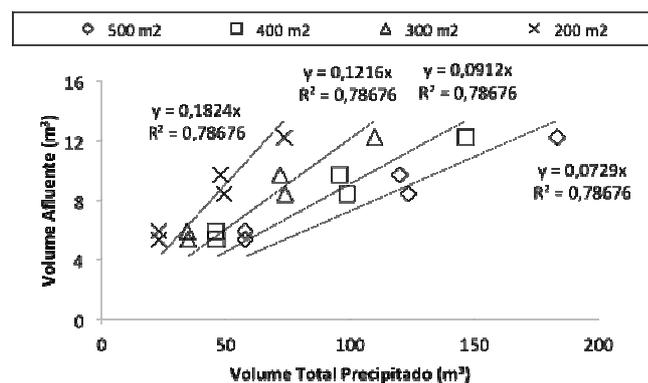
Assim como ocorre variação no coeficiente de escoamento ou *runoff* para diferentes condições ambientais, a taxa de infiltração também é função da intensidade pluviométrica, do teor de umidade antecedente do solo e da inclinação ou declividade do terreno. O escoamento diminui exponencialmente com a intensidade da chuva e a umidade antecedente, enquanto diminui linearmente com a declividade (ZHAO *et al.*, 2014). Na aplicação do dispositivo em loteamentos residenciais, a instalação de trincheiras pode reduzir o volume escoado em até 40 % (BUCHARLES; SILVA, 2007). Estudos com modelagens hidrológicas na implementação de diferentes técnicas compensatórias resultaram uma redução do volume de escoamento superficial de até 42% quando simuladas as práticas distribuídas em bacias (STRECKER *et al.*, 2004; LIU *et al.*, 2015).

Ao simular diferentes tamanhos de lotes, com áreas entre 200 m² e 500 m², a relação entre o volume afluente V_{af} à trincheira e o volume total precipitado V_T , tende a ser proporcionalmente menor à medida que se eleva a área do lote, considerando o mesmo volume afluente na trincheira para todos os lotes simulados (Figura 17).

À medida que se aumenta a área de contribuição em função dos volumes totais precipitados, maiores são os volumes afluentes ou de infiltração na trincheira. A relação entre o volume afluente e os volumes precipitados pode variar entre 7% e 18% para área de 500 m² e 200 m² de área de contribuição, respectivamente.

Na simulação de diversas técnicas em bacias urbanas, o desempenho hidrológico dos sistemas de infiltração é prejudicado à medida que se eleva as áreas efetivas de impermeabilização (PALLA; GNECCO, 2015).

Figura 17 – Volumes de infiltração V_{af} na trincheira para diferentes áreas de contribuição no lote experimental



CONCLUSÕES

Os resultados permitem concluir que:

1. Não se pode afirmar que analisar exclusivamente longos períodos de estiagem antecedente resultam em maiores volumes de infiltração, pois a duração e a intensidade da precipitação são fatores determinantes que influenciam diretamente no resultado da capacidade de infiltração. Os volumes conduzidos para o interior da trincheira indicam potencial de armazenamento à medida que ocorre vazão de infiltração na ascensão e recessão dos níveis de água no interior ao dispositivo.

2. As condições de implantação de uma trincheira de infiltração influenciam na capacidade de armazenamento das águas pluviais, à medida que ocorre a descarga do volume superficial para o interior do dispositivo. Para determinação do volume de infiltração, recomenda-se monitorar vazão afluente à montante e jusante da trincheira. Embora tenha ocorrido até 30% de vazão de infiltração em relação à vazão afluente, para otimizar a utilização de tubulações perfuradas de PVC de forma obter um maior volume de escoamento superficial para descarga na trincheira e uma melhor eficiência no volume de armazenamento, sugere-se o dimensionamento de furos e testes com declividade no local.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Design and construction of urban stormwater management systems. ASCE, **Manuals and Reports on Engineering Practice**, New York, n. 77, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502**: rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR NM ISO 2395**: peneira de ensaio e ensaio de peneiramento. Rio de Janeiro, 1997.
- BUCHARLES, L. G. E.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação do volume de água pluvial drenado em um empreendimento habitacional: estudo de caso em Londrina, PR. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 2, p. 45-57, abr./jun., 2007.
- CEPAGRI – **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura**. Universidade de Campinas – UNICAMP. Disponível em: <http://www.cepagri.unicamp.br/>. Acesso em: 25 abr. 2015.

- CIAGRO – CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS. CIAGRO. **Monitoramento Climatológico**. Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas. Dados pluviométricos da plataforma online. Disponível em: <<http://www.ciagro.sp.gov.br/>> Acesso em: 25 abr. 2015.
- DAEE-SP – Departamento de Águas e Energia Elétrica, São Paulo, SP. **Dados pluviométricos online, DAEE-SP**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2015.
- FCTH-PMSP – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA – PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo. Reedição eletrônica. **Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica**. Prefeitura do Município de São Paulo-SP, 1999, 289 p.
- GRACIOSA, M. C. P. Monitoramento de uma trincheira de infiltração instalada em lote residencial para controle do escoamento superficial. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17**. São Paulo: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, nov. 2007, 12 p.
- GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. Simulação hidráulica de trincheiras de infiltração de águas pluviais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 89-100, 2008a.
- GRACIOSA, M. C. P.; MENDIONDO, E. M.; CHAUDHRY, F. H. Metodologia para dimensionamento de trincheiras de infiltração para o Controle do Escoamento Superficial na Origem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 207-214, 2008b.
- INMET-SP. Instituto Nacional de Meteorologia. Histórico de Dados Pluviométricos. **Plataforma Virtual Online, INMET-SP**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 24 abr. 2015.
- JONNASON, S. A. Dimensioning methods for stormwater infiltration systems. In: **International Conference on Urban Stormwater, 3**. 1984, Göteborg. Proceedings. Göteborg: Chalmers University of Technology, v. 3, p. 1037-1046, 1984.
- LEGATES, D. R.; MAHMOOD, R.; DEVIA, D. F.; DELIBERTY, T. L.; QUIRING, S. M.; HOUSER, C.; NELSON, F. E. Soil moisture: a central and unifying theme in physical geography. **Progress in Physical Geography**, v. 35, n. 1, p. 65-86, 2011.
- LIU, Y.; AHIABLAME, L.; BRALTS, V. F.; ENGEL, B. A. Enhancing a rainfall-runoff model to assess the impacts of BMPs and LID practices on storm runoff. **Journal of Environmental Management**, v. 147, p. 12-23, 2015.
- MARTINS, M. J. **Gerenciamento de recursos hídricos e drenagem urbana no município de São João de Meriti: análise espacial do efeito da implementação de microreservatórios em lotes sobre as inundações**. 2004. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, ago. 2004.
- MORUZZI, R. B.; TRINDADE, S. G. Subsídios para implantação de trincheiras de infiltração na área urbana de Rio Claro. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 148-170, abr./jun., 2011.
- OHNUMA JÚNIOR, A. A.; MENDIONDO, E. M. Estudo de técnicas compensatórias de drenagem urbana como proposta de gestão das águas pluviais. In: **Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente**, 11, Água e Saneamento. 12 p. Rio de Janeiro-RJ: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia, jun. 2015. Rio de Janeiro, RJ: CREA-RJ, Clube de Engenharia, 2015.
- PALLA, A.; GNECCO, I. Hydrologic modeling of Low Impact Development systems at the urban catchment scale. **Journal of Hydrology**, v. 528, p. 361-368, 2015.
- PMSC. **Loteamento Samambaia Residencial**. Município de São Carlos. Prefeitura Municipal de São Carlos, Secretaria Municipal de Habitação e Desenvolvimento Urbano, Departamento de Planejamento Urbano e Habitacional. Processo n. 15523/81. 1997.
- RAWLS, W. J.; BRAKENSIEK, D. L.; SAXTON, K. E. Estimation of Soil Water Properties. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 25, n. 5, p. 1316-1320, 1982.
- RECESA. Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia profissional em treinamento: níveis 2 e 3. **Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.)**. – Belo Horizonte: ReCESA, 2007, 52 p.
- REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun. 2014.
- ROSA, A.; MENDIONDO, E. M.; SOUZA, V. B. C. Biorretenção da poluição difusa na drenagem urbana usando abordagem experimental-adaptativa com base ecohidrológica. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 20. 8 p. Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, nov. 2013, Porto Alegre, RS: ABRH/Acquacon, 2013.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF. Soil survey manual. Soil Conservation Service. USDA, U.S. **Department of Agriculture Handbook** 18, 1993.
- STRECKER, E. W.; QUIGLEY, M. M.; URBONAS, B.; JONES, J. Analyses of the expanded EPA/ASCE international BMP database and potential implications for bmp design. In: **Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress 2004**, Salt Lake City, Utah, 2004.
- URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management**. New Jersey, Englewood Cliff: Prentice Hall, 1993, 447 p.
- WEI, W.; JIA, F.; YANG, L.; ZHANG, H.; YU, Y. Effects of surficial condition and rainfall intensity on runoff in a loess hilly area, China. **Journal of Hydrology**, v. 513, p. 115-126. 2014.
- YANG, L.; CHEN, L.; WEI, W.; YU, Y.; ZHANG, H. Comparison of deep soil moisture in two re-vegetation watersheds in semi-arid regions. **Journal of Hydrology**. v. 513, p. 314-321. 2014.
- ZHAO, X.; HUANG, J.; GAO, X.; WU, P.; WANG, J. Runoff features of pasture and crop slopes at different rainfall intensities, antecedent moisture contents and gradients on the Chinese Loess Plateau: A solution of rainfall simulation experiments. **Catena**, v. 114, p. 90-96. 2014.