

# Avaliação do escoamento superficial de águas pluviais em pavimento de blocos de solo-cimento

*Assessment of stormwater runoff in pavement of soil-cement blocks*

Jorge Luis Zegarra Tarqui<sup>1\*</sup> , Miriam de Fátima Carvalho<sup>2</sup> ,  
Camila Maria Leite dos Santos<sup>2</sup> , Juliana Evaristo dos Santos<sup>2</sup> 

## RESUMO

Avaliou-se o coeficiente de escoamento (volume escoado/volume precipitado), que define a capacidade de redução do escoamento superficial de um pavimento com blocos de solo-cimento intertravados (20,7 m de comprimento e 3 m de largura) dentro de uma estrutura de vigas de concreto transversais implantada em uma área de declividade de 6% e solo de baixa permeabilidade, e condições similares em áreas de ocupação de populações de baixa renda. Cento e oitenta e quatro eventos (precipitações) foram registrados, mas somente foram considerados eventos com volume precipitado maior que a capacidade máxima de armazenamento do pavimento ( $\approx 1.500$  L) e temperatura menor a 23°C para manter a precisão do sensor de medição. Os valores experimentais do coeficiente C oscilaram na faixa de 0,47 a 0,79, que confirmam que o pavimento de bloco de solo-cimento é semipermeável.

**Palavras-chave:** pavimento semipermeável; blocos solo-cimento; coeficiente de escoamento superficial.

## ABSTRACT

In this article, the authors assessed the runoff coefficient C (drained volume/volume precipitate), which defines the capacity reduction of runoff, of a pavement with soil-cement interlocking blocks (20.7 m long and 3 m wide) within a structure of transverse concrete beams deployed in an area with slope of 6% and low permeability soil, and similar conditions in areas occupied by poor populations. One hundred and eighty-four events (rainfall) were recorded, but only events with a precipitate volume greater than the maximum capacity storage of pavement ( $\approx 1,500$  liters) and a temperature less than 23°C, to maintain the accuracy of the measurement sensor, were considered. The experimental values of the coefficient C varied in the range of 0.47 to 0.79, confirming that the soil-cement block pavement is semi permeable.

**Keywords:** semi permeable pavement; runoff coefficient; urban drainage.

## INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil se caracteriza pela ocupação desordenada e pela mudança acelerada do uso do solo (MACEDO, 2008). Esse processo gera impermeabilização da superfície, mudanças nos cursos naturais de água e sobre exploração das fontes de água superficiais e subterrâneas. Os impactos ao sistema hídrico no meio urbano em razão da urbanização são: aumento das vazões máximas e da sua frequência em razão do aumento do escoamento superficial (difuso ou concentrado); aumento da produção de sedimentos em razão da redução ou da retirada da cobertura natural do solo; deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea em razão da lavagem de ruas, do transporte de material sólido e da contaminação de aquíferos; redução ou extinção das fontes de água superficiais e subterrâneas (O'DRISCOLL *et al.*, 2010; KONRAD, 2014); e geração de ilhas de calor no meio urbano (LI *et al.*, 2014).

A solução dos impactos requer um gerenciamento integrado da infraestrutura urbana, especificamente na gestão das águas urbanas, para a recuperação ou a preservação da dinâmica original do escoamento no espaço ocupado, mediante a redução de escoamento (pico e volume), o aumento de infiltração, a recarga de água subterrânea, a proteção de fluxo e a melhoria da qualidade da água por meio de mecanismos de remoção de poluentes, como filtração, sorção química e processos biológicos. Esse tipo de proposta denomina-se *Low Impact Development* (LID) (U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 2004). O LID emprega dispositivos de controle (localizados, distribuídos, em pequena escala e dentro de uma visão sistêmica) denominados *Integrated Management Practices* (IMPs), que podem ser incorporados a edificações e infraestrutura ou projetos de paisagem. A eficiência da aplicação dos diferentes dispositivos propostos nas IMPs é estudada de forma

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Católica do Salvador - Salvador (BA), Brasil.

\*Autor correspondente: jlztarqui@yahoo.com.br

Recebido: 21/08/2015 - Aceito: 27/03/2018 - Reg. ABES: 153148

isolada ou de forma combinada (AHIABLAME; ENGEL; CHAUBEY, 2012). As propostas mais conhecidas dos dispositivos são: telhado verde, trincheira de infiltração (BARRAUD *et al.* 2014), reservatórios de armazenamento de chuva, pavimentos permeáveis, poços de infiltração etc. Na atualidade, existe a necessidade de avaliar os impactos desses dispositivos na escala da bacia urbana (AHIABLAME; ENGEL; CHAUBEY, 2013; AHIABLAME; SHAKYA, 2016; JIA *et al.*, 2016; BHASKAR *et al.*, 2016; KWAK; KIM; HAN, 2016).

O pavimento permeável, semelhante a outras IMPs, reduz o volume do escoamento superficial, filtra poluentes, dispersa o escoamento e recarga as águas subterrâneas (U.S. DEPARTMENT OF DEFENSE, 2004; HUANG *et al.*, 2016; BRUNETTI; SIMÚNEK; PIRO, 2016; KAMALI *et al.*, 2017). Além disso, reduz a porcentagem de área impermeável. California Department of Transportation (CALTRANS, 2014), Hunt e Collins (2008) e Smith e Hein (2013) descrevem os diferentes tipos de pavimento permeável, incluindo os pavimentos com blocos intertravados, e sugerem os aspectos construtivos deles. No Brasil, a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2011) discute o dimensionamento e o procedimento construtivo mediante adaptação da tecnologia proposta por autores estrangeiros para a realidade local, mas no processo de urbanização no Brasil o segmento da sociedade com baixa renda ocupa espaços ou áreas com infraestrutura urbana precária e alocada em espaços de risco e/ou de pouco valor imobiliário, a exemplo a ocupação das partes altas dos morros nas cidades.

Nesse contexto, este artigo objetivou o desenvolvimento de um pavimento semipermeável feito de solo-cimento dentro de uma estrutura de vigas de concreto transversais, para trânsito de pessoas, de baixo custo e que possa ser aplicado em áreas de forte declividade e em solo de baixa permeabilidade, condições presentes em áreas de ocupação de populações de baixa renda. Assim, avaliaram-se as propriedades mecânicas (durabilidade, absorção de água e resistência à compressão) de blocos de solo-cimento com diferentes dosagens de cimento em massa (nas proporções de 8, 10, 12 e 20%) e adotaram-se blocos com 20% de cimento em massa para a construção do pavimento por apresentarem melhores resultados (CARVALHO *et al.*, 2016).

Posteriormente, Zegarra-Tarqui, Santos-de-Brito e Carvalho (2015) determinaram o coeficiente de escoamento (C) superficial (volume de água escoado pela superfície/volume de água precipitado) para um pavimento piloto construído com os blocos de solo-cimento com dimensões 50 cm × 50 cm. Com auxílio de um simulador de chuvas, determinaram-se os coeficientes de escoamento do pavimento piloto para as declividades de 1, 3 e 5% e as precipitações com intensidade de 76,9 e 117,7 mm/h, valores próximos das intensidades calculadas pela curva intensidade-duração-frequência (i-d-f) da cidade de Salvador, Bahia, Brasil, para tempo de retorno (Tr) de 2 e 5 anos, respectivamente, e tempo de duração de 10 minutos. Os resultados demonstraram que o coeficiente é quase independente da declividade, com valores de C na faixa de  $<0,74$  a  $0,89$  — estes, em média,

encontram-se perto do C de pavimento de bloco de cimento ( $C = 0,78$ ) e inferior ao do pavimento de concreto ( $C = 0,95$ ), classificando o pavimento de blocos de solo-cimento na categoria semipermeável. Em razão das dimensões do pavimento piloto (50 × 50 cm), não é possível avaliar outros fatores que reduzem o C, como tempo de deslocamento do escoamento sobre a superfície, depressões na superfície, evaporação, rugosidade do pavimento, capacidade de armazenamento etc. Então, com a finalidade de calcular o verdadeiro valor do C, para pavimento de solo-cimento em dimensões reais, foi construído um pavimento de quase 60 m<sup>2</sup> e foram realizadas medições de campo do coeficiente.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O pavimento semipermeável de blocos solo-cimento foi instalado no estacionamento do Campus de Pituaçu da Universidade Católica do Salvador (UCSal), cidade de Salvador, Brasil. A cidade apresenta clima tropical, temperatura média de 25,2°C. A pluviosidade média anual é de 1.781 mm. Até mesmo o mês mais seco do ano, setembro, apresenta pluviosidade de 74 mm. A área de estudo consta dos seguintes dispositivos: uma estação meteorológica (com pluviômetro digital); um pavimento intertravado de solo-cimento, com declividade de 6%; um medidor de vazão composto por um vertedor triangular de 90°; e uma trincheira de infiltração (Figura 1).

A estação meteorológica possui um sensor de temperatura (°C) e um pluviômetro digital basculante que permite monitorar a lâmina de água precipitada (mm) em intervalos de tempo predefinidos (30 ou 10 minutos). A estação foi posicionada a uma distância de 1 m do pavimento, distante das árvores, e instalada em um poste a 2 m de altura.

O pavimento tem comprimento de 20,70 m e largura de 3 m, com declividade do terreno de 6%, valor superior ao máximo (5%) recomendado por Marchioni e Silva (2011). Estudos geotécnicos a partir de duas amostras coletadas em furos de sondagem a trado até a profundidade de 3 m mostraram que o solo local é classificado como um solo argiloso com vestígio de pedregulho e com coeficiente de permeabilidade relativamente baixo ( $10^{-5}$  cm.s<sup>-1</sup>, obtido por meio de ensaio Guelph). A elevada declividade da área e o baixo coeficiente de permeabilidade em razão da compactação coincidem com as características dos solos das áreas ocupadas pela população de baixa renda na cidade de Salvador.

Na Figura 2A, observa-se que os blocos intertravados foram confinados lateralmente por meio de meio-fios, mas também internamente por meio de vigas de concreto (de 15 cm de largura e 15 cm de espessura) colocadas de forma transversal e afastadas a cada 3 m, aproximadamente, com a finalidade de evitar o deslizamento dos blocos em razão da declividade (MARCHIONI e SILVA, 2011).

Smith e Hein (2013) afirmam que o pavimento de blocos de concreto permeável para pedestre é composto de: blocos; material de rejunte com distribuição granulométrica n° 8, 89 ou 9, conforme a American

Society for Testing Materials (ASTM) ou como sugere ABCP (2011), com agregado com 80 a 90% do material na faixa de 2,36 a 4,75 mm; uma camada de assentamento de 50 mm de espessura, com agregados ASTM nº 8; e uma camada base de 100 mm de espessura composta de agregado anguloso ASTM 57, com diâmetro oscilando na faixa de 25 a 13 mm, e porosidade mínima de 45%.

Na pesquisa, os blocos foram assentados na forma de trama sobre uma camada de areia de 5,3 cm de espessura (Figura 2B). A camada base não foi colocada, como sugerem Smith e Hein (2013), pois a ideia é utilizar o pavimento em condições mínimas de armazenamento. Os blocos foram rejuntados com areia fina, e não na faixa sugerida por Smith e Hein (2013) ou ABCP (2011).

A areia usada foi classificada, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como areia média a fina com pouca areia grossa e vestígios de pedregulho. A distribuição granulométrica foi: pedregulho (< 2 mm) 1%; areia grossa (2 – 0,6 mm) 7%; areia média (0,6 – 0,2 mm) 49%; areia fina (0,2 – 0,075 mm) 40%; e silte/argila (< 0,075 mm) 3%. A porosidade é de 46%, o que permite volume de armazenamento de água de 1.500 L, aproximadamente.

O dispositivo de medição de vazão (Figura 3A) é composto de uma caixa de tranquilização do escoamento (proveniente do pavimento), seguida por um vertedor triangular de 90° de parede delgada,

recomendado para medir vazões abaixo dos 30 L.s<sup>-1</sup>. Um tubo de PVC é ligado via vaso comunicante com o reservatório da caixa de tranquilização (Figura 3B) e uma sonda de pressão é inserida e presa no interior do tubo, o que permite medir de forma direta o nível da água. A informação é armazenada no data *logger* localizado, em resguardo, em uma casinha ao lado do pavimento (Figura 4A).

A trincheira — com 8 m de comprimento, 2 m de profundidade e 1,5 m de largura — foi revestida com uma manta geotêxtil para impedir a sua colmatação e reduzir a contaminação do solo. Depois, foi preenchida com pedra de mão (Figura 4B).

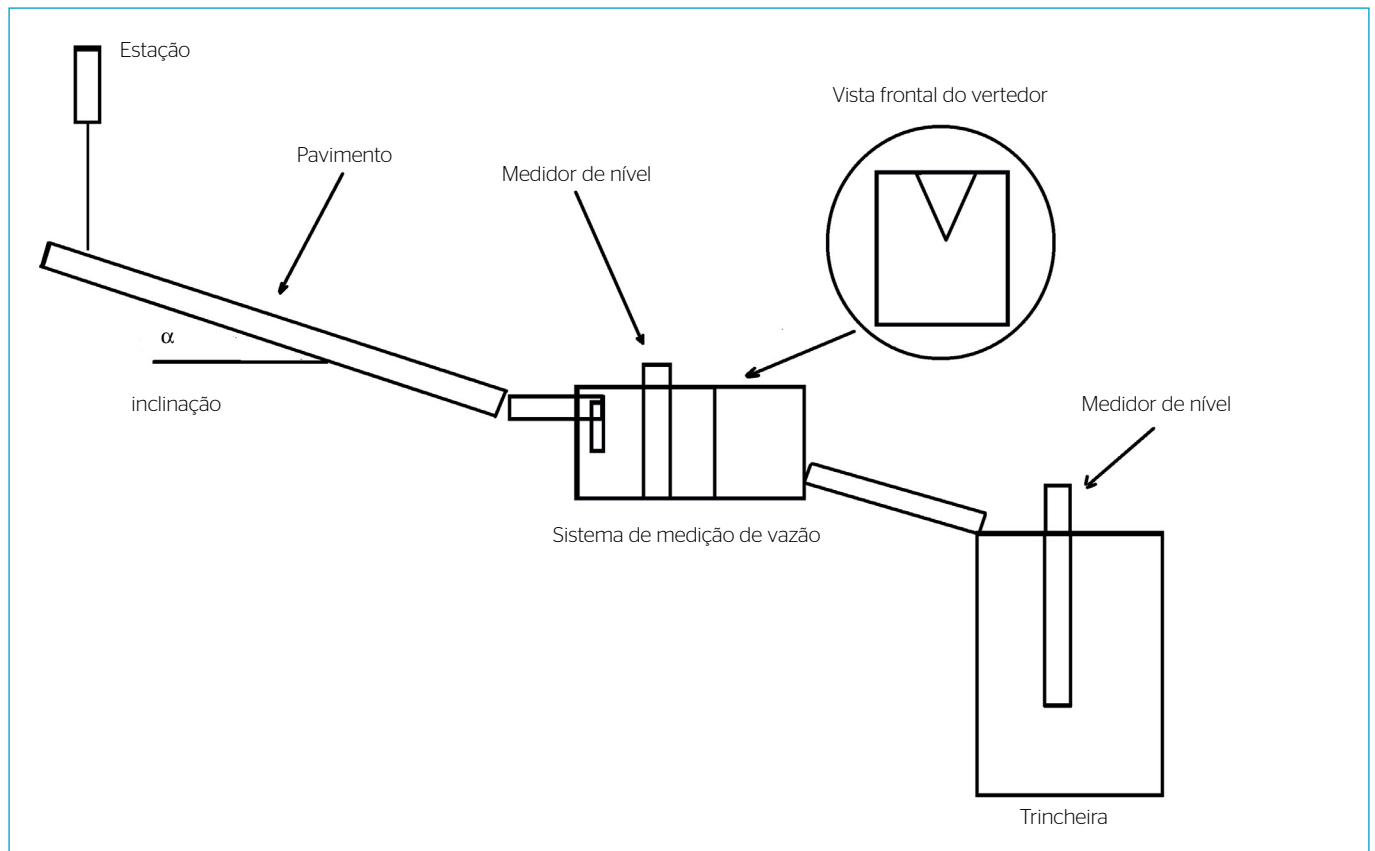
O volume de água precipitado no pavimento ( $V_i$ ) para um intervalo de tempo ( $i$ ) é definido pela Equação 1:

$$V_i = h_i A_H \quad (1)$$

Em que:

$h_i$  = lâmina precipitada (pluviômetro basculante) para determinado intervalo de tempo ( $i$ ) de coleta. No início, o intervalo foi de 30 minutos, mas posteriormente foi adotado um intervalo de 10 minutos;

$A_H$  = projeção horizontal da área do pavimento —  $A_H = A \cos \alpha$ ; em que  $\alpha$  é o ângulo de inclinação (3,43°) para declividade de 6%; e  $A$  é a área do pavimento (62,1 m<sup>2</sup>).



**Figura 1** - Esquema da distribuição dos dispositivos no campo do conjunto pavimento semipermeável de blocos de solo-cimento.

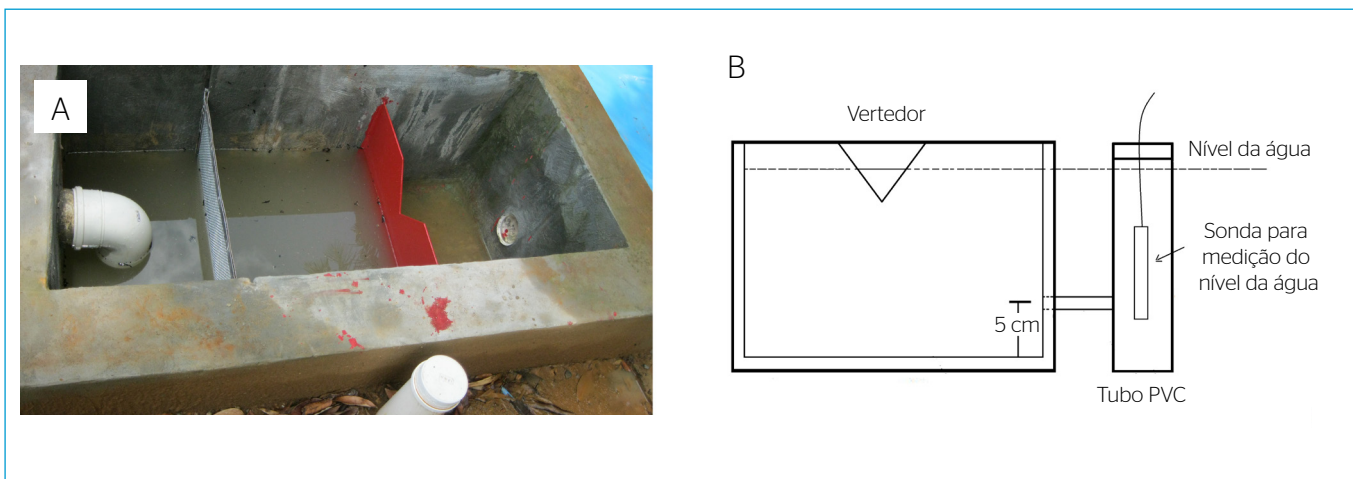
Então, para um dado evento registrado em  $n$  intervalos de tempo, o volume total precipitado é definido pela Equação 2:

$$V_{\text{total precipitado}} = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

Iniciado o escoamento superficial, o medidor de nível do vertedor registrará os níveis de água ( $H_i$ ) sobre a soleira do vertedor para cada tempo  $t_i$ . Calcula-se a vazão  $Q_i$  para cada  $H_i$  mediante a equação do vertedor (Equação 3), obtida em campo por Carneiro (2012).



**Figura 2** - (A) Processo de colocação dos meios-fios e das vigas transversais e assentamento dos blocos na camada de areia; (B) detalhe da trama do intertravamento.



**Figura 3** - (A) Detalhe do dispositivo de medição de vazão; (B) desenho da ligação entre a caixa de tranquilização e do tubo de policloreto de vinila (PVC) com a sonda de pressão.



**Figura 4** - (A) Localização dos sensores de pressão, destinados à medição do nível da água no vertedor e na trincheira, e detalhes da casa de resguardo dos data logger; (B) detalhe da construção da trincheira de infiltração.

$$Q = 1,57H^{2,42} \quad (3)$$

Em que H é medido em centímetros e a vazão, em L.s<sup>-1</sup>.

Assim, o volume escoado no intervalo de tempo ( $\Delta t = t_j - t_{j-1} = 5 \text{ min}$ ) sobre o vertedor é representado pela Equação 4:

$$V_e = \frac{(Q_j + Q_{j-1})\Delta t}{2} \quad (4)$$

Em que as vazões  $Q_j$  e  $Q_{j-1}$  se referem aos níveis  $H_j$  e  $H_{j-1}$ , respectivamente. O volume total escoado ( $V_{\text{total escoado}}$ ) será igual à somatória dos volumes escoados em cada intervalo de tempo (Equação 5):

$$V_{\text{total escoado}} = \sum_{e=1}^n V_e \quad (5)$$

Logo, o C é (Equação 6):

$$C = \frac{V_{\text{total escoado}}}{V_{\text{total precipitado}}} \quad (6)$$

## RESULTADOS

Foram registrados 183 eventos entre abril e setembro de 2013 e um evento de outubro de 2014. Na Tabela 1, são apresentados os valores máximos e mínimos para as variáveis duração (min ou h), precipitação (mm), volume total precipitado (litros), volume total escoado (litros), C e intensidade (mm.h<sup>-1</sup>).

No gráfico da Figura 5 referente à relação entre o C e a precipitação, com todos os eventos, observa-se que existe uma forte aglomeração dos valores de C para a esquerda do gráfico, para precipitações menores de 10 mm, aproximadamente, e que acima de precipitações de 20 mm existe uma tendência do acréscimo do C com o aumento da precipitação.

No gráfico entre o C e a intensidade (Figura 6), pode-se observar uma dispersão dos resultados, e não é possível estabelecer correlação entre ambos.

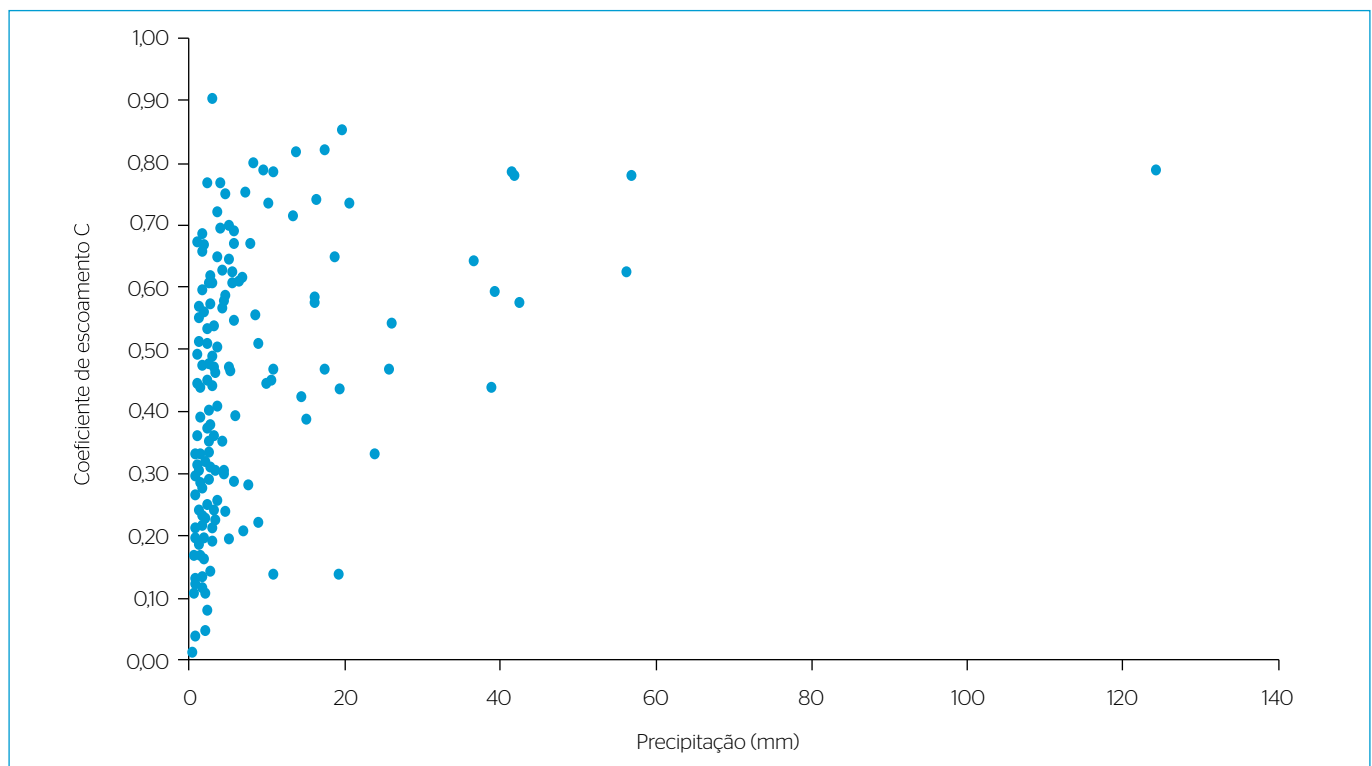
Então, foi necessário estabelecer certos critérios de escolha dos dados mais representativos:

- A capacidade de armazenamento do pavimento é composta da absorção da água por parte dos blocos de solo-cimento e da camada de areia que serve como base para o assentamento dos blocos. O pavimento tem

**Tabela 1** - Valores máximos e mínimos das diferentes variáveis analisadas.

| Valores | Duração (min) | Duração (h) | Precipitação (mm) | V <sub>total precipitado</sub> (litros) | V <sub>total escoado</sub> (litros) | C    | Intensidade (mm.h <sup>-1</sup> ) |
|---------|---------------|-------------|-------------------|---|-------------------------------------|------|-----------------------------------|
| Máximo  | 370           | 6,17        | 124,2             | 7699,0                                  | 6087,2                              | 0,9  | 21,9                              |
| Mínimo  | 10            | 0,17        | 0,4               | 24,8                                    | 0,4                                 | 0,02 | 0,2                               |

V: volume; C: coeficiente de escoamento.



**Figura 5** - Relação entre o coeficiente de escoamento (C) e a precipitação.

- comprimento de 20,7 m, largura de 3 m e profundidade da camada de areia de 5,26 cm; logo, o volume teórico de armazenamento é de 3.266,46 L, mas como a porosidade experimental da areia é 45,9%, então o volume real para armazenamento é de  $V_{armazenamento} = 1.499,3 L$ , aproximadamente;
- O pavimento é separado por vigas colocadas a cada 3 m a fim de impedir o deslocamento dos blocos, como mostra a Figura 3. Essa estrutura divide o pavimento em quatro reservatórios contínuos acoplados e não permite ou restringe fortemente o escoamento subsuperficial (por meio da areia) ao longo de todo o pavimento;
  - Considera-se que, teoricamente, o escoamento superficial acontecerá quando a máxima capacidade de armazenamento for atingida, isto é, a saturação total da camada de assentamento de areia. Então, só são considerados os eventos em que o volume precipitado ( $V_{precipitado}$ ) é maior ou igual ao  $V_{armazenamento}$ ;

- As precipitações com  $V_{precipitado}$  menor que  $V_{armazenamento}$  tendem a formar um escoamento superficial com baixas vazões que geram pequenas alturas de lâmina ( $H_s$ ) sobre a soleira do vertedor triangular, de difícil registro por parte da sonda de medição de nível (com mínima precisão de leitura  $\pm 2$  mm), o que pode gerar erros de medição;
- O equipamento perde precisão a temperaturas superiores a 21°C. No registro de todos os eventos, as temperaturas foram superiores a essa. Logo, escolhem-se eventos com precipitações menores de 23°C a fim de reduzir o efeito da temperatura nas leituras.

Na Tabela 2 são apresentados os eventos com volumes precipitados superiores ou iguais à capacidade de armazenamento e temperaturas inferiores a 23°C. As precipitações selecionadas possuem durações superiores a duas horas; empregada a equação de i-d-f da cidade

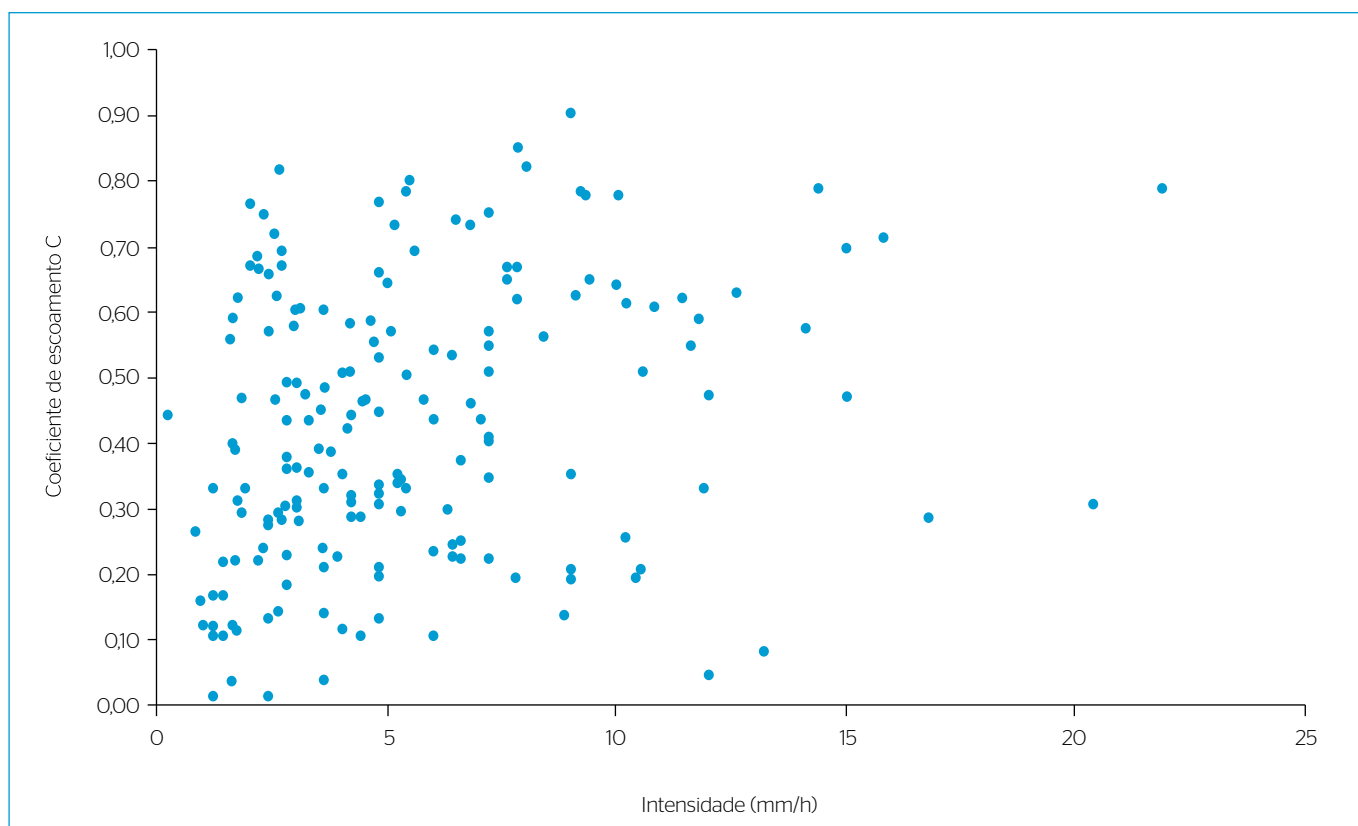
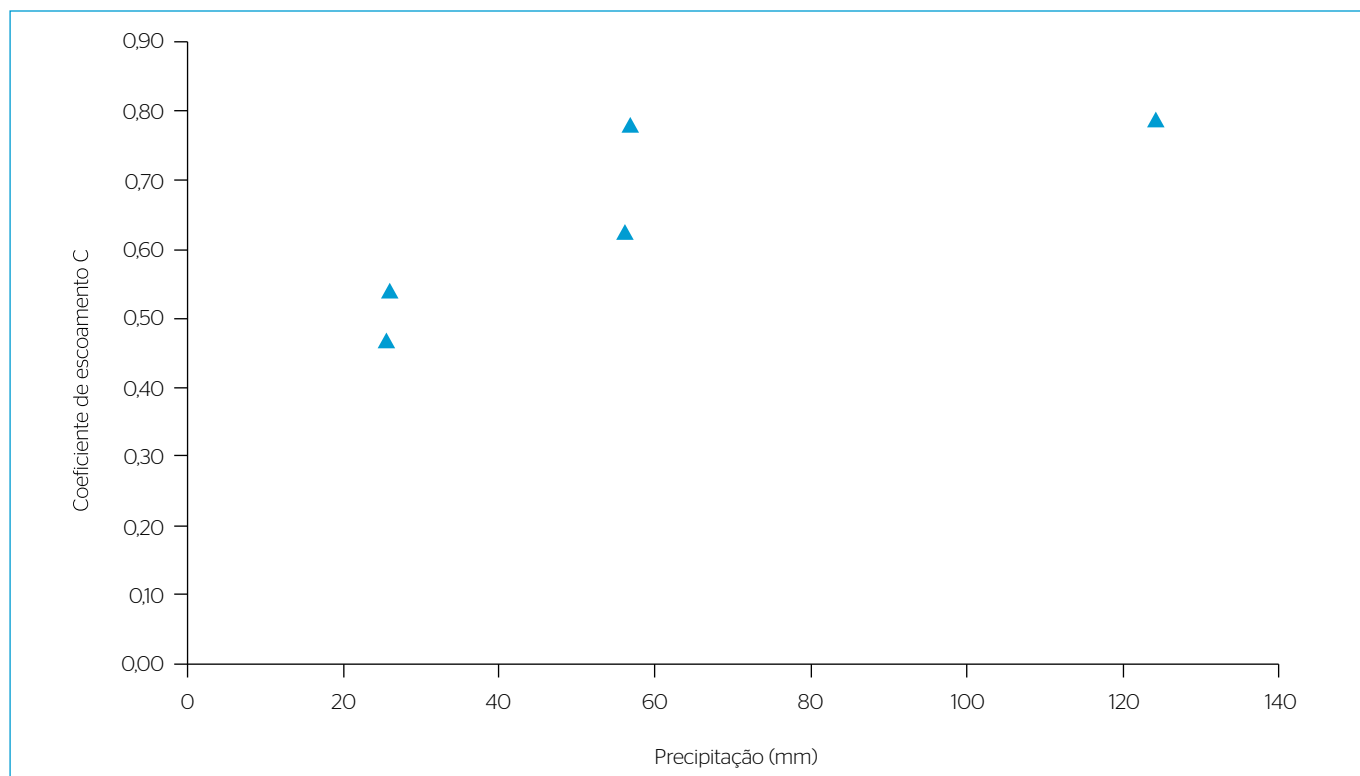


Figura 6 - Relação entre o coeficiente de escoamento (C) e a intensidade.

Tabela 2 - Eventos selecionados com o critério de  $V_{precipitado}/V_{armazenado} \geq 1$ .

| Temperatura (°C) | Duração (h) | Precipitação (mm) | C    | Intensidade (mm/h) | $V_{precipitado}/V_{armazenado}$ | Intensidade (mm.h <sup>-1</sup> ) Tr 2 anos | Intensidade (mm.h <sup>-1</sup> ) Tr 5 anos | Intensidade (mm.h <sup>-1</sup> ) Tr 10 anos | Intensidade (mm.h <sup>-1</sup> ) Tr 20 anos |
|------------------|-------------|-------------------|------|--------------------|----------------------------------|---|---|--|--|
| 22               | 5,67        | 124,2             | 0,79 | 21,9               | 5,1                              | 8,4   | 12,5  | 16,8   | 22,6   |
| 22,7             | 5,67        | 56,8              | 0,78 | 10,0               | 2,3                              | 8,4   | 12,5  | 16,8   | 22,6   |
| 22,1             | 6,17        | 56,2              | 0,63 | 9,1                | 2,3                              | 7,8   | 11,7  | 15,7   | 21,1   |
| 22,2             | 4,33        | 26                | 0,54 | 6,0                | 1,1                              | 10,6  | 15,6  | 20,9   | 27,9   |
| 21,7             | 5,67        | 25,6              | 0,47 | 4,5                | 1,1                              | 8,4   | 12,5  | 16,8   | 22,6   |

V: volume; C: coeficiente de escoamento; Tr: tempo de retorno.



**Figura 7** - Relação entre o coeficiente de escoamento (C) e a precipitação.

de Salvador, são determinadas as intensidades, com duração similar às registradas, associadas a tempos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos.

Na Figura 7, o coeficiente do escoamento C aumenta com o acréscimo da precipitação, mas não ultrapassa o valor de 0,8.

Na Tabela 2, observa-se que os três primeiros eventos possuem intensidades (21,9; 10,0 e 9,1 mm.h<sup>-1</sup>) superiores às intensidades referentes ao Tr de dois anos. No caso da intensidade (21,9 mm.h<sup>-1</sup>), é um pouco menor do que a intensidade com Tr de 20 anos, mas apresenta coeficiente C = 0,79, confirmando que o pavimento é semipermeável.

## CONCLUSÕES

- A estrutura composta de vigas transversais colocadas a cada 3 m, aproximadamente, deu estabilidade ao pavimento, impedindo o deslizamento dos blocos intertravados, apesar de reduzir ou impedir o escoamento subsuperficial por meio da camada de areia de assentamento dos blocos ao longo do pavimento;

- A seleção de eventos cujos volumes precipitados superam a capacidade de armazenamento da camada de assentamento de areia permitiu analisar de forma adequada o verdadeiro valor do C;
- Os valores de C não ultrapassaram o valor de 0,8, mantendo o pavimento dentro da categoria semipermeável;
- O aumento da espessura da camada de assentamento de areia aumentará a capacidade de armazenamento, permitindo suportar eventos com maior Tr, mas pode aumentar os custos com a estrutura de estabilidade composta das vigas transversais;
- O emprego desse tipo de pavimento para áreas de pouco tráfego e de declividades acentuadas é possível.

## FONTES DE FINANCIAMENTO

Fundação de Amparo de Pesquisa da Bahia (FAPESB); Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq); Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

## REFERÊNCIAS

AHIABLAME, L.; SHAKYA, R. (2016) Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale. *Journal of Environmental Management*, v. 171, p. 81-91. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.036>

AHIABLAME, L.M.; ENGEL, B.A.; CHAUBEY, I. (2012) Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research. *Water Air Soil Pollution*, v. 223, n. 7, p. 4253-4273. <https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2>

AHIABLAME, L.M.; ENGEL, B.A.; CHAUBEY, I. (2013) Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. *Journal of Environmental Management*, v. 119, p. 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.019>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). (2011) Projeto técnico: pavimento permeável. Programa Soluções para Cidades. São Paulo: ABCP. Disponível em: <[www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF\\_Pav%20Permeavel\\_web.pdf](http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6502: Rochas e Solos. Terminologia. Rio de Janeiro, 1995. 18p.

BARRAUD, S.; GONZALEZ-MERCHAN, C.; NASCIMENTO, N.; MOURA, P.; SILVA, A. (2014) Evolution of clogging assessment applied to Pampulha Campus infiltration system (Brazil). *Water Science and Technology*, v. 69, p. 1241-1248.

BHASKAR, A.S.; HOGAN, D.M.; ARCHFIELD, S.A. (2016) Urban base flow with low impact development. *Hydrological Processes*, v. 30, n. 18, p. 3156-3171. <http://doi.org/10.1002/hyp.10808>

BRUNETTI, G.; SIMÚNEK, J.; PIRO, P. (2016) A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement. *Journal of Hydrology*, v. 540, p. 1146-1161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.030>

CALIFORNIA DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (CALTRANS). (2014) *Pervious Pavement Design Guidance*. Sacramento: CALTRANS. Disponível em: <<http://www.dot.ca.gov/hq/oppd/stormwtr/>>. Acesso em: 12 mar. 2015.

CARNEIRO, R.B.O. (2012). *Estudo de caso: determinação da equação do vertedor e eficiência de trincheira de infiltração*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Católica do Salvador, Salvador.

CARVALHO, M.; RAMOS, F.; ZEGARRA, J.; PEREIRA, C. (2016) Evaluation over time of the mechanical properties of soil-cement blocks used in semi-permeable pavements. *Revista de Ingeniería de Construcción*, v. 31 n. 1. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000100006>

HUANG, J.; HE, J.; VALEO, C.; CHU, A. (2016) Temporal evolution modeling of hydraulic and water quality performance of permeable pavements. *Journal of Hydrology*, v. 533, p. 15-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.042>

HUNT, W.F.; COLLINS, K.A. (2008) *Permeable Pavement: Research Update and Design Implications*. Raleigh: North Carolina Cooperative Extension Service. 12 p. Disponível em: <[https://nacto.org/docs/usdg/urban\\_waterways\\_permeable\\_pavement\\_hunt.pdf](https://nacto.org/docs/usdg/urban_waterways_permeable_pavement_hunt.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2014.

JIA, Z.; TANG, S.; LUO, W.; LI, S.; ZHOU, M. (2016) Small scale green infrastructure design to meet different urban hydrological criteria. *Journal of Environmental Management*, v. 171, p. 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.016>

KAMALI, M.; DELKASH, M.; TAJRISHY, M. (2017) Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff. *Journal of Environmental Management*. v. 187, p. 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.027>

KONRAD, C.P. (2014) *Effects of Urban Development on Floods*. Fact Sheet O76e03. U.S. Geological Survey. Disponível em: <<https://pubs.usgs.gov/fs/fs07603/>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

KWAK, D.; KIM, H.; HAN, M. (2016) Runoff Control Potential for Design types of Low Impact Development in Small Developing Area Using XPSWMM. *Procedia Engineering*, v. 154, p. 1324-1332. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.483>

LI, H.; HARVEY, J.; ZHESHENG, G. (2014) Experimental investigation on evaporation rate for enhancing evaporative cooling effect of permeable pavement materials. *Construction and Building Materials*, v. 65, p. 367-375. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.004>

MACEDO, J. (2008) Urban land policy and new land tenure paradigms: Legitimacy vs. legality in Brazilian cities. *Land Use Policy*, v. 25, n. 2, p. 259-270. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.08.001>

MARCHIONI, M.; SILVA, C.O. (2011) *Pavimento Intertravado Permeável: Melhores Práticas*. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP).

O'DRISCOLL, M.; CLINTON, S.; JEFFERSON, A.; MANDA, A.; MCMILLAN, S. (2010) Urbanization Effects on Watershed Hydrology and In-Stream Processes in the Southern United States. *Water*, v. 2, n. 3, p. 605-648. <https://doi.org/10.3390/w2030605>

SMITH, D.R.; HEIN, D.K. (2013) Development of a National ASCE standard for permeable interlocking concrete pavement. In: CONFERENCE OF GREEN STREETS, HIGHWAYS, AND DEVELOPMENT, 2., 2013, Texas. ASCE, p. 89-105. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413197.008>>. Acesso em: 06 fev. 2017. <https://doi.org/10.1061/9780784413197.008>

U.S. DEPARTMENT of DEFENSE. (2004) *Design: Low Impact Development Manual, Unified Facilities Criteria (UFC)*. Washington, D.C.: U.S. Department of Defense. 96 p. Disponível em: <[https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ARCHIVES/ufc\\_3\\_210\\_10\\_2004.pdf](https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ARCHIVES/ufc_3_210_10_2004.pdf)>. Acesso em: 12 jul. 2015.

ZEGARRA-TARQUI, J.L.; SANTOS-DE-BRITO, J.; CARVALHO, M.F. (2015) Escurrimiento en pavimentos de bloques de suelo-cemento: um abordaje experimental. *Revista de Ingeniería, Investigación y Tecnología*, v. 16, n. 1, p. 35-47.