

ANÁLISE DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL DO TIPO PAVER.

GUEDES, C.S.^{1}; SILVA, E.P.²; SIQUEIRA, E.Q.³*

Resumo – O cenário atual de grandes aglomerações em centros urbanos tem prejudicado o fluxo natural do escoamento da água da chuva. Esta ocupação ocasiona uma alteração nas condições originais da cobertura do solo e do escoamento. O coeficiente de escoamento foi tomado neste trabalho como medida de desempenho do pavimento permeável. Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar o coeficiente de escoamento superficial (C) no pavimento permeável do tipo PAVER sobre três trechos com diferentes substratos. Foi simulado um evento de chuva de intensidade de 97 mm/h com duração de 30 minutos, sobre o pavimento do tipo Paver construídos em condições estruturais diferentes. A estrutura com areia e brita apresentou o menor coeficiente C, os outros dois trechos apresentaram os coeficientes C compatíveis com as respectivas camadas de armazenamento.

Palavras-Chave – urbanização, pavimento permeável, coeficiente de escoamento.

ANALYSIS OF RUNOFF COEFFICIENT OF PAVEMENT PERMEABLE TYPE PAVER.

Abstract – The current scenario of large urban agglomerations has changed the natural flow of stormwater runoff. This occupation causes a change in the original conditions of the soil cover and water flow. The runoff coefficient was taken this paper as a measure of performance of permeable pavement. This study aims to evaluate and compare the runoff coefficient (C) in permeable pavement type PAVER on three sections with different substrates. It was simulated an event of rain intensity of 97 mm/h lasting 30 minutes on the floor of the type Paver manufactured in different structural conditions. The structure with sand and gravel had the lowest coefficient C, the other two sections showed the coefficients C compatible with the respective storage layers.

Keywords - urbanization, pervious pavement, runoff coefficient.

1. INTRODUÇÃO

O cenário de grandes aglomerações em centros urbanos tem prejudicado o fluxo natural do escoamento da água da chuva. Esta ocupação ocasiona uma alteração nas condições originais da cobertura do solo com a diminuição de área permeáveis o que prejudica a infiltração da água e aumenta o escoamento superficial na área. Para Hou et al. (2008) a impermeabilização do solo acarreta múltiplos impactos sobre a bacia hidrográfica, como o aumento da vazão de pico, do volume de escoamento, erosão das margens e carreamento de sedimentos para o leito dos rios e diminuição da recarga do lençol freático.

Para Tucci (2003), a alteração da cobertura do solo e canalização do escoamento provoca fortes alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas e a falta de planejamento sobre o espaço urbano

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – UFG, GO. e-mail: claudiasguedes@yahoo.com.br

² Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – UFG, GO. e-mail: manups3@gmail.com

³ Professor da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás - UFG. e-mail: eduqs@yahoo.com

produz um efeito direto sobre as infraestruturas da água e também sobre a população que sofre com os prejuízos causados pelas inundações.

A urbanização afeta o ciclo hidrológico natural da área, segundo Pinto (2011), esta situação leva ao estrangulamento das redes de drenagem convencionais e o seu impacto é manifestado na forma de inundações, que apresentam cada vez mais frequência e maiores magnitudes. As inundações em áreas urbanas levam a consequências sociais, ambientais, políticas e econômicas, como por exemplo, perdas de vida, degradação do ambiente e da paisagem urbana, prejuízos patrimoniais, econômicos e financeiros.

A inundações nas cidades é resultado também da deficiência do planejamento urbano, falta de controle sobre o uso e ocupação do solo, ocupação de áreas ribeirinhas e o mau dimensionamento dos sistemas de drenagem. Para Tucci (1995) na maioria das cidades de grande e médio porte do país sofrem com a falta de planejamento da drenagem urbana e que após consolidada a urbanização, as medidas corretivas para evitar inundações na área são extremamente caras como, por exemplo, a construção de diques, canalizações e barragens.

De acordo com Araújo, Tucci e Goldenfun (2000), as soluções para esses problemas por parte da administração pública geralmente são voltadas para o uso de medidas estruturais, como as estruturas de drenagem convencional. Os dispositivos convencionais ou tradicionais de drenagem urbana visam à solução do problema pontual com a canalização do escoamento, ou seja, são projetados para deslocar o excesso de escoamento superficial o mais rápido possível de um ponto a outro. Estas estruturas não levam em consideração a causa do problema e ocasionam muitas vezes a transferência de inundações para áreas à jusante da bacia em questão. Os sistemas tradicionais são limitados devido ao alto custo de instalação e manutenção e também não comportam o aumento da vazão escoada na superfície.

Para evitar problemas oriundos da urbanização desordenada, diversas estratégias têm sido apresentadas em um novo conceito sobre projetos de drenagem urbana, que visam imitar o ciclo hidrológico natural (PARKINSON et al., 2003). Por exemplo, bacias de retenção, pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração. De acordo com Zanta et al. (2008), essas técnicas já estão bastante difundidas em países desenvolvidos como Estados Unidos, Canadá e Austrália.

Segundo Tucci (2003), opondo-se ao conceito de afastamento rápida da água pluvial, os dispositivos de drenagem alternativo ou não convencionais, favorecem a infiltração da água no solo e promovem o armazenamento temporário da mesma. Este sistema visa alterar o hidrograma resposta da bacia para a sua condição de pré-urbanização, diminuindo a vazão de pico e aumentando o tempo de pico. Estas estruturas consistem em controlar os problemas relacionados à impermeabilização do solo na fonte. Esses dispositivos já estão sendo utilizados em áreas como estacionamento, parques e calçadas, eles podem aumentar a infiltração da água no solo e conseqüentemente favorecem a recarga do escoamento subterrâneo (BEAN; HUNT; BIDELESPACH, 2007).

Como exemplo desses dispositivos tem-se os pavimentos permeáveis que podem reduzir o volume do escoamento superficial, a vazão de pico e diminuem o impacto da qualidade da água pluvial sobre o curso d'água. Os pavimentos permeáveis são formados por estruturas drenantes assentados sobre material granular (areia, brita), permitem a redução do escoamento superficial na fonte, promovendo o armazenamento temporário da água e favorecendo a recarga dos aquíferos subterrâneos.

Segundo Ferguson (2005), na América do Norte muitos estados regulamentaram o uso de pavimentos permeáveis na gestão das águas pluviais urbanas, o que contribuiu com a disseminação

do dispositivo. Isto auxilia significativamente no contorno dos efeitos adversos da urbanização sobre o meio ambiente. Em experiência realizada na Geórgia com pavimentos permeáveis, Ferguson (2007) mostra que, uma gama de materiais porosos para pavimentação está disponível, mas atenta no cuidado necessário na seleção, concepção do projeto e instalação do pavimento para ter um resultado hidrológico satisfatório.

O coeficiente de escoamento (C) é um coeficiente adimensional que relaciona a quantidade de escoamento superficial para a quantidade de volume de precipitação recebida. Assume um valor maior para áreas com baixa infiltração e menor para áreas permeável e bem vegetadas. Garotti e Barbassa (2010) afirmam que a impermeabilização do solo é um reflexo do impacto da urbanização sobre a bacia hidrológica, podendo ser utilizado na estimativa de valores apropriados para o coeficiente de escoamento (C).

Segundo Tucci (2000) o coeficiente de escoamento, também chamado de coeficiente de deflúvio, varia de acordo com a intensidade e distribuição da precipitação, a saturação e a retenção do solo. Ainda segundo o autor, este coeficiente é importante para analisar o balanço hídrico da bacia e os cenários de urbanização. Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar o coeficiente de escoamento superficial no pavimento permeável do tipo PAVER (bloco de concreto maciço) sobre três diferentes substratos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo foi realizado a simulação de um evento de chuva de intensidade de 97 mm/h com duração de 30 minutos, para a determinação deste evento de chuva utilizou-se a equação de chuva (método i-d-f) para a cidade de Goiânia (equação 1) proposta por Costa et al. (2007), com um tempo de retorno de 5 anos, para obras de microdrenagem.

$$i = \frac{56,7928}{(t+24,8)^{0,974711}} \left[T^{0,1471 + \frac{0,22}{T^{0,09}}} \right]^{0,6274} \quad \text{Válida para } 1 \text{ ano} \leq T \leq 8 \text{ anos} \quad (1)$$

Onde:

i – intensidade de chuva (mm/h);

t – duração da chuva (h);

T – período de retorno (anos).

O evento de chuva foi simulado utilizando o simulador de chuva desenvolvido por Sousa Junior (2011) que afirma que seu equipamento é composto por duas unidades: uma de aspersão e a outra de suporte. O simulador é equipado com dois aspersores, um manômetro analógico ligado a tubulação de entrada da água, registro de gaveta de 1/2" e solenoides para o controle da intensidade de chuva, ilustrado na Figura 1.

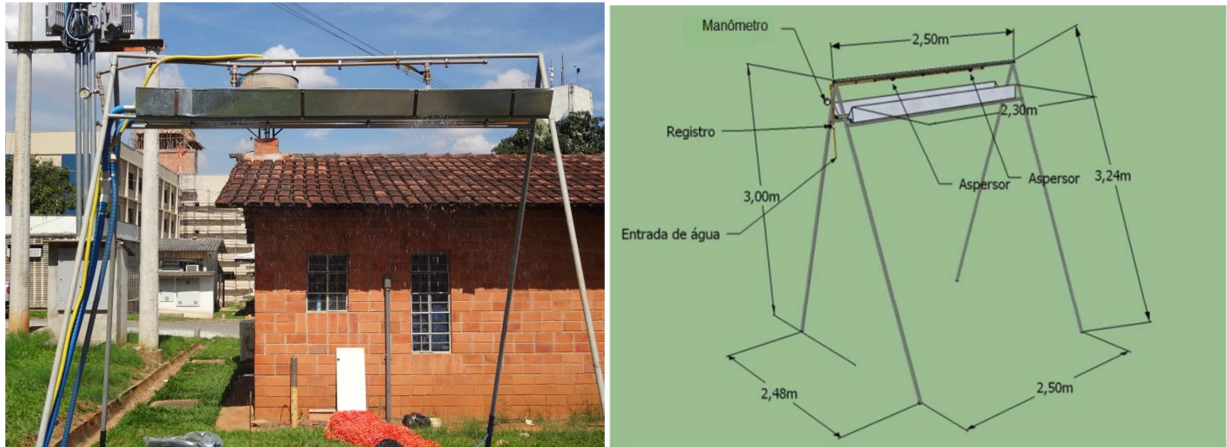


Figura 1: (a) simulador de chuva; (b) desenho esquemático do simulador de chuva (SOUSA JUNIOR, 2011).

As válvulas são acionadas por uma placa única, que ligada ao software livre Arduino Duemilino é possível fazer a programação da abertura e fechamento da válvula de acordo com a intensidade de chuva escolhida utilizando – se a equação 2.

$$I_c = 106,1046 + 22,5978ta - 32,1052tf - 1,4662ta^2 + 2,3096tf^2 + 0,4107ta \cdot tf \quad (2)$$

Onde:

I_c – intensidade calculada por meio da equação de chuva (mm/h).

ta - tempo de abertura das válvulas solenoides (s).

tf - tempo de fechamento das válvulas solenoides (s).

O modelo é válido para: $0,5 \leq ta \leq 8,0$ e $0,5 \leq tf \leq 8,0$.

Para a simulação de eventos de chuva Sousa Junior (2011) recomenda que a pressão a ser utilizada seja de 80 Kpa, pois após a realização de testes, observou-se que o tamanho das gotas e a pressão se assemelham as condições de chuvas naturais.

Na calibração do simulador foi utilizada uma lona sobre a célula de pavimentação, com a duração da simulação de 3 minutos em três repetições, onde foi coletado o volume escoado. O volume escoado foi medido com o uso de uma trena, através da altura total da lâmina d'água e também com o auxílio de um sensor de nível. A intensidade real foi calculada utilizando a média dos volumes coletados em cada repetição. A intensidade real (I_r) precipitada foi calculada utilizando a equação abaixo:

$$I_r = \left(\left(\frac{V}{A} \right)^{-t} \right) * 60 \quad (3)$$

Onde:

I_r - intensidade real da chuva simulada (mm/h);

V - volume coletado (L);

A – área de cada trecho (neste caso 3,2 m²) (m²);

t - duração do evento simulado (min).

A água escoada foi encaminhada para um tubo de PVC de 200 mm enterrado no solo, onde é realizado o registro dos volumes de escoamento por meio de um sensor de nível da marca Onset modelo U20-001-01 (Figura 2). O registro de dados foi feito em intervalos de 5 segundos, além de mensurar o nível da água, o equipamento também mede a pressão barométrica e temperatura da água.



Figura 2: Sensor de nível de água modelo U20-001-01

O evento foi realizado sobre o pavimento permeável do tipo PAVER que consiste em blocos de concreto maciço pré-moldados, a área possui aproximadamente 3,2 m² e foi construída no ano de 2011 por Castro (2011) na Escola de Engenharia Civil - EEC na Universidade Federal de Goiás, na cidade de Goiânia.

O pavimento foi construído sobre três trechos com diferentes substratos conforme descreve o Quadro 1.

Quadro 1: Trechos e respectivas condições de construção.

TRECHO	AREIA (base)	BRITA (sub-base)	MANTA GEOTEXTIL	SUBLEITO
I	7 cm	7 cm	Sim	Compactado
II	7 cm	-	Sim	Compactado
III	4 cm	-	-	Natural

O cálculo do volume foi obtido pela transformação do nível de água acumulado obtido pelo sensor U-20. Os dados foram analisados em planilha eletrônica, Excel 2010, para a comparação entre os coeficientes de escoamento dos diferentes substratos. O coeficiente de escoamento (C) é obtido pela razão entre o volume do escoamento superficial e o volume precipitado:

$$C = \frac{V_e}{V_p}$$

- C – coeficiente de escoamento;
- V_e – volume escoado (L);
- V_p – volume precipitado (L).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A calibração do simulador de chuva consiste em comparar a chuva simulada os padrões de precipitação conhecidos. No quadro 2 é apresentado os volumes precipitados, a intensidade calculada por meio equação da chuva (I_c - utilizada para a programação do simulador de chuva)), a intensidade real (I_r - resultado da simulação), intensidade média (I_m) e o desvio padrão das intensidades.

Teste	Volume (L)	Intensidade calculada (I_c) mm/h	Intensidade real (I_r) mm/h	Intensidade média (I_m) mm/h	Desvio padrão
1	15,87	97	99,2	100,8	2,68
2	16,49	97	103,1		
3	16,02	97	100,1		

Quadro 2: Resultado dos testes realizados para a calibração da intensidade de chuva.

Para os cálculos de volume utilizou-se a I_m de 100,8 mm/h, resultando em um volume precipitado de 161,3 L. As Figuras 4,5 e 6 mostram os hidrogramas do evento simulado para os diferentes tipos de substratos.

Observa-se nas figuras 3, 4 e 5, a variação na vazão de pico que é de aproximadamente 0,17 L/s, 0,33 L/s e 0,3 L/s para os trechos I (14 cm de armazenamento), II (camada de 7 cm) e III (camada de armazenamento de 4 cm), respectivamente. Este resultado se deve a diferença de cada estrutura e sua dimensão da camada de armazenamento. O trecho I apresenta uma camada de armazenamento de 14 cm o qual contribui para maior armazenamento e como observado uma menor vazão de pico. O trecho II apresenta uma camada de armazenamento de 7 cm enquanto o trecho III de apenas 4 cm mas, apresentou uma vazão de pico maior que o último trecho o que pode ser justificado pelo acúmulo de sedimentos sobre a superfície.

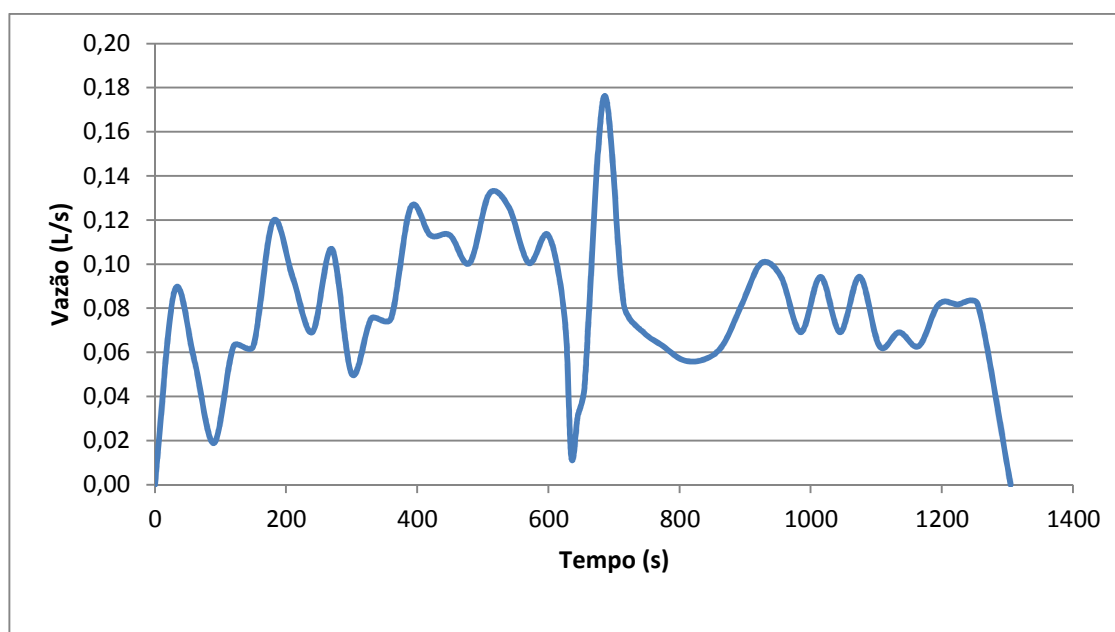


Figura 3: Hidrograma trecho I.

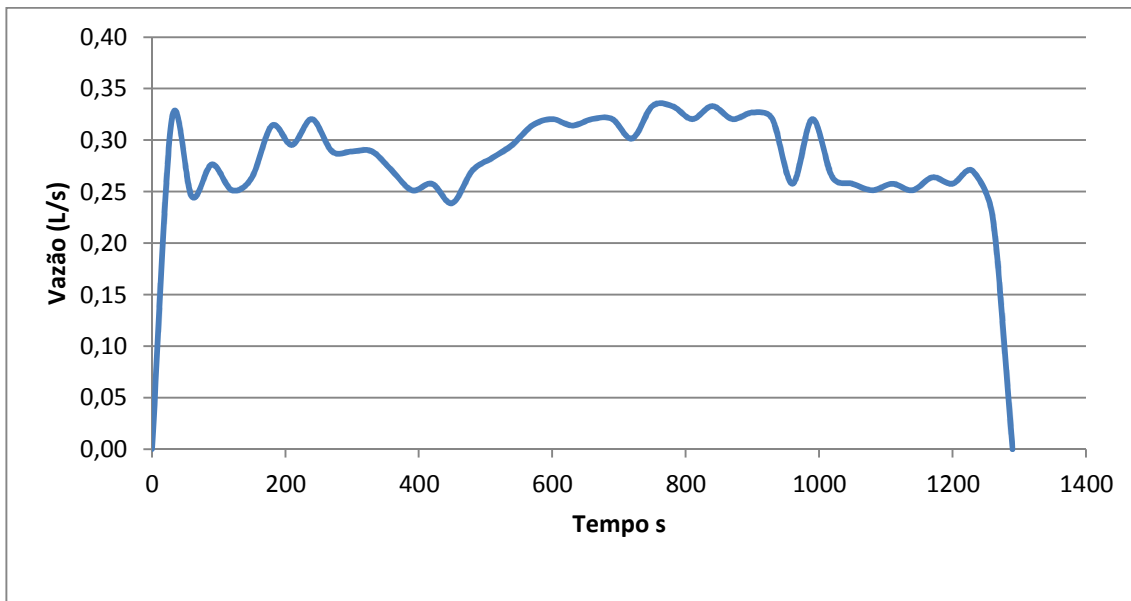


Figura 4: Hidrograma trecho II.

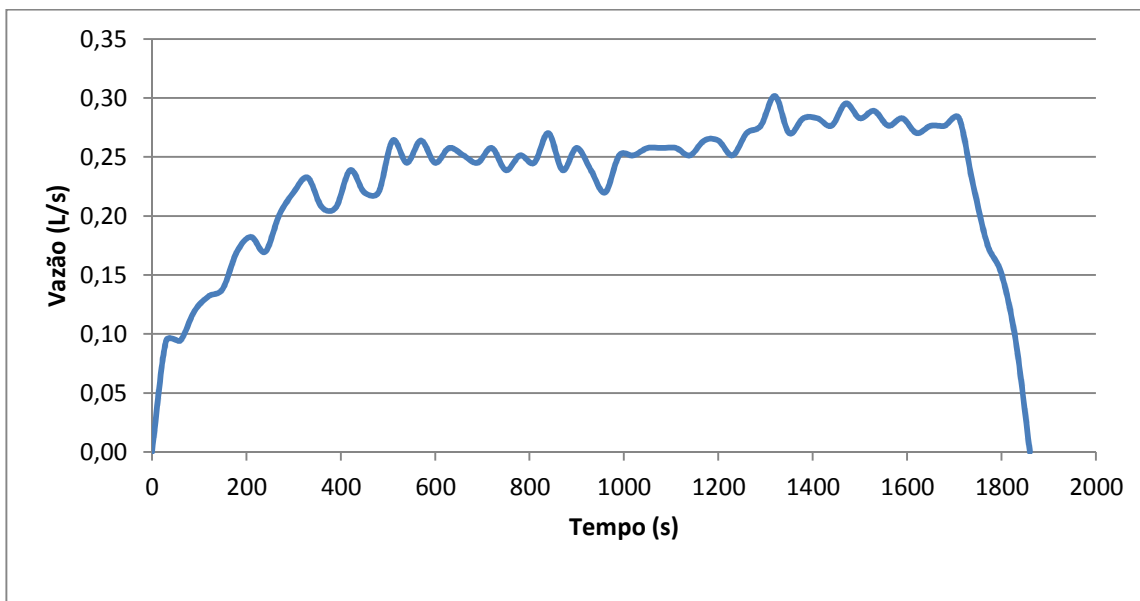


Figura 5: Hidrograma trecho III.

O escoamento superficial nos três trechos de pavimentos pode ser observado no Quadro 2, o trecho III como já era previsto apresentou um maior volume de escoamento, pois apresenta uma menor camada de armazenamento. Para o trecho II, como já disse acima apresenta uma cama de armazenamento maior que o III, o volume de escoamento foi maior que o previsto e bem próximo ao volume escoado no trecho III, pode-se relacionar este resultado com o efeito colmatção sobre a área já que sua permeabilidade está restrita apenas as juntas do pavimento. Para o trecho, como já esperado, apresentou uma maior infiltração e conseqüentemente seu volume de escoamento superficial foi o mais baixo.

TRECHO	VOLUME PRECIPITADO (L)	VOLUME ESCOADO (L)
I	161,3	17,94
II	161,3	60,98
III	161,3	71,52

Quadro 3: Volumes da precipitação e do escoamento superficial e coeficiente de escoamento C para cada trecho.

Os coeficientes de escoamento foram obtidos pela razão entre o volume escoado e o precipitado, e representam a porcentagem de chuva que se transforma em escoamento. A diferença dos coeficientes de escoamento diminui à medida que aumenta a impermeabilização, a redução da permeabilidade do trecho, resultando assim em um acréscimo de volume de escoamento e conseqüentemente na diminuição da diferença entre os coeficientes de escoamento (C). Fator este encontrado também por Costa Junior e Barbassa (2006), em seu estudo notou-se que o coeficiente de escoamento aumenta com a impermeabilização do solo no lote, pois possuem um escoamento superficial direto elevado.

Nos resultados da Figura 7, o trecho I que apresenta maior camada de armazenamento, 15 cm (areia + brita), apresentou o menor coeficiente de escoamento superficial C, este substrato contribuiu com maior volume de armazenamento que conseqüentemente reduziu o volume do escoamento superficial.

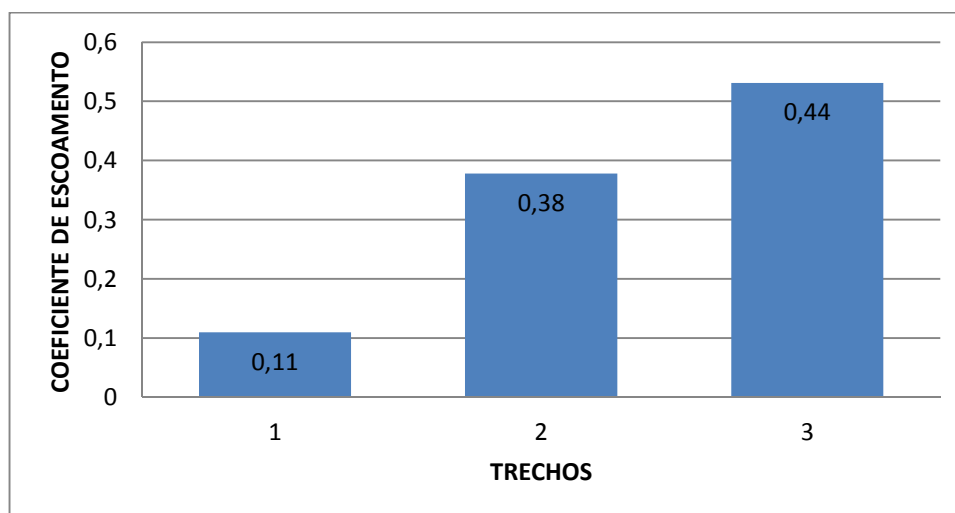


Figura 7: Coeficiente de escoamento para cada tipo de substrato.

Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) concluíram que os blocos de concreto maciço, considerados semipermeáveis, apresentaram um coeficiente de escoamento 22% superior ao do solo compactado e que apesar de não haver garantia de manutenção das condições de pré-urbanização houve uma significativa redução do escoamento.

No experimento realizado por Hou et al. (2008) observaram que em uma chuva de 59.36 mm/h o coeficiente de escoamento para o pavimento permeável do tipo poroso foi de zero enquanto que para o pavimento impermeável foi 0.85. O que comprova que quanto mais permeável é a área, menor o escoamento superficial e menor o coeficiente de escoamento.

Os resultados também são confirmados na pesquisa realizada por Rushton (2001), em sua pesquisa, no estacionamento do Aquário da Flórida em Tampa, a substituição da área impermeável em pavimentos permeáveis reduziu o escoamento superficial de 10% a 15% e obteve coeficiente de escoamento de 0.20 enquanto que o coeficiente do asfalto integrado com vala foi de 0.35.

4. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados permitem concluir que: quanto maior a camada de armazenamento menor o volume de escoamento, menor vazão de pico e conseqüentemente menor coeficiente de escoamento. A construção do trecho III assemelha-se ao aplicado em calçadas e estacionamento no município de Goiânia, apesar de possuir um coeficiente de escoamento maior do que os outros trechos com maior camada de armazenamento, este dimensionamento contribui para a redução do escoamento superficial se comparado a áreas impermeáveis.

5. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. 2000.
- BEAN, E. Z., HUNT, W. F., AND BIDELESPACH, D. A. Evaluation of four permeable pavement sites in eastern North Carolina for runoff reduction and water quality impacts. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 133(6): págs. 583-592, 2007.
- COSTA, A. R., SIQUEIRA, E. Q., MENEZES FILHO, F. C. M. **Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3** /. Brasília: ReCESA 2007.
- COSTA JUNIOR, L. L., BARBASSA, A.P. **Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 11, n. 1, Mar. 2006 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522006000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 04 Mar. 2013.
- FERGUSON, B. K. **Porous pavements**: Integrative Studies in Water Management and Land Development, Nova York, 2005.
- FERGUSON, B. K. **Porous Pavements in Georgia**. 2007 Georgia Water Resources Conference, Georgia, 2007.
- GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A.P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Eng. Sanit. Ambient.** 2010, vol.15, n.1, pp. 19-28. 2010.
- HOU, L. FENG, S., DING, Y., ZHANG, S., HUO, Z. Experimental study on rainfall-runoff relation for porous pavements. **Hydrology Research** | 39.3 | 2008.
- PARKINSON, J., MILOGRANA, J., CAMPOS, L.C., CAMPOS, R. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**: Relatório do Workshop em Goiânia-GO, 2003. Disponível em: <<http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de->

trabalho/residuos/docs_resid_solidos/drenagem_urbana_no_Brasil-workshop_relatorio081003.pdf>
Acesso em: 30/06/2012.

PINTO, L.L.C.A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano.** Tese (doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2011.

RUSHTON, B. T. Low-impact parking lot design reduces runoff and pollutant loads. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 127, n. 3, p. 172-179, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas.** In: TUCCI, C. E. M., PORTO, R.L.L., BARROS, M.T. Drenagem urbana. Porto Alegre: Ed.da UFRGS:ABRH, 1995

TUCCI, C. E. M.. **Drenagem urbana.** Cienc. Cult., São Paulo, v. 55, n. 4, Dec. 2003.
Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000400020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 04 Mar. 2013.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Parâmetros do Hidrograma Unitário para bacias urbanas brasileiras.** Artigo submetido à RBRH, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Elementos para o controle da drenagem urbana. Avaliação e Controle da Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH p, p. 41-53, 2001.

ZANTA, V. M., JUCÁ, J.F. T., GOMES, H. P., CASTRO, M. A. H. (Coord.). **Águas Pluviais: planejamento setorial de drenagem urbana: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org).** – Salvador: ReCESA, 2008. 95p.