

Estudo da Redução do Escoamento Superficial Direto em Superfícies Permeáveis

Leandro Obadowiski Bruno¹; Ricardo Santos Silva Amorim¹, Alexandre Silveira²
leandroo.bruno@gmail.com, alexandre.silveira@unifal-mg.edu.br, rsamorim@ufmt.com

Recebido: 29/05/12 - revisado: 16/11/12 - aceito: 08/01/13

RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de avaliar e comparar a eficiência de cinco tipos de revestimentos utilizados em áreas urbanas: solo gramado, solo exposto, blocos de concreto vazados, blocos de concreto maciços e concreto convencional na redução do escoamento superficial. A pesquisa fundamentou-se em realização de testes experimentais em blocos casualizados, conduzidos nas parcelas construídas em triplicata para cada tipo de superfície, sob as quais foram realizadas chuvas com simulador calibrado às intensidades de precipitação de 79mm/h e 121mm/h. Foram avaliados parâmetros hidrológicos por meio de balanço hídrico a partir da determinação experimental do coeficiente de escoamento superficial e taxa de infiltração estável, e ainda o controle da umidade inicial nas camadas de solo adjacentes aos revestimentos analisados. Das alternativas avaliadas, a superfície com grama foi a que apresentou os melhores resultados. Verificou-se que para este revestimento não houve a geração do escoamento superficial para alguns casos, mostrando o potencial de superfícies cobertas com vegetação na redução da produção de escoamento superficial. Por outro lado, para a parcela com solo exposto, a geração de escoamento superficial foi bastante superior à parcela com grama, com coeficiente de escoamento de até duas vezes maior. O escoamento superficial verificado na superfície de concreto foi na ordem de 90% do volume precipitado, sendo quatro vezes e meia maior do que o valor apresentado nas superfícies com revestimentos de blocos de concreto maciços. A superfície de blocos de concreto vazados e blocos de concreto maciços foram eficientes na redução do escoamento superficial corroborando com os valores apresentados na literatura.

Palavras chave: *Pavimentos permeáveis; Redução de escoamento superficial; simulação de chuva.*

INTRODUÇÃO

O Brasil e os demais países em desenvolvimento têm apresentado elevadas taxas de crescimento urbano nas últimas décadas. Este fenômeno tem ocasionado mudanças significativas no ambiente, contribuindo para o comprometimento da qualidade de vida de seus habitantes.

Um dos problemas gerados pelo crescimento das áreas urbanas é a impermeabilização do solo. Esse processo se caracteriza pela transformação da cobertura natural do solo através da sobreposição de telhados, calçamentos, pavimentação asfáltica entre outros. Tais estruturas impedem que a água das chuvas alcance o solo, tendo como resultado o seu escoamento para regiões adjacentes, favorecendo alterações nas fases do ciclo hidrológico.

Tradicionalmente, os projetos e, consequentemente, dispositivos utilizados para a solução dos problemas de drenagem das águas pluviais são voltados para a canalização do escoamento. Os exemplos mais comuns consistem na construção de galerias subterrâneas e na retificação dos córregos urbanos. Entretanto, as experiências práticas comprovaram que estes sistemas não são sustentáveis. Primeiro, por conduzirem o volume escoado para outras bacias, o que não resolve definitivamente o problema das enchentes. E depois, por sua limitada capacidade em transferir os volumes precipitados, face ao incremento do escoamento superficial, ocasionado pela crescente urbanização.

Nesse sentido, estudos recentes (BRATTEBO, BOOTH, 2003; SCHLUTER, JEFFERIES, 2004; SCHOLZ, 2006a; SCHOLZ, 2006b) indicam que uma nova abordagem com relação ao gerenciamento de águas pluviais em ambientes urbanos vem se consolidando. Assim, conceitos recentes relacionados ao desenvolvimento de sistemas de drenagem urbana sustentáveis e o uso das chamadas

¹ Universidade Federal de Mato Grosso

² Universidade Federal de Alfenas

soluções alternativas ou técnicas compensatórias de drenagem são destacadas.

Soluções alternativas são aquelas que se opõem ao conceito de evacuação rápida, proposta pelo modelo tradicional de drenagem. Seu objetivo se concentra no controle do escoamento, promovendo o retardamento e a infiltração das águas pluviais. O termo solução compensatória também é freqüentemente utilizado na literatura especializada em função do efeito compensador das soluções sobre os impactos causados pela urbanização nos processos hidrológicos.

Dentre os dispositivos que podem reduzir o escoamento superficial na fonte estão as superfícies permeáveis. Urbonas e Stahre (1993) definem estes revestimentos como dispositivos de infiltração que permitem a infiltração de água através de sua estrutura, para onde infiltra no solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o aquífero.

Para que as superfícies permeáveis possam ser utilizadas em ambientes urbanos como alternativa para o controle do escoamento superficial, o seu comportamento deve ser estudado. Silva et. al., (2009) ressaltam que a eficiência dessas soluções está condicionada às características locais como tipo de solo, regime de precipitações, topografia, qualidade das águas de drenagem, dentre outros. Por esta razão, não é possível simplesmente adotar os resultados encontrados por outros pesquisadores, e sim, há a necessidade de se experimentar o comportamento desses dispositivos para cada região, de forma a obter resultados que comprovem a aplicabilidade das soluções para um panorama local.

Neste contexto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar experimentalmente as superfícies de solo gramado, solo exposto, blocos de concreto vazados, blocos de concreto maciços e concreto convencional na redução do escoamento superficial direto.

INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

O trabalho foi desenvolvido nas condições reais de campo sob a ação de chuva simulada em cinco diferentes tipos de superfícies. A área de estudo está localizada na Universidade Federal de Mato Grosso, perímetro urbano de Cuiabá, coordenadas 15°36'25.25"S e 56° 3'39.10"O, em solo classificado como argiloso.

Os testes experimentais basearam-se em ensaios de infiltração, efetuados com intensidade de precipitação constante, utilizando-se um simulador

de chuvas desenvolvido por Alves Sobrinho et. al., (2002), portando bicos modelos Veejet 80.100 com uma pressão de 32,7kPa. A Figura 1 apresenta o simulador de chuvas utilizado no estudo.



Figura 1 – Simulador de chuvas utilizado nos testes de infiltração.

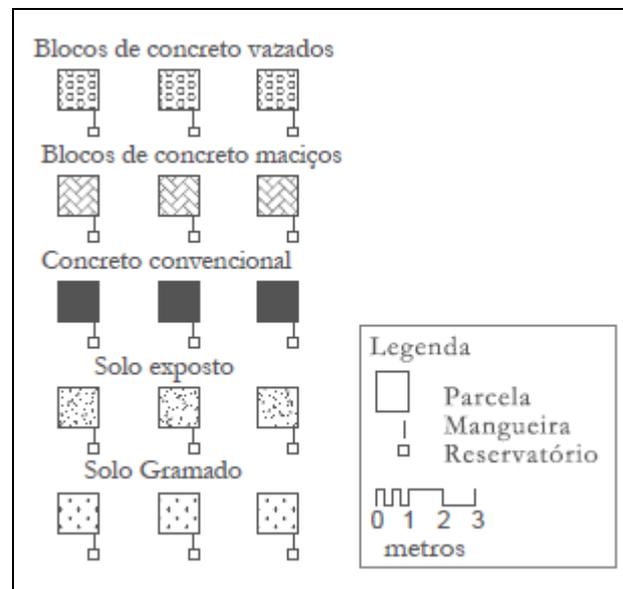


Figura 2 – Esquema da parcela experimental.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, recomendado quando não

houver homogeneidade das condições experimentais, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2x5. Foram utilizadas duas intensidades de precipitação, 79mm/h e 121mm/h, com três ensaios repetidos em cada uma das cinco superfícies, totalizando 30 testes experimentais. Cada parcela experimental possui área de 0,7m² e foi isolada por um quadro metálico vazado cravado na superfície avaliada. Na aresta do quadro que recebe o fluxo do escoamento superficial há uma abertura localizada que coleta o escoamento superficial e a direciona para um reservatório. Posteriormente o valor da lâmina infiltrada é quantificado através da diferença entre o volume aplicado pelo simulador de chuvas e volume recolhido no reservatório. A Figura 2 apresenta o esquema das parcelas experimentais.

SUPERFÍCIES ESTUDADAS

O trabalho envolveu o estudo de cinco tipos diferentes de superfícies: (i) blocos de concreto vazados; (ii) blocos de concreto maciços; (iii) concreto convencional; (iv) solo exposto; (v) solo gramado.

- i. **Blocos de concreto vazados:** foram construídas três parcelas revestidas com blocos de concreto vazados preenchidas com uma camada de material granular, (areia) com 4 cm de espessura e declividade longitudinal de 2 %. O material utilizado é constituído de blocos de concreto industrializado tipo bujão com seis centímetros de espessura, o qual permite a infiltração da água pelo orifício que se forma após a sua instalação.
- ii. **Blocos de concreto maciços:** foram construídas três parcelas revestidas com blocos de concreto maciços preenchidos com uma camada de material granular (areia) com 4 cm de espessura e declividade longitudinal de 2%. O material utilizado é constituído de blocos de concreto industrializados tipo prisma com seis centímetros de espessura, são intertravados de forma a permitir a infiltração da água apenas pelas juntas existentes entre os blocos.
- iii. **Concreto convencional:** foram construídas três parcelas com blocos de concreto maciços revestidas com concreto convencional, cimento, areia e brita, com declividade de 2 %.
- iv. **Solo exposto:** foram construídas três parcelas com solo exposto sob condições normais

de compactação do terreno, com 2 % de declividade.

- v. **Solo gramado:** foram construídas três parcelas revestidas com grama do tipo esmeralda com 2 % de declividade.

Nas Figuras 3 (a), (b), (c), (d), (e) é possível observar os tipos de superfícies construídas para a realização do estudo.



Figura 3 (a) – Blocos de concreto vazados.



Figura 3 (b) – Blocos de concreto maciços.



Figura 3 (c) – Concreto convencional.



Figura 3 (d) – Solo exposto.



Figura 3 (e) – Solo gramado.

As superfícies de blocos de concreto vazados e blocos de concreto maciços correspondem a dois tipos de revestimentos aplicáveis em áreas urbanas consideradas soluções alternativas de drenagem para a redução do escoamento superficial. As superfícies revestidas com concreto convencional, solo exposto e solo gramado foram utilizadas como referências. Os ensaios realizados com a superfície de concreto convencional foram efetuados para permitir a comparação com locais totalmente impermeabilizados como passeios e estacionamento de lojas comerciais; o solo exposto para avaliar o efeito da retirada da cobertura natural sobre o escoamento superficial no local dos testes; e o solo gramado, efetuado para avaliar uma situação de pré-urbanização.

SIMULAÇÃO DAS SUPERFÍCIES

As simulações ocorreram imediatamente após a implantação das parcelas. Durante essa etapa, não foi registrada a ocorrência de eventos chuvosos

na região. O intervalo de tempo entre duas simulações em uma mesma parcela foi de, no mínimo 72 horas, de forma a tentar manter próximas as condições de umidade inicial do solo entre as simulações.

As intensidades de precipitação utilizadas na simulação foram definidas a partir de experimentos prévios sobre as superfícies de concreto, onde foi possível identificar os valores a serem utilizados. Para algumas superfícies, sobretudo as de blocos de concreto vazados, observou-se que precipitações inferiores a 70 mm/h não produziam escoamento superficial, provavelmente por esse valor estar abaixo da capacidade de infiltração final do solo. Dessa forma, procurou-se utilizar intensidades maiores que permitissem caracterizar o comportamento do escoamento superficial e infiltração ao longo do tempo para todas as superfícies estudadas. Ainda, a calibração do equipamento simulador de chuvas foi determinada considerando valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) maiores que 90 %. Utilizando tais critérios, dois valores de precipitação foram estabelecidos, 79 mm/h e 121 mm/h. Soma-se a isto o fato de Moura (2005) e Silva (2006) terem desenvolvido pesquisas com estas intensidades de precipitação.

A umidade do solo foi determinada pelo método padrão da estufa (EMBRAPA, 1997) e os escoamentos discretizados em intervalos de 2 minutos. A Figura 4 apresenta as curvas da taxa de infiltração estimadas pelo modelo de Horton e as curvas dos valores médios de infiltração observados nas determinações de campo para os cinco tipos de superfícies estudadas nas aplicações de precipitação de 79mm/h.

A Tabela 1 apresenta as Equações de Horton ajustadas aos dados obtidos experimentalmente e os Coeficientes de Determinação nas aplicações de intensidade de precipitação de 79mm/h.

A superfície de solo gramado não gerou escoamento superficial. O longo período sem chuvas resultou na baixa umidade do solo e, juntamente com a interceptação vegetal e a baixa compactação do terreno, contribuíram para que não houvesse o escoamento superficial nesse tipo de revestimento.

Assim como observado na superfície gramada, verificou-se que a superfície com blocos vazados praticamente não permitiu a geração do escoamento superficial em experimentos com intensidades de precipitação de 79mm/h. Como visualizado na Tabela 3 a taxa de infiltração estável foi de 78,07mm/h. Caso semelhante foi verificado

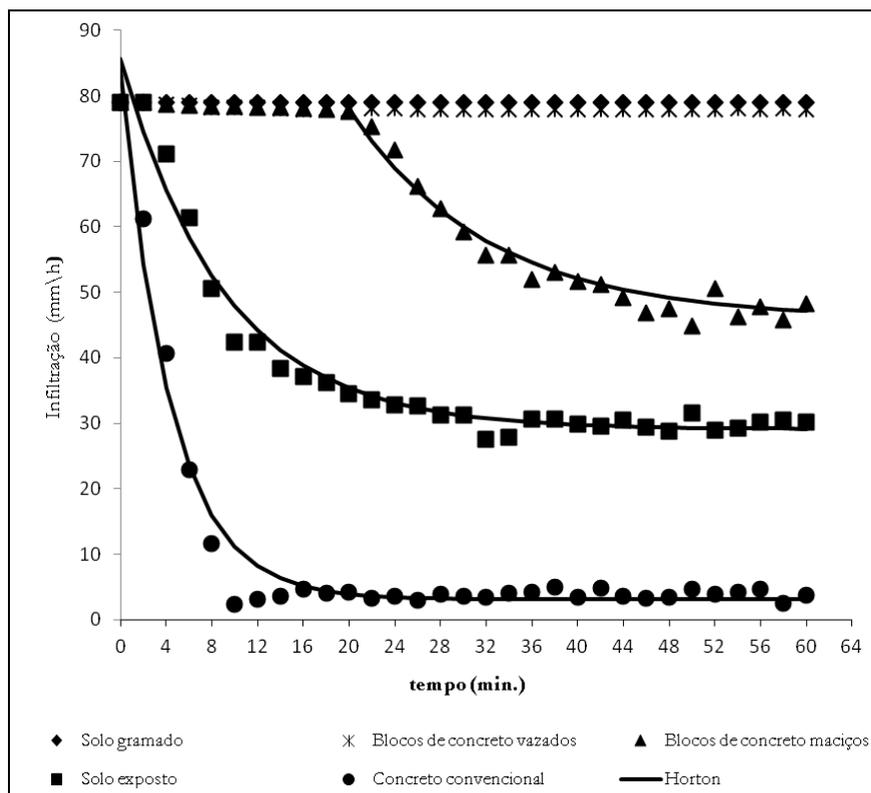


Figura 4 – Taxa de infiltração (Ti) obtida experimentalmente e a partir do ajuste da equação de Horton aos dados experimentais para os cinco revestimentos estudados utilizando-se intensidade de precipitação de 79 mm/h.

no trabalho desenvolvido por Moura (2005) que, utilizando intensidades de precipitação de 84mm/h por pouco mais de 60 minutos, não observou geração do escoamento superficial nos experimentos realizados com solo gramado e pavimentos vazados.

Para os testes de infiltração, com intensidade de precipitação de 79mm/h, realizados com superfícies de blocos maciços, nota-se que a infiltração teve início próximo aos 20 minutos. Após este período, a infiltração diminuiu sensivelmente, possivelmente influenciada pela saturação do solo. Neste instante, para o ensaio citado, é possível observar o estágio de transição, o qual decresceu rapidamente, se estendendo até o término do ensaio. Deste modo a média da taxa de infiltração estável (Tie) para as superfícies de blocos de concreto maciços foi de 48,2mm/h, como observado na Figura 4.

Reichardt (1990) propôs uma classificação dos solos a partir da sua taxa de infiltração constante. Quando comparados os valores de taxa de infiltração constante encontrados nos ensaios com superfície de solo exposto para aplicações de

chuvas de 79mm/h com as classes de taxa de infiltração constante propostas por esse autor, verifica-se que a taxa de infiltração constante determinada é baixa. Este fato pode ser explicado devido à textura argilosa do solo estudado, uma vez que apresenta taxa de infiltração final baixa a muito baixa (MORGAN, 2005). Ainda, segundo este autor, a textura é uma característica que influencia diretamente na taxa de infiltração.

Os experimentos realizados com superfície de concreto convencional caracterizaram-se pela queda brusca na capacidade de infiltração ainda nos instantes iniciais do teste, representado pela fase transitória. A taxa de infiltração estável foi de 3,11mm/h. Dessa forma, a superfície de concreto convencional apresentou valores muito baixos para a capacidade de infiltração, o que resultou no elevado coeficiente de escoamento superficial. Assim como observado por (BARBASSA, CAMPOS 2010) os experimentos realizados deixam bastante claro a importância das áreas impermeabilizadas e respaldam seu uso na adoção de parâmetro de modelos de previsão de enchentes.

Tabela 1 – Valores ajustados aos dados experimentais e Coeficientes de Determinação obtidos, 79mm/h

Equação de Horton Ajustada aos Dados Obtidos	Coeficiente de Determinação
$Tt(\text{solo exposto}) = 29,07 + (85,64 - 29,07) \cdot 0,11 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,94$
$Tt(\text{blocos maciços}) = 48,83 + (79,0 - 48,83) \cdot 0,08 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,90$
$Tt(\text{concreto convencional}) = 3,11 + (84,05 - 3,11) \cdot 0,22 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,93$

Tabela 2 – Valores ajustados aos dados experimentais e Coeficientes de Determinação obtidos, 121mm/h

Equação de Horton Ajustada aos Dados Obtidos	Coeficiente de Determinação
$Tt(\text{solo gramado}) = 96,3 + (121 - 96,3) \cdot 0,42 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,94$
$Tt(\text{solo exposto}) = 42,846 + (131,579 - 42,846) \cdot 0,143 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,90$
$Tt(\text{blocos maciços}) = 48,712 + (131,457 - 48,712) \cdot 0,207 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,90$
$Tt(\text{blocos vazados}) = 83,9 + (121 - 83,9) \cdot 0,1 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,91$
$Tt(\text{impermeável}) = 6,014 + (126,986 - 6,014) \cdot 0,22 \times \text{Tempo}$	$R^2 = 0,97$

Tabela 3 – Valores médios da taxa de infiltração estável (Tie), coeficiente de escoamento superficial (C) e umidade inicial (Ui)

Tratamentos	Intensidade de 79mm/h			Intensidade de 121mm/h		
	Tie (mm/h)	C _{esc}	Ui (%)	Tie (mm/h)	C _{esc}	Ui (%)
Solo Gramado	Bc	Bc	20,98 Aa	96,30 Aa	0,15 Ac	21,72 Aa
Solo Exposto	29,15 Bd	0,54 Bb	20,61 Aa	42,85 Ab	0,62 Ab	21,00 Aa
Blocos Maciços	48,20 Bc	0,21 Bc	21,44 Aa	48,71 Bb	0,55 Ac	21,90 Aa
Blocos Vazados	78,07 Ab	0,01 Bd	21,37 Aa	84,00 Ac	0,23 Ad	21,80 Aa
Concreto	3,11 Aa	0,90 Aa	21,22 Aa	6,01 Ad	0,92 Aa	21,57 Aa

O uso de letras maiúsculas e minúsculas serve para diferenciar as comparações das médias observadas. Neste caso, utilizou-se letra maiúscula para comparar a significância estatística entre as aplicações de intensidades de precipitação para os mesmos tratamentos. A letra minúscula compara os tratamentos para a mesma aplicação de intensidade. Portanto, médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

As Tabelas 1 e 2 apresentam a equação de Horton ajustada aos valores médios observados nas determinações de campo para os cinco tipos de revestimentos estudados para aplicações de precipitação de 79mm/h e 121mm/h, respectivamente. Em geral, o modelo de Horton ajustou-se bem aos revestimentos estudados, apresentando valores satisfatórios de coeficiente de determinação ($R^2 \geq 0,90$) e todos os parâmetros do modelo foram significativos em nível de 5 % de probabilidade.

Dentre os tipos de superfícies analisadas, pode-se destacar a de concreto convencional, na qual os valores observados menos se distanciaram da curva de ajuste do modelo de Horton quando comparados aos dados experimentais, resultando no maior valor de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,97$). Os valores de coeficiente de determinação elevados indicam que a pequena proporção da variância dos dados deveu-se aos erros presentes na estimativa dos parâmetros do modelo.

Com relação aos experimentos realizados com aplicações de 121mm/h, percebe-se que a superfície gramada mostrou ser a melhor alternativa para o controle do escoamento superficial, apresentando valor de taxa de infiltração estável de 96,30mm/h. Este fato indica um comportamento bastante favorável com relação ao controle na produção do escoamento superficial, mesmo em eventos críticos de precipitações.

As simulações realizadas com blocos de concreto vazados sob intensidades de 121mm/h mostraram taxa de infiltração estável de 84,00mm/h. Nesse sentido, ficou evidente que a característica deste tipo de superfície é apresentar uma taxa de infiltração estável maior do que a da superfície de blocos maciços, o que pôde ser observado em todos os ensaios realizados, independente da intensidade de precipitação aplicadas.

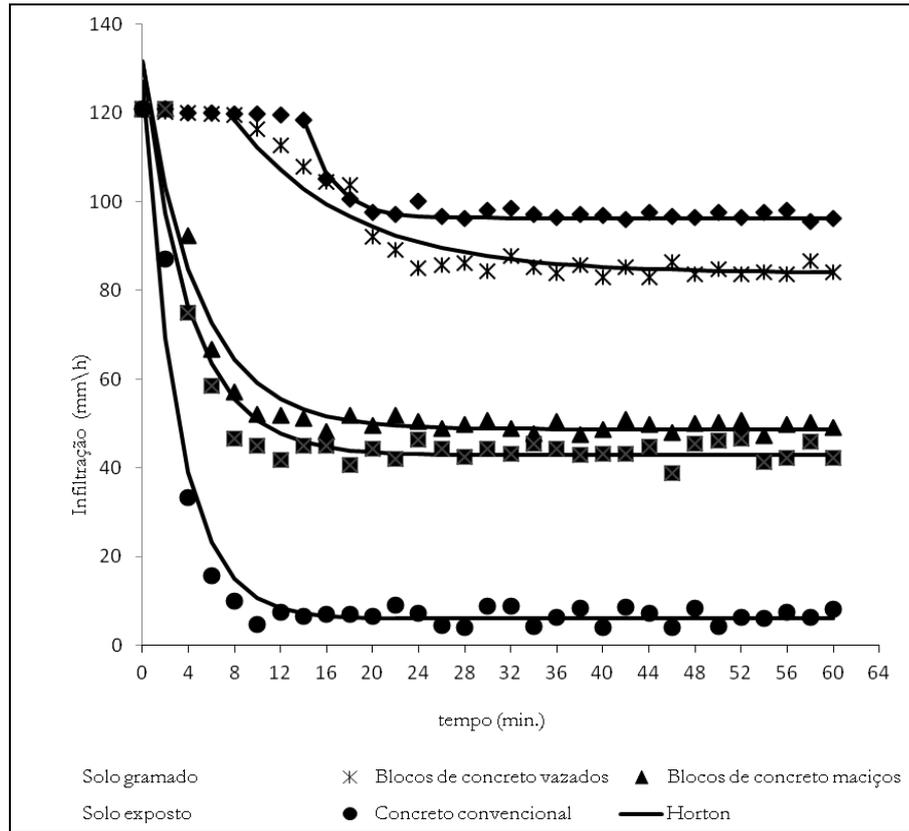


Figura 5 – Taxa de infiltração (Ti) obtida experimentalmente e a partir do ajuste da equação de Horton aos dados experimentais para os cinco revestimentos estudados utilizando-se intensidade de precipitação de 121mm/h.

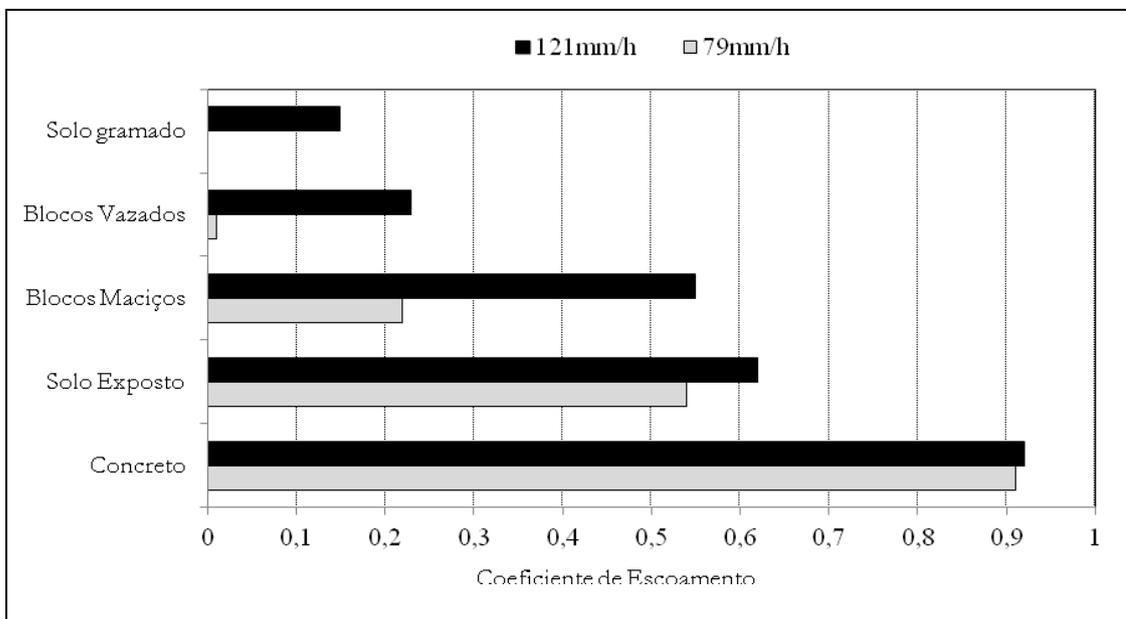


Figura 6 – Coeficiente de escoamento nos revestimentos estudados.

Para as parcelas de solo exposto a taxa de infiltração estável foi de 42,85mm/h. De acordo com a classificação de Reichardt (1990), as mensurações realizadas para a esta variável foram baixas. Para as avaliações com os blocos maciços a taxa de infiltração estável foi de 48,71mm/h, e assim foi o comportamento que mais se aproximou daquelas apresentadas pelo solo exposto.

A Figura 6 mostra graficamente os resultados obtidos para o coeficiente de escoamento nas superfícies estudadas com aplicações de chuvas simuladas para intensidades de 79mm/h e 121mm/h.

Os resultados observados na Figura 6 mostraram que, em geral, os coeficientes de escoamento foram maiores para as simulações com as precipitações de maior intensidade. Dentre as superfícies estudadas, o desempenho da superfície gramada se destacou com relação à redução da geração do escoamento superficial. Para os testes realizados com intensidade de precipitação de 79mm/h não houve geração de escoamento superficial, e nas simulações feitas com intensidades de precipitação de 121mm/h o coeficiente de escoamento foi de apenas 0,15.

Por outro lado, dentre os revestimentos estudados, o concreto convencional foi a superfície que apresentou o maior coeficiente de escoamento superficial. Os valores médios obtidos foram de 0,90 e 0,92. Resultado semelhante foi obtido por Araújo et. al. (2000) no qual o autor verificou coeficiente de escoamento superficial de 0,95. Portanto, nas simulações efetuadas em módulos de concreto convencional praticamente toda chuva gerou escoamento superficial, com acréscimo de até 60% no coeficiente de escoamento, em comparação com a simulação em solo exposto. Este resultado, assim como observado por (GARCIA; PAIVA, 2006), mostra a potencialidade de crescimento das cheias urbanas em função de uma utilização intensa deste tipo de cobertura.

Para o coeficiente de escoamento nas superfícies de blocos vazados e blocos maciços, ambos apresentaram resultados satisfatórios ao se tratar de controle do escoamento superficial para as intensidades de precipitação de 79mm/h, sendo que as parcelas referentes aos blocos vazados se destacaram pela eficiência nesse quesito. Nas simulações de chuva artificial com simulador para estas superfícies praticamente não ocorreu escoamento superficial. O pequeno escoamento gerado foi provavelmente devido ao arremate de concreto junto à face coletora do quadro metálico. Verificou-se que apenas 1% de escoamento foi

gerado, o que corresponde a 0,79mm, enquanto que na superfície de blocos maciços o escoamento não superou 21% do volume precipitado, representando 18,96mm nos ensaios realizados. Para os testes realizados nas simulações com intensidades de precipitação de 121mm/h o coeficiente C obtido foi de 0,23 para os blocos vazados e 0,55 nos blocos maciços. Estes valores mostram um melhor desempenho de ambos em relação ao revestimento convencional de concreto e reforçam a eficiência de estruturas de infiltração na redução de escoamento superficial na fonte.

As simulações realizadas com o concreto convencional foram as que apresentaram os maiores valores de escoamento superficial. Notou-se que o aumento foi excessivo em relação ao comportamento das demais superfícies analisadas. Em geral, para os testes realizados com superfícies de concreto convencional foi observado que mais de 90% do volume precipitado teve como consequência o escoamento superficial. Este valor está na faixa típica sugerida por Tucci (2000), o qual descreve valores para algumas superfícies, dentre as quais citam-se revestimentos de concreto e asfalto, que variam de 0,9 a 0,95.

A superfície de solo exposto apresentou escoamentos superficiais maiores em relação aos da superfície gramada. O coeficiente de escoamento foi de 0,54 para intensidade de 79mm/h e 0,62 para 121m/h, o que resultou no incremento de 75,80 % em relação à superfície gramada para a aplicação de 121mm/h. Este fato mostra o efeito da retirada da vegetação e a compactação do solo na geração do escoamento superficial pode causar. No trabalho desenvolvido por Silva (2006), o qual simulou precipitação de 120mm em solo exposto em um período aproximado de 40 minutos, os valores obtidos para o escoamento superficial variaram de 0,57 a 0,63. Nesse sentido, os resultados obtidos no presente trabalho se assemelham aos trabalhos reportados na literatura realizados com solos de mesma classe textural.

Os valores médios de taxa de infiltração estável (T_{ie}), coeficiente de escoamento (C_{esc}), e umidade inicial (U_i) estão apresentados na Tabela 3, conforme as intensidades de precipitação (I_p) aplicadas.

Flanagan et al. (1988) pesquisaram, por intermédio de um simulador de chuvas, o efeito de várias intensidades de precipitação na infiltração, no escoamento superficial e na erosão, tendo constatado que os resultados obtidos foram influenciados pelas umidades iniciais presentes nos solos que receberam as precipitações artificiais.

Por esta razão, a análise estatística realizada para os dados de umidade inicial foi efetuada com o objetivo de constatar a eficiência da metodologia empregada, de modo a conferir condições equivalentes de umidade inicial para os tratamentos estudados. Ao analisar os dados da Tabela 3, observa-se que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos analisados a 5% de significância pelo Teste de Tukey ($p = 0.000$).

Em função destes resultados, pode-se considerar que a umidade do solo antecedente às chuvas simuladas aplicadas não consistiu fonte de variação no presente estudo, no que confere a infiltração de água no solo e, por conseguinte, no escoamento superficial.

Observou-se ainda que, de acordo com o Teste de Tukey em nível de 5% de significância, a taxa de infiltração estável, tempo de empoçamento e coeficiente de escoamento diferem de todos os tratamentos para os testes aplicados com intensidades de precipitação de 79mm/h. Dessa forma, as características hidráulicas dos revestimentos estudados foram preponderantes para o comportamento quanto à quantidade de água infiltrada, início do escoamento superficial e quantidade de água escoada.

Por outro lado, os resultados dos testes realizados com intensidade de precipitação de 121mm/h mostraram que os valores da taxa de infiltração estável não apresentaram diferença estatística entre solo exposto e blocos maciços. O coeficiente de escoamento diferiu estatisticamente entre todas as superfícies estudadas.

Com relação às intensidades de precipitação aplicadas, os valores de taxa de infiltração estável para solo gramado e solo exposto variaram em função da intensidade de precipitação aplicadas.

CONCLUSÃO

Das alternativas avaliadas, a superfície com grama foi a que apresentou os melhores resultados. Para essa aplicação, não houve a geração do escoamento superficial nas simulações de chuvas com intensidade de precipitação de 79mm/h. Para todos os testes realizados com intensidade de 121mm/h o coeficiente de escoamento foi de apenas 0,15, mostrando o potencial de superfícies cobertas com vegetação na redução da produção de escoamento superficial.

Por outro lado, para a parcela com solo exposto nas aplicações de chuva simulada com in-

tensidade de precipitação de 121mm/h, o coeficiente de escoamento foi de 0,62 o que correspondeu a um aumento de 4,1 vezes em relação à geração do escoamento superficial observado na superfície gramada, para a mesma intensidade. De certa forma, esses resultados mostraram os impactos causados pela retirada da vegetação natural do solo sobre o volume de escoamento superficial gerado durante eventos chuvosos, reforçando a importância da manutenção de áreas verdes em locais destinados à urbanização e a necessidade de buscar alternativas de revestimento do solo que minimizem esses impactos. De maneira geral, a taxa de infiltração estável foi classificada como baixa para a superfície de solo exposto, sendo de 29,15mm/h nos testes realizados com intensidades de precipitação de 79mm/h e 42,85mm/h para os testes com 121mm/h. Estes resultados corroboram com os dados descritos por Sartori et al., (2005), na classificação hidrológica de solos Grupo D, o qual compreende os solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa, principalmente solos argilosos com alto potencial de expansão.

Nos experimentos realizados com parcelas de concreto convencional foi possível observar a magnitude do impacto que a impermeabilização do solo em ambientes urbanos pode causar. Com valores na ordem de 90%, praticamente todo o volume precipitado escoou superficialmente. Assim, o coeficiente de escoamento chegou a ser 90 vezes maior do que o valor apresentado nas superfícies de blocos de concreto vazados e 4,3 vezes maior do que o valor apresentado nas superfícies com revestimentos de blocos de concreto maciços. Pode-se observar a partir destes resultados que o aumento da vazão máxima em uma bacia hidrográfica está diretamente relacionada com a impermeabilização do solo e da ocupação da bacia pela população, o que pode implicar em alterações que resultam no aumento da frequência e magnitude das cheias dos rios urbanos, na redução da recarga dos aquíferos subterrâneos e no aumento da velocidade de escoamento durante os eventos de cheia.

Como relação ao revestimento com a superfície de blocos de concreto maciços, os experimentos mostraram que, apesar da pequena área disponível para infiltração, esse tipo de aplicação pode contribuir para a redução do escoamento superficial gerado. A taxa de infiltração estável foi de 48,20mm/h e os coeficientes de escoamento estimados não superaram 0,21 nas simulações de chuvas com intensidade de precipitação de 79mm/h. Para as simulações realizadas com intensidade de 121mm/h a taxa de infiltração estável foi de

48,71mm/h e coeficiente de escoamento de 0,55. Na prática esses requisitos podem ser satisfatórios, por exemplo, em passeios e praças, localizados em áreas planas, onde é previsto apenas o tráfego de pedestre.

As superfícies com blocos vazados se mostraram bastante eficientes para situações de intensidade de precipitação de 79 mm/h, em que foram observadas a geração significativa do escoamento superficial de apenas 1% do volume precipitado. Para as aplicações com intensidades de precipitação de 121 mm/h o coeficiente de escoamento foi de 0,23, o que corresponde ao incremento de apenas 1,53 vezes na geração do escoamento superficial em comparação a superfície gramada. Portanto, tais resultados reforçam a eficiência deste tipo de estrutura de infiltração na redução de escoamento superficial feita na fonte.

Em geral, o comportamento da infiltração mostrou-se rápido no início, decrescendo posteriormente em todos os revestimentos independente da intensidade de precipitação. Esse padrão é corroborado pelo modelo de infiltração proposto por Horton (1933), pois este indica que a infiltração inicial é alta e decresce exponencialmente com o passar do tempo, tornando-se praticamente constante após uma a três horas de chuva (curva assintótica). O padrão e a dinâmica hidráulica das superfícies estudadas apresentaram significativa variação estatística entre si, sendo esta uma das principais responsáveis por diferentes respostas na capacidade de infiltração de água e, por conseguinte, do coeficiente de escoamento superficial. Outro fator importante para a diferença significativa na capacidade de infiltração e a geração do escoamento superficial foi quanto ao aumento da intensidade de precipitação, que pôde ser observado nos revestimentos de solo gramado e solo exposto.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, P.R., TUCCI, C.E.M., GOLDENFUM, J.A. Análise da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, In: Tucci, C. e Marques, D. Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade, pp. 351-362. 2000.
- ALVES SOBRINHO, T.; Ferreira, P.A.; Pruski, F., (2002). *Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, Volume. 6, n.2, p.337-344.
- BARBASSA, A. P.; CAMPOS, J. B. N., (2010). *Comportamento hidrológico de áreas urbanas impermeabilizadas diretamente conectadas e total*. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH. Volume 15, n.4. Out/Dez, 2010, 69-79.
- BRATTEBO B.O, BOOTH D.B., (2003). *Long-term storm water quantity and quality performance of permeable pavement systems*. Water Research; 37(26): 4369-4376.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. (1997). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. Ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p.
- FLANANGAN, D.C.; FOSTER, G.R.; MOLDENHAUER, W.C., (1988). *Storm pattern effect on infiltration, runoff and erosion*. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.31, n.2, p.11-26.
- GARCIA, J. I. B; PAIVA, E. M. C. D., (2006). *Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da Bacia do Arroio Cancela – RS*. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH. Volume 11, n.4. Out/Dez, 99-108.
- HORTON, R.E. (1933). *The Role of Infiltration In The Hydrological Cycle*. Transactions of American Geophysical Union, 14, p. 446-460.
- MORGAN, R. P. C. *Soil Erosion and Conservation*. Blackwell, Oxford, 2005.
- MOURA, T. A. M., (2005). *Estudo Experimental de Superfícies Permeáveis Para o Controle do Escoamento superficial em Ambientes Urbanos*. Brasília-DF. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 117p.
- REICHARDT, K. (1990). *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo, Editora Manole, 188 p.
- SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. (2005). *Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação*. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH. Volume 10, n.4. 5-18.
- SILVA, G. B. L. (2006). *Avaliação Experimental Sobre a Eficiência de Superfícies Permeáveis com Vistas ao Controle*

do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas, 180p. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

SILVA, G. B. L; MOURA T. A. M; KOLDE S; CAMPANA N. A., (2009). *Influência de aspectos construtivos e de uso na eficiência de revestimentos com superfícies permeáveis*. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH. Volume 14, n.1,123-134.

SCHOLZ M., (2006a). *Wetland systems to control urban runoff*. Amsterdam: Elsevier, 360p.

SCHOLZ M., (2006b). *Practical sustainable urban drainage system decision support tools*. Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Engineering Sustainability. 159 (3):117–25.

SCHLUTER W, Jefferies C. *Modeling the outflow from a porous pavement*. Urban Water 2004; 4(3): 245–53.

TUCCI, C. E. M., (2000). *Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, [S.l.], v. 5, n. 1, p. 61-68.

URBONAS, B. e STAHRÉ, P. (1993). *Stormwater: Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage and CSO Management*. Englewood Cliffs, Prentice Hall.

Study Of The Reduction Of Direct Surface Runoff On Permeable Surfaces

ABSTRACT

The main goal of this paper is to evaluate and compare the efficiency of five kinds of urban covering: grassy ground, unprotected soil, hollow concrete blocks, massive concrete blocks and conventional blocks in direct surface runoff reduction. This research was based on performing experimental tests in randomized blocks running triplicate built parcels for each kind of surface, where tests were done with calibrated simulator rain at 79mm/hour and 121mm/hour precipitation intensity. The hydrologic parameters were evaluated by a water balance based on the experimental order of the surface runoff ratio and stable infiltration rate, and also the initial humidity control on the soil layers close to the analyzed coverings. Among the analyzed options, the grassy ground presented the best results. It was noticed that on this covering there was no surface runoff, in some cases demonstrating the

good potential of grassy grounds to reduce surface runoff. On the other hand, on the unprotected soil, the surface runoff results were greatly superior to the grassy one, the drainage ratio being twice as large. The surface runoff studied on the concrete surfaces was 90% of the volume precipitated, being four and a half times greater than the rate in the massive concrete block covering. The hollow concrete block surface and the massive concrete blocks were very effective in reducing the superficial draining confirming the figures presented in the literature

Key-words: *Permeable paving; Surface runoff reduction; rainfall simulation.*