

XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

ANÁLISE DE UM PROTÓTIPO DE TELHADO VERDE COMO TÉCNICA DE DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO EM DRENAGEM URBANA

Da Silva, M. ¹ ; Vazquez, E. ² & Welp Sá, T. ³

RESUMO – Cidades com elevada urbanização produzem áreas impermeáveis. Esta sobrecarga da rede de drenagem pode ocasionar inundações. Muitos destes prejuízos, poderiam ser evitados por meio de um correto planejamento urbano e adoção de boas práticas de drenagem. Ao passo que as técnicas de Desenvolvimento de Baixo Impacto (DBI) são conhecidas há vários anos, é fundamental o incentivo a associação desse tipo de tecnologia as estruturas convencionais de microdrenagem. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo demonstrar que a utilização destas técnicas pode contribuir para a mitigação de inundações. O método utilizado foi análise experimental em protótipo de Telhado Verde, no CESA-UFRJ, cujos principais resultados são o hidrograma de cada evento de chuva e o Coeficiente de Runoff, para chuvas na faixa de 100 mm/h.

ABSTRACT – Cities with high urbanization produce impermeable areas. This drainage network overload can cause flooding. Many of these losses could be avoided through proper urban planning and adoption of good drainage practices. While the techniques of Low Impact Development (DBI) have been known for several years, it is fundamental to encourage the association of this type of technology with conventional microdrainage structures. Thus, the present work aims to demonstrate that the use of these techniques can contribute to flood mitigation. The method used was an experimental analysis in a Green Roof prototype at CESA-UFRJ, whose main results are the hydrograph of each rain event and the Runoff coefficient for rainfall in the range of 100 mm/h.

Palavras-Chave – Urban Drainage. Experimental Analysis. Green Roof.

1) POLI/UFRJ, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, CT - Bloco A, fone: (21) 3938-7010, fax (21) 3938-7718, mari_ana@poli.ufrj.br

1) POLI/UFRJ, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, CT - Bloco A, fone: (21) 3938-7010, fax (21) 3938-7718, elaine@poli.ufrj.br

1) POLI/UFRJ, Av. Athos da Silveira Ramos, 149, CT - Bloco A, fone: (21) 3938-7010, fax (21) 3938-7718, thomas.sws@poli.ufrj.br

1 - INTRODUÇÃO

A introdução de superfícies impermeáveis no espaço urbano reduz a possibilidade de infiltração das águas pluviais e as taxas de evapotranspiração, os caminhos naturais de escoamento são eliminados, e há um aumento nas vazões e no volume das águas pluviais que são escoadas superficialmente. Pinto (2007).

Tradicionalmente, o tratamento dado ao escoamento superficial no meio urbano tem sido o de introdução de sistemas de drenagem eficientes em sua captação e afastamento, minimizando os danos provocados pelas inundações. Essa abordagem, no entanto, acaba apenas transferindo os impactos do aumento do escoamento superficial para jusante. Kaushal (2008)

Uma outra abordagem para esta questão poderia ser a adoção de estruturas para reter o volume escoado superficialmente e promover a melhoria da qualidade de água, normalmente com processos biológicos.

Uma medida igualmente possível em áreas em que o desenvolvimento urbano não está consolidado é a utilização de técnicas conhecidas como LID - Low Impact Development (Desenvolvimento de Baixo Impacto - DBI). Entre os princípios do DBI, pode ser citada a introdução de técnicas alternativas para o aumento do escoamento pluvial junto a fonte onde é gerado, buscando a minimização dos volumes e vazões que escoam superficialmente aproximando-os de valores anteriores a impermeabilização. UNITED (2003) apud Tassi (2014).

Os reservatórios de detenção, de retenção e de lote, assim como os telhados verdes pavimentos permeáveis, trincheiras e valas de infiltração são exemplos de técnicas utilizadas em projetos de drenagem que estão atreladas à tal concepção sustentável. Garrido Neto (2016)

Neste contexto, o telhado verde funciona da seguinte forma: a vegetação atua interceptando uma parcela da chuva, por meio da evapotranspiração a água é perdida para a atmosfera e a espessura da camada do substrato permite a retenção de água no substrato. Adicionalmente, a vegetação retarda o escoamento superficial, que passa a ocorrer quando o substrato atinge a saturação. Tassi (2014)

Este trabalho tem como objetivo analisar a capacidade de um telhado verde, quanto à retenção de águas pluviais e ao atraso do pico de cheia, quando submetido a chuvas muito intensas. E, através dos resultados obtidos, promover a adoção de técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (DBI) de drenagem urbana.

2 - MATERIAIS E MÉTODO

2.1 - telhado verde e drenagem urbana

A característica mais importante do telhado verde, seja para o interesse da pesquisa, seja por urgências da drenagem urbana, é a capacidade de reter água. Vários estudos quantificam sua influência na diminuição de picos de cheia. O modelo de desempenho hidrológico de Palla *et al.* apud Daraia (2017) mostra que, convertendo em verdes 100% dos telhados de uma região, reduzir-se-ia picos de vazão em média em 51%, com maior efeito ainda usando substrato mais profundo Daraia (2017). Segundo Imada (2014), citando a norma alemã DIN 1986, o coeficiente de deságue de águas pluviais para tetos jardim com espessura mínima de 10 cm é 0,3. Isto é, apenas 30% da água que cai sobre o telhado deságua. Considerando que os demais 70% serão evapotranspirados, esse mecanismo contribui para o aumento da umidade do ar e melhora a drenagem de água de chuva.

A eficiência quanto ao controle quantitativo do escoamento pluvial pode ser verificada a partir do cálculo do coeficiente de escoamento (C), também conhecido como coeficiente de *runoff*. Assim, baixos valores de C, indicam elevada eficiência do telhado verde na armazenagem de água de chuva, e valores mais elevados normalmente estão associados a maiores volumes de chuva Oliveira (2009).

2.2 - construção do protótipo de telhado verde experimental

O experimento tem por objetivo a determinação do coeficiente de retenção para um protótipo de telhado verde, quando submetido a chuvas de grande intensidade e a obtenção do hidrograma de deflúvio do módulo do telhado verde, produzido a partir das medições realizadas através de uma caixa pluviométrica. Lembrando que a saída da camada de drenagem é realizada por dois tubos de diâmetro de 1" e que cada tubo, antes do deságue na calha coletora, possui uma torneira.

2.2.1 - detalhamento construtivo do protótipo de ensaio

A estrutura foi construída para suportar toda a carga do telhado verde, o peso das plantas em sua fase adulta e a quantidade de água que pode ficar retida no sistema. Para o sistema extensivo com substrato de 5 a 15cm de espessura, estima-se que a carga sobre o telhado possa aumentar de 70 a 170 kg/m². Para o sistema intensivo, com espessura de solo acima de 15cm, o valor de carga adicional pode variar entre 290 e 970 kg/m² Heinene (2008)

O protótipo utilizado na pesquisa teve sua construção concluída no final de 2015. Conforme ilustrado na Figura 1 (a e b), o protótipo tem por medidas internas 2,02m de comprimento e 0,89m de largura, computando uma área de 1,7 m². No encontro da face sul com a face oeste, a altura é de 23,5

cm e, no encontro da face sul com a face leste, a altura é de 26,5 cm, resultando numa declividade de 3,4% nessa face. Os dois orifícios responsáveis pela drenagem se encontram na face leste. A água que infiltra no telhado verde encontra esses orifícios e deságua na calha lateral. Esta conduz a água até a caixa pluviométrica.



Figura 1: (a) Identificação das faces do protótipo - FONTE: Bruno (2016) e (b) Simulador, drenos, calha e caixa pluviométrica - FONTE: Garrido Neto (2016)

A Caixa Pluviométrica é composta de 3 compartimentos capazes de armazenar água: o pluviômetro, o reservatório maior e o reservatório menor. Cada um desses compartimentos está ligado a um tubo piezométrico: O tubo piezométrico 1 está ligado ao pluviômetro, o tubo piezométrico 2 está ligado ao reservatório menor e o tubo piezométrico 3 está ligado ao reservatório maior. A Figura 2, a seguir, ilustra a caixa pluviométrica utilizada.



Figura 2: Vista superior da Caixa pluviométrica. Fonte: Garrido Neto (2016)

Durante o experimento, uma lona foi colocada ao redor do simulador de chuvas a fim de que a única água a chegar na caixa pluviométrica seja a aquela que infiltrou pelo telhado e passou pelos drenos. Neste experimento foi utilizado somente o reservatório maior com apenas um medidor de nível.

2.2.2 - descrição dos materiais utilizados na construção do módulo de telhado verde

Bruno (2016) detalha em seu trabalho que, a época da construção, a escolha dos materiais levou em conta as premissas de baixo peso e baixo custo. Camada a camada esses materiais encontram-se descritos a seguir: vegetação, substrato, geotêxtil, camada de drenagem, impermeabilização. Para a vegetação adotou-se a bromélia *Neoregelia* pelos seguintes motivos: não demandar altas frequências de irrigação, podas regulares, fertilização ou replantio. Além disso, a vegetação deveria resistir a intensa radiação solar e ter a capacidade de reter água de chuva. Para esta pesquisa, a areia lavada foi escolhida como substrato. Embora exista o objetivo de retenção de água e a areia apresente alta taxa de permeabilidade, considerou-se que se fosse retida muita água nessa camada, poderia haver o cozimento das raízes em dias de altas temperaturas. Então foi dada preferência ao armazenamento mais duradouro apenas na camada de drenagem sendo a argila expandida escolhida, por ser a de menor peso e reter uma boa parcela de água. Para a camada de impermeabilização foi utilizada uma massa (cimento, areia e VEDACIT) em duas camadas, na primeira utilizou-se o impermeabilizante Denvertec 100 e na segunda Denvertec 540.

As Figuras 3 (a, b e c) apresentam o telhado verde em diferentes momentos de sua construção. É importante observar o quanto a densidade de vegetação aumentou. No período de conclusão da montagem do protótipo, a cobertura contava com 20 bromélias, conforme ilustrado na figura 3a. Posteriormente, foram retiradas as que não se adaptaram bem e novas foram plantadas. E a configuração final para ensaios, à época, eram 31 bromélias conforme figura 3b. É importante observar que foi com essa configuração que foi modelada a tabela dinâmica de Garrido Neto (2016) para a previsão do hidrograma e do coeficiente de *runoff* drenado pelo telhado. A configuração do protótipo de Telhado Verde à época dos ensaios, apresentados no presente trabalho é a ilustrada na Figura 3c. A contagem de bromélias com exatidão foi um trabalho mais difícil. Estimou-se, por média das diversas contagens que havia cerca de 55 bromélias.



Figura 3: Protótipo experimental do telhado verde.

2.3 – intensidade de duração das chuvas

A intensidade de 110mm/h foi escolhida considerando-se as chuvas máximas horárias registradas pelo Alerta Rio. Com relação ao tempo de duração dos ensaios, estudos anteriores (Garrido Neto, 2016) mostraram que, para as chuvas de 100 mm, um patamar no hidrograma de saída do protótipo é atingido em aproximadamente 30 minutos de ensaio. Já nos ensaios mais recentes, realizados para o presente trabalho, tal patamar é alcançado em cerca de 10 minutos.

Considerando que o resultado é apresentado em forma percentual, não seria necessário estender o tempo de ensaio além de 30 min. Além disto, o tempo recomendado pela norma é de 5 min (NBR 10844/1989). Este tempo não foi utilizado nos ensaios pois a capacidade de retenção poderia não ser atingida e desta forma não seria possível obter a defasagem no início do escoamento e nem o *runoff*, principais resultados destes experimentos.

O simulador pode ser calibrado para aplicar chuvas de 30 a 200mm/h de intensidade. A área da parcela experimental, que recebe a precipitação, é delimitada por duas placas metálicas retangulares de 0,90m de largura e 1,0m de comprimento cada uma, totalizando 1,80 m² de área útil. Assim, tem-se a equação para ajustar a intensidade.

Para as intensidades de precipitação de 100mm/h, deve-se coletar durante 6min (0,1h) o equivalente de 18 litros. Medidas com o auxílio de balde e proveta. A calibração deve ser feita através de controle nas aberturas do obturador. A primeira chuva de 6 minutos para calibração deve ser feita com uma abertura aleatória. Após medir o volume coletado pelas placas tenta-se aproximá-lo do volume ideal. Tal procedimento é repetido até que o valor de volume medido esteja próximo do ideal. Deve-se realizar duas medições de intensidade, uma antes do experimento e uma após o final do experimento. A intensidade considerada para o experimento é a média das duas.

2.4 – procedimento de ensaio

A tabela a seguir apresenta a sequência de atividades seguida em cada ensaio.

Tabela 1: Descrição das Atividades do Ensaio Experimental

Passo1	Calibração do Simulador para a intensidade de chuva desejada, através de uma chuva de 6 min, sobre as placas metálicas.
Passo2	Acionamento do Simulador de chuvas sobre a cobertura verde, para que seja iniciada a chuva com a duração de 30 min. Anotar a hora que o simulador é ligado.
Passo3	Anotar a hora que a água do telhado verde começa a sair para a calha.

Passo4	Anotar a hora que a água da calha atinge a caixa pluviométrica, a partir deste momento, anotar minuto a minuto, as cotas L na mesma. Esta cota L é obtida a partir do acoplamento de uma estrutura de ferro galvanizado no tubo piezométrico. Essa estrutura sustenta uma régua de 62,5cm, colado a essa régua está um tubo de acrílico rígido e transparente de 3mm de diâmetro interno. E uma vareta de aço inox de 70,0cm de comprimento e 2mm de diâmetro que percorre por dentro desse tubo de acrílico, com uma esfera de isopor de 35mm de diâmetro que fica em contato com o nível d'água do tubo piezométrico.
Passo5	Desligar o simulador de chuvas após o tempo de chuva predeterminado de 30 min.
Passo6	Continuar medindo a cota L na caixa pluviométrica, até que ela pare de variar. Após 5 medições iguais considera-se que não há mais variação.
Passo7	Realizar a segunda medida de intensidade (nova calibração do Simulador de Chuva). Repetição do passo 1.

Através da intensidade de chuva e de seu tempo de duração se determina o volume de água que choveu sobre a cobertura verde. Como já mencionado anteriormente, uma parte dessa água fica retida no protótipo e outra infiltra até atingir os drenos, a calha e a caixa pluviométrica, nessa ordem. O conhecimento do volume de água que chega na caixa ao longo do tempo permite a construção do hidrograma de saída. Enquanto o volume total permite determinar o percentual de retenção do telhado verde.

2.5 - cálculo do coeficiente de runoff

Para o cálculo do runoff dois métodos de cálculo foram considerados.

No o primeiro, o coeficiente de runoff é obtido pela razão entre o volume drenado pelo telhado verde e medido na Caixa Pluviométrica e o volume total precipitado. Esse é um dos métodos mais encontrados na bibliografia porque não exige um acompanhamento ao longo de toda a precipitação.

$$C_I^{TV} = \frac{V_{CP}}{V_{precipitado}} \quad (1)$$

No segundo método considera-se o coeficiente de runoff sendo a razão entre a vazão máxima que sai do protótipo para a caixa pluviométrica e a vazão máxima que aflui para o sistema através do simulador.

$$C_{II}^{TV} = \frac{Q_{máx}^{medida}}{Q_{máx}^{entra}} \quad (2)$$

$$Q_{máx}^{entra} \left(\frac{l}{s} \right) = i \left(\frac{mm}{h} \right) \times \text{Área}(m^2) \times \text{duração}(h) \times \frac{1}{\text{duração}(s)} \quad (3)$$

$Q_{máx}^{medida}$ é obtida a partir da análise do hidrograma de saída.

3 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A tabela 1 apresenta o atraso no início do escoamento e as intensidades de chuva, obtidos nos ensaios para chuvas de I na faixa de 110 mm/h e os dados de chuva da estação de São Cristóvão.

Tabela 1: Resultados diretos dos experimentos para chuvas de I (média) = 115,8 mm/h

Ensaio	Data	I (mm/h)	Número de dias sem chuva	Precipitação Acum. 24h (mm)	Precipitação Acum. 96h (mm)	T(minutos) antes do Início do Escoamento
1	08/02/17	116,9	0	6,2	6,2	7
2	15/02/17	116,4	6	0	0	8
3	21/02/17	115,4	7	0	0	8
4	07/03/17	113,3	0	4,6	7,2	4
5	14/03/17	111,7	0	17,2	17,2	5
6	20/03/17	120,8	0	26,8	40,4	5
Valor médio	-	115,8	-	-	-	6,2

Para os ensaios 2 e 3, com mais de 6 dias sem chuva, o telhado proporcionou um retardo do escoamento inicial de 8 minutos. Já para os ensaios 1, 4, 5 e 6 houve precipitação no mesmo dia do experimento, algumas horas antes. Essa umidade presente no protótipo fez com que o tempo de retardo fosse menor, conforme esperado.

O aporte de água à Caixa Pluviométrica foi medido minuto a minuto, porém, a fim de minimizar imprecisões, os hidrogramas a cada 5 e a cada 10 minutos também são apresentados. Acrescido a estes, há o hidrograma estimado como resposta do protótipo à chuva de determinada intensidade e duração. A figura 3 apresenta estes dados para um dos ensaios realizados, na faixa de 110 mm/h.

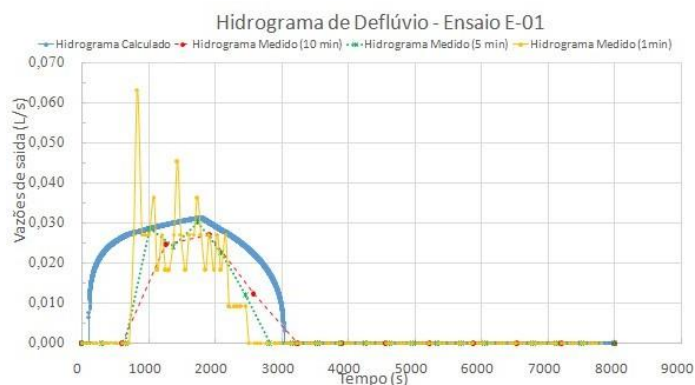


Figura 3: Hidrograma medido e calculado - ensaio 01 - I=116,9mm/h

Para precipitações na faixa de 110mm/h os coeficientes de *runoff* são os apresentados na tabela 2.

Tabela 2: Coeficientes de runoff reais para precipitação de I(média)=115,8mm/h

Ensaio	Data	I (mm/h)	V _{precipitado} (l)	V _{CP} ^{medido}	Q _{máx} ^{entra} (l/s)	Q _{máx} ^{medida} (l/s)	C ₁ ^{TV}	C ₂ ^{TV}
1	08/02/17	116,9	105,2	42,3	0,0585	0,0271	0,41	0,46
2	15/02/17	116,4	104,8	27,2	0,0582	0,0255	0,27	0,44
3	21/02/17	115,4	103,9	23,3	0,0577	0,0280	0,23	0,49
4	07/03/17	113,3	102,0	34,2	0,0567	0,0197	0,34	0,35
5	14/03/17	111,7	100,5	30,9	0,0559	0,0181	0,31	0,32
6	20/03/17	120,8	108,7	36,4	0,0604	0,0222	0,34	0,37
Média	-----	115,8	104,2	32,4	0,0579	0,0234	0,32	0,41

O protótipo de telhado verde foi mais eficiente em relação ao volume retido que em relação a redução da vazão de pico, visto que C_1^{TV} é menor que C_2^{TV} . Lembrando que quanto menor o coeficiente de runoff C_1^{TV} , menor o volume de água escoado para o sistema de drenagem, maior o volume armazenado, maior a sobrecarga na cobertura da edificação. E quanto menor o coeficiente de runoff C_2^{TV} , menor a vazão máxima afluyente para a rede.

4 - CONCLUSÕES

O protótipo do telhado verde em estudo apresentou uma retenção de 23% a 49%, ou seja, dentro das características tradicionais para essa tecnologia, coerente com o esperado com base na bibliografia pesquisada.

Esse percentual de retenção demonstra o quanto essa técnica pode ser aliada na mitigação de cheias urbanas e que deveria ser mais incentivada pelas políticas públicas como técnica compensatória de drenagem.

O atual trabalho teve como ferramenta a tabela dinâmica modelada por Garrido Neto em sua tese de Mestrado. Essa tabela não se adaptou plenamente à pesquisa atual, devido a mudança em algumas características do protótipo de telhado verde, necessitando, portanto, de algumas adaptações para as características atuais. Algum dispositivo que indique o nível d'água na base do protótipo, auxiliaria a calibrar a tabela. E ensaios de umidade da argila expandida, a partir de

uma lâmina d'água, podem ajudar a responder qual a parcela da retenção é devido a argila e qual é devido a interceptação vegetal.

Também, uma análise comparativa com outros modelos poderia enriquecer o conhecimento na área. Um possível ponto de partida poderia ser o *software* de domínio público *Green Roof - Water balance model* disponível no site da IUPWARE (*Inter Universitaire Programme in Water Resources Engineering*) desenvolvido por uma Universidade Belga.

5 - REFERÊNCIAS

BRUNO, M., *Projeto da bancada experimental de telhado verde para estudo de retenção e retardo de águas pluviais*. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

DARAIA, P.S., REDA, A.L.L., *Telhados verdes: estudo quantitativo de eficácia técnica e econômica*, In: XVII Safety, Health and Environment World Congress, pp. 35-39, Vila Real, Portugal, Jul. 2017.

GARRIDO NETO, P. S., *Telhados Verdes como técnica compensatória em drenagem urbana na cidade do Rio de Janeiro: Estudo experimental e avaliação de sua adoção na bacia do rio Joana a partir do uso de modelagem matemática*. Tese de M.sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

HENEINE, M. C. A. S., "Cobertura Verde", Tese de M.Sc., Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008

IMADA, R. G., *Práticas de microdrenagem sustentáveis para a redução do escoamento superficial urbano*. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Ambiental - Universidade São Paulo. São Carlos, 2014.

KAUSHAL, S. et al. *Effects of Stream Restoration on Denitrification in an Urbanizing Watershed*. *Ecological Applications*, v. 18, n. 3, p. 789-804, 2008.

OLIVEIRA, E. W. N., *Telhados Verdes Para Habitações de Interesse Social: retenção das águas pluviais e conforto térmico*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

PINTO, E. M. A., *Gestão de Recursos Hídricos e as Interferências do Sistema Urbano: Município de Queimados*, *Revista Universidade Rural, Série Ciências Humanas e Sociais*, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, pp. 125-131, 2007.

TASSI, R., TASSINARI, L.C.S., PICCILI, D.G.A, et al., *Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais*, *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, pp. 139-154, 2014.