

ANÁLISE SOBRE A ADOÇÃO DE TELHADOS VERDES COMO ESTRATÉGIA SOLIDÁRIA INTEGRANTE DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

Patrick Luiz Bonsere 1 (Engenheiro Civil, Dept. de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo) E-mail: patrickbonsere@hotmail.com

Silmara Dias Feiber 2 (Professora, Dept. de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo) E-mail: sdfeiber@gmail.com

Fulvio Natércio Feiber 3 (Professor, Dept. de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo) E-mail: ffeiber@utfpr.edu.br

Gustavo de Carvalho Gorges 4 (Mestrando, Dept. Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo) E-mail: gustavo.gorges@unipar.edu.br

Carlos Eduardo Tino Balestra 5 (Professor, Dept. Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo) E-mail: profcarlosbalestra@gmail.com

Resumo: Mediante o crescente cenário de urbanização, a escassez de áreas verdes e a elevada impermeabilização do solo contribuem para potencializar a incidência de problemas de ordem hídrica decorrentes de alagamentos tendo em vista a redução da infiltração desta água no solo. Diante disso, a adoção de telhados verdes surge como uma alternativa construtiva que traz benefícios não somente em termos de conforto térmico para a edificação, mas também na mitigação dos efeitos relacionados ao tempo de retenção da água das chuvas. Assim, este trabalho investigou em escala de laboratório os impactos da utilização de telhados verdes como estratégia solidária integrante do sistema de drenagem urbana buscando minimizar riscos de alagamentos em áreas urbanas. Para tanto, diferentes módulos-teste com diferentes inclinações (2, 20 e 30%) foram construídos e chuvas intensas foram simuladas. Além disso, para avaliar o desempenho do telhado verde como componente do sistema de drenagem urbana foram realizadas simulações computacionais por meio do dimensionamento de galerias de águas pluviais em cenários convencionais e com adoção das coberturas vegetais. Os resultados demonstraram uma redução no coeficiente de escoamento de até 57,5% e grande influência da umidade antecedente. Além disso uma redução no diâmetro das tubulações do sistema de drenagem urbana e redução até 34% nas vazões de pico foram observadas.

Palavras-chave: Telhados verdes; Drenagem urbana; Engenharia Civil; Alagamentos; Sustentabilidade.

ANALYSIS REGARDING THE ADOPTION OF GREEN ROOFS AS AN INTEGRAL SOLIDARY STRATEGY OF THE URBAN DRAINAGE SYSTEM

Abstract: Due to the growing urbanization scenario, the scarcity of green areas and the high soil impermeability contribute to increasing the incidence of hydric problems arising from flooding, due to the water infiltration reduction into the soil. Therefore, the adoption of green roofs appears as a building alternative that brings benefits not only in terms of thermal comfort for the building, but also mitigating the effects related to the retention time of rainwater. Thus, this work investigated on a laboratory scale the impacts of using green roofs as a solidary strategy that is part of the urban drainage system, seeking to minimize the risk of flooding in urban areas. For that, different test modules with different inclinations (2, 20 and 30%) were built and heavy rains were simulated. In addition, to evaluate the performance of the green roof as a component of the urban drainage system, computational simulations were carried out through the design of rainwater galleries in conventional scenarios and with the adoption of vegetal coverings. The results showed a reduction in the flow coefficient of up to 57.5% and a great influence of the antecedent moisture. Furthermore, a reduction in the diameter of the urban drainage system pipes and a reduction of up to 34% in peak flows were observed.

Keywords: Green roof; Urban drainage; Civil Engineering; Flooding; Sustainability.

1. Introdução

Devido ao elevado número de indivíduos residindo nos centros urbanos, o território passa por intensas modificações de ordem física, econômica e social. Segundo dados do IBGE (2012) cerca de 84% da população reside em áreas urbanas no Brasil, media muito superior se comparada a população mundial (55% em média da população mundial vive em áreas urbanas). Este cenário de intenso processo de urbanização tem reflexos na ocupação, muitas vezes desordenada, do território urbano, dentre os quais pode ser destacada a excessiva impermeabilização do solo afetando as taxas de infiltração (ROAF, 2009).

Essa mudança da paisagem natural com a substituição das áreas originalmente verdes por edificações e obras de infraestrutura executadas em concreto, vidro, madeiras, aço, cerâmica entre outros materiais. Tal fato contribui para a formação das ilhas de calor nos centros urbanos que estão associadas entre outros fatores à elevação da temperatura nestas regiões, assim como às chuvas intensas e aos alagamentos em áreas urbanas densamente ocupadas (ROAF, 2009).

Segundo Allen (2013), uma das estratégias que podem mitigar os efeitos de chuvas intensas sobre os sistemas de drenagem urbana e reduzir riscos de alagamentos é a adoção de telhados verdes nas edificações. Este Sistema é definido pela National Roofing Contractors Association (NRCA, 2007) como um sistema no qual uma vegetação (em geral gramínea) é aplicada sobre uma camada de substrato, colocado em qualquer nível impermeabilizado da estrutura, composto por uma barreira de proteção das raízes, uma camada de drenagem e uma camada de isolamento térmico. Este sistema já é reconhecido pelos seus benefícios no que tange a melhora do conforto térmico da edificação e na qualidade do ar, entretanto, uma nova perspectiva aberta às discussões remete a sua contribuição ao sistema de drenagem urbana tendo em vista seu potencial de retenção e retardo do escoamento da água das chuvas (ALLEN, 2013).

De acordo com Garrido Neto (2016), com o crescimento e densificação das áreas urbanas, o pico durante as chuvas intensas tende a ser maior e ocorrer de forma mais rápida em comparação à bacia natural, visto que uma maior quantidade de água fica disponível para escoar mais rapidamente, pela diminuição das retenções superficiais e impermeabilização do solo. Tal comportamento é exemplificado na Figura 1, onde é possível notar que em áreas densamente urbanizadas, a curva observada nos hidrogramas (Linha pontilhada) apresenta picos de maior intensidade em relação às áreas não urbanizadas (linha continua).

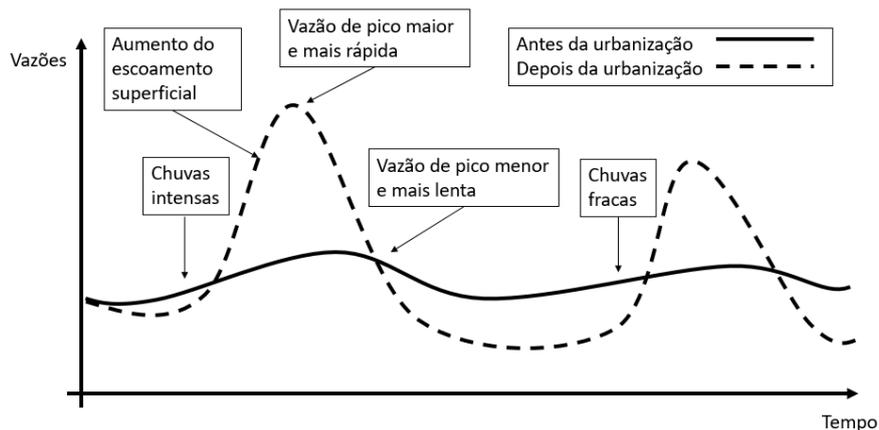


Figura 1 – Exemplo de figura (Adaptado de Garrido, 2016.)

2. Objetivo

Este trabalho apresenta uma análise, em escala de laboratório, através da variação de inclinação de módulos teste utilizando telhados verdes como agente integrante solidário em sistema de drenagem urbana com vistas a sua aplicação na região de Toledo-PR. Neste caso, diferentes inclinações de telhados verdes foram analisadas, sendo estes módulos submetidos a eventos de chuva simuladas. Além disso, simulações computacionais para avaliar os efeitos destas coberturas no sistema urbano de drenagem fazem parte do escopo deste trabalho conforme será descrito com maior rigor nos capítulos seguintes.

3. Contextualização

VanWoert et al. (2005) investigaram a influência diferentes parâmetros relacionados à contribuição de telhados verdes no sistema de drenagem. Os autores analisaram diferentes inclinações (2 e 6,5%), profundidade média da camada de substrato (2,5; 4,0 e 6,0 cm) e tipo de cobertura adotada (cascalho, telhado extensivo sem vegetação e outro com plantas). Os resultados obtidos pelos autores mostraram que para quase todos os eventos de chuva natural, as plataformas vegetadas e com inclinação de 2% e espessura média de 4 cm tiveram a maior retenção média de água (87%), tendo em vista que a combinação de inclinação e espessuras médias reduzidas diminui a quantidade total de escoamento superficial. Além disso, os telhados verdes além de reduzir o volume de água escoado, também atuaram na redução da velocidade de escoamento, mostrando-se uma tecnologia que deve ser considerada para projetos de coberturas, especialmente aqueles em áreas onde a gestão de águas pluviais é uma preocupação para os centros urbanos.

Burszta-Adamiak (2012) realizou ensaios através da construção de três módulos com diferentes estratégias para verificar a capacidade de retenção da água e retardo no escoamento: (1) laje impermeabilizada, (2) telhado verde extensivo convencional e (3) telhado verde extensivo com camadas adicionais de membranas e materiais drenantes. Os resultados demonstraram que telhados verdes possuem camadas que contribuíram para a redução da velocidade do escoamento e a redução no pico do hidrograma em comparação ao valor máximo de precipitação registrado com uma capacidade de

retenção após 153 eventos de chuva que variou de 82,5% a 85,7% para os telhados verdes.

Moruzzi et al. (2014) também conduziram um estudo com módulos teste com telhados verdes para avaliar a interferência gerada pela alteração da inclinação dos módulos e umidade antecedente na retenção de água da chuva, através da simulação de eventos de chuva com uso de aspersores. Os módulos foram montados com inclinações de 10, 20 e 30%, sendo realizadas simulações de eventos com intensidade de aproximadamente 103 mm/h. Segundo os autores para os telhados com inclinações de 10, 20 e 30% apresentaram respectivamente uma capacidade de retenção de chuvas de 13 mm, 11,2 mm e 10,6 mm.

Santos et al. (2013) analisaram três protótipos de coberturas: um com telhas de barro (para simular telhados convencionais), um módulo de telhado verde composto por gramíneas, e outro módulo de telhado verde no qual foram empregados cactos de pequeno porte para composição da camada vegetal, comumente observados em regiões áridas brasileiras. Foram empregados variados períodos de duração e intensidade de chuva, determinados com base no estudo dos dados pluviométricos da região de Caruaru-PE e simulação de eventos de chuva com tempo de recorrência muito elevados para verificar a capacidade de retenção e redução da velocidade de escoamento. Os resultados mostraram que para um evento de precipitação com intensidade de 42 mm/h o módulo composto por gramíneas apresentou uma retenção de 33,6% do volume precipitado, enquanto que o módulo em que foram empregados os cactos apresentou retenção de 32,1%, ambos superando o valor observado para o telhado convencional, que apresentou 2,3% de retenção devido à absorção por parte das telhas cerâmicas.

Ainda nesta linha, Baldessar (2012) também analisou protótipos de coberturas distintas: uma com telhado verde e duas convencionais (telhas de barro e laje impermeabilizada). Segundo o autor a cobertura com telhado verde foi capaz de escoar apenas 30,7% de todo volume precipitado enquanto a cobertura com telhas de barro escoou 77,3%. Esse montante retido em coberturas convencionais é normalmente destinado diretamente à rede pública de drenagem urbana, ocasionando um “superfluxo” potencial gerador de inundações, quando somadas todas as contribuições das várias edificações em centros urbanos. Assim, a pesquisa demonstrou a eficácia de telhados verdes no que tange a prevenção de alagamentos e, com base nesta análise, os sistemas de captação de água de chuva podem ser dimensionados com menores diâmetros, eliminando a necessidade da construção de grandes reservatórios, subterrâneos ou não, para armazenar os excessos de água de chuvas.

Palla et al. (2008), estudaram o desempenho dos telhados verdes usando simulação hidrológica EPA Storm Water Management Model (SWMM) para estimar os efeitos hidrológicos de três cenários para telhados verdes hipotéticos, com 10, 20 e 100% de implementação do telhado verde em edificações na bacia hidrográfica da região de Colle Ometti cidade de Gênova, Itália, sendo o modelo proposto ajustado e validado com dados de um pequeno telhado verde. Os eventos de precipitação foram estabelecidos com base em dados de pluviômetros coletados durante um período de 18 anos, com resolução de um minuto. De acordo com os autores, os resultados apontaram que a implementação de telhados verdes em uma grande área pode reduzir significativamente o pico do escoamento superficial e o tempo de retardo (7 e 15 min) do volume escoado.

4. Metodologia

O programa experimental deste trabalho foi desenvolvido na cidade de Toledo (latitude 24°42'46''S e longitude 53°44'35''W), região oeste do estado do Paraná, no campus da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-TD). De acordo com o Plano Municipal de Recursos Hídricos de Toledo (PMRH, 2017), o município apresenta uma área de aproximadamente 1200 km², 560 m de altitude em relação ao nível do mar, clima temperado chuvoso, moderadamente quente com temperatura média anual de 21°C, umidade relativa anual média de 75% e sem estação seca. A precipitação media anual varia entre 1600 a 2000 mm e a evapotranspiração media anual entre 1000 a 1200 mm.

Foram construídos três módulos teste de área igual a 0,64 m² no campus da UTFPR-TD com telhados verdes de diferentes inclinações (2, 20 e 30%). A inclinação de 2% foi escolhida tendo em vista que esta é comumente utilizada em lajes impermeabilizadas, ao passo que as coberturas com 20 e 30% simulam inclinações de telhados executados com telhas de fibrocimento e cerâmicas respectivamente de acordo com Kreutzfeld (2018). A estrutura destes módulos (colunas e fôrma de base) foi executada em madeira tipicamente encontradas no Paraná, sendo as colunas de eucalipto e a fôrma de base em pinus. As estruturas foram montadas em uma área aberta do campus da universidade.

Após a montagem das estruturas, utilizando pregos e parafusos, e respeitando as inclinações descritas anteriormente, a fôrma de base de cada módulo recebeu uma camada de impermeabilização (2 demãos). Na sequência uma camada de material drenante composta por esferas de argila expandida com altura de 5 cm foi disposta sobre a base impermeável. A escolha da argila expandida do tipo 2215 miúda se justifica tendo em vista sua menor massa específica (0,8 g/cm³), evitando deformações da fôrma de base. Após, uma membrana de poliéster (geotêxtil) foi colocada sobre a argila expandida para evitar a passagem de solo ou raízes para a camada drenante de argila expandida.

Após uma camada de solo com altura de 5 cm composto por 65% de substrato de jardinagem e 35% de solo argiloso (comumente encontrado em Toledo-PR) foi disposta sem compactação sobre a camada de geotêxtil para permitir a infiltração da água. Na sequência, módulos de grama esmeralda (60 x 40 cm) foram colocadas sobre o substrato. A escolha deste tipo de gramínea se dá tendo em vista seu lento crescimento e resistência a intempéries. Após o plantio das gramas nos módulos, estes foram constantemente irrigados por 40 dias para que as raízes penetrassem à camada de substrato. Para fins comparativos, um modulo de referência com as mesmas dimensões e composto apenas por telhas de fibrocimento e inclinação de 20% foi executado. A Figura 2 apresenta uma vista dos módulos e um esquema com a disposição das camadas. Uma calha foi instalada para coletar a água lançada sobre os módulos teste. Baldes com capacidade para 13 litros foram utilizados para coletar a água escoada através das calhas.

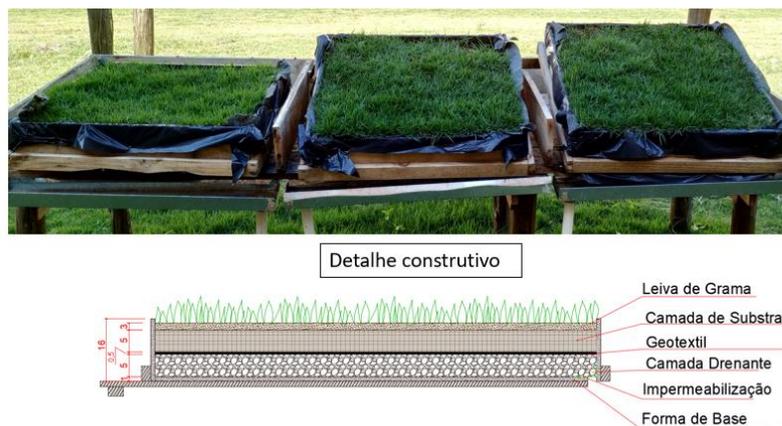


Figura 2 – Módulos 40 dias após o plantio da vegetação (Autoria Própria, 2021)

Para a estimativa da intensidade de chuvas que foi utilizada como base nestes ensaios, foram utilizadas as Equações de chuva do tipo IDF (Intensidade (I), Duração (D) e Frequência (F)) propostas na literatura para os municípios de Toledo e Cascavel presentes na região oeste do estado do Paraná conforme descritas na Tabela 1, onde a intensidade (I) foi determinada considerando um tempo de retorno (T) igual a 5 anos e uma duração (t) de 5 minutos conforme preconiza a NBR 10844 (1989). Desta maneira, considerando os valores de intensidade apresentados na Tabela 1, uma intensidade igual a 150 mm.h-1 foi considerada neste estudo.

Tabela 1 – Equações de chuvas IDF para Toledo e Cascavel

Referência	Equação IDF	I (mm.h-1)
Fendrich (1989)	$I = [3221,07 \cdot T^{0,25} / (t + 26)^{1,01}]$	150,13
Oliveira e Pansera (2016)	$I = [861,70 \cdot T^{0,176} / (t + 9,8)^{0,724}]$	162,59
Quadros (2008)	$I = [699,0765 \cdot T^{0,1236} / (t + 1,9182)^{0,6674}]$	234,59
Fendrich (2003)	$I = [1062,92 \cdot T^{0,141} / (t + 5)^{0,776}]$	223,39
Longo et al. (2006)	$I = [778,54 \cdot T^{0,1729} / (t + 9,65)^{0,7204}]$	148,68

Fonte: Autoria Própria, 2021.

Considerando a área de cada módulo (0,64 m²), um volume precipitado de 150 mm/m²/h e um tempo de precipitação de 5 minutos, um volume de 8 litros de água foi utilizado para cada ensaio, sendo utilizado um regador para o lançamento da água sobre os módulos 42 dias após a construção dos módulos. Neste ponto, previamente aos ensaios e considerando que a umidade do substrato poderia influenciar nos resultados, ensaios para a determinação da umidade do solo do substrato foram realizados, onde quatro amostras de 100g de solo úmido foi tomada e seca em estufa por 24h, tendo sua massa seca determinada após este período permitindo determinar sua umidade (NBR 6457, 2016).

Foram realizados três ensaios de precipitação em dias consecutivos respeitando um intervalo de 24 horas, ou seja, os ensaios foram realizados nos mesmos horários durante três dias. Neste ponto, a massa de água coletada nos baldes após o total de escoamento da água através das calhas foi determinado, permitindo assim o cálculo do coeficiente de escoamento (C) conforme a Equação 1 considerando a massa específica da água como sendo igual a 1g/cm³. Segundo Tassi et al. (2013), baixos valores para o coeficiente de escoamento são característicos de estruturas com alta eficiência, já os valores elevados refletem a baixa eficiência do sistema, uma vez que grande parte da precipitação é escoada.

$$C = \frac{V_{\text{escoado}}}{V_{\text{precipitado}}} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

C: corresponde ao coeficiente de escoamento superficial;

Vescoado: volume escoado e armazenado nos reservatórios;

Vprecipitado: volume precipitado, valor definido como volume de controle.

Para avaliar a eficácia da utilização de telhados verdes na redução do escoamento superficial para contribuir de modo solidário com o Sistema de drenagem urbana, simulações computacionais utilizando planilhas de cálculo foram feitas para análise do dimensionamento de redes de águas pluviais considerando um trecho existente no município de Toledo-PR caso telhados verdes fossem utilizados nas edificações. Neste ponto, a metodologia de Menezes Filho e Costa (2012) foi utilizada para a determinação da lâmina percentual (lâmina de água no interior da tubulação durante o escoamento) conforme as Equações 2-4 apresentadas a seguir. Neste ponto, a metodologia de Menezes Filho e Costa (2012) foi utilizada para a determinação da lâmina percentual (y/D) que representa a altura de lâmina d'água no interior da tubulação durante o escoamento, o método desenvolvido pelos autores é válido para lâminas percentuais de até 84%. A seguir estão apresentadas as equações que compõem a metodologia a qual, segundo os autores apresentaram coeficiente de determinação R^2 de 0,99. O trecho considerado para a análise é apresentado na Figura 3.

$$K = QnD^{-8/3} l^{-1/2} \quad \text{Eq. [2]}$$

$$\Theta = (3\pi/2) \cdot (\sqrt{1 - \sqrt{1 - \sqrt{\pi K}}}) \quad \text{Eq. [3]}$$

$$y/D = (1/2) \cdot [1 - \cos(\Theta/2)] \quad \text{Eq. [4]}$$

Em que:

K: constante;

n: coeficiente de rugosidade de Manning;

Q: vazão (m^3/s);

D: diâmetro (m), e;

l: declividade (m/m);

Θ : Ângulo central (rad);

y/D : Lâmina percentual.

Foram criados seis cenários para análise nos quais foram alterados os coeficientes de escoamento superficial, simulando a substituição das coberturas convencionais por telhado verde e alterações na taxa de ocupação do solo, para avaliar os efeitos dessas estruturas nos diferentes zoneamentos da cidade. A Tabela 2 apresenta os cenários criados com os respectivos coeficientes empregados, onde os cenários 02, 04 e 06 simulam substituição total das coberturas convencionais pelo telhado verde.

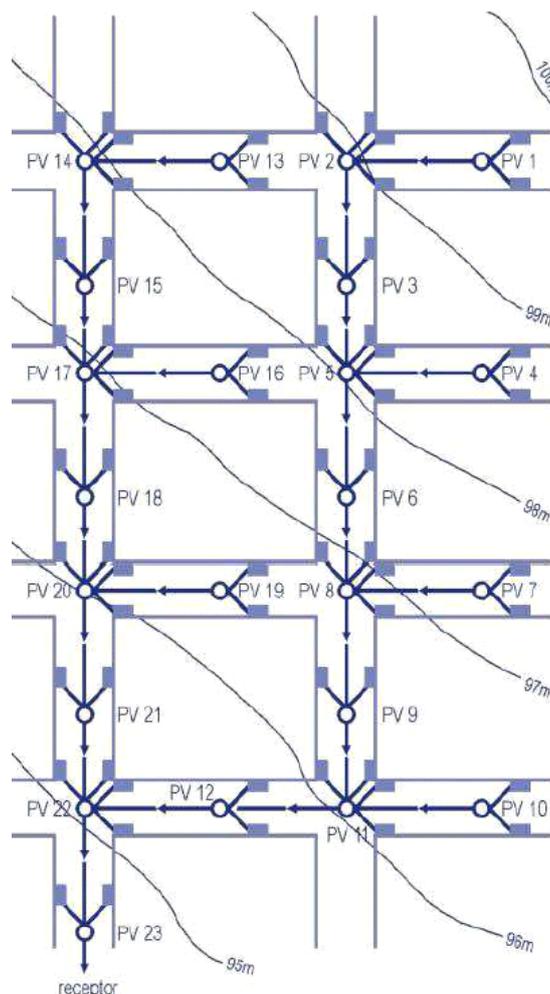


Figura 3 – Áreas de contribuição do trecho dimensionado (Autoria Própria, 2021).

Tabela 2 – Parâmetros utilizados em cada cenário simulado

Cenários	C área permeável	C área impermeável	Coefficiente de impermeabilização
01	0,1	0,85	0,4
02	0,1	0,55	0,4
03	0,1	0,85	0,8
04	0,1	0,55	0,8
05	0,1	0,85	1
06	0,1	0,55	1

Fonte: Autoria Própria, 2021.

5. Resultados e discussões

Os resultados de umidade do solo, determinado antes dos ensaios nos módulos, são apresentados na Tabela 3, onde os dados apresentam valores elevados de umidade, fato que se deve às condições climáticas da região durante os ensaios. Neste período o clima apresentou temperaturas amenas e baixos índices de evapotranspiração. Além disso, pode-se observar que a inclinação dos módulos afeta o percentual de umidade do solo, sendo que os módulos com a maior inclinação apresentaram os menores valores de umidade do solo, sendo que a diferença entre os mesmos foi inferior a 2%. Isso mostra que após o fim do escoamento principal, os telhados com maiores inclinações ainda promovem o escoamento, contudo de forma mais lenta e com menores vazões.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados em cada cenário simulado
Umidade Antecedente Superficial (UAS) (%)

Ensaio	Umidade Antecedente Superficial (UAS) (%)		
	Inclinação 2%	Inclinação 20%	Inclinação 30%
01	77,46	59,02	58,93
02	67,27	68,45	62,32
03	78,17	65,78	64,67
04	77,16	57,19	56,84

Fonte: Autoria Própria, 2021.

Os coeficientes de escoamento superficial são apresentados na Tabela 4. Ao analisar os dados presentes na Tabela 4 é possível observar a diferença entre os valores que correspondem ao coeficiente de escoamento, com a cobertura convencional (referência), executado apenas com telha de fibrocimento, apresentando valores médios até 58% superiores aos encontrados para os módulos de telhado verde. Além disso, percebe-se que os valores médios de coeficiente de escoamento para os três módulos de telhado verde apresentam pouca variação, em contrapartida o coeficiente de variação apresenta valor significativo, resultado decorrente da umidade antecedente do solo na capacidade de absorção e retenção de água. De fato, Tassi et al. (2013) e Moruzzi et al. (2014) ambos os autores concluíram que o teor de umidade do solo tem papel fundamental para a eficiência das coberturas verdes na redução do escoamento.

A inclinação dos telhados também exerce influência no desempenho das coberturas quanto a retenção de água, conforme pode ser observado na Tabela 4, uma vez que proporciona condições que favorecem o escoamento à medida que a inclinação aumenta, promovendo uma redução da umidade do solo nas horas subsequentes ao término da precipitação. Para as três inclinações analisadas, o módulo com inclinação de 20% apresentou os melhores valores para retenção de água, tendo em vista que apresentam menor gasto de materiais com valores próximos aos obtidos para uma inclinação de 30%.

Tabela 4 – Parâmetros utilizados em cada cenário simulado
Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

Cenários	Coeficiente de Escoamento Superficial (C)			Referência
	Inclinação 2%	Inclinação 20%	Inclinação 30%	
01	0,605	0,595	0,648	0,942
02	0,750	0,730	0,747	0,951
03	0,708	0,626	0,650	0,941
04	0,490	0,425	0,460	0,940
Média	0,638	0,594	0,626	0,943
Desvio padrão	0,116	0,127	0,120	0,005
Coeficiente de Variação (%)	18,20	21,34	19,17	0,530

Fonte: Autoria Própria, 2021.

A Tabela 5 apresenta os valores referentes as vazões e diâmetros adotados para os seis cenários analisados no modelo computacional. Para o dimensionamento dos trechos da rede, optou-se por não alterar a inclinação dos trechos, realizando apenas modificações nos diâmetros das tubulações por se tratar de um trecho de rede apenas, podendo gerar trechos com cotas muito baixas em relação ao nível do terreno nos trechos de tubulações com função interceptores.

Tabela 5 – Parâmetros utilizados em cada cenário simulado

Trecho	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3		Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6	
	Q (l/s)	D (m)										
1-2	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,3
2-3	181,18	0,4	150,92	0,4	241,86	0,5	181,18	0,5	272,17	0,5	211,43	0,5
3-5	194,94	0,4	162,34	0,4	260,50	0,5	195,03	0,4	293,21	0,5	227,66	0,4
4-5	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,4
5-6	364,60	0,5	303,53	0,5	487,57	0,6	364,75	0,5	548,90	0,6	425,86	0,5
6-8	377,55	0,5	314,24	0,5	505,17	0,6	377,71	0,5	568,79	0,6	441,06	0,5
7-8	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,4
8-9	544,02	0,6	452,70	0,6	728,30	0,7	544,25	0,6	820,14	0,7	635,62	0,7
9-11	555,33	0,6	462,01	0,6	743,86	0,7	555,57	0,6	837,75	0,7	649,09	0,7
10-11	96,59	0,3	80,49	0,3	128,79	0,4	96,59	0,3	144,89	0,4	112,69	0,4
11-12	717,96	0,6	597,19	0,6	962,22	0,7	718,26	0,6	1083,81	0,7	839,51	0,7

Fonte: Autoria Própria, 2021.

Ao analisar os dados apresentados na Tabela 5 percebe-se a eficiência do telhado verde na redução do escoamento superficial nas áreas urbanas, apresentando resultados mais expressivos em zonas com maior impermeabilização do solo, contribuindo assim de maneira solidária para reduzir possíveis alagamentos. Para os cenários com maior urbanização observa-se uma redução dos diâmetros das tubulações, implicando em menores custos de implantação, mantendo e sua eficiência frente a cenários com precipitações atípicas.

Esses percentuais quando analisados tomando como base grandes bacias de drenagem resultam na redução dos volumes de pico que são, na maioria dos casos, destinados os córregos e zonas mais baixas das cidades gerando vários problemas como enchentes e alagamentos, podendo ainda, reduzir a demanda por estruturas de amortização de vazões, que necessitam de grandes áreas para sua implantação e investimentos expressivos por parte do poder público. Desta maneira, por fim, conclui-se que a adoção de telhados verdes gera benefícios ao sistema de drenagem urbana mitigando eventos como alagamentos em áreas urbanas densamente ocupadas.

6. Conclusões

A adoção de telhados verdes apresenta grande potencial como componente do sistema de drenagem urbana, uma vez que atua de forma localizada e direta, já no início do

escoamento, promovendo a redução das vazões de pico e do escoamento superficial, onde foi verificada uma redução de até 57,5% do escoamento.

Analisando as características das estruturas de telhado verde juntamente com os resultados obtidos por meio da construção dos três módulos de cobertura vegetal, percebe-se que a umidade do solo representa o fator com maior influência para a eficiência dessas estruturas na redução do coeficiente de escoamento superficial. Por outro lado, apesar de não ser a protagonista, a inclinação também atua de forma importante para a capacidade de retenção de água, uma vez que interfere na velocidade de escoamento e na manutenção da umidade do solo. Para as situações estudadas os módulos com maior inclinação obtiveram os resultados, todavia a inclinação de 20% apresentou os melhores resultados levando em consideração a quantidade de materiais utilizada e sua resposta ao escoamento.

Por meio da simulação de vários cenários envolvendo o emprego do telhado verde nos centros urbanos, verificou-se que a adoção dessas estruturas foi capaz de reduzir os volumes escoados em até 34% nas regiões com maior impermeabilização do solo, além de reduzir os diâmetros das tubulações que compõe o sistema de drenagem urbana.

7. Agradecimentos

Os autores agradecem a UTFPR-TD e a UNIOESTE pelo apoio na pesquisa.

Referências

ALLEN, Eduward. *Fundamentos da engenharia de edificações: materiais e métodos*. 5ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2013.

AISSE, M. M. *Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico para o tratamento de esgoto sanitário*. Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios - Coletânea de Artigos Técnicos. Vol. II – Rio de Janeiro/RJ: PROSAB/FINEP, 2001, 111-118 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 13292: *Solo - Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares e de carga constante*. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13969: *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 6457:2016 Versão corrigida:2016 - *Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 2016.

ÁVILA, R. O. *Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte*. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, RJ, 2005, 166 p.

BALDESSAR, S. M. N. *Telhado Verde e Sua Contribuição na Redução da Vazão da Água Pluvial Escoada*. Curitiba, 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BELLAMY, W. D. *Slow sand filtration: influences of selected process variables*. Journal AWWA, Vol. 77, n. 12, 1985, 62-66 p.

BRITO, L. L. A. *Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto*. Engenharia Ambiental e Sanitária. Vol. 10 – n° 4 – out/dez – Rio de Janeiro/RJ: ABES, 2005, 307-317 p.

BURSZTA-ADAMIAK, E.. *Analysis of the retention capacity of green roofs*. Journal of Water and Land Development, v. 16, n. 1, p. 3-9, 2012.

GARRIDO NETO, P. de 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. 2011. 344p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – UFRJ / COPPE / Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2016.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Brasileiro de 2010.* Rio de Janeiro: IBGE,2012

KREUTZFELD, M.. *Capacidade de retenção da água da chuva em telhados verdes no município de Toledo-Pr.* 2018. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2018.

MENEZES FILHO, F. C. M.; COSTA, A. R. *Sistemática de Cálculo para o Dimensionamento de Galerias de Aguas Pluviais: uma abordagem alternativa.* REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, nº 4, 2012,12-22 p.

MORUZZI, R. B.; MOURA, C. C. de; BARBASSA, A. P. *Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo.* Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 59-73, jul./set. 2014.

NRCA, National Ruffing Contractors Association (EUA) – NRCA Green Roof Systems Manual. 2007. Disponível em: < <http://www.nrca.net/>> Acesso em: 26 ago. 2018.

PALLA, A.; BERRETTA, C.; LANZA L.G; LA BARBERA, P.. *Modelling Storm Water Control Operated by Green Roofs at the Urban Catchment Scale University of Genoa – Italy,* In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, 11., Edinburgh, 2008. Proceedings. Edinburgh, 2008.

PMRH. Plano Municipal de Recursos Hídricos de Toledo. 658p. Prefeitura Municipal de Toledo. Lei nº2.243, de 11 de outubro de 2017.

ROAF, Sue. *A adaptação de edificações e cidades às mudanças climáticas.* Porto Alegre: Bookman, 2009.

SANTOS, P. T. da S.; SANTOS, S. M. dos; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COUTINHO, A. P.; MOURA, G. S. S. de; ANTONINO, A. C. D. *Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial.* Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, jan./mar. 2013.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. S.; PICCILLI, D. G. A.; PERSCH, C. G. *Telhado verde: Uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais.* Ambiente Construído, Porto Alegre, v.14, n.1, p. 139-154, jan./mar. 2014.

TOLEDO. *Manual de Drenagem Urbana.* 37p. Prefeitura Municipal de Toledo-Pr. V1. 2017.

VANWOERT, N.; ROWE D. B., ANDRESEN J. A.; RUGHC C. L.; FERNANDEZA T. R.; L. XIAOD. *Green Roof Stormwater Retention: effects of roof surface, slope and media depth.* Journal of Environmental Quality, v. 34, n. 3, p. 1036-1044, 2005.