

IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE TELHADOS VERDES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DO ARROIO ESPERANÇA EM SANTA MARIA-RS¹

THE IMPACT OF GREEN ROOFS ON SURFACE WATER RUNOFF OF ESPERANÇA CREEK IN SANTA MARIA-RS

Vitor da Silva Calil², Ewerthon Cezar Schiavo Bernardi² e Afranio Almir Righes³

RESUMO

A urbanização causa mudanças na paisagem natural da região, afeta a dinâmica do ciclo hidrológico, podendo gerar problemas relacionados a inundações em centros urbanos. O trabalho teve como objetivo simular o impacto do uso de telhados verdes no escoamento superficial na microbacia urbana do Arroio Esperança, em Santa Maria-RS. É importante obter-se dados com base em resultados de pesquisa e simulações que demonstrem os impactos que essa tecnologia pode causar no escoamento superficial em áreas urbanas quando utilizada em grande escala. A vazão de pico na microbacia foi estimada pelo método racional utilizando-se os coeficientes médios de deflúvio, de acordo com o tipo de cobertura do solo: telhados, ruas, vegetação e pátios pavimentados com suas respectivas áreas. O somatório dessas vazões deu origem aos valores Q1 vazão da microbacia com telhados convencionais e Q2 com telhados verdes. O armazenamento máximo de água no substrato cultivado com grama, foi determinado tendo-se como parâmetros do solo os valores de percentagem de saturação, ponto de murcha permanente, densidade e espessura da camada de solo. Os resultados demonstram redução de 35,4% no escoamento superficial da microbacia urbana. O coeficiente médio de deflúvio da bacia, com telhado verde passou de 0,53 para 0,35. A espessura de 20 cm de solo utilizado na simulação como substrato do telhado verde, pode reter até 58,61 mm de água da precipitação pluviométrica.

Palavras-chave: drenagem urbana, método racional, retenção de água.

ABSTRACT

Urbanization causes changes in the natural landscape of the region. It also affects the dynamics of the hydrological, which may generate problems related to flooding in urban areas. This study aimed to simulate the impact of green roofs on superficial water runoff in the Esperança micro-watershed in Santa Maria, RS. It is important to obtain data based on research results and simulations to demonstrate the impact that this technology can cause on surface runoff when used in urban areas in large scale. The peak water flow of this micro-watershed was estimated by the rational method using average runoff coefficients according to the type of ground cover; roofs, streets, vegetation and paved patios with their respectively areas. The sum of these flows gave origin to Q1 values for watershed flow with conventional roofs and Q2 values for green roofs. The maximum water storage in the grass substrate was determined by taking as parameters the soil values of saturation percentage, permanent wilting point, density and thickness of the soil layer. The results indicate a reduction of 35.4 % in the urban watershed runoff. The runoff average coefficient with green roof changed from 0.53 to 0.35. The soil thickness of 20 cm, used in the simulation as substrate for the green roof, showed that it can retain up to 58,9 mm of rainfall.

Keywords: urban drainage, rational method, water retention.

¹ Trabalho de Iniciação Científica.

² Acadêmicos do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária - Centro Universitário Franciscano.

³ Orientador - Centro Universitário Franciscano. E-mail: righes@unifra.br

INTRODUÇÃO

O crescimento da população urbana tem como consequência o aumento da ocupação e uso do solo urbano causando incremento significativo no escoamento superficial. De acordo com o censo 2010 do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 84% dos brasileiros vivem em áreas urbanas (IBGE, 2013). A expansão urbana acarreta mudanças na paisagem natural da região onde se estabelece e conseqüentemente, afeta a dinâmica do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, na qual a cidade está inserida (CASTRO, 2011). O volume de água que antes escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pela vegetação, passa, após a urbanização, a escoar pelos canais de drenagem, necessitando estruturas hidráulicas com maiores capacidades de escoamento (TUCCI et al., 1995).

Qualquer alteração no sistema solo-água pode trazer problemas relacionados ao déficit hídrico em períodos de estiagem, em virtude da menor infiltração de água no solo, e transtornos gerados pelo excesso de água, como, inundações em centros urbanos, ou transporte de sedimentos e perdas de nutrientes em áreas agrícolas (RIGHES et al., 2009). Muitos dos impactos ambientais gerados pela urbanização ocorrem em função da intensa impermeabilização do solo, causando excessivo escoamento superficial e acelerando as enxurradas para os corpos receptores, com riscos de erosão e inundação (TUCCI, 2008).

De acordo com Villanueva e Tucci (2001), a drenagem urbana tem sido um dos principais veículos de deterioração deste ambiente, devido à própria concepção do sistema de drenagem pluvial e a ações externas, como a produção de resíduos sólidos e os padrões de ocupação urbana. O planejamento urbanístico sustentável de uma cidade pode ser beneficiado por soluções pautadas na economia de energia, racionalidade do consumo, redução das emissões de poluentes e na manutenção do ciclo hidrológico local (OLIVEIRA, 2009). O capítulo III, artigo 3º, da Lei nº 9433 prevê a articulação da gestão de recursos hídricos de forma integrada com a gestão do uso e ocupação do solo (BALDESSAR, 2012).

No Brasil, constata-se ainda o predomínio de técnicas convencionais de drenagem, em que o escoamento é transferido para os pontos de jusante na bacia. Algumas cidades como Porto Alegre e São Paulo estão mudando esta concepção por meio de técnicas compensatórias que sejam integradas com o urbanismo e com o mínimo de impacto ao meio ambiente (CASTRO, 2011). Dentre estas medidas, as mais frequentemente adotadas são aquelas que visam incrementar o processo da infiltração, reter os escoamentos em reservatórios, ou retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios, aumentando o tempo de concentração na bacia hidrográfica. As soluções relacionadas à retenção de escoamentos são compostas por estruturas que propiciem o amortecimento dos picos de vazão por meio do armazenamento dos deflúvios (CANHOLI, 2005).

Dentre as técnicas compensatórias alternativas pode-se citar o uso do telhado verde, que se caracteriza como coberturas que agregam em sua composição uma camada de solo ou substrato com vegetação. Os telhados verdes são classificados em dois tipos: intensivo e extensivo.

Segundo a *Green Roof International Association*, a cobertura intensiva é aquela em que a vegetação necessita de maiores cuidados posteriores como rega, uso de fertilizantes e poda (CORSINI, 2013). Nesse caso, precisam de uma camada de solo mais profunda, normalmente de 15 a 21 cm no mínimo, exercendo massa adicional de aproximadamente 290 a 970 Kg m⁻² sobre a cobertura.

Já a cobertura extensiva é aquela, em que depois de consolidada, não requer cuidados constantes ou especiais, sendo que a camada de substrato varia entre 5 a 15 cm, e as plantas utilizadas são rasteiras como, por exemplo, gramíneas. Coberturas extensivas são relativamente leves e, geralmente, dentro do normal da capacidade de carga suportada pelas modernas estruturas de cobertura. Esse tipo de cobertura apresenta massa adicional de 70 a 170 Kg m⁻² (HENEINE, 2008).

Segundo a empresa Ecotelhado, as coberturas vegetais apresentam-se como “jardins suspensos”. Esse tipo de cobertura pode ser instalado tanto em lajes de edifícios como também sobre telhados convencionais, como o de telha fibrocimento, cerâmica, calhetão, dentre outros (ECOTELHADO, 2010).

Na implantação de telhados verdes, de acordo com Ferreira e Costa (2010) e Costa et al. (2012), o projeto da obra exige a instalação de estrutura específica na cobertura da casa. Se o telhado for simplesmente uma laje, é preciso impermeabilizar; se for feito de telhas de cerâmica, é preciso retirá-las e colocar placas de compensado que servirão de base para a cobertura vegetal. Ali serão colocados a terra e o adubo para o crescimento das plantas.

No projeto deve-se prever: manta de retenção, para impedir que o substrato deslize, mantas de impermeabilização para evitar infiltrações na casa, dutos de irrigação e drenagem que também devem fazer parte do projeto do telhado verde, assim como, elementos que permitam a vegetação atingir baixa densidade e boa retenção da água da precipitação pluviométrica. A escolha da vegetação adequada é fator importante na eficiência do telhado verde, a vegetação deve se adaptar à mudanças bruscas de temperatura, devido à exposição direta ao sol, chuva, vento, geada, entre outras (SILVA, 2011).

Segundo Tomaz (2005), o ideal é que as instalações sejam feitas, em lajes e telhados, com inclinação de aproximadamente 5° de modo a permitir o escoamento não muito rápido da água. Embora, em estudo realizado por Kolb (2003), observando o escoamento da água para inclinações variando de 2 a 84%, constatou que a influência é muito pequena, com coeficientes de deflúvio que variaram de apenas 0,38 a 0,47.

O telhado verde é um dispositivo que ganha atenção em função dos benefícios que tem apresentado em relação à gestão urbana ecologicamente correta. Dentre os principais benefícios proporcionados pelos telhados verdes, destaca-se o potencial para atenuação do escoamento superficial, das águas pluviais (HONGMING, 2010). Devido à capacidade de retenção de água associada à evapotranspiração, pode ocorrer defasagem no tempo entre o pico de vazão de escoamento do telhado convencional e do telhado verde, bem como sua redução (BERNDTSSON, 2010). Costa et al. (2012) afirmam a possibilidade de o telhado verde servir como forma de minimização do risco de inundações, buscando assemelhar as características das bacias hidrográficas urbanas as das bacias naturais.

Kolb (2003) afirma que sistemas múltiplos que combinam telhado verde, captação de água das precipitações pluviométricas e alternativas de infiltração de água no solo com bom manejo das águas pluviais, podem reduzir os volumes escoados para os sistemas tradicionais de drenagem pluvial. Este mesmo estudo mostra que numa área 60% impermeabilizada, somente lançando mão da evaporação e da infiltração, é possível manejar uma precipitação anual de 2.000 mm, sem liberação de água para os coletores fluviais.

Kolb (2003) acrescenta que para o dimensionamento das canalizações dos sistemas de drenagem, utiliza-se como base o coeficiente de deflúvio “C”. No caso de coberturas sem vegetação e de pavimentos impermeabilizados supõe-se que o pico de drenagem ou coeficiente de deflúvio de uma precipitação de referência seja de 80 a 100% ($C = 0,8$ a $1,0$). Os picos no caso das coberturas verdes dependem da espessura do substrato e da vegetação cultivada. Em seus estudos em telhados verdes com pequenos declives encontrou coeficientes de deflúvio de $C = 0,25$, após a saturação do sistema de telhados com espessura de 10 cm. Isso significa amortecimento dos picos de escoamento na ordem de 75%.

Em estudo realizado por Costa et al. (2012), em bacia do terreno com 900 m^2 e com área de telhado de 500 m^2 , observaram redução de 15% na vazão de pico do telhado verde em comparação com o do telhado convencional. Usando camada de solo de profundidade de 3 cm, com grama, o início do escoamento superficial do telhado verde correu com 6 minutos de atraso em relação ao início de escoamento do telhado de cerâmica, considerando uma precipitação pluviométrica de 49 mm h^{-1} com tempo de duração de 30 minutos (SANTOS et al., 2013). No que se refere ao pico de escoamento, o valor de atraso, em relação ao telhado de cerâmica, foi de aproximadamente 11 minutos. No ramo descendente do hidrograma foi observado que o telhado verde apresentou tempo de escoamento maior que o telhado controle. O mesmo trabalho apresentou para estas condições valores de retenção de água na ordem de 30%.

Para o dimensionamento de vazões de pico para sistemas de drenagem o método mais utilizado e racional que consiste no produto da intensidade da precipitação da área drenada, de duração igual ao tempo de concentração (T_c) e do coeficiente de deflúvio, sendo esta razão entre o pico de vazão por unidade de área e a intensidade média da precipitação pluviométrica. Nesse sentido não são consideradas as variações de intensidade da precipitação pluviométrica e do coeficiente de deflúvio durante o tempo de precipitação, tampouco o armazenamento de água na bacia. Logo, a falta de precisão deste método cresce à medida que aumenta a área de estudo, não sendo aconselhado o uso a rigor para áreas acima de 5 km^2 . Entretanto, o uso do mesmo é bastante difundido por conta de sua simplicidade de aplicação (PINTO et al., 1976).

Do volume precipitado sobre a bacia, apenas uma parcela escoada superficialmente para o exutório, pois do restante, parte é interceptada, outra se infiltra no solo rumo aos depósitos subterrâneos,

ou ainda preenchem as depressões. O volume escoado é uma fração do volume precipitado e a relação entre os dois é o que se chama de coeficiente de deflúvio. A utilização do coeficiente de deflúvio no método racional, multiplicando-o pela intensidade de precipitação, fornece o pico de cheia considerada por unidade de área. Portanto, não se trata de uma relação de volumes escoados e precipitados, mas, uma indicação da relação entre a vazão máxima escoada e a intensidade da precipitação (PINTO et al., 1976).

Mentes, Raes e Hermy (2006) analisaram dados registrados em 18 publicações e observaram a existência de relações entre precipitação e escoamento em escala de tempo anual e sazonal a partir de 628 dados disponíveis e o emprego de modelos empíricos. Segundo os autores, a relação anual entre precipitação e escoamento superficial para telhados verdes é fortemente determinada pela profundidade da camada de substrato, e a retenção da água de precipitação pluviométrica nos telhados verdes. Analisando os dados de precipitação em escala anual, para a região de Bruxelas, observaram que, o uso de telhados verdes extensivos, em apenas 10% das edificações existentes, reduziu 2,7% do escoamento superficial, considerando toda a região estudada. Os autores destacaram que os telhados verdes podem ser muito úteis na redução do escoamento resultante dos eventos de precipitação.

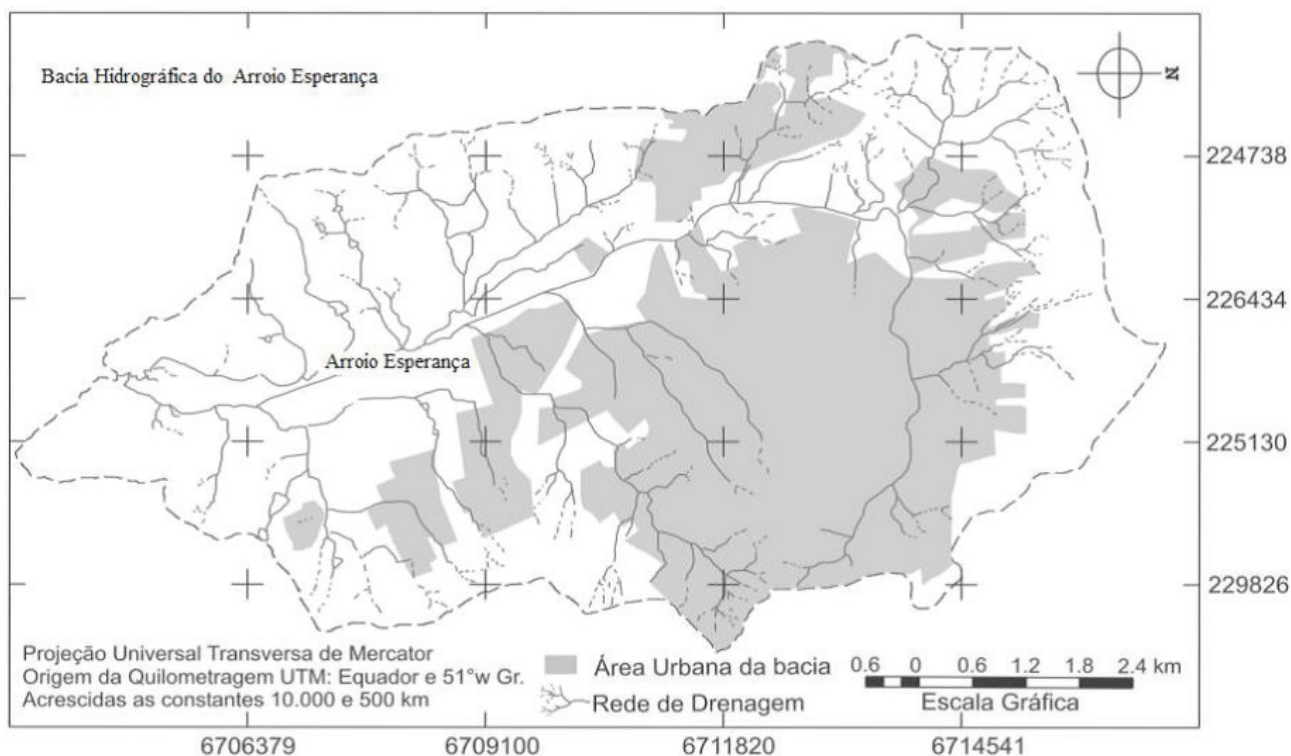
Tendo em vista a relevância da camada de solo ou substrato da cobertura verde na retenção de água, é importante que se determine a capacidade máxima de armazenamento de água do solo escolhido. Righes et al. (2009) explicam que para determinar o armazenamento, é necessário conhecer a capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP). Segundo o autor, a capacidade de campo (CC) é a percentagem máxima de água que um solo pode reter após a saturação e o excesso de água ser drenado. O ponto de murcha, por sua vez, representa a percentagem de água no solo quando as plantas não conseguem mais extrair água e apresentam murchamento permanente.

Tendo como base o exposto, o trabalho teve como objetivo geral determinar o impacto do uso de telhados verdes no escoamento superficial da microbacia urbana do Arroio Esperança, situado no município de Santa Maria-RS e como objetivos específicos, estimar a vazão da microbacia do Arroio Esperança em zona urbana com e sem o uso de telhados verdes e determinar a retenção máxima de água no substrato que irá compor a estrutura do telhado verde.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na microbacia do Arroio Esperança, com área de 56,81 hectares localizada na região central da cidade de Santa Maria - RS, entre as coordenadas geográficas 29°25'51,94" e 30°00'18,67" de latitude Sul e 54°19'32,41" e 53°30'43,59" de longitude Oeste (Figura 1).

Figura 1 - Microbacia hidrográfica do Arroio Esperança, Santa Maria - RS.



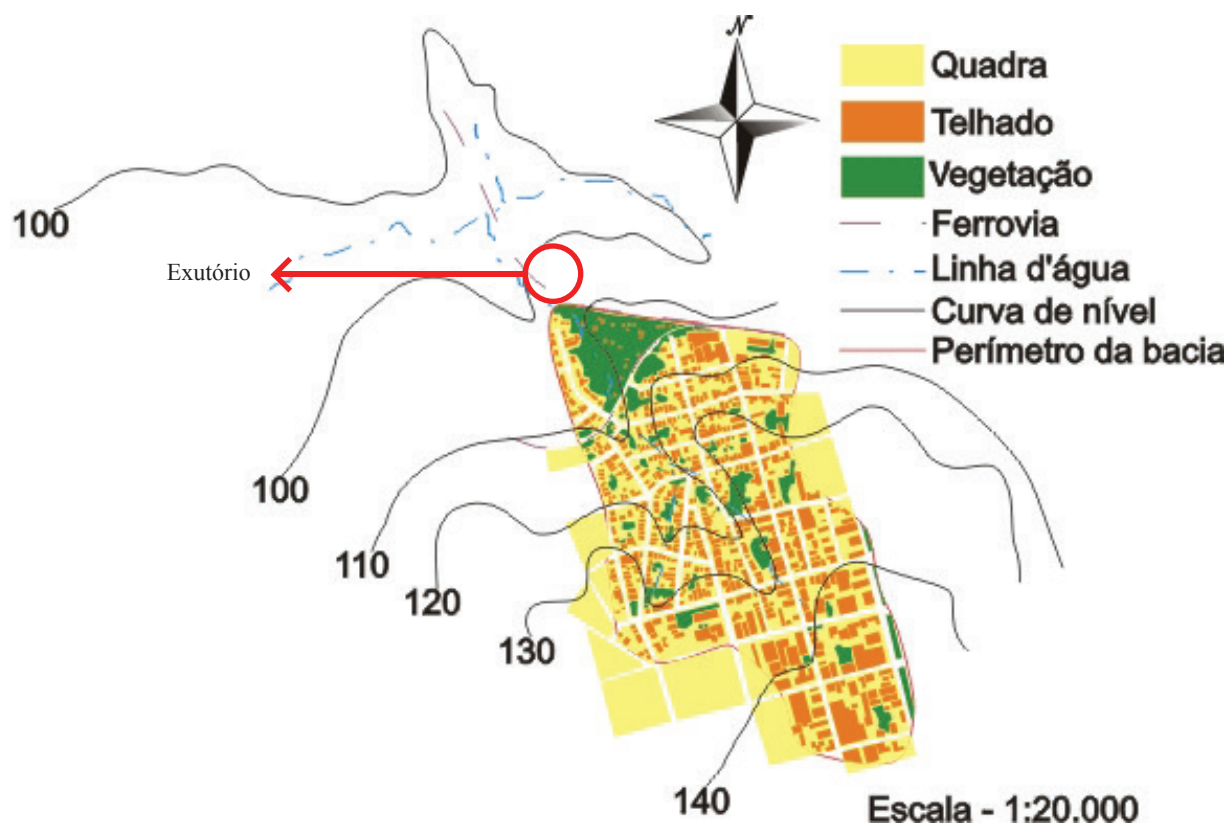
Fonte: Ucker, Foletto e Kemerich (2009).

O município de Santa Maria localiza-se na região central do Rio Grande do Sul, apresenta clima da região do tipo mesotérmico brando Cfa, de acordo com a classificação de Köppen (AYOADE, 1986; FACCO, 2012). As precipitações são regulares durante todo o ano, não ocorrendo estação seca, com médias pluviométricas anuais entre 1.500 mm e 1.600 mm. De acordo com Buriol et al. (2006), a média dos totais mensais de precipitação pluvial entre 1912 e 2004 variou de 120,2 mm em novembro e 159,8 mm em setembro, confirmando a ausência de uma estação seca definida.

ESTIMATIVA DA VAZÃO NA MICROBACIA

Para estimar a vazão de pico provocada pelos telhados verdes é necessário determinar o coeficiente de deflúvio e a área dos mesmos. Nesse estudo, para o coeficiente de deflúvio, adotou-se o valor médio de $C = 0,25$ tomando como base os dados de pesquisa obtidos por Kolb (2003). Para a área total de telhados foi utilizado os valores publicados por Maus et al. (2008), que quantificou as áreas dos diferentes tipos de coberturas do solo da microbacia em estudo, por meio do *software* Auto Cad (Figura 2).

Figura 2 - Ocupação do solo na área da microbacia hidrográfica do arroio Esperança, Santa Maria - RS.



Fonte: Maus et al. (2008).

Estas áreas foram divididas em: ruas, vegetação, pátios pavimentados e telhados. Com base nessa metodologia aplicou-se o método racional (Equação 1).

$$Q = \frac{CiA}{3,6} \quad (1)$$

sendo: Q o pico de vazão em $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; i a intensidade média da precipitação sobre toda a área drenada, de duração igual ao tempo de concentração, em mm h^{-1} e A área drenada em km^2 e C coeficiente de deflúvio, definido como a relação entre o pico de vazão por unidade de área e a intensidade média de precipitação pluviométrica “ i ”.

O valor do pico de vazão gerado no telhado verde foi somado aos valores de picos de vazão dos outros tipos de coberturas do solo, que por sua vez foram calculados também, pelo método racional. Os coeficientes de deflúvio de cada tipo de cobertura do solo, bem como as respectivas áreas, também foram obtidos do trabalho de Maus et al. (2008), tornando possível fazer uma estimativa da vazão de pico da microbacia do Arroio Esperança para diferentes intensidades com o uso da vegetação sobre os telhados. Posteriormente, foi realizado o mesmo processo, porém

com as condições normais, sem a utilização de telhados verdes, de modo a comparar as vazões de pico encontradas.

Para determinar a vazão da microbacia utilizou-se a equação 1 para duas condições: com telhados convencionais para obter-se os valores de Q_1 e com telhados verdes para os valores de Q_2 com os respectivos coeficientes de deflúvio para cada tipo de cobertura do solo.

$$Q_1 = Q_{\text{rua}} + Q_{\text{vegetação}} + Q_{\text{pátios pavimentados}} + Q_{\text{telhados convencionais}}$$

$$Q_2 = Q_{\text{rua}} + Q_{\text{vegetação}} + Q_{\text{pátios pavimentados}} + Q_{\text{telhados verdes}}$$

Para estimar o coeficiente de deflúvio médio da microbacia do Arroio Esperança com a utilização do telhado verde, utilizou-se a média aritmética ponderada como consta na equação 2 (MAUS et al., 2008):

$$C = \frac{\sum A_i.C_i}{At} \quad (2)$$

sendo, C o coeficiente de deflúvio médio da bacia; A_i a área do i -ésimo tipo de cobertura do solo; c_i o coeficiente de deflúvio do i -ésimo tipo de cobertura do solo; At área total da bacia.

DETERMINAÇÃO DO ARMAZENAMENTO MÁXIMO DE ÁGUA NO SUBSTRATO

Levando em consideração a importância que a camada de substrato possui em relação à retenção de água pelos telhados verdes, utilizou-se a unidade de mapeamento de solo predominante na região para as simulações a respeito da quantidade máxima de água que o substrato que compõe a estrutura do telhado verde pode reter.

O solo utilizado pertence à Unidade de Mapeamento São Pedro, classificado segundo Streck et al. (2002), como tipo Argissolo Vermelho distrófico arênico, com textura média, relevo ondulado a suave ondulado, coletado na Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO Florestas), localizada no distrito de Boca do Monte, Santa Maria, RS.

As amostras de solo com estrutura não deformada foram coletadas com o auxílio de um cilindro de PVC rígido com corte em bisel em uma das extremidades com 25 cm de diâmetro por 20 cm de altura. Os cilindros de PVC foram introduzidos no solo aplicando-se pressão e percurção uniformemente até ficar rente a superfície do solo. Para retirá-los foi escavado ao seu redor utilizando-se martelo pedológico e pá de corte. Após a extração dos cilindros de solo com grama, um pano de algodão foi amarrado na extremidade inferior, servindo como suporte para que não se perdesse solo (Figuras 3 A e B).

Figura 3 - Extração das amostras de solo com grama da unidade de mapeamento São Pedro com estrutura não deformada, em cilindros de PVC rígido com 25 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

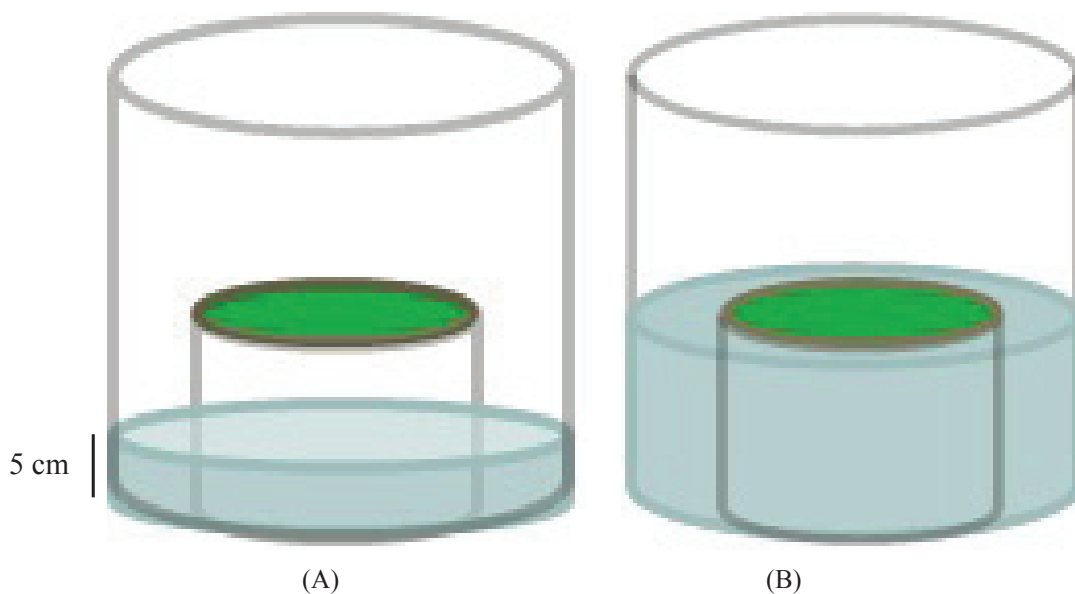


(A)

(B)

Foram coletadas quatro amostras de solo com grama, que posteriormente foram levadas para o laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário Franciscano, onde foram realizadas as devidas determinações. Buscando a obtenção dos valores da percentagem de saturação (Sat) e do ponto de murcha permanente (PMP), conforme Righes et al. (2009). Para a determinação da percentagem de saturação (Sat) cada amostra foi colocada em um recipiente aplicando-se uma lâmina de água de aproximadamente 5 cm para que ocorresse inicialmente a absorção nos microporos, permitindo assim a expulsão do ar do bloco amostrado. Depois de 24 horas o nível de água foi elevado até a altura da borda superior do cilindro que continha as amostras, durante mais 24 horas de modo a saturá-las completamente. Passado este tempo, verificou-se que a altura da lâmina d'água havia baixado, assim adicionou-se mais água (Figuras 4 A e B).

Figura 4 - Procedimento utilizado para saturar completamente as amostras de solo com grama. (A) Lâmina de água inicial por 24h e (B) lâmina até a borda superior do cilindro durante 24h.



(A)

(B)

O processo foi repetido até que a lâmina d'água estabilizasse, indicando a saturação completa do solo. Após determinar as massas de solo mais água, as amostras foram colocadas em local com luz solar, protegido da chuva para secar. Diariamente, com exceção dos sábados, domingos e feriados pela impossibilidade de acesso ao local, foram monitoradas as massas das amostras, observando-se o comportamento da grama até obter-se o ponto de murcha, momento em que, praticamente não ocorria mais variação de massa. A diferença de massa entre a percentagem de saturação e o ponto de murcha permanente indica o quanto de água foi perdido por evapotranspiração. Este valor em % é a quantidade máxima de água, que o solo pode absorver, que aplicado na equação 3 pode-se obter o volume máximo de água que pode ser retido.

$$V_{max} = [(Sat - PM)/100] \cdot D_s \cdot p \cdot S' \quad (3)$$

sendo *Sat* a percentagem de saturação em % massa; *PM* o ponto de murcha em % massa; *Ds* a densidade do solo; *p* a profundidade do solo, em cm; *S'* a superfície, em cm².

A densidade do solo *Ds* foi determinada pela razão entre a massa do solo seco *Ms* pelo volume total da amostra *Vt*, conforme a equação 4.

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (4)$$

Sabendo a capacidade máxima de armazenamento do solo, em cm³, foi possível determinar a altura de precipitação pluviométrica que pode ser armazenada nos telhados das edificações que fazem parte de microbacia do Arroio Esperança para 20 cm de espessura da camada de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ESTIMATIVA DA VAZÃO NA MICROBACIA

Na tabela 1, constam os valores de coeficiente de deflúvio e as áreas representativas das diferentes classes de coberturas do solo da microbacia, que foram utilizados para os cálculos das vazões.

Tabela 1 - Coeficiente de deflúvio (C) e área das respectivas coberturas do solo na microbacia do Arroio Esperança em Santa Maria-RS.

Cobertura do solo	C	Área (Km ²)
Ruas	0,83	0,091762
Vegetação	0,2	0,074219
Pátios pavimentados	0,28	0,223592
Telhados convencionais	0,83	0,178562

Fonte: Maus et al. (2008).

Na tabela 2, são apresentados os valores de pico de vazão da microbacia hidrográfica do Arroio Esperança, para a situação atual de cobertura das edificações, e valores de pico de vazão da mesma microbacia, quando utilizados os telhados verdes. Estes valores foram calculados para variação de intensidade pluviométrica entre 10 a 70 mm h⁻¹.

Verifica-se uma redução significativa dos valores de pico de vazão Q_1 para Q_2 , indicando a influência dos telhados verdes sobre o escoamento superficial na bacia. Isto deve-se a camada porosa do substrato ou solo utilizado na estrutura do telhado verde que permite a retenção de parte da água precipitada. O pico de vazão da microbacia reduziu em 34,30%. Costa et al. (2012) verificaram uma redução de 15% nos picos de vazão, quando após o uso de telhado verde, em área 44% impermeabilizada e 55% ocupada por telhados verdes. A diferença na percentagem de redução do pico de vazão encontrado neste trabalho pode ser atribuída aos diferentes tipos de cobertura do solo da microbacia do Arroio Esperança.

Tabela 2 - Dados de vazão da microbacia do Arroio Esperança, com telhados convencionais (Q_1) e telhados verdes (Q_2).

Intensidade pluviométrica (mm h ⁻¹)	Telhados		Redução do pico de vazão ($Q_1 - Q_2$)
	Convencionais Q_1	Verdes Q_2	
	-----($m^3 s^{-1}$)-----		
10	0,838	0,551	0,288
20	1,677	1,101	0,575
30	2,515	1,652	0,863
40	3,354	2,203	1,151
50	4,192	2,754	1,438
60	5,030	3,304	1,726
70	5,869	3,855	2,014

O coeficiente de deflúvio médio da bacia, calculado pela média aritmética ponderada (equação 2), caiu de 0,53 para 0,35 após a utilização do telhado verde. De acordo com Maus et al. (2008), 87% da área da microbacia do Arroio Esperança é considerada impermeável. Como os telhados ocupam 31% da área da bacia, a porcentagem de impermeabilização do solo passa a ser de 56%, com o uso do telhado verde.

Estes resultados demonstram como o telhado verde pode contribuir para projetos de retenção de águas pluviais em bacias urbanizadas, diminuindo as áreas impermeabilizadas, visando aproximar-se das características naturais do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, atendendo, segundo Oliveira (2009), aos critérios de planejamento urbano sustentável.

DETERMINAÇÃO DA RETENÇÃO MÁXIMA DE ÁGUA NO SUBSTRATO

Para dar segmento a simulação proposta neste trabalho, utilizou-se o solo da unidade de mapeamento São Pedro para demonstrar o volume de água que pode ficar retido no substrato, correspondente a camada de solo utilizada pelo telhado verde.

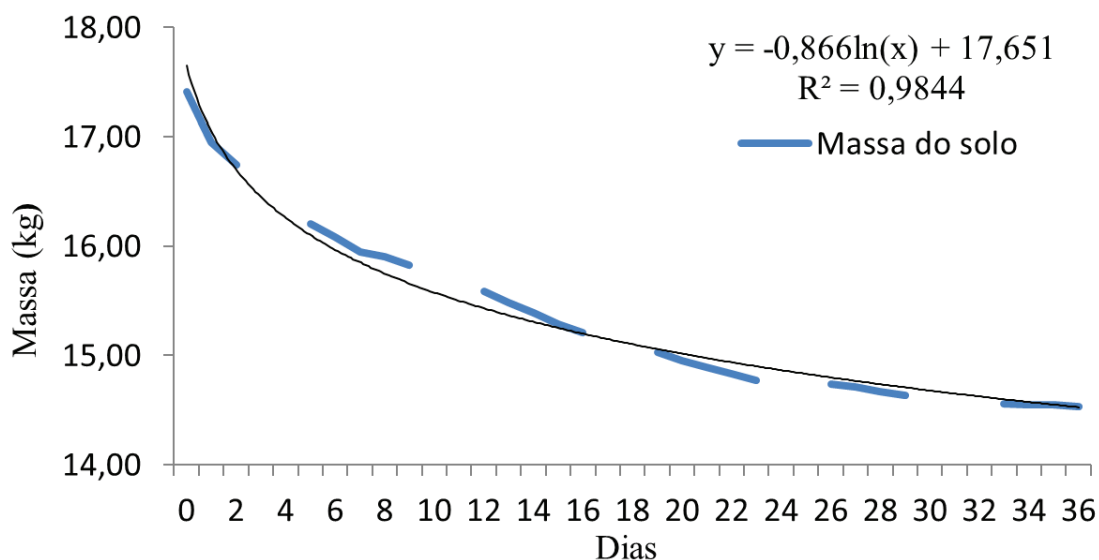
Na tabela 3, são apresentados os parâmetros físicos e hídricos do solo. Com estes dados foi possível quantificar o volume máximo de água que pode ficar retido no substrato do telhado verde conforme a equação 3.

Tabela 3 - Parâmetros físicos e hídricos das amostras de solo unidade de mapeamento São Pedro, coletadas nos cilindros.

Parâmetros	Amostras				Média
	1	2	3	4	
Saturação (% massa)	28,10	25,90	25,17	25,35	26,13
Ponto de murcha (% massa)	6,10	4,84	4,74	5,42	5,27
Densidade do solo	1,36	1,42	1,41	1,43	1,41
Volume máximo de retenção em altura de lâmina (mm)	60,0	59,6	57,6	57,2	58,61

Analisando o comportamento dos dados da figura 5 constata-se que o solo perdeu 2,88 litros de água o que corresponde em média a 58,6 mm de lâmina de água, levando 36 dias para atingir o ponto de murcha. A figura 5 representa a curva de perda de água do solo, entre os valores de saturação e ponto de murcha do solo.

Figura 5 - Variação média da massa de água das amostras de solo com grama após a saturação em função do tempo até atingir o estado de murcha permanente da grama.



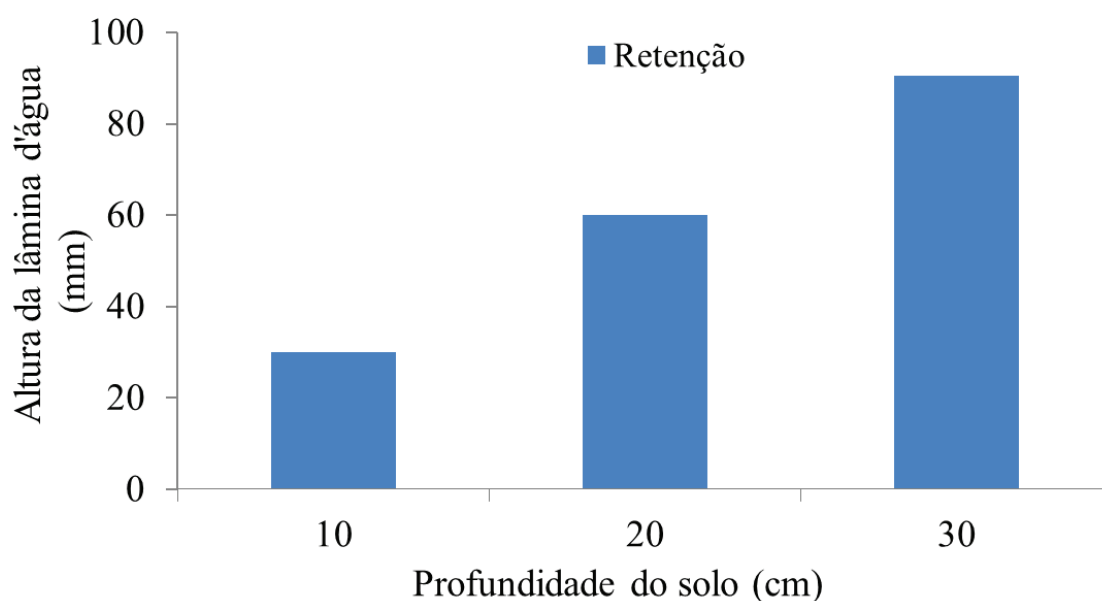
O volume máximo de retenção foi transformado em altura de lâmina d'água. Assim, pode-se deduzir que precipitações pluviométricas de até 58,6 mm ficarão totalmente retidas em 20 cm de espessura de substrato do telhado, se a intensidade da precipitação pluviométrica não for superior a taxa de infiltração básica de água no substrato.

Como os telhados verdes são classificados em intensivos e extensivos, que se diferenciam pela profundidade da camada de solo, determinou-se também a massa que o substrato exerce sobre

o telhado, bem como, a altura de lâmina de água que pode ser retida pelo solo para profundidades de 10 e 30 cm, simulando as condições de telhado extensivo e intensivo, respectivamente, como demonstra a figura 2.

Analisando a figura 6, observa-se que substratos com 10 cm de profundidade podem reter precipitações pluviométricas de até 30,0 mm e com 30 cm de profundidade podem reter 90,5 mm. Santos et al. (2013) encontraram valores de retenção de água na ordem de 30% da precipitação pluviométrica em substrato com 3 cm de profundidade. A precipitação considerada em seu estudo foi de 24,5 mm, sendo assim 7,35 mm ficou retido no perfil do solo.

Figura 6 - Quantidade de água em altura de lâmina retida em função da profundidade da camada de solo.



Aplicando o valor da profundidade do solo, na função determinada por este trabalho (equação 2), pode-se estimar que 3cm de espessura retém 8,76 mm de lâmina de água, demonstrando certa coerência da função estabelecida, quando comparado os resultados. A pequena diferença entre a quantidade retida nos dois trabalhos, se dá em função da diferença dos tipos de solos utilizados. Assim como constataram Mentas, Raes e Hermy (2006), esses resultados demonstram que a relação entre precipitação e escoamento superficial em telhado verde é fortemente determinada pela profundidade da camada de substrato.

Tem-se defrontado com várias manifestações com relação ao uso de telhado verde sobre os telhados, face o acréscimo na carga de solo exercida sobre a estrutura. Para determinar essa carga, multiplicou-se a altura (espessura) da amostra de solo pela área de 1 m², obtendo-se o volume que, multiplicado pela densidade do solo, obteve-se o valor de 282 kg m⁻², representando a massa de solo que deve ser acrescida no dimensionamento da estrutura do telhado. Este dado é semelhante ao que estabelece a *Green Roof International Association* sobre a carga exercida em telhados verdes considerados intensivos.

Os resultados encontrados confirmam a atuação positiva que o telhado verde pode exercer no controle do escoamento superficial, disponibilizando informações que possam servir de subsídios para os gestores responsáveis pela drenagem urbana.

CONCLUSÕES

Para a microbacia do Arroio Esperança a utilização de telhados verdes na cobertura das edificações reduzem o pico de vazão em 35,4 %, e o coeficiente médio de deflúvio da bacia cai de 0,53 para 0,35.

Telhados verdes com grama em substrato de solo do tipo argissolo vermelho distrófico arênico com 20 cm de profundidade retém até 58,61 mm de precipitação pluviométrica.

REFERÊNCIAS

AYOADE, J. **Introdução à climatologia dos trópicos**. São Paulo: Difel, 1986. 332 p.

BALDESSAR, S. M. N. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. 2012, 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia da Construção Civil, Área de Concentração: ambiente construído. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. **Ecological Engineering**, v. 36, n. 4, p. 351-360, 2010.

BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade e Estatísticas Descritivas dos Totais Mensais e Anuais de Chuva de Santa Maria, Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 4, p. 89-97, 2006.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. 302 p.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano**. 2011. 142 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Programa de Pós-graduação de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CORSINI, R. **Telhado verde**. 2013. Disponível em: <<http://bit.ly/1xtUjIL>>. Acesso em: 18 nov. 2013.

COSTA, J.; COSTA, A; POLETO, C. Telhado verde: redução e retardo do escoamento superficial. **REA - Revista de estudos ambientais**, v. 14, n. 2 esp, p. 50-56, 2012.

ECOTELHADO. 2010. Disponível em: <<http://bit.ly/1xRDdU4>>. Acesso em: 05 abr. 2010.

FACCO, R. Variabilidade de temperaturas médias mensais em Santa Maria/RS no período de 2004/2011. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1103-1110, 2012.

FERREIRA, B. Z. M; COSTA, C. C. **Sustentabilidade nas edificações**. 2010. 23 f. Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Civil na Universidade Positivo, como parte dos requisitos para graduação. Curitiba, 2010.

HENEINE, M. C. A. de Souza. **Cobertura verde**. 2008. 16 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG. Ênfase: tecnologia e produtividade das construções. Belo Horizonte, 2008.

HONGMING, H. C. Y. Jim. Simulation of thermodynamic transmission in green roof ecosystem. **Ecological Modelling**, v. 221, p. 2949-295, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2013. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/23250>>. Acesso em: 11 jan. 2013.

KOLB, W. Telhados de cobertura verde e manejo de águas pluviais. In: 4º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DA CHUVA. 2003. **Anais...** Petrolina, 09-11 de julho de 2003. p. 6-10.

MAUS, V. W. et al. Coeficiente de deflúvio e ocupação do solo em microbacia urbana de Santa Maria-RS. In: VI SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL. 2008. **Anais...** Serra Negra, 2008.

MENTENS, J.; RAES, D.; HERMY, M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? **Landscape and Urban Planning**, v. 77, n. 3, p. 217-226, 2006.

OLIVEIRA, E. W. N. de. **Telhados verdes para habitações de interesse social: retenção das águas pluviais e conforto térmico**. 2009. Disponível em: <<http://bit.ly/1ymsea8>>. Acesso em: 10 jan. 2012.

PINTO, N. L. de S. et al.. **Hidrologia básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. 278 p.

RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A.; BOER, N. (Org.). **Água e educação: princípios e estratégias de uso e conservação**. Santa Maria: Centro Universitário Franciscano, 2009. 272 p.

SANTOS, P. T. S. et al. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-174, 2013.

SILVA, N. C. **Telhado Verde**: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental. 2011. 60 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG. Ênfase: tecnologia e produtividade das construções. Belo Horizonte, 2011.

STRECK, E. V. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER (RS) Ed. UFRGS, 2002. 126 p.

TOMAZ, P. **Telhado verde**. 2005. Disponível em: <<http://bit.ly/1J3VmGR>>. Acesso em: 25 set. 2013.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. 5. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995. 428 p.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: <<http://bit.ly/1scfCyd>>. Acesso em: 12 set. 2013.

VILANUEVA, A.; TUCCI, C. E. M. Metodologias de simulação para planos diretores de drenagem urbana. In: SEMINÁRIO DE DRENAGEM URBANA DA AMÉRICA DO SUL, 2001, Porto Alegre. **Soluções para drenagem urbana em países da América Latina**, IPH - UFRGS, v. 1, p. 239-242, 2001.

UCKER, F. E.; FOLETTTO, C.; KEMERICH, P. D. C. Índice de qualidade da água em Bacia-Escola urbana na cidade Santa Maria - RS. **Engenharia Ambiental: pesquisa e tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 660-670, 2009.