



## BALANÇO HÍDRICO DE SISTEMA MODULAR PARA TELHADO VERDE

---

Ana Paula Cosso Silva Araújo<sup>1</sup>; Rafaela Squizzato<sup>2</sup>; Ricardo Costanzi<sup>3</sup>; Marcella Garcia Baldin<sup>4</sup>; Liliana Cristina Malmegrim Puzzi<sup>5</sup>

1. Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina – Brasil email:anapaula.cosso@gmail.com
2. Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina
3. Professor Doutor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina
4. Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina
5. Graduanda em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina

Recebido em: 12/04/2014 – Aprovado em: 27/05/2014 – Publicado em: 01/07/2014

---

### RESUMO

A expansão urbana associada ao aumento populacional e a falta de um planejamento adequado podem ocasionar um desequilíbrio no balanço hídrico urbano. Isto intensifica a ocorrência de inundações, aumentando a vazão de escoamento superficial. A utilização de sistemas de drenagem sustentáveis, como o telhado verde, pode minimizar o efeito de vazões máximas com a possibilidade de uso da água pluvial. Um protótipo de sistema modular de telhado verde foi instalado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - *campus* Londrina. A evapotranspiração média medida foi de aproximadamente 1,72 mm.d<sup>-1</sup>. O sistema apresentou valores médios de 25,21 mm de evapotranspiração, 16,08 mm de drenagem e 43,46 mm de precipitação mais irrigação. O acúmulo de água no sistema foi de 2,17 mm e a redução de água no sistema de drenagem foi de 62,97%, o que comprova o potencial de minimização da precipitação efetiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** drenagem sustentável. evapotranspiração; telhado verde

### WATER BALANCE OF MODULAR GREEN ROOFS SYSTEM

#### ABSTRACT

Urban expansion associated to population increase and lack of adequate planning may result in an imbalance in the urban water balance. This intensifies flood occurrences thus increasing runoff flow. The use of sustainable drainage systems, such as the green roof, can minimize the effect of peak flows and it can be used for promoting a better use of rainwater. A prototype of modular green roof system was installed in the Parana Federal Technology University at Londrina campus. The average evapotranspiration was approximately 1,72 mm.d<sup>-1</sup>. This system presented average values of 25,21 mm of evapotranspiration, 16.08 mm of runoff and 43.46 mm of rainfall over irrigation. The accumulation of water in the system was 2.17 mm

and the reduction in the average volume of drainage system was 62,97%, which demonstrates the potential of minimizing the effective rainfall.

**KEYWORDS:** green roof, evapotranspiration, sustainable drainage

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano associado com a expansão dissociada do planejamento promove o aumento do escoamento superficial e conseqüentemente alterações no sistema de drenagem. Este fato é decorrência do processo de impermeabilização do solo. Desta forma, a implementação de sistemas de drenagem sustentáveis pode ser uma alternativa viável para a redução do escoamento superficial em centros urbanos (REIS, 2005).

Segundo KREBS (2005), os telhados verdes são uma alternativa sustentável para contornar os problemas decorrentes da impermeabilização e do aumento da vazão das águas pluviais. No contexto histórico as coberturas verdes eram utilizadas com a finalidade de promover a manutenção do ciclo hidrológico e da temperatura ambiente das edificações.

Os telhados verdes são caracterizados pela aplicação de uma cobertura vegetal sobre as edificações. Segundo SILVA (2011), seu plantio é feito principalmente em coberturas planas, porém, existem módulos disponíveis no mercado que permitem a sua instalação em sistemas inclinados. Os elementos que compõem essa estrutura são a laje, a camada impermeabilizante, o isolante térmico, a camada drenante, a camada filtrante, o solo e a vegetação (ARAÚJO, 2007)

Existem dois tipos principais de telhados verdes, os denominados intensivos e os extensivos, estes são classificados de acordo com a profundidade do substrato e conseqüentemente da vegetação (SPEAK et al., 2013). Os telhados verdes intensivos são caracterizados por possuírem uma espessura de solo superior a 20 cm, são constituídos por plantas e arbustos de médio porte e necessitam de um ambiente mais complexo para o seu desenvolvimento. Por outro lado, as coberturas verdes extensivas são caracterizadas por camadas de solo com espessura inferior a 20 cm e compostas por espécies de pequeno porte que necessitam ser mais resistentes (CORREA & GONZALEZ, 2002).

As principais vantagens destes sistemas quando comparados com os telhados convencionais são a redução do escoamento superficial (STOVIN; VESUVIANO & KASMIN, 2012), a melhoria da qualidade do ar, o aumento da vida útil dos telhados (BANTING et al.; 2005), a redução do efeito das ilhas de calor (GETTER & ROWE, 2008); além de agregar valor estético à arquitetura urbana (ENGLISH NATURE, 2003).

Este trabalho teve como objetivo principal determinar o balanço hídrico de um sistema modular comercial de telhado verde com medição *in loco* de um protótipo confeccionado para permitir o armazenamento das águas pluviais geradas na forma de precipitação efetiva. O potencial de redução do escoamento superficial (*runoff*) e o aumento da infiltração e evapotranspiração foram avaliados.

## MATERIAL E METODOS

Este estudo foi desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Londrina. O clima da região é classificado como subtropical úmido mesotérmico com temperatura média anual de 20°C. O estudo foi realizado nos meses de maio a junho do ano de 2012.

Um suporte de aço foi confeccionado para servir como base do sistema modular de telhado verde com dimensões de 100 cm de largura, de 71 cm de comprimento, de 120 cm de altura e com declividade de 15,7º graus.

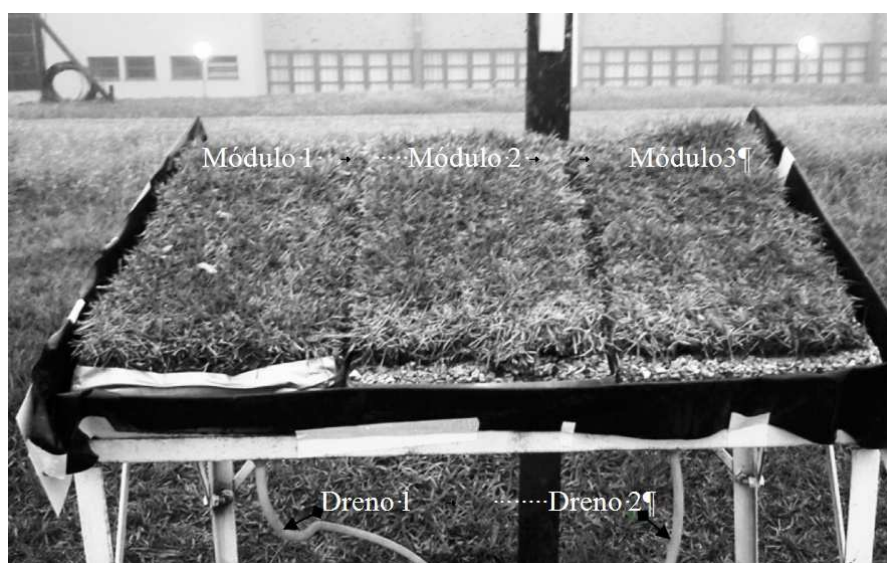
Três módulos comerciais confeccionados com resíduos de couro e resina foram utilizados como base para suporte do solo e da vegetação, ou seja, são a estrutura de um telhado verde que pode ser montado em sistemas com cobertura plana ou inclinada. Este sistema pode ser classificado como extensivo com o substrato variando de 2 a 20 cm (OBERNDORFER et al., 2007).

Cada módulo possui dimensões de 61,5 cm de comprimento, 32,5 cm de largura e 8,5 cm de altura (vide Figura 1) com seis células para inserção de solo e vegetação. Cada célula possui o espaçamento (vazio) de 11 cm de largura, 10 cm de comprimento e 5,8 cm de altura.



**FIGURA 1** – Módulo base de resíduo de couro para telhado verde (item a) e célula com meio suporte para vegetação envolto por feltro ( item b).

Sobre cada célula foi inserida uma camada de feltro para impedir o arraste de partículas de solo no momento da ocorrência de precipitações e das regas. A impermeabilização do sistema, também foi realizada mediante a inserção de uma manta geotêxtil na parte inferior dos módulos. Na parte superior de cada módulo foi introduzido solo com vegetação gramínea da espécie esmeralda (*Zoysia japonica*) compondo assim a estrutura de um telhado verde (Figura 2).



**FIGURA 2.** Sistema modular de telhado verde com três unidades e vegetação tipo gramínea.

Foi instalado um pluviômetro para medição das precipitações locais. Este pluviômetro foi aferido para o correto funcionamento e medição. O sistema possuía duas saídas inferiores para coleta da drenagem excedente de água pluvial (runoff) ou devido à rega. As medições realizadas para determinação da precipitação, regas e volume *runoff* foram volumétricas e posteriormente transformadas para unidade de mm.

Para medição da evapotranspiração foi utilizado o método gravimétrico pela determinação da variação da massa nos três módulos de telhado verde com uso de balança digital para capacidade máxima de 30 Kg. A evapotranspiração estimada utilizada para comparação com os dados medidos no sistema foi a de Penman-Monteith (vide equação 1).

$$E = \left\{ \frac{0,408 \times (R_L - G) + \gamma \times \frac{900}{T + 273} \times U_2 \times (e_s - e_d)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times U_2)} \right\} \quad (1)$$

Onde:

- E – evapotranspiração de referência em mm.dia<sup>-1</sup>;
- R<sub>L</sub> – Radiação Líquida na superfície em MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;
- G – fluxo de energia para o solo em MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;
- γ - constante psicrométrica em KPa.°C<sup>-1</sup>;
- T – Temperatura média do dia em °C;
- U<sub>2</sub> – Velocidade média do vento em m.s<sup>-1</sup>;
- e<sub>s</sub> – pressão de vapor de saturação em KPa;
- e<sub>d</sub> – pressão de vapor real na atmosfera em KPa.

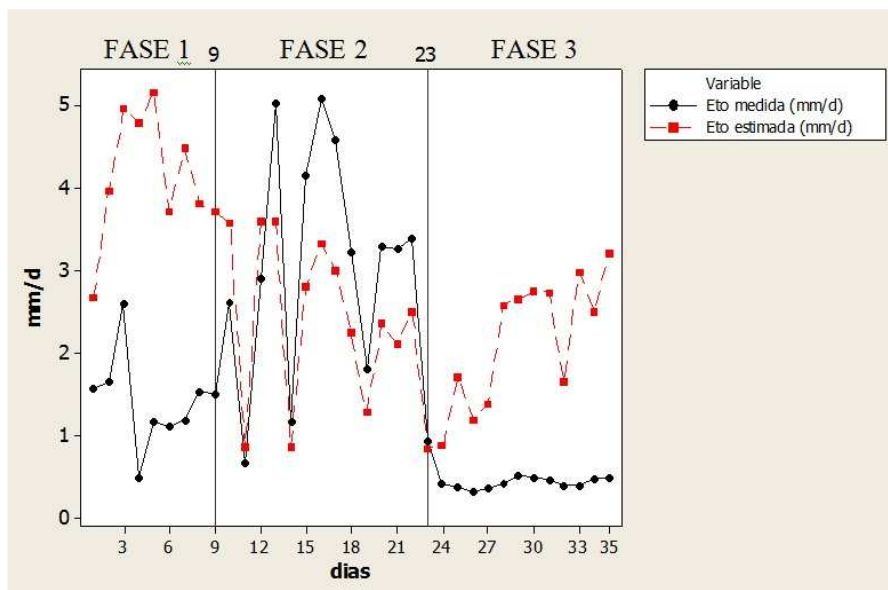
A equação 1 pode ser utilizada para determinação de evapotranspiração padrão relativa a gramínea.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste estudo foi realizado o monitoramento de um sistema modular de telhado verde composto por três módulos durante 35 dias. Foi determinado o balanço hídrico deste sistema pela medição da evapotranspiração, precipitação e drenagem.

Para a determinação da evapotranspiração foram realizadas medições da variação de massa ao longo do tempo com pesagens dos módulos. Em períodos de seca foram realizadas irrigações controladas. Durante o período de monitoramento, pode-se observar a existência de três fases distintas: fase 1 considerada normal quanto a umidade (intervalo entre os dias 1 e 8); fase 2 considerada como úmida com a incidência de precipitações intercaladas e contínuas (intervalo entre os dias 9 e 23); e fase 3 considerada seca com a existência de poucas precipitações (intervalo entre os dias 24 e 35). A figura 3 apresenta estas fases distintas relativas à evapotranspiração medida e a estimada pelo método de Penman-Monteith.





**FIGURA 3.** Variação da evapotranspiração no sistema modular de telhado verde.

A Fase 1 apresenta valores de medição de evapotranspiração menores que os valores estimados. Isto ocorreu pela inserção de regas em volume suficiente para o desenvolvimento da vegetação gramínea, porém sem que houvesse um excesso de água do solo, pois a drenagem inexistiu nesta fase. Outro aspecto importante que deve ser considerado na comparação entre a evapotranspiração medida e a estimada é que a equação 1 foi desenvolvida para solos úmidos.

Os maiores valores de evapotranspiração ocorreram na fase 2, com valor máximo diário de aproximadamente 5 mm.d<sup>-1</sup>. Nesta Fase ocorreram precipitações contínuas de curto período e intensidade mediana cujo total equivalem a 123,6 mm. Isto explica a ocorrência da geração de drenagem excedente no sistema. O período correspondente ao menor valor de evapotranspiração média do sistema foi observado na fase 3, apesar de ocorrer a geração de excedente *runoff* devido a existência de precipitação com medição igual a 4,3 mm.

Desta forma, a evapotranspiração média do sistema de telhado verde modular foi de 1,72 mm.d<sup>-1</sup>, sendo que de acordo com dados do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR, 2012), a evapotranspiração média de referência na região de Londrina variou de 1,5 mm.d<sup>-1</sup> a 2,5 mm.d<sup>-1</sup> no período de medição. A temperatura média neste período foi de 17,7°C e umidade relativa média do ar de aproximadamente 83,1%.

Assim, a precipitação total incidente no sistema foi de 127,86 mm, apresentando um volume total de drenagem de 79,52 mm. No período de estiagem foram realizadas irrigações controladas, com uma adição total de 10,57 mm de água. A evapotranspiração total foi de 60,24 mm.

Quanto ao balanço hídrico medido na Fase 1, este foi negativo com valor equivalente a 0,78 mm. O balanço hídrico da Fase 2 foi positivo com valor de 2,06 mm. Nesta fase, caso o volume devido ao runoff for desconsiderado, o balanço hídrico excedente é de 79,88 mm. O balanço hídrico da Fase 3 apresentou um valor negativo igual a -2,58 mm. Desta forma, o balanço global do sistema gerou uma perda de água igual a 1,32 mm. No balanço hídrico final, a evapotranspiração correspondeu a 43,51% da entrada de água no sistema na forma de precipitação e irrigação. Já a perda de água no sistema durante todo o período de 35 dias foi de

aproximadamente 1,0%. A redução do volume médio de drenagem (*runoff*) foi de 42,5%.

Os eventos de precipitação elevada que ocorreram durante o período deste estudo podem ser analisados pontualmente para avaliar a capacidade de minimização de geração de precipitação efetiva (*runoff*). Em evento de precipitação intensa com valor diário próximo de 55 mm, o sistema minimizou a geração do volume de drenagem excedente em 33%. Na Fase 2, a capacidade média de minimização da drenagem excedente foi de 60,4% do volume *runoff*.

Eventos de precipitação diários menores que 10 mm produziram vazão *runoff* praticamente nula, menores que 1,5 mm. Para precipitações diárias maiores que 10 mm, a redução de volume de água no sistema de drenagem para 5 eventos variou de 33 a 54%.

Em coberturas inclinadas de 100 m<sup>2</sup>, estes valores equivalem a capacidade de armazenamento de água na faixa de 657 a 1.722 litros. Em ensaio realizado para determinação da capacidade potencial de armazenamento de água do módulo comercial de resíduo de couro sem a vegetação e o meio suporte foi obtido um armazenamento potencial de 2.000 Litros para cada 100 m<sup>2</sup>.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível compreender melhor a variação dos picos de drenagem em sistemas modulares de telhado verde. Estes módulos possibilitam uma redução da precipitação efetiva (*runoff*) no sistema de drenagem urbana, restando parte da água a ser escoada superficialmente. Sendo assim, estes sistemas podem ser analisados como micro reservatórios de acúmulo de água, no qual contribuem para a redução do efeito dos picos de vazão nas áreas urbanas.

O tipo de sistema de telhado verde empregado, no caso o extensivo, onde o substrato utilizado apresentava uma pequena profundidade permitiu que houvesse uma variação mais acentuada na taxa de evapotranspiração nos períodos de irrigação e precipitação e no período de restrição de água.

A capacidade de retenção de água atrelada a capacidade de perda de água por evapotranspiração podem proporcionar a minimização de picos de vazão nas áreas urbanas que não apresentem um sistema de drenagem adequado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Londrina, pelo espaço cedido para que o trabalho fosse realizado e ao IAPAR pela possibilidade de uso de dados meteorológicos do município de Londrina-PR.

## REFERÊNCIAS

BANTING, D.; DOSHI, H.; LI, J.; MISSIONS, P.. **Report on the benefits and cost of green roof technology for the city of Toronto**. Ryerson University. 2005. Disponível em: <<http://www.toronto.ca/greenroofs/findings.htm>>. Acesso em: 02 mar. 2014.

CORREA, C. B.; GONZALEZ, F. J. N. O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ARQUITETURA E URBANISMO-NUTAU. 2002, São Paulo. **Anais**. São Paulo:

Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

ENGLISH NATURE. Green roofs: Their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas. **English Nature Report**. n. 498. 2003.

GETTER, K.; ROWE, D. B.; et al. Carbon sequestration potential of extensive green roofs. **Environmental Science & Technology**. v.43, n. 19, p. 7564-7570. 2009.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Monitoramento. Mapa de Evapotranspiração de referência do Estado do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo>> Acesso em: 03 jun. 2012.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=861>> Acesso em: 07 abr. 2014.

KREBS, L. F. **Coberturas vivas extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha**. 2005. 181 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/10177>> Acesso em: 03 mar. 2014.

OBERNDORF, E.; LUNHOLM, J.; et al. Green roofs an urban ecosystems: ecological structures fuctions, and services. **Bioscience**. v.57, n. 10, p.823-833. 2007.

REIS, R. P. A. **Proposição de parâmetros de dimensionamento e avaliação de desempenho de poço de infiltração de água pluvial**. 2005. 214 f. Dissertação (Tese mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

SILVA, N. C. **Telhado verde: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 2011. 60 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <<http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/73.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2014.

SPEAK, A. F.; ROTHWELL, J. J.; LINDLEY, S. J.; SMITH, C. S. Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. **Science of the Total Environment**. v 461-462, p.28-38. 2013.

STOVIN, V.; VESUVIANO, G.; KASMIN, H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. **Journal of Hydrology**. v. 414-415. p.148-161. 2012.