

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

EFICIÊNCIA HIDROLÓGICA DE TELHADOS VERDES EM ESCALA DE LOTE EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DA CIDADE DE BELO HORIZONTE

Natália Manuele Gomes Oliveira¹; Luciana Peixoto²

RESUMO – Um dos principais problemas enfrentados atualmente no Brasil são as frequentes inundações em épocas de chuvas. Na cidade de Belo Horizonte, este problema ocorre em várias regiões distintas, trazendo consigo perdas materiais e, em alguns casos, até humanas. Este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da implementação de telhados verdes como medida compensatória em uma quadra na Regional Nordeste da cidade de Belo Horizonte, utilizando o modelo de simulação hidrológica HEC-HMS, considerando três cenários possíveis: uso de telhado verde em 25%, 50% e 75% da área do lote. Adicionalmente aos três cenários propostos para a simulação, consideraram-se três condições de umidade do solo em cada cenário: inicialmente seco (condição I), situação de umidade normal do solo (condição II) e na iminência de saturação (condição III). Os resultados das simulações hidrológicas indicaram que a eficiência do telhado verde está diretamente ligada à condição inicial de umidade do solo. Em condições de solo inicialmente seco, que são comuns após estiagens, foi observada uma redução do pico de vazão em 63%, considerando a variação das porcentagens de utilização de telhados verdes nos lotes. Apesar disso, este índice reduz-se para 32% e 4%, em situações de condições de solo II e III, respectivamente. Dessa forma, a implantação de telhados verdes contribui para atenuar as vazões de pico geradas na saída da quadra em estudo, aliviando o sistema público de drenagem.

ABSTRACT– One of the main problems facing in Brazil today is the frequent flooding in times of rain. In the city of Belo Horizonte, this problem occurs in several different regions, bringing with it material losses and, in some cases, even human losses. This paper aims to evaluate the efficiency of the implementation of green roofs as a compensatory measure in a block in the Northeast of Belo Horizonte, using the HEC-HMS hydrological simulation model, considering three possible scenarios: 25% green roof use, 50% and 75% of the lot area. In addition to the three scenarios proposed for the simulation, three soil moisture conditions were considered in each scenario: initially dry (condition I), normal soil moisture situation (condition II) and imminent saturation (condition III). The results of hydrological simulations indicated that the efficiency of the green roof is directly linked to the initial soil moisture condition. Under initially dry soil conditions, which are common after droughts, a peak flow reduction of 63% was observed, considering the variation of the percentages of green roof use in the lots. Despite this, this rate decreases to 32% and 4% under soil conditions II and III, respectively. Thus, the implementation of green roofs contributes to attenuate the peak flows generated at the exit of the study block, relieving the public drainage system.

Palavras-Chave – Drenagem urbana. Simulação Hidrológica. Telhados Verdes.

1) Engenheira Ambiental e Sanitarista, Mestranda em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais no Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), Av. Presidente Antônio Carlos, 6.627 Campus da UFMG – Pampulha, CEP 31270-901, (31) 3069-3434, nataliamanuele@gmail.com

2) Professora do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET/MG), Av. Amazonas, 5253, Nova Suíça, CEP 30.421-169, (31) 3319-7109/7120, lupeixoto@cefetmg.br

INTRODUÇÃO

Uma das principais vantagens dos telhados verdes (TVs) em relação aos telhados tradicionais é a sua capacidade de retenção de águas de chuva. Alguns dos principais estudos relacionados com a eficiência hidrológica das coberturas permeáveis focam-se basicamente na realização de experimentos com protótipos de telhados em escala reduzida, monitorando os volumes de água precipitados e aqueles coletados por drenos inferiores, variando a umidade do solo, inclinação das superfícies da cobertura, entre outros fatores. Uma outra forma de quantificar a eficiência hidrológica dos telhados verdes consiste na aplicação de modelos teóricos chuva-vazão (ALAMY FILHO et al., 2016). Segundo Lorenzini Neto (2014), a modelagem permite analisar o desempenho dos telhados verdes em diferentes escalas especiais (protótipos, loteamento e bairros inteiros, com TVs distribuídos em uma grande bacia hidrográfica).

A modelagem de TVs é uma abordagem relativamente nova, com estudos desenvolvidos principalmente a partir da segunda metade da década de 2000, com várias metodologias empregadas. Segundo Tang (2012) apud Lorenzini Neto (2014), os métodos mais utilizados na modelagem de TVs são: modelos físicos, analíticos, de balanço hídrico e método da Curva-Número do SCS (CN-SCS).

No Brasil, os estudos relacionados à modelagem hidrológica de telhados verdes são incipientes, sendo que os poucos trabalhos existentes estão relacionados ao entendimento do comportamento de um telhado verde atuando no controle do escoamento pluvial de maneira isolada. A modelagem hidrológica, conforme identificados por vários autores (ALAMY FILHO et al., 2016; GARRIDO NETO, 2016; CALIL, BERNARDI & RIGHES, 2014), constitui uma importante ferramenta na análise da eficiência dos TVs quanto à redução do escoamento pluvial.

Assim, o objetivo principal desta pesquisa é avaliar a eficiência da implementação de telhados verdes na redução do escoamento superficial, comparando os hidrogramas referentes aos cenários pré e pós a implementação de telhados verdes, por meio de simulação hidrológica.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente artigo, a eficiência da implantação do telhado verde foi analisada em função da redução da vazão de pico, em comparação com o cenário real de telhados convencionais. Para esta estimativa, utilizou-se o modelo hidrológico HMS (Hydrologic Modeling System), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos - HEC (Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers), que permite modelar o processo de transformação de chuva em vazão, propiciando a avaliação expedita da redução de escoamento superficial e atenuação dos hidrogramas gerados em escala de loteamento. Neste contexto, a área de estudo é tratada como uma bacia de contribuição, substituindo-se parte do telhado dos lotes por TV. Como região de estudo, optou-se por

utilizar uma quadra (Figura 1) situada na Regional Nordeste da cidade de Belo Horizonte, localizada em área com grande índice de ocorrência de inundações, conforme dados da literatura, bem como propícias para a instalação de telhados verdes.

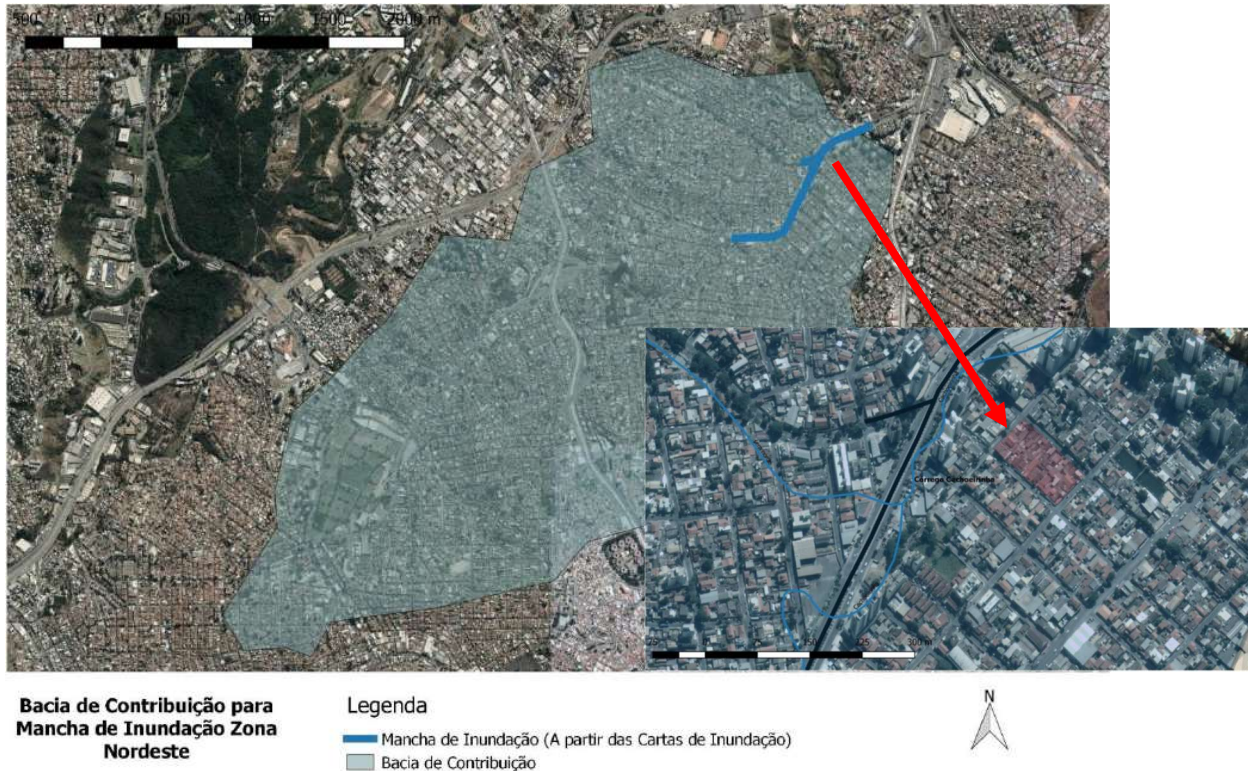


Figura 1 – Localização da quadra definida como área de estudo.

Cada lote da quadra em estudo foi representado no modelo HEC-HMS como uma sub-bacia, bem como as ruas ao redor da quadra. Na Figura 2 é apresentada a distribuição dos lotes e ruas da quadra selecionada.

Na modelagem hidrológica foi utilizado o método CN-SCS (Curver Number – Soil Conservation Service), utilizado para estimativa do escoamento superficial, a partir de dados de precipitação, usos e classes do solo da bacia.

Para a realização da simulação hidrológica para os diferentes cenários considerados, foram utilizados os parâmetros de entrada descritos no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros de entrada no HEC-HMS.

Parâmetro	Método (ou valor adotado)
Pluviosidade da bacia	Hietograma (MATTA, 2015)
Tempo de retorno	10 anos
Duração da chuva	10 minutos
Áreas das sub-bacias	Software GoogleEarth

Parâmetro	Método (ou valor adotado)
Lag time, em minutos (60% do tempo de concentração para cada bacia)	Software QGis: comprimento da sub-bacia (L) e diferença de elevação (H)



Figura 2 – Divisão da quadra escolhida para estudo.

Outro parâmetro de suma importância para a quantificação do escoamento superficial, no método SCS é o valor da curva número (CN) de uma área, que pode, em tese, variar de 0 a 100. Quanto maior o seu valor, maior é a possibilidade da precipitação se transformar em escoamento superficial. A alteração do número CN do loteamento, proporcionada pela substituição dos telhados convencionais pelos telhados verdes, bem como das condições antecedente de umidade do solo, afetará o hidrograma final, efeito resultante da mudança no tempo de concentração da bacia e da alteração do escoamento superficial gerado pela chuva.

Os lotes da quadra em estudo se enquadram na cobertura do solo “Zonas Residenciais” e, como nenhum dos lotes possui área acima de 500m^2 , o CN para todos os casos é de 85. Enquanto que para as ruas presentes na área de estudo se enquadram na cobertura do solo “Asfaltadas e com drenagem pluviais”, com um coeficiente CN de 98. É importante ressaltar que o coeficiente CN fornecido por Tomaz (2011) encontra-se na condição de solo II (estimado para condições de umidade normal do solo). No caso dos telhados verdes, foi utilizado o CN de 75, considerando um telhado verde novo (recém instalado), baixa umidade inicial, relevo plano, substrato grosso (maior que 150mm) e submetido à manutenção periódica, proposto por Rathke (2012).

O número CN resultante (CNr) de cada lote é calculado como a média ponderada dos CN individuais, utilizando a área correspondente a cada uso do solo como peso de ponderação. Dessa forma, utilizou-se a equação proposta por Ladeira (2011), para cada um dos cenários, dada por:.

$$CNequivalente = \frac{(CNI * \text{Área 1}) + (CNII * \text{Área 2})}{\text{Área total}} \quad (1)$$

Este trabalho incluiu simulações com diferentes cenários, considerando-se três condições de umidade antecedente do solo: inicialmente seco (condição I), situação de umidade normal do solo (condição II) e na iminência de saturação (condição III), permitindo varrer situações sazonais de umidade do solo, comuns ao longo de um ano hidrológico. Além disto, foram impostos quatro cenários, representando a situação real (cenário base) e a hipotética, na qual a área do lote foi substituída, em 25% (cenário I), 50% (cenário II) e 75% (cenário III) por telhado verde.

A modelagem realizada não permite a representação explícita de unidades construídas como telhados verdes, com seus elementos (camadas e vegetação), bem como a variação de da inclinação das superfícies da cobertura, que conforme estudos já realizados têm influência significativa na eficiência dos telhados verdes. Entretanto, a condição de umidade do solo é representada pelo modelo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com o objetivo de analisar a eficiência hidrológica de TVs na área de estudo, os hidrogramas induzidos pelo escoamento superficial foram simulados, utilizando a substituição hipotética do telhado convencional pela cobertura permeável (TV).

A eficiência dos telhados verdes foi estimada em função do percentual de redução na vazão de pico, em comparação com a situação atual da área de estudo, com telhado tradicional.

Nas Figuras 4 a 6 são apresentados os hidrogramas no exutório para cada cenário, e cada condição inicial de umidade do solo (I, II e III), respectivamente.

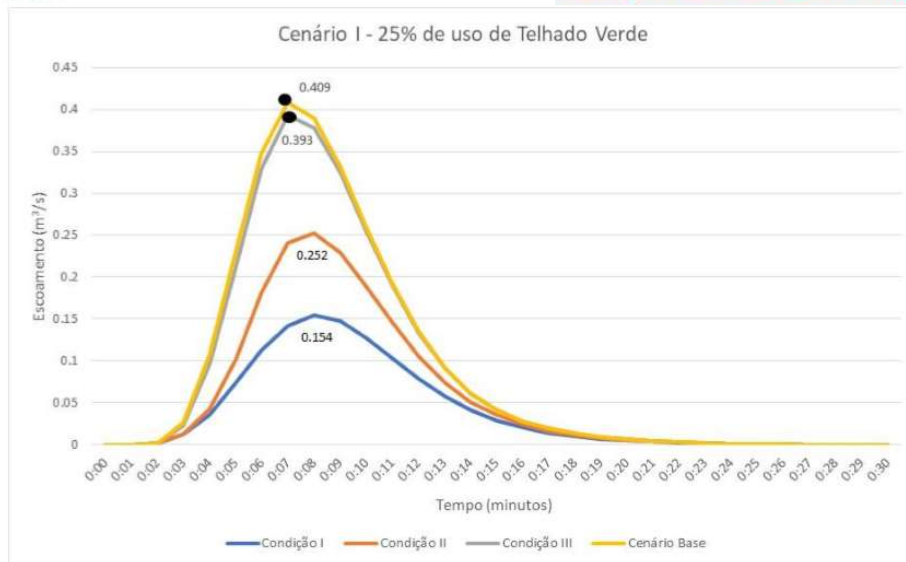


Figura 4 – Simulações (Cenários I e base) – com 25% de uso de telhado verde.

No cenário I, observa-se que em condições de solo seco, a vazão de pico passou de $0,409\text{m}^3/\text{s}$ para $0,154\text{m}^3/\text{s}$, apresentando uma eficiência de redução na vazão de pico de cerca de 62%, com a utilização de 25% de telhado verde. Enquanto que, em um solo nas condições iniciais de umidade II e III, as eficiências foram de 38% e 4%, respectivamente. Este baixo valor de eficiência é justificável pois um solo na condição de umidade III apresenta-se saturado, ou seja, possui baixa capacidade de infiltração. Na simulação para o cenário II, 50% de uso de telhados verde, o resultado das simulações foi similar ao anterior. Para a condição de solo I, a vazão de pico teve uma diminuição praticamente desprezível em relação ao cenário anterior, de apenas $0,003\text{m}^3/\text{s}$. Para a condição II, a vazão apresentou uma queda de $0,018\text{m}^3/\text{s}$, representando uma eficiência de cerca de 42%, e para a condição III também foi apresentada uma redução, porém de $0,03\text{m}^3/\text{s}$, caracterizando uma eficiência de 11%. Observa-se, então, que ao aumentar em 25% a área de uso de telhado verde, em relação à primeira simulação, em um solo seco existe uma eficiência praticamente desprezível se comparada com um solo úmido.

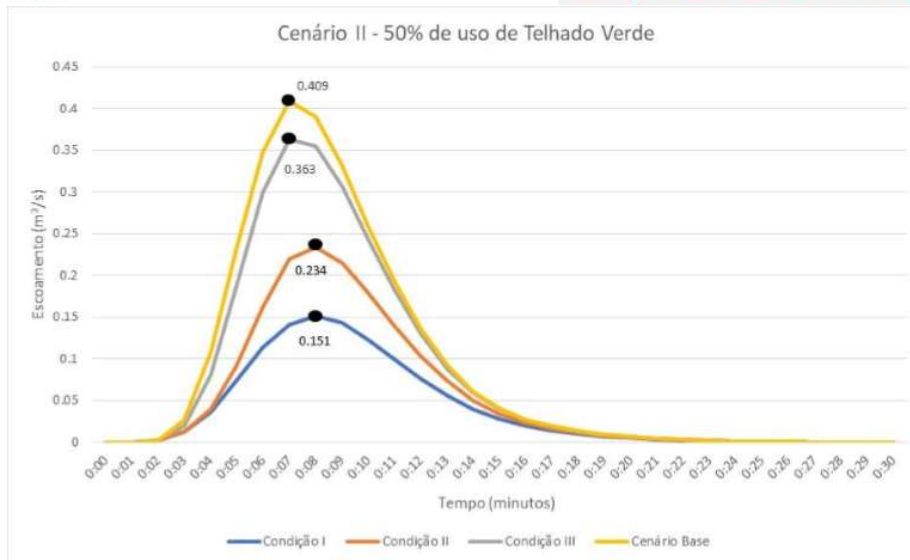


Figura 5 – Simulações (Cenários II e base) – com 50% de uso de telhado verde.

Na simulação do cenário III, considerou-se uma área de 75% de uso de telhado verde. Para a condição de solo I, não houve mudança na vazão de pico em relação à simulação anterior (Cenário II), com a mesma permanecendo com o valor de $0,151\text{m}^3/\text{s}$. Para as condições II e III, foi possível observar um declínio na vazão de pico, assim como no caso da segunda simulação. Em um solo em situação média de umidade do solo, a vazão decresceu $0,028\text{m}^3/\text{s}$, apresentando 49% de eficiência do telhado verde e, em um solo próximo à condição de saturação, o decréscimo foi de $0,027\text{m}^3/\text{s}$, ou seja, uma eficiência de 17%.

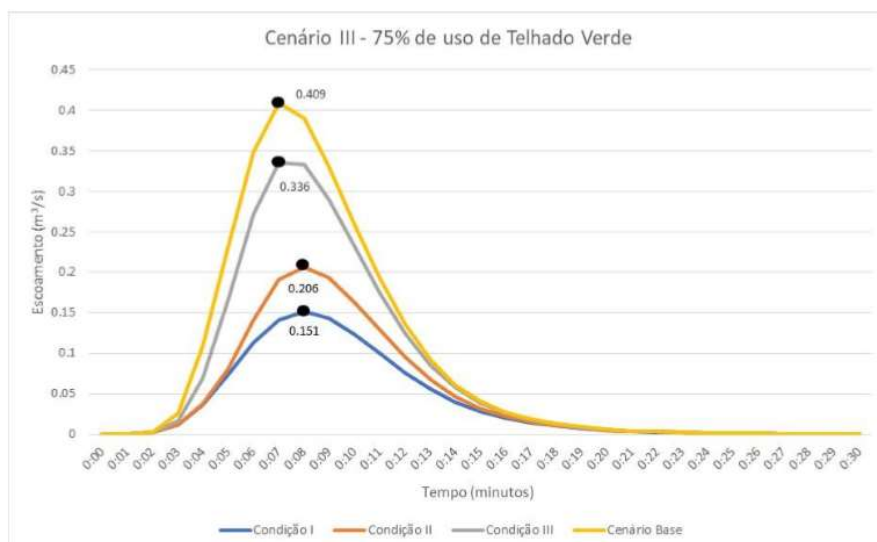


Figura 6 – Simulações (Cenários III e base) – com 75% de uso de telhado verde.

De forma geral, as simulações demonstraram que se o solo se apresenta na condição de umidade I, as alterações na vazão de pico do escoamento são insignificantes em relação ao percentual de área de telhado verde adotado. Enquanto que para um solo na condição de umidade II e para um solo próximo à saturação, os resultados apontam uma variação de 38% a 49% e de 4% e 17%, respectivamente, indicando aumento na redução da vazão de pico conforme a área de telhado verde é ampliada.

CONCLUSÕES

Com a realização desse estudo foi possível avaliar o desempenho hidrológico dos TVs e sua influência na redução da vazão de pico e controle de escoamento superficial, em escala de loteamento, na Regional Nordeste da cidade de Belo Horizonte, região bastante afetada por recorrentes inundações.

Para avaliar a influência dos telhados verdes sobre a vazão de pico, foram realizadas simulações, no programa HEC-HMS, considerando três diferentes cenários de aplicação de telhados verdes: 25%, 50% e 75% da área do lote da quadra em estudo. Além disso, investigou-se de que forma as situações iniciais de umidade do solo influenciam na eficiência dos telhados verdes, utilizando as seguintes condições: solo seco (condição I), solo em situação de umidade normal (condição II) e solo próximo à saturação (condição III).

Na condição de solo seco, percebeu-se que, praticamente não houve mudança na redução da vazão de pico com a variação das porcentagens de área de utilização dos telhados verdes, sendo observada uma eficiência de 62%, independente do percentual de área de telhado verde em cada lote. Entretanto, nas condições II e III, os resultados indicam que quanto maior a área de TV utilizada como medida compensatória, maior a redução da vazão de pico, com eficiências variando entre 38% e 49% e entre 4% e 17%, respectivamente. Conforme esperado, o solo seco (condição I) apresenta maior capacidade de retenção, portanto o período de intervalo entre eventos de precipitação tem influência no desempenho do TV. Este estudo corrobora a influência das condições de umidade antecedente do solo sobre a eficiência hidrológica da cobertura permeável.

Assim, a implantação de telhados verdes contribui para atenuar as vazões de pico geradas na saída da quadra em estudo, aliviando o sistema público de drenagem e, num contexto mais amplo, reduzindo os riscos de inundações na Regional Nordeste da cidade de Belo Horizonte.

REFERÊNCIAS

- ALAMY FILHO, José Eduardo et al. (2016). “*Eficiência hidrológica de telhados verdes para a escala de loteamentos residenciais*”. Sociedade e Natureza, v. 28, n. 2, pp. 257–272.
- CALIL, V. S.; BERNARDI, E. C. S.; RIGHES, A. A. (2014). “*Impacto da utilização de telhados verdes no escoamento superficial do arroio esperança em Santa Maria-RS*”. *Disciplinarium Scientia*. Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 15, n. 1, pp. 1–16.
- GARRIDO NETO, Pedro de Souza. (2016). *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* (Dissertação de Mestrado). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 321p.
- LADEIRA, Márcio Bessa. (2011). *Uso da função sigmóide para desagregação do bloco de tormenta obtido da curva idf estudo de caso: bacia de val-de-cans* (Dissertação de Mestrado). Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, 148p.
- LORENZINI NETO, Francisco. (2014). *Modelagem de telhado verde: uma análise da eficiência no controle do escoamento pluvial em diferentes escalas* (Dissertação de Mestrado). Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal Santa Maria. 135p.
- MATTA, Gustavo Velloso. (2015). *Simulação hidrológica da implementação conjunta de telhados verdes e microrreservatórios domiciliares em área urbana de Belo Horizonte*. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 109 p.
- RATHKE, Thiago Alex. (2012). *Medidas de controle pluvial no lote: pavimentos permeáveis e telhados verdes*. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 87 p.
- TANG, Y. (2012). *Exploring the response of urban storm sewer system to the implementation of green roofs*. Dissertação (Master of Science in Civil Engineering) – University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, 108 p.
- TASSI, R. et al. (2013). “*Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais*”. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, pp. 139–154.
- TOMAZ, Plínio. (2011). *Infiltração usando o Método do número da curva CN do SCS*. http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo12_8.pdf.