



Avaliação dos impactos na drenagem com a implantação de telhados verdes na UFMT – Campus Cuiabá utilizando o software SWMM

Bruna Pereira Leite¹
Jéssika Mayumi Fujimura¹
Jhenifer Stéfani de Araújo Fernandes¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso
Av. Fernando Corrêa da Costa, 2369,
Boa Esperança: 78060-900 - Cuiabá-MT, Brasil
bruna_pereiraleite99@hotmail.com
{jessikafujimura, jheni.ufmt}@gmail.com

Resumo. Um dos maiores problemas das áreas urbanas são as inundações, provocadas pelas chuvas intensas que aliada a altos níveis de impermeabilização do solo, resultam em grandes inundações que chegam a atingir áreas densamente ocupadas, causando prejuízos consideráveis. Nesse contexto, as técnicas compensatórias, sendo uma delas o telhado verde, são recomendadas com o intuito de restaurar as condições hidrológicas anteriores a ocupação, pois atuam no amortecendo os picos de chuvas por meio da retenção ou detenção de escoamentos. Locado em área urbana, o campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso enfrenta problemas de alagamentos recorrentes em diversos pontos. Desta forma, o presente trabalho objetiva avaliar o impacto na implantação de telhados verdes nas construções das Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá, para isto simulou-se dois cenários, a situação atual e outro considerando 100% de aplicação da técnica, no software EPA SWMM (*Storm Water Management Model*) - Modelo de gestão de águas pluviais, versão 5.1, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – APA. Utilizou-se como dados entrada a medida do dia de maior precipitação da estação climatológica da instituição, dados obtidos por de geoprocessamento manipulados no ArcGIS 10.1 e parâmetros apresentados na literatura. Os resultados mostraram ocorre o amortecimento do pico, ou seja, redução em 18 % o pico do coeficiente de escoamento superficial (*runoff*) com a utilização de telhados verdes. Portanto, esta técnica compensatória poderia ser uma solução para os pontos de alagamentos que ocorrem no Campus da Universidade Federal de Mato Grosso.

Palavras-chave: Telhados verdes, Software SWMM, UFMT, drenagem urbana.

Abstract. One of the biggest urban areas problems are floods, caused by heavy rains combined with high levels of soil impermeabilization, resulting in massive floods that reach densely populated areas, causing considerable damage. In this context, compensatory techniques, being green roof one of them, are recommended in order to restore the hydrological conditions previous the occupation, because they act in dampening the rainfall peaks through the retention or detention flow. Located in urban areas, the Cuiabá campus of the Federal University of Mato Grosso faces recurrent flooding problems at several points. Thus, the present study aims to evaluate the impact on the implementation of green roofs in buildings of the Federal University of Mato Grosso, Cuiabá campus, for this two scenarios were simulated, the current situation and another considering 100% of technical application in the EPA SWMM software (Storm water management Model), version 5.1, developed by the US Environmental Protection Agency - EPA. It was used as data entry handled in ArcGIS 10.1, and parameters presented in the literature. The results showed the damping peak occurs, which was 18% reduction in the runoff coefficient peak with the use of green roofs. So this compensatory technique could be a solution to flooding points that occurs in the campus of the Federal University of Mato Grosso.

Key-words: Green roofs, SWMM software, UFMT, urban drainage.

Introdução

Uma das maiores problemáticas presente nas áreas urbanas são as inundações. A ocorrência de chuvas intensas aliada a altos níveis de impermeabilização do solo, provocam grandes inundações que chegam a atingir áreas densamente ocupadas, causando prejuízos consideráveis e até perdas irreparáveis, como a vida humana. Na maioria das vezes, este tipo de problema ocorre em regiões mal planejadas sob a ótica da drenagem convencional, a qual se baseia em escoar a água pluvial para o corpo hídrico mais próximo em menor tempo. Para Silva & Afonso (2007), “a identificação prévia das áreas suscetíveis a inundações, através de simulações digitais, possibilita a elaboração de instrumento básico de apoio às decisões tomadas em relação ao uso e ocupação do solo, nas esferas pública e privada [...]”.

Nesse contexto, as técnicas compensatórias são aplicadas com o intuito de restaurar as condições hidrológicas anteriores a ocupação, pois atuam no amortecendo os picos de chuvas por meio da retenção ou detenção de escoamentos. Um dos tipos de técnicas compensatórias que tem ganhado destaque no mundo são os telhados verdes. Segundo Santos et al. (2009) citado por Santos (2011), “[...] os telhados verdes se caracterizam pela aplicação de vegetação sobre a cobertura de edificações com impermeabilização e drenagem adequadas”. De acordo com Mentens, et al., (2005), os benefícios que estão agregados a prática da utilização dos telhados verde são inúmeros, sendo alguns deles: redução o escoamento superficial, conforto térmico no interior da construção, uma vez que diminui a temperatura no interior dela, melhora na qualidade do ar pela absorção de CO₂, contribui com o paisagismo, dentre outros.

A International Green Roof Association (IGRA) classifica em três tipos de telhados verdes: os extensivos, semiextensivos e intensivos. Segundo Santos et al. (2009) *apud* Santos (2011), os telhados verdes extensivos têm a concepção inerente de ser quase “autossustentáveis”, ou seja, de necessitar de apenas um mínimo de manutenção, como, por exemplo, irrigações esporádicas e pouco uso de fertilizantes; por outro lado, os telhados intensivos requerem uma razoável profundidade de solo, devido ao grande crescimento das plantas, além disso demandam intensivo trabalho de manutenção como irrigação, fertilizantes, entre outros. Já os semiextensivos são aqueles que apresentam características dos outros dois tipos.

A prática do telhado verde tem sido difundida mundialmente e isso tem sido a solução para muitos problemas relacionados à drenagem e energia. Em Toronto, no Canadá, e Copenhagen, na Dinamarca, foram as primeiras cidades a tornarem obrigatória a construção de telhados verdes. No Brasil, o estado de Recife sancionou a Lei Municipal 18.112/2015 que obriga a construção de telhados verdes em edificações com mais de quatro pavimentos.

Em diagnóstico da situação dos dispositivos de drenagem realizado por Mota, Jesus, Guedes, & Rondon. (2015) no campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso verificaram que a maioria dos dispositivos (52%) do sistema de drenagem pluvial estão em más condições e /ou entupidas, além da identificação de 8 pontos de alagamentos.

Assim com o emprego dos recursos de geoprocessamento conjuntamente com software EPA SWMM (Storm Water Management Model) o presente trabalho avaliou os impactos na dinâmica do escoamento superficial com a implantação de telhados verdes nas construções da universidade.

Objetivo

O presente trabalho objetiva avaliar o impacto na implantação de telhados verdes nas construções das Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá. Para isto simulou-se dois cenários, o primeiro correspondendo o cenário atual, sem a instalação de telhados verdes e o segundo considerando 100% de aplicação da técnica, utilizando geoprocessamento conjuntamente com o software EPA SWMM, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos.

Materiais e Métodos

Área de estudo

O campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso endereçada na avenida Fernando Correa da Costa, nº 2367, bairro Boa esperança na cidade de Cuiabá, Mato Grosso e possuindo a seguintes coordenadas geográficas 15°36'33.4" latitude sul e 56°03'55.6" longitude oeste.

O município de Cuiabá tem parte pertence a Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá, que se posiciona no quadrilátero formado pelas coordenadas geográficas de 54°38' e 57°00' de longitude oeste e 14°10' e 15°50' de latitude sul, com área de 22.851,1 km². Chiaranda, Colpini, & Soares (2016)

A Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá constitui-se em um importante manancial tanto para a população nela residente como para o Pantanal Mato-grossense, no qual contribui com os processos da dinâmica das águas superficiais desse sistema hídrico de compensação e vazão, auxiliando na manutenção de sua estabilidade. Chiaranda, Colpini, & Soares (2016)

Aplicação de geoprocessamento

A aplicação dos recursos desta geotecnologia foi realizada com o auxílio do software ArgGIS 10.1 que processou e gerou informações sobre a área de estudo e necessárias para a simulação.

Primeiramente, utilizando o *basemap imagery with labels* vetorizou-se o limite da área de estudo e as edificações, pavimentos entre outros dispositivos presentes dentro dela (lagoa e piscina) para o obter a área ocupada destes elementos. Foi também demarcado a estação climatológica e a localização de instalação dos módulos de telhados verdes construídos por um projeto, que será descrito posteriormente.

Por meio de arquivo SRMT (Shuttle Radar Topographic Mission) fornecido pelo Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) foram geradas com o auxílio do software ArcGIS 10.1 as curvas de níveis (elevation), conforme apresentado na **Figura 1**. O arquivo SRMT apresenta dados de altimetria e contém resolução de 90 metros.



Figura 1. Curvas de níveis da área de estudo

Posteriormente foi calculadas as declividades em percentuais (legenda slope) da área de estudo por meio da ferramenta Slope do ArcGIS, como se pode observar na **Figura 2**.

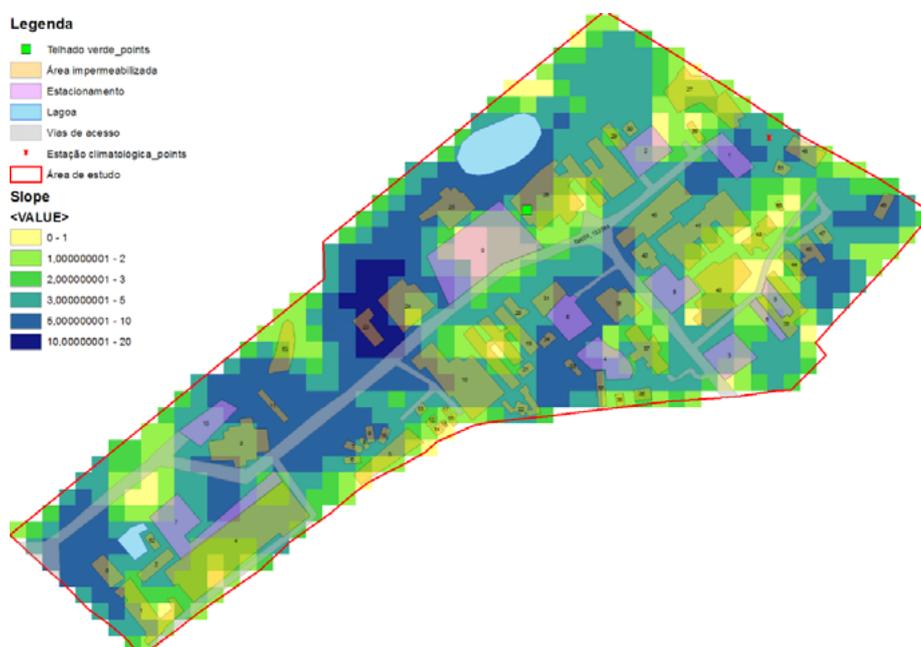


Figura2. Declividade da área de estudo

Para a aplicação da modelagem hidráulica pelo programa EPA SWMM, a área de estudo foi dividida em micro bacias de contribuição A, B, C, D, E, F, G, H, definidas de acordo com a topografia, baseada nas curvas de níveis e a declividade geradas diretamente pelo ArcGIS. Para cada micro bacia foram delimitadas áreas permeáveis, impermeáveis (telhados), estacionamento e vias de acesso, conforme a **Figura 3**.

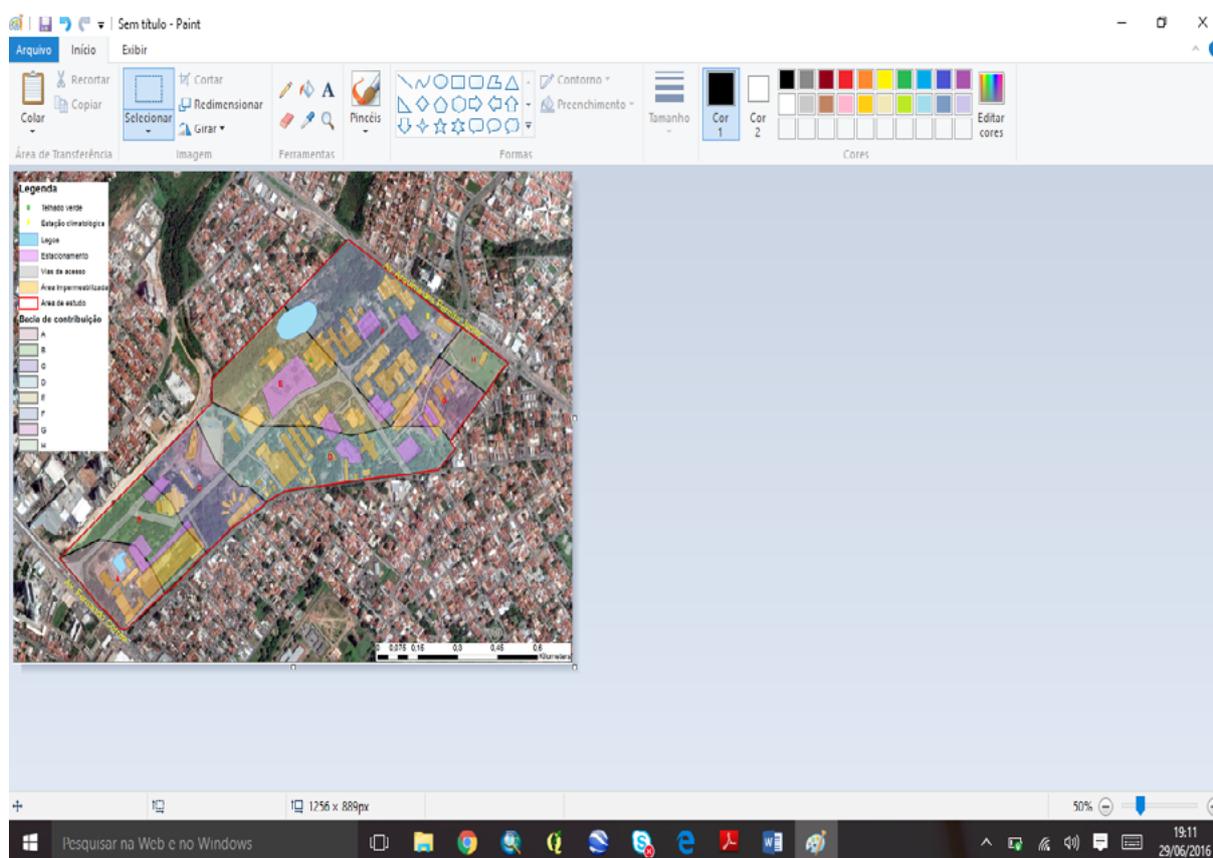


Figura 3. Micro bacias de contribuição da UFMT

Determinação de parâmetros hidráulicos para execução da modelagem

O EPA SWMM - *Storm Water Management Model*, que em português significa Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, é um software que permite a modelagem de cenários no gerenciamento de águas pluviais, desenvolvido desde de 1971 pela Agência Nacional de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA – *Environmental Protection Agency*). Este sofreu diversas atualizações sendo a última versão (SWMM 5.1.010) de livre acesso para download no endereço eletrônico da agência. Segundo o Manual do SWMM 5.0 elaborado por ROSSMAN & UFPB (2010), o software classifica-se como modelo de base física, no qual se aplica os princípios da conservação de energia, momento e massa. É capaz de simular fenômenos hidráulicos e hidrológicos, fornecendo resultados relativos à quantidade e qualidade das águas escoadas, pontos de inundação e poluentes.

O SWMM é uma realização computacional que materializa o modelo chuva-vazão e permite simulações da quantidade e qualidade do escoamento superficial, especialmente na área urbana.

Alguns dados de alimentação são necessários para a simulação com telhados verdes no SWMM entre eles: tipos de solo; Classe do solo; Curva número; Espessura do solo; Porosidade; Pressão de sucção; Capacidade de Campo; Ponto de Murcha; Condutividade; Deficit de umidade do solo; Condutividade (declividade); e coeficiente de Manning.

Para a simulação utilizaram-se dados de solo e vegetação do telhado verde com gramínea instalado e construído pelo projeto: “Avaliação de telhados verdes no controle quali-quantitativo das águas pluviais no município de Cuiabá-MT”, patrocinado pela FAPEMAT (Fundação de Amparo a Pesquisa em Mato Grosso). No desenvolvimento do projeto, foram construídos quatro módulos experimentais, com área de 0,5 m² cada, construídos em duplicata totalizando

1 m² de área. Os módulos representaram o telhado convencional (sem camadas e vegetação); o telhado verde constituído de graminéa (*Zoysia japônica*); o telhado verde com a espécie arbustiva (*Ixora coccínea*); e, o telhado verde com consorcio de espécies (graminéa e arbustiva).

Para a montagem dos módulos do telhado verde seguiu-se o sistema construtivo do telhado verde extensivo. Sendo este: uma camada drenante composta de argila expandida graúda e diâmetro de 32 mm, com aproximadamente 5 cm de altura; uma manta Geodrenante (MacDrain - Maccaferri®); e uma camada de substrato com aproximadamente 15 cm de altura (mistura de terra preta, solo orgânico, e agregado de baixa densidade – vermiculita - na proporção de 1:1:10), como mostra a **Figura 4**.

Quanto à captação da água foram previstos um sistema para a coleta da água escoada e outro para a coleta da água que infiltrada (bambonas de 120 litros), com exceção do módulo que representa o telhado convencional. Todos os módulos foram dispostos a uma declividade de 5 % ($\pm 4^\circ$), conforme a **Figura 5**.

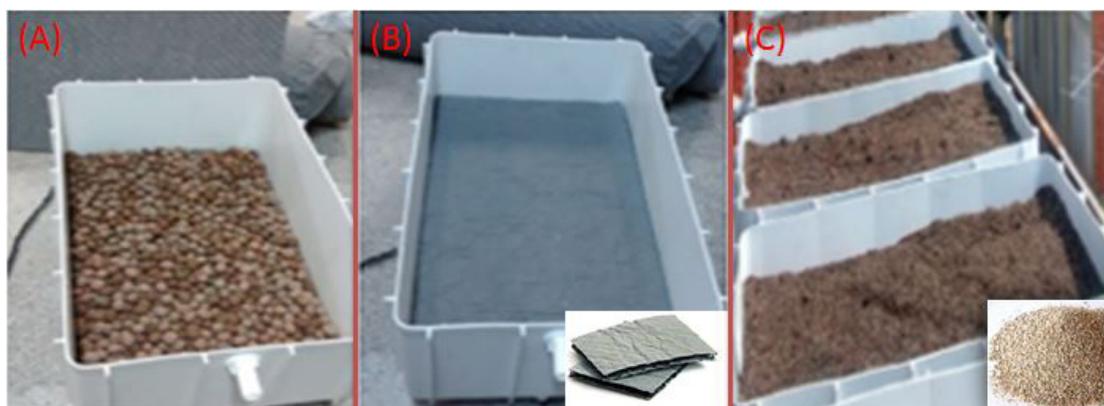


Figura 4. Montagem dos telhados verdes, sistema construtivo telhados verdes extensivos.
Fonte: Jocilan de Lara, 2015.



Figura 5. Módulos montados no telhado da FAET/ICET.
Fonte: Acervo pessoal, 2015

Precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos dos registros do pluviômetro e pluviógrafo da Estação Climatológica Mestre *Bombed* situada nas coordenadas 15°36'25.60"S e 56° 3'39.00"O no campus Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso e em operação desde 1989. Para a simulação no software foi considerado somente o dia de maior precipitação entre o período de duração do projeto "Avaliação de telhados verdes no controle quali-quantitativo das águas pluviais no município de Cuiabá-MT", que foi no dia 20 de fevereiro do ano de 2015 atingindo a marca de 126,3 mm, com tempo de duração de 10hs e 30 minutos, de início as 13hs30min00seg se prolongando até o dia seguinte.

Tipo de solo

As variáveis relacionadas ao solo foram obtidas de tabelas contidas no Apêndice A do Manual do usuário do SWMM 5.0 elaborado por (ROSSMAN & UFPB, 2010).

O tipo de solo utilizado no experimento foi o Lemo Franco devido a sua característica de combinação desejável de areia, silte e argila, proporcionando uma drenagem ideal.

Classe do solo

De acordo com a National Resources Conservation Service (NRCS) - Recursos do Serviço Nacional de Conservação, os solos são classificados em A, B, C e D. Desta forma, o solo do experimento foi classificado como tipo B devido suas características de infiltração moderada, com profundidade moderada e textura fina. A partir desta classificação obtemos o intervalo da condutividade hidráulica, de 0,3 a 0,15 (pol.h-1) ou 7,62 a 3,81 (mm.h-1).

Curva Número

Após ter definido o tipo e classe do solo, é possível determinar o coeficiente de infiltração chamado de Curva número (CN). Quando menor a infiltração do solo, mais será este coeficiente.

A *Soil Conservation Service* (SCS) traduzida como Serviço de Conservação do Solo, estipula os valores de CN para os tipos de solo. Para o presente trabalho considerou-se para os telhados verdes o CN de pastagens em boas condições que corresponde a 61. Já para as áreas impermeáveis como pavimento e estacionamento é a curva número corresponde a 98.

Porosidade, pressão de sucção, capacidade de campo, ponto de murcha e condutividade Hidráulica

A porosidade do solo é a relação entre o volume de vazios e o volume total do solo, e é determinada pelo tipo de solo. Como o solo utilizado é o Lemo Franco, a porosidade do solo é igual a 0,501; a condutividade hidráulica é 0,26 pol.h-1 ou 6,60 mm.h-1; pressão de sucção 6,69 pol. ou 169,92 mm; a capacidade de campo igual a 0,284 e o ponto de murcha 0,135, como pode ser visto na **Tabela 1**.

Tabela 1- Características do solo

Classe do Solo	K	Φ	Φ	CC	WP	CN
Lemo arenoso	0,26 pol.h ⁻¹ 6,60 mm.h ⁻¹	6,69 pol. 169,92 mm	0,501	0,284	0,135	61

K= Condutividade hidráulica do solo saturado, polegadas ou milímetros por hora

ϕ = pressão de sucção, polegadas ou milímetros

Φ = porosidade, fração volumétrica

CC= capacidade de campo, fração

WP= ponto de murcha, fração

CN= Curva número, adimensional.

Deficit de umidade do solo

O deficit de umidade do solo é a relação entre a porosidade e o volume do solo (0,15mx-1mx0,5m), e possui um valor de 6,68.

Condutividade (declividade)

A declividade da condutividade hidráulica é a inclinação média da curva do log da condutividade versus o deficit de umidade de solo (porosidade dividida por umidade volumétrica). De acordo com o tipo de solo utilizado, a declividade hidráulica é de 5,476.

Número de *manning*

O número de Manning depende do tipo de solo. De acordo com a ASCE 1992 (Associação Americana de Engenheiros Civis), para o solo utilizado no experimento o *Manning* é igual a 0,1 entretanto para o caso de grama densa o valor é de 0,24.

Resultados e discussões

O volume de detenção determina o atraso dos picos de escoamento da água no influxo para a rede de drenagem. Os picos de amortecimento são devidos à capacidade de armazenamento do solo em curto período de tempo e da capacidade de campo, assim como a capacidade de armazenamento na camada drenante, da inclinação do telhado verde e das condições de umidade do solo.

Na **Figura 6** é apresentado um hidrograma de resposta para o uso do solo em um cenário de conversão de 100 % dos telhados convencionais para telhados verdes, no evento (data) de maior precipitação ocorrido, durante as análises.

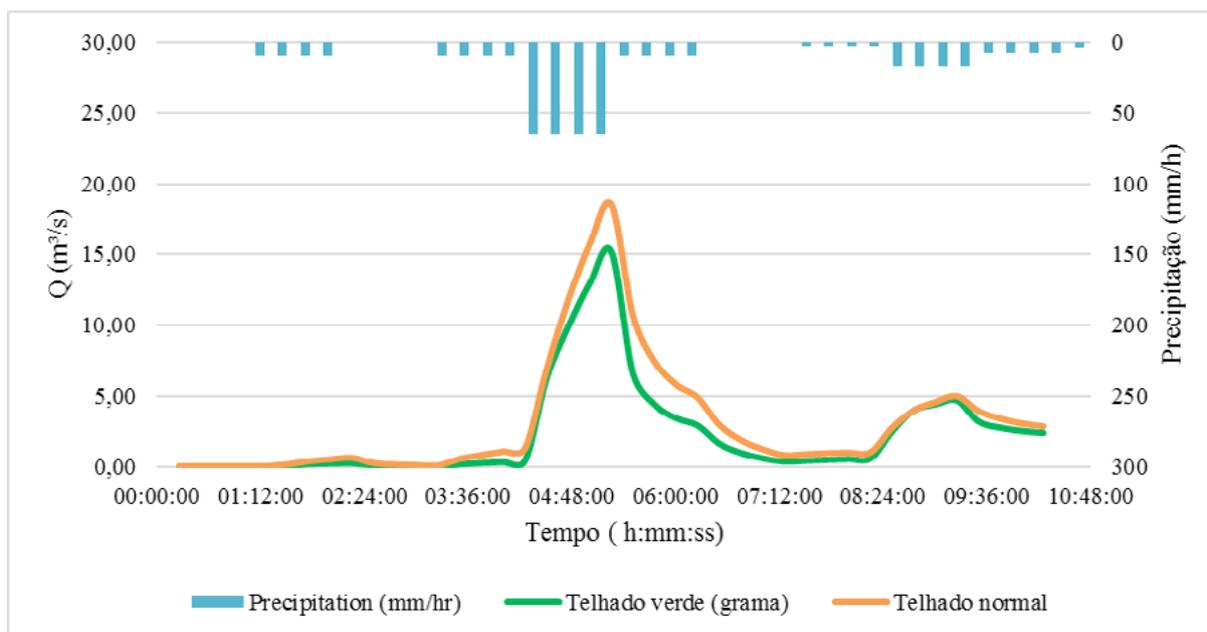


Figura 6. Hidrograma atual e hidrograma gerado a partir do cenário de telhados verdes.

Como visto na **Figura 6**, ocorreu um atenuamento do coeficiente de escoamento superficial (runoff) que representa um amortecimento e atraso no escoamento das águas pluviais em 18 %, o que pode desafogar o sistema de drenagem que está atualmente em funcionamento na Universidade Federal de Mato Grosso, além das outras vantagens dos telhados verdes, como a redução nos gastos de energia devido ao conforto térmico.

A **Figura 7** representa as sub bacias geradas no software EPA SWMM para a situação atual (Telhados convencionais). Observa-se que ao final da precipitação de 126 mm ocorrida no dia (20/02/2015) a área que apresentou maiores problemas com runoff elevado foi a área onde se encontra o estacionamento do Bloco da Faculdade de Arquitetura, Engenharia e tecnologia. Pois como levantado na visita de campo, essa região possui baixa topografia e poucos dispositivos de macrodrenagem (boca de lobo), deixando o canal saturado e alagando a área em período de chuvas de grandes intensidades.

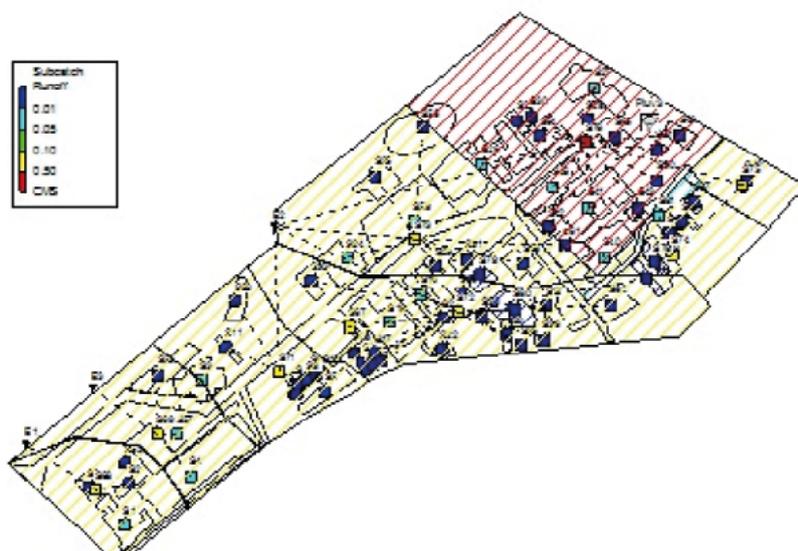


Figura 7. Mapa gerado pelo SWMM ao final da modelagem apresentando telhados convencionais.

Como pode ser observado nas **Figuras 7 e 8** o cenário de cobertura total dos telhados verdes foi satisfatória para diminuir o escoamento superficial.

Conclusões e sugestões

Através dos resultados, a redução e amortecimento do pico do *runoff* mostra que a construção de telhados verdes seria uma técnica compensatória que poderia trazer uma solução para os pontos de alagamentos que ocorrem no campus de Cuiabá da Universidade Federal de Mato Grosso.

Diante disso, sugere-se fazer análises futuras para estudar a viabilidade de se utilizar os telhados verdes em contribuição na minimização do problema de alagamento do viaduto da Fernando Correa, e em outras regiões sujeitas ao alagamento principalmente no bioma do Pantanal. Da mesma forma, para melhoramento do uso da tecnologia (software) aplicada recomenda-se utilizar outras variáveis para melhor calibrar o modelo. Além de se fazer um estudo para outras espécies de plantas e declividades, para o seu melhor aproveitamento construtivo.



Figura 8. Mapa gerado pelo SWMM ao Final da modelagem apresentando 100 % de telhados verdes.

Referências

Chiaranda, R.; Colpini, C.; Soares, T. S. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá. **Advances in Forestry Science**, v.3, n.1, p.13-20, 2016 Disponível em:< <http://periodicoscientificos.ufmt.br/index.php/afor/article/view/2995>> Acesso em 12 de ago. 2016.

IGRA, International Green Roof Association. **Green Roof Types Online**. Disponível em:<http://www.igra-world.com/types_of_green_roofs/> Acesso em 12 de ago. 2016.

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 – Elsevier**, Leuven, Belgium, n. 77, ago. 2006, p. 217–226. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204605000496>> Acesso em 12 de ago. 2016.

Mota, S. D.; Jesus, V. O.; Guedes, D. S.; Rondon, E. N. (novembro de 2015). Diagnóstico do sistema de micro drenagem das áreas comuns da UFMT, campus Cuiabá. In: ENCONTRO EM ENGENHARIA DE EDIFICAÇÕES E AMBIENTAL, 3., 2015, Cuiabá.

NETO, P. D. **Telhados verdes associados com sistema de aproveitamento de água de chuva: projeto de dois protótipos para futuros estudos sobre esta técnica compensatória em drenagem urbana e prática sustentável na construção civil**. 2012. 168 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Rossmann, L. A.; UFPB, L. E. E. H. S. **SWMM 5.0 MANUAL DO USUÁRIO**. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2010. 280 p.

Santos, P. T. **Balanço hídrico em teto com cobertura vegetal no semiárido pernambucano**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologias e Geociências – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011

Silva, C. S.; Afonso, S. (2007). Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas inundáveis em zonas urbanas: estudo de caso da zona urbana de Pelotas/RS. **Paisagem ambiente: ensaios**, São Paulo, n. 24, 2007, p. 319 - 326.

Silva, N. D. **Telhados verdes: sistema construtivo de maior eficiência e menor impacto ambiental**. 2011. 61 f. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.