

## XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **UTILIZAÇÃO DE CISTERNAS NO CONTROLE DA DRENAGEM: AVALIAÇÃO COM O SWMM**

*Juliana Araujo<sup>1</sup>; Eduardo Cohim<sup>2</sup>; Tayana Moraes<sup>3</sup>; Vanessa Santos<sup>4</sup>; Thiago Barbosa<sup>5</sup>*

**RESUMO** – Este trabalho objetiva aumentar o uso de cisternas, comprovando sua eficiência na redução do escoamento superficial e também a insuficiência das técnicas tradicionais de drenagem. Para isso, foram simulados dois cenários de uma área de estudo de 20,83 hectares no SWMM, localizado no município de Cruz das Almas, na Bahia. Em cada cenário, a área foi considerada totalmente urbanizada, e em um cenário considerou um sistema alternativo com cisternas, de maneira que ainda foram simulados cinco volumes únicos diferentes. A simulação do cenário atual (sem cisternas) mostrou que o sistema de drenagem tradicional da localidade apresenta baixa eficiência, com extravasamento de 40,5% da quantidade de água que entra no sistema. Enquanto isso, os resultados do cenário com a aplicação da técnica compensatória mostraram que as cisternas fornecem atenuação do volume drenado, em até 21% devido ao aumento da quantidade de água armazenada. Por fim, verificou-se também a redução do fluxo que chega até o exutório e o aumento da eficiência do sistema de drenagem.

**ABSTRACT**– This work aims to boost the use of cisterns, by proving their efficiency in reducing runoff and the insufficiency of traditional drainage techniques. For this, two scenarios of a study area of 20.83 hectares were simulated in the SWMM, located in the municipality of Cruz das Almas, in Bahia. In each scenario, the area was considered fully urbanized, and another one, alternative system with cisterns was analyzed using five different volumes. The simulation of the current scenario presented that the traditional drainage system of the locality has low efficiency, which there is the extravasation of 40.5% of the amount of water that enters the system. Meanwhile, the results of the scenario with the application of the compensatory technique showed that the cisterns provide attenuation of the drained volume, up to 21%, for the cisterns of 2500 L due to the increase in the amount of water stored. Finally, it was also verified the reduction of the exutory flow and the increase of the efficiency of the drainage system.

**Palavras-Chave** – Técnicas compensatórias; Drenagem urbana; SWMM.

1) Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS-, Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte – CEP: 44036-900 - Feira de Santana – Bahia, (75) 3161-8310, julianafariaz1996@gmail.com

2) Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS-, Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte – CEP: 44036-900 - Feira de Santana – Bahia, (75) 3161-8310, edcohim@gmail.com

3) Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS-, Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte – CEP: 44036-900 - Feira de Santana – Bahia, (75) 3161-8310, tayanabmoraes@gmail.com

4) Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS-, Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte – CEP: 44036-900 - Feira de Santana – Bahia, (75) 3161-8310, silvasantos.vanessa015@gmail.com

5) Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS-, Avenida Transnordestina, s/n - Novo Horizonte – CEP: 44036-900 - Feira de Santana – Bahia, (75) 3161-8310, thg.brbs@gmail.com

## **INTRODUÇÃO**

O sistema de drenagem de muitas cidades brasileiras baseia-se no modelo tradicional higienista, o qual busca evacuar rapidamente a água da chuva, proporcionando, assim, o aumento da velocidade e da quantidade do escoamento superficial.

Esse conceito se mostra insuficiente e ineficiente, pois favorece o aumento da poluição difusa e também o crescimento das vazões pluviais que podem ocasionar enchentes à jusante. Como alternativa a esse sistema, surge um manejo mais sustentável das águas pluviais, a exemplo dos métodos compensatórios, que buscam reestabelecer as condições hidrológicas anteriores à urbanização.

Apesar dos vários modelos compensatórios de drenagem já desenvolvidos, seu uso ainda aparece timidamente no Brasil. Portanto, pretende-se impulsionar essas técnicas, a partir da evidência da sua eficiência na redução da vazão superficial em uma área de estudo localizada no município de Cruz das Almas/Bahia, Brasil. Ressalta-se que Carvalho (2016) já realizou um trabalho semelhante, em que comprovou, por meio do SWMM, a influência da utilização de cisternas como solução para a atenuação das vazões de escoamento superficial de uma bacia cearense.

Destaca-se que Cruz das Almas dispõe de um sistema de drenagem que apresentam alguns pontos ineficiente e/ou insuficiente, assim as águas escoam difusamente pelas partes altas do sistema viário, convergindo para pontos mais baixos (os quais são cercados por edificações) e formam as áreas críticas, ou seja, locais em que houve alagamento nos últimos cinco anos, com frequência de pelo menos uma vez ao ano. São cinco áreas críticas no município e não existem áreas desocupadas que funcionem como amortecimento de cheias e nem foi informada a existência de nenhum projeto de engenharia para a solução do problema (BAHIA, 2011).

## **OBJETIVOS**

Este trabalho objetiva avaliar, no SWMM, a eficiência do atual sistema de drenagem urbana em uma sub-bacia localizada na cidade de Cruz das Almas, Bahia, Brasil. Também almeja-se avaliar o desempenho da técnica compensatória cisterna na redução do escoamento e na resolução dos problemas identificados no cenário inicial.

## METODOLOGIA

O município de Cruz das Almas está compreendido entre as coordenadas geográficas 12°40'19" S e 39°06'23" W, inserido no Recôncavo a Leste do estado da Bahia. O clima da região é considerado tropical quente e úmido (REZENDE, 2004) com estação chuvosa e seca. Segundo Santos e Montenegro (2012), a precipitação média anual é de 1.200 mm e temperatura média de 24,2 °C.

Por se tratar de um estudo de caso, optou-se por se analisar uma parte da sub-bacia que apresenta influência direta em 3 das 5 áreas críticas da cidade (Figura 1), em que a parte amarela corresponde às áreas críticas (A região do cemitério, B área do hospital e E a Avenida Getúlio Vargas). A área de estudo, marcada em vermelho, possui 20,83 hectares e inclui uma parte da Avenida Getúlio Vargas, uma grande área verde, área residencial e comercial. Realizou-se uma análise do local (Figura 2) a partir de uma ortofoto da cidade (CONDER, 2010) e a sua composição, em porcentagem, pode ser vista na Tabela 1.



Figura 1- Área de estudo e áreas críticas, adaptado Bahia (2011)

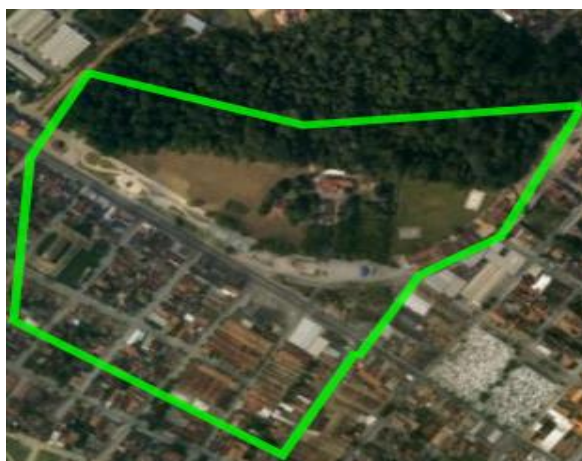


Figura 2. Área de estudo, adaptado Conder (2010)

Tabela 1- Composição da área de estudo, em porcentagem

Tipo de superfície	% da área total
<b>Telhado</b>	30.0
<b>Floresta</b>	22.3
<b>Rua</b>	9.6
<b>Campo</b>	13.5
<b>Permeável Quadra</b>	12.3
<b>Impermeável Quadra</b>	12.3

Para realizar a modelagem, utilizou-se o *Software Storm Water Management Model (SWMM)*, em que se lançou manualmente os elementos de drenagem e dividiu-se a área de contribuição pelo Método das Bissetrizes. Para os dados pluviométricos, optou-se por inserir os de precipitação no formato INTENSIDADE (mm/h) e com o intervalo de tempo de 10 minutos em um período de 2 horas. A equação de chuva do município foi obtida por meio da curva IDF no programa UFC8, expressa na Equação 1, no qual se considerou o Período de Retorno de 5 anos, por se tratar de uma análise de um sistema de microdrenagem.

$$i = \frac{1217.1 * T^{-0,2661}}{(t+9)^{1.14} * T^{-0,2622}} \quad (1)$$

Em que  $i$  é a intensidade pluviométrica (mm/h),  $T$  corresponde ao período de retorno, em anos, e  $t$  à duração da chuva, em minutos.

Simulou-se dois cenários, em que o primeiro corresponde ao atual estado de ocupação com a área totalmente urbanizada. Para constituí-lo, utilizou-se os dados do atual sistema de drenagem obtidos meio de visitas a campo, de ortofotos (CONDER, 2010) e de dados planialtimétricos

(BAHIA, 2010). A partir dos dados coletados, repartiu-se a sub bacia em 90 áreas de contribuição e modelou-se 73 nós (16 bocas de lobo, 14 poços de visitas e 43 nós para construção das sarjetas), 1 exutório e 77 condutos (48 trechos de sarjetas, 13 de galeria e 16 de tubo de ligação).

No segundo cenário, avaliou-se a adição da técnica compensatória no sistema atual, ou seja, foram adicionadas cisternas no primeiro cenário. Por meio de simulações, realizou-se a verificação do impacto da utilização de 5 volumes dessa técnica: 500 L, 1.000 L, 1.500 L, 2.000 L e 2.500 L.

As cisternas foram dispostas em ambientes residenciais e comerciais e foi prevista a coleta da água pluvial por meio de suas respectivas coberturas. Não foram previstas cisternas para as áreas de florestas, ruas e nos ambientes constituídos por praças, afinal as áreas de coberturas presentes nestes locais possuem contribuição ínfima quando comparada com suas áreas totais. Por fim, ressalta-se que não foram utilizados drenos nas cisternas, pois se pretende utilizar a água armazenada para fins não potáveis, assim não é viável a infiltração dela no solo.

A vazão de pré-urbanização foi obtida por meio do Método Racional, em que se encontrou a intensidade da precipitação pela curva IDF para o Período de Retorno de 5 anos e para o Tempo de Concentração calculado pelo Método de Kirpich. Para determinar o coeficiente de escoamento ( $C_p$ ), utilizou-se a Equação 2, no qual o valor de armazenamento ( $S$ ) é calculado pela Equação 3 (TUCCI, 2000). Neste estudo, utilizou-se um CN de 73 correspondente a zonas florestais e vegetação densa, solo tipo C (NUNES; FIORI, 2007) para indicar a área pré-urbanizada.

$$C_p = \left[ \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

Em que,  $P$  é a precipitação total do evento em mm,  $S$  é o armazenamento, que está relacionado com o CN (parâmetro que caracteriza a superfície) (TUCCI, 2000).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A vazão de pré-urbanização foi de 380,7 L/s, obtida por meio da curva IDF de Cruz das Almas. No cenário que indica o atual sistema de drenagem, constatou-se que a vazão máxima, para as condições avaliadas, foi de 662,56 L/s, ou seja, 74% superior a vazão de pré urbanização, e que 56,9% do total precipitado escoam superficialmente. Além disso, há insuficiência do sistema de drenagem



tradicional atual, pois se perde por extravasamento, na forma de alagamento, 40,5% do volume hídrico que entrou na rede de drenagem e apenas 53,0% desse volume alcançam o local de descarga da rede. O restante é armazenado nos condutos pluviais.

Diante dos resultados obtidos no primeiro cenário, avaliou-se o Cenário 2, em que houve a instalação de 358 cisternas, disposta em uma área total de 7,84 hectares (38% da sub-bacia). A partir dos dados contidos na Tabela 2, constata-se que a infiltração se mantém praticamente constante com o aumento do volume das cisternas, uma vez que as características de ocupação do solo não foram alteradas. Outro resultado encontrado foi a diminuição do escoamento superficial e o aumento do volume de armazenamento em 21%. Esse fato justifica a adequabilidade das cisternas para atenuar o volume de escoamento superficial, além possibilitar o uso da água armazenada para outras finalidades, como lavagem dos carros e roupas, descarga, irrigação etc.

Tabela 2- Porcentagem de infiltração, escoamento e armazenamento em relação ao total precipitado

	<b>Inicial</b>	<b>500 L</b>	<b>1.000 L</b>	<b>1.500 L</b>	<b>2.000 L</b>	<b>2.500 L</b>
<b>Infiltração (%)</b>	41.9	42.0	42.0	42.0	42.0	41.9
<b>Escoamento superficial (%)</b>	56.9	55.8	52.9	47.7	40.4	36.0
<b>Armazenamento (%)</b>	1.5	2.53	5.6	10.7	17.9	22.5

O crescimento do volume da cisterna possibilitou uma maior redução do escoamento superficial, conseqüentemente, maior capacidade de armazenamento e utilização da água pluvial. Na avaliação do volume de água que chega à descarga do sistema, foi identificado que a instalação de cisternas de 2.500 L possibilitaria um aumento da eficiência do sistema atual de drenagem em 15 %, ou seja, redução de alagamentos.

Para a cisterna de 1.500 L, identificou-se uma redução significativa da vazão máxima no exutório de 64% superior à da pré-urbanização. No entanto, não houve progressão da redução da vazão máxima com o uso das cisternas de 2.000 L e 2.500 L por conta do aumento do volume de água que chega até o exutório e uma conseqüente diminuição do volume extravasado pelas tubulações.

## CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou o sistema de drenagem tradicional, no SWMM, de uma área estratégica de 20,83 hectares localizada na Cidade de Cruz das Almas- Bahia, Brasil. Além disso, foi analisada a eficiência do uso de cisternas como técnica compensatória.

Constatou-se a pouca eficácia do atual sistema de drenagem da área de estudo e enaltece o uso das cisternas como técnica compensatória, pois elas poderiam ajudar na atenuação da vazão máxima, além de aumentar o volume armazenado, o qual pode ser utilizado para fins não potáveis. Isso foi identificado, ao ponto que houve a redução de 21% do volume escoado, por conta do aumento da mesma porcentagem de volume armazenado, à medida que foram utilizadas 358 cisternas de 2.500 L. Finalmente, verificou-se um significativo aumento (15%) do volume que chega até o ponto de descarga do sistema de drenagem, justificado pela redução do volume de água inundado.

Destaca-se a importância de trabalhos desse caráter, pois simulações hidrológicas são importantes para o planejamento de drenagem urbana, de maneira que possibilita a escolha da técnica compensatória que apresenta melhor desempenho na redução do pico de escoamento, e ainda permite simulá-la com diferentes dimensões para analisar se estão bem dimensionadas. Adicionalmente, recomenda-se o uso do SWMM para realizar essas simulações, pois mais uma vez demonstrou adequabilidade para estudos hidrológicos e hidráulicos em bacias urbanas.

## REFERÊNCIAS

BAHIA (2011). *Plano Estadual De Manejo De Águas Pluviais e esgotamento sanitário – PEMAPES: Cruz Das Almas*. (Vol. 6- RDS 21- Recôncavo). Salvador: GEOHIDRO.

CARVALHO, T. M. N. (2016). *Avaliação do uso de cisternas na Bacia do Bajeú para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil.

CONDER (2010). *Ortofoto RMS e Recôncavo*. Disponível em: <http://www.geopolis.ba.gov.br>. Acesso em: 10 de Nov. de 2019.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P. (2007). “A utilização do Método de Ven Te Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da Bacia Hidrográfica do Rio Atuba”. Revista Eletrônica Geografar, 2 (2), pp. 139-155.

REZENDE, J. de O. (2004). *Recôncavo Baiano, berço da Universidade Federal segunda da Bahia: passado, presente e futuro*. Salvador: P&A.

SANTOS, T.E.M.; MONTENEGRO, A. A. A (2012). “Erosividade e Padrões Hidrológicos de Precipitação no Agreste Central Pernambucano”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16 (8), pp. 871-880.

TUCCI, C. E. M. (2000). “Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas”. Revista Brasileira De Recursos Hídricos, 5 (1), pp. 61-68.