

XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

MODELAGEM DE BACIA DE DETENÇÃO EM ÁREA URBANIZADA DA CIDADE DO RECIFE-PE.

*Camilla Pires dos Santos Câmara¹; Edinilson de Castro Ferreira²; Alfredo Ribeiro Neto³;
Sylvana Melo dos Santos⁴ & Anderson Luiz Ribeiro de Paiva⁵*

RESUMO – O presente artigo tem como objetivo principal avaliar a aplicação de uma bacia de retenção na bacia do Riacho do Moxotó, localizada na cidade do Recife/PE. Ao longo do seu curso principal, na região ocorre um ponto crítico de alagamento. O pré-processamento de dados foi realizado com o auxílio do *plugin* do ArcMap, o HEC-GeoHMS, onde foi realizada a delimitação e discretização da bacia com o uso do modelo digital do terreno (MDT) do Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), obtido por perfilamento do relevo a laser de alta resolução. A modelagem hidrológica e hidrodinâmica foi realizada por meio do modelo HEC-HMS onde se utilizaram os métodos *SCS Unit Hydrograph* e *SCS Curve Number (CN)*, para a modelagem chuva-vazão e o modelo de infiltração respectivamente. A propagação de vazão ao longo do canal principal foi realizada pelo método de Muskingum-Cunge. A bacia de retenção foi simulada em uma das sub-bacias com potencial para sua implantação, tendo em vista a disponibilidade de área e sua localização a montante do ponto crítico de alagamento. Os resultados demonstraram um amortecimento de 76% na vazão de pico.

ABSTRACT– The main objective of this article is to evaluate the application of a detention basin in the Moxotó stream basin, located in the city of Recife / PE. Throughout its main course, a critical point of flooding occurs in the region. Data preprocessing was performed with the help of the ArcMap plug-in HEC-GeoHMS, where the delineation and discretization of the basin was performed, with the digital terrain model (DTM) of the Pernambuco Three-dimensional Program (PE3D) obtained by profiling high resolution laser relief. The hydrological and hydraulic modeling was performed using the HEC-HMS model where the *SCS Unit Hydrograph* and *SCS Curve Number (CN)* methods were used for the rainfall-runoff modeling and the infiltration model respectively. The streamflow routing along the drainage channel was performed by the Muskingum-Cunge method. The detention basin was simulated in one of the sub-basins with potential for its implantation, considering the availability of area and its location upstream of the critical point of flooding. The results showed a 76% reduction of the peak flow.

Palavras-Chave – Bacia de Detenção. Controle de Alagamentos. PE3D.

1) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-7763, camillapiress@outlook.com

2) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-7763, edinilsoncastro@hotmail.com

3) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-7763, alfredoribeiro@ufpe.br

4) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-7763, sylvana.ufpe@gmail.com

5) Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, Recife-PE, (81) 2126-7763, andersonlrpaiva@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A cidade do Recife (PE), como outras cidades, apresenta alto índice de urbanização e sofre significativamente com problemas frequentes de drenagem. Peculiaridades geográficas que influenciam diretamente neste sistema são as baixas cotas de seu território em relação ao nível do mar, áreas planas, lençol freático próximo à superfície e aflorante na estação chuvosa, influência dos níveis das marés. Além disto, seu sistema de drenagem é prejudicado devido à canalização de riachos urbanos e à ocupação de suas margens por construções regulares e irregulares, à alta taxa de impermeabilização do solo, ao destino inadequado dos resíduos sólidos e à falta de saneamento (PREUS *et al.*, 2011). Dentro deste contexto, encontra-se a bacia do Riacho do Moxotó, Recife (PE). Seus principais cursos de água, o Canal do Ibura e o Riacho do Moxotó, têm suas margens ocupadas por imóveis em vários trechos. Ao longo do Riacho do Moxotó, especificamente, no seu cruzamento com a Avenida Dois Rios, existe um ponto crítico de alagamento que gera inúmeros transtornos na região.

Com o propósito de estudar a implantação de um LID (*Low Impact Development*) e eliminar/minimizar o problema de alagamento neste trecho, o presente estudo busca simular com o HEC-HMS a implantação de uma bacia de retenção na bacia do Riacho do Moxotó e avaliar a consequente amortização dos impactos hidrológicos no escoamento superficial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Riacho do Moxotó está localizada na cidade do Recife (PE), abrangendo parte dos bairros da Cohab e do Barro, na região mais alta, e todo o bairro do Ibura nas regiões intermediárias e mais baixas. A bacia do Moxotó é composta por dois cursos principais: o Riacho do Moxotó e o Canal do Ibura (Figura 1).

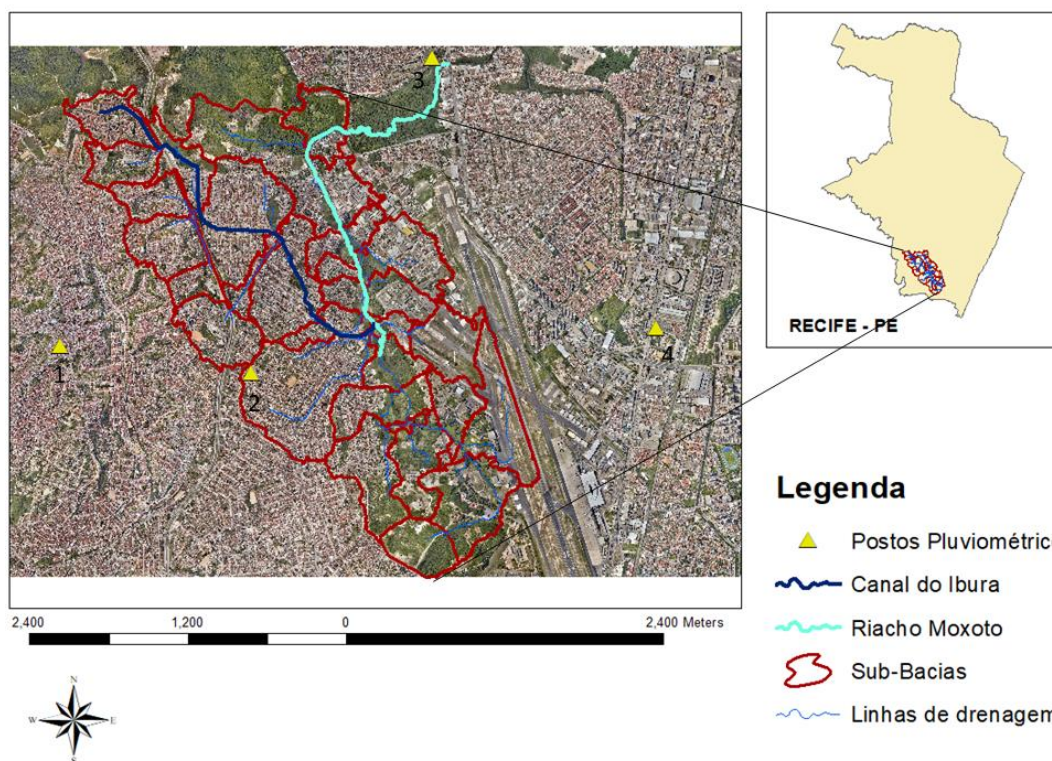


Figura 1 - Bacia hidrográfica do Riacho do Moxotó.

2.2. Dados utilizados

Para delimitação da bacia hidrográfica, discretização em sub-bacias e extração de dados (área de cada sub-bacia, declividade, tempo de resposta de cada sub-bacia - *Lag Time*) foi utilizado o modelo digital do terreno (MDT) do Programa Pernambuco Tridimensional (PE-3D), obtido por perfilamento do relevo a laser com resolução espacial de 1,0 m e escala de 1:5.000.

Os dados de precipitação selecionados foram de um evento extremo de precipitação ocorrido no ano de 2016, entre os dias 24 e 25 de maio, período de, na Região Metropolitana do Recife (RMR). Este evento de chuva foi selecionado como período para análise dos efeitos de amortecimento da chuva com a implantação de uma bacia de retenção. O Quadro 1 lista as estações pluviométricas dentro da área de influência da bacia do Riacho do Moxotó e suas respectivas precipitações acumuladas durante o evento, conforme registros do CEMADEN (2017).

Quadro 1 – Estações pluviométricas observadas durante evento extremo de precipitação em 2016.

Nº Estação	Estação Pluviométrica	Precipitação Acumulada (mm)
1	USF Alto Bela Vista-Ibura	45,86
2	UPA da Imbiribeira	58,41
3	Ibura	38,90
4	Areias	45,80

Fonte: CEMADEN (2017).

A Figura 2 mostra a precipitação registrada em intervalos de 10 minutos no período de observação das 6:00 da manhã do dia 24 de maio até às 11:10 do dia 25 de maio. Entre as 21:40 do dia 24 de maio e 00:10 do dia 25 de maio é registrado o maior volume precipitado (média de 5,33 mm/h) no horário analisado.

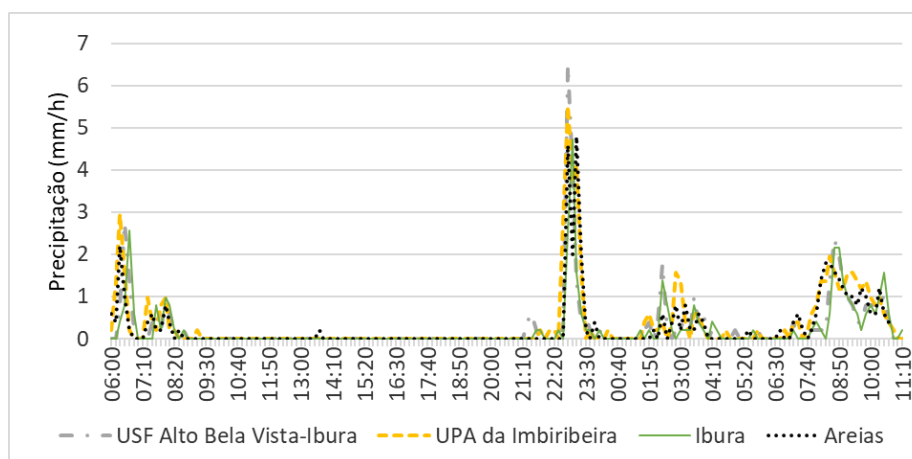


Figura 2 – Precipitação registrada a intervalos de 10 minutos das 6:00 da manhã do dia 24 de maio de 2016 até às 11:10 do dia 25 de maio de 2016.

Os dados pluviométricos dos postos foram inseridos no modelo HEC-HMS com o auxílio do programa HEC-DSSVue, o qual tem a função de armazenar dados sequenciais que poderão ser usados no modelo HEC-HMS. O método de análise e distribuição das chuvas utilizado neste estudo foi o inverso da distância, onde a precipitação é calculada aplicando uma ponderação quadrática da distância inversa dos postos pluviométricos.

2.3. Simulação Hidrológica e Caracterização Física da Bacia

O escoamento na bacia do Riacho do Moxotó foi simulado: (1) nas condições atuais de urbanização, e (2) com o acréscimo de uma bacia de retenção em um trecho considerado viável para tal dispositivo. A caracterização física e o levantamento de dados da Bacia, necessários para as

modelagens, foram obtidos com o auxílio do software ArcMap, por meio do *plugin* HEC-GeoHMS, e as simulações chuva-vazão foram realizadas no programa HEC-HMS.

Os métodos de transformação chuva-vazão e o método de infiltração da água no solo escolhidos foram o SCS Hidrograma Unitário e o SCS *Curve Number* (CN). Para cada sub-bacia foi estabelecido um valor do CN médio, calculado a partir da medição das áreas verdes e das áreas impermeabilizadas, tendo sido associado um valor de CN adequado conforme sugerido por Tucci (1998). As imagens utilizadas foram imagens disponibilizadas pelo *Google Earth-Mapas* (2017).

2.4. Simulação Hidrodinâmica

Para a simulação de propagação de vazão, foram inseridos no modelo, 28 seções transversais ao longo do Canal do Ibura e do Riacho do Moxotó. A obtenção das seções transversais foi obtida através do MDT, com alta resolução, do PE3D. Os pontos de cotas da seção foram extraídos no ArcMap com auxílio do *plugin* 3D Analyst e inseridos no modelo HEC-HMS através da função *Cross Section* (Figura 3). O método de propagação de vazão escolhido para este estudo foi o de Muskingum-Cunge.

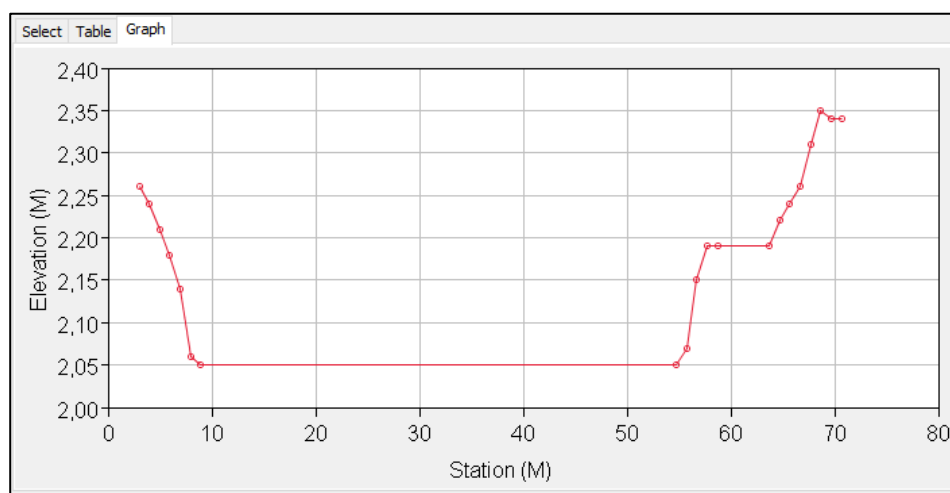


Figura 3 – Exemplo de seção do Riacho do Moxotó inserida no modelo através da função *Cross Section*.

2.5. Determinação da Vazão e calibração

Para calibração do modelo, foi calculada a vazão pelo Método da Meia Seção numa das seções do Riacho do Moxotó, próximo ao ponto considerado como exutório da bacia. As medições foram realizadas na ponte em que a Avenida Dois Rios atravessa o Riacho do Moxotó, ponto crítico de

alagamento, devido à facilidade de acesso. Para isto, utilizou-se o molinete hidráulico de eixo horizontal BFM001 Valeport. A distância entre as verticais e o número de pontos de medição na vertical seguiram a recomendação da DNAEE (BRASIL, 1977). Para cada ponto, foram feitas 3 medições de rotação considerando, para o cálculo da velocidade, a média das três. O passo de tempo utilizado em cada medição de rotação foi de 50 segundos.

O coeficiente de Manning, dado de entrada, foi obtido por calibração. A calibração foi realizada pelo “Método de Tentativa e Erro”, ou seja, o valor do coeficiente de Manning dos condutos foi sendo alterado, até que o valor da vazão no modelo fosse próximo à vazão observada no trecho medido e no momento da medição.

2.6. Bacia de Detenção

Para este estudo foi simulada a aplicação de uma bacia de detenção localizada numa das sub-bacias do Riacho do Moxotó, onde há disponibilidade de área suficiente para sua aplicação. A Figura 4 mostra o local escolhido para simulação da bacia de detenção.

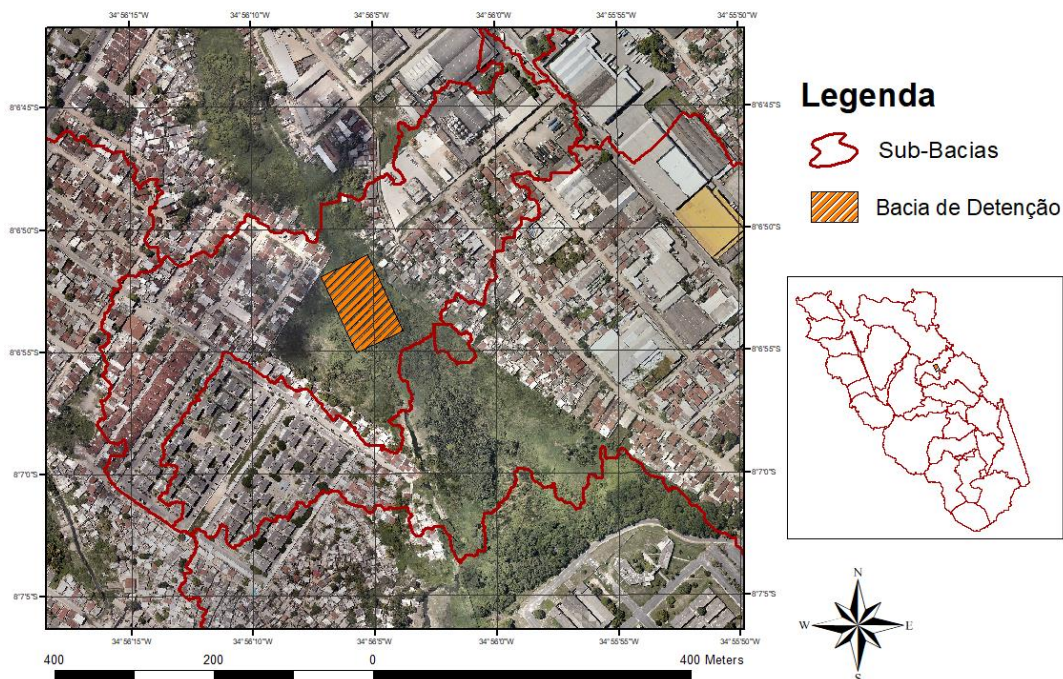


Figura 4 – Local escolhido para a implantação de uma bacia de detenção.

No modelo HEC-HMS é possível simular a aplicação de bacia de retenção tendo, normalmente, como dados de entrada as funções cota vs área e cota vs descarga do reservatório. Os reguladores de fluxos normalmente utilizados por esse tipo de estrutura são orifício e vertedor, o qual pode ser do tipo retangular, triangular ou trapezoidal. Para esse estudo, a bacia de retenção simulada possui um orifício circular e um vertedor retangular. O fluxo através do orifício e do vertedor retangular é dado pelas Equações 1 e 2 respectivamente (AZEVEDO NETTO e FERNÁNDEZ, 2015).

$$Q_o = C_o A_o \sqrt{2gh_o} \quad (1)$$

Onde: Q_o é fluxo através do orifício [L^3/T]; C_o é o coeficiente de descarga [-]; A_o é a área de abertura do orifício [L^2]; g é a aceleração da gravidade [L^2/T]; e h_o é lâmina ou altura de água [L], acima do eixo central do orifício (orifício livre) ou diferença de nível d'água (orifício afogado). O valor do coeficiente de descarga tipicamente usando, segundo Canholi (2005), para orifícios com cantos vivos, é 0,65.

$$Q_w = \frac{2\sqrt{2g}}{3} \cdot C_w \cdot L \cdot H_w^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

Onde: Q_w é o fluxo através do vertedor retangular [L^3/T]; C_w é coeficiente de fluxo pelo vertedor [-]; L e H_w são as dimensões do vertedor [L].

O diâmetro do orifício circular de saída da bacia de retenção foi dimensionado de maneira que o seu fluxo seja menor ou igual à vazão de pico do cenário pré-urbanizado considerado, a qual nesse estudo foi considerada como sendo seis vezes menor que a vazão de pico do cenário atual. Este valor foi escolhido considerando a afirmação de Tucci (2015) de que a urbanização descontrolada aumenta o pico de vazão das enchentes em até seis vezes em comparação ao solo em condições de pré-urbanização. Assim sendo, reorganizando a Equação 2 pode-se calcular o diâmetro do orifício, conforme a Equação 3.

$$D_o = \left(\frac{4(Q_{Atual}/6)}{\pi C_o \sqrt{2gh}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Onde: Q_{Atual} é a vazão de pico da simulação do cenário atual [L^3/T].

As dimensões do reservatório em planta foram determinadas de acordo com a área disponível para sua implantação de maneira a evitar custos de desapropriação. A Tabela 1 apresenta os principais dados da bacia de detenção simulada no modelo.

Tabela 1 – Principais dados de entrada da Bacia de Detenção

Dados da Bacia de Detenção	
Área em planta da bacia	10800 m ²
Altura	5 m
Volume de armazenamento	10800 m ³
D – Orifício	0,67 m
Coeficiente de descarga – Co	0,65
Informações do Vertedor	
hw	0,5 m
Lw	2,5 m
Coeficiente de descarga do vertedor – Cw	1,5

3. RESULTADOS

3.1. Definição da bacia hidrográfica e discretização em sub-bacias

Analisando as informações levantadas sobre a bacia do Rio do Moxotó A Figura 1 apresenta a delimitação automática da bacia hidrográfica do Riacho Moxotó a partir do MDT e do uso do HEC-GeoHMS, observou-se que: a área total da bacia do Riacho do Moxotó é de 7,44 km², com uma diferença de cota de cerca de 85 metros do ponto mais alto ao ponto mais baixo; o Canal do Ibura possui a maior parte de seu curso canalizado e aberto, com uma extensão total de 3,3 km e uma diferença de cota de cerca de 50 metros; o Riacho do Moxotó possui 3,7 km de extensão com uma diferença de cota de apenas 3 metros. Após o pré-processamento dos dados, a delimitação e discretização da bacia, resultou num total de 28 sub-bacias (Figura 6).

A vazão calculada a partir das medições realizadas pelo Método da Meia Seção foi 1,768 m³/s. Com isto, foi possível calcular o Coeficiente de Manning para a calibração do modelo. O Coeficiente de Manning foi 0,55 para os trechos em solo natural e 0,016 para os trechos em revestimento em concreto. A vazão simulada após a calibração foi de 1,792 m³/s, próxima da vazão calculada a partir das medições em campo.

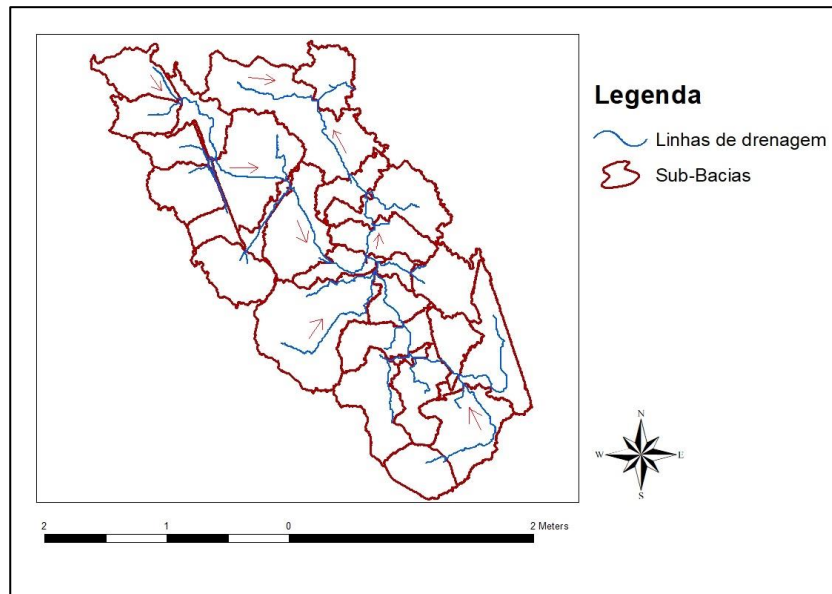


Figura 6 - Resultado da delimitação e discretização da Bacia do Riacho do Moxotó em sub-bacias.

3.2. Hidrograma a partir da aplicação dos cenários 1 e 2

A simulação dos efeitos do evento de chuva entre os dias 24 e 25 de maio de 2016 sobre a bacia do Riacho do Moxotó apresentou um hidrograma com vazão de pico de $13,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Ao simular a implantação de um reservatório de retenção na bacia, a vazão de pico seria de $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$, resultando num amortecimento de 76% da vazão de pico (Figura 7).

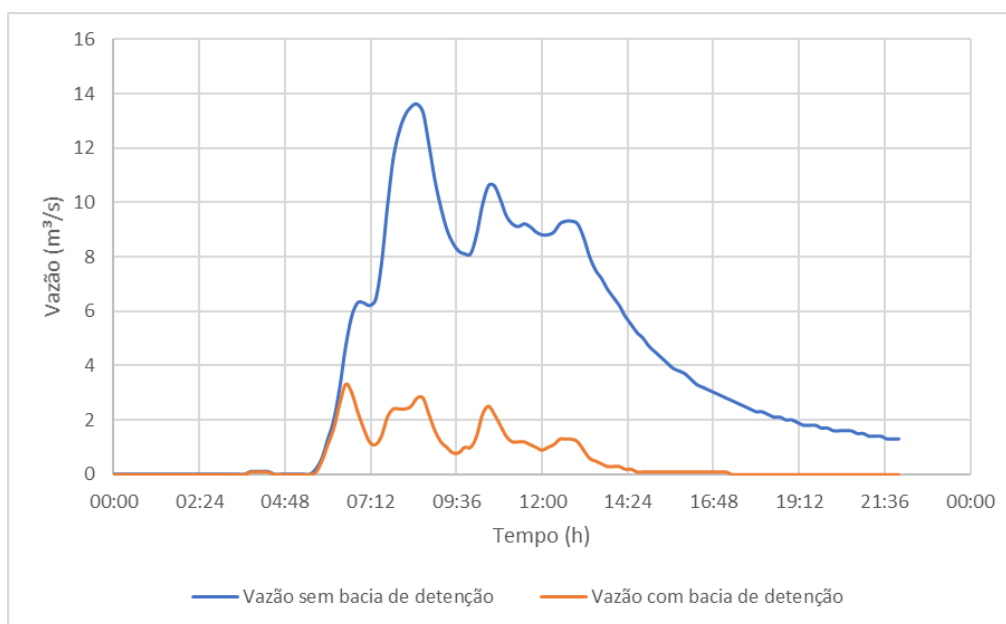


Figura 8 – Hidrograma da simulação chuva-vazão da bacia do Riacho do Moxotó, cenário sem a bacia de retenção e cenário com a bacia de retenção

4. CONCLUSÃO

Diante dos dados apresentados, verifica-se que a implantação de uma bacia de retenção na bacia hidrográfica do Riacho do Moxotó possibilitará a redução significativa de alagamentos e de enchentes nesta área. Percebe-se que, apesar da sua aparente viabilidade, devido à existência de área disponível para sua implantação, há necessidade de os órgãos competentes verificarem a viabilidade financeira e ambiental para a implantação deste tipo de medida de controle (bacia de retenção), além da consequente necessidade de manutenção periódica.

Ao estender esta técnica para outros pontos de alagamentos da Região Metropolitana do Recife, pode-se reduzir significativamente os problemas de alagamentos existentes.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNÁNDEZ, M. F.. *Manual de Hidráulica*. 9ed. São Paulo: Blucher, 2015.

BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. *Manual para Serviços de Hidrometria*. DNAEE, Brasília, 1977.

CANHOLI, A. P.. *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos. 295 p., 2005.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. *Dados Pluviométricos*. Disponível em <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>>. Acesso em 8 nov. 2017.

GOOGLE EARTH-MAPAS. Disponível em <<http://mapas.google.com>>. Acesso em 14 out. 2017..

PREUS, S. L. C.; SILVA, A. A.; BRAGA, R. A. P.; CABRAL, J. J. S. P.. *Adequação estrutural e ambiental para a drenagem urbana sustentável: o caso do Recife, Pernambuco*. In: *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 19., 2011, Maceió. Artigo. Maceió: ABRH: p. 1 – 19, 2011.

TUCCI, C. E. M.. *Modelos hidrológicos*. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH. 669p., 1998.

TUCCI, C. E. M. (Org.). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015.