

MODELAGEM HIDROLÓGICO-HIDRÁULICA E SIMULAÇÃO CONTÍNUA PARA FINS DE GESTÃO DO REGIME HIDROLÓGICO DE BACIAS URBANAS

Altair Maciel de Barros ¹; Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves ² & Lucas Matias Uchôa ³

RESUMO – Este artigo realizou a caracterização, monitoramento e modelagem dos processos hidrológicos em uma pequena bacia hidrográfica urbana (com área de 2 km²) e de resposta rápida (com tempo de concentração de 1,5 h), localizada na cidade de Maceió-AL, utilizando o *Storm Water Management Model* (SWMM). A simulação contínua foi realizada utilizando dados de chuva de 6 anos (abril/14 a março/20), com o modelo calibrado para o período seco e chuvoso a intervalos de 5 minutos. A metodologia empregada na estimativa inicial dos parâmetros do modelo apresentou resultados satisfatórios quanto à representação do regime hidrológico tanto durante o período seco ($E_m = 0,0$ cm) como chuvoso ($R^2 = 0,90$, $COE = 0,90$ e $E_p = 4,3\%$). A simulação contínua identificou 3 pontos críticos de alagamento na bacia com TR variando entre 1 ano e 2 anos. Essas falhas acontecem predominantemente durante os seis primeiros meses do ano. Quanto à permanência das vazões no riacho do Sapo, foi possível identificar que o escoamento pluvial é temporário, ocorrendo somente em cerca de 10% do tempo. No entanto, a contribuição direta de vazão decorrente, principalmente, da afluência de esgoto sanitário, provoca a manutenção do escoamento no riacho durante todo o ano.

ABSTRACT– This article did the characterization, monitoring and modeling of hydrological processes in a small urban hydrographic basin (area of 2 km²) and a fast response (time of concentration of 1,5 h), located in the city of Maceió-AL, using the Storm Water Management Model (SWMM). The continuous simulation was performed using 6-year rainfall data (April/14 to March/20), with the model calibrated for the dry and rainy period at 5-minute intervals. The methodology used in the initial estimate of the model's parameters showed satisfactory results, representing the hydrological regime both during the dry ($E_m = 0.0$ cm) and rainy periods ($R^2 = 0,90$, $COE = 0,90$ and $E_p = 4, 3\%$). The continuous simulation identified 3 critical points of flooding in the basin with return period varying between 1 year and 2 years. These failures happen predominantly during the first six months of the year. The permanence of the flows in the Sapo's creek is low, occurring only about 10% of the time. However, the flow in the Sapos's creek is constant throughout the year, mainly due to the inflow of sanitary sewage.

Palavras-Chave – Hidrologia urbana; Gestão da drenagem; Microdrenagem.

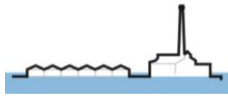
1 INTRODUÇÃO

Diante do processo de expansão urbana aliado ao planejamento que pouco considerou os processos hidrológicos naturais preexistentes, a modelagem hidrológico-hidráulica tem se mostrado uma ferramenta válida para análise da relação entre o espaço urbano e os recursos hídricos. Através

1) SEMARH-AL: Av. General Luiz de França Albuquerque, S/N, Jacarecica, Maceió-AL (82) 991282779, altair_m@hotmail.com;

2) PPGRHS – UFAL e PET – Engenharia Ambiental - UFAL, Centro de Tecnologia, Maceió, (82) 991056677, marllus.neves@ctec.ufal.br

3) Discente – PET Engenharia Ambiental – UFAL: Av. Lourival Melo Mota; 57072-970; Maceió; Alagoas; Brasil, (82) 996647593, lucasuchalg@gmail.com.



dessa técnica é possível avaliar a resposta do sistema a diferentes estímulos e cenários, auxiliando o gestor na tomada de decisões e no gerenciamento da bacia hidrográfica.

No que se refere à gestão de recursos hídricos, em Alagoas, por exemplo, a definição quanto ao regime hidrológico de um curso d'água é de suma importância para a avaliação da sua capacidade para a diluição de efluentes e transporte de poluentes. A Instrução Normativa nº 01/2018 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL), por exemplo, estabelece diretrizes específicas para o lançamento de efluentes em cursos d'água intermitentes e efêmeros, definindo um olhar particular para a gestão dos recursos hídricos desses mananciais (ALAGOAS, 2018).

Por outro lado, a identificação de pontos críticos de alagamento e a frequência com que o sistema de drenagem falha, por exemplo, é de suma importância para a avaliação do sistema drenagem existente, para a proposta de soluções de manejo das águas pluviais e a melhoria da relação entre as águas pluviais urbanas e o saneamento.

Uma problemática que surge diante dessa realidade é a dificuldade em quantificar de maneira distribuída no tempo e no espaço o escoamento pluvial em uma pequena bacia hidrográfica urbana, de aproximadamente 2 km², com resposta hidrológica rápida, inferior a 1,5 h, e que apresenta despejo contínuo de esgoto doméstico.

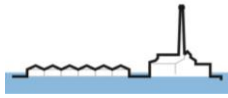
Nesse contexto, este trabalho pretende contribuir no entendimento do regime hidrológico em uma bacia hidrográfica urbana, localizada na cidade de Maceió-AL, via caracterização, monitoramento e modelagem dos processos hidrológicos utilizando o *Storm Water Management Model* (SWMM). A simulação contínua foi realizada, aplicando-se dados de chuva de 6 anos (abril/14 a março/20), com o modelo calibrado para o período seco e chuvoso a intervalos de 5 minutos, de modo a possibilitar o estudo em bacias hidrográficas de resposta rápida. Os resultados deste estudo podem ajudar a entender o comportamento do escoamento pluvial em áreas urbanas e fornecer subsídios para a gestão do sistema de drenagem e dos recursos hídricos.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do riacho do Sapo (BHRS) está inserida na área urbana de Maceió-AL, na região de transição entre o tabuleiro costeiro e a planície costeira. A bacia tem uma área de drenagem de 2,2 km² e o seu principal curso d'água, o riacho do Sapo, tem extensão de 4,5 km praticamente todo canalizado (Figura 1).

O riacho do Sapo nasce no bairro do Jacintinho (9°38'14"S e 35°43'01"O), em um ponto situado no tabuleiro costeiro com cota de 65 m, uma região com topografia acidentada e densamente



ocupada por uma população de baixa renda, a Grota do Cigano. A foz está localizada no bairro do Poço (9°39'45"S e 35°43'43"O), na planície costeira com cota de 3 m. Nesse ponto, o riacho do Sapo deságua no riacho Reginaldo que, por sua vez, percorre cerca de 1 km até sua foz no mar.

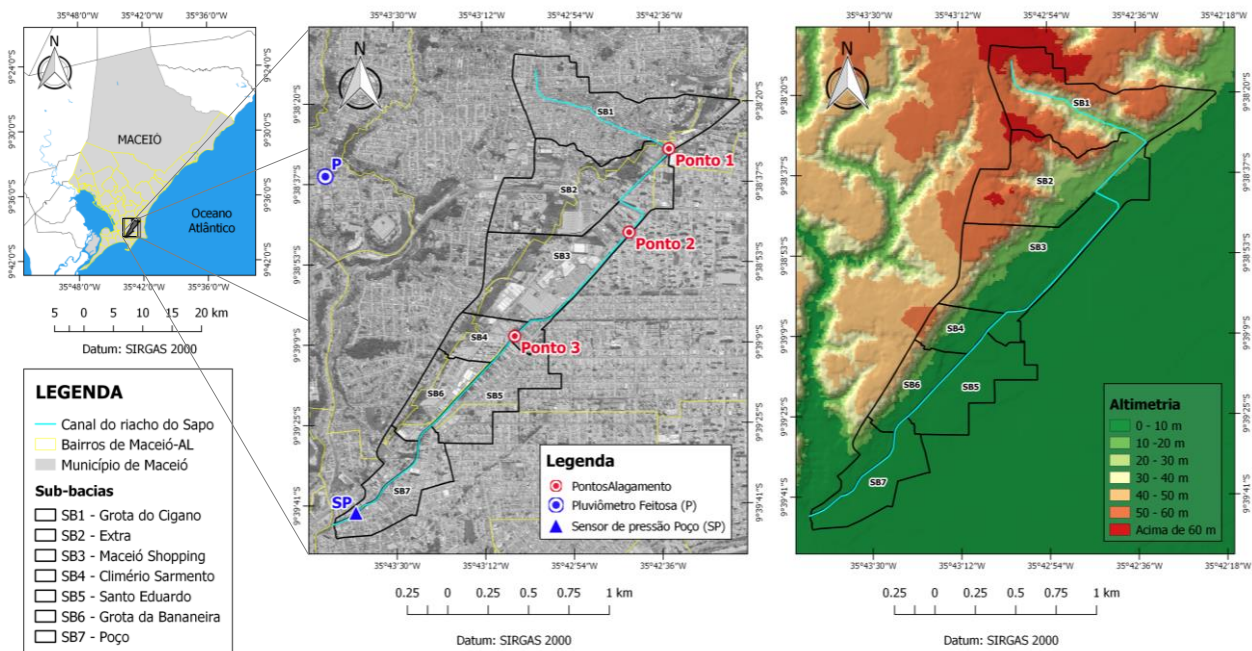


Figura 1 – Localização, subdivisão e altimetria da área de estudo: a bacia hidrográfica do riacho do Sapo

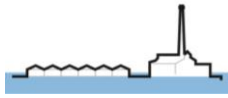
Ao longo do seu percurso, o riacho do Sapo realiza a drenagem das águas pluviais de parte de quatro bairros de Maceió: Jacintinho, Mangabeiras, Jatiúca e Poço (Figura 1). No entanto, ele recebe ainda efluentes de outras fontes, principalmente de despejos domésticos (AGRA, 2017), decorrente dos baixos índices de esgotamento sanitário verificados na região, em torno de 63% para a região da planície costeira e praticamente inexistente na região do tabuleiro costeiro (MACEIÓ, 2018). Dessa forma, já na região da cabeceira da BHRS, na sub-bacia 1 (SB1 – Grota do Cigano), verifica-se escoamento mesmo durante o período seco (AGRA, 2017).

A BHRS possui pequena área de drenagem, declividade acentuada na cabeceira, alta taxa de impermeabilização das superfícies, canais de drenagem retificados e com reduzida resistência ao escoamento, o que torna sua resposta hidrológica rápida, com uma estimativa de tempo de concentração inferior a 1,5 h (VIDAL, 2012).

2.2 Monitoramento hidrológico: chuva e nível d'água

Os dados de chuva são provenientes de um pluviômetro de báscula da Hydrological Services modelo TB4 com resolução correspondente a 0,20 mm de chuva, que foi instalado em março/2014 no bairro do Feitosa (9°38'35"S e 35°43'44"O), cerca de 1,5 km da área de estudo (Figura 1). Dessa forma, este estudo utilizou os dados de chuvas ocorridas na região no período de abril/14 a março/20.

Os dados de chuva foram tratados de maneira a resultar em uma série de 6 anos (abril/14 a março/20) discretizada a intervalos de 5 minutos. Foi identificada na série uma falha de 2 meses e 20



dias em 2018, pois o pluviômetro Feitosa somente começou a registrar chuvas a partir de 21/março, enquanto o pluviômetro Farol, situado a 700 m e operado pelo Centro Nacional de Monitoramento de Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), já tinha registrado mais 350 mm de chuva até essa data. Sendo assim, foi empregada a série de dados do pluviômetro Farol para o preenchimento dessa falha do pluviômetro Feitosa (CEMADEN, 2020).

Para o monitoramento do nível d'água no riacho do Sapo, utilizou-se um sensor de pressão da Solinst modelo Edge Junior 3001, instalado em uma seção do riacho do Sapo situada no bairro do Poço (9°39'43"S e 35°43'38"O), cerca de 170 m a montante da foz (Figura 1). Este sensor monitorou uma seção que drena 97% da bacia hidrográfica, registrando o nível d'água a intervalos de 5 e 10 minutos, no período de outubro/13 a agosto/14.

2.3 Modelagem hidrológica no SWMM

A modelagem hidrológica no SWMM considerou a subdivisão da bacia do riacho do Sapo em 7 sub-bacias (SB), definidas com base na fisiografia e microdrenagem da região (Figura 1).

Os parâmetros área (A) e declividade (S) das sub-bacias foram avaliados por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado com base nas curvas de nível da região a cada metro (MACEIÓ, 1999). Já a largura (W) foi calculada a partir da razão entre a área (A) e o comprimento máximo do escoamento superficial nas sub-bacias (HUBER; DICKINSON, 1992).

O percentual de área impermeável (%AI) representa a parcela de área impermeabilizada diretamente conectada ao sistema de drenagem (AIDC) (HUBER; DICKINSON, 1992). Segundo Garotti e Barbassa (2010), a utilização do coeficiente de escoamento do método racional (C) se aproxima dos valores de AIDC. Sendo assim, calculou-se o %AI das sub-bacias através da média ponderada pela área dos C adotados para as categorias de cobertura do solo identificadas (Tabela 1).

A caracterização da cobertura do solo da BHRS foi realizada a partir da classificação por interpretação visual de uma imagem com resolução espacial em torno de 1 m disponibilizada pelo programa Google Earth e através da verificação *in loco* dessas feições.

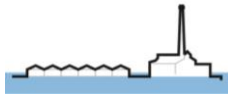
Tabela 1 – Coeficientes de escoamento (C) para cada tipo de cobertura do solo.

Cobertura do solo	C
Solo exposto e áreas verdes	0,10
Comércio e indústria	0,66
Residência	0,80
Edifício verticalizado	0,75
Rua/calçada	0,78

Fonte: Garotti e Barbassa (2010)

O coeficiente de Manning da área impermeável (n_i) e permeável (n_p), profundidade de armazenamento para a área impermeável (d_i) e permeável (d_p) foram estimados com base nas recomendações de Gironás *et al.* (2009): 0,015, 0,24, 1,5 mm e 7,6 mm, respectivamente.

Os parâmetros do método de infiltração de Horton foram definidos com base nos grupos



hidrológicos do solo e nos tipos permeáveis de cobertura identificadas na BHRS. A avaliação dos solos considerou o levantamento detalhado dos solos de Maceió (EMBRAPA, 2005), classificando as areias quartzosas (AQ) como pertencentes ao grupo hidrológico A, enquanto os latossolos amarelos (LA) e argissolos amarelo (PA), pertencentes ao grupo hidrológico C (USDA, 1986).

A taxa de infiltração máxima (f_0), mínima (f_c) e a constante de decaimento (k) do método de Horton para cada sub-bacia foram estimados com base nos valores de referência da Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de referência para estimativa dos parâmetros do método de infiltração de Horton.

Grupo hidrológico do solo	Condição de cobertura do solo	f_0 (mm/h) ¹	f_c (mm/h) ²	k (h ⁻¹) ¹
A	Exposto ou com pouca vegetação	127,0	11,4	5
	Vegetação densa	254,0		
C	Exposto ou com pouca vegetação	25,4	3,8	2
	Vegetação densa	50,8		

Fonte: ¹Huber e Dickinson (1992) e ²Musgrave (1955)

Com esses valores de referência, o f_0 , f_c e k das sub-bacias foram estimados através da média ponderada pela área considerando apenas a parcela permeável da sub-bacia.

2.4 Modelagem hidráulica no SWMM

A simulação do transporte hidráulico no SWMM foi realizada empregando o método da onda dinâmica e considerando a divisão do canal do riacho do Sapo em 15 condutos e 16 nós. As variáveis do SWMM empregadas na modelagem hidráulica do riacho do Sapo (e.g., formato e desnível dos condutos) foram obtidas a partir do levantamento topográfico do canal desde a nascente até a foz.

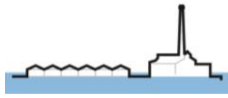
O coeficiente de rugosidade de Manning (n) foi o único parâmetro avaliado indiretamente. Para tal, foram realizadas visitas a campo e aplicado o método de Cowan (COWAN, 1956). Com base nisso, o n foi estimado em 0,035 para os condutos abertos e 0,045 para os condutos fechados.

2.5 Calibração e validação do modelo

Inicialmente o modelo foi calibrado para o período seco. Visto que, mesmo durante o período seco há escoamento no canal devido, principalmente, à afluência de esgoto doméstico (AGRA, 2017), o parâmetro “contribuições diretas de vazão” (DI) do SWMM foi calibrado para tal.

Devido à carência de monitoramento contínuo ao longo do riacho do Sapo, as DI foram inseridas nos nós que representam os exutórios de algumas sub-bacias de maneira a reproduzir o escoamento durante o período seco registrado na seção de monitoramento. As DI foram estimadas com base em dados populacionais, uso de água, cobertura de esgotamento sanitário e visitas a campo (IBGE, 2010; BRASIL, 2019; MACEIÓ, 2018). Mesmo diante da carência de monitoramento, os resultados obtidos ao longo do canal foram confrontados com os dados registrados por Agra (2014).

Para o período chuvoso, realizou-se a calibração via ajuste manual dos parâmetros mais sensíveis e estimados com maior incerteza (%AI, f_0 e f_c) (GARCIA; PAIVA, 2006). Devido à carência de eventos monitorados, utilizou-se um para a calibração do modelo e outro para a validação.



Para o período seco, a eficiência da calibração foi avaliada visualmente por sobreposição dos cotogramas e usando o erro médio (E_m). Para o período chuvoso, a eficiência foi avaliada através dos coeficientes de determinação (R^2), de Nash e Sutcliffe (COE) e do erro na cota máxima (E_p).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Calibração e validação do modelo

As DI estimadas nos nós do modelo que representam os exutórios das sub-bacias estão apresentadas na Tabela 3. Para a bacia do riacho do Sapó, considerou-se somente que as SB1 e 3 apresentam contribuição de vazão em tempo seco. Isso decorre do fato da SB1 apresentar uma alta densidade populacional associada a ausência de sistema de esgotamento sanitário (MACEIÓ, 2018). A DI avaliada para a SB1 está em concordância com os valores avaliados por Agra (2014) que, no mesmo ano, aferiu vazões da ordem de 24 l/s neste trecho do riacho através do método do flutuador.

No caso da SB3, a DI foi estimada em 364 l/s com base na verificação de contribuições pontuais de escoamento em tempo seco que ocorrem nessa região. Para as demais sub-bacias foi considerado que não há contribuição de vazão em tempo seco pois o índice de cobertura de esgotamento sanitário corresponde a 63%, sendo estimada uma DI desprezível. Essa estimativa é corroborada através das visitas a campo que identificaram uma contribuição de vazão desprezível em tempo seco nessa região.

Tabela 3 – Contribuições diretas de vazão (DI) calibradas para os nós exutórios das sub-bacias (SB).

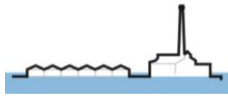
SB	Nó	DI (l/s)
1	1	26
3	7	364

Fonte: Autores

Considerando os valores de DI apresentados foi possível ajustar as vazões em tempo seco do modelo aos dados monitorados. Os dados de nível d'água registrados entre os dias 09 e 11 de maio/2014 revelam que as contribuições durante o período seco na bacia hidrográfica do riacho do Sapó mantêm um nível d'água médio no canal (próximo a foz) de 27,5 cm. A partir do ajuste do modelo, com E_m de 0,0 cm, para esse período, avaliou-se que esse nível corresponde a uma vazão média de 400 l/s. Este resultado é superior aos dados registrados por Agra (2014) que, no mesmo ano, aferiu vazões da ordem de 300 l/s neste trecho do riacho do Sapó através do método do flutuador.

Já para o período chuvoso, o modelo foi elaborado e rodado inicialmente considerando os parâmetros estimados apresentados na Tabela 4. Avaliando a Figura 2.a, nota-se que antes mesmo da calibração, o modelo já apresentava resultados satisfatórios (com R^2 e COE iguais a 0,90). Como o modelo apresentou uma tendência em superestimar o pico do escoamento (com E_p de 4,3%), a calibração focou em reduzir o nível d'água máximo através do ajuste do %AI e parâmetros de infiltração (f_0 e f_c), obtendo um E_p de -1,3% sem alteração significativa no R^2 e COE.

Tabela 4 – Parâmetros estimados (E) (antes da calibração) e calibrados (C) para o modelo.



SB	A (ha)	W (m)	S (%)	%AI		n_i	n_p	d_i (mm)	d_p (mm)	f0 (mm/h)		fc (mm/h)		k (h ⁻¹)
				E	C					E	C			
1	47,9	690	24,1	71	64	0,015	0,24	1,5	7,6	93	102	6,6	7,3	3,1
2	39,2	636	16,5	49	44	0,015	0,24	1,5	7,6	66	72	5,3	5,9	2,6
3	46,9	705	8,5	60	54	0,015	0,24	1,5	7,6	100	110	6,9	7,6	3,2
4	14,1	391	10,9	57	51	0,015	0,24	1,5	7,6	106	116	7,3	8,1	3,4
5	22,3	512	1,2	69	62	0,015	0,24	1,5	7,6	158	174	11,4	12,6	5,0
6	14,5	281	15,0	58	52	0,015	0,24	1,5	7,6	112	123	6,6	7,3	3,1
7	25,0	417	2,2	67	60	0,015	0,24	1,5	7,6	184	203	10,5	11,5	4,6

Fonte: Autores

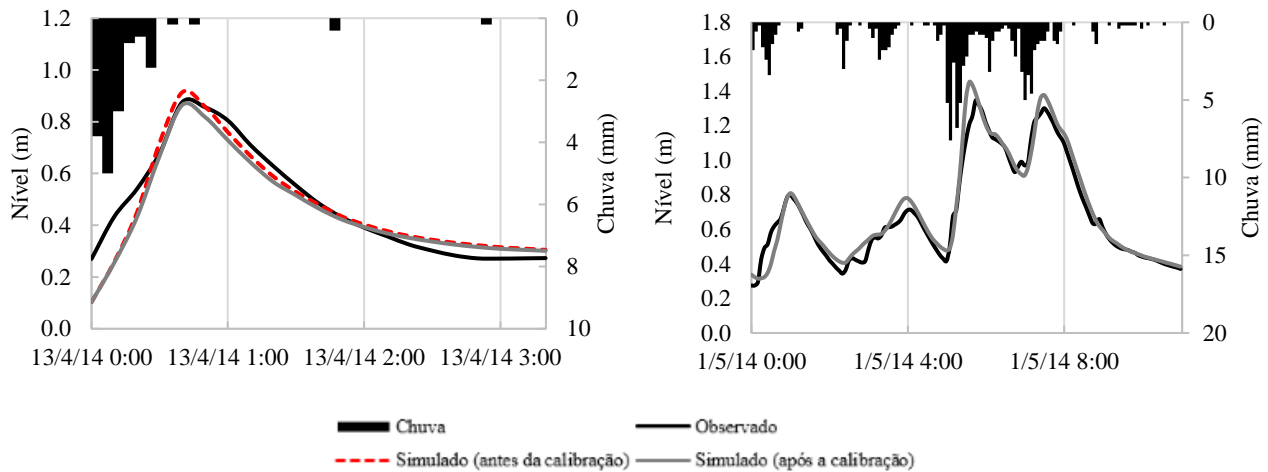


Figura 2 – (a) Cotagramas simulados com os parâmetros estimados (antes da calibração) e após calibração para o evento do dia 13/abril/14 e (b) Validação do modelo calibrado para o evento do dia 01/maio/14

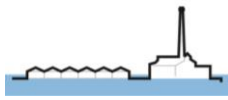
Na validação (Figura 2.b), as métricas de eficiência associadas à representação da forma do hidrograma continuaram mostrando um bom ajuste, com R^2 e COE de 0,95. No entanto, mesmo com a calibração, o modelo continuou apresentando menor eficiência quanto à representação do pico do escoamento, com E_p de 7,8%.

3.2 Pontos de alagamento na bacia do riacho do Sapo

Através da simulação contínua de 6 anos, foram identificados 3 pontos de alagamento ao longo do riacho do Sapo (Figura 1). Nos pontos 1 e 2, o canal sofre reduções abruptas em sua seção. Além disso, o canal passa de seções abertas para fechadas, o que dificulta sua manutenção e tende a favorecer o acúmulo de materiais grosseiros.

No ponto 3, o canal apresenta uma capacidade de transporte inferior aos trechos de montante e jusante. Nesse ponto, o riacho do Sapo é um canal aberto com uma profundidade máxima de 2,0 m. No entanto, a montante deste ponto, o canal tem uma profundidade máxima de 3,7 m, enquanto a jusante, há uma galeria de 2,4 m seguida por um canal aberto de 3,0 m. Aliado a isso, no ponto 3, o canal apresenta baixa declividade de fundo (cerca de 0,00027 m/m), promovendo um retardo do escoamento ao longo trecho, acumulando água.

Peplau e Neves (2014) já haviam identificado estes pontos como problemáticos para chuvas de projeto com tempo de retorno (TR) de 5 anos. A simulação contínua em tela revelou que a situação é ainda mais problemática. O ponto 1 é o mais crítico, já que sua capacidade é superada todo ano.



Realizando uma avaliação por evento, o ponto 1 apresenta uma frequência média de 4 falhas por ano. Já os pontos 2 e 3 apresentam falhas com TR de 2 anos.

A simulação contínua mostrou ainda que a falha do sistema drenagem ocorre predominantemente (63%) durante o verão, com destaque para os três primeiros meses do ano (janeiro – 21%, fevereiro – 29% e março – 13%). Além desses três meses, maio também concentra uma alta frequência de alagamentos (26%), tendo em vista que é um dos meses mais chuvosos do ano.

3.3 Curva de permanência das vazões do riacho do Sapo

A análise da permanência das vazões simuladas, a intervalos de 5 minutos, na seção da foz do riacho do Sapo retornou as curvas apresentadas na Figura 3. A análise foi realizada considerando a série completa (abril/14 a março/20) e as séries parciais para o período seco (seis meses menos chuvosos: setembro a fevereiro) e período chuvoso (seis meses mais chuvosos: março a agosto).

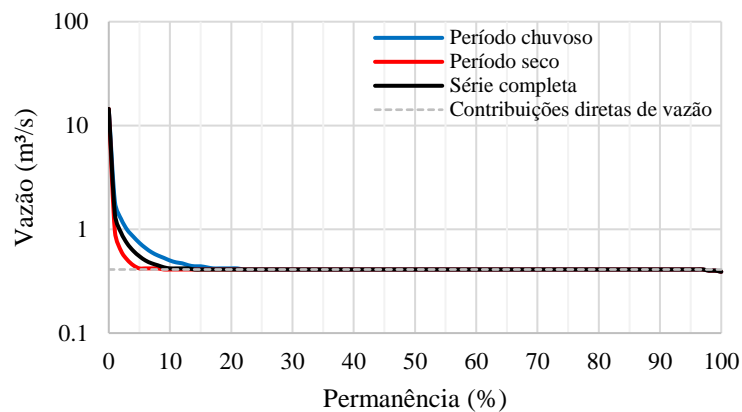


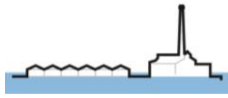
Figura 3 – Curva de permanência das vazões do riacho do Sapo para a série completa e parciais (período chuvoso/seco)

Os resultados mostram que, de maneira geral, em cerca de 90% do tempo, as vazões do riacho do Sapo correspondem somente às DI, enquanto somente em 10% do tempo as vazões são de origem pluvial. Considerando as séries parciais, nota-se que a permanência das vazões de origem pluvial é menor durante o período seco, ocorrendo somente em cerca de 5% do tempo. Já durante o período chuvoso, o escoamento das águas pluviais ocorre em cerca de 15% do tempo.

Dessa forma, o riacho do Sapo pode ser classificado como um curso d'água intermitente, já que apresenta escoamento entre 10 e 80% do tempo. No período seco, o riacho pode ser classificado como efêmero, pois a permanência do escoamento é inferior a 10% (HEDMAN; OSTERKAMP, 1982).

Ainda nesse sentido, considerando que a vazão com frequência de 90% na curva de permanência (Q90) é a vazão de referência adotada por Alagoas para a gestão dos recursos hídricos (ALAGOAS, 2001), verifica-se que o riacho do Sapo não apresenta disponibilidade hídrica para uso.

Assim, nota-se que o escoamento pluvial no riacho do Sapo é temporário, sendo o sistema de drenagem responsável predominantemente por escoar as águas pluviais durante ou logo após as chuvas. No entanto, as DI promovem a manutenção do escoamento no riacho durante todo o ano.



4 CONCLUSÕES

A metodologia empregada para a estimativa inicial dos parâmetros do modelo para a BHRS no SWMM apresentou resultados satisfatórios quanto à representação da forma dos cotogramas monitorados (com R^2 e COE iguais a 0,90) e uma tendência de superestimação do nível d'água máximo (com E_p de 4,3%) durante um evento de chuva.

Quanto ao período seco, os dados monitorados permitiram uma estimativa satisfatória do nível d'água no riacho do Sapo em uma seção próxima à foz (com E_m de 0,0 cm) através da inserção de DI em dois nós do modelo. No entanto, a ausência de dados de nível/vazão em tempo seco ao longo da bacia impossibilitou a análise da acurácia do modelo em representar os níveis/vazões simulados em tempo seco distribuídos ao longo da BHRS.

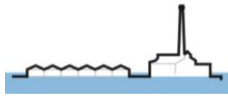
A simulação contínua ao longo de 6 anos permitiu identificar 3 pontos críticos de alagamento ao longo da BHRS. Esses pontos apresentam falhas recorrentes, com TR de 1 ano (ponto 1) e 2 anos (pontos 2 e 3). Essas falhas acontecem predominantemente (89% das vezes) durante os meses de janeiro (21%), fevereiro (29%), março (13%) e maio (26%).

Quanto à permanência das vazões no riacho do Sapo, foi possível identificar que o escoamento pluvial no riacho do Sapo é temporário, ocorrendo somente em cerca de 10% do tempo. Dessa forma, o riacho do Sapo pode ser classificado como intermitente durante o período chuvoso (março a agosto) e efêmero durante o período seco (setembro a fevereiro). No entanto, salienta-se que a contribuição direta de vazão decorrente, principalmente, da afluência de esgoto sanitário, provoca a manutenção do escoamento no riacho ao longo de todo o ano.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem à UFAL, à SEMARH-AL e à FAPEAL pelo apoio técnico e institucional, através da disponibilização de dados e materiais, assim como pelo financiamento das pesquisas que culminaram no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALAGOAS. (2001). Decreto nº 6, de 23 de janeiro de 2001. *Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos*.
- ALAGOAS. (2018). Instrução Normativa nº 01, de 30 de maio de 2018. *Estabelece critérios e padrões de lançamento para análise técnica de outorga na modalidade lançamento de efluentes no Estado de Alagoas*.
- AGRA, C.C. (2014). *Estimativa de cargas anuais produzidas na bacia do riacho do Sapo para diferentes parâmetros de qualidade de água*. Trabalho de conclusão de curso. Graduação em engenharia civil. Universidade Federal de Alagoas (UFAL).
- AGRA, C.C. (2017). *Metodologia para estimativa de cargas poluentes em bacias urbanas. Estudo de caso: bacia do riacho do Sapo*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS). Universidade Federal de Alagoas (UFAL).



- BRASIL. (2019) Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento (SNS). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos serviços de água e esgotos*. Brasília.
- CEMADEN (CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO DE ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS). *Mapa interativo*. Disponível em: <<http://www.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>> Acesso em agosto de 2020.
- COWAN, W.L. (1956). *Estimating hydraulic roughness coefficients*. Agricultural Engineering 37(7), pp. 473-475.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias). (2005). *Diagnóstico Ambiental do Município de Maceió*. Anexo I-f. Levantamento Semidetalhado de Solos.
- GARCIA, J.I.B.; PAIVA, E.M.C.D. (2006). *Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia do arroio Cancela – RS*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 11(4), pp.99-108.
- GAROTTI, L.M.; BARBASSA, A.P. (2010). *Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental 15(1), pp.19-28.
- GIRONÁS, J.; ROESNER, L.A.; DAVIS, J. (2009). *Storm Water Management Model: Applications manual*. U.S. Environmental Protection Agency. Department of Civil and Environmental Engineering. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- HEDMAN, E.R. OSTERKAMP, W.R. (1982). *Streamflow characteristics related to channel geometry of stream in western United States*. United States Geological Survey (USGS). Water Supply Paper. Washington.
- HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E. (1992). *Storm Water Management Model, version 4: User's manual*. U.S. Environmental Protection Agency. Athens, Georgia.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2010). *Malha de setores censitários*.
- MACEIÓ. (1999). *Base Cartográfica Numérica do Município de Maceió*. Secretaria Municipal de Controle do Convívio Urbano. Prefeitura Municipal de Maceió.
- MACEIÓ. (2018). *Plano de Saneamento Básico do Município de Maceió/AL. Etapa 6: Relatório final do PMSB. Volume 1: Relatório Síntese*. Secretaria Municipal de Habitação Popular e Saneamento. Prefeitura Municipal de Maceió.
- MUSGRAVE, G.W. (1995) *How Much Water Enters the Soils*. U.S.D.A. Yearbook, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, pp. 151-159.
- PEPLAU, G.J.R.; NEVES, M.G.F.P. (2014). *Análise de critérios para a determinação da vazão de restrição ao escoamento superficial urbano*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 19(4), pp. 97-106.
- USDA (United States Department of Agriculture). (1986). *Urban hydrology for small watersheds*. Technical Release, n.55. Washington D. C.
- VIDAL, D.H.F. (2012). *Modelagem hidrodinâmica como suporte a avaliação e proposição de alternativas compensatórias para mitigação dos problemas de cheias urbanas na bacia do riacho Reginaldo em Maceió-AL*. Dissertação de mestrado. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).