

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE UMA SUB-BACIA URBANA, CONSIDERANDO OS IMPACTOS DA SUA OCUPAÇÃO

Vitor Pessoa Caminha¹, Paulo César Moura da Silva²

Resumo: Com o passar das décadas houve um aumento desordenado na população urbana, o que causou inúmeros problemas, sendo um deles a redução de áreas verdes em detrimento de áreas impermeáveis. Em consequência disto, há um aumento na vazão superficial de bacias hidrográficas, o que somado a falta de planejamento e drenagens eficientes, causa inundações urbanas. Esse tipo de problemática, além de trazer danos ambientais, causa perdas sociais e econômicas. Objetivando melhorar este cenário para a sub-bacia que contempla a Av. Francisco Mota e adjacências, em Mossoró, delimitamos a área de influência desta sub-bacia através de SIGs, e caracterizamos as áreas quanto ao seu gradiente de impermeabilização. Desta forma, foi possível estimar a vazão superficial através do método Racional modificado, atribuindo um tempo de retorno para as precipitações. Para um tempo de retorno de 50 anos foi encontrado uma vazão superficial de 16,29 m³/s. Dimensionou-se também o talvegue e os bueiros que compõem o sistema de drenagem, para inferir sobre a capacidade de drenagem dessas estruturas. Portanto, foi possível determinar a ineficiência dos bueiros em drenar a vazão necessária para que não haja inundações. Nesse cenário, sugerimos um novo dimensionamento para o conjunto de bueiros, capaz de suportar as vazões considerando chuvas com tempo de retorno de até 50 anos, onde os novos bueiros em conjunto são capazes de escoar 19,05 m³/s.

Palavras-chave: Drenagem urbana; Escoamento superficial; Impermeabilização do solo; Inundações urbanas; Dimensionamento de estruturas hidráulicas.

1. INTRODUÇÃO

A urbanização, apesar de ser um processo historicamente recente, apresentou seu desenvolvimento de forma consideravelmente acelerada. Estima-se que até a década de 50 a maior parte da população vivia em áreas rurais. No entanto a partir do censo de 1970 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE pode-se constatar que a população urbana superara a rural [1]. Desde então, o uso e ocupação do solo, principalmente nas primeiras décadas, ocorreu de forma acelerada e desordenada.

Portanto, não havendo um planejamento adequado, gerando consequências ambientais e estruturais aos centros urbanos, como a ausência de áreas verdes, o aumento de construções residenciais e prediais (incluindo marginais à rios), o aumento de áreas asfaltadas, além de drenagens ineficientes.

Em áreas urbanizadas, o escoamento superficial das águas tende a ocorrer rapidamente [2]. O escoamento pode ser influenciado pela topografia do terreno, uso do solo, porcentagem de cobertura vegetal, entre outros fatores. É essencial compreender os fatores que influenciam o escoamento superficial em áreas urbanizadas, considerando que este é o principal responsável pelas inundações em bacias pequenas, especialmente aquelas até 10 km² [3]. Além disso, a urbanização

acelerada tem aumentado a quantidade de áreas impermeáveis, dificultando a infiltração da água e sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana [4]

A Defesa Civil de Mossoró monitora mais de 80 pontos com risco de alagamento em caso de chuvas de média a grandes proporções [5]. Dentre os pontos críticos, temos a sub-bacia que contempla a Avenida Francisco Mota e parte dos bairros periféricos da região. Esta sub-bacia passou por vários eventos de alagamentos nos últimos 10 anos, causando transtornos tanto na rodovia, quanto em habitações residências circunvizinhas (Figura 1). Dessa forma, é necessário a implantação de medidas corretivas para solucionar os problemas causados pelo possível subdimensionamento do bueiro desta sub-bacia.

É sabido que as ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), desempenham um papel crucial em estudos ambientais de bacias hidrográficas. Através dele é possível a obtenção e mapeamento das características físicas das bacias, o que é essencial para entender os fatores que contribuem para as cheias e a partir disto traçar estratégias de melhorias.

Portanto, buscou-se identificar a atual área de contribuição e analisar o dimensionamento de um canal de terra e um bueiro da sub-bacia urbana, município de Mossoró, com o objetivo de projetar e elaborar cenários que contemplem um dimensionamento eficaz para evitar alagamentos

¹ autor – Bacharel em Ciência e Tecnologia – UFERSA, Mossoró-RN; vitorp.caminha@gmail.com

² orientador – Eng. Agr. Dr. em Recursos Naturais, docente da UFERSA, Mossoró – RN; paulo.moura@ufersa.edu.br

futuros nas áreas de influências, como rodovias e áreas residenciais, aplicando uma avaliação espacial e temporal da área utilizando ferramentas de geotecnologias para realização deste estudo.



Figura 1: Alagamento no ano de 2017 na Av. Francisco Mota devido a fortes chuvas em Mossoró, Rio Grande do Norte. [6]

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Bacias hidrográficas são definidas como áreas de captação natural de águas pluviais, sendo as microbacias áreas tão pequenas que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças nos tipos de uso do solo não são suprimidas pelas características da rede de drenagem [7]. Portanto o aumento no nível pluviométrico em determinadas épocas do ano, principalmente em locais que alimentam microbacias, pode causar uma série de problemas relacionados a alagamentos, dependendo das características da bacia.

As bacias hidrográficas em áreas urbanas e rurais estão sujeitas a diversas alterações, como por exemplo a impermeabilização excessiva do solo. Esse processo causa mudanças na vazão dos cursos de água, reduz as áreas de infiltração das águas pluviais, aumenta a velocidade do escoamento superficial e contribui para o aumento na frequência de enchentes, prejudicando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos e, consequentemente, afetando as condições de vida da população [8].

A partir do crescente desenvolvimento urbano e impermeabilização do solo com a instalação de telhados, ruas, calçadas, entre outras estruturas, houve um desequilíbrio entre a precipitação e a taxa de infiltração das águas no solo. Dessa forma, a água que antes infiltrava, passou a escoar pelos condutos, elevando o índice de escoamento superficial [9].

Estima-se que a cada 10% de acréscimo de áreas impermeáveis, haja cerca de 100% de aumento no volume de escoamento superficial [10]. Isso ocorre porque, antes da urbanização, havia mais áreas florestadas, desta forma a água escoava lentamente e uma boa parcela ficava retida pelas plantas. No

entanto, com a crescente urbanização e a redução de áreas verdes em detrimento de áreas impermeáveis, a água passa a escoar no canal, desta forma exigindo uma maior capacidade de escoamento das seções no sistema de drenagem [9; 11].

Para dimensionar um sistema de drenagem de forma eficiente é necessário conhecer as particularidades da bacia de interesse, como por exemplo, sua área de contribuição, amplitude altimétrica, declividade dos cursos d'água, a forma da sub-bacia, cobertura vegetal. É importante também entender qual o tempo de concentração, pois essa variação é essencial na estimativa de vazões máximas.

O tempo de concentração é definido com o tempo necessário para que a precipitação que contribui no ponto mais distante da bacia percorra toda a sua extensão e chegue até o ponto de saída [12]. Portanto, é necessário conhecer o tempo de concentração para o planejamento e dimensionamento de sistemas de drenagem urbana, pois a partir dele podemos estimar o tempo de resposta da bacia hidrográfica frente as chuvas e dimensionar estruturas como bueiros, canais e galerias [13], podendo assim prevenir alagamentos. Outro conceito importante no dimensionamento de estruturas do sistema de drenagem, é o tempo de retorno. A partir dele podemos inferir no tempo médio entre a ocorrência de uma chuva com determinada intensidade e a sua recorrência com a mesma intensidade.

Assim como o tempo de concentração, essa medida pode ser influenciada pelas características da bacia [12], e é determinante no dimensionamento da drenagem urbana visto que se pode estimar a ocorrência de grandes eventos pluviais.

Um das maneiras de caracterizar bacias hidrográficas quanto as suas propriedades físicas é a partir da utilização de ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A utilização de SIGs nos permite mapear áreas extensas e em diferentes escalas espaço-temporal [14], o que torna viável inúmeros estudos ambientais. Através deste artifício, pode-se mensurar características morfométricas de bacias hidrográficas, mapeando a extensão da área de contribuição, o formato da bacia, sua declividade, como também a porcentagem de áreas impermeáveis [15]. Portanto, a utilização dessa ferramenta é essencial para subsidiar informações e tomadas de decisão quanto ao dimensionamento das drenagens urbanas.

Quando se conhece as características de uma bacia hidrográfica, pode-se obter um dimensionamento adequado para sistemas de drenagens específicos a partir da utilização de diversos métodos, sendo o método racional amplamente utilizado.

De acordo com Tucci [9], esse método é baseado em considerações simplificadas sobre a relação entre a intensidade da chuva e a vazão produzida em uma bacia hidrográfica. Através dele, pode-se estimar a vazão máxima de escoamento superficial que deve ser drenada pelo sistema de drenagem para evitar inundações em áreas urbanas [9]. No entanto, o método racional tradicional não é eficiente para bacias com áreas de drenagem superior a 2 km² [2; 16]. Portanto, alguns autores implementaram modificações ao método, para que se adequasse a outros tipos de bacias [por exemplo, 17)]. A partir da aplicação do Método racional modificado [17], e a utilização de SIGs, determinamos as áreas de contribuição, bem como as características da bacia, traçando cenários para evitar alagamentos em uma microbacia urbana no município de Mossoró.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo

A área estudada está localizada em uma sub-bacia hidrográfica urbana no município de Mossoró-RN, que pertence a bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró e seu exutório está localizado nas coordenadas de 05°13'10,55" S de latitude e 37°19'17,43" O de longitude. De acordo com a classificação climática de Köppen, a área de estudo possui clima semiárido do tipo BSw^h, em que a precipitação média anual é de 695,8 mm, com temperatura média anual em torno de 27,4°C, com mínima de 21°C e máxima de 36°C e a umidade relativa do ar acompanha a curva de precipitação ao longo do ano, com média relativa anual observada de 68,9% [18].

Em situações de alta intensidade de precipitações pluviométricas, o bueiro construído na Avenida Francisco Mota não consegue suportar o volume escoado das águas, ocasionando transbordamentos na avenida além de que, o canal interligado pela

galeria não consegue comportar a grande quantidade de água transportada, acarretando alagamentos nas edificações localizadas próxima a sub-bacia hidrográfica e consequentemente, problemas de drenagem, saneamento e doenças relacionadas à água.

3.2. Delimitação e caracterização física da sub-bacia hidrográfica

Primeiramente, definiu-se a área da sub-bacia hidrográfica que influencia nas vazões transportadas pelo canal de terra e que deságuam no bueiro. Logo após, delimitou-se a área da sub-bacia hidrográfica utilizando o software livre QGIS versão 3.22 [19], e com a vetorização das delimitações das bacias hidrográficas provenientes do Plano Diretor de Mossoró-RN, foi delimitado, a partir da Sub-bacia 13, a área de influência da bacia hidrográfica a montante do bueiro estudado, na qual foi restringida até as margens da Avenida Francisco Mota.

Após a delimitação da sub-bacia hidrográfica, foi realizada a caracterização física da mesma, determinando os seguintes parâmetros: área, comprimento do rio principal, comprimento vetorial do talvegue, altitude mínima da seção de drenagem, altitude máxima na bacia do talvegue, declividade do talvegue.

3.3. Cálculo da vazão máxima ou de projeto

O primeiro passo foi determinar o tempo de concentração (tc) da sub-bacia hidrográfica estudada e para isso, exportou-se o vetor resultante da área de contribuição da sub-bacia para o Google Earth e utilizando a ferramenta caminho, foi traçado o caminho percorrido pelo talvegue, que está inserido na área delimitada para a sub-bacia hidrográfica.

Após traçar o caminho, extraiu-se o perfil de elevação do talvegue, como também o seu comprimento total e a diferença de cotas entre a seção de drenagem e o ponto mais alto do talvegue. Através desses dados, calculou-se o tempo de concentração da precipitação utilizando a fórmula de Califórnia Highways and Public Works (Culverts Practice), a seguir [20]:

$$T_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Onde:

Tc = tempo de concentração, em min;

L = extensão do talvegue, em km;

H = diferença de cotas entre a seção de drenagem e o ponto mais alto do talvegue, em m.

Para a determinação da intensidade de precipitação máxima, primeiramente deve-se adotar um período de retorno. Após adotar o período de retorno, a intensidade de precipitação máxima foi determinada utilizando a equação desenvolvida por Barreto et al. [21], que foi desenvolvida pela distribuição de Gumbel para o município de

Mossoró-RN, utilizando dados de precipitação pluviométrica máxima anual de 1964 à 2011. Neste estudo, os autores obtiveram um r^2 de 0,997, evidenciando a confiabilidade dos dados. A partir do referido modelo, foi obtido a seguinte equação:

$$i = \frac{791,1160 \times Tr^{0,155}}{(t+9,789)^{0,724}} \quad (2)$$

Onde:

i = intensidade, mm/h;
 Tr = tempo de retorno, anos;
 t = duração da chuva, min;

O valor do coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de runoff (C), foi encontrado através da seguinte equação:

$$C = 0,364 \log t + 0,0042r - 0,145 \quad (3)$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento superficial ou de runoff, adimensional;

t = duração da precipitação, em min;

r = porcentagem da área impermeabilizada, em %.

Embora haja variações no valor do coeficiente de escoamento (C) devido às diferentes características do solo e da cobertura vegetal em cada bacia hidrográfica, é possível encontrar tabelas adotadas por órgãos nacionais e internacionais que estabelecem valores aproximados para o coeficiente em função da ocupação do solo. Essas tabelas podem ser utilizadas como referência para a estimativa da vazão de pico em bacias com ocupações similares. Portanto, a área de contribuição da bacia foi classificada quanto ao uso e ocupação do solo de acordo com a metodologia proposta por Wilken [22] (Tabela 1).

Tabela 1: Valores de C , segundo adaptação do critério de Fruhling, adotados pela prefeitura de São Paulo [22].

Zonas	C
Edificações muito densas: áreas centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70-0,95
Edificações não muito densas: área adjacente ao centro, de menor densidade de habitantes, porém com ruas e calçadas pavimentadas	0,60-0,70
Edificações com pouca superfície livre: áreas residenciais com construções cerradas e ruas pavimentadas	0,50-0,60
Edificações com muitas superfícies livres: áreas residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25-0,50
Subúrbios com alguma edificação: áreas de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10-0,25
Matas, parques e campo de esportes: áreas rurais, verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esporte sem pavimentação	0,05-0,20

Para o valor da duração da precipitação, deve-se utilizar o tempo de concentração, enquanto que para descobrir o valor da porcentagem da área impermeabilizada, utilizou-se a ferramenta caminho do Google Earth, traçando-se toda a área da sub-bacia, criando a partir dessa ferramenta um arquivo do tipo shapefile, onde a partir do QGIS usou-se o plugin HCMGIS para delimitar as áreas permeáveis e pouco permeáveis que ainda existem na área de abrangência da sub-bacia, que foram limitadas até a montante da Av. Francisco Mota. Com isso foi possível determinar o total de áreas impermeáveis gerando assim, a porcentagem da área impermeabilizada em toda a sub-bacia.

A partir da obtenção de todos os valores necessários, utilizou-se o Método Racional Modificado por Euclides [17], ideal para bacias urbanas com tamanho em torno de 500 hectares. Além do abranger bacias maiores, o método racional modificado se diferencia do método racional tradicional principalmente pela utilização de um de um coeficiente de retardamento evidenciado na Equação 4.

$$\phi = 0,278 - 0,00034 A \quad (4)$$

Onde,

ϕ é o coeficiente de retardamento, adimensional

A é a área da bacia, em km^2 .

Dessa forma, foram consideradas as áreas específicas de cada região para o cálculo do coeficiente adimensional. Posteriormente, a vazão máxima (Equação 5) foi calculada para cada região, utilizando o coeficiente de deflúvio específico determinado anteriormente, onde o valor do coeficiente de deflúvio usado é o valor médio da zona. Esse processo permitiu a obtenção de resultados mais precisos e representativos da realidade hidrológica de cada região delimitada

$$Q_{m\acute{a}x} = \phi \times \frac{CiA}{3,6} \quad (5)$$

Onde,

Q_{max} = vazão máxima de escoamento superficial, $m^3 s^{-1}$;

C = coeficiente de escoamento (deflúvio) superficial, adimensional;

i = intensidade máxima média de precipitação para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, mm h⁻¹;

A = área da bacia de drenagem, Km^2 .

3.4. Dimensionamentos das estruturas hidráulicas

A Avenida Francisco Mota, localizada no município de Mossoró - RN, possui um sistema de drenagem composto por três bueiros de seção retangular (Figura 2). Para o dimensionamento do sistema, foram consideradas as dimensões internas

e externas dos bueiros, bem como sua declividade partir dos dados descritos por Mauricio et al. [23]. Além disso, foram adotados os valores de coeficiente de rugosidade (n) de Manning do bueiro e do canal de terra presente na área de estudo conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Coeficientes de rugosidade de “n” (Coeficiente de Kutter) para canais abertos. Adaptado da tabela A-14.4.2-b em [24].

Tipo	Natureza das paredes	n
5	Superfícies de concreto e/ou argamassa, com pequenas imperfeições no acabamento e no alinhamento, desempenada por meios manuais com régua de madeira (*coletores de esgotos - valor usual)	0,013*
12	Canais de terra, com vegetação média, fundo com irregularidades por erosões; e assoreamentos, margens razoavelmente alinhadas	0,028

Considerando as características dimensionais e hidráulicas dos bueiros e canais de terra presentes na área de estudo, bem como as recomendações técnicas e critérios estabelecidos por Azevedo e Fernandez [24], procedeu-se com o dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem (Equação 6). Com base nas dimensões internas e externas dos bueiros, foi calculada a vazão máxima escoada por cada bueiro, levando em consideração uma altura livre mínima de 0,10H, onde H é a altura de acordo com os critérios para galerias de seção retangular. Posteriormente, somaram-se as vazões escoadas pelos três bueiros, determinando a vazão máxima atual escoada pelo conjunto de bueiros.

$$Q = \frac{\sqrt{I} \times Am \times Rh^{\frac{2}{3}}}{n} \quad (6)$$

Onde,

I = inclinação, em m/m;
Am = área molhada, em m²;
Rh = raio hidráulico, em m.
n = rugosidade de manning.

Para o dimensionamento do canal de terra, foi adotado um método empírico baseado em diretrizes estabelecidas na literatura técnica. Como as dimensões do canal não puderam ser medidas diretamente supôs-se valores ideais para suportar a vazão máxima esperada. Além disso, optou-se por adotar a seção transversal trapezoidal, que é comumente utilizada nesse tipo de obra. Para determinar as dimensões ideais do canal, variou-se seus parâmetros até que fosse encontrada uma seção transversal trapezoidal compatível com uma velocidade que não comprometesse a estrutura do talvegue a longo prazo. Visto que não existe uma norma específica que determine este valor, usualmente a velocidade máxima não erosiva adotada em obras de drenagem é de aproximadamente 4,0 m/s.



Figura 2: Bueiros que compõem o Sistema de Drenagem urbana na Av. Francisco Mota. Fonte: Autoria própria, 2023.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do delineamento realizado através de imagens de satélite disponíveis no Google Earth, foi possível delimitar a área de contribuição da bacia,

bem como seu talvegue (Figura 3). Foi evidenciado que o comprimento do talvegue é de 3,3 quilômetros, sendo 42 metros em sua maior cota e 10 metros em sua seção de drenagem (Figura 4). Além disso, a área total correspondente a bacia estudada equivale a 522 hectares.

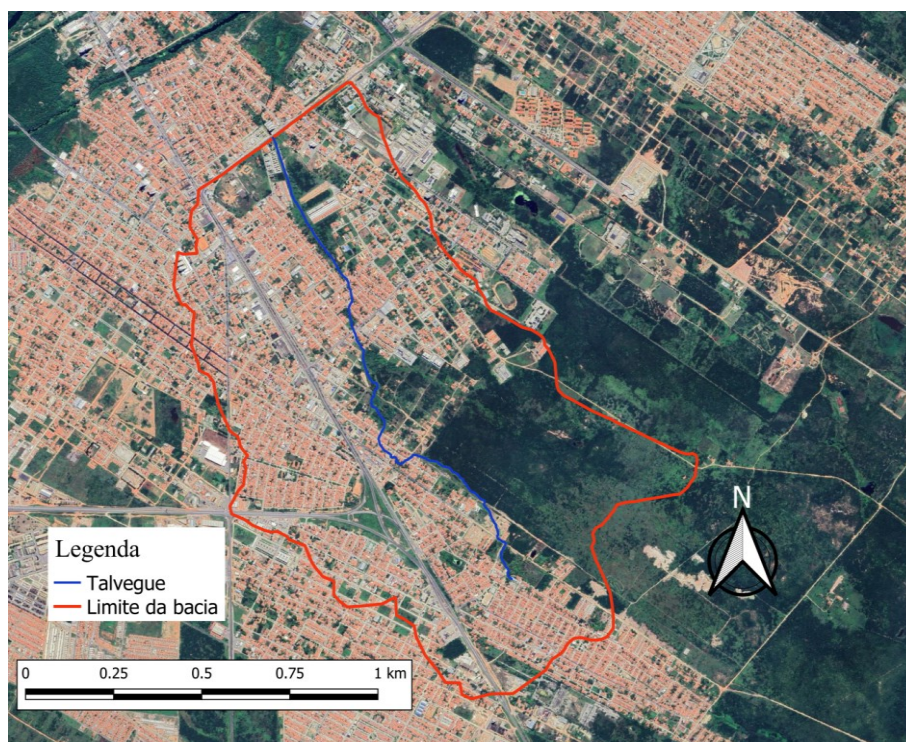


Figura 3: Limites das áreas de contribuição da bacia estudada (linha vermelha) e seu talvegue (linha azul).
Fonte: Autoria própria, 2023.



Figura 4: Modelo digital de elevação do talvegue. Fonte: Adaptado do Google Earth, 2023.

As áreas foram categorizadas em três classificações distintas (Tabela 3; Figura 5). A partir desta categorização, foi possível visualizar a distribuição espacial dessas características na área de estudo e quantificar os valores correspondentes a cada tipo de área e seus respectivos coeficientes de

escoamento superficiais. Com isso, foi possível determinar a vazão superficial (m^3/s) com seus respectivos tempos de retorno de chuva (Tabela 4). A duração da chuva foi considerada equivalente ao tempo de concentração da bacia estudada que foi de 60,23 min.

No estudo de Ramalho [25], realizado na mesma bacia deste estudo, foi encontrado um coeficiente de deflúvio de 0,48, calculado a partir da classificação de áreas impermeáveis obtidas com base em imagens de satélite do ano de 2017. Já no estudo em questão, obtivemos um valor significativamente maior com relação a este coeficiente (0,61; Tabela 3) a partir de

imagens datadas do ano de 2022. Portanto, indicando um claro aumento na impermeabilização nas áreas de influência da bacia após estes 5 anos. Vale ressaltar que, como consequência, houve o aumento na vazão máxima de escoamento na área da bacia (Tabela 4).

Tabela 3: Classificação e métricas associadas as áreas de contribuição da Bacia de acordo com o tipo de uso e ocupação.

Classificação das áreas de contribuição da Bacia	Área (ha)	Área (%)	Coeficiente de deflúvio (C)
Edificações não muito densas	57,30	11	0,65
Matas, parques e campo de esportes	149,38	29	0,125
Edificações muito densas	315,56	60	0,825
Total	522,23	100	0,61

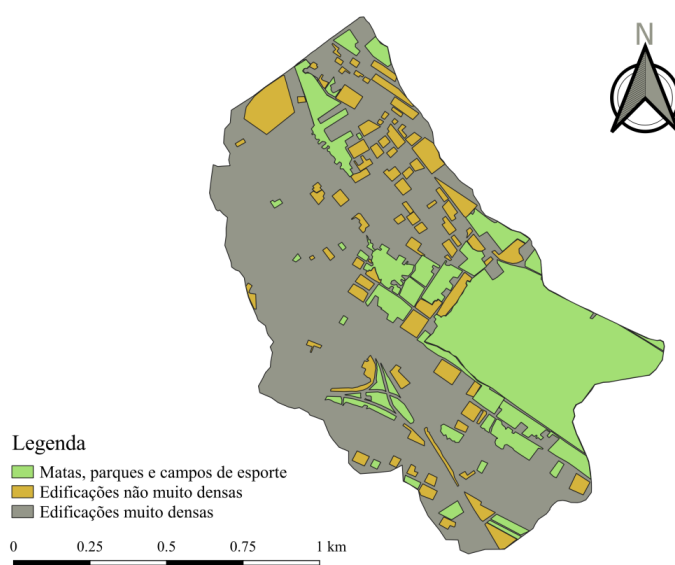


Figura 5: Classificação das áreas de contribuição da Bacia. Fonte: Autoria própria, 2023.

Tabela 4: Vazão superficial (m^3/s) mensurada de acordo com o tempo de retorno referente as classificações de uso e ocupação das áreas da bacia.

	Tempo de retorno (ano)	Edificações muito densas	Edificações não muito densas	Matas, parques e campo de esportes	Total (m^3/s)
Vazão Superficial (m^3/s)	2	8,14	1,17	0,58	9,89
	5	9,38	1,35	0,67	11,40
	10	10,44	1,50	0,75	12,69
	25	12,04	1,73	0,87	14,63
	50	13,40	1,92	0,96	16,29

Com relação ao dimensionamento das estruturas hidráulicas, a partir dos dados de inclinação, do número de rugosidade Manning e adotando uma velocidade limite do talvegue de 4 m/s foi possível encontrar as dimensões e a vazão máxima do talvegue (Tabela 5). Durante o estudo, verificou-se

que o canal de terra investigado não apresenta uma seção transversal uniforme, apresentando, em diversos trechos, estreitamentos consideráveis. Este fato é atribuído, principalmente, à sedimentação natural dos cursos d'água, bem como à utilização inadequada do solo pela população local.

Tabela 5: Dimensões e vazão máxima do Talvegue.

Canal	Coefficiente de Maninng	Comprimento (m)	Altura (m)	Ângulo (°)	Declividade (%)	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)
Trapezoidal	0,028	4	2	60	0,97	3,97	40,86

Ainda com relação as estruturas hidráulicas, Maurício et al. [23] forneceu as medidas do comprimento e altura dos bueiros abordados neste estudo como 1,20 metros e 1,05 metros, respectivamente, além de estabelecer uma inclinação de 0,18%. A partir desses dados, foi possível calcular a vazão e velocidade em cada um dos três bueiros, resultando em valores de 1,95 m³/s e 1,72 m/s, respectivamente. Em conjunto, os três bueiros apresentaram uma vazão total de 5,85 m³/s. Analisando estas particularidades, constatou-se que as dimensões dos bueiros são inadequadas para transportar as vazões máximas geradas pela área de

influência em caso de ocorrência de elevadas precipitações. Desta forma, indicamos um novo dimensionamento dos bueiros. As novas dimensões propostas devem ser aplicadas aos três bueiros que compõem o sistema de drenagem, tornando-os eficientes para que comportem chuvas com tempo de retorno de até 50 anos (Tabela 6). Portanto, quando aplicado os novos valores aos três bueiros, a vazão suportada é de 19,05 m³/s. Vale salientar que todas os outros fatores relacionados as características da bacia foram preservadas mesmo com o novo dimensionamento.

Tabela 6: Proposta de dimensionamento dos três bueiros que compõem o sistema de drenagem urbana da bacia hidrográfica localizada as margens da Av. Francisco Mota e adjacências.

Novo Bueiro	Coefficiente de Maninng	Comprimento (m)	Altura (m)	Declividade (%)	Velocidade (m/s)	Vazão (m³/s)
	0,013	2,5	1,2	0,18	2,35	6,35

5. CONCLUSÃO

Por meio do uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), foi possível realizar um levantamento abrangente da bacia e suas características com maior agilidade e precisão. Com base nesse estudo, constatou-se que ao longo do tempo, ocorre um aumento significativo na área impermeabilizada da bacia, resultando em um maior escoamento superficial máximo. Essa situação acarreta em inundações mais frequentes nas áreas circunvizinhas, acarretando prejuízos econômicos, ambientais e sociais na região. Diante desse cenário, torna-se necessário reavaliar o dimensionamento dos bueiros, uma vez que a capacidade de vazão atual é insuficiente para atender às demandas de drenagem necessárias. A fim de mitigar os impactos negativos das inundações, é fundamental considerar um projeto de dimensionamento adequado, que leve em conta os parâmetros hidrológicos e hidráulicos relevantes, além de considerar a capacidade de escoamento necessário para a área em questão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 1970. Rio de Janeiro: IBGE, 1970.
- [2] TUCCI, C. E. M. *Inundações urbanas*. 1ed. Porto Alegre: ABRH. v. 1, 352p., 2007.
- [3] TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. Estudos Avançados, [S. l.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

Disponível em:
<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295>.

- [4] TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. Ciência e cultura, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

- [5] DUARTE, W. Defesa Civil monitora pontos críticos durante forte chuva em Mossoró. Disponível em:

<<https://www.prefeiturademossoro.com.br/noticia/defesa-civil-monitora-pontos-criticos-durante-forte-chuva-em-mossoro>>. Acesso em: 5 fev. 2023.

- [6] BARROS, R. S.; Figura 1. Mossoró. 2017.

- [7] LIMA, W. P; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP/FAPESP, 2000.

- [8] OLIVEIRA, P. C. A.; RODRIGUES, S. C. Utilização de cenários ambientais como alternativa para o zoneamento de bacias hidrográficas: estudo da bacia hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia MG. Sociedade & Natureza, v. 21, p. 305-314, 2009.

- [9] TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. [s.l.] Editora da Universidade Federal do Rio de Janeiro., 1995.

- [10] TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

- [11] CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. Engineering Sciences, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2020.

-
- [12] SANTOS, J. B.; FERREIRA, L. V. Drenagem urbana. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- [13] CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Applied hydrology. New York: McGraw-Hill, 1988.
- [14] VEIGA, A. J. P. et al. Análise do uso e cobertura da terra em Itapetinga no estado da Bahia, Brasil, com uso de Sensoriamento Remoto e SIG. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 9, p. 73928-73947, 2020.
- [15] BARBOZA, E. N. et al. Caracterização hidrológica de uma bacia hidrográfica urbana no Ceará utilizando Sistema de Informações Geográficas–SIG. Research, Society and Development, v. 11, n. 2, p. e40811225440-e40811225440, 2022.
- [16] TUCCI, C. E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005.
- [17] EUCLYDES, H.P. Saneamento Agrícola. Atenuação de Cheias: metodologia e projeto. Belo Horizonte: Rural Minas, 320 p., 1987.
- [18] ROCHA, A. B. Proposta metodológica de gestão dos espaços-riscos de inundações urbana em Mossoró-RN. 2015. 171 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE.
- [19] QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, versão 3.22. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- [20] KIRPICH, T.P. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. J. of Civ. Eng., v.10, n.6, p. 362, 1940.
- [21] BARRETO, H. B. F. et al. Análise da precipitação máxima e relação intensidade-duração-frequência para Mossoró-RN. Acta Iguazu, v. 2, n. 4, p. 87-95, 2013.
- [22] WILKEN, P. S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: Companhia Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978.
- [23] MAURÍCIO, R.A.; CHAVES, S.W.P.; SILVA, P.C.M. Avaliação da drenagem urbana em uma sub-bacia do município de Mossoró-RN. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró-RN.
- [24] AZEVEDO, J. M. N.; FERNANDEZ, M. F.Y. Manual de Hidráulica. 9. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 632p., 2015.
- [25] RAMALHO, D. C. L. Escoamento superficial em bacia urbana em função da dinâmica temporal do uso e ocupação do solo. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró-RN.