



Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Geografia - UFPR

ANÁLISE DE CHEIAS NO CENTRO URBANO DE LAVRAS DA MANGABEIRA – CE

FLOOD ANALYSIS IN THE URBAN CENTER OF LAVRAS DA MANGABEIRA – CE

(Recebido em 15-05-2020; Aceito em: 27-01-2021)

Osires de Medeiros Melo Neto

Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, Brasil
osiresdemedeiros@gmail.com

Moisés Torquato Gonçalves

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, Brasil
moisestor4@gmail.com

Ricardo de Aragão

Doutor em Engenharia pela *Ehime University*
Professor da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, Brasil
ricardoaragao@yahoo.com

Resumo

Casos de inundações são muito comuns no Brasil, principalmente em cidades que se originaram nas proximidades de grandes rios. Decorrentes de enchentes em rios, as inundações acarretam prejuízos e perdas socioeconômicas quando as grandes cheias acontecem, e a elaboração de medidas para controle deve considerar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve. Na elaboração deste estudo, buscou-se analisar as causas de inundações no município de Lavras da Mangabeira, Ceará, por meio do levantamento de dados e simulações no software IPHS1. O modelo hidrológico IPHS1 consegue simular o hidrograma observado e fornecer valores de vazões que, apesar das limitações de dados e recursos do software, permitem analisar a área em questão. Os resultados obtidos configuram a bacia com tendência mediana a enchentes, porém com uma grande área de contribuição, baixa declividade e alto tempo de concentração, o que favorecem a situação de transbordamento da calha do canal, causando inundações.

Palavras chave: Inundações urbanas; Modelo hidrológico; Rio Salgado.

Abstract

Cases of Flooding are very common in Brazil, especially in cities that originated near large rivers. As a result of river flooding, floods cause damages and socioeconomic losses when major floods

occur, and the elaboration of control measures must consider the hydrographic basins over which urbanization develops. In the preparation of this study, we sought to analyze the causes of flooding in the municipality of Lavras da Mangabeira, Ceará, through data collection and simulations using IPHS1 software. The IPHS1 hydrological model is able to simulate the observed hydrograph and provide flow values that, despite the limitations of data and software resources, allow to analyze the area in question. The results obtained configure the basin with a median tendency to flood, but with a large contribution area, low slope and high concentration time, which favor the situation of overflowing of the channel trough, causing flooding.

Key words: Urban flooding; Hydrological model; Salgado River.

Introdução

As enchentes são resultado do transbordamento de água dos rios que têm a capacidade e sua calha superadas devido às chuvas intensas. Embora os rios possuam ao longo de sua trajetória as chamadas planícies de inundação, que são áreas nos limites de suas margens para as quais extravasam a sua vazão durante alguns períodos de fortes chuvas, elas podem não ser suficientes para comportar a vazão, causando inundações. Uma inundação é o resultado de uma enchente que ocupa a várzea e inunda as áreas próximas aos cursos de água, em função da topografia, causando, em sua maioria, prejuízos consideráveis e irreparáveis para a população após a ocorrência.

Um conjunto de fatores pode ser relacionado à ocorrência de inundações, e, dentre esses fatores, um dos mais preocupantes é a falta de planejamento para ocupação de bacias hidrográficas, resultando na ocupação de áreas consideradas de risco de inundação (BORGES, 2013). A elaboração de métodos para controles de enchentes de uma cidade ou região deve considerar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve. A associação de diversos meios e estudos interdisciplinares pode garantir um desenvolvimento sustentável e racional, possibilitando o crescimento e desenvolvimento urbano adequado, além de acarretar melhoria de vida para a população (TELLES; RODRIGUES; SILVA NETO, 2017).

A realização deste estudo é desenvolvida por intermédio do levantamento de dados, materiais obtidos junto ao Comitê da sub bacia hidrográfica do Rio Salgado (CBHS), à Companhia de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) e também material fornecido por técnicos e especialistas da área de atuação, bem como artigos, dissertações e teses vinculadas ao tema, para por meio do uso de ferramentas computacionais poder chegar ao resultado desejado.

A escolha dessa cidade justifica-se pela mesma relatar situações de inundações, desde sua fundação em 1816, acarretando destruições de casas, plantios, lavouras e outros danos socioeconômicos. O fato ocorrido no ano de 2008 merece destaque, no qual o município apresentou estado de calamidade pública devido às catástrofes registradas.

Desse modo, o estudo objetiva analisar as causas de inundações no município de Lavras da Mangabeira – CE por meio do software IPHS1, avaliando as características físico-geográficas da bacia e, também, o comportamento das vazões em períodos de cheias com auxílio de métodos computacionais.

Materiais e Métodos

Caracterização da área de estudo

Lavras da Mangabeira é um município localizado no estado do Ceará, na microrregião que leva o seu nome e região metropolitana do Cariri. A cidade possui área de 945,263 km² e população de 31.492 habitantes (IBGE, 2020). Como muitos municípios dessa localidade, sofre de tempos em tempos com as cheias que, embora raras devido ao clima semiárido predominante, acarretam várias perdas materiais e impactos socioeconômicos.

A cidade está inserida na denominada micro-bacia IV da sub-bacia do rio Salgado, esta que integra a Bacia do Rio Jaguaribe, localizada ao Sul do Estado do Ceará. A sub-bacia do Salgado, possui área de drenagem de 12.865 km², correspondente a 8,25% do território cearense, sendo o seu principal rio o Salgado.

A complexidade da sub-bacia se dá pelo contraste de biomas, onde de um lado a caatinga cinza se sobressai e do outro, no vale do Cariri, a chapada com abundância de água e floresta pluvionebular precisa ser preservada. Apesar do contraste, o ecossistema predominante é a Caatinga, caracterizada pela vegetação escassa que perde sua folhagem durante os períodos de estiagem.

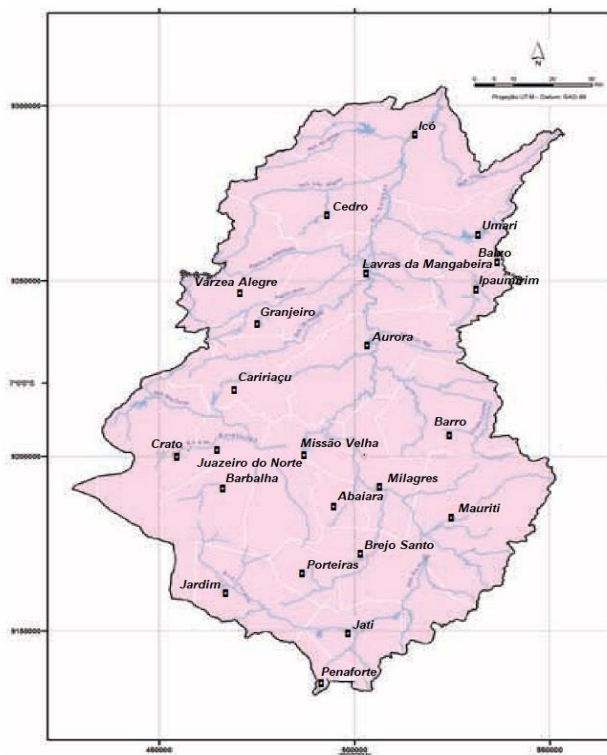
A consolidação da oferta hídrica no rio Salgado engloba 10 (dez) dos 13 (treze) principais reservatórios da sub-bacia, aqueles que possuem capacidade maior que 10 milhões de metros cúbicos, tendo em vista que os açudes com capacidade inferior a esse valor têm como principal função a acumulação de volumes de água que ficam estocados após a estação chuvosa (de fevereiro a maio), para serem depois utilizados na estação seca (demais meses) do ano. Não servem, no entanto, como reservas interanuais, pois quando da ocorrência de anos secos consecutivos, tais reservatórios não apresentam volumes para o atendimento às demandas (COGERH, 2007). A Figura 01 apresenta a sub-bacia do Salgado e seus principais afluentes.

Localização geográfica

A sub-bacia do rio Salgado posiciona-se na porção meridional do estado, limita-se a oeste com a sub-bacia do Alto Jaguaribe, ao sul com o estado de Pernambuco, ao leste com o estado da Paraíba

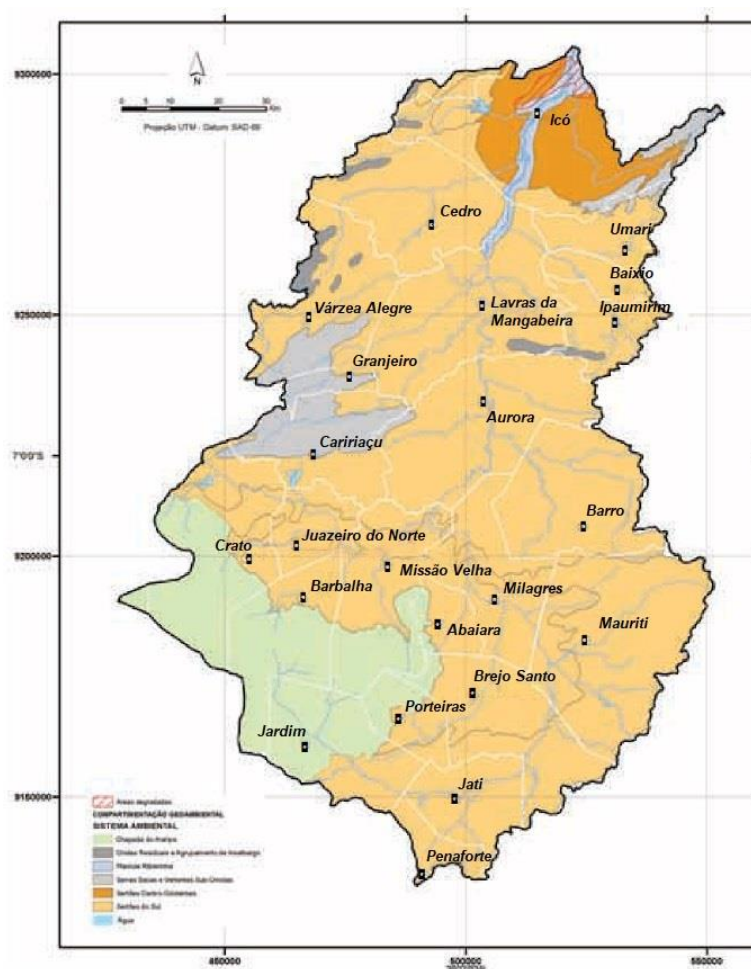
e a nordeste com a sub-bacia do Médio Jaguaribe. A Figura 02 apresenta sua compartimentação geoambiental.

Figura 1: Sub-bacia do Salgado.



Fonte: Caderno regional da sub-bacia do Salgado (2009).

Figura 1: Compartimentação geoambiental da sub-bacia do Salgado.



Fonte: Caderno regional da sub-bacia do Salgado (2009).

Clima

De modo geral, o clima da Bacia do Rio Salgado é caracterizado pela ocorrência de dois períodos definidos: um mais longo e seco, seguido por um período pluvial curto e irregular, que nem sempre acontece. As temperaturas são elevadas, possuindo média para o mês mais frio acima de 18°C, devido às baixas latitudes (RIBEIRO, 2017).

O período chuvoso de maior significância na região do Cariri, onde está localizada a Sub-Bacia do Rio Salgado, inicia-se em dezembro podendo estender-se até julho, dependendo das condições oceânicas e atmosféricas atuantes. A região é influenciada pelos sistemas e fenômenos climáticos mencionados anteriormente no tocante aos índices de precipitação.

As bacias hidrográficas do estado do Ceará apresentam certas características comuns intimamente ligadas à pluviosidade; junto aos relevos das serras e dos seus sopés são favorecidas pelas precipitações mais elevadas e melhor distribuídas, tendo os cursos d'água sua drenagem

assegurada durante quase todo o ano; ao contrário, junto aos relevos aplainados dos sertões, os rios secam no fim da estação chuvosa (RIBEIRO, 2017).

Relevo

Inserida na região delimitada pela Sub-Bacia do Rio Salgado está a Bacia Sedimentar do Araripe, sobre a qual se localiza a Chapada do Araripe, que possui níveis altimétricos entre 800 m e 900 m, assim como arenitos Cretáceos da Formação Exu como mantenedor do relevo. Além disso, sua drenagem é de caráter intermitente e rica em recursos subterrâneos (COGERH, 2007).

Ao longo da borda norte-oriental dessa chapada, desenvolve-se a região do Cariri Cearense, que se apresenta como um brejo de encosta e de vales espraiados, decorrentes de uma ramificação generalizada da drenagem (FUNCEME, 2009). Com a área da chapada e do seu entorno imediato sendo excluídos, grande parte da sub-bacia tem uma superfície de aplainamento com topografia plana e moderadamente dissecada em rochas cristalinas com níveis altimétricos entre 200 m e 400 m, apresentando regime fluvial intermitente e esporádico com baixo potencial de águas subterrâneas.

Há um contraste nítido no que diz respeito ao relevo entre dois macrocompartimentos: o da Superfície de Cimeira da Chapada do Araripe (800 m – 900 m) e a Depressão Sertaneja (350 m – 450 m). Na Depressão Sertaneja emergem, topograficamente, níveis serranos dos maciços cristalinos e as cristas residuais, e expandem-se as planícies fluviais.

Nas vertentes da chapada, o Rio Salgado possui declividades muito acentuadas que vão se tornando mais suaves à medida que se aproxima da Depressão Sertaneja, onde as declividades do talvegue variam de 0,1% a 8%, sendo a média 0,18%.

Devido às variações geológicas, existe uma grande variedade de solos nessa sub-bacia. Na região da Chapada do Araripe, parte sul da bacia, há predomínio de solos mais profundos com domínio de Latossolos derivados de arenito da Formação Exu. No sopé da chapada, entorno de municípios como Crato, Juazeiro e Barbalha, predominam solos profundos, avermelhados, com média fertilidade natural e boas condições para o uso agrícola. Nesse ambiente ocorrem, predominantemente, solos do tipo Argissolos Vermelhos. A limitação para fins agrícola decorre do relevo movimentado em algumas áreas. Na Depressão Sertaneja, localizada mais ao norte da sub-bacia, onde predominam rochas cristalinas ácidas, devido às condições climáticas, ocorrem solos rasos a pouco profundos, com diversas restrições para uso agrícola (FUNCEME, 2009).

Os solos predominantes na Sub-Bacia são os Neossolos Flúvicos, Litossolos, Luvisolos, Argissolos, Planossolos, Nossolos Litólicos e Vertissolos.

Geomorfologia

O território cearense possui sua compartimentação topográfica proveniente de eventos que se verificaram no Período Pleistocênico, os quais causaram maior caracterização para análise dos fatos geomorfológicos. Essa compartimentação com relevos desenvolvidos em terrenos do embasamento cristalino, ou em áreas de capeamentos sedimentares, decorre de um jogo de influências em que participam a estrutura geológica ao lado dos fatores paleoclimáticos e eustáticos, além da dinâmica morfogenética atual (SOUZA et al., 1979).

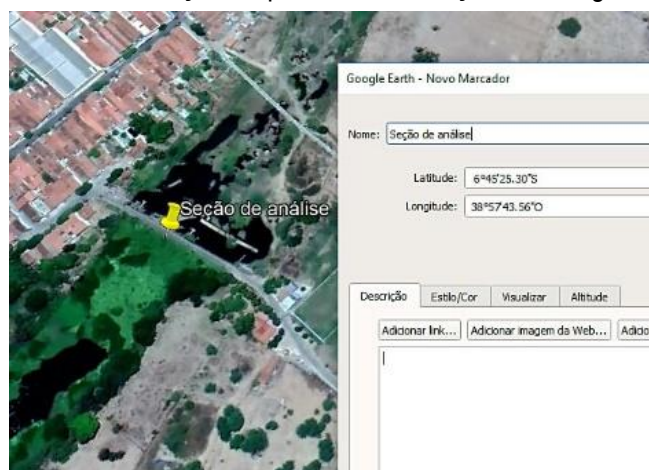
De acordo com Souza et al. (1979), o relevo cearense engloba compartimentos bastante diferenciados que se justificam por mecanismos genéticos complexos. Porém, há prevalência das superfícies rebaixadas do sertão recobertas por Caatinga, que compreendendo extensas depressões periféricas de bordos de bacias sedimentares em contato com rochas do escudo cristalino, estendem-se no sentido dos fundos dos vales ou dirigem-se para o litoral por meio de declives suavemente inclinados. Essas depressões, que atestam os efeitos pronunciados dos processos erosivos a que estiveram submetidas no Pleistoceno, são constantemente interrompidas pelo surgimento de formas residuais elevadas que constituem os relevos serranos. Assim, o atual estado do relevo cearense é resultado das ações conjuntas dos processos de remoção da superfície por processo erosivo perante a tectônica e mudanças climáticas.

Seção de análise e delimitação da área de contribuição

Parâmetros como lâminas de precipitação, tempo de concentração, valor de CN e áreas são necessários para a simulação do evento de cheia no software IPHS1. Para a obtenção dos parâmetros necessários, fez-se inicialmente a delimitação da bacia hidrográfica até o ponto de inundação, de modo a saber a área de contribuição, declividade e tipo de solo.

Com o auxílio do software Google Earth Pro, determinou-se a seção de análise, conforme consta na Figura 03, sendo o ponto onde ocorrem as primeiras inundações a barragem localizada no centro do município, construída com a finalidade de permitir o tráfego de veículos através do Rio Salgado. As coordenadas do ponto são (6° 45' 25.30" S) de latitude e (38° 57' 43.56" O) de longitude.

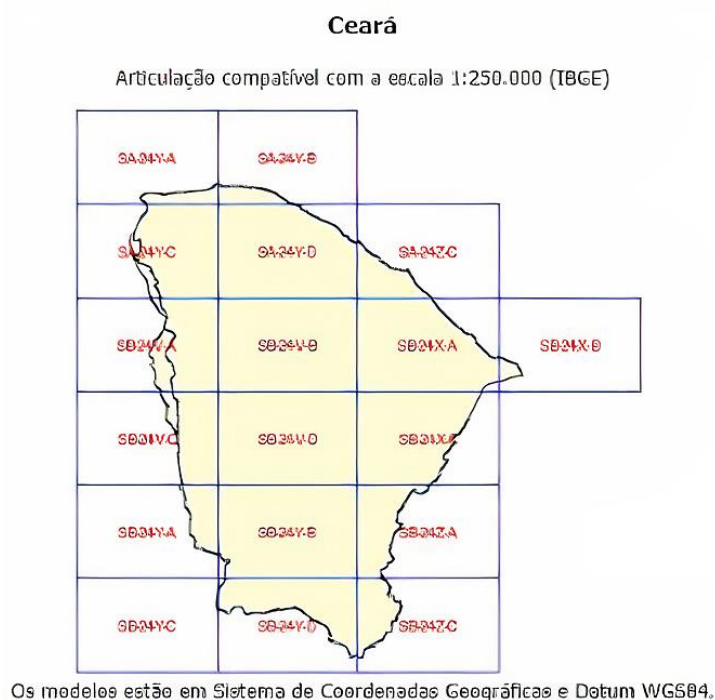
Figura 2: Determinação do ponto de inundação no Google Earth Pro.



Fonte: Google (2018).

Para a delimitação da bacia, foi utilizada a base de dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil, obtidos via dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com uma escala de 90 m x 90 m por pixel (MIRANDA, 2005) e apresentados na Figura 04. Os dados utilizados foram obtidos em formato GEOTIFF (16 bits), em coordenadas geográficas e Datum WGS84, resultando no mosaico feito a partir dos quadrantes SB-24Y-B, SB-24-Z-A, SB-24-Y-D e SB-24-Z-C.

Figura 3: Disposição de dados do SRTM no site da Embrapa - Brasil em relevo.



Fonte: Embrapa (2018).

Com a ferramenta QGIS, delimitou-se a bacia a partir do ponto de inundação, tendo como resultado a área de contribuição, apresentada na Figura 05, podendo ser observada a vegetação e ocupação do solo da área.

Figura 4: Área de contribuição para o ponto de inundação determinado.



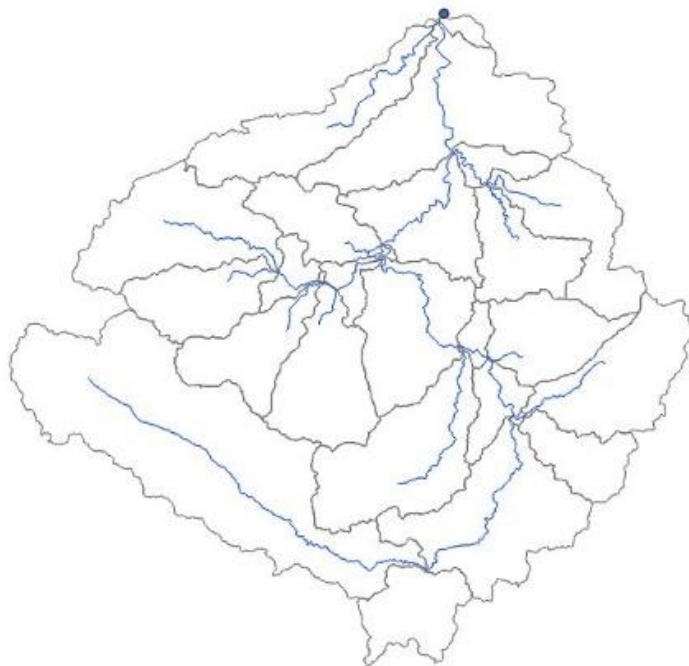
Fonte: Autores (2020).

O valor de área de contribuição obtido foi de 9307,58 km², altitude da seção de análise de 237 m, ponto mais alto da bacia com altitude de 968 m e distância do ponto de inundação ao ponto mais extremo da bacia de 124 km, podendo determinar, de acordo com os dados, que a declividade máxima é de 5,9 m/km.

Discretização da bacia de contribuição em sub-bacias

Devido às grandes dimensões da bacia, fez-se necessária a divisão em sub-bacias de forma a facilitar os cálculos e tornar o estudo da área mais preciso. Nesse processo, as sub-bacias foram determinadas a partir de cálculos em softwares levando em consideração as posições altimétricas e delimitando áreas de contribuição para os talwegues principais, conforme a Figura 06.

Figura 05: Delimitação de sub-bacias (cinza) e talvegues (azul).

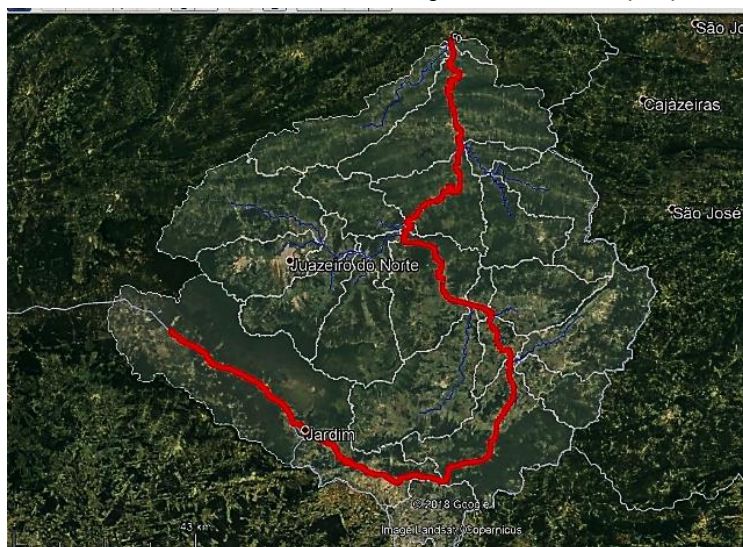


Fonte: Autores (2020).

Tempo de concentração das sub-bacias

O tempo de concentração das sub-bacias foi obtido com o auxílio do software QGIS e do software Google Earth. Após a delimitação, a bacia foi subdividida em várias sub-bacias para um estudo mais específico de cada área. Os talvegues que formam os riachos e rios até a seção de análise determinada foram destacados, como pode-se observar na Figura 07.

Figura 06: Delimitação de sub-bacias e talvegues, com destaque para o principal.



Fonte: Autores (2020).

Com a delimitação dos talwegues pronta, fez-se a análise do talvegue principal. Para a determinação da declividade, foram utilizadas duas metodologias:

A primeira corresponde à Declividade simples (S_s) – obtida pela divisão do desnível máximo (Δh) pelo comprimento do talvegue principal (L):

$$S_s = \frac{\Delta H}{L} = \frac{620}{265,65} = 2,33 \text{ m/km}$$

A segunda à Declividade equivalente constante (S_e) – declividade uniforme cujo tempo de translação da água é o mesmo do perfil longitudinal irregular natural, calculada por meio da equação:

$$S_e = \left(\frac{L}{\sum_{j=1}^n \frac{l_j}{\sqrt{S_j}}} \right)^2$$

$$= \left(\frac{87,7 + 48,6 + 14,8 + 7,49 + 31,3 + 5,53 + 35,1 + 33,9 + 1,23}{\frac{87,7}{\sqrt{4,82}} + \frac{48,6}{\sqrt{1,67}} + \frac{14,8}{\sqrt{0,68}} + \frac{7,49}{\sqrt{1,07}} + \frac{31,3}{\sqrt{0,83}} + \frac{5,53}{\sqrt{1,08}} + \frac{35,1}{\sqrt{0,71}} + \frac{33,9}{\sqrt{1,09}} + \frac{1,23}{\sqrt{3,25}}} \right)^2$$

$$= \left(\frac{265,65}{217,2} \right)^2 = 1,50 \text{ m/km}$$

De modo semelhante, para o cálculo do tempo de concentração foram utilizadas duas metodologias:

A equação empírica de Kirpich, sendo:

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} = 57 \times \left(\frac{265,65^3}{620} \right)^{0,385}$$

$$tc = 3026,09 \text{ minutos} = 50,4 \text{ horas}$$

E a equação elaborada pelo US Corp of Engineering, sendo:

$$tc = 60 \times 0,191 \times \left(\frac{L^{0,76}}{\left(\frac{\Delta H}{1000 \times L} \right)^{0,19}} \right) = 60 \times 0,191 \times \left(\frac{265,65^{0,76}}{\left(\frac{620}{1000 \times 265,65} \right)^{0,19}} \right)$$

$$tc = 2521,88 \text{ minutos} = 42,03 \text{ horas}$$

Valores do Curva-Número (CN)

O valor de CN da bacia foi determinado seguindo a orientação de Tucci (2004), fazendo-se a média ponderada dos coeficientes de acordo com a área em que elas ocupam.

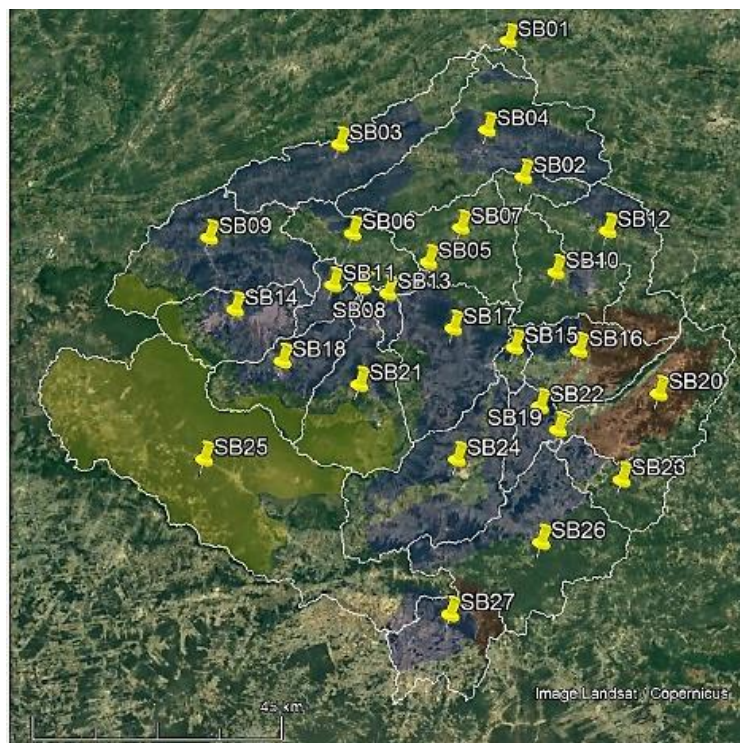
Inicialmente, obteve-se as classes de solo do estado do Ceará, por meio do portal do IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, onde foi possível identificar as classes inseridas na bacia de contribuição anteriormente determinada.

Com posse dessas informações, relacionou-se as classes de solo com seu grupo hidrológico como propôs Santori et al. (2005). De acordo com as delimitações da bacia de contribuição apresentadas anteriormente, as classes de solo nela presentes e seus respectivos grupos hidrológicos são:

- LVd – Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico → Grupo A;
- Podzólico Vermelho – Amarelo Distrófico → Grupo C;
- Vertissolo → Grupo D;
- Solos Aluviais Eutróficos → Grupo C;
- Solos Litórficos Eutróficos → Grupo D;
- Solos Litórficos Eutróficos e Distróficos → Grupo D;
- Areias Quartzozas Distróficas → Grupo B;
- Bruno Não - Calcário → Grupo D.

Sequencialmente, identificou-se as áreas das sub bacias e seus grupos de solos pertencentes. As áreas foram destacadas com uma cor aplicada em 25% de opacidade para posterior análise do uso, de acordo com o grupo de solo. A ferramenta utilizada foi o Google Earth Pro e o resultado pode-se observar na Figura 08.

Figura 8: Identificação dos grupos de solo e suas respectivas sub-bacias.



Fonte: Autores (2020).

As áreas foram dispostas na Tabela 1, onde pode-se observar a predominância de solo do Grupo D. Mesmo sendo um grupo predominante, os demais caracterizam uma área considerável, optando-se pela utilização da transparência nas cores para facilitar a análise do solo de acordo com o grupo pertencente, obtendo-se assim mais precisão nos valores de CN. Valores em branco na Tabela 1 significam que não há área do respectivo grupo na sub-bacia em questão.

Tabela 1: Áreas dos grupos de solo e totais das sub-bacias.

Sub bacia	Área total (km²)	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D
SB01	35,04				35,04
SB02	95,46			27,50	67,96
SB03	474,91			374,00	100,91
SB04	749,02			401,70	347,32
SB05	7,62			7,62	
SB06	253,52			49,40	204,12
SB07	372,83			3,70	369,13
SB08	2,79			2,79	
SB09	588,72	64,80		357,00	166,92
SB10	297,92		7,74	26,90	263,28
SB11	86,11			86,11	
SB12	397,46		60,90	76,00	260,56
SB13	70,77			70,77	
SB14	311,91	45,70		204,00	62,21
SB15	53,47			26,80	26,67
SB16	319,47		152,00	55,70	111,77
SB17	478,24			332,00	146,24
SB18	312,14	54,50		175,00	82,64
SB19	4,15			4,15	
SB20	464,37		247,00		217,37
SB21	417,18	168,00		118,00	131,18
SB22	130,38			130,38	
SB23	209,60			45,30	164,30
SB24	602,11			407,00	195,11
SB25	1655,19	1171,00		31,20	452,99
SB26	647,53		20,40	228,00	399,13
SB27	269,67		35,30	138,00	96,37
Total	9307,58	1504,00	523,34	3379,02	3901,22
% do total	100%	16,2%	5,6%	36,3%	41,9%

Fonte: Autores (2020).

Após a análise minuciosa das áreas em seus grupos de solo e seu respectivo uso, foi possível elaborar uma tabela para a ponderação do CN. A Tabela 2 apresenta o resultado do valor de CN característico para cada sub bacia e o CN característico de toda bacia de contribuição.

Tabela 2: Áreas e CN's das sub-bacias.

Sub bacia	Área (km ²)	CN	Sub bacia	Área (km ²)	CN
SB01	35,04	83	SB16	319,47	74
SB02	95,46	82	SB17	478,24	77
SB03	474,91	79	SB18	312,14	69
SB04	749,02	80	SB19	4,15	83
SB05	7,62	72	SB20	464,37	72
SB06	253,52	81	SB21	417,18	63
SB07	372,83	80	SB22	130,38	74
SB08	2,79	73	SB23	209,60	78
SB09	588,72	71	SB24	602,11	77
SB10	297,92	80	SB25	1655,19	50
SB11	86,11	83	SB26	647,53	80
SB12	397,46	78	SB27	269,67	78
SB13	70,77	72			
Área total =		9307,58	CN da bacia =		71

Fonte: Autores (2020).

Método de Propagação do Escoamento

Na representação dos rios e afluentes, o IPHS1 pede algumas informações que, por meio de um método de cálculo, pode-se representar um canal para a propagação do escoamento. O método escolhido foi o de Muskingum-Curge Linear pela simplicidade dos dados exigidos. Foram inseridos os dados a seguir, para cada sub bacia, no programa:

- Comprimento do trecho de propagação (em metros): equivalente ao comprimento do talvegue principal;
- Cota de fundo de montante (em metros), a cota de fundo de jusante (em metros): obtidas em função da declividade da sub bacia e da profundidade do trecho em questão;
- Largura do canal (em metros): obtida por meio do resultado da média de trechos medidos com a ferramenta *Google Earth*;

- Rugosidade dos sub-trechos: utilizado o valor de 0,125 recomendado por *Manning* para margens espriadas com muita vegetação em condição regular.

Os valores de “Vazão de referência”, “Número de Sub-Trechos” e “Intervalo de Tempo de Cálculo” foram obtidos automaticamente pelo IPHS1. A Figura 09 mostra a janela do programa em questão preenchida.

Figura 9: Janela de parâmetros para cálculo da propagação do escoamento pelo método *Muskingum - Cunge*.

Muskingum - Cunge Linear	
Comprimento do Trecho de Propagação (m):	350
Cota de Fundo de Montante (m)	12
Cota de Fundo de Jusante (m)	6
Altura do Canal (m)	5
Largura do Canal (m):	70
Rugosidade dos Sub-Trechos:	0.03
Vazão de Referência (m³/s):	☒ Auto 0
Número de Sub-Trechos:	☒ Auto 0
Intervalo de Tempo de Cálculo (seg):	☒ Auto 0
Ok Cancelar	

Fonte: Autores (2020).

Transformação chuva-vazão

A simulação do evento no software IPHS1 exige a inserção de dados onde no programa intitula-se “Postos de Chuva”. Os dados inseridos nesse campo são referentes às informações obtidas a partir do histórico diário de chuvas registrado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Chuvas entre os anos de 1999 a 2017 foram analisadas por possuírem dados mais recentes e maiores registros durante o período.

Dentre o período estipulado, analisou-se por meio do banco de dados da FUNCEME os anos que tiveram precipitações observadas próximas ao valor da precipitação “normal” para o ano (normal climatológica adotada no calendário de chuvas considerando dados do período de 1970 a 1998) e com valores acima de 30% da precipitação normal anual da bacia do Rio Salgado. Esse último coincidindo com os anos nos quais houve as inundações mais recentes no município de Lavras da Mangabeira.

Na Tabela 3, destacaram-se os anos de 1999, 2006 e 2014 com suas chuvas mais próximas a normal (em azul), e os anos de 2004, 2008 e 2011 com chuvas consideravelmente acima do normal (em verde).

Tabela 3: Valores de precipitações normais e observadas entre os anos de 1998 e 2017 para a bacia do rio Salgado.

Ano	Precipitação normal (mm)	Precipitação observada (mm)	Desvio (%)
1998	879,4	565,6	-35,7
1999	879,4	915,7	4,1
2000	879,4	971,8	10,5
2001	879,4	690,1	21,5
2002	879,4	811,8	-7,7
2003	879,4	755,0	-14,2
2004	879,4	1160,6	32,0
2005	879,4	671,4	-23,7
2006	879,4	929,4	5,7
2007	879,4	684,8	-22,1
2008	879,4	1261,9	43,5
2009	879,4	1031,6	17,3
2010	879,4	775,8	-11,8
2011	879,4	1186,5	34,9
2012	879,4	511,2	-41,9
2013	879,4	747,2	-15,0
2014	879,4	833,9	-5,2
2015	883,3	568,9	-38,4
2016	876,4	653,5	-25,4
2017	876,4	728,7	-16,9

Fonte: Adaptado de FUNCEME (2018).

Uma vez definidos os anos para análise, realizou-se o levantamento de dados de chuva diária para cada ano e para cada município, por meio do banco de dados da ANA, de forma a ponderar as contribuições de cada posto de chuva para a sub-bacia pertencente.

Desse modo, calculou-se a contribuição de cada município em sua sub-bacia respectiva e os valores foram inseridos no software IPHS1 como coeficientes de Thiessen, conforme mostra a Figura 10.

Figura 70: Ponderação das contribuições dos pontos de chuva de cada município em sua respectiva sub-bacia.

SB05		
	Total	Municípios
		Missão Velha
Área	7.62	7.62
% na SB	1.00	1.00

SB06				
	Total	Municípios		
		Caririçu	Aurora	Missão Velha
Área	253.52	180.42	29.20	43.90
% na SB	1.00	0.71	0.12	0.17

SB07				
	Total	Municípios		
		Aurora	Barro	Milagres
Área	478.24	334.34	49.30	94.60
% na SB	1.00	0.70	0.10	0.20

SB08		
	Total	Municípios
		Missão Velha
Área	2.79	2.79
% na SB	1.00	1.00

Sub-Bacia

Nome: SB06

Comentários:

Possui Dados O

Tipo de Oper

...

Tr

Hi

Qk

Transformação Chuva-Vazão

Área da Bacia (km²): 253.52

Tempo de Concentração (min): 239.01

Calcular

Postos de Chuva e Coeficientes de Thiessen:

Aurora_bt	0.12
Barro_bt	0.00
Caririçu_bt	0.71
Missão_bt	0.17

Reordenar tormenta de projeto por blocos alternados ?

Não Reordenar

Reordenar

Separação do Escoamento:

Propagação do Escoamento Superficial:

IPH II	HU dado (1mm, DT)
☒ SCS	☒ Hidrograma Triangular (SCS)
HEC1	HYMD (Nash modificado)
Índice Ø	CLARK
HOLTAN	

Propagar Escoamento de Base ?

Sim

Não

OK

Cancelar

Fonte: Autores (2020).

Os dados dos postos de chuva foram as precipitações acumuladas durante o ano, e, seguindo orientação, foram selecionadas as opções de tormenta acumulada e reordenar tormenta de projeto por blocos alternados. Após feito um diagnóstico geral do projeto com todas as devidas informações inseridas, realizou-se a simulação para a bacia de contribuição em questão.

Resultados e Discussões

Inicialmente, pela análise do talvegue principal da área de contribuição obteve-se declividades baixas, sendo 2,33 m/km pelo método da declividade simples e 1,5 m/km pelo método da declividade equivalente constante. Tais valores, quando analisados para bacias rurais, representaram maior duração para que a precipitação efetiva percorra todo o percurso do talvegue até chegar ao exutório, o que é confirmado pelos valores obtidos para o tempo de concentração.

Os resultados obtidos pelos dois métodos utilizados para calcular o tempo de concentração foram 50,4 horas para o método de Kirpich e 42,03 horas para o método de US Corp of Engineering, mostrando o elevado tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial na seção em análise. Os fatores que influenciaram tais resultados foram a forma da bacia e sua declividade média, aliados com o comprimento e a declividade do curso principal e afluentes.

De mesmo modo, os resultados do cálculo de CN, que representa características físicas do uso do solo, compactuam com os resultados anteriores de declividade e tempo de concentração. A Tabela 4 mostra o resultado do cálculo para o CN da área de contribuição.

Tabela 2: Resultado do cálculo de CN para a área de contribuição da seção em análise.

CLASSIFICAÇÃO	Área (km ²)					%	CN
	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Total		
Zonas cultivadas sem conservação do solo	87.17	56.67	479.85	257.48	881.16	9.47%	87
Bosques ou zonas cobertas com cobertura ruim	619.45	324.10	2198.34	2776.77	5918.64	63.59%	75
Floresta com cobertura boa	797.39	142.58	601.48	861.89	2403.34	25.82%	57
Zonas residenciais	0.00	0.00	99.35	5.09	104.44	1.12%	90
					9307.58	100.00%	71

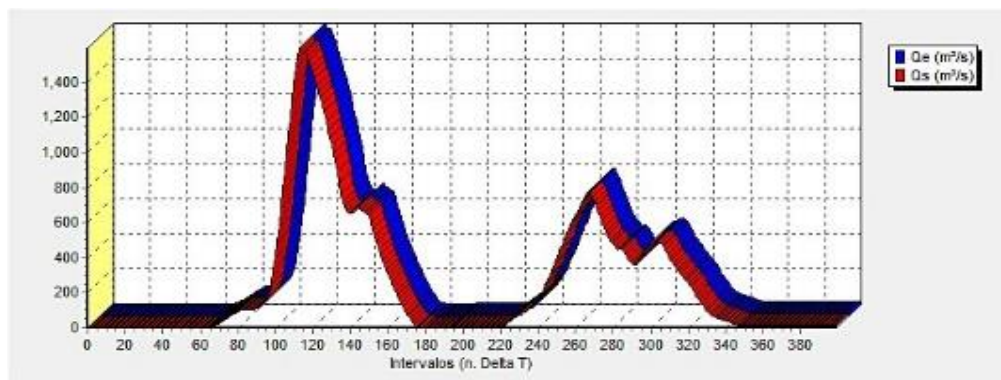
Fonte: Autores (2020).

Na área de contribuição, o valor obtido do CN, característica de absorção do solo, é de 71 e demonstra que ao longo do tempo, com intensos eventos de precipitação, a bacia pode sofrer problemas relacionados às inundações urbanas resultante de elevadas vazões e pico. Quanto maior o CN, menor a capacidade de permeabilização do solo, proporcionando maior altura na seção em análise e, portanto, inundação.

Seguindo com a metodologia, após disponibilizar os dados obtidos e calculados anteriormente no software IPHS1, foi possível realizar a simulação para cada ano em estudo. Cada simulação permitiu analisar o Hidrograma resultante de cada ponto de controle, além da tabela de precipitação efetiva para cada sub-bacia.

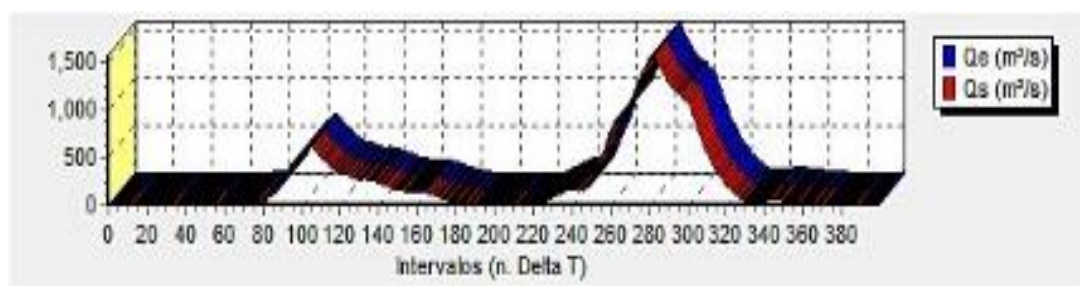
Com o objetivo de comparar os anos onde houve precipitação acima do normal com os anos onde houve precipitação normal, obteve-se os gráficos do Hidrograma resultante para o ponto de controle que representa a seção em análise por este trabalho, e os resultados estão apresentados nas Figuras abaixo.

Figura 11: Hidrograma resultante para precipitações no ano de 1999 para a área de contribuição.



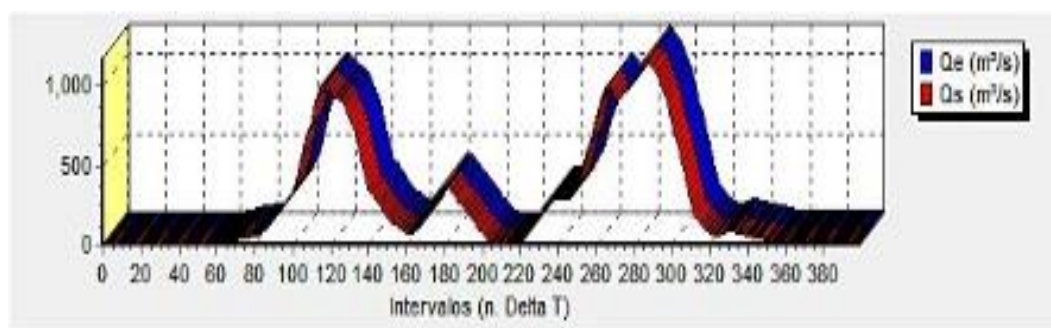
Fonte: Autores (2020).

Figura 12: Hidrograma resultante para precipitações no ano de 2006 para a área de contribuição.



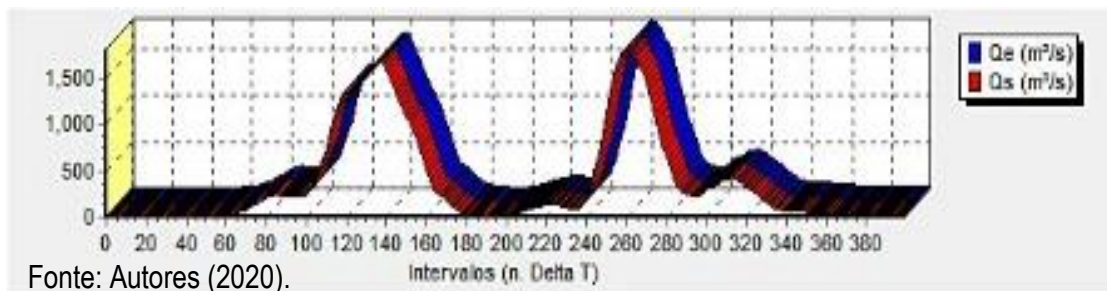
Fonte: Autores (2020).

Figura 13: Hidrograma resultante para precipitações no ano de 2014 para a bacia de contribuição.



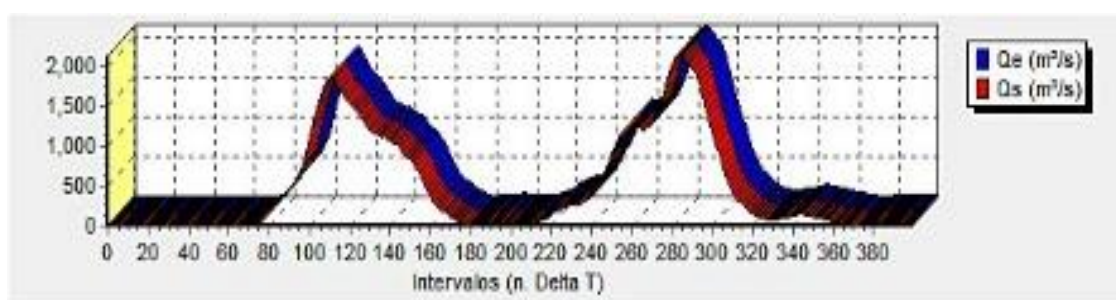
Fonte: Autores (2020).

Figura 14: Hidrograma resultante para precipitações no ano de 2004 para a bacia de contribuição.



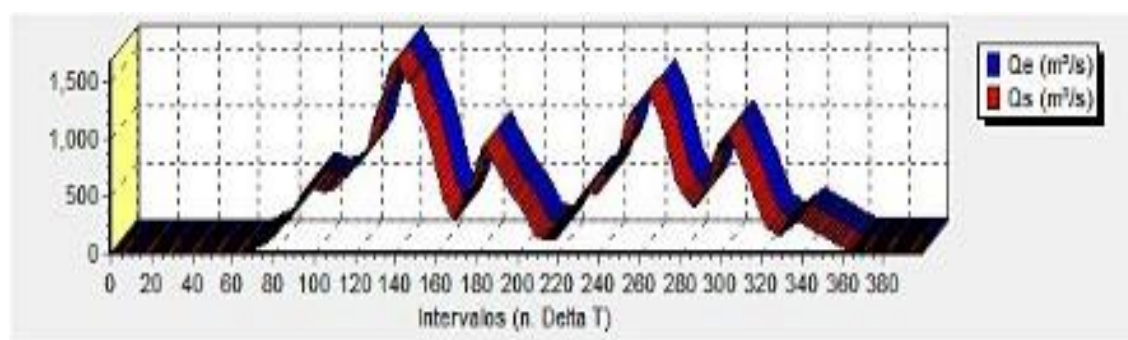
Fonte: Autores (2020).

Figura 15: Hidrograma resultante para precipitações no ano de 2008 para a bacia de contribuição.



Fonte: Autores (2020).

Figura 16: Hidrograma resultante para precipitações no ano de 2011 para a bacia de contribuição.



Fonte: Autores (2020).

De acordo com os dados apresentados pelo software IPHS1 para a seção em análise, pôde-se fazer uma média das vazões de pico para os anos com precipitação normal e para os anos com precipitação acima do normal, e, com a diferença entre as médias, pôde-se calcular a vazão excedente nos anos de cheia para o município de Lavras da Mangabeira. A Tabela 5 apresenta os valores das vazões e seus respectivos anos.

Tabela 5: Diferença de vazões de pico para anos com precipitação acima do normal e anos com precipitação normal.

	Ano	Vazão de pico (m³/s)	Vazão média (m³/s)
Anos com precipitação maior que 30% acima do normal	2004	1808,00	
	2008	2144,60	1880,15
	2011	1687,86	
Anos com precipitação normal	1999	1592,63	
	2006	1570,82	1447,91
	2014	1180,27	
	$\Delta Q_p =$		432,25

Fonte: Autores (2020).

Considerações finais

A utilização de técnicas de geoprocessamento que permitem representar informações físicas de bacias hidrográficas e simulações computacionais de eventos hidrológicos se mostra bastante prática, eficiente e viável. A análise por meio do software IPHS1 levou a conclusão que os fatores fisiográficos mais importantes para a análise são a área, a forma, a permeabilidade, a capacidade de infiltração e a topografia da bacia.

A influência da área é clara, pois sua extensão está relacionada à maior quantidade de água que ela pode captar. A permeabilidade do solo influi diretamente na capacidade de infiltração, ou seja, quanto mais permeável for o solo, menor a quantidade que escoar na sua superfície.

Outros fatores importantes são as obras hidráulicas construídas na bacia, especialmente a montante da seção em análise, como barragens que, acumulando a água em um reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação. A falta de informações sobre os reservatórios e demais obras afetaram significativamente os resultados deste estudo, fazendo com que as vazões resultantes na seção em análise fossem bem superiores quando comparadas a valores reais.

A falta de informações acerca das obras hidráulicas, a ausência de conhecimento sobre os canais de propagação como profundidade dos rios e afluentes, além da carência de estudo criterioso sobre suas características influenciaram no resultado desta pesquisa, devido às aproximações na representação dos canais para a utilização do software IPHS1.

Por fim, após estudar as características físico-geográficas da área de contribuição para a seção em análise, observar o comportamento das vazões em períodos de precipitação normal e precipitações acima do normal, pôde-se concluir que a vazão escoada na seção do canal no município de Lavras da Mangabeira possui contribuição de uma área muito extensa que, com eventos de chuva como os analisados, vai exceder sua capacidade e transbordar para as intermediações do município.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se citar o estudo das características técnicas dos reservatórios presentes na bacia do Rio Salgado, como a curva cota-área-volume, além das características técnicas dos canais de propagação nesta, bem como profundidade e rugosidade.

Referências

- BORGES, M. A. E. S. T. *Bacia da Trindade: Análise dos riscos hidrológicos para a cidade da praia*. Dissertação (Mestrado em Ordenamento e Desenho do território). Universidade de Cabo Verde, Cabo Verde, 2013.
- COGERH, COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS. *Cartilha: Vamos conhecer o Salgado*. Fortaleza. 2007.
- FUNCEME, FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA. *Compartimentação Geoambiental do Estado do Ceará*. Fortaleza. 2009.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em: 20 Out. 2020.
- MIRANDA, E. E. de; (Coord.). *Brasil em Relevô*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 8 Dez. 2018.
- RIBEIRO, S. C. CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIO SALGADO NA MESORREGIÃO SUL CEARENSE – Parte I – Clima e Arcabouço Geológico. *GEOCONEXÕES*, v. 1, 2017, p. 4-16.
- SANTORI, A. LOMBARDI NETO, F. GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. *RBRH – Revista Brasileira de recursos Hídricos*, v. 10, 2005, p. 5-18.
- SOUZA, M.J.N.; LIMA, F.A.M. e PAIVA, J.B. Compartimentação geomorfológica do estado do Ceará. *Ciência Agrônômica*, v. 9, 1979, p. 77-86.
- TELLES, W. R.; RODRIGUES, P. P. G. W.; SILVA NETO, A. J. Calibração automática da plataforma MOHID empregando um método estocástico de otimização e dados reais de um evento climático extremo em Nova Friburgo-RJ: parte 1 – preparação do modelo digital do terreno e aquisição dos dados experimentais de precipitação e nível. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, v. 33, 2017, p. 164-170.
- TUCCI, C. E. M. Manual de Fundamentos do IPHS1: Modelagem Hidrológica e Hidráulica. *IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas*. Porto Alegre, 2004.