

Modelagem automática e cálculo da precipitação média da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú

Automatic modeling and calculation of the average precipitation of the Mundaú River Basin

Modelado y cálculo automático de la precipitación media de la Cuenca Hidrográfica del Río Mundaú

Recebido: 28/09/2020 | Revisado: 30/09/2020 | Aceito: 03/10/2020 | Publicado: 05/10/2020

Anderson Santos da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2229-501X>

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

E-mail: anderson.silva@ufape.edu.br

Mário Melquíades Silva dos Anjos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5577-173X>

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

E-mail: mario.melquiades@live.com

Anthony Wellington Almeida Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1397-7035>

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

E-mail: anthonnyleto@hotmail.com

Alan César Bezerra

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9986-9464>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: cezaralan.a@gmail.com

Miguel Julio Machado Guimarães

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5497-6442>

Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil

E-mail: mjmguimaraes@hotmail.com

Resumo

As bacias hidrográficas desempenham um papel fundamental no desenvolvimento territorial desde que a exploração dos recursos naturais seja equilibrada tanto pela população quanto na gestão dos órgãos competentes. Assim, objetivou-se nessa pesquisa a delimitação automática

e cálculo da precipitação média da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM). A imagem foi processada no software livre QGIS 2.18.7 utilizando o conjunto de ferramentas embarcado no TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) que dimensiona toda malha hidrológica através do uso de Modelo digital de Elevação (MDE) provenientes de dados altimétricos de imagem SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). Foi realizado todo tratamento na modelagem da rede de drenagem observando as remoções de depressões, declividades, canal principal, direções dos fluxos simples e múltiplos. Em seguida foi realizado o cálculo de precipitação média pelo método de Thiessen com subsídio de dados pluviométricos coletados em estações meteorológicas presentes no perímetro da bacia. Para complementação do trabalho, foram feitas umas caracterizações do relevo com uso do MDE obtido e assim corroborar com a interpretação dos resultados encontrados. Ficaram constatadas diferenças significativas entre os índices pluviométricos da BHRM entre o período de 2013 até 2019, pois no início da observação, o estado de Pernambuco e Alagoas vinha passando por um período de estiagem significativo justificando assim o reduzido volume pluviométrico. Em relação ao cômputo da área, houve uma diferença de mais de 400 km² na área da BHRM quando correlacionado com as informações dos órgãos oficiais, representando uma redução de aproximadamente 10%.

Palavras-chave: Algoritmo; Relevo; Geoprocessamento; Software.

Abstract

A River basin play a fundamental role in territorial development whereas the exploitation of natural resources is balanced both by the population and competents institutions. Thus, the objective of this research was to automatically delimit and calculate the average rainfall of the Rio Mundaú River Basin (BHRM). The image was processed in the free software QGIS 2.18.7 using the set of tools embedded in TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) that dimension the entire hydrological mesh through the use of MDE's (Digital Elevation Model) from altimetric image data SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). It was developed the modeling of the drainage network, observing the removal of depressions, slopes, main channel, directions of simple and multiple flows. Then, after the hydrological delimitation and calculation of the BHRM area, the average precipitation was calculated using the Thiessen method with subsidy of pluviometric data collected in meteorological stations present in the perimeter of the basin. To complement the work, some characterizations were made using the obtained MDE and thus corroborating the interpretation of the results. Significant differences in BHRM's rainfall indexes were found between between the period of

2013 to 2019, since at the beginning of the observation, the state of Pernambuco and Alagoas had been going through a significant drought period, thus justifying the reduced rainfall volume. Regarding the computation of the area, there was a difference of more than 400 km² in the BHRM area when correlated with information from official agencies, that is, a reduction of approximately 10%.

Keywords: Algorithm; Relief; Geoprocessing; Software.

Resumen

Las cuencas hidrográficas juegan un papel fundamental en el desarrollo territorial siempre que la explotación de los recursos naturales sea equilibrada tanto por la población como en la gestión de los órganos competentes. Así, el objetivo de esta investigación fue delimitar y calcular automáticamente la precipitación promedio de la Cuenca del Río Mundaú (BHRM). La imagen se procesó en el software gratuito QGIS 2.18.7 utilizando el conjunto de herramientas integradas en TauDEM (Análisis del terreno mediante modelos digitales de elevación) que dimensionan toda la malla hidrológica mediante el uso de MDE (Modelo digital de elevación) a partir de datos de imágenes altimétricas SRTM (Misión topográfica de radar de lanzadera). Todo el tratamiento se realizó con el modelado de la red de drenaje, observando la remoción de depresiones, taludes, cauce principal, direcciones de flujos simples y múltiples. Se calculó la precipitación promedio mediante el método Thiessen con subsidio de datos pluviométricos recolectados en estaciones meteorológicas presentes en el perímetro de la cuenca. Se realizaron algunas caracterizaciones de relieve utilizando el MDE obtenido y corroborando así la interpretación de los resultados encontrados. Se encontraron diferencias significativas de los índices de precipitación BHRM entre el período 2013 a 2019, ya que al inicio de la observación, el estado de Pernambuco y Alagoas venían atravesando un período de sequía significativa, justificando así la reducción del volumen de lluvias. En cuanto al cómputo del área, hubo una diferencia de más de 400 km² en el área de BHRM cuando se correlacionó con información de organismos oficiales, es decir, una reducción de aproximadamente 10%.

Palabras clave: Algoritmo; Relieve; Geoprociamiento; Software.

1. Introdução

Existem várias situações para definir uma bacia hidrográfica devido à sua vasta caracterização natural e importância. Theodoro et al. (2007) define como sendo um conjunto

de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde suas águas pluviais, ou escoam superficialmente formando os canais principais e secundários, ou infiltram no solo influenciando na formação de nascentes e do lençol freático.

Silva (2009) descreve que o Rio Mundaú, principal rio da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), nasce a oeste da cidade pernambucana de Garanhuns, na parte sul do Planalto da Borborema e entra em Alagoas pela Cachoeira da Escada, situada ao sul da cidade pernambucana de Correntes e a noroeste da cidade alagoana de Santana do Mundaú. De Araújo Silva et al. (2018) reforça que a BHRM apresenta características físicas diferenciadas ao longo de toda sua área, pois suas nascentes do rio principal nascem em região semiárida e percorre por regiões envolvendo a caatinga, agreste, mata atlântica e litoral.

No município de Garanhuns – PE, destacam-se por suas nascentes, que por sua vez, o governo municipal através de editais federais e da ONG Econordeste, instituiu o Parque Municipal das Nascentes do Mundaú, uma área de reserva com o intuito de preservar as nascentes de água da região. Os principais afluentes no estado de Pernambuco são: pela margem direita, riacho Conceição, riacho Salgado, rio Correntes e rio Mundauzinho; e pela margem esquerda o rio Canhoto, sendo o tributário mais importante do rio Mundaú, e tendo como principal contribuinte o rio Inhaúma, que drena todo o município de Palmerina. (Cavalcanti, 2013).

Segundo Gomes et al. (2016), as principais estruturas geológicas desta região, são: o Planalto da Borborema; a Depressão Periférica da Borborema e; Depósitos Sedimentares do período Quartanário, corroborando com descrição citada por e Araújo Silva et al. (2018) em seu trajeto desde a nascente até seu exutório. Essa bacia abrange 26 municípios entre os estados de Pernambuco e Alagoas, servindo para o abastecimento de irrigação, turismo, indústrias e abriga um dos principais estuários do país, Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (da Silva, de Sousa & Kayano, 2007)

A chuva de uma determinada região sofre grandes interferências em seu ciclo durante o passar dos anos devido à diversos fatores de influência natural e antrópicas provenientes das ações irresponsáveis e/ou da falta de conhecimentos técnicos. Dessa forma, é interessante o conhecimento dessa variabilidade espacial e temporal dos regimes pluviométricos de determinada localidade, em conjunto com as características morfométricas, pois possibilitam a compreensão da dinâmica da água (i.e. infiltração, evapotranspiração e escoamento superficial) bem como na sua qualidade (de Oliveira et al, 2018).

Existem alguns métodos utilizados para o cômputo médio desses valores de

precipitação segundo Pedrazzi (1999), entre eles, destaca-se o método de Thiessen. A partir desta análise, decidiu-se por utilizar o método de Thiessen associado a utilização das linhas cumeadas, ou linhas de divisores de água, método que utiliza o relevo como delimitador de fluxo de águas, sugerido por Marciano et al. (2018).

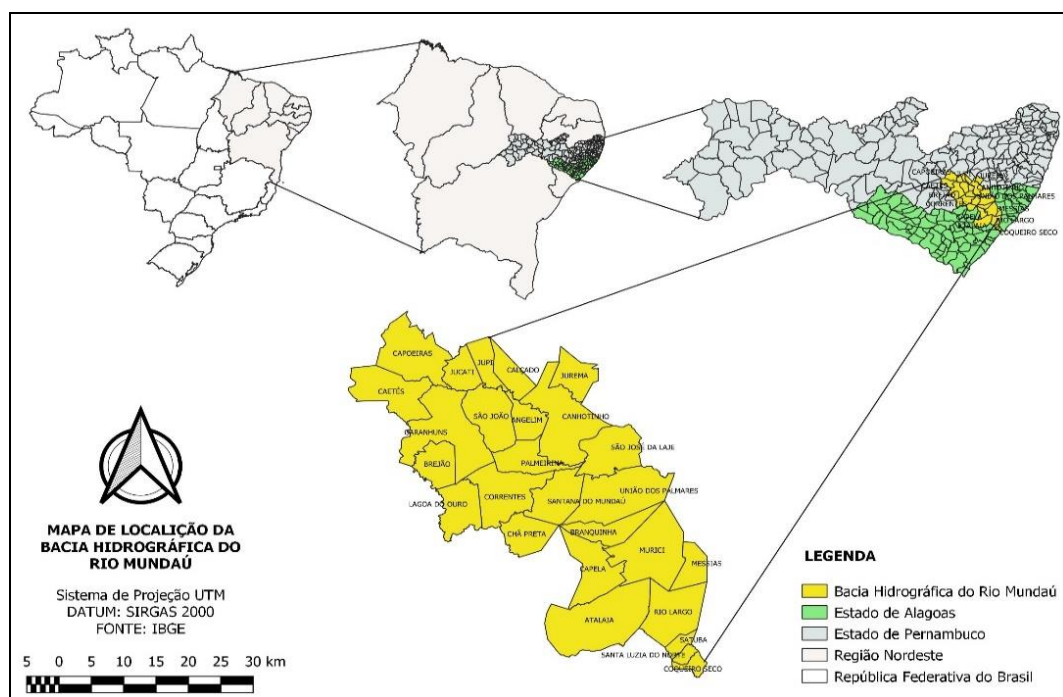
Este trabalho objetivou a delimitação automática através de software livre da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú a partir do uso de Modelos Digitais de Elevação, juntamente com a média pluviométrica da bacia no período de 2013 até 2019.

2. Metodologia

2.1 Localização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), localizada entre a mesorregião do Agreste Pernambucano e o Leste Alagoano (Figura 1). Compreende as coordenadas 08° 41' 34" e 09° 14' 00" de latitude sul, e 36° 03' 36" e 36° 37' 27" de longitude oeste. Possui uma área de 4.090,39 km², dos quais 2.154,26 km² no Estado de Pernambuco (2,19% da área do estado) segundo Agência Nacional de Águas e Climas do estado de Pernambuco (APAC, 2019).

Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM).



Fonte: Próprios autores.

O principal curso d'água da BHRM é o rio Mundaú cruzando os dois estados onde suas nascentes localizam-se no alto do Planalto da Borborema (Pernambuco), e seu canal principal percorre cerca de 195 km das nascentes até seu exutório (Alagoas) (Gomes et al., 2016).

A Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú apresenta alguns reservatórios com variados volumes de armazenagem, entre eles os que apresentam capacidades acima 1 milhão de metros cúbicos, os quais, se encontram no estado de Pernambuco (Tabela 1), corroborando com o valor percentual apresentado em parágrafos anteriores.

Tabela 1. Reservatórios presentes na BHRM com capacidade volumétrica acima 1 milhão de m³ cúbicos.

Nome do reservatório	Capacidade volumétrica (m ³)	Município de localização
Cajarana	2.594.000	Capoeira-PE e Garanhuns-PE
Inhumas	7.872.860	Garanhuns-PE
Mundaú/Garanhuns	1.968.600	Garanhuns-PE

Fonte: APAC.

2.2 Determinação da declividade e classificação do relevo da BHRM

Inicialmente foram obtidos os arquivos vetoriais do tipo shapefiles de todos os municípios no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) e em seguida com auxílio do software livre QGIS versão L.T.R. (Long Term Release ou versão de longa duração – mais estável) 2.18.7 foi feito um mosaico de todos os municípios e o recorte da área que delimitam todo o perímetro da BHRM.

Para o cálculo da declividade e classificação do relevo foram utilizadas 04 cenas da missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), identificadas por 08S36ZN, 08S375ZN, 09S36ZN e 09S375ZN que compreenderam um Modelo Digital de Elevação (MDE) incorporado de valores altimétricos, com resolução espacial de 30 metros fornecidos através do Projeto TOPODATA do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Em seguida, o arquivo shapefile foi sobreposto ao mosaico de imagens para auxiliar na delimitação do arquivo matricial de toda a área da BHRM e como o mosaico excedeu a área de interesse, foi feito um recorte da BHRM para extração dos dados.

No tratamento das imagens juntamente com os arquivos vetoriais, foram utilizado o

Datum Horizontal SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, ano 2000), o Sistema de Coordenadas Planas UTM (Projeção Universal Transversa de Mercator) e o Fuso 24 Sul, tudo isso para garantir a compatibilidades entre os dados espaciais (Vetorial e Matricial) e elaboração dos mapas temáticos como produto final das análises.

O cálculo da declividade e classificação do relevo permitiu analisar a trajetória de todos os afluentes e rio principal dentro da BHRM, essa metodologia obedeceu a proposta da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA), conforme ilustra a Tabela 2.

Tabela 2. Classes de declividades para classificar um determinado relevo.

Classes de declividades	Limites percentuais (%)
Plano	0 - 3
Suave Ondulado	3 - 8
Ondulado	8 - 20
Forte Ondulado	20 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	>75

Fonte: EMBRAPA (1979).

2.3 Delimitação automática da BHRM

Para a delimitação da área de estudo deste trabalho foi utilizado o software livre QGIS versão 2.18.7 com a incorporação do complemento Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM), que é um algoritmo formado por um conjunto de ferramentas para construção de análises hidrológicas com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) juntamente com as malhas municipais dos estados de Pernambuco e Alagoas, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

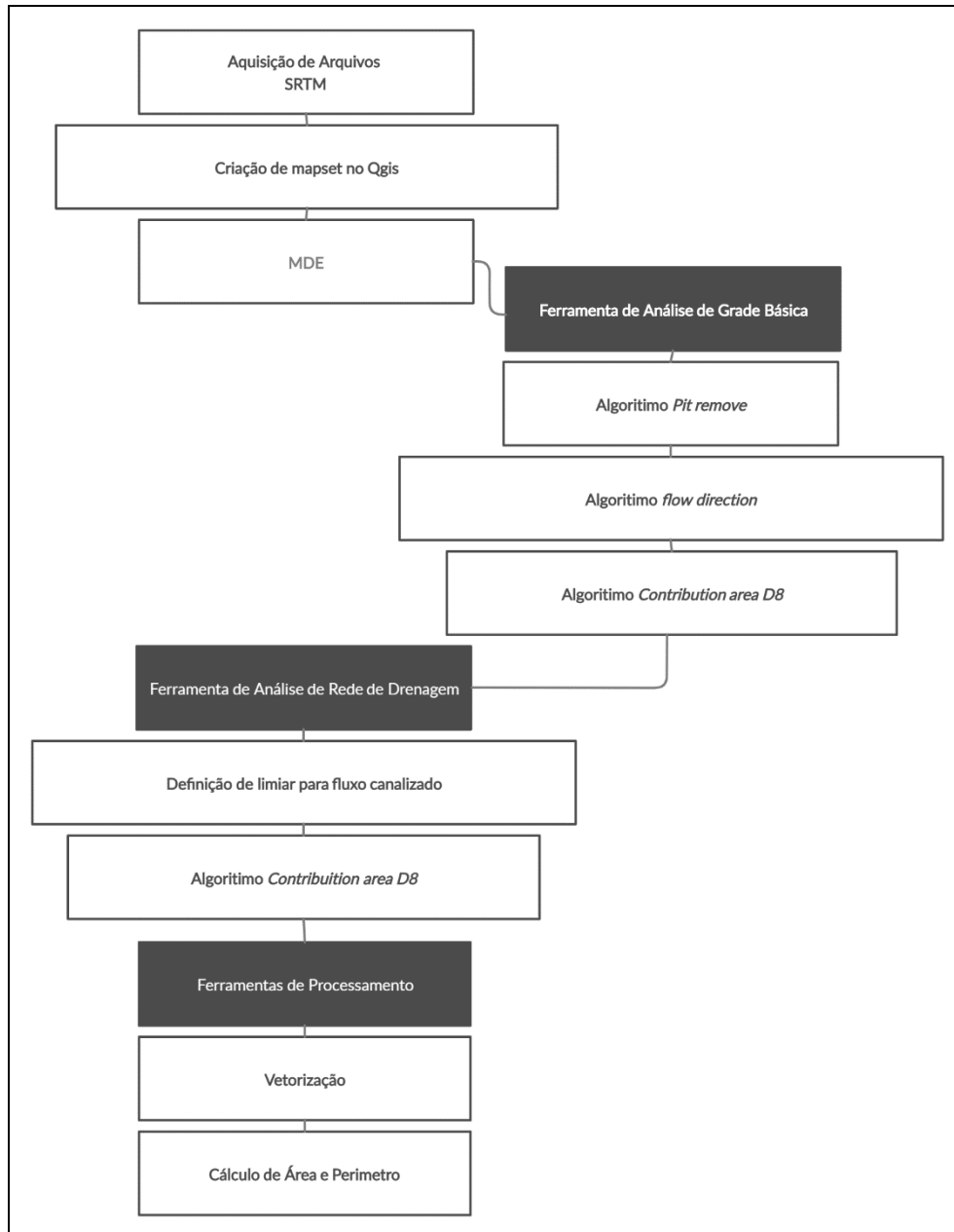
A partir do conjunto de ferramentas do algoritmo TauDEM, foi dimensionada a rede de drenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú e sua área de abrangência total, levando em consideração o relevo da região em estudo e todos os córregos e riachos que são afluentes do Rio Mundaú.

O modelo gerado pelo algoritmo TauDEM, também foi comparado aos shapefiles da rede hidrográfica brasileira fornecida pela Agência Nacional de Águas (ANA). Dessa forma foi possível calcular a área total e precipitação da BHRM, descartando extensões de terra que devido sua topografia, não são consideradas como áreas de recarga.

Para aquisição e processamento dos dados a partir do modelo digital de elevação e os

arquivos vetoriais que em consórcio fizeram a delimitação da BHRM, obedeceram ao seguinte fluxograma conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma do processamento dos dados do modelo digital de elevação para obtenção da delimitação da rede de drenagem na BHRM.



Fonte: Próprios autores.

2.4 Dados de precipitação

Os dados pluviométricos utilizados para determinação da precipitação média da

BHRM compreenderam os anos de 2016, 2017 e 2018 sendo obtidos através da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), da Agência Nacional de águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sendo utilizados dados das estações listadas na Tabela 3.

Tabela 3. Estações pluviométricas localizadas nos estados de Pernambuco e Alagoas que disponibilizaram dados.

UF	Operadora dos Dados	Código da Estação	Coordenadas Geográficas		Cidade
			Latitude	Longitude	
PE	APAC	286	-8,7728	-36,6211	Caetés
	APAC	53	-8,8825	-36,1936	Canhotinho
	APAC	287	-8,7342	-36,6267	Capoeiras
	APAC	22	-9,13222	-36,323056	Correntes
	APAC	12	-8,8667	-36,4833	Garanhuns
	APAC	157	-8,7067	-36,6928	Jucati
	APAC	482	-8,7125	-36,4167	Jupi
	APAC	126	-8,7181	-36,1369	Jurema
	APAC	483	-9,1267	-36,4986	Lagoa do Ouro
	APAC	279	-8,74	-36,3344	Calçados
	APAC	53	-8,8883	-36,2861	Angelim
	APAC	293	-9,0158	-36,535	Brejão
	APAC	281	-8,8769	-36,3667	São João
	APAC	512	-9,0042	-36,3261	Palmerina
AL	INMET	82994	-9,66	-35,7	Maceió
	ANA	935056	-9,47	-35,86	Rio Largo

Fonte: ANA, INMET e APAC.

Foram elaboradas planilhas no software Excel para tabulação de todos os dados referentes a cada estação e observados os postos com falhas ou ausência de índices e feita a média ponderada para sua correção.

2.5 Método de Thiessen

Esse método foi utilizado para determinar a precipitação média da BHRM associado às linhas cumeadas, ou divisores de água, delimitadas, onde foi gerada uma média ponderada dos índices pluviométricos registrados pelos pluviômetros diretamente proporcional à área de influência da bacia levando em consideração a distribuição espacial desuniforme das estações de coleta de dados, desprezando a relação topográfica da região.

O Método de Thiessen (1911) consistiu em unir as estações por trechos retilíneos

traçando linhas perpendiculares a esses trechos sobre a mediatriz da linha que liga as estações. Logo depois foram alongadas essas linhas perpendiculares até encontrar outra mediatriz.

A partir de imagens SRTM, o software Global Mapper em sua versão 20.1 foi usado para delimitar as linhas cumeadas com base no relevo do terreno, entende-se como linha cumeada, partes do relevo com altitude mais alta em relação ao seu entorno, sendo estas o ponto mais alto nas montanhas, sendo considerados divisores de águas para delimitação de bacias hidrográficas.

A partir destes dados realizou-se a delimitação da área de influência de cada estação pluviométrica, usando também o relevo como fator limitante. O polígono de Thiessen foi formado pela interseção das linhas das mediatrizes, correspondendo à área de influência de cada estação. Essa área de influência possuiu um peso perante a área total, expresso pela Equação 1:

$$W_i = \frac{A_i}{A} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

W_i = foi o fator de peso; A_i = foi a área de influência da estação; A = foi a área total da bacia hidrográfica.

Para o cálculo da precipitação média na área da BHRM foi expressa pela seguinte Equação 2:

$$P_m = \frac{\sum A_i P_i}{A} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

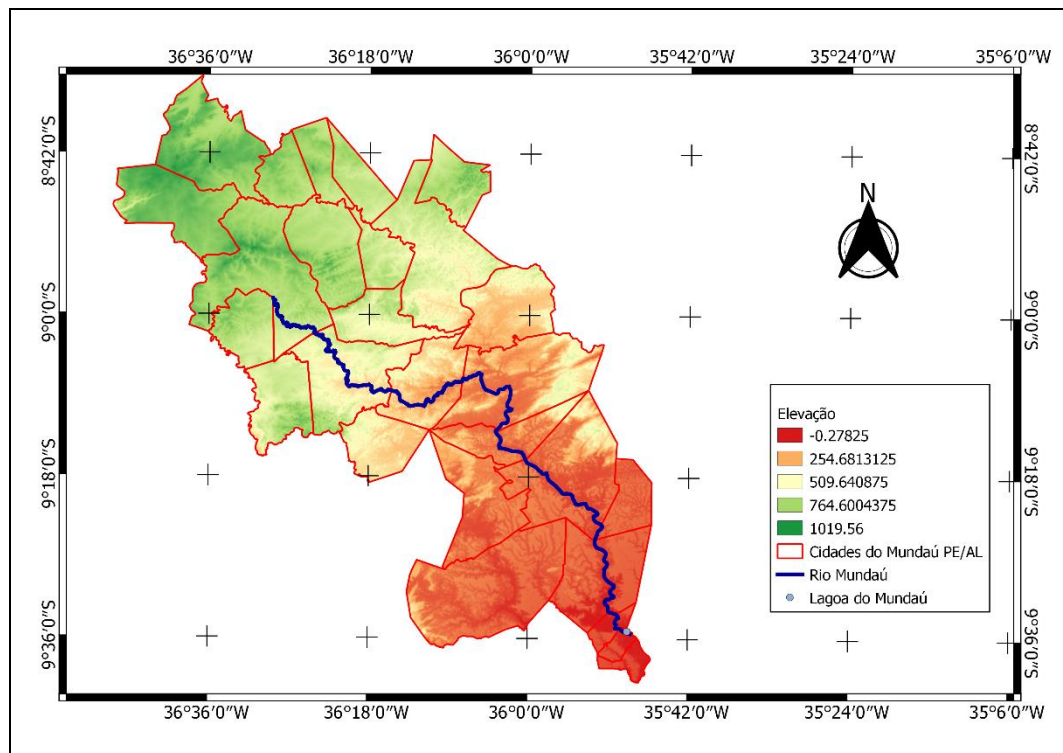
P_m = foi a precipitação média na bacia (mm); P_i = foi a precipitação na estação (mm); A_i = foi a área de influência da estação; A = foi a área total da bacia.

3. Resultados e Discussão

3.1 Determinação da declividade e classificação do relevo

De acordo como ilustrado na Figura 3, a hipsometria do mapa destaca bem o comportamento das declividades feitas a partir das imagens SRTM e conhecidas as características topográficas da área de estudo desde a nascente até o exutório.

Figura 3. Mapa da elevação altimétrica (em metros) da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú.



Fonte: Próprios autores.

Foi possível observar que houve uma variação significativa da altitude em cinco classes distintas desde sua nascente (1019,56 m) até a lagoa do Mundaú, em seu exutório (-0,27 m), acompanhando as mudanças de relevo presente na região.

Na Tabela 4, proposta por de Melo (2014), onde foi realizado a delimitação automática da BHRM usando técnicas de sensoriamento remoto através do processamento de dados SRTM (Modelos Digitais de Elevação) juntamente com pacote de ferramentas no software ArcGIS, em seus resultados obtidos foi percebido uma variação altimétrica de 0 a 1030 metros, corroborando aproximadamente com os resultados encontrados na Figura 3, onde essa diferença altimétrica é explicada (Silva, Rodrigues & Bittencourt, 2020) em relação à imagem SRTM, uma vez que há uma assimetria altimétrica entre o SRTM da ALOS-PALSAR quando comparados com os SRTM's da EMBRAPA e USGS.

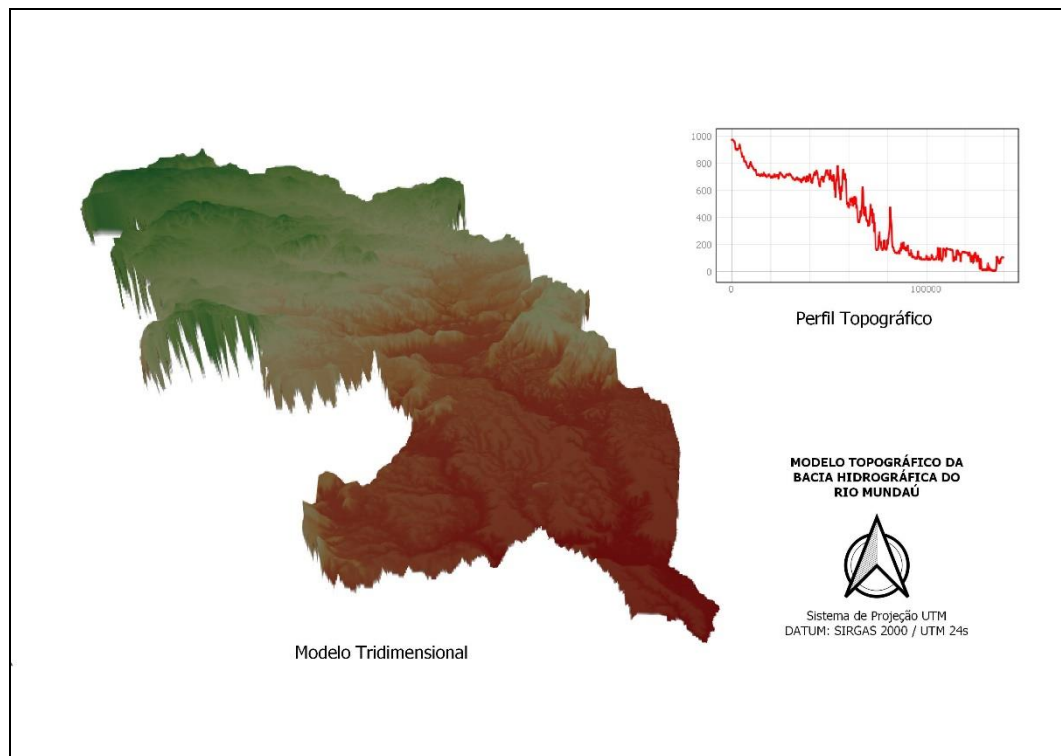
Tabela 4. Distribuição altimétrica da BHRM.

Valores altimétricos (m)	Área (Km ²)	Percentual (%)
729 – 1030	6.608,55	15,39
612 – 729	7.993,59	18,59
482 – 612	7.231,83	16,81
296 – 482	5.703,00	13,26
150 – 296	7.578,10	17,62
0 – 150	7.883,23	18,33

Fonte: de Melo (2014).

Na Figura 4 segue as ilustrações do perfil longitudinal e o mapa 3D para corroborar com o mapa de elevação altimétrica expresso na Figura 3, onde é possível perceber essa variação abrupta da altimetria e um pouco do comportamento do relevo da BHRM.

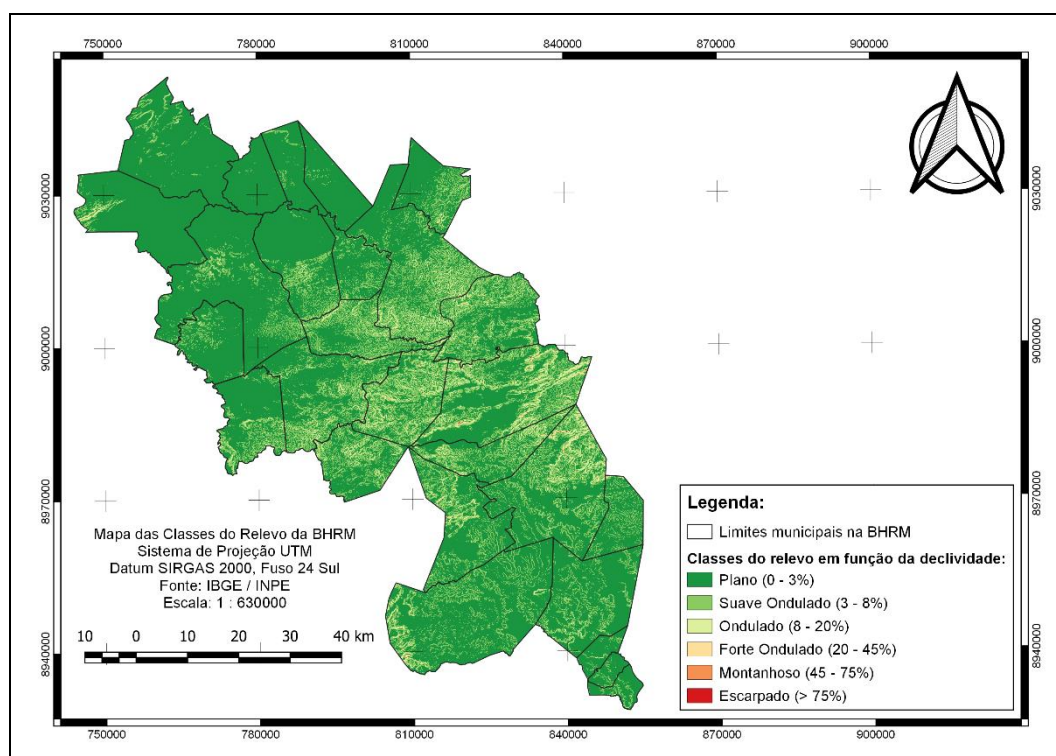
Figura 4. Mapa 3D e perfil longitudinal da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM).



Fonte: Próprios autores.

Na Figura 5 encontra-se o mapa da declividade distribuídas nas 06 (seis) classes de Classificação do Relevo (%) conforme metodologia proposta pela EMBRAPA (1979) descrita na Tabela 2. Percebe-se a predominância do relevo plano com umas variações de suave ondulado à ondulado, destacando umas projeções de fortemente ondulado até montanhoso e uma pequena parcela de relevo escarpado.

Figura 5. Mapa de classificação do relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM).



Fonte: Próprios autores.

Os resultados encontrados na Figura 5 corroboram os valores obtidos por Melo (2014) quando fez o cômputo da declividade e classificação do relevo na área compreendida pela BHRM, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5. Distribuição das Classes de Relevo compreendidas na área da BHRM.

Classes do Relevo	Área (Km ²)	Percentual (%)
Plano	65.229,00	85,79
Suave Ondulado	1.166,32	1,53
Ondulado	1.518,80	1,99
Forte Ondulado	6.066,00	7,98
Montanhoso	2.021,00	2,66
Escarpado	36,00	0,05

Fonte: Adaptado de Melo (2014).

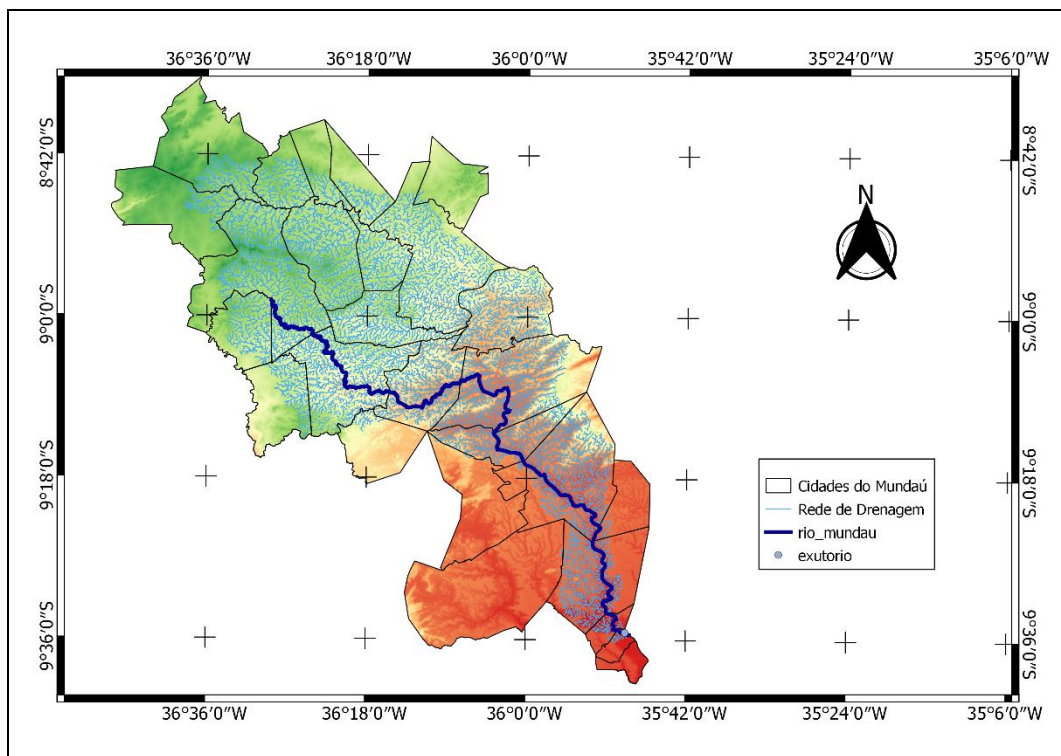
3.2 Delimitação automática do perímetro, área e da rede de drenagem da BHRM

De acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima, a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM) possui uma área com cerca de 4.090,39 km². Através do conjunto de ferramentas do algoritmo TauDEM, delimitou-se como sendo afluente da lagoa do mundaú

uma área de 3.674,13 km², esta diferença de área de mais de 400 km², pode ser dada devido a retirada de áreas dos municípios que a compreendem, que não teriam influência sobre a bacia, de acordo com os cálculos realizados via algoritmo TauDEM.

Como demonstrado na Figura 6, a BHRM não comporta toda extensão de área das cidades que a compõe. O emprego de técnicas de geoprocessamento para delimitação automática de bacias hidrográficas configura-se na forma mais viável, eficiente e menos subjetiva que os métodos utilizados através de cartas topográficas (de Souza Carvalho, 2010).

Figura 6. Delimitação automática do perímetro e da rede de drenagem da BHRM.



Fonte: Próprios autores.

De acordo com Lopes et al. (2018), a inserção de informações de relevo em ambiente Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permite o conhecimento de características em quaisquer bacias hidrográficas. Corroborando Nicolete et al. (2015) que também utilizaram os dados SRTM do projeto TOPODATA do INPE para análises morfométricas, hidrológicas e de técnicas de conservação do solo através da delimitação automática usando o conjunto de ferramentas disponibilizado no algoritmo TauDEM.

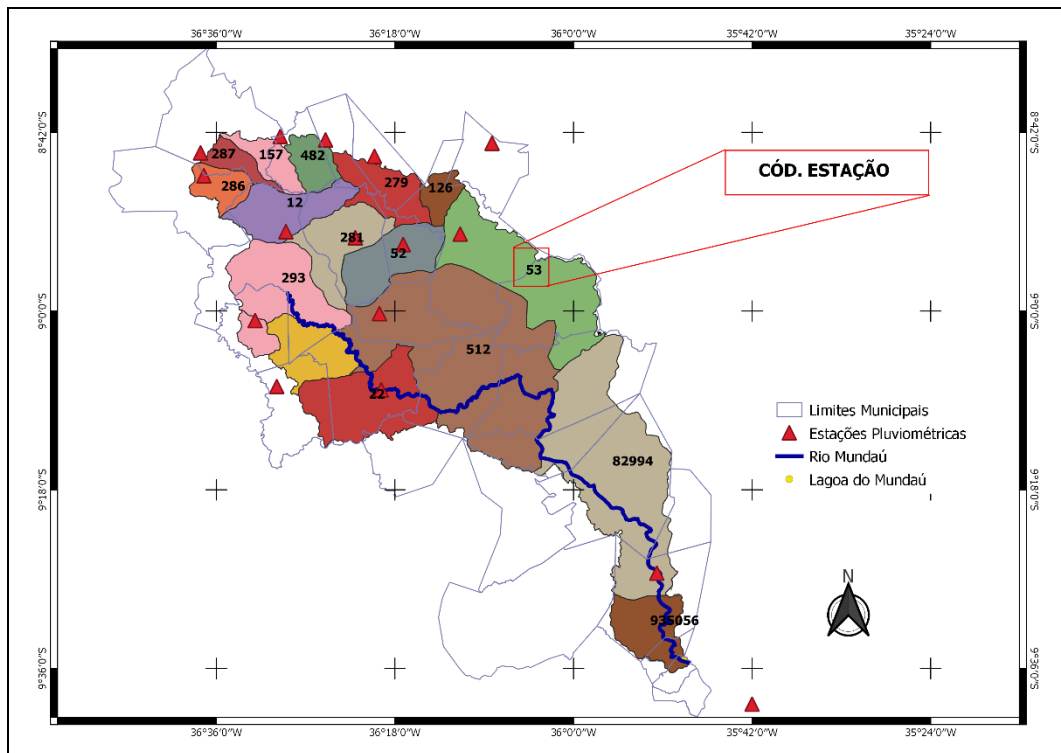
Pereira et al. (2018) dispo de um banco de dados geográficos, avaliaram o uso do software livre QGIS e o Google Earth Pró na aplicabilidade de classificação do uso e cobertura do solo na bacia do Córrego Dornelas, em Minas Gerais, concluindo numa precisão

e potencialidade às aplicações dessas geotecnologias no monitoramento ambiental e agrícola definindo categoricamente as classes além de identificar áreas susceptíveis a erosividade proveniente do mau uso do solo.

3.3 Método de Thiessen

Na Figura 7, está a localizada geograficamente cada estação utilizada como ponto de coleta dos dados pluviométricos disponíveis nos estados de Pernambuco e Alagoas, conforme também foi descrito na Tabela 3, anteriormente.

Figura 7. Localização geográfica de cada estação de coleta de dados ao longo da BHRM.



Fonte: Próprios autores.

Foi possível perceber que a maioria dos pontos de coleta dos dados de precipitação foram encontrados no estado de Pernambuco. No estado de Alagoas, existem vários pontos de coletas, porém sem registros de índices pluviométricos devido à falta de manutenção dessas estações coletoras.

Depois da identificação das estações com dados disponíveis, foram feitas as coletas desses dados pluviométricos e tabulados para serem aplicados no Método de Thiessen. Após aplicação deste método e associado à delimitação através das linhas cumeadas, foi possível

calcular as áreas de influência de cada estação pluviométrica, sua influência na área total e a precipitação média da BHRM durante o período de 2013 a 2019, resultados demonstrados na Tabela 6.

Tabela 6. Valores calculados utilizando o Método de Thiessen associado às linhas cumeadas para os anos de 2013 a 2015. Legendas: Fator de peso (W_i), Precipitação na estação (P_i), Precipitação média na bacia (P_m).

Ponto de Coleta	Área (km ²)	W_i	P_i (mm)			Ponderação	
			2013	2014	2015	Média (mm)	$P_i * W_i$ (mm)
Angelim	169,95	0,05	692,8	918,4	628,9	746,7	37,3
Brejão	229,16	0,06	913,10	1339	703,9	985,3	59,1
Caetés	69,13	0,02	476	727,9	400,2	534,7	10,7
Calçados	130,70	0,04	659	932,5	593,5	728,3	29,1
Canhotinho	390,71	0,11	787,30	1130	622,7	846,7	93,1
Capoeiras	48,88	0,01	594,50	670,1	470,1	578,2	5,8
Correntes	270,73	0,07	892,30	1376,3	1146,6	1138,4	79,7
Garanhuns	156,65	0,04	724,10	1086,6	589,8	800,2	32,0
Jucati	70,11	0,02	599,20	797	423,9	606,7	12,1
Jupi	72,86	0,02	611,70	833,5	501,5	648,9	13,0
Jurema	50,49	0,01	932,30	1132,3	683,4	916,0	9,2
Lagoa do Ouro	146,26	0,04	984,40	967	614,7	855,4	34,2
Maceió	142,39	0,04	1797,40	1937,7	1505,2	1746,8	69,9
Palmerina	900,47	0,25	854,40	1489,5	1028,1	1124,0	281,0
Rio Largo	656,44	0,18	1548,70	1697	1277,4	1507,7	271,4
São João	169,19	0,05	566,50	889	526,5	660,7	33,0
P_m (mm)	-	-	852,11	1120,23	732,27	-	
Total	3674,13	1,00	Precipitação média da área total				1070,7

Fonte: Próprios autores.

Como pode ser observado na Tabela 6, a área total de influência, considerando o somatório de todas as estações utilizadas no trabalho, é possível perceber a representatividade quando comparado com a área total delimitada pelo algoritmo TauDEM e pelo o que foi disponibilizado pela APAC em torno de 4.090,39 km². Os anos de 2013 e 2015 tiveram médias pluviométricas um pouco próximas, mas destaque para 2014 com maior período de recarga na BHRM nesse primeiro momento de observação.

Apesar de não possuir relevância como série histórica (no mínimo são 30 anos de

dados) os dados de precipitação apresentados relatam uma certa variabilidade temporal da precipitação pluviométrica na BHRM.

De Andrade et al. (2018) analisaram através da técnica de análise harmônica por séries de Fourier para a identificação de componentes cíclicas das variações anuais das precipitações médias de 71 postos meteorológicos distribuídas em seis mesorregiões na região do agreste pernambucano desde 1984 até 2017, abrangendo boa parte BHRM, constataram que a variabilidade espacial e temporal da pluviometria no agreste meridional houve um decréscimo. Diante desse cenário de menor disponibilidade hídrica pluviométrica, os produtores recorrem ao uso de irrigação para complementar a demanda hídrica e, em muitos casos, sem conhecimentos técnicos adequados. Como consequência há um uso inadequado dos recursos hídricos que compromete a sustentabilidade desse recurso.

Tais alterações são variações que podem ser observadas em séries históricas da precipitação, recorrentes e podem afetar positivamente ou negativamente a quantidade de água precipitada numa bacia hidrográfica, assim como também caracterizam a ocorrência de anos muito chuvosos ou muito secos, (de Araújo Silva et al., 2018).

Na Tabela 7, foi realizado o mesmo processo semelhante àquele encontrado na Tabela 6, a diferença que foi para o período de 2016 a 2019.

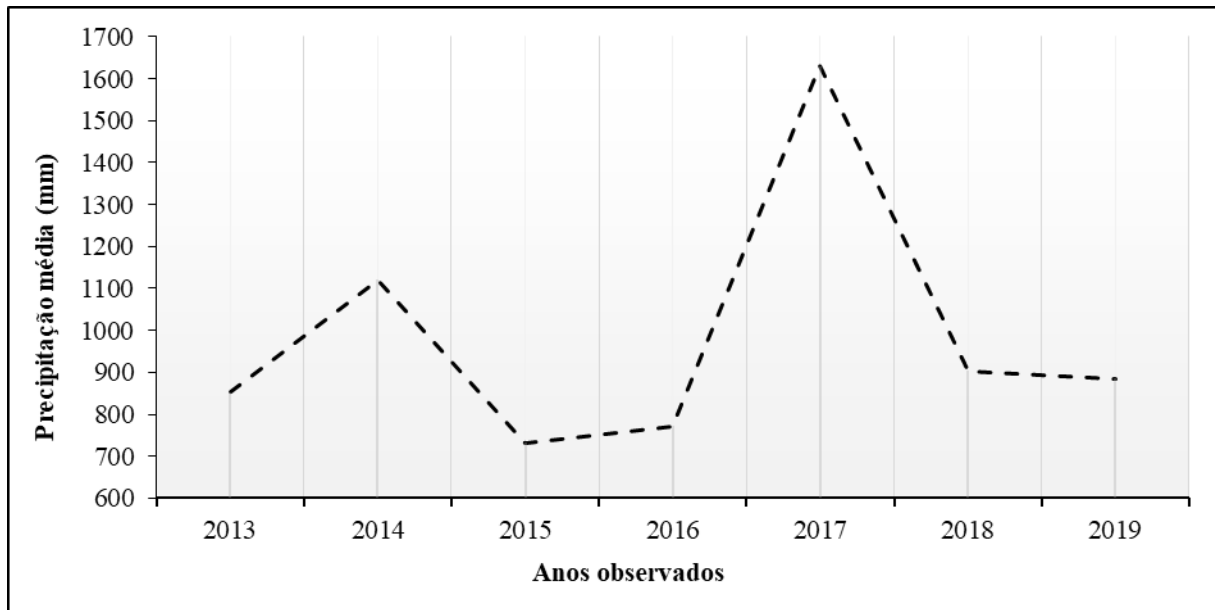
Tabela 7. Valores calculados utilizando o Método de Thiessen associado às linhas cumeadas para os anos de 2016 a 2019. Legendas: Fator de peso (W_i), Precipitação na estação (P_i), Precipitação média na bacia (P_m).

Ponto de Coleta	Área (km ²)	W_i	P_i (mm)				Ponderação	
			2016	2017	2018	2019	Média (mm)	$P_i * W_i$ (mm)
Angelim	169,95	0,05	465,4	1163,8	654,0	738,0	755,3	37,8
Brejão	229,16	0,06	583,6	1598,1	804,9	777,8	941,1	56,5
Caetés	69,13	0,02	364,2	670,3	538,1	618,0	547,7	11,0
Calçados	130,70	0,04	546,3	975,1	502,0	514,3	634,4	25,4
Canhotinho	390,71	0,11	522,5	1167,6	793,1	983,3	866,6	95,3
Capoeiras	48,88	0,01	505,0	795,0	744,2	841,0	721,3	7,2
Correntes	270,73	0,07	927,6	2197,4	1056,1	1280,2	1365,3	95,6
Garanhuns	156,65	0,04	541,3	1287,5	725,6	830,2	846,2	33,8
Jucatí	70,11	0,02	337,5	698,7	467,4	614,9	529,6	10,6
Jupi	72,86	0,02	470,4	991,5	432,5	771,4	666,5	13,3
Jurema	50,49	0,01	522,1	1051,5	648,0	970,6	798,1	8,0
Lagoa do Ouro	146,26	0,04	421,6	1152,3	540,1	694,8	702,2	28,1
Maceió	142,39	0,04	1361,1	3033,1	1703,4	1785,7	1970,8	78,8
Palmerina	900,47	0,25	832,3	1594,0	896,8	488,8	953,0	238,2
Rio Largo	656,44	0,18	1205,5	2415,7	1308,9	1507,6	1609,4	289,7
São João	169,19	0,05	479,8	955,8	530,8	739,5	676,5	33,8
P_m (mm)	-	-	771,86	1629,50	903,44	884,75	-	
Total	3674,13	1,00	Precipitação média da área total				1063,1	

Fonte: Próprios autores.

O ano de 2016 apresentou a menor média nesse segundo período de observação, os anos de 2018 e 2019 tiveram médias pluviométricas um pouco próximas, mas destaque para 2017 com maior período de recarga na BHRM em todos os anos observados conforme ilustra a Figura 8 logo abaixo.

Figura 8. Comportamento pluviométrico pelo Método de Thiessen no período de 2013 a 2019.



Fonte: Próprios autores.

O volume de recarga no período de 2013 a 2016 foi menor devido ao fenômeno climático que aconteceu não só na região assim como em boa parte do Nordeste, provocando um grande período de estiagem e pluviosidade desuniforme.

Essa situação citada no parágrafo anterior, que vem se arrastando a mais tempo, valida o que de Andrade Farias et al. (2020) analisou em seu estudo na BHRM no período de 30 anos (de 1987 a 2017), onde foi usado o modelo de ferramenta de Avaliação de Solo e Água (SWAT), perceberam que nas últimas três décadas, 76,4% da floresta existente nessa localidade foi perdida e convertida no dobro da pastagem que existia no ano de 1987, conseqüentemente, influenciou diretamente no regime hídrico da bacia com aumento do escoamento superficial, produção de sedimentos e diminuição da evapotranspiração.

De acordo com de Araújo Silva et al. (2018), nos municípios pernambucanos, em anos muito secos, ainda ocorre a prática de abastecimento por carros-pipa, ou seja, naqueles municípios que não possuem reservatórios com boa capacidade de abastecimento como Caetés e Capoeiras que se deslocam para os municípios mais próximos, como Garanhuns visando abastecer a população local ou dessedentar seus animais.

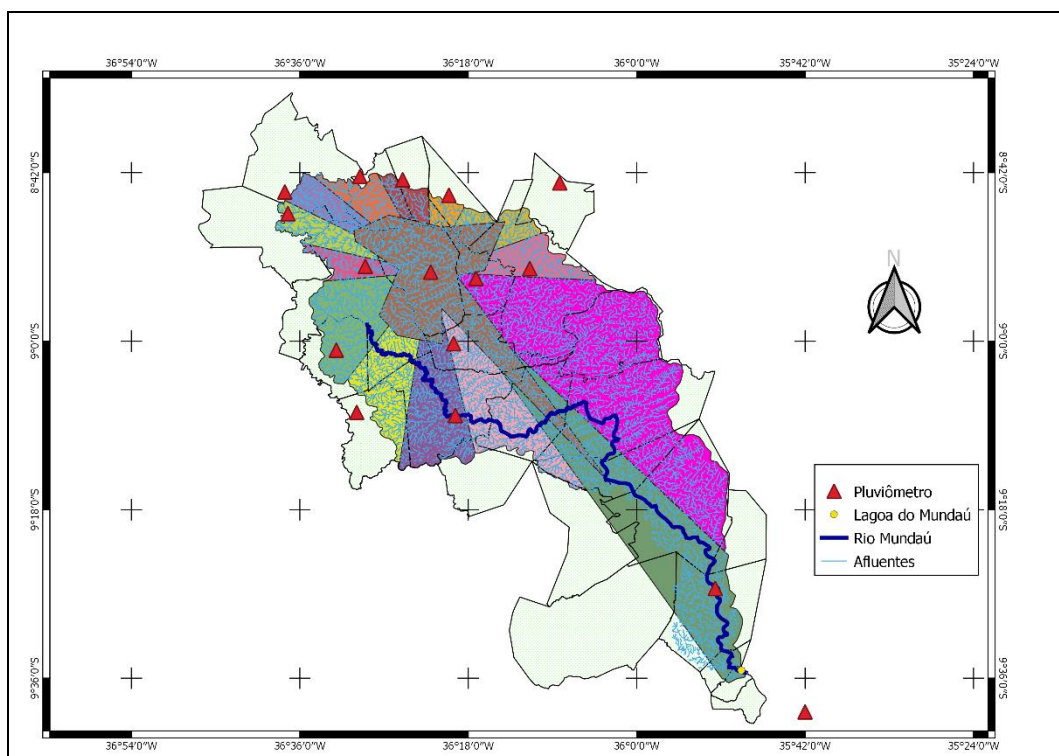
A BHRM tem como base de sua economia as culturas agropecuárias, que em sua maioria não utilizam técnicas de irrigação e dependem diretamente das condições climáticas para sua safra ou criação de animais (bovinos, aves, caprinos e suínos) corroborando com de

Andrade et al. (2018). Anos de baixa precipitação os municípios podem ter sua economia e população severamente afetadas, chegando em alguns casos ao estado de “emergência”.

Complementando o parágrafo anterior, António et al. (2017) usou um banco de dados pluviométrico (de 1913 a 2016) do estado de Alagoas, analisou a distribuição probabilística da ocorrência de um período de retorno da precipitação pluvial favorável para o desenvolvimento agrícola dentro do regime e disponibilidade hídrica regional, mediante às análises estatísticas, constataram em que boa parte do estado, a implementação de sistemas de irrigação para àquelas culturas que demandavam necessidades hídricas acima de 600 mm exceto para regiões da zona da mata ao litoral que apresentavam valores acima de 750 mm.

As áreas de influências das estações pluviométricas juntamente com as linhas cumeadas calculadas pelo Método de Thiessen para o período de 2013 a 2019, podem ser observadas na ilustração da Figura 9 logo em seguida.

Figura 9. Área de Influência das Estações Pluviométricas em linhas cumeadas no período de 2013 a 2019 na BHRM.



Fonte: Próprios autores.

Em alguns casos, como nos municípios de Canhotinho, Caetés e Capoeiras, em Pernambuco, é comum pequenos agricultores desmatarem a vegetação que cresce as margens do rio através da prática de queimadas, para inserir uma agricultura de subsistência, muitas

vezes como sua única fonte de renda, ou construir moradias de forma irregular e com alto risco de alagamentos. (Silva & Santos, 2011 apud de Araújo Silva et al., 2018).

As características geomorfológicas da BHRM associado as ações antrópicas tem impacto direto na distribuição da precipitação ao longo da bacia. Observando a distribuição espacial da precipitação da BHRM, à medida que se afasta da região litorânea, há uma contínua diminuição das chuvas até atingir municípios que estão inseridos na região semiárida (De Araújo Silva et al., 2018).

Em consequências das ações antrópicas, de Andrade Farias et al. (2020), usou dados de precipitação e temperatura simulados pelo Modelo Climático Regional Eta-HADGEM2-ES e testou dois métodos de correções de tendências desses eventos na BHRM, onde foi usado o software Climate Model for Hydrologic Modeling (CMHyd) e observou que foram capazes de corrigir a tendência dos eventos de precipitação e temperatura da projeção climática Modelo Regional Eta-HADGEM2-ES.

4. Considerações Finais

Houve uma diferença de mais de 400 km² na área da BHRM quando correlacionado com as informações dos órgãos oficiais, ou seja, uma redução de aproximadamente 10%, essa diferença pode ser efeito subestimado da influência do relevo no momento de delimitação da BHRM no passado.

Apesar da grande quantidade de estações e dados disponíveis pelas agências e instituto nacionais acerca da parte pernambucana da BHRM, ainda se faz necessários a atualização dos dados no estado de alagoas, apesar de possuir estações de coleta em algumas cidades, essas estações não possuem registro de dados ou possuem muitos períodos sem registro, adicionando dificuldades aos procedimentos metodológicos.

Aplicação do software livre QGIS mostrou-se eficaz na aplicação do método dos polígonos de Thiessen com relação à área de influência das estações de monitoramento da precipitação;

O conjunto de ferramentas do TauDEM apresentou uma metodologia adequada e de fácil utilização para delimitação automática da BHRM garantindo acurácia e precisão nos resultados obtidos;

A integração de dados livres e de fácil acesso como o SRTM e os arquivos Shapefiles da bacia hidrográfica processados no QGIS, permitiu um resultado rápido de baixo custo e de grande relevância para o monitoramento e gestão dos recursos hídricos;

Referências

Alves Sobrinho, T., Oliveira, P. T., Rodrigues, D. B., & Ayres, F. M. (2010). Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. *Engenharia Agrícola*, 30 (1), 46-57.

de Andrade, E. K. P., Andrade, A. R. S., Zamora, V. R. O., de Aquino Silva, P. R. L., Santos, M. K. S., & Azevedo, P. R. (2018). Periodicidades na distribuição homogênea da precipitação no Agreste de Pernambuco. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 3 (1), 100-117.

Antônio, J. F., Antônio, M. A. V., de Carvalho, A. L., de Souza, J. L., & dos Santos Silva, F. D. (2017). Período de retorno de eventos de precipitação favoráveis às culturas agrícolas no estado de Alagoas. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 2 (4), 465-473.

de Souza Carvalho, P. R., Guimarães, R. F., & de Carvalho Júnior, O. A. (2010). Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do Rio Preto. *Revista Espaço e Geografia*, 13 (2), 227-307.

Cavalcanti, H. F. (2013). Avaliação ambiental de nascentes do Rio Mundaú, Garanhuns-PE (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Sergipe, Aracajú, SE, Brasil.

de Andrade Farias, C. W. L., Montenegro, S. M. G. L., Lins, F. A. C., & de Assunção Montenegro, A. A. (2020). Correção de tendência das projeções climáticas futuras simuladas pelo modelo regional Eta-Hadgem2-Es para a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, Nordeste do Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5 (3), 288-301.

de Andrade Farias, C. W. L., Montenegro, S. M. G. L., de Assunção Montenegro, A. A., de Sousa Lima, J. R., Srinivasan, R., & Jones, C. A. (2020). Modeling runoff response to land-use changes using the SWAT model in the Mundaú watershed, Brazil. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 5 (2), 194-206.

de Melo, F. P. (2014). Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Rio Mundaú. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18 (1), 288-295.

Gomes, D. D. M., de Lima, D. R. M., Veríssimo, C. U. V., & Duarte, C. R. (2016). Mapeamento e caracterização dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio Mundaú-PE/AL. *Caderno de Geografia*, 26 (2), 272-299.

Lopes, I., Leal, B. G., & Ramos, C. M. (2018). Morphometric characterization of the basin in the semi-arid region of Pernambuco using SRTM data in free software. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 8 (1), 31-40.

Marciano, A. G., Barbosa, A. A., & Silva, A. P. M. (2018). Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. *Revista Ambiente & Água*, 13 (1), e1906.

Nicolete, D. A. P., Carvalho, T., Polonio, V. D., Leda, V. C., & Zimback, C. R. L. (2015, abril). Delimitação automática de uma bacia hidrográfica utilizando MDE TOPODATA: aplicações para estudos ambientais na região da Cuesta de Botucatu-SP. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, 25.

de Oliveira, D. H. R., Acorsi, M. G., & Smaniotto, D. A. (2018). Uso e ocupação do solo e caracterização morfométrica de microbacia na região centro-sul paranaense. *Águas Subterrâneas*, 32 (2), 1-10.

Pereira, L. F., Guimarães, R. M. F., & Oliveira, R. R. M. (2018). Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 3 (3), 250-264.

QGIS Development Team (2009). (Versão 2.18) [Programa de Computador]. Grut: QGIS.ORG.

de Araújo Silva, S., Candeias, A. L. B., Gomes, D. D. M., & de Souza, W. M. (2018). Variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia hidrográfica do Rio Mundaú (PE/AL). *Revista Brasileira de Climatologia*, 23, 453 - 475.

SILVA, D. F. da. (2009). Análise de aspectos climatológicos, agroeconômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (AL e PE). (Tese de doutorado)

Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.

da Silva, D. F., de Souza, F. D. A. S., & Kayano, M. T. (2010). Avaliação dos impactos da poluição nos recursos hídricos da bacia do rio Mundaú (AL e PE). *Revista de Geografia*, 24 (3),210-223.

Silva, J. S. A., Rodrigues, R. S. S., & Bittencourt, G. M. (2020). Application of different MDE's for the extraction of morphometric variables of a hydrographic catchment. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 10 (1),10-19.

Teodoro, V. L. I., Teixeira, D., Costa, D. J. L., & Fuller, B. B. (2007). O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, 11 (1), 137-156.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Anderson Santos da Silva – 20%

Mário Melquíades Silva dos Anjos – 20%

Anthony Wellington Almeida Gomes – 20%

Alan César Bezerra – 20%

Miguel Julio Machado Guimarães – 20%