



UFRPE

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

JULYANE SILVA MENDES POLYCARPO

GEOTECNOLOGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS
SUJEITAS À ENCHENTES NA BACIA DO RIO UNA,
PERNAMBUCO

RECIFE- PE
FEVEREIRO/2023

JULYANE SILVA MENDES POLYCARPO

GEOTECNOLOGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS
SUJEITAS A ENCHENTES NA BACIA DO RIO UNA,
PERNAMBUCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Orientador: Marcus Metri Corrêa

Coorientador: Albert Einstein Spíndola Saraiva de Moura

RECIFE- PE

FEVEREIRO/2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

P782g

Polycarpo, Julyane Silva Mendes

Geotecnologias para identificação de áreas sujeitas à enchentes na bacia do Rio Una, Pernambuco / Julyane Silva Mendes Polycarpo. - 2023.

57 f. : il.

Orientador: Marcus Metri Correa.

Coorientador: Albert Einstein Spindola Saraiva de Moura.

Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, , Recife, 2023.

1. Desastres naturais. 2. Geoprocessamento. 3. Gestão de recursos hídricos. 4. Inundação. 5. Sensoriamento remoto. I. Correa, Marcus Metri, orient. II. Moura, Albert Einstein Spindola Saraiva de, coorient. III. Título

CDD

JULYANE SILVA MENDES POLYCARPO

GEOTECNOLOGIAS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUJEITAS A ENCHENTES
NA BACIA DO RIO UNA, PERNAMBUCO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2023.

Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa
Presidente da Banca e Orientador.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Rodrigues Pereira.
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Fernando Cartaxo Rolim Neto.
Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me mostraram a importância dos estudos.

AGRADECIMENTOS

À Deus, porque sem Ele nada disso seria possível.

Aos meus pais, que sempre me apoiaram e fizeram tudo o que sempre foi possível para me ver estudando.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental pela oportunidade em fazer parte da história deles.

À FACEPE (IBPG-1626-3.07/19) pela concessão da bolsa de estudos, que foi fundamental para a realização do projeto.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Marcus Metri Corrêa, que sempre esteve presente me auxiliando, orientando e sendo muito compreensivo nos meus momentos de dificuldade.

À minha família, em especial ao meu irmão João Henrique Mendes e minhas primas Rafaela Henrique, Rita Barros e Andressa Mendes (em memória), que sempre acreditaram no meu potencial e me deram total apoio.

Ao meu melhor amigo, Adriano Oliveira, que sempre ouviu minhas reclamações, esteve comigo em todos os momentos de alegria e dificuldades, e sempre admirou e apoiou minha vontade de crescer na vida à base dos estudos.

Ao Isaque Mendes, que me concedeu total suporte em geoprocessamento para a realização desta dissertação.

Aos meus amigos: Francisco Ernesto, Bruna Negreiros, Maria Vitória Neves, Beatriz Florêncio, Fernanda Cunha, Vitória Maciel, Marco Antônio (Paqui), Danilo Barros, Marcos Antônio (Markinhos), Davi Wanderley, Mirella Nóbrega, Rhayssa Cavalcanti, Symone Falcão e José Galdino, que foram importantes em diversos momentos durante a realização desta pesquisa.

E, por fim, mas não menos importante, ao meu gerente e amigo Jailton Lima, que me deu todo apoio necessário na fase final para conclusão desta pesquisa.

Obrigada a todos vocês!

A cidade me assombra. É tudo o que a água não é: cinzenta, ostentosa, rocambolesca, opressiva e ameaçadora. A água é simples.

A Caçadora de Árvores, de Marie Pavlenko.

POLYCARPO, Julyane Silva Mendes. **Geotecnologias para Identificação de Áreas Sujeitas a Enchentes na Bacia do Rio Una, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

RESUMO

Introdução: As alterações climáticas ocasionam eventos extremos de natureza hídrica, como as enchentes. As bacias hidrográficas podem se apresentar mais suscetíveis à ocorrência desses eventos dependendo de suas características climática, hidrológica, geológica, morfométrica e antrópica. Para identificar os fatores que influenciam na suscetibilidade das bacias podem ser utilizadas ferramentas do geoprocessamento. **Objetivo:** Diante disso, o presente trabalho propõe analisar, através de determinação dos parâmetros morfométricos, a suscetibilidade à ocorrência de enchentes da bacia hidrográfica do rio Una, localizada no estado de Pernambuco, Brasil. **Metodologia:** Pretende-se utilizar o software QGis versão 3.16, além de equações numéricas, para determinar os parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo e realizar a caracterização de cada sub-bacia da bacia do rio Una. **Resultados:** Observou-se que a bacia possui média a alta suscetibilidade a enchentes, sendo este resultado influenciado por todos os parâmetros morfométricos de cada sub-bacia. **Conclusão:** Com a análise geral, observou-se que 40% do total das sub-bacias possui alta suscetibilidade a enchentes. Enquanto que 50% do total de sub-bacias têm probabilidade média e 10% do total têm baixa suscetibilidade a enchentes. A sub-bacia 8 tem o menor índice de suscetibilidade à inundação, enquanto a sub-bacia 7 possui o maior índice, sendo eles 2,87 e 8,79, respectivamente.

Palavras-chave: Desastres Naturais; Geoprocessamento; Gestão de Recursos Hídricos; Inundação; Sensoriamento Remoto.

POLYCARPO, Julyane Silva Mendes. **Geotechnologies for Identification of Areas Subject to Flooding in the Una River Basin, Pernambuco**. Dissertation (Master in Environmental Engineering) – Federal Rural University of Pernambuco, Recife, 2023.

ABSTRACT

Introduction: Climate change causes extreme water events, such as floods. Watersheds may be more susceptible to the occurrence of these events depending on their climatic, hydrological, geological, morphometric and anthropic characteristics. To identify the factors that influence the susceptibility of the basins, geoprocessing tools can be used. **Objective:** In view of this, the present work proposes to analyze, through the determination of morphometric parameters, the susceptibility to the occurrence of floods in the hydrographic basin of the river Una, located in the state of Pernambuco, Brazil. **Methodology:** It is intended to use the QGIS software version 3.16, in addition to numerical equations, to determine the geometric, drainage and relief parameters and perform the characterization of each sub-basin of the Una river basin. **Results:** It was observed that the basin has medium to high susceptibility to flooding, and this result is influenced by all morphometric parameters of each sub-basin. **Conclusion:** With the general analysis, it was observed that 40% of the total sub-basins have high susceptibility to flooding. While 50% of the total sub-basins have medium probability and 10% of the total have low susceptibility to flooding. Sub-basin 8 has the lowest flood susceptibility index, while sub-basin 7 has the highest index, 2.87 and 8.79, respectively..

Keywords: Natural Disasters; Geoprocessing; Water Resources Management; Inundation; Remote sensing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Bacias hidrográficas do estado de Pernambuco.....	19
Figura 2 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Una.....	27
Figura 3 - Localização das estações meteorológicas	28
Figura 4 - Série histórica de precipitação anual (mm) das cidades de Barreiros, Palmares, Belém de Maria e Cachoeirinha.....	29
Figura 5 - Fluxograma da metodologia adotada.....	30
Figura 6 - Calculadora de Campo do QGis versão 3.16.9.....	33
Figura 7 - Mapa de elevação da bacia do rio Una.....	37
Figura 8 - Ordem dos canais de drenagem da bacia do rio Una.....	38
Figura 9 - Declividade da bacia do rio Una de acordo com a classificação da Embrapa (1979).....	38
Figura 10 - Identificação das sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Una.....	40
Figura 11 - Mapas de risco suscetibilidade a enchentes por parâmetro geométrico.....	44
Figura 12 - Mapas de risco de suscetibilidade a enchentes por parâmetro de drenagem.....	46
Figura 13 - Mapas de risco de suscetibilidade a enchentes por parâmetro de relevo.....	47
Figura 14 - Mapa de risco de suscetibilidade a enchentes da bacia do rio Una.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do relevo de acordo com a Embrapa.....	23
Tabela 2 - Intervalos de referência para graus de suscetibilidade morfométricas.....	35
Tabela 3 - Morfometria da bacia do rio Una.....	39
Tabela 4 - Variáveis numéricas das 20 sub-bacias do Rio Una.....	41
Tabela 5 - Parâmetros morfométricos das sub-bacias do Rio Una.....	42
Tabela 6 - Grau de suscetibilidade geral da bacia do Rio Una	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Mudanças climáticas e desastres naturais	16
2.2 Bacia hidrográfica	17
2.3 Políticas públicas e gestão ambiental	19
2.4 Caracterização morfométrica	20
2.4.1 Parâmetros geométricos	21
2.4.2 Parâmetros de drenagem	22
2.4.3 Parâmetros de relevo	23
2.5 Geoprocessamento no monitoramento de enchentes	24
2.6 Índice de suscetibilidade a enchentes	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Área de estudo	27
3.2 Estratégia amostral	29
3.3 Aquisição e correção do MDE	30
3.4 Determinação das sub-bacias, canal principal e hidrografia	31
3.4.1 Delimitação e vetorização das sub-bacias.....	31
3.4.2 Delimitação e vetorização da hidrografia.....	31
3.4.3 Identificação do canal principal, da calha e das sub-bacias	32
3.5 Determinação das variáveis	33
3.6 Determinação dos parâmetros morfométricos	34
3.7 Determinação do índice de suscetibilidade a enchentes	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Bacia hidrográfica do rio Una, rio principal e morfometria	37
4.2 Sub-bacias e morfometria	40
4.3 Índice de suscetibilidade a enchentes	43
5 CONCLUSÃO.....	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Em regiões litorâneas localizadas entre os trópicos, os eventos meteorológicos podem causar acumulação de água no interior de uma bacia hidrográfica (SOUZA, 2005). Junto a isso, o crescimento populacional vem causando degradação dos recursos naturais, alterações climáticas e prejudicando a resiliência do meio ambiente (RAMOS *et al.*, 2012).

O descarte inadequado de resíduos, construções de moradias irregulares, emissões de poluentes atmosféricos, entre outros, vêm contribuindo para o agravamento das enchentes e inundações. Além disso, o aquecimento global vem provocando alterações no regime de chuvas. Para a região Nordeste do Brasil, pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) preveem que o aquecimento global está gerando um quadro mais severo de chuvas, com estiagens mais prolongadas na região semiárida e chuvas mais intensas na região litorânea. Essas chuvas mais intensas podem ocasionar enchentes e inundações nos grandes centros urbanos.

As enchentes repentinas, ou enchentes relâmpagos, ocorrem devido ao rápido aumento do nível da água dos canais fluviais provocados, dentre outros fatores, por uma intensa precipitação em um curto período. Diversos municípios brasileiros se encontram em áreas suscetíveis a enchentes desta natureza, sendo as comunidades ribeirinhas as mais afetadas, por se localizarem em áreas de inundação natural dos rios (SILVA *et al.*, 2017 e SANTOS *et al.*, 2018).

Sendo assim, as inundações em áreas urbanizadas são consideradas uma ameaça emergente, tanto para a economia quanto para a sociedade (EEA, 2012; XIE *et al.*, 2017). Elas representam aproximadamente um terço de todos os desastres naturais (UNISDR, 2012), são responsáveis por um terço das perdas econômicas e por mais da metade de todas as mortes relacionadas a desastres naturais (WHITE, 2000).

No meio rural, as inundações ocasionam prejuízos às atividades econômicas locais, como a agricultura e a pecuária. De acordo com Tucci (2016), as precipitações intensas aumentam o escoamento superficial de águas pluviais, e como consequências reduzem a infiltração de água no solo, o que pode provocar o aumento do transporte de sedimentos, erosão, perda da camada fértil do solo, diminuição da produção agrícola e deterioração da qualidade da água.

Todos os anos, como consequência destes desastres, muitas pessoas ficam sem moradia, alimentação, roupas, além da ocorrência de óbitos (MELO *et al.*, 2018). Para evitar ou minimizar as consequências destes eventos de natureza hídrica, podem ser adotadas medidas estruturais e/ou não estruturais (SILVA *et al.*, 2017). Dentre as medidas estruturais encontram-se as obras de engenharia, como as construções de barragens. Já para as medidas não estruturais podem ser adotadas ações que promovam o manejo sustentável da bacia hidrográfica como reflorestamento de encostas e implantação de mata ciliar, programas de educação ambiental e adoção de práticas de conservação do solo, como terraços e plantio em nível. A adoção dessas medidas requer a identificação das áreas suscetíveis à inundação na bacia hidrográfica, que podem ser facilmente identificadas através da confecção de mapas temáticos.

De acordo com Strahler (1952), estudos de geomorfologia dinâmica, baseados em formas de relevo existentes, não podem ser conduzidos desconsiderando as mudanças climáticas passadas e taxas relativas. Portanto, é importante considerar todos os processos dependentes do clima, desde o período inicial de formação do relevo, bem como das bacias hidrográficas. Neste sentido, estudos vêm sendo realizados para auxiliar o manejo sustentável das bacias.

Horton (1945) foi pioneiro em relacionar a descarga de uma bacia com a ordem de fluxo, a densidade de drenagem, a taxa de comprimento do fluxo, dentre outros parâmetros. Mais recentemente, Souza (2005) e Marchi *et al.* (2010) procuraram relacionar as características morfométricas, que incluem os parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo, juntamente com parâmetros climáticos, hidrológicos, geológicos-geomorfológicos e antrópicos, com o objetivo de obter o grau de suscetibilidade de bacias a enchentes e inundações.

A identificação do grau de sustentabilidade é importante para auxiliar na redução de perdas. Com isso, também vem sendo utilizadas ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para determinar a suscetibilidade das bacias (RAMOS *et al.*, 2012; ABUZIED *et al.*, 2016; AZMERI *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2018; TERÊNCIO *et al.*, 2020).

A relação dos diversos parâmetros com o grau de suscetibilidade das bacias hidrográficas a enchentes e inundações, apresenta uma visão sistêmica sobre o tema. A aplicação da geotecnologia nas áreas de hidrologia, geologia e climatologia, apresenta-se

como uma ferramenta importante para mitigar os danos causados pelas mudanças climáticas e os eventos extremos de natureza hídrica. Ao se estudar as comunidades locais, modo de vida e a interação com o meio ambiente, percebe-se a sociologia integrada com as demais áreas. Além disso, as pesquisas desenvolvidas podem auxiliar na construção de Políticas Públicas destinadas a mitigar os impactos causados pelas mudanças climáticas e os eventos extremos.

Diante do exposto, o presente trabalho objetiva realizar uma análise geoespacial do grau de susceptibilidade a enchentes da bacia hidrográfica do rio Una, localizada na zona da mata sul do estado de Pernambuco, ao desenvolvimento de enchentes e inundações repentinas, através da análise das características morfométricas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mudanças climáticas e desastres naturais

A circulação geral das correntes de ar atmosféricas é responsável por determinar o clima das regiões no mundo influenciando no aquecimento desigual pela radiação solar na superfície terrestre, na distribuição assimétrica de oceanos e continentes (FERREIRA; MELLO, 2005). A Política Nacional sobre Mudanças do Clima (PNMC) instituída pela Lei nº 12.187 (BRASIL, 2009), apresenta o conceito de mudança do clima como um fenômeno provocado direta ou indiretamente pela atividade humana junto à alteração natural do clima que causam mudanças na atmosfera, além de danos aos ecossistemas.

Os processos hidrológicos e a disponibilidade de água em bacias hidrográficas dependem de diversos fatores, entre eles, as mudanças climáticas e o uso/cobertura do solo (BAO *et al.*, 2019; BELAY e MENGISTU, 2019; NYATUAME *et al.*, 2020). A intensificação das mudanças climáticas está provocando a variabilidade no ciclo da água e induzindo um maior número de eventos climáticos extremos de natureza hidrológica, que são intensificados devido à interferência antrópica no meio ambiente (MIGUEZ *et al.*, 2018).

Na América do Sul, essas mudanças causam fortes precipitações entre os meses de abril e junho (COLLINS *et al.*, 2019). No Brasil, as inundações estão se tornando mais frequentes e intensas em regiões úmidas, mas menos frequentes e intensas em regiões mais secas, com maior propagação de mudanças hidrológicas em bacias com modificações antrópicas (IPCC, 2021).

Dados da Organização Mundial de Meteorologia (WMO, sigla em inglês) mostram que os recursos hídricos estão sob estresse. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês), os ecossistemas de água doce local e regional sofrerão impactos negativos devido às mudanças climáticas e aos eventos extremos. Segundo pesquisa realizada pelo Map Biomas (2021), a dinâmica de uso da terra baseada na conversão da floresta para pecuária e agricultura e a construção de represas, interfere no aumento da temperatura local, podendo alterar as cabeceiras de rios e de nascentes, levar ao assoreamento de rios e lagos e construir para a diminuição do fluxo hídrico. Esses eventos também comprometem o desenvolvimento sustentável e o direito humano de acesso à água de qualidade e ao saneamento básico.

Nos últimos 50 anos percebe-se o aumento de ocorrência de desastres, que coincide com o aumento da urbanização no mundo (MIGUEZ *et al.*, 2018). Entre 1970 e 2019, 79% dos desastres no mundo foram relacionados ao clima, água e riscos climáticos. Na América do Sul, 875 desastres resultaram em 57.909 óbitos, com um aumento de 5% no último nos últimos cinco anos (WMO, 2020). Também foram registradas perdas econômicas de aproximadamente US\$ 103 bilhões, com aumento de 30% nos últimos cinco anos. As inundações causaram 59% dos desastres, 77% das mortes e 58% das perdas econômicas. As inundações quando combinadas aos deslizamentos de terra tornam-se responsáveis por 73% dos desastres registrados.

Diante disto, através da Lei nº 12.608, foi instituída a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) (BRASIL, 2012), que tem como alguns de seus objetivos, reduzir os riscos de desastres ambientais, incorporando-os nos elementos da gestão territorial de forma a identificar e avaliar as ameaças, suscetibilidades e vulnerabilidades a desastres, monitorando os eventos meteorológicos e hidrológicos para emitir alertas antecipados sobre possíveis ocorrências de eventos extremos.

Estudar o clima e entender sua interferência na dinâmica hídrica das bacias hidrográficas é importante para entender as variações, extremos e influências dos danos ambientais na saúde humana, segurança e bem-estar.

2.2 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica, ou bacia de drenagem, é uma área limitada na superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos, por um conjunto de canais de escoamento interligados, até uma saída comum, denominada exutório (FRANCO; SOUZA, 2016; SANTOS *et al.*, 2016). O relevo, estrutura, materiais superficiais como solos, sedimentos, rochas, e até mesmo o regime dos fluxos que compõem uma bacia estão em equilíbrio dinâmico, e se modificam quando um desses elementos sofre alteração (HACK, 1975).

A radiação solar que chega à superfície da Terra faz com que seja evaporada água dos oceanos, lagos, rios, vegetação, e outros pontos da superfície. A água que entra no sistema de circulação geral da atmosfera depende das diferenças de absorção de energia (transformação em calor) e da reflectância entre os trópicos e das regiões de maior latitude, como as regiões polares (BRITTO *et al.*, 2019). Esses e outros fatores como, por exemplo, os ventos e o relevo, dão origem e influenciam no ciclo da água na Terra.

Devido às características geomorfológicas e as condições climáticas que cada bacia se encontra, estas vêm sendo utilizadas como objeto de estudo da gestão e gerenciamento de recursos hídricos (BRASIL, 1997), geralmente em pesquisas que envolvem a dinâmica da água na bacia hidrográfica (LEWIS; BURG, 1964; CROWE; SCHWARTZ, 1985; FLERCHINGER; COOLEY, 2020; SINGH; SARAVANAN, 2020; KURTZ *et al.*, 2021). Esses estudos podem auxiliar no manejo de irrigação (FRANCO *et al.*, 2000; LAHUE; LINQUIST, 2021), dimensionamento de barragem (GHORABA, 2015), avaliação de impactos das mudanças climáticas (LETA *et al.*, 2016), dentre outros.

Alterações no regime de chuvas faz com que o sistema geomorfológico da bacia sofra modificação, assim como os fluxos estão adaptados à forma da bacia (KIRKALDY; BULL, 1940; CHRISTOFOLETTI, 1980; FANG, *et al.*, 2012; PALUMBO; HEAD; WILSON, 2020). Com isso, identificar as características morfométricas, ou seja, os parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo das bacias hidrográficas, que contribuem para a ocorrência de enchentes é um dos motivos para o desenvolvimento de estudos atualmente.

Lee e Bray (1969) e Tucci (1993) relacionaram que o escoamento superficial depende da condição inicial de umidade do solo da bacia e suas características físicas e climatológicas, incluindo a distribuição espacial e temporal da chuva. Estudos quantitativos de bacia de drenagem foram feitos por Horton (1945), que analisou as relações entre as propriedades morfométricas de uma bacia e suas características hidrológicas, incluindo diferentes descargas de frequências e magnitudes diferentes em situações de cheias. Além disso, a intensidade da precipitação pode influenciar no volume de sedimentos gerados (NERY, 2017).

Bacias com formato mais alongado podem gerar mais escoamento (RODRIGUES *et al.*, 2016), podendo também ser menos suscetíveis à inundações se localizadas em solos mais permeáveis e relevo mais suave (COSTA; GALVANIN; NEVES, 2020). O tamanho e a hierarquia das bacias também são importantes para determinar seu grau de suscetibilidade a enchentes, pois estas características relacionam-se com as características morfométricas (ÁVILA; ALMEIDA NETO; FELIPPE, 2017).

Em Pernambuco, as bacias hidrográficas escoam para duas vertentes: rio São Francisco ou Oceano Atlântico. As bacias que escoam para o Oceano Atlântico, são as que possuem os rios litorâneos como, por exemplo, Goiana, Capibaribe, Ipojuca, Una, Sirinhaém, Mandaú e GL's (Grupos de bacias de pequenos rios litorâneos) (APAC, 2022) (Figura 1). As cidades pernambucanas cortadas por rios litorâneos e mais próximas do litoral são as que mais sofrem com enchentes em todo o estado.

Figura 1. Bacias hidrográficas do estado de Pernambuco.



Fonte: APAC, 2022.

2.3 Políticas públicas e gestão ambiental

As mudanças causadas pelo homem sobre o meio ambiente é a base da nova era chamada de Antropoceno, sendo essas mudanças obtidas a partir de diversas evidências geológicas e biológicas (LAMIM-GUEDES, 2021). É uma tarefa muito difícil orientar a sociedade para uma gestão socioambiental adequada (SILVA *et al.*, 2021). Mas com a expansão da democracia, o dever do Estado de promover o bem-estar da sociedade cresceu, e com isso, utilizam-se políticas públicas (CANÇADO *et al.*, 2021).

Política pública é o programa de ação governamental que resulta de um processo ou conjunto de processos juridicamente regulados – processo eleitoral, processo de planejamento, processo de governo, processo orçamentário, processo legislativo, processo administrativo, processo judicial – visando coordenar os meios à disposição do Estado e as atividades privadas, para a realização de objetivos socialmente relevantes e politicamente determinados (BUCCI, 2006).

As políticas públicas devem ser instrumentos eficazes para otimizar essa relação entre sociedade e seu meio (SILVA *et al.*, 2021). Sendo assim, a criação de políticas públicas precisa atender cada vez mais funcionalidades, como “colocar o governo em ação” e/ou

analisar essa ação, além de, quando necessário, propor mudanças no curso dessas ações (FREIRIA, 2020).

De acordo com Bernardes *et al.* (2011), os problemas provocados pelas enchentes nas regiões litorâneas do estado de Pernambuco, são também agravados pelo descaso do poder público com a falta de medidas de mitigação. Uma falta de equilíbrio pôde ser percebida entre a execução de diferentes estratégias de enfrentamento às mudanças climáticas no estado de Pernambuco (SILVA *et al.*, 2021).

O município de Água Preta, por exemplo, assim como outros localizados na bacia do Rio Una, foi atingido por fortes cheias em 1995 e 2000, mas nenhuma delas se compara à que ocorreu em 2010 (THROSSELL, 2010). Após este evento, iniciou uma Operação Reconstrução do governo do Estado de Pernambuco, para retirar alguns moradores que vivem em áreas ribeirinhas nas cidades de Palmares, Água Preta e Catende (CAVALCANTE, 2015). Porém, ainda existem moradores vivendo nessas áreas e sofrendo com os danos anuais das cheias. Em 2022, até a primeira semana do mês de julho, existiam mais de 1.500 pessoas desalojadas e 178 desabrigadas no município de Água Preta por causa das enchentes (G1, 2022).

Alguns pesquisadores realizaram análise de gastos das políticas públicas pernambucanas relacionadas com as mudanças do clima, e concluíram que as leis estaduais, mesmo vigentes, em diversos momentos não são levadas em consideração como diretrizes a serem seguidas pelo poder público na execução de suas ações, principalmente relacionadas à mitigação e prevenção de desastres ambientais (SILVA *et al.*, 2021).

2.4 Caracterização morfométrica

As características morfométricas são indicadores quantitativos dos elementos da bacia, que influenciam a magnitude e a variabilidade dos processos hidrológicos (TUCCI, 1993; SOUZA, 2005; VICH *et al.*, 2021; SAHA *et al.*, 2022), podendo ser obtidas por meio de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite (SILVEIRA, 2020).

A análise de características morfométricas das bacias hidrográficas é importante para entender a dinâmica interna (DEUS *et al.*, 2016; SOUSA; PAULA, 2016), podendo servir também para identificar bacias que possuem comportamentos hidrológicos semelhantes, indicando áreas de ocorrência de enchentes, principalmente em regiões que não possuem dados hidrológicos adequados (ÁVILA; ALMEIDA NETO; FELIPPE, 2016).

A determinação de suscetibilidade a enchentes de bacias hidrográficas pode ser realizada através da determinação de parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo que foram descritos por Horton (1945), Souza (2005), Souza *et al.* (2017), Lacerda *et al.* (2019), Vich *et al.* (2021), dentre outros, e apresentados a seguir.

2.4.1 Parâmetros geométricos

Responsáveis por caracterizar a geometria das bacias, os parâmetros de área (A), perímetro (P) e comprimento axial da bacia (E) são determinados por intermédio de medidas realizadas diretamente do mapa, base digital e outros (VICH *et al.*, 2021). Os outros parâmetros geométricos são determinados por meio de equações numéricas (Equações 1, 2, 3).

- Área (A): quantifica a área da bacia em unidade de medida (km²) (SOUZA, 2005). É um parâmetro inversamente proporcional a suscetibilidade a enchentes, ou seja, quanto maior a área da bacia, menor a suscetibilidade a enchentes.
- Perímetro (P): é uma projeção horizontal da linha que contorna o divisor de águas da bacia (km) (SOUZA, 2005). Assim como o parâmetro de área, o perímetro também é inversamente proporcional à suscetibilidade.
- Comprimento axial da bacia hidrográfica (E): é a distância do exutório até o ponto mais remoto da bacia (km) (SOUZA, 2005). O comprimento axial da bacia também é um parâmetro inversamente proporcional à suscetibilidade a enchentes.
- Fator de forma (Ff): é considerado o melhor índice para representar a forma da bacia (SOUZA, 2005). Este parâmetro indica que a bacia pode ter alta ($Ff \geq 0,75$), média ($0,75 > Ff > 0,50$) e baixa ($Ff \leq 0,50$) suscetibilidade a enchentes (SOUZA *et al.*, 2017).

$$Ff = \frac{A}{E^2} \quad (1)$$

Onde: Ff – Fator de forma (adimensional); A – Área da bacia (km²); E – Comprimento axial da bacia (km).

- Coefficiente de compacidade (Kc): é um índice que relaciona o perímetro da bacia e o perímetro de uma circunferência que possui a mesma área igual da bacia. Este parâmetro indica que a bacia pode ter alta ($1,00 < Kc < 1,25$), média ($1,25 < Kc < 1,50$) e baixa ($Kc > 1,50$) suscetibilidade a enchentes (SOUZA *et al.*, 2017).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde: K_c – Coeficiente de compacidade (adimensional); A – Área da bacia (km^2); P – Perímetro da bacia (km).

- Índice de circularidade (I_c): apresenta o quanto a forma da bacia se aproxima de uma circunferência. Quanto mais elevada a área, o perímetro e o canal principal, maior a probabilidade da bacia ser alongada (SOUZA, 2005). Este parâmetro indica que a bacia pode ter alta ($I_c > 0,51$), média ($I_c = 0,51$) e baixa ($I_c < 0,51$) suscetibilidade a enchentes (SOUZA *et al.*, 2017).

$$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

Onde: I_c – Índice de circularidade (adimensional); A – Área da bacia (km^2); P – Perímetro da bacia (km).

2.4.2 Parâmetros de drenagem

São parâmetros que relacionam as principais condições métricas da rede hidrográfica da bacia. Esta rede é uma estrutura dinâmica, que possui capacidade de conectar as subáreas que fazem parte da bacia, e através da definição de uma hierarquia dos canais de drenagem, podem-se determinar as características desta rede (VICH *et al.*, 2021).

- Ordem da bacia (O): indica o grau de ramificação da bacia. É escolhido de forma que a ponta dos canais, ou canais não ramificados, seja classificada como canal de 1ª ordem; os riachos que recebem canais de 1ª ordem tornam-se canais de 2ª ordem; para ser de 3ª ordem o canal precisa receber tributários de 2ª ou 1ª e 2ª ordem (HORTON, 1945). A contagem continua seguindo a mesma lógica até que o rio principal chegue à foz e, com isso, sua ordem será a mais alta e caracteriza a ordem da bacia.
- Densidade de drenagem (D_d): relaciona o comprimento total dos canais de drenagem e a área da bacia. Quanto maior a D_d , menor a capacidade de infiltração (SOUZA, 2005) e mais rápido a bacia evacua o excesso de escoamento (VICH *et al.*, 2021), provocando assim, rápida concentração de cheias em locais planos da bacia. Este parâmetro indica que a bacia pode ter alta ($D_d > 13,5$), média ($5,0 < D_d < 13,50$) e baixa ($D_d < 5,0$) suscetibilidade a enchentes (STRAHLER, 1952; SOUZA *et al.*, 2017).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (4)$$

Onde: D_d – Densidade de drenagem (km/km^2); L_t – Comprimento total dos canais de drenagem (km); A – Área da bacia (km^2).

- Índice de sinuosidade (Is): representação percentual entre rio e talvegue (Equação 5). Quanto maior a sinuosidade, maior a suscetibilidade a enchentes (SOUZA *et al.*, 2017).

$$I_s = 100 * \frac{L-La}{La} \quad (5)$$

Onde: Is – Índice de sinuosidade (%); L – Comprimento do rio principal (km); La – Comprimento axial do rio principal (km).

2.4.3 Parâmetros de relevo

Caracterizar o relevo de uma bacia hidrográfica é importante devido à sua influência nos fenômenos de escoamento superficial, infiltração, erosão hídrica (VICH *et al.*, 2021), e como consequência, sua interferência no desenvolvimento de enchentes na bacia.

- Declividade média da bacia (I): é a tangente do ângulo de inclinação da superfície do terreno ao longo da bacia. A declividade é inversamente proporcional à suscetibilidade a enchentes, ou seja, quanto maior a declividade menor a suscetibilidade. Esta declividade pode ser determinada através da amplitude (H) (diferença entre cota máxima e cota mínima) e o comprimento axial da bacia (Equação 6) (ÁVILA *et al.*, 2017).

$$I = \frac{C_{máx}-C_{mín}}{E} * 100 = \frac{H}{E} * 100 \quad (6)$$

Onde: I – Declividade média da bacia (%); H – Amplitude média da bacia (m); E – Comprimento axial da bacia (m).

A classificação da declividade pode ser realizada através da Classificação do relevo determinada pela Embrapa (1979) (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação do relevo de acordo com a Embrapa.

Classificação do relevo	Declividade (%)
Plano	0 – 3
Suavemente ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Fortemente ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	>75%

Fonte: Embrapa, 1979.

- Declividade média do rio principal (I_{eq}): é a relação entre a diferença da cota de nascente do rio principal e da cota mínima (exutório) e o comprimento do rio principal (Equação 7) (ÁVILA *et al.*, 2017). Canais com altas declividades têm tendência a serem menores, além de terem maior capacidade de erosão e transporte de sedimentos (SOUZA, 2005).

$$I_{eq} = \frac{C_o - C_{mín}}{L} \quad (7)$$

Onde: I_{eq} – Declividade do rio principal (m/m); C_o – Cota da nascente do rio principal (m); $C_{mín}$ – Cota mínima da bacia (m); L – Comprimento do rio principal (m).

- Tempo de concentração (T_c): é um parâmetro influenciado pelo relevo, forma, declividade da bacia, umidade do solo, entre outros fatores. Pode ser caracterizado como o tempo necessário para a água percorrer o rio principal da nascente à foz. Considerando o formato das bacias, em bacias de alongadas os afluentes se conectam com o rio principal em diversos pontos, fazendo com que a bacia tenha um tempo de concentração maior quando comparada com bacias circulares. Com isso, quanto menor o tempo de concentração, mais circular é a forma da bacia e maior é sua suscetibilidade ao desenvolvimento de enchentes (SOUZA *et al.*, 2017). Para determinar o tempo de concentração, pode ser utilizada a Equação (8) de Kirpich (1940).

$$T_c = 57 \left(\frac{L^2}{I_{eq}} \right)^{0,385} \quad (8)$$

Onde: T_c – Tempo de concentração (min); L – Comprimento do rio principal (km); I_{eq} – Declividade do rio principal (m/km).

É importante que seja realizada uma análise sistêmica e integrada durante a caracterização das bacias, pois será possível criar um diagnóstico adequado sobre a situação dos recursos naturais existente na mesma, facilitando a compreensão dos processos de evolução que existem e determinando a capacidade de suporte e ocupação da bacia (SOUSA; PAULA, 2016).

2.5 Geoprocessamento no monitoramento de enchentes

A dinâmica da economia capitalista passou por diversos períodos. Estudos do economista Nikolai Kondratiev conseguiram comprovar a relação desta com a produção industrial, o consumo e a inovação tecnológica (ROSENBERG; FRISCHTAK, 1983). A

partir disso, formaram-se os Ciclos de Kondratiev, que possuem duração média de 50 anos e são caracterizados através do surgimento de inovações tecnológicas, ao longo do tempo.

O primeiro ciclo foi marcado pelo surgimento da máquina a vapor, o segundo ciclo pelo aparecimento de transportes, o terceiro pela eletricidade e o motor a combustão, e o quarto ciclo pela terceira Revolução Industrial com a telecomunicação, a robótica e a biotecnologia (RANGEL, 1990). É no quarto ciclo também que aparece o geoprocessamento, sendo usado para estudos ambientais. Atualmente, o quinto ciclo já é observado com a Indústria 4.0 e a utilização da Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), termo utilizado pela primeira vez em 1999, pelo pesquisador britânico Kevin Ashton, do Massachusetts Institute of Technology (MIT) (SANTOS; FREITAS, 2016).

A utilização de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto têm como principal função auxiliar na gestão do território e análises ambientais, devido a sua abordagem múltipla e a rapidez na geração de resultados precisos (FONSECA; SANTOS; HERMANO, 2013). O uso da geotecnologia em estudos com bacias hidrográficas já vem sendo desenvolvido há mais de duas décadas.

É possível utilizar Sistema de Informações Geográficas (SIG) para relacionar a qualidade da água encontrada nas bacias com o uso do solo e escoamento superficial (LENZI; DI LUZIO, 1997; WANG; YIN, 1997; LUO *et al.*, 2011; ASSIS *et al.*, 2022), realizar modelagem de águas subterrâneas (THAKUR *et al.*, 2020) e da erosão do solo (KEBEDE *et al.*, 2021), além de análises espaciais de risco de enchentes em bacias (EL-MAGD; HERMAS; EL BASTAWESY, 2010; OGATO, *et al.*, 2020; TANG *et al.*, 2021).

Por meio da representação digital da superfície do terreno, é possível realizar o delineamento e caracterização de bacias, determinando os parâmetros morfométricos e, a partir destes parâmetros, encontrar índices representativos, como o índice de suscetibilidade a enchentes (OLIVEIRA *et al.*, 2010; RAMOS *et al.*, 2012; MENDES *et al.*, 2016). O pico da descarga, inclinação, tamanho e forma de bacia hidrográfica, gradiente do rio, densidade de drenagem, erosão, estabilidade da encosta, volume de armazenamento, precipitação, uso e cobertura do solo, são alguns dos parâmetros que podem ser identificados (AZMERI *et al.*, 2016; DESALEGN; MULU, 2021).

Os modelos digitais de elevação (MDE), utilizados na caracterização geoespacial das bacias hidrográficas, podem ser gerados através do uso de GPS, radar, altimetria a laser e outros (OSEI *et al.*, 2021; DUAN *et al.*, 2022). Mas, também podem ser adquiridos em plataformas online do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Instituto

Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, sigla em inglês), dentre outros, tornando o estudo com bacia hidrográfica mais fácil, rápido, detalhado e de baixo custo (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

2.6 Índice de suscetibilidade a enchentes

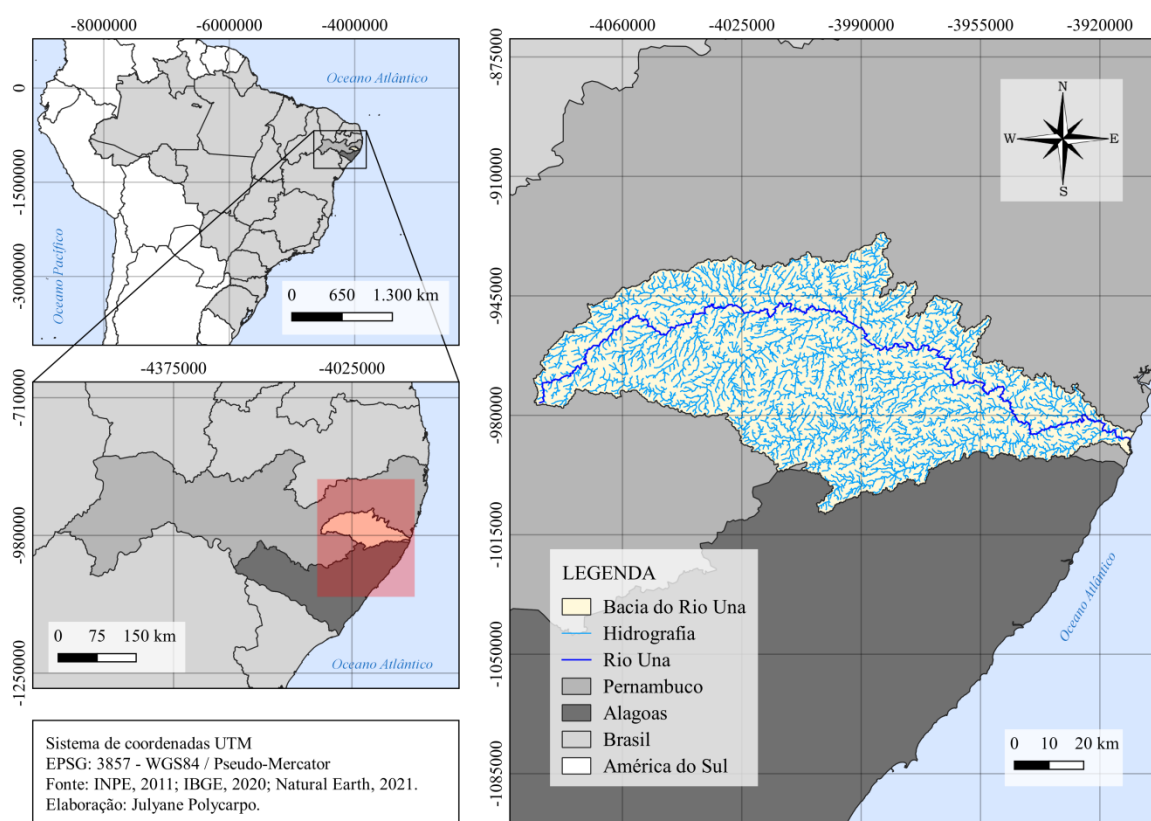
Para determinação do índice de suscetibilidade a enchentes nas bacias, podem ser utilizadas técnicas de ponderação que variam de acordo com a quantidade de parâmetros utilizados, sendo possível priorizar alguns parâmetros que sejam considerados de maior influência na tendência das bacias a enchentes (OGAREKPE *et al.*, 2020). Com isso, podem ser gerados mapas de suscetibilidade a enchentes, que virão como base para instrumentos de planejamento, como os planos diretores, planos de ordenamento territorial, zoneamentos ambientais, lei de uso e ocupação do solo, zoneamentos ecológico-econômicos, entre outros (SOUZA; SOBREIRA, 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Una (Figura 2), segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), abrange uma área de 6.740,31 km². Deste total, mais de 92% está inserida na mesorregião da Zona da Mata Sul e Agreste do estado de Pernambuco e menos de 8%, no estado de Alagoas. A bacia fica localizada entre as coordenadas 08°17'14" e 08°55'28" de latitude sul e 35°07'48" e 36°42'10" de longitude oeste e é caracterizada como Unidade de Planejamento Hídrico 5 (UP5).

Figura 2. Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Autora, 2022.

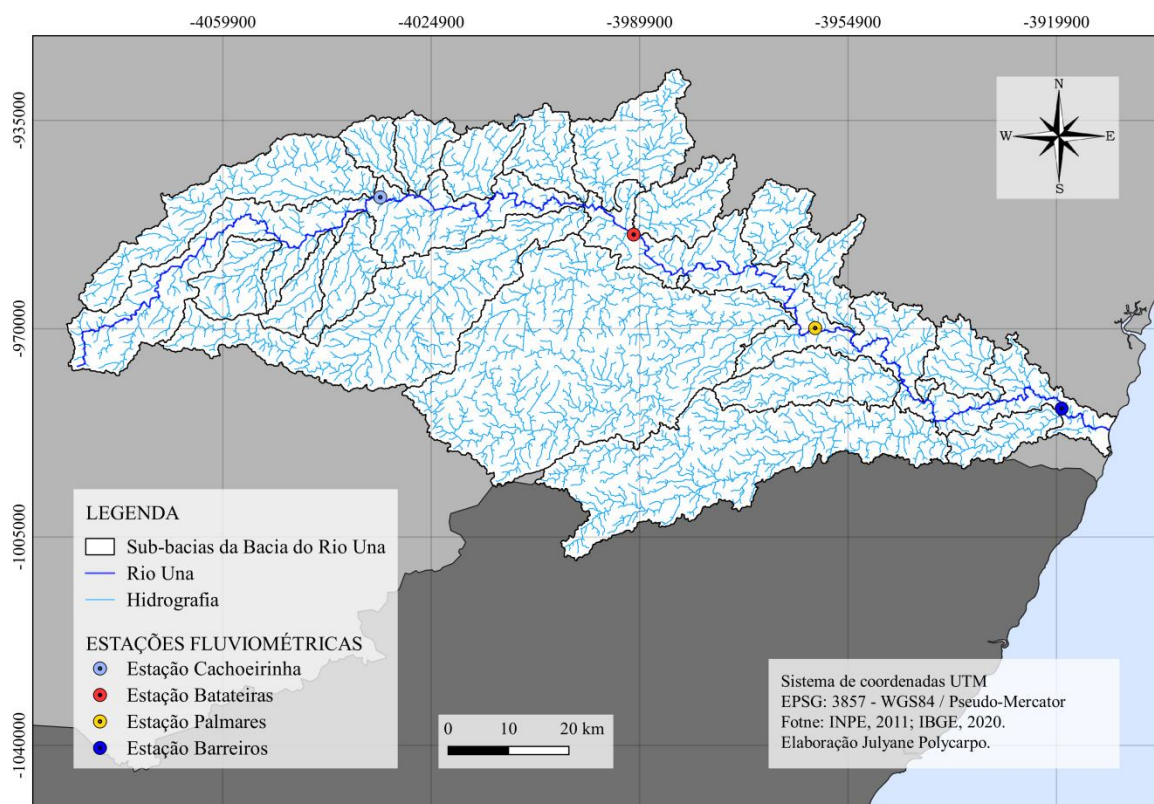
O rio Una nasce na serra da Boa Vista, no município de Capoeiras, a uma altitude de 900m e deságua no oceano Atlântico. Ainda de acordo com a APAC, o rio é intermitente até aproximadamente a cidade de Altinho, tornando-se perene em seguida. Têm como principais afluentes, na margem direita, o riacho Quatis, o rio da Chata, o rio Pirangi, o rio Jacuípe e o

rio Caraçu. Já na Margem esquerda encontram-se o riacho Riachão, o riacho Mentirosas, o riacho do Sapo, o rio Camevô e o rio Preto.

Ao norte, a bacia hidrográfica do rio Una limita-se com as bacias rios Ipojuca (UP3), Sirinhaém (UP4) e o quarto grupo de pequenas bacias de rios litorâneos (GL 4); ao sul, com a bacia do rio Mundaú (UP6), o estado de Alagoas, o GL5 e o primeiro grupo de pequenas bacias de rios interiores (GI1); a leste, com o oceano Atlântico, a bacia do rio Sirinhaém, o GL4 e o GL5; e a oeste, com as bacias dos rios Ipojuca e Ipanema (UP7) (APAC, 2022; MONTEIRO *et al.*, 2014).

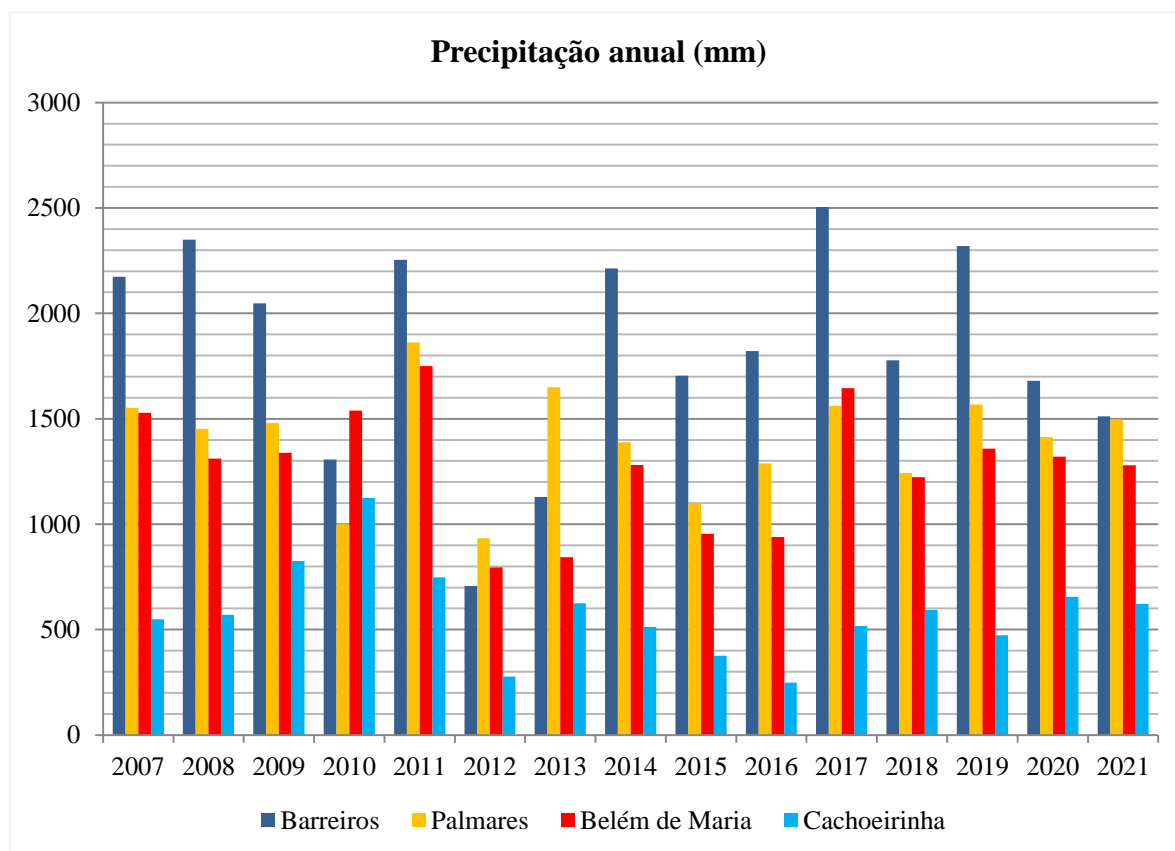
De acordo com a classificação climática de Köppen, a bacia possui clima predominantemente tropical úmido com estações secas durante parte do ano (Medeiros *et al.*, 2018). A precipitação média anual em diferentes pontos da bacia pode variar aproximadamente entre 300 mm ao oeste e ultrapassar os 2500 mm ao leste (Figura 3 e 4). Essa diferença é causada principalmente pelas diferentes correntes de ar que circulam na região vindo do oceano e do sul do país, além do relevo e da vegetação.

Figura 3. Localização das estações meteorológicas.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 4. Série histórica de precipitação anual (mm) das cidades de Barreiros, Palmares, Belém de Maria e Cachoeirinha.

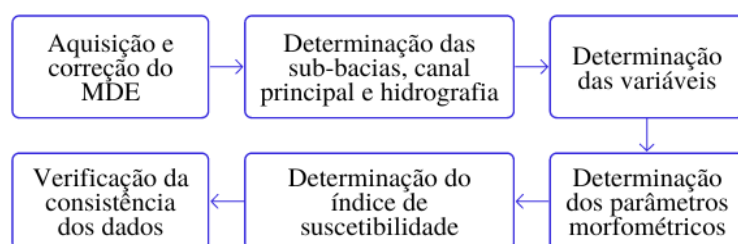


Fonte: ANA, 2022; APAC, 2023.

A bacia do rio Una foi escolhida como área de estudo devido aos grandes eventos de enchentes que foram registradas nesta região nos anos de 2000, 2005, 2010, 2011, e 2017 causando grandes prejuízos econômicos, ambientais, sociais, e até perdas de vidas humanas (MELO *et al.*, 2018).

3.2 Estratégia amostral

Os procedimentos metodológicos adotados englobam o uso de SIG e equações numéricas e seguiram o fluxograma abaixo (Figura 5).

Figura 5. Fluxograma da metodologia adotada.

Fonte: Autora, 2022.

A metodologia de aquisição e processamento do MDE, delimitação e vetorização das sub-bacias e da hidrografia, além da determinação dos parâmetros morfométricos, foi baseada em Mendes *et al.* (2016). A metodologia de identificação das sub-bacias foi baseada em Ogarekpe *et al.* (2020). A determinação do grau de suscetibilidade foi baseada em Abuzied *et al.* (2016).

3.3 Aquisição e correção do MDE

Foram adquiridos quatro MDEs na base de dados online e gratuita Topodata, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os arquivos baixados foram 08S36_ZN, 08S375ZN, 09S36_ZN e 09S375ZN. De acordo com o INPE, eles foram elaborados a partir dos dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponibilizados pelo USGS. A resolução dos MDEs é de 30 m.

O processamento foi realizado no software Qgis versão 3.16.9 que já possui o módulo GRASS 7.8.6 (Qgis Development Team, 2021). O GRASS é necessário por conter ferramentas específicas para a realização de cálculos hidrológicos.

Os MDEs foram mesclados através da ferramenta miscelânea do QGis, que consegue juntar os quatro arquivos de MDE. Em seguida, o arquivo foi reprojetoado para a projeção plana Pseudo-Mercator (WGS 84 - EPSG: 3857). Este sistema foi utilizado porque a bacia é considerada mais plana, ou seja, sem grandes diferenças de amplitude.

Foi necessário realizar a diminuição dos erros de continuidade nos valores dos pixels, ou seja, diminuição de depressões espúrias do *raster*. Para isso, o MDE passou por um processo de filtragem (*r.fill.dir*), selecionando apenas a função “*depression.dem*”, que

resultou em um MDE hidrológicamente consistente (MDEHC). O MDEHC foi cortado para diminuir o tempo de processamento das próximas etapas.

3.4 Determinação das sub-bacias, canal principal e hidrografia

3.4.1 Delimitação e vetorização das sub-bacias

Para iniciar a delimitação da bacia hidrográfica do rio Una e suas sub-bacias, o MDEHC passou pela ferramenta *r.watershed*, selecionando apenas o “rótulo único”, que resultou em um *raster* de bacias.

Na mesma ferramenta (*r.watershed*) foi necessário inserir um valor normal mínimo (VN), que caracteriza uma área mínima de uma sub-bacia para que o software realize a delimitação. O VN pode ser qualquer valor arredondado, ou a razão entre a área da bacia e a área da resolução do MDE. Diversos valores baseados no resultado aproximado da razão (valor = 7400000) foram testados para observar qual seria o melhor detalhamento das bacias hidrográficas. O VN utilizado para a delimitação correspondeu a 1% do valor da razão, ou seja, VN = 74000.

Para a vetorização do *raster* correspondente às sub-bacias, foi utilizado a ferramenta *r.to.vect*, selecionando a camada desejada, o tipo de feição (área) e a opção “*smooth corners of area features*”, sendo esta última utilizada para suavizar as bordas da camada. Com isso, gerou-se um *shapefile* com as possíveis sub-bacias delimitadas. Utilizando a ferramenta de seleção de feição do QGIS, foram selecionadas apenas as sub-bacias que compõem a área que abrange a bacia do rio Una.

3.4.2 Delimitação e vetorização da hidrografia

Para delimitar a hidrografia, utilizou-se a ferramenta *r.watershed*, selecionando apenas o “*stream segments*”. Também se fez necessário estipular o valor normal mínimo, que foi diferente do utilizado para a delimitação das bacias, pois o valor anterior (VN = 74000) não apresentava um grau de detalhamento significativo para a hidrografia. Sendo assim, para melhor detalhamento, adotou-se VN = 740, ou seja, 0,01% do valor da razão entre a área da

bacia e a área da resolução do MDE. Após esse procedimento, foi gerado um arquivo *raster* para a hidrografia.

A vetorização foi realizada com a ferramenta *r.to.vect*, onde se selecionou como *raster* de entrada o arquivo “*stream segments*”. Também neste processo, foi selecionada a feição tipo “*line*” (linha) e “*smooth corners of area features*” (para suavizar as bordas). Por fim, foi recortado o arquivo anteriormente gerado utilizando como camada de sobreposição a bacia do rio Una.

3.4.3 Identificação do canal principal, da calha e das sub-bacias

Para identificar e quantificar as sub-bacias que compõem a bacia do rio Una, foi utilizada a metodologia de Ogarekpe *et al.* (2020). Para os autores, uma sub-bacia é qualquer conjunto de pequenas bacias que tivessem como destino final de suas águas o rio principal, ou seja, o rio Una. Primeiramente, foi selecionado o rio Una e depois se identificou qual o conjunto de sub-bacias que deságuam nele.

Com isto, foi realizado um processamento no MDEHC através da ferramenta “pixels de raster para pontos”, onde obteve-se as cotas de cada pixel através de uma nova camada com os valores dos centroides dos pixels do *raster* analisado. Para identificar o canal principal, utilizou-se o *shapefile* da hidrografia anteriormente determinado. Foi identificada a nascente do rio Una como o ponto mais alto e distante do exutório.

A partir da identificação da nascente é possível conhecer o percurso realizado pelo rio principal observando a hidrografia e o valor das cotas. O rio segue para uma cota de valor inferior. Então, deletou-se os rios tributários que seguiam para cotas de valor superior até restar apenas o canal principal. Com isso, foi possível observar quais das pequenas bacias deságuam em outras bacias ou no rio Una.

Através das ferramentas de seleção de feição, dissolver vetores e mesclar camadas vetoriais, foi possível selecionar a calha do rio Una. O único rio que faz parte da calha é o rio Una. O tamanho da calha depende da resolução do MDE.

Com isso, após a identificação da calha do canal principal e utilizando as mesmas ferramentas, diversas pequenas bacias já delimitadas foram unidas para formar uma sub-bacia maior que deságua no rio Una. Após identificar todas as sub-bacias, delimitou-se a hidrografia

de cada sub-bacia através da ferramenta de recorte de camada vetorial e seus respectivos canais principais.

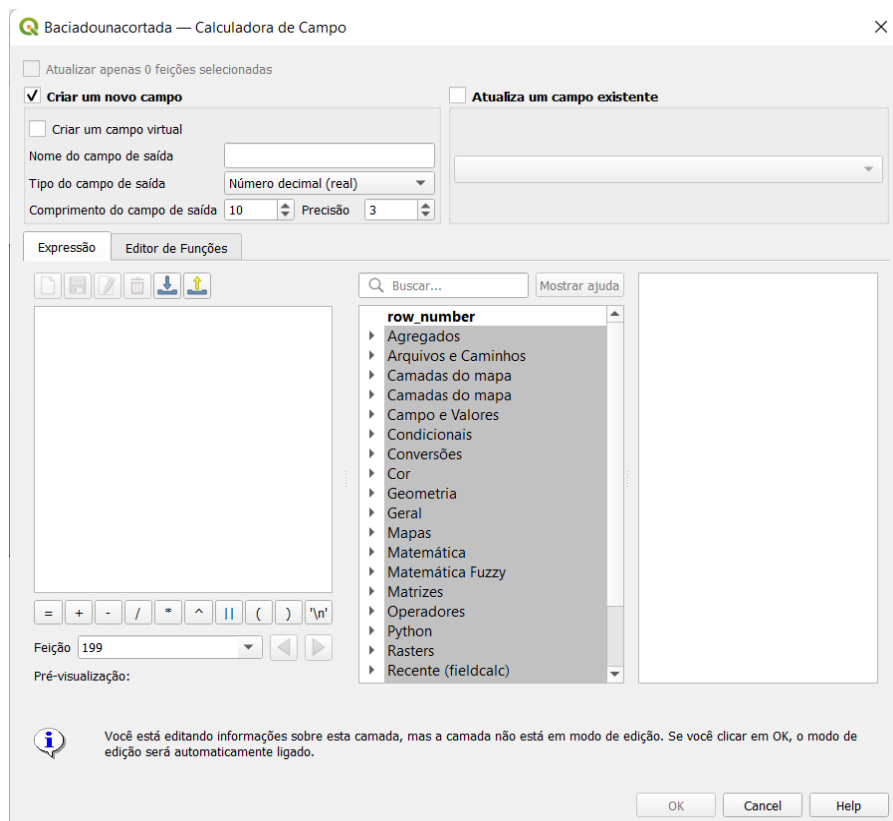
3.5 Determinação das variáveis

As sub-bacias foram utilizadas para determinação dos parâmetros geométricos, de drenagem e de relevo necessários para a caracterização quanto à suscetibilidade a enchentes.

Primeiramente, se determinou todas as variáveis necessárias para serem utilizadas nas fórmulas numéricas que quantificam os parâmetros. Foram determinadas as variáveis de área, perímetro, comprimento axial da bacia e do rio principal, comprimentos totais dos canais de drenagem, comprimento do rio principal, amplitude da bacia, cotas máxima, mínima, média e da nascente do rio principal de todas as sub-bacias.

A área e o perímetro foram gerados através da calculadora de campo (Figura 6) do QGis, que possui determinação direta para estas variáveis através da seção Geometria, selecionando “\$area” e “\$perimeter”. Os valores determinados apresentam unidades em “m²” para área e “m” para o perímetro.

Figura 6. Calculadora de Campo do QGis versão 3.16.9.



As variáveis comprimento axial da bacia e rio principal foram determinadas por meio de medição direta no *shapefile*, utilizando a ferramenta de medição de linha. Para o comprimento axial da bacia, foi selecionado o exutório e o ponto mais extremo a ele. E para o rio principal, também se selecionou o exutório como ponto inicial, e a nascente do rio principal como ponto final. Os resultados das medidas foram obtidos em “km”.

Já o comprimento total dos cursos d’água e do rio principal foi determinado através da ferramenta de soma de comprimentos de linhas, que gerou um novo *shapefile*. Na tabela de atributos da nova camada foi possível observar o valor do somatório do comprimento em “m”. Posteriormente, os valores foram convertidos para “Km”.

Para a determinação da amplitude da bacia, cota máxima, mínima e média, foi utilizado o MDEHC. Este *raster* foi recortado utilizando como camada de máscara as sub-bacias e, com isso, foram geradas novas camadas de MDEHC para cada sub-bacia. Em cada MDEHC utilizou-se a ferramenta estatística zonal do QGis. Foram selecionadas as estatísticas de intervalo, máximo, mínimo e média a serem calculados. Após o processamento, gerou-se uma nova camada vetorial que possui os valores de amplitude da bacia, cota máxima, mínima e média em “m”, respectivamente.

Por fim, através da ferramenta “pixels de *raster* para pontos”, foi determinada a cota da nascente do canal principal de cada sub-bacia em “m”.

3.6 Determinação dos parâmetros morfométricos

Na determinação dos parâmetros morfométricos foi utilizado a planilha de cálculos Microsoft Office Excel para automatizar a determinação.

Para determinar a ordem de cada sub-bacia, utilizou-se as camadas de MDEHC. Cada *raster* foi processado utilizando uma ferramenta do complemento SAGA chamada de “*strahler order*”. Após o processamento, foi gerado outro arquivo *raster*, que foi vetorizado e, em seguida, classificado por categorias. Com isso, identificou-se a ordem da bacia através da quantidade de categorias apresentadas menos um, pois a categoria 1 apenas identificava a base do *raster* e não fazia parte da classificação dos canais.

A declividade média da bacia foi determinada de forma direta através do QGis para serem obtidos resultados mais precisos. Para isso, o MDEHC foi processado utilizando a ferramenta de análise de declive, que originou novas camadas *raster* de declividade. Esta

nova camada foi processada com a ferramenta “estatísticas zonais”, utilizando o arquivo vetorial de cada bacia como camada de entrada e foi selecionada a média como estatística a ser calculada. Com isso, obteve-se o valor da declividade média de cada sub-bacia que foi expresso em porcentagem (%). Além disso, o *raster* de declividade foi reclassificado através da ferramenta *r.reclass* para os padrões de classes de declividade estabelecidos pela Embrapa (1979) e apresentados na Tabela 1.

Para complementar as informações, também foi gerado um mapa de elevação da bacia do rio Una através do MDEHC.

3.7 Determinação do índice de suscetibilidade a enchentes

O índice de suscetibilidade para os parâmetros de análise direta, ou seja, aqueles que quanto maior o valor, maior a tendência da bacia a enchentes, foram determinados através da Equação 9. Já a determinação do índice para os parâmetros de análise inversa, ou seja, aqueles que quanto menor o valor, maior a suscetibilidade da bacia a enchentes, foi realizado através da Equação 10.

$$Y = \frac{X - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}} \quad (9)$$

$$Y = \frac{X - X_{máx}}{X_{mín} - X_{máx}} \quad (10)$$

Onde: Y – Grau de susceptibilidade a enchente; X – Parâmetro analisado (geométrico, drenagem e relevo); X_{max} - Valor máximo apresentado no parâmetro avaliado; X_{mín} - Valor mínimo apresentado no parâmetro avaliado.

Por meio da padronização dos parâmetros foi determinado o grau de susceptibilidade (Y) baixo, médio e alto para risco de enchentes de cada sub-bacia pertencente à bacia hidrográfica do rio Una. O grau de suscetibilidade varia de 0 a 1 e foi classificado de acordo com os intervalos apresentados abaixo (Tabela 2).

Tabela 2. Intervalos de referência para graus de suscetibilidade morfométrica.

Grau correspondente	Baixo	Médio	Alto
Y	0 – 0,33	0,34 – 0,66	0,65 – 1,0

Assim como no estudo realizado por Abuzied *et al.* (2016), neste trabalho também foi considerado que todos os parâmetros possuem o mesmo peso, ou seja, o mesmo grau de influência na suscetibilidade a enchentes.

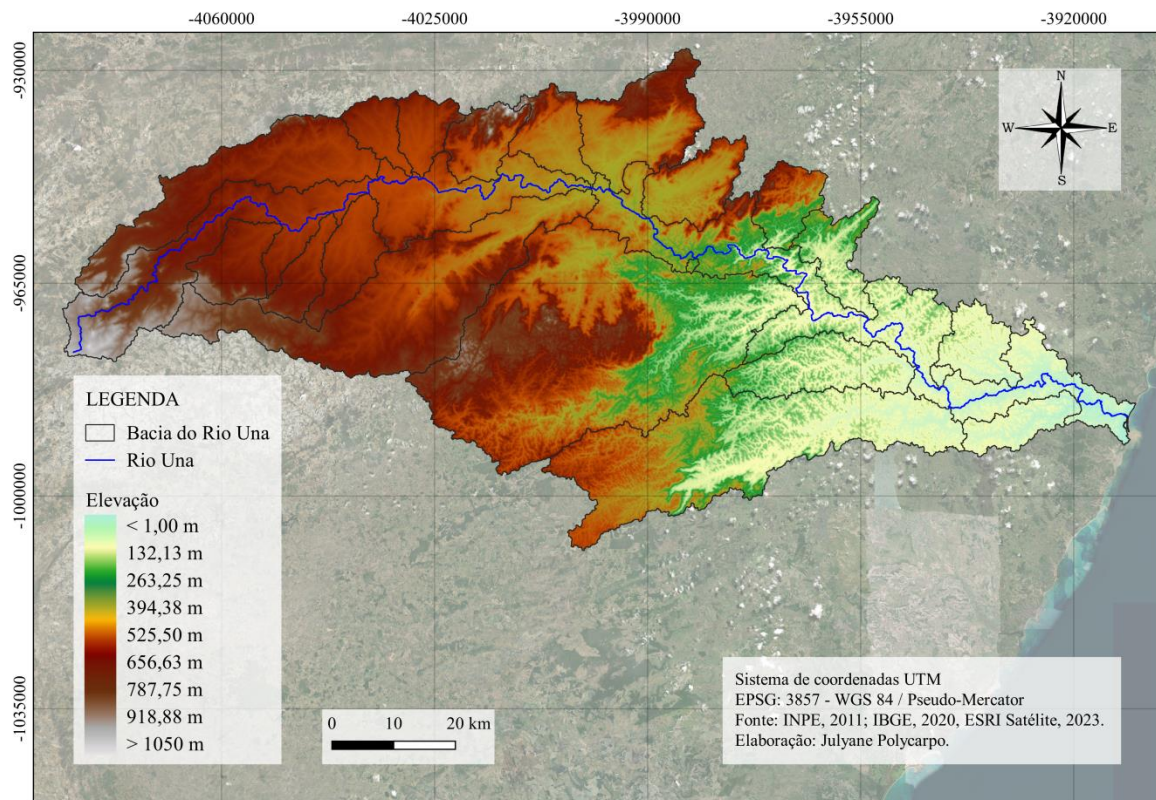
Por fim, foram confeccionados mapas de suscetibilidade a enchentes influenciados por cada parâmetro morfométrico para melhor visualização da influência de cada parâmetro no desenvolvimento de enchentes nas sub-bacias. Também foi elaborado um mapa de suscetibilidade geral, que reuniu a influência de todos os parâmetros através da soma do grau Y de cada um deles.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Bacia hidrográfica do rio Una, rio principal e morfometria

A bacia hidrográfica do rio Una delimitada possui área de 6.701,05Km², perímetro de 788,6958Km² e comprimento axial de 172,00Km. Possui também amplitude de 1.025,16m, cota máxima de 1.026,94m, média de 460,10m e mínima de 1,78m próxima ao exutório (Figura 7).

Figura 7. Mapa de elevação da bacia do rio Una.

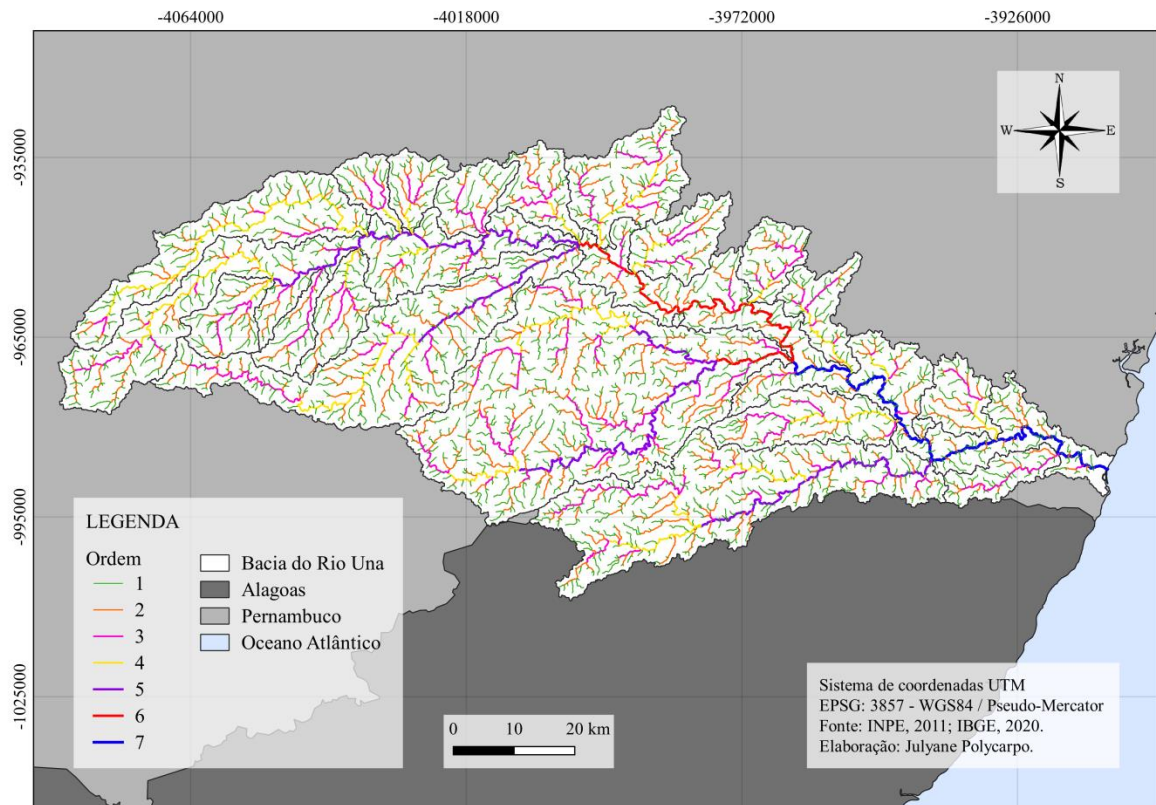


Fonte: Autora, 2023.

É uma bacia classificada como sendo de 7^a ordem (Figura 8), com comprimento total dos canais de drenagem no valor de 5.683,73Km. A diminuição da quantidade de riachos consequente do aumento da ordem demonstra que a bacia possui um gradiente de inclinação (Nikhil Raj; Azeez, 2012).

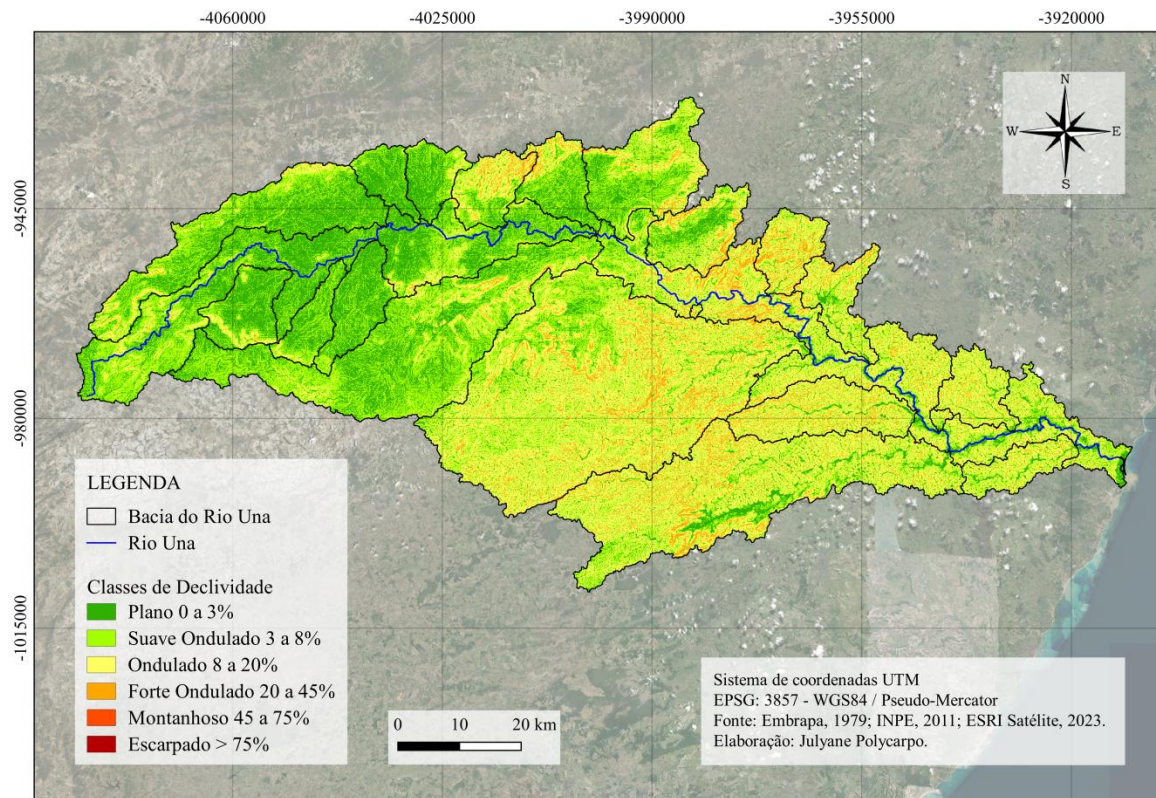
A declividade da bacia de acordo com a classificação da Embrapa (1979) pode ser observada na Figura 9. A bacia do rio Una possui declividade média de 7,66%, possuindo um relevo classificado como suave ondulado, que exerce grande influência no processo erosivo durante o período de precipitação (Leal *et al.*, 2019).

Figura 8. Ordem dos canais de drenagem da bacia do rio Una.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 9. Declividade da bacia do rio Una de acordo com a classificação da Embrapa (1979).



Fonte: Autora, 2023.

O canal principal da bacia é o Rio Una, que possui comprimento total de 315,517Km, comprimento axial de 170,59Km e tem nascente na cota de 936,27m. A calha da bacia possui área de 1.517,98m² e perímetro de 890,06m.

Os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Una determinados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Morfometria da bacia do rio Una.

		A (Km ²)	6.701,05
		P (Km)	788,70
Parâmetros geométricos		E (Km)	172,00
		Ff	0,22
		Kc	2,70
		Ic	0,14
	Parâmetros Morfométricos	Parâmetros de drenagem	Ordem
Dd (Km/Km ²)			0,85
Is (%)			84,96
Parâmetros de relevo		I (%)	7,66
		Ieq (m/m)	0,0030
		Tc (min)	3.151,91
		Tc (horas)	52,53

Fonte: Autora, 2023.

O fator de forma mais próximo à zero indica que a bacia possui um formato mais alongado, assim como pode ser observado na figura 1, possuindo menor suscetibilidade a enchentes. O coeficiente de compacidade é $Kc > 1,5$ e o índice de circularidade $Ic < 0,51$ indicam que a bacia do rio Una possui baixa suscetibilidade a enchentes.

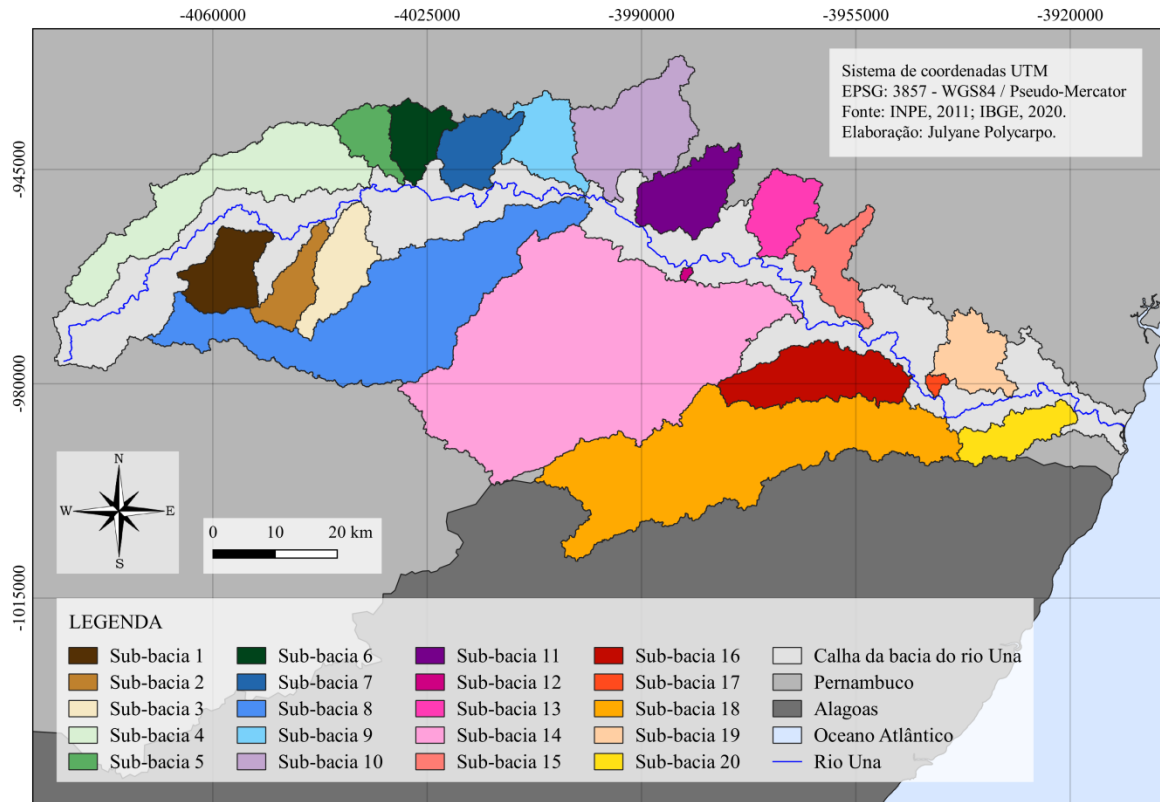
A ordem da bacia e o índice de sinuosidade apresentaram valores elevados que indicam uma vulnerabilidade para a ocorrência de enchentes na bacia do rio Una. Já o tempo de concentração elevado, além de indicar que a bacia é mais alongada, também induz que a bacia possui baixa suscetibilidade à enchentes.

No geral, os parâmetros geométricos indicaram baixa suscetibilidade a enchentes, enquanto os parâmetros de drenagem e relevo indicaram uma propensão a enchentes, assim como abordado também por Pinto *et al.*, 2016.

4.2 Sub-bacias e morfometria

A bacia do rio Una possui um total de 20 sub-bacias (Figura 10).

Figura 10. Identificação das sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Una.



Fonte: Autora, 2023.

As variáveis necessárias para determinação dos parâmetros morfométricos de cada sub-bacia estão apresentadas na Tabela 4.

Além disso, os parâmetros morfométricos de cada sub-bacia também foram determinados e estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 4. Variáveis numéricas das 20 sub-bacias do Rio Una.

Sub-bacia	Variáveis										
	A (Km ²)	P (Km)	E (Km)	La (Km)	Lt (Km)	L (Km)	H (m)	Cmáx (m)	Cmín (m)	Cméd (m)	Co (m)
1	130,0471	68,4613	17,7237	16,541	110,928	27,9908	324,7379	678,3838	570,906	895,6439	857,048
2	87,359	66,303	19,5267	18,3675	66,0656	24,7751	289,2789	838,98	549,7059	650,7372	767,065
3	134,1267	79,2100	23,8104	22,9487	113,0344	29,8254	257,3789	793,7299	536,351	608,4248	731,3519
4	393,0037	186,2424	51,8668	50,5558	315,2423	83,8143	412,0939	942,018	529,924	662,3007	866,664
5	76,5025	57,8113	15,2317	14,2255	66,2267	18,0603	198,1539	719,96	521,806	594,4154	634,786
6	90,0707	56,6373	14,2074	11,2076	77,7371	18,8823	312,802	827,057	514,255	591,377	702,247
7	115,049	64,4994	12,8244	11,3562	93,1371	17,4734	597,6109	1.026,9399	429,329	623,1285	820,968
8	718,1686	259,6865	74,1352	73,0702	585,4154	114,57	553,347	933,158	379,811	635,2835	882,4979
9	126,792	81,5807	18,8231	17,6554	110,7862	27,9061	641,63	1.020,8099	379,1799	517,1257	846,8419
10	265,9353	110,5174	26,2091	25,2358	233,9031	35,6904	521,6329	886,6079	364,975	543,7712	749,158
11	154,7334	78,1169	20,569	16,5307	127,1167	25,7521	497,6909	826,3339	328,643	474,0785	572,281
12	3,2069	9,5181	2,61	1,519	1,5347	1,5347	149,8789	413,432	281,553	344,8261	311,8469
13	110,4596	61,611	15,693	13,868	95,4804	28,3638	657,855	803,34002	145,485	434,2026	624,5009
14	1.399,2772	256,6746	66,4794	56,4269	1.217,9482	92,35106	777,3869	886,0159	108,6289	489,6633	808,359
15	126,7872	97,2056	19,8719	18,1395	110,9162	25,7301	375,7316	468,6119	92,8803	206,5909	319,9249
16	217,7462	107,4906	31,6999	30,1238	179,991	43,4145	392,8162	455,9689	63,1526	169,8559	314,8389
17	8,6607	17,1015	3,8614	2,1495	6,50102	4,1051	126,2256	183,093	56,8674	101,9397	82,4992
18	808,7306	274,2613	67,01909	65,9014	718,9522	112,341	716,755	769,356	52,601	288,2061	582,684
19	115,8216	76,7713	16,6633	14,0349	94,8801	22,8531	170,8965	209,8509	38,9543	112,2568	115,0009
20	100,5905	74,3778	20,2995	18,0216	89,6193	27,7668	156,9902	166,304	9,3137	83,3586	102,0899

Legenda: A = área; P = Perímetro; E = Comprimento axial da bacia hidrográfica; La = Comprimento axial do rio principal; Lt = Comprimento total dos canais de drenagem; L = Comprimento do rio principal; H = Amplitude média da bacia; Cmáx = Cota máxima da bacia; Cmín = Cota mínima; Cméd = Cota média; Co = Cota da nascente.

Tabela 5. Parâmetros morfométricos das sub-bacias do Rio Una.

Sub-bacias	Morfometria												
	Parâmetros geométricos					Parâmetros de drenagem				Parâmetros de relevo			
	A (Km ²)	P (Km)	E (Km)	Ff	Kc	Ic	O	Dd (Km/Km ²)	Is (%)	I (%)	Ieq (m/m)	Tc (min)	Tc (horas)
1	130,05	68,46	17,72	0,41	1,68	0,35	4,00	0,85	69,22	18,32	0,01022	302,97	5,05
2	87,36	66,30	19,53	0,23	1,99	0,25	3,00	0,76	34,89	14,81	0,00877	292,52	4,88
3	134,13	79,21	23,81	0,24	1,92	0,27	4,00	0,84	29,97	10,81	0,00654	377,88	6,30
4	393,00	186,24	51,87	0,15	2,63	0,14	4,00	0,80	65,79	7,95	0,00402	1009,95	16,83
5	76,50	57,81	15,23	0,33	1,85	0,29	4,00	0,87	26,96	13,01	0,00626	261,21	4,35
6	90,07	56,64	14,21	0,45	1,67	0,35	4,00	0,86	68,48	22,02	0,00996	226,03	3,77
7	115,05	64,50	12,82	0,70	1,68	0,35	4,00	0,81	53,87	46,60	0,02241	155,80	2,60
8	718,17	259,69	74,14	0,13	2,71	0,13	5,00	0,82	56,79	7,46	0,00439	1241,94	20,70
9	126,79	81,58	18,82	0,36	2,03	0,24	4,00	0,87	58,06	34,09	0,01676	249,88	4,16
10	265,94	110,52	26,21	0,39	1,90	0,27	4,00	0,88	41,43	19,90	0,01076	358,12	5,97
11	154,73	78,12	20,57	0,37	1,76	0,32	4,00	0,82	55,78	24,20	0,00946	292,73	4,88
12	3,21	9,52	2,61	0,47	1,49	0,44	1,00	0,48	1,03	57,42	0,01974	25,14	0,42
13	110,46	61,61	15,69	0,45	1,64	0,37	4,00	0,86	104,53	41,92	0,01689	252,28	4,20
14	1399,28	256,67	66,48	0,32	1,92	0,27	6,00	0,87	63,66	11,69	0,00758	852,44	14,21
15	126,79	97,21	19,87	0,32	2,42	0,17	4,00	0,87	41,85	18,91	0,00882	300,49	5,01
16	217,75	107,49	31,70	0,22	2,04	0,24	4,00	0,83	44,12	12,39	0,00580	528,46	8,81
17	8,66	17,10	3,86	0,58	1,63	0,37	2,00	0,75	90,98	32,69	0,00624	83,54	1,39
18	808,73	274,26	67,02	0,18	2,70	0,14	5,00	0,89	70,47	10,69	0,00074	2430,78	40,51
19	115,82	76,77	16,66	0,42	2,00	0,25	4,00	0,82	62,83	10,26	0,00333	399,25	6,65
20	100,59	74,38	20,30	0,24	2,08	0,23	3,00	0,89	54,08	7,73	0,00334	463,11	7,72

Legenda: A = área; P = Perímetro; E = Comprimento axial da bacia hidrográfica; Ff = Fator de forma; Kc = Coeficiente de compacidade; Ic = Índice de circularidade; O = Ordem da bacia; Dd = Densidade de drenagem; Is = Índice de sinuosidade; I = Declividade mérida da bacia; Ieq = Declividade média do rio principal; Tc = Tempo de concentração.

A sub-bacia 12 é a que possui menor área, assim como apresenta os menores valores para quase todos os parâmetros, exceto o fator de forma, índice de circularidade e as declividades médias da bacia e do rio principal. O menor valor para o fator de forma foi identificado na sub-bacia 8 ($Ff = 0,13$), seguida da sub-bacia 18 ($Ff = 0,18$), sendo possível observar que possuem o formato mais alongado quando comparada com as demais (Figura 8). Além disto, a sub-bacia 12 apresentou os maiores valores para os índices de circularidade ($Ic = 0,44$) e declividade média da bacia ($I = 57,42\%$), quando comparada as demais sub-bacias. O menor valor de declividade média do rio principal foi apresentado na sub-bacia 18 ($Ieq = 0,00074m/m$).

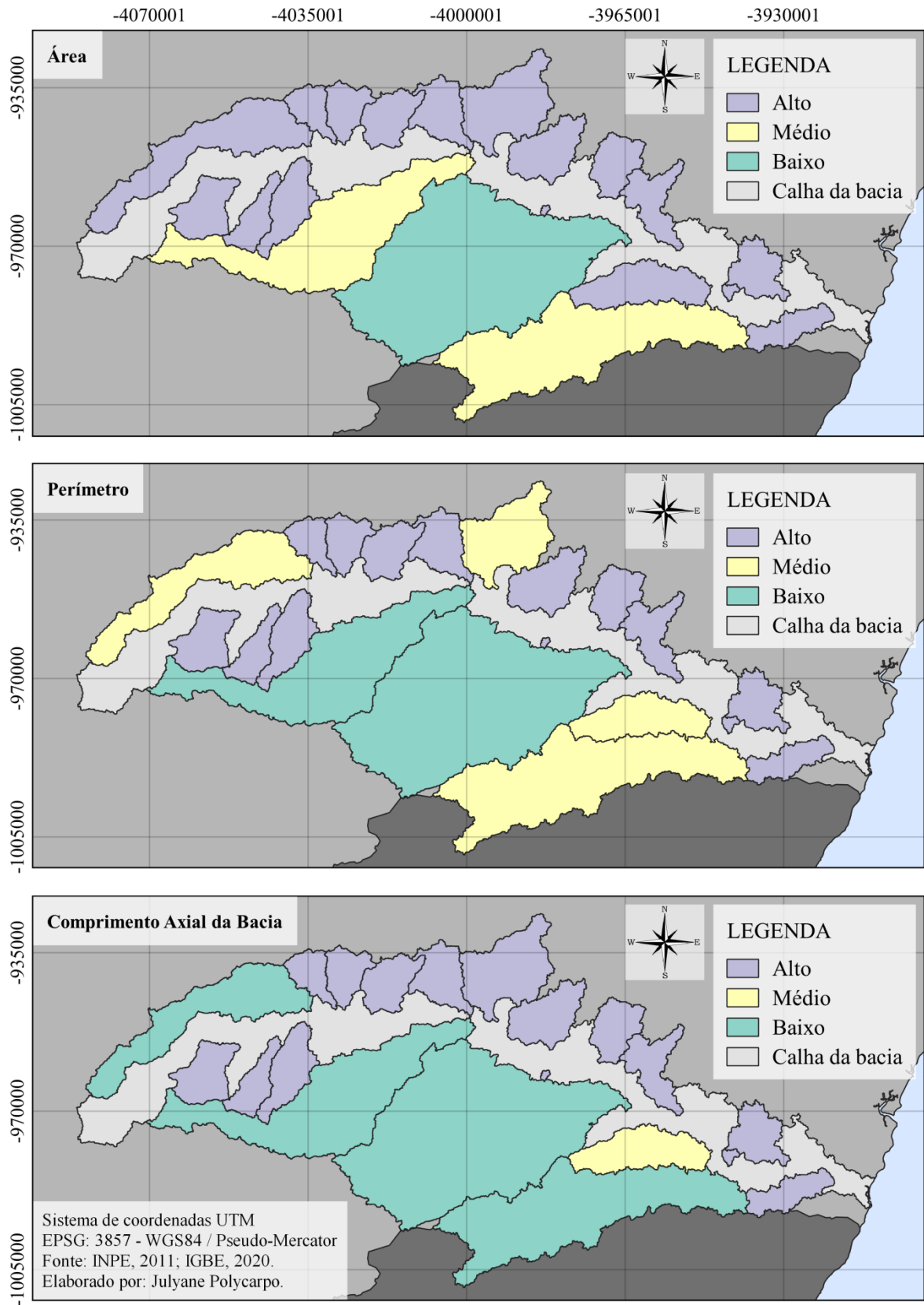
A sub-bacia 8 apresentou os maiores valores para os parâmetros de comprimento axial da bacia ($E = 74,14Km$), índice de compacidade ($Kc = 2,71$) e índice de circularidade ($Ic = 0,13$), apresentando também o menor valor de declividade média da bacia ($I = 7,46\%$) quando comparado as demais sub-bacias. A sub-bacia 7 apresentou os maiores valor para o fator de forma ($Ff = 0,70$) e a declividade média do rio principal ($Ieq = 0,02241m/m$). A sub-bacia 18 apresentou os maiores valores para o perímetro ($P = 274,26Km$) e tempo de concentração ($Tc = 40,51$ horas). A sub-bacia 14 apresentou os maiores valores de área ($A = 1.399,28Km^2$) e ordem ($O = 6,00$). A sub-bacia 13 apresentou o maior valor para o índice de sinuosidade ($Is = 104,53\%$).

A densidade de drenagem com maior valor foi idêntico para as sub-bacias 18 e 20 ($Dd = 0,89Km/Km^2$). Os valores altos de densidade de drenagem indicam valores baixos para a declividade média do rio principal, como também foi observado por Saha *et al.*, 2022. Já a ordem é diretamente proporcional à área, à seção transversal do curso e ao fluxo que ela transporta. Com isso, as sub-bacias com maior ordem possuem maior área, e como consequência apresenta maior vazão (López-Ramos *et al.*, 2022).

4.3 Índice de suscetibilidade a enchentes

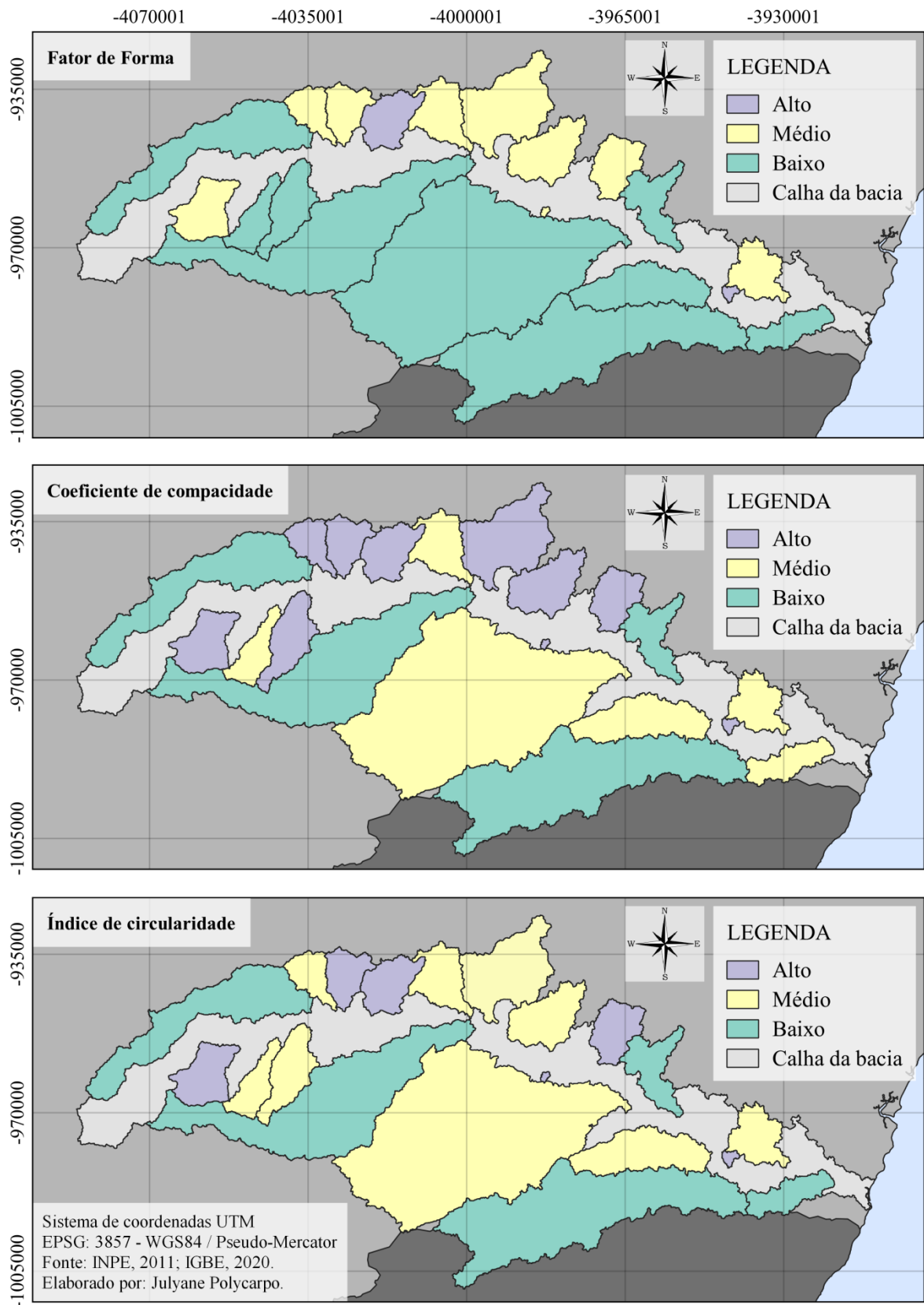
O índice de suscetibilidade a enchentes para cada parâmetro morfométricos foi gerado e utilizado para confeccionar mapas de suscetibilidade específicos.

Figura 11. Mapas de risco de suscetibilidade a enchentes por parâmetro geométrico.



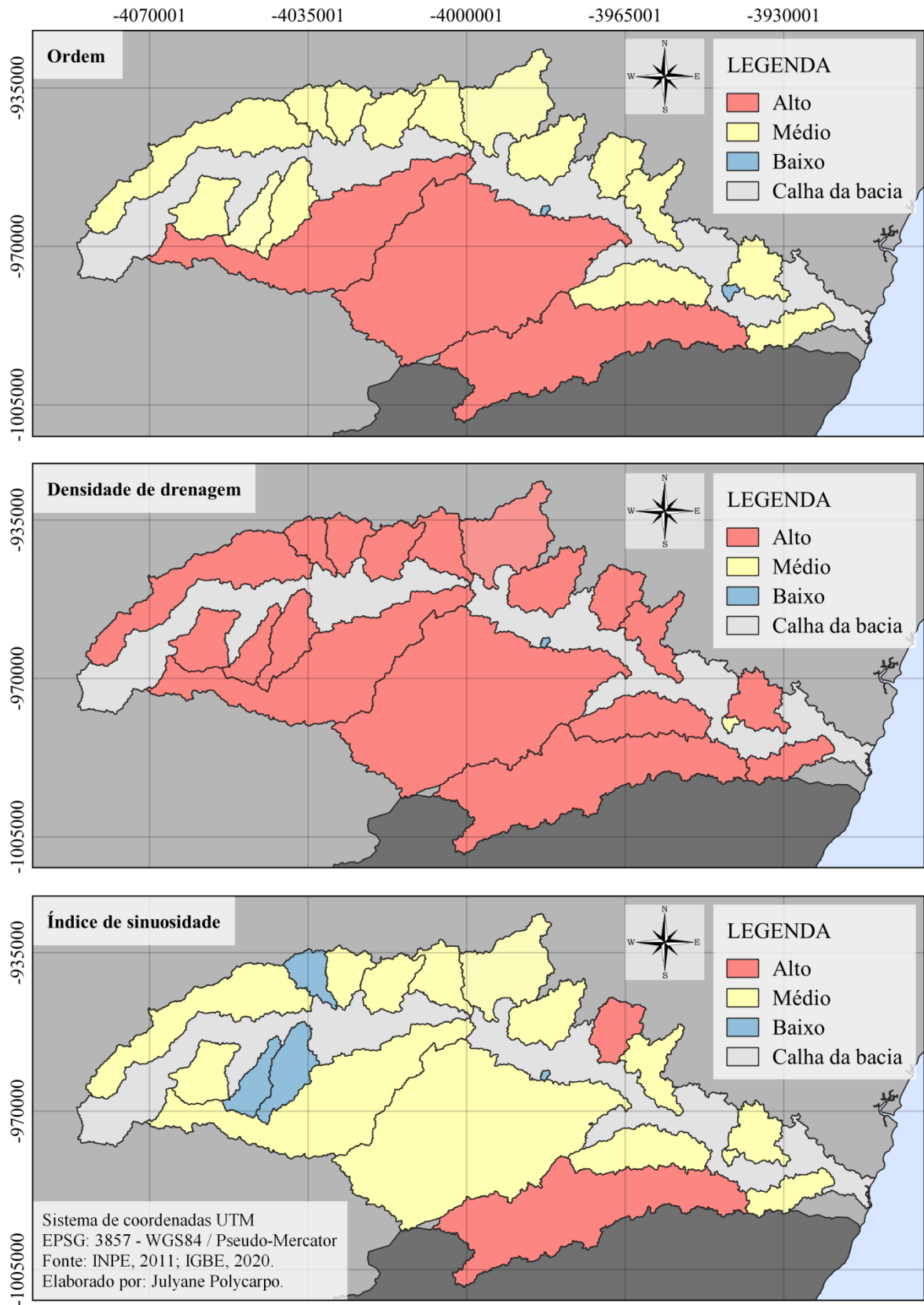
Fonte: Autora, 2023.

Figura 11. Mapas de risco de suscetibilidade a enchentes por parâmetro geométrico (continuação).



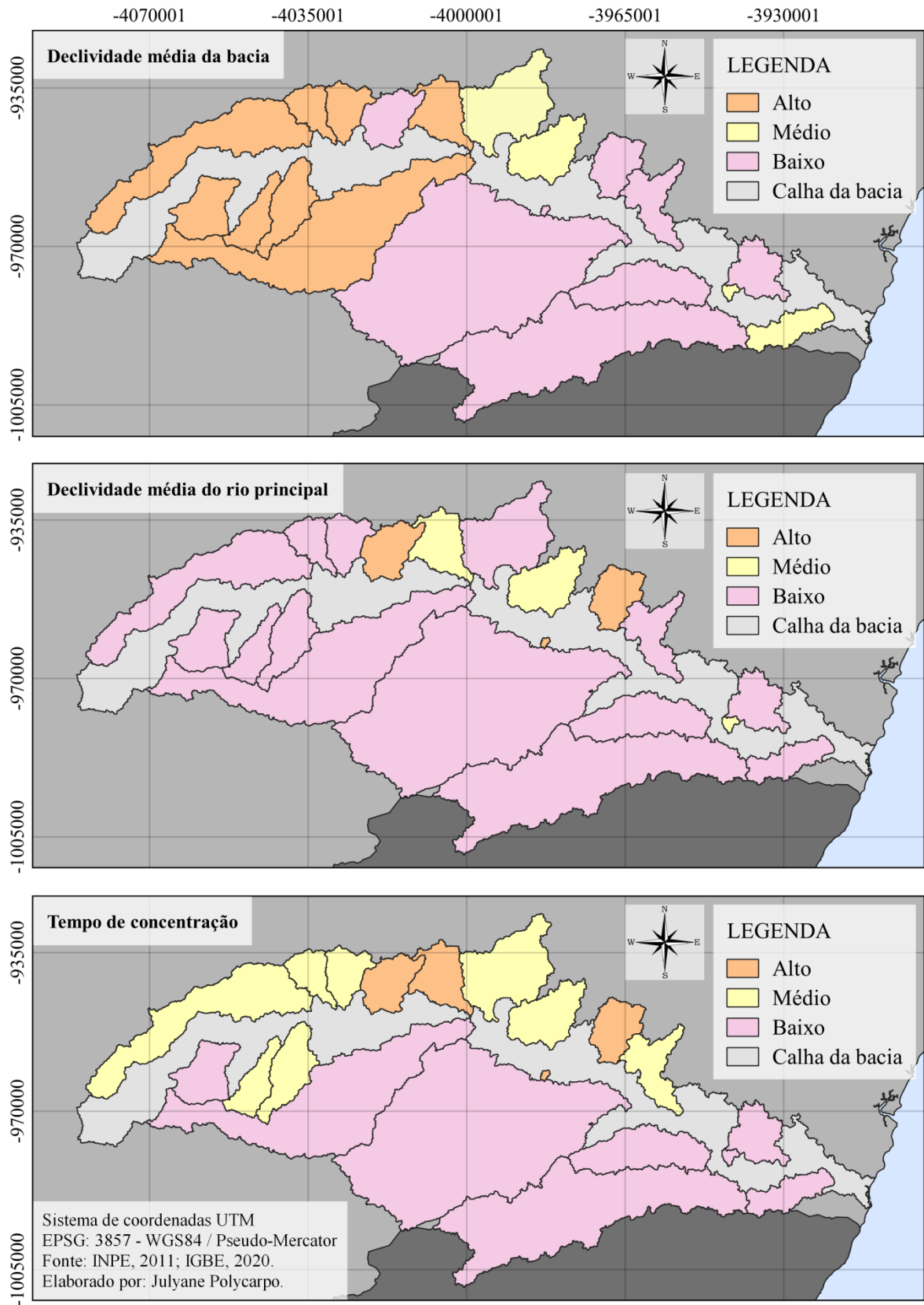
Fonte: Autora, 2023.

Figura 12. Mapas de risco de suscetibilidade a enchentes por parâmetro de drenagem.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 13. Mapas de risco de suscetibilidade a enchentes por parâmetro de relevo.



Fonte: Autora, 2023.

Após identificação da influência de cada parâmetro morfométricos na suscetibilidade a enchentes em cada sub-bacia, determinou-se o grau de suscetibilidade geral, somando todos os índices específicos de cada sub-bacia (Tabela 6).

Tabela 6. Grau de suscetibilidade geral da bacia do Rio Una.

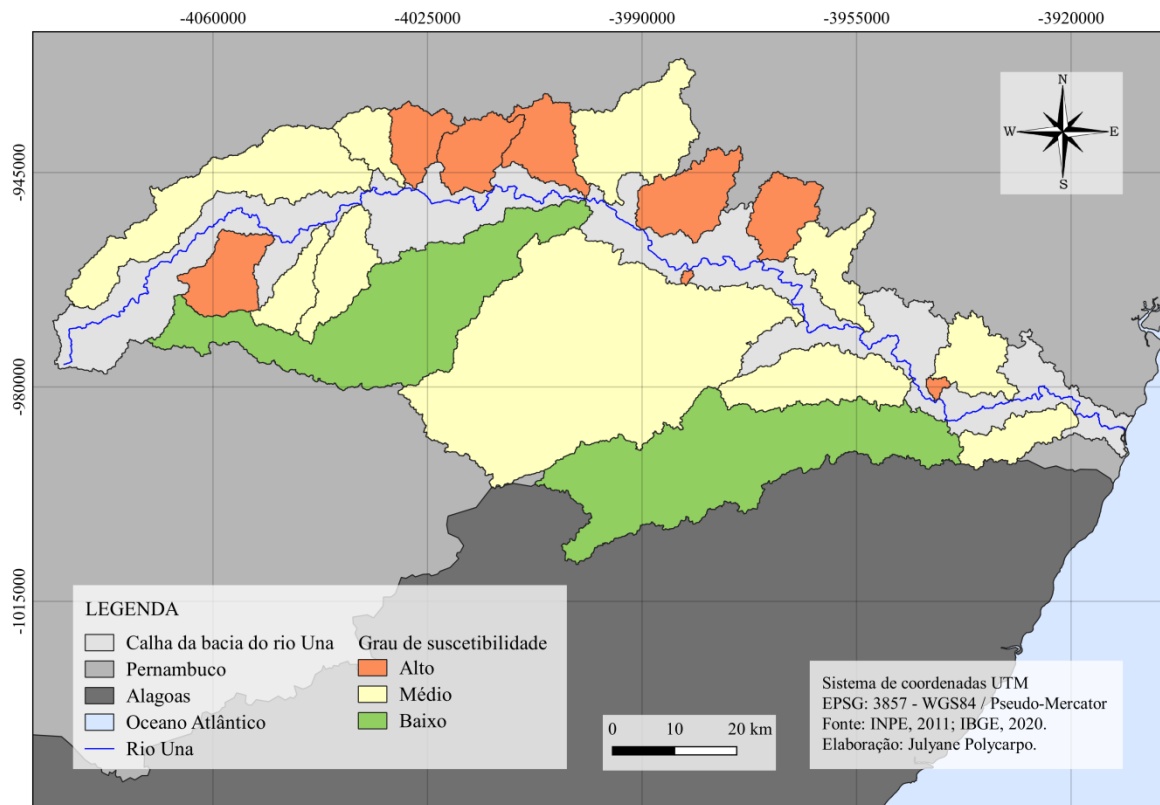
Sub-bacia	Grau
1	8,22
2	6,47
3	6,70
4	4,51
5	7,29
6	8,52
7	9,11
8	3,67
9	7,77
10	6,98
11	7,34
12	7,63
13	8,69
14	4,79
15	5,87
16	5,43
17	8,27
18	3,43
19	6,39
20	5,88

Fonte: Autora, 2023.

O grau geral de suscetibilidade apresenta que 40% do total das sub-bacias possui alta suscetibilidade a enchentes. Enquanto que 50% do total de sub-bacias têm probabilidade média e 10% do total têm baixa suscetibilidade a enchentes. A sub-bacia 8 tem o menor índice de suscetibilidade à inundação, enquanto a sub-bacia 7 possui o maior  ndice, sendo eles 2,87 e 8,79, respectivamente.

Essa informa o pode ser melhor observada no mapa geral com o grau de susceptibilidade da bacia hidrográfica do rio Una (Figura 14).

Figura 14. Mapa de risco de suscetibilidade a enchentes da bacia do rio Una.



Fonte: Autora, 2023.

Com isso, assim como apresentado por Abuzied *et al.* (2016), através do MDE foi possível identificar as sub-bacias mais suscetíveis a inundações e analisar os parâmetros morfométricos que mais influenciam nesta suscetibilidade.

5 CONCLUSÃO

O geoprocessamento é uma ferramenta que vem sendo muito utilizada para diversos fins. Dentre eles, através do processamento do MDE é possível identificar características e parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas. Após a identificação, podem-se determinar as áreas mais propensas a serem impactadas por enchentes. E os resultados podem ser utilizados para auxiliar a tomada de decisão dos gestores públicos sobre as medidas preventivas e mitigatórias para a população que residem em área de risco.

Observou-se que a bacia hidrográfica do rio Una possui no geral média a alta suscetibilidade a enchentes. Esta análise pode ser verificada durante o período de inverno com a alta precipitação na região da bacia, e como consequência, a ocorrência de enchentes.

Por fim, é possível que esta metodologia possa ser aplicada a qualquer região, desde que se tenha acesso ao MDE e as ferramentas de geoprocessamento necessárias.

REFERÊNCIAS

- ABUZIED, S.; YUAN, M.; IBRAHIM, S.; KAISER, M.; SALEEM, T. Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt. **Journal of Arid Environments**, v. 133, p.54-72, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>
- ANA - Agência Nacional de Águas. **HIDROWEB v3.2.6**, 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em 07 mai. 2022.
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacias Hidrográficas**, 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Monitoramento Pluviométrico**, 2023. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 15 jan. 2023.
- ASSIS, L. C. L.; BUFFO, M. M.; SILVEIRA, A. Desenvolvimento de metodologia para correlação entre precipitação e a variação da concentração de sedimentos em suspensão no escoamento superficial urbano. **Eng. Sanit. Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 423-434 , 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202000029>
- ÁVILA, B. T.; ALMEIDA NETO, J. O.; FELIPPE, M. F. **Revista Formação (Online)**, v. 1; n. 24, p. 153-181, 2017.
- AZMERI; HADIHARDAJA, I. K.; VADIYA, R. Identification of flash flood hazard zones in mountainous small watershed of Aceh Besar Regency, Aceh Province, Indonesia. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 19, p. 143-160, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.11.001>
- BAO, Z.; ZHANG, J.; WANG, G.; CHEN, Q.; GUAN, T.; YAN, X.; LIU, C.; LIU, J.; WANG, J. The impact of climate variability and land use/cover change on the water balance in the Middle Yellow River Basin, China. **Journal of Hydrology**, v. 577, 123942, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123942>
- BELAY, T.; MENGISTU, D. A. Land use and land cover dynamics and drivers in the Muga watershed, Upper Blue Nile basin, Ethiopia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 15, 100249, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100249>
- BRASIL. Lei nº 9.433. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 8 jan. 1997.
- BRASIL. Lei nº 12.187. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 29 dez. 2009.
- BRASIL. Lei nº 12.608. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 10 abr. 2012.
- BRITTO, M. BAPTISTA, G. M. M.; LIMA, E. A. O estudo dos componentes do ciclo hidrológico desde métodos tradicionais até o uso de sensoriamento remoto: uma revisão. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo**, n. 23, p. 127-143, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n23.2019.11>
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Editora Edgar Blücher: São Paulo, 1980. 188p.

COLLINS, M.; SUTHERLAND, M.; BOUWER, L.; CHEONG, S.-M.; FRÖLICHER, T.; JACOT DES COMBES, H.; KOLL ROXY, M.; LOSADA, I.; MCINNES, K.; RATTER, B.; RIVERA-ARRIAGA, E.; SUSANTO, R. D.; SWINGEDOUW, D.; TIBIG, L. Extremes, Abrupt Changes and Managing Risk. *In*: PÖRTNER, H. -O.; ROBERTS, D. C.; MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; NICOLAI, M.; OKEM, A.; PETZOLD, J.; RAMA, B.; WEYER, N. M. (eds.). **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. WMO; UNEP: IPCC, 2019. p. 589-655.

COSTA, A. A. D. DA.; GALVANIN, E. A. DOS. S.; NEVES, S. M. A. DA. S. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara, Mato Grosso-Brasil. **Geosul**, v. 35, n. 74, p. 483-500, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v35n74p483>

CROWE, A. S.; SCHWARTZ, F. W. Application of a lake-waterched model for the determination of water balance. **Journal of Hydrology**, v. 81, p. 1-26, 1985. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(85\)90164-7](https://doi.org/10.1016/0022-1694(85)90164-7)

DESALEGN, H.; MULU, A. Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia. **Heliyon**, v. 7, n. 1, e05865, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05865>

DEUS, R. A. S. G.; COSTA, S. O.S.; LOURENÇO, E. R. C.; GOLDFARB, M. C.; DUARTE, C. C.; GOMES, D. D. M. Análise das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Ipojuca – PE. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 1120-1129, 2016.

DUAN, L.; LIU, C.; XU, H.; HUALI, P.; LIU, H.; YAN, X.; LIU, T.; YANG, Z.; LIU, G.; DAI, X.; ZHANG, D.; FU, X.; LIU, X.; LU, H. Susceptibility assessment of flash floods: A bibliometrics analysis and review. **Remote Sens.**, v. 14, n. 21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14215432>

EEA – EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY. Urban adaptation to climate change in Europe: Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. **EEA Report**, n. 2, 2012.

EL-MAGD, I. A.; HERMAS, E.; EL BASTAWESY, M. GIS-modelling of the spatial variability of flash flood hazard in Abu Dabbab catchment, Red Sea Region, Egypt. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 13, n.1, p. 81-88, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.07.010>

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Pesquisa do serviço nacional de conservação do solo**. Súmula do 10º Encontro de Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

FANG, N.; SHI, Z.; LI, L.; GUO, Z.; LIU, Q.; AI, L. The effects of rainfall regimes and land use changes on runoff and soil loss in a small mountainous watershed. **CATENA**, v. 99, p. 1-8, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.07.004>

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região.

Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25215>

FLERCHINGER, G. N.; COOLEY, K. R. A ten-year water balance of a mountainous semi-arid watershed. **Journal of Hydrology**, v. 237, n. 1-2, p.86-99, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00299-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00299-7)

FONSECA, S. F.; SANTOS, D. C.; HERMANO, V. M. Geoprocessamento aplicado á análise dos impactos socioambientais urbanos: estudo de caso do bairro Santo Expedito em Buritizeiro/MG. **Revista de Geografia (UFPE)**, v. 30, n. 3, 2013.

FRANCO, J. A.; ABRISQUETA, J. M.; HERNANSÁEZ, A.; MORENO, F. Water balance in a young almond orchard under drip irrigation with water of low quality. **Agricultural Water Management**, v. 43, n. 1, p. 75-98, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00049-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00049-9)

FRANCO, V. V.; SOUZA, J. O. P. de. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Jucurutu. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, nº especial, p. 252-261, 2016.

G1. Coordenador da Defesa Civil de Água Preta relata impacto das últimas chuvas na cidade. 2022. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2022/07/05/coordenador-da-defesa-civil-de-agua-preta-relata-impacto-das-ultimas-chuvas-na-cidade.ghml>>. Acesso em 09 jul 2022.

GHORABA, S. M. Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model. **Alexandria Engineering Journal**, v. 54, n. 3, p. 583-594, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.018>

HACK, J. T. **Dynamic equilibrium and landscape evolution.** *In*: Theories of Landform Development, eds. W. N. Melhorn and R. C. Flemal, p. 87-102. Binghampton: State University Press of New York, 1975.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. doi: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Sixth Assessment Report.** Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/?__cf_chl_jschl_tk__=pmd_30a9d752d1c11ccf330ab520d03b83da6fc124d5-1628509410-0-gqNtZGzNAmKjcnBszQc6>. Acesso em 26 jun. 2022.

KEBEDE, Y. S.; ENDALAMAW, N. T.; SINSHAW, B. G.; ATINKUT, H. B. Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia. **Environmental Challenges**, v. 2, 100009, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2020.100009>

KIRKALDY, J. F.; BULL, A. J. The geomorphology of the rivers of the Southern Weald: Weald Research Committee Communication No. 28. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 51, n. 2, p. 115-150, 1940. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(40\)80049-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(40)80049-7)

KIRPICH, Z.P. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v. 10, n. 6, p.362-, 1940.

KURT, L. CASTRO, A. S.; LEANDRO, D. Alterações no Ciclo Hidrológico Local – Estudo de Caso: Avenida Saldanha Marinho, Pelotas, RS. **Revista de Geografia**, v. 38, n. 2, p. 164-184, 2021. DOI: 10.51359/2238-6211.2021.246119

LACERDA, G. L. B.; FIRMINO, L. Q.; SÁ, A. C. N.; ROCHA NETO, O.; SILVA, V. F. Caracterização morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.10, n.2, p.362-376, 2019. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0030>

LAHUE; G. T.; LINQUIST, B. A. The contribution of percolation to water balances in water-seeded rice systems. **Agricultural Water Management**, v. 243, 106445, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106445>

LEAL, J. M. ; AQUINO, C. M. S. ; SILVA, F. J. L. T. Uso do mapa de declividade e do modelo digital de elevação na análise do relevo do município de São Miguel do Tapuio – Piauí. **REGNE**, v. 5, n. 2, p. 97-107, 2019.

LEE, J.; BRAY, D. I. The estimation of runoff from rainfall for New Brunswick watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 9, n. 4, p. 427-437, 1969. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(69\)90088-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(69)90088-2)

LENZI, M. A.; DI LUZIO, M. Surface runoff, soil erosion and water quality modelling in the Alpone watershed using AGNPS integrated with a Geographic Information System. **European Journal of Agronomy**, v. 6, n. 1-2, p. 1-14, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(96\)02001-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02001-1)

LETA, O. T.; EL-KADI, A. I.; DULAI, H.; GHAZAL, K. A. Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia watershed in Hawaii. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 8, p. 182-197, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.09.006>

LEWIS, D. C.; BURG, R. H. Hydrologic balance from an experimental watershed. **Journal of Hydrology**, v. 2, n. 3, p. 197-212, 1964. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(65\)90037-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(65)90037-5)

LÓPEZ-RAMOS, A. ; MEDRANO-BARBOZA, J. P. ; MARTÍNEZ-ACOSTA, L. ; ACUÑA, G. J. ; LÓPEZ, J. F. R. ; LÓPEZ-LAMBRAÑO, A. A. Assessment of Morphometric parameters as the basis for hydrological inferences in water resource management: A case study from the Sinú River Basin in Colombia. **International Journal of Geo-Information**, v. 11, p. 459, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi11090459>

LUO, Y.; SU, B.; YUAN, J.; LI, H.; ZHANG, Q. GIS Techniques for watershed delineation of SWAT model in Plain Polders. **Procedia Environmental Sciences**, v. 10, Part C, p. 2050-2057, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.321>

MAPBIOMAS. **Superfície de Água no Brasil Reduz 15% desde o Início dos Anos 90**. 2021. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/superficie-de-agua-no-brasil-reduz-15-desde-o-inicio-dos-anos-90>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MARCHI, L.; BORGA, M.; PRECISO, E.; GAUME, E. Characterization of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. **Journal of Hydrology**, v. 394 (1-2), p. 118- 133, 2010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.017>

MEDEIROS, R. M. DE.; HOLANDA, R. M. DE.; VIANA, M. A.; SILVA, V. DE P. Climate Classification in Köppen model for the state of Pernambuco – Brazil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 3, 2018.

MELO, D. F. B. C. DE; RIBEIRO, M. H. G.; ALBUQUERQUE JUNIOR, E. C.; GONÇALVES, E. A. P. Evaluation of the Una River Basin-Pernambuco: Water Quality Perspective after Construction of 4 Flooding Containment Dams. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.2, p. 612-627, 2018.

MENDES, I. DE. S.; MERCANTE, E.; SCARIOTTO, M. C.; MAGGI, M. F.; CORREA, M. M.; KUSMINSKI, D. Geoprocessing applied to the physiographic characterization of the Lontras River Basin. **Revista GEAMA**, v. 2, n.3, p. 249-254, 2016.

MIGUEZ, M. G.; GREGORIO, L. T. DI.; VERÓL, A. P. **Gestão de riscos e desastres hidrológicos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. 344 p.

MONTEIRO, K. DE A.; BARROS, A. C. M. DE.; MELO, R. F. T. DE.; RAMOS, D. A. M. C.; NÓBREGA, R. S.; GIRÃO, O. Parâmetros morfométricos aplicados à bacia do rio Uma (Pernambuco-Brasil) para identificar susceptibilidade a enchentes. **Revista Geográfica de América Central**, n. 52, p. 163-177, 2014.

NERY, T. D. O uso de parâmetros morfométricos como potencial indicador de ocorrência de fluxos de detritos no litoral norte de São Paulo. **Geosul**, v. 32, n. 63, p. 179-200, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2017v32n63p201>

NIKHIL RAJ, P. P. ; AZEEZ, P. A. Morphometric Analysis of a Tropical Medium River System: A Case from Bharathapuzha River Southern India. **Open Journal of Modern Hydrology**, v.2, n. 4, p. 91-98, 2012. DOI : <http://dx.doi.org/10.4236/ojmh.2012.24011>

NYATUAME, M.; AMEKUDZI, L. K.; AGODZO, S. K. Assessing the land use/land cover and climate change impact on water balance on Tordzie watershed. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, 100381, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100381>.

OGAREKPE, N.; OBIO, E.; TENEBE, I.; EMENIKE, P.; NNAJI, C. A dataset for the flood vulnerability assessment of the upper Cross River basin using morphometric analysis. **Data in Brief**, v. 30, 105344, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105344>

OGATO, G. S.; BANTIDER, A.; ABEBE, K.; GENELETTI, D. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 27, 100659, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100659>

OLIVEIRA, P. T. S. DE.; SOBRINHO, T. A.; STEFFEN, J. L.; RODRIGUES, D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p.819–825, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000800005>

OSEI, B. K.; AHENKORAH, I.; EWUSI, A.; FIADONU, E. B. Assessment of Flood Prone Zones in the Tarkwa Mining Area of Ghana using a GIS-based approach. **Environmental Challenges**, 100028, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100028>

PALUMBO, A. M.; HEAD, J. W.; WILSON, L. Rainfall on Noachian Mars: Nature, timing, and influence on geologic processes and climate history. **Icarus**, v. 347, 113782, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2020.113782>

PINTO, V. G. ; LIMA, R. N. S. ; PINTO E SANTOS, R. C. ; RIBEIRO, C. B. M. Influência do número de classes de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 3, p. 637-649, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/1980-993X>

RAMOS, Y. S.; RÊGO, S. C. A.; RIBEIRO, G. N., PEDROSA, J. P.; BARROS, D. F. Integração Geoprocessamento SIG na identificação de área susceptíveis a inundações. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, edição especial, p. 91-95, 2012.

RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. DE. A.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 143-150, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i3.4313>

SAHA, S.; DAS, J.; MANDAL, T. Investigation of the watershed hydro-morphologic characteristics through the morphometric analysis: A study on Rayeng basin in Darjeeling Himalaya. **Environmental Challenges**, v. 7, 100463, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100463>

SANTOS, M. A.; CARVALHO, S. M.; ANTONELI, V. Suscetibilidade a enchentes a partir da análise de variáveis morfométricas, na bacia hidrográfica Rio Bonito em Irati-PR-Brasil. **Revista Equador (UFPI)**, v. 5, n. 5, p. 151-167, 2016.

SANTOS, C. L.; SILVA, O. G.; VITAL, S. R. O.; WANDERLEY, L. S. A. Análise da suscetibilidade à ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.11, n.5, p. 1876-1888, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.5.p1876-1888>.

SILVA, O. L. C.; GOMES, L. S.; LOPES, S. N.; MATOS, A. B.; SILVA FILHO, P. A. Avaliação dos impactos causados pelas enchentes em regiões ribeirinhas na cidade de Boa Vista/RR. **RCT - Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 4, 2017.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: Tucci, C. E. M., et al. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. 9ª reimp. Porto Alegre: Editora ABRH, 2020. 944 p.

SINGH, L.; SARAVANAN, S. Simulation of monthly streamflow using the SWAT model of the Ib River watershed, India. **HydroResearch**, v. 3, p. 95-105, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2020.09.001>

SOUSA, F. R. C. de.; PAULA, D. P. de. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará-Brasil). **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 555-564, 2016.

SOUZA, C. R. G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, p. 45-61, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v6i1.38>

SOUZA, C. F. DE.; PERTILLE, C. T.; CORRÊA, B. J. S.; VIEIRA, F. S. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí-Paraná. **Geoambiente On-Line**, n. 29, p. 93-110, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50602>

SOUZA, L. A. de.; SOBREIRA, F. G. Bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo: Atributos morfométricos, equação de chuvas intensas e tempo de concentração, e análise da suscetibilidade a inundações. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 7, p. 1355-1370, 2017.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of American Bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)

TANG, J.; LI, Y.; CUI, S.; XU, L.; HU, Y.; DING, S.; NITIVATTANANON, V. Analyzing the spatiotemporal dynamics of flood risk and its driving factors in a coastal watershed of southeastern China. **Ecological Indicators**, v. 121, 107134, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107134>

TERENCIO, D. P. S.; SANCHES FERNANDES, L. F.; CORTES, R. M. V.; MOURA, J. P.; PACHECO, F. A. L. Flood risk attenuation in critical zones of continental Portugal using sustainable detention basins. **Science of Total Environment**, v. 721, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137727>.

THAKUR, P. K.; NIKAM, B. R.; SRIVASTAV, S. K.; KHAING, T. W. W.; ZAW, T.; GARG, V. DHOTE, P. R.; SHARMA, V.; AGGARWAL, S. P. Groundwater modeling with inputs from geospatial technology for assessing the sustainability of water use in the Solani watershed, Ganga river basin (India). **Groundwater for Sustainable Development**, 100511, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100511>.

TUCCI, C. E. M. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **REGA**, v. 13, n. 1, p. 29-42, 2016.

TUCCI, C. M. **Controle de enchentes**. In: Tucci, C. E. M., et al. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora ABRH, 1993. 944 p.

UNISDR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **How to Make Cities More Resilient: A Handbook for Local Government Leaders**. A contribution to the global campaign 2010-2015 Making Cities Resilient – 'My City is Getting Ready!'. Geneva, 2012. 102 p.

VICH, A. I.; PASQUALI, E. L. V.; OTTA, S. A.; LAURO, C.; BASTIDAS, L. B. Morphometric analysis of basins located in the piedmont of central western Argentina. **Cuadernos Geográficos**, v. 60, n. 1, p. 295-312, 2021.

WANG, X.; YIN, Z-Y. Using GIS to assess the relationships between land use and water quality at a watershed level. **Environment International**, v. 23, n. 1, p. 103-114, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(96\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(96)00081-5)

White, W. **Water in Rivers: Flooding**, a Contribution to the world water vision. Madrid: IAHR, 2000.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **2020 State of Climate Services**. Geneva: WMO, 2020. 48p.

XIE, J.; CHEN, H.; LIAO, Z.; GU, X.; ZHU, D.; Zhang, J. An integrated assessment of urban flooding mitigation strategies for robust decision making. **Environmental Modelling & Software**, v. 95, p. 143-155, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.027>