



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

JANIA LAGUERRE

INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE PETIT-GOÂVE (CASO DE LA DIGUE):
ABORDAGEM HIDROGEOMORFOLÓGICA

Orientador: Dr. Prof. Miguel F. Felipe

JUIZ DE FORA

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

JANIA LAGUERRE

INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE PETIT-GOÂVE (CASO DE LA DIGUE):
ABORDAGEM HIDROGEOMORFOLÓGICA

Orientador: Dr. Prof. Miguel F. Felipe

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

JUIZ DE FORA

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
CURSO DE MESTRADO

TÍTULO

INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE PETIT-GOÂVE (CASO DE
LA DIGUE): ABORDAGEM HIDROGEOMORFOLÓGICA

Autor: Jania Laguerre

Orientador: Dr. Prof. Miguel F. Felipe

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Miguel Fernandes Felipe (orientador)

Prof. Dr. Pedro José de Oliveira Machado

Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Junior

JUIZ DE FORA

2023

LAGUERRE, JANIA .

Inundações no município de Petit-goâve (caso de la Digue):
abordagem hidrogeomorfológica : Relação de ciclones com
inundações e eventos extremos / JANIA LAGUERRE. -- 2023.
144 p. : il.

Orientador: MIGUEL FERNANDES FELIPPE
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz
de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de
Pós-Graduação em Geografia, 2023.

1. Bacia hidrográfica . 2. Hidrogeomorfologia. 3. Eventos
extremos. I. FELIPPE, MIGUEL FERNANDES, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

À Jeová Deus por estar sempre ao meu lado me encaminhado e fortalecendo.

Ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras (GCUB). À Organização de Estados Americanos (OEA) por proporcionar a realização do curso. À Universidade Federal Juiz de Fora (UFJF) e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade oferecida para realização deste curso.

A nossa mais profunda gratidão vai especialmente para meu professor orientador, Miguel Fernandes Felipe, pela orientação, dedicação e paciência durante o mestrado.

A todos os professores da Universidade Federal Juiz de Fora (UFJF), especialmente os professores do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO).

Ao Diogo Parreira pela ajuda nos processos de geoprocessamento e pelo ensinamento do Software QGis.

A todos os colegas da Universidade Federal Juiz de Fora (UFJF), especialmente Ana Beatriz Barbosa Ferreira e Carina Da Silva Raimundo por toda ajuda e hospitalidade desde os primeiros dias da minha chegada no Brasil.

Aos meus pais e aos meus irmãos pelo amor incondicional e por sempre me incentivarem.

E a todos que contribuíram diretamente e indiretamente para a conclusão deste mestrado.

RESUMO

Haiti, um dos países do Caribe, possui um território montanhoso constituído por uma geologia de forte influência vulcânica, que é frequentemente assolado por desastres naturais como terremotos, furacões e inundações. Petit-Goâve é uma das cidades sujeitas ao fenómeno de inundações a cada estação chuvosa. Este estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio La Digue, principal do município, com o objetivo de elucidar os aspectos hidrogeomorfológicos que condicionam a suscetibilidade a inundações na bacia. Para tanto, tivemos a apresentação dos aspectos fundamentais da hidrogeomorfologia do terreno baseadas em pesquisa bibliográfica, na interpretação de um modelo digital de terreno (MDT), de imagens de satélite e na análise morfométrica. De modo complementar, foram realizadas análises hidrológicas fundamentadas em modelos matemáticos que suprissem a carência de dados primários. Dentre os resultados, é apresentado um atlas das características físicas da área de estudo para subsidiar futuras investigações, assim como perfis longitudinais e transversais que evidenciam importantes knickpoints. Além de um conjunto de dados morfométricos e hidrológicos que auxiliam na compreensão de como o sistema fluvial responde aos grandes volumes de chuva no período de furacões, que por sua vez, leva ao extravasamento do leito maior no baixo curso do rio La Digue. Então, este trabalho apresenta um breve histórico das inundações e também uma descrição dos níveis de suscetibilidades de inundações da cidade Petit-Goâve. Ao final, foram esboçadas estratégias de gestão dos riscos de inundações no município de Petit-Goâve pautada em uma abordagem sistêmica e participativa, prevendo decisões político-administrativas operacionais e atividades que envolvem os diversos atores sócio-políticos, para mitigar os efeitos desse fenómeno na comunidade.

Palavras chaves: bacia hidrográfica, hidrogeomorfologia, eventos extremos, suscetibilidade a inundações, rio La Digue, Petit-Goâve, Haiti

RÉSUMÉ

Haïti, l'un des pays des Caraïbes, possède un relief montagneux avec une géologie fortement influencée par la formation volcanique, souvent affectée par des catastrophes naturelles telles que : les séismes, les ouragans et les inondations. Petit-Goâve est l'une des villes susceptibles d'être inondées à chaque saison des pluies. Cette étude a été réalisée dans le bassin versant de la rivière La Digue, l'une des principales rivières de la commune de Petit-Goâve, dans le but d'élucider les aspects hydrogéomorphologiques qui conditionnent la susceptibilité aux inondations dans ce bassin. De ce fait, des aspects fondamentaux de l'hydrogéomorphologie du bassin versant de la Digue ont été présentés, en se basant sur des recherches bibliographiques, l'interprétation d'un modèle numérique de terrain (MNT), des images satellites et une analyse morphométrique. De plus, des analyses hydrologiques ont été réalisées en se basant sur des modèles mathématiques à cause d'un manque de données primaires. Comme résultats, un ensemble de cartes qui décrivent les caractéristiques physiques de la zone d'étude ont été présentés, ainsi que des profils longitudinaux et transversaux mettant en évidence d'importants points de renflement. De plus, un ensemble de données morphométriques et hydrologiques ont été fournis pour aider à comprendre comment le système fluvial réagit aux fortes précipitations pendant la saison des ouragans, ce qui entraîne le débordement du cours principal de la rivière La Digue en aval. D'un autre côté, ce travail présente une brève historicité des inondations et décrit également les niveaux de susceptibilité aux inondations dans la ville de Petit-Goâve. Enfin, des stratégies de gestion des risques d'inondation dans la commune de Petit-Goâve ont été présentées, basées sur une approche systémique et participative, prévoyant des décisions politico-administratives opérationnelles et des activités impliquant divers acteurs socio-politiques pour atténuer les effets de ce phénomène sur la communauté.

Mots-clés : bassin versant, hydrogéomorphologie, événements extrêmes, susceptibilité aux inondations, rivière La Digue, Petit-Goâve, Haïti.

ABSTRACT

Haiti, one of the Caribbean countries, has a mountainous terrain with a geology strongly influenced by volcanic activity, often plagued by natural disasters such as earthquakes, hurricanes, and floods. Petit-Goâve is one of the cities susceptible to flooding during each rainy season. This study was conducted in the watershed of the La Digue River, the main river in the municipality, with the aim of elucidating the hydrogeomorphological aspects that condition susceptibility to floods in the basin. To do so, fundamental aspects of the hydrogeomorphology of the terrain were presented based on bibliographic research, interpretation of a digital terrain model (DTM), satellite imagery, and morphometric analysis. In addition, hydrological analyses were carried out based on mathematical models that addressed the lack of primary data. Among the results, an atlas of the physical characteristics of the study area is presented to support future investigations, as well as longitudinal and transverse profiles that highlight important knickpoints. A set of morphometric and hydrological data are provided to aid in understanding how the river system responds to high volumes of rainfall during hurricane periods, which in turn leads to the overflow of the main channel in the lower course of the La Digue River. Therefore, this work provides a brief history of floods and also describes the levels of flood susceptibility in the city of Petit-Goâve. In conclusion, strategies for flood risk management in the municipality of Petit-Goâve are outlined, based on a systemic and participatory approach, foreseeing operational political-administrative decisions and activities involving various socio-political actors to mitigate the effects of this phenomenon on the community.

Keywords: watershed, hydrogeomorphology, extreme events, flood susceptibility, La Digue River, Petit-Goâve, Haiti.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01- Representação de uma bacia hidrográfica e uma das suas sub-bacias	18
FIGURA 02-Diferença entre cheia ou enchente e inundação	24
FIGURA 03- Modelo conceitual de risco.....	39
FIGURA 04 - Etapas da gestão do risco de inundações.....	41
FIGURA 05 - Localização do Haiti.....	51
FIGURA 06 - Mapa das bacias hidrográficas do Haiti	52
FIGURA 07 - Localização Petit-Goâve	56
FIGURA 08- Imagens de alguns lugares turísticos em Petit-Goâve (A,B) - Fort Gary; (C,D)- Fort Royal; (E)- Banannier praia).....	57
FIGURA 09- Mapa geologia de Petit-Goâve	59
FIGURA 10 - Mapa de rede hidrografia de Petit-Goâve.....	60
FIGURA 11 - Precipitação acumulada no intervalo de vinte anos.....	61
FIGURA 12 - Precipitação em Média Mensal do ano (1969-1988).....	62
FIGURA 13 - Os passos metodológicos deste trabalho	63
FIGURA 14- Mapa da bacia hidrografia La Digue	74
FIGURA 15 - Mapa das curvas de nível da bacia do rio La Digue.....	75
FIGURA 16- Mapa de hipsometria da bacia hidrográfica do rio La Digue	76
FIGURA 17- Mapa do modelo digital de elevação do rio La Digue	77
FIGURA 18 - Mapa da declividade da bacia hidrográfica do rio La Digue	78
FIGURA 19 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica La Digue	79
FIGURA 20 - Mapa geologia de bacia do rio La Digue	80
FIGURA 21 - Mapa da planície de inundação do rio La Digue.....	81
FIGURA 22 - Mapa do uso da terra	82
FIGURA 23- Mapa de delimitação das sub-bacias La Digue	87
FIGURA 24- Mapa de hierarquização fluvial de la Digue.....	91
FIGURA 25- Perfil Longitudinal do rio La Digue	92
FIGURA 26- Perfil Longitudinal do rio Provence	93
FIGURA 27 - Perfil Longitudinal do afluente 1	93
FIGURA 28- Perfil Longitudinal do afluente 2	94
FIGURA 29 - Perfil Longitudinal do afluente 3	95
FIGURA 30 - Perfil Longitudinal do afluente 3	95
FIGURA 31 - Perfil Longitudinal do afluente 4	96
FIGURA 32-Perfil Longitudinal do afluente 5	97

FIGURA 33– Perfil Longitudinal do afluente 6.....	97
FIGURA 34- Perfil Longitudinal do afluente 7	98
FIGURA 35- O Perfil Longitudinal do afluente 8.....	99
FIGURA 36- Perfil Longitudinal do afluente 9	99
FIGURA 37 – Perfil Longitudinal do afluente 10.....	100
FIGURA 38 -Perfil Longitudinal do afluente 11	100
FIGURA 39 - Perfil Longitudinal do afluente 12	101
FIGURA 40 - Perfil Longitudinal do afluente 13	102
FIGURA 41 - Perfil Longitudinal do afluente 14	102
FIGURA 42 - Perfil Longitudinal do afluente 15	103
FIGURA 43 - Perfil Longitudinal do afluente 16	103
FIGURA 44 - Perfil Longitudinal do afluente 17	104
FIGURA 45 - Perfil Longitudinal do afluente 18	105
FIGURA 46 - Perfil Longitudinal do afluente 19	105
FIGURA 47 - Perfil Longitudinal do afluente 20	107
Figura 48 - Perfil Longitudinal do afluente 21	108
FIGURA 49 - Perfil Transversal 1 (P1)	109
FIGURA 50 - Perfil Transversal 2 (P2)	110
FIGURA 51- Perfil transversal 3(P3).....	110
FIGURA 52- Perfil transversal 4 (P4).....	111
FIGURA 53 – Áreas de desmatamento	115
FIGURA 54 – Trecho do leito do rio	115
FIGURA 55- Mapa de uso e ocupação da terra.....	116
FIGURA 56 – Vazão 1971	119
FIGURA 57 - Vazão 1974.....	120
FIGURA 58- Vazão 1977.....	121
FIGURA 59- Vazão 1978.....	122
FIGURA 60- Vazão 1981.....	123
FIGURA 61 - Vazão La Digue.....	125
FIGURA 62 - Período de retorno de enchentes.....	128
FIGURA 63 -Mapa de suscetibilidade a inundações da bacia hidrográfica do rio La Digue	130

LISTA TABELAS

Tabela 1- Resumo das fontes de dados que foram usados na realização de todos os mapas deste trabalho	65
Tabela 2- Equações usadas para calcular os parâmetros morfométricos para a bacia todas sub-bacias	67
Tabela 3- Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de bacias.	67
Tabela 4 -Valores do coeficiente de escoamento do Método Racional para diferentes tipos de cobertura da bacia.	69
Tabela 5- Os critérios utilizados.....	70
Tabela 6 - Parâmetros morfométricos das Sub-Bacias.....	88
Tabela 7- Os valores convencionais de coeficiente escoamento adotado	117
Tabela 8- Vazão 1971	118
Tabela 9- Vazão 1974.....	119
Tabela 10- Vazão 1977	121
Tabela 11- Vazão 1978.....	122
Tabela 12- Vazão 1981.....	123
Tabela 13- Vazão La Digue.....	125
Tabela 14- Período de retorno	127
Tabela 15 – As instruções a seguir (antes, durante e depois).....	136

Sumário

RESUMO	6
RÉSUMÉ.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
2 REVISÃO TEÓRICA	16
2.1 ASPECTOS FUNDAMENTAIS DE HIDROLOGIA E GEOMORFOLOGIA	16
2.2 INUNDAÇÕES: MECANISMOS, FATORES CAUSAIS E TIPOLOGIA	22
2.3 RELAÇÃO DE CICLONES COM INUNDAÇÕES E EVENTOS EXTREMOS	28
2.4 SUSCETIBILIDADE MORFOMÉTRICA A INUNDAÇÕES	30
2.5 CONCEITO DE SUSCETIBILIDADE, FRAGILIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO	35
2.6 GESTÃO DO RISCO DE INUNDAÇÕES.....	39
3.1- MUNICÍPIO DE PETIT GOÂVE (CAMPO DE ESTUDO).....	55
3.2 ANÁLISES PLUVIOMÉTRICAS	60
4 METODOLOGIA	63
4.1 REVISÃO DA LITERATURA.....	64
4.2 LEVANTAMENTO DE ASPECTOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS.....	64
4.3 SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES.....	70
5.1 LOCALIZAÇÃO DO RIO LA DIGUE.....	72
7 HIDROGEOMORFOLOGIA NA COMPREENSÃO DAS INUNDAÇÕES DO RIO LA DIGUE.....	86
7.1 PARAMETROS MORFOMÉTRICOS.....	86
8 ASPECTOS HIDROLÓGICOS DA BACIA HIDROGRAFIA DO RIO LA DIGUE.....	114
8.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	115
8.3 ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ATRAVÉS DOS DADOS DE CHUVA.....	117
8.4 ESTIMATIVA DA VAZÃO MÁXIMA DA BACIA DO RIO LA DIGUE	124
8.5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	125
8.8 PERÍODO DE ENCHENTE.....	126
9 SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO	129
10 REFLEXÕES E RECOMENDAÇÕES.....	131
10.2 O PAPEL DOS ATORES, AUTORIDADES	137
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	139

1 INTRODUÇÃO

Todos os anos, em vários países do mundo, são registrados vários tipos de desastres naturais que têm efeitos dramáticos sobre os habitantes, que podem ser de origem geológica (erupção vulcânica, terremoto) ou climática (ciclones, seca, inundações...). No entanto, nos dias de hoje, as inundações são o desastre natural mais recorrente no planeta, que trazem as consequências gravíssimas para a população. Isso é destacado pelo Secretário-Geral da ONU desde 1990, ao evidenciar que as inundações causaram mais de 1.000 bilhões de dólares em danos e afetaram mais de 4 bilhões de pessoas, sendo os mais afetados, os pobres e os mais vulneráveis (ONU, 2021)¹. Além disso, esses fenômenos marcaram a história de alguns países, como por exemplo, os Estados Unidos, pois é que apresenta inundações devastadoras. O mesmo vale para alguns países da África onde a pobreza é alta, ampliando as consequências das inundações, como é o caso do Sudão do Sul, onde 623 mil pessoas foram afetadas em 2021 (ONU, 2021)². Mais recentemente, em janeiro de 2022, as inundações forçaram milhares de pessoas a fugirem para a Indonésia³. E no caso do Brasil, em maio de 2022, somente no estado de Santa Catarina por causa da inundação ao menos 44 mil foram afetadas durante a passagem do ciclone Yakecan⁴. Entendemos que na América Latina, a situação não é diferente. Conforme descreveu Bertoni (2006), “nos últimos anos a América Latina registrou inundações catastróficas em suas áreas urbanas que concentram, nesta região, uma porcentagem importante da população”. Desse modo, entende-se que as inundações representam o desastre natural mais devastador em escala global.

Essa realidade se repete no Haiti, um dos países caribenhos, que possui montanhas vulcânicas onde as encostas são muito íngremes, de clima tropical, com frequentes eventos extremos. Soma-se a isso as ameaças à cobertura vegetal natural e a dominância de múltiplas formações geológicas, que contribuem para uma extensiva produção de sedimentos. Assim, este país não é poupado desse fenômeno destrutivo. No Haiti, é muito frequente a ocorrência de inundações na maioria das cidades, mais precisamente, nas épocas de chuvas e furacões. Foi o

¹ <https://www.un.org/en/desa/water-management>

² <https://news.un.org/en/story/2021/10/1105802>

³ https://www.lexpress.fr/monde/indonesie-des-milliers-d-habitants-evacues-apres-des-inondations-imputees-a-la-deforestation_2165430.html

<https://www.metropoles.com/brasil/veja-os-principais-desastres-causados-por-chuvas-em-2022-no-brasil#Injzdvm31y1cggvriijr>

caso de Gonaives, que em setembro de 2004, durante o ciclone Jeanne que inundou toda a cidade causou mais de 3000 mortes, sem contar os desaparecidos.

No Haiti, mais de 70% da população vive em áreas de risco (UNU-EHS, 2014). De acordo com o Índice de Risco Mundial (criado pelo Instituto Universitário das Nações Unidas para o Meio Ambiente e a Sociedade Humana), em um estudo realizado em 2014, o Haiti é o único país do Caribe onde a exposição a riscos é muito alta e sua capacidade de responder efetivamente é muito fraca (UNU-EHS, 2014). De fato, a capacidade de antecipar e até mesmo controlar os riscos de inundação continua sendo um grande desafio para a sociedade haitiana, intensificado pela urbanização e concentração de atividades em áreas de risco em várias cidades do país. A situação, portanto, não é tão diferente na cidade de Petit-Goâve, que é uma cidade localizada no departamento Oeste do Haiti, mais precisamente ao sul do Porto Prince.

A população de Petit-Goâve, cuja aglomeração é altamente urbanizada, está constantemente preocupada com as inundações, que são um grande risco contra o qual a sociedade não pode se proteger sem conhecer as origens profundas desses fenômenos. Durante várias décadas esta cidade viveu situações dramáticas, com as últimas datadas de 18 de setembro de 2018 e depois em 19 de outubro de 2018, quando, no intervalo de um mês a população sofreu duas inundações muito intensas. E mais recente foram datadas de 2, 3 de junho de 2023. Com efeito, na estação chuvosa, as inundações são recorrentes no município que frequentemente causam a perda de vidas humanas. As consequências deste fenômeno também afetam as infraestruturas rodoviárias, parcial ou totalmente, como na passagem do ciclone Matthew. Em 2016, ocorreu a destruição de uma ponte pelo volume de água, que paralisou o setor de transporte para o Sul do país por vários dias. Com efeito, esta situação favorece a degradação do ambiente urbano, e a destruição do patrimônio público e privado, causando enormes consequências. Somado a tudo isso, a forte pressão demográfica aliada à extrema pobreza e ao desmatamento nas montanhas no alto curso dos rios aumentam o risco de perda de vidas humanas e materiais.

Neste contexto, o município apresenta desafios ambientais e sociais muito fortes. Junto a esta realidade histórica e flagrante do risco de inundações, devem-se observar alguns fatores que agravam a situação no município de Petit-Goâve, tais como: precariedade de infraestruturas essenciais (saúde, educação, edifícios públicos etc.); pressão demográfica; ausência de obras de atenuação de cheias na bacia hidrográfica; despreparo para atuação nos casos de inundações; ausência de plano de urbanização concreto e ausência de um plano de desenvolvimento local.

Analisando a situação atual de Petit-Goâve, além do nível de vulnerabilidade da população, não foi feito esforço suficiente pelo poder público para remediar ou prevenir a situação, sobretudo por ainda não ter sido feito nenhum trabalho acadêmico sobre este assunto. Esses fatos insistem em colocar esta questão de pesquisa: não seria importante realizar um estudo sobre a suscetibilidade de inundações de uma das bacias hidrográficas, nesse caso, (La Digue) em Petit-Goâve, com o objetivo de pesquisar causas e propor respostas que poderiam minimizar esses problemas?

Coloca-se a hipótese de que as cheias em Petit-Goâve estão relacionadas com a morfometria das bacias hidrográficas que drenam a cidade e com a frequência de eventos climáticos extremos, como furacões, intensificados pelas alterações históricas de uso da terra e com a falta de obras de infraestrutura no alto curso dos canais fluviais. Além disso, a dissecação dos relevos facilita o despejo de toneladas de aluvião nas calhas fluviais, o que contribui para a diminuição da profundidade efetiva dos rios, facilitando o transbordamento das águas.

Desse modo, o objetivo geral deste trabalho é discutir os aspectos hidrogeomorfológicos que levam à suscetibilidade de inundações na bacia hidrográfica de La Digue, em Petit-Goâve. Como objetivos específicos, enumeram-se:

- ✓ Relacionar variáveis morfométricas e ambientais que contribuem para a ocorrência de inundações em Petit-Goâve.
- ✓ Elaborar um atlas dos aspectos ambientais que possam auxiliar na compreensão da espacialidade do fenômeno das inundações em Petit-Goâve.

Visto que, as inundações são fenômenos frequentes nas últimas décadas em Petit-Goâve, percebe-se que isso torna sua população muito vulnerável. Por essa razão esta cidade foi escolhida como recorte de estudo. Considerando aspectos físicos e sociais, a compreensão do fenômeno das inundações em Petit-Goâve através da abordagem hidrogeomorfológica poderá clarificar soluções no que diz respeito às inundações ao controle e mitigação dos danos causados. É necessário e urgente a realização deste estudo como forma a ajudar a identificar as zonas propensas a inundações e aspectos geomorfológicos que colaboram para a acumulação de água, uma vez que os gatilhos dos eventos (furacões) não podem ser controlados. Ademais, este estudo pode fornecer elementos básicos para autoridades organizações locais e internacionais que venham a realizar investigações posteriores para trazer resultados concretos e fazer propostas que possam ser úteis para a futura geração desta cidade.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 ASPECTOS FUNDAMENTAIS DE HIDROLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Galéa e Prudhomme (1997) qualificaram a hidrologia como uma ciência que tem a capacidade de responder a muitas questões ligadas às noções de duração e frequência dos eventos hidrológicos observados ou prováveis de ocorrer.

Outros pesquisadores opinaram sobre esse conceito, como Laborde (2000), que define a hidrologia como sendo “o estudo do ciclo da água e a estimativa de suas diversas vazões”. Ele passa a descrever a hidrologia em um sentido amplo, indicando a inclusão, da climatologia por exemplo, quando se trata do ciclo da água (precipitação, retorno à atmosfera, transferências etc.) e a hidrologia de superfície, para fluxos na superfície dos continentes. Em seguida, reúne a hidrodinâmica de ambientes insaturados para trocas entre águas superficiais e subterrâneas (infiltração, retorno à atmosfera das águas subterrâneas etc.). Bem como a hidrodinâmica subterrânea para escoamentos em meios saturados (LABORDE, 2000).

Portanto, entende-se que a hidrologia preocupa-se em clarificar alguns processos, como a precipitação, o início das cheias, o caudal das águas superficiais, sem desprezar o papel das bacias hidrográficas.

Em primeiro lugar, a precipitação designa toda a água meteórica que, é proveniente do vapor de água da atmosfera, e atinge a superfície da Terra. Devido à importância da água meteórica na geração de escoamento superficial, a chuva é o tipo de precipitação mais importante na hidrologia (RODRIGUES, et al., 2011), sobretudo para o Haiti.

Segundo Porteret (2008), a precipitação desempenha um papel determinante na dinâmica hidrológica. Mais recentemente, Cosandey e Robinson (2012), apontaram que a precipitação é o componente fundamental da hidrologia e o conhecimento desse abastecimento de água ao solo é essencial para entender o estado das reservas hídricas do solo, a recarga das águas subterrâneas e o regime do rio (COSANDEY e ROBINSON 2012).

Então, os fluxos superficiais, conseqüentemente que correspondem ao escoamento superficial. Segundo Collischonn e Dornelles (2013), dependendo da intensidade de chuva, parte da água não consegue infiltrar no solo e começa a se acumular na superfície. Em determinadas condições, a água começa a escoar sobre a superfície, formando pequenos córregos temporários ou escoando na forma de uma lâmina em superfícies mais lisas. O escoamento gerado dessa forma é denominado escoamento superficial, e é importante pois

formam picos de vazão nos rios, como resposta aos eventos de chuva. Acrescentando a isso, salienta-se que, a geração do escoamento é um dos temas mais complexos da hidrologia porque as variabilidades das características da bacia podem ser consideráveis, visto que a água pode tomar vários caminhos desde o momento em que atinge a superfície, na forma de chuva, até o momento em que chega ao curso d'água. Existem dois principais processos na formação de escoamento superficial: de intensidade superior à capacidade de infiltração e a precipitação sobre solos saturados.

O escoamento por excesso de infiltração ocorre quando a intensidade da chuva ultrapassa a capacidade máxima do solo em absorver água. Esta capacidade, caracterizada pela capacidade de infiltração do solo, diminui ao longo do tempo até um valor constante. Então o fluxo das inundações depende principalmente da duração e intensidade da precipitação, das características dos rios e bacias hidrográficas e de certas atividades humanas (BRAHY e LANGE, 2021, p.6).

Segundo Jacques (1960, p. 858) “os coeficientes de escoamento ou escoamento são sempre altos e dependem antes de tudo do grau de impermeabilização, portanto de urbanização, da bacia. [...] variam rapidamente ao longo do tempo”. Os valores dos coeficientes de escoamento superficial e pluvial dependem estreitamente da umidade do terreno, do estado dos lençóis freáticos na bacia, bem como das características da precipitação. Todos esses processos, compreendidos dentro de uma bacia hidrográfica, permitem vislumbrar a variabilidade do escoamento superficial.

Portanto, uma vez que a bacia hidrográfica desempenha um papel fundamental na hidrologia das águas superficiais, analisar brevemente esse conceito facilitará uma melhor compreensão do fenômeno do escoamento superficial.

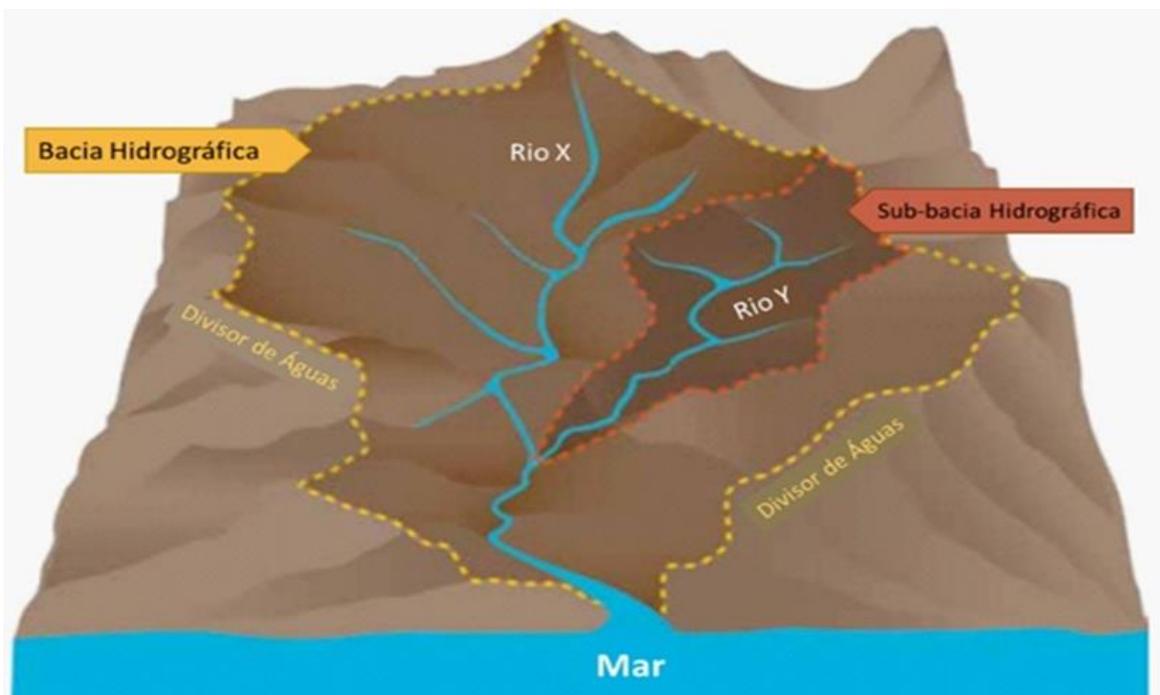
Segundo Paz (2004), a expressão “bacia hidrográfica é usada para denotar a área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, que é chamado de exutório” (FIGURA 1). A bacia é composta por um conjunto de vertentes, terrenos sobre os quais correm as águas precipitadas e uma rede de drenagem formada por cursos d'água que convergem até a formação de um único leito na saída (PAZ, 2004, p.15).

Sheng (1993, p.3) define uma bacia hidrográfica como sendo uma zona topograficamente delimitada que é drenada por um sistema pluvial e, portanto, corresponde à

área total das áreas drenadas em um determinado ponto de um rio. É uma entidade hidrológica e topográfica que tem sido descrita e utilizada como entidade física-biológica.

Segundo Lambert (1976), para os geógrafos, uma bacia hidrográfica é um espaço geográfico concreto que não apenas possui uma superfície geográfica delimitada por divisores de água, uma organização hidrográfica, mas também uma organização interna, uma estrutura com: um clima, ou vários contíguos se for grande ou montanhoso, um relevo mais ou menos volumoso, uma estrutura geológica complexa, um modelo, um sistema de inclinação com talvegues e vertentes, uma cobertura vegetal, uma cobertura pedológica e, por fim, uma sociedade mais ou menos desenvolvida e mais ou menos perturbadora do ciclo da água.

FIGURA 01- Representação de uma bacia hidrográfica e uma das suas sub-bacias



Fonte: IRGEB, 2020

Segundo Roche (1963), a bacia funciona como um coletor responsável por recolher as chuvas e transformá-las em escoamento na saída. Esta transformação não ocorre sem perdas de água (infiltração, armazenamento subterrâneo e evapotranspiração) e essas perdas dependem das condições climatológicas e das características físicas prevaletentes na bacia. Sobretudo, a velocidade de distribuição das águas superficiais em uma bacia hidrográfica ganha importância, assim como sua configuração geomorfológica, que pode ser expressa pela geometria de seu relevo.

Nesse contexto, a introdução do hidrograma tem seu lugar na discussão. Pois, o hidrograma ou hidrógrafa é a representação gráfica da vazão que passa por uma seção, ou ponto de controle, em função do tempo. A caracterização de um hidrograma é feita a partir de observações e registros das variações de vazão no decorrer do tempo (PEREIRA FILHO; TRINDADE; CAPOANE, 2019).

Assim, o hidrograma constitui a resposta da bacia ao aparecimento de uma determinada precipitação, sendo o resultado de todos os processos envolvidos que ocorrem na bacia desde o momento em que a chuva cai até chegar ao rio (PAZ, 2004). Outrossim, também é importante mencionar o papel do hidrograma unitário, que é o gráfico resultante de um evento chuvoso uniforme da bacia, dando uma lâmina de escoamento com altura em milímetros ou polegadas (BENNIS, 2014).

O formato dos hidrogramas depende não só da quantidade de precipitação, mas também das características do local onde se desenvolve, incluindo o relevo da bacia. O hidrograma unitário de uma bacia hidrográfica pode ser estimado observando a sua resposta a chuva de curta duração. A forma do hidrograma depende da duração da chuva (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Além disso, outro parâmetro muito importante na ocorrência de enchentes é o tempo de concentração, que é definido como o tempo de viagem da gota de água da chuva que atinge a região mais remota da bacia, desde o início de seu escoamento, até o momento em que atinge o exutório. Esse tempo depende tanto da distância total que a água deve percorrer, como da velocidade com que a água escoar (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Segundo Stevaux e Latrubesse (2017), o perfil longitudinal é definido por um gráfico construído a partir da altitude H (fundo do canal ou da superfície da água, um estágio de margens plenas) e da distância L medida da nascente para foz. Além disso, o perfil longitudinal reflete o estado de equilíbrio ou desequilíbrio do canal com suas variáveis determinantes. Um canal equilibrado é aquele que, ao longo do tempo, teve suas variáveis ajustadas de modo a produzir com a maior eficiência possível o transporte da carga produzida pela bacia sem agradação ou degradação do canal.

Por conseguinte, para ter uma melhor compreensão sobre a hidrodinâmica fluvial da bacia hidrográfica, o perfil longitudinal é um elemento de extrema importância, que pode dar explicações muito precisas. Nesse sentido, Christofolletti (1981), também destacou esse aspecto:

O perfil longitudinal é uma forma esculpida pela morfogênese fluvial. Na concepção da teoria Davisiana, o perfil longitudinal é elaborado paulatinamente, da foz em direção de montante, através do processo da erosão remontante. (Christofolletti, 1981. p.139)

Portanto, analisar o papel das bacias hidrográficas e dos cursos fluviais na hidrologia, permite uma melhor apreciação dos diferentes fatores que devem ser levados em consideração na ocorrência das inundações.

De acordo com Monique et al. (2015), a bacia hidrográfica é, portanto, a unidade geomorfológica por excelência, o que também permite quantificar as diversas entradas e saídas da sub- bacia geomorfológica. Por isso, a descrição da geomorfologia é um elemento chave deste trabalho.

Primeiramente, a geomorfologia é definida como um campo de conhecimento que trata da compreensão, avaliação e apreciação das formas do relevo e da paisagem. A geomorfologia clássica e moderna se preocupa com a classificação e descrição das formas do relevo, os processos e dinâmicas que caracterizam sua gênese e evolução, além de sua associação e relação com outras formas e processos (hidrológicos, climáticos, bióticos, tectônicos, antrópicos, entre outros) (GOERL; KOBİYAMA e SANTOS, 2012).

Assim, uma vez que a geomorfologia se interessa pela descrição das formas de relevo, pelos processos e dinâmicas que caracterizam a sua gênese e a sua evolução, pode intervir no problema ligado ao fenômeno das inundações, conduzindo à observação de objetos familiares nas planícies de inundação funcional de um ponto de vista diferente dos pontos de vista geralmente praticados na dinâmica fluvial (BALLAIS et al.,2009).

Sabendo disso, as dimensões das bacias e a ordem dos rios são de suma importância na dinâmica fluvial. Inicialmente, as pequenas dimensões dos cursos d'água e suas áreas de captação são características das porções à montante, na zona de alimentação dos cursos d'água. Isso resulta na formação de um leito menor e pouco encaixado em condições pouco perturbadas. Geralmente, há a ausência de um leito médio, exceto em locais muito localizados, todos situados a jusante. Além disso, observa-se um perfil transversal acentuado do leito principal, raramente quase horizontal, bem como uma ausência de sedimentação excessiva, ou seja, um acúmulo de sedimentos menos espesso do que na ausência de obstáculos. Da mesma forma, a ausência de terraços aluviais é notada, o que torna difícil a identificação do limite da zona inundável (BALLAIS et al., 2009).

Portanto, a geomorfologia tem uma grande importância no estudo das bacias hidrográficas, ajudando a entender melhor o dinamismo fluvial e contribuindo para resolver os problemas de erosão e transporte de sedimentos, e entender os processos que facilitam a inundação. Ademais, pode ajudar a quantificar as características morfométricas da bacia hidrográfica reagindo com o escoamento superficial.

A hidrogeomorfologia, como o próprio nome indica, inclui as inter-relações entre vários processos hidrológicos e geomorfológicos e pode ser definida como uma ciência interdisciplinar que se concentra no processo de ligação dos processos geomorfológicos com águas superficiais ou subterrâneas na paisagem, em diferentes escalas espaciais e temporais. “A hidrogeomorfologia é uma ciência que pode ser entendida como os processos hidrológicos que contribuem para a formação e evolução dos processos hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais” (GOERL,2012, p.105,106).

O termo hidrogeomorfologia foi mencionado pela primeira vez em 1973 por Scheidegger. Para ele qualquer modificação do relevo que se forma a partir da interação da água, seja ela subterrânea ou superficial, é um processo hidrogeomorfológico. Portanto a morfologia na paisagem pode ser compreendida a partir da hidrogeomorfologia (SCHEIDEGGER 1973). Esse conceito evoluiu ao longo do tempo.

Babar (2005), descreveu a hidrogeomorfologia como a ciência relativa aos aspectos geográficos, geológicos e hidrológicos dos corpos d’água e às mudanças no relevo em resposta às variações dos eventos, decorrentes de causas naturais e humanas. Já em 2012, Goerl descreveu esse conceito como a ciência que conecta hidrologia e geomorfologia em uma escala de centenas a milhares e milhões de anos. Para Goerl (2012), a hidrogeomorfologia visa estudar os processos hidrogeomorfológicos de três tipos principais: “inundações, fluxos hiperconcentrados e lavas torrenciais” (GOERL, 2012, p.105,108).

Portanto, a hidrogeomorfologia é uma ciência que busca entender como os processos hidrológicos contribuem para a formação e evolução da paisagem e também como os relevos condicionam ou controlam processos em diferentes escalas temporais e espaciais (GOERL; KOBAYAMA e SANTOS, 2012, p.107).

A hidrogeomorfologia é entendida como “[...] a ciência interdisciplinar que estuda a interação e articulação dos processos hidrológicos com as formas do relevo [...]” sempre

reconhecendo os processos hidrogeomorfológicos como seu objeto de estudo (GOERL et al, 2011).

A realização de várias teses no Brasil provou que a abordagem hidrogeomorfológica é um ramo interdisciplinar. Dentre essas teses, cada um dos pesquisadores a utilizou em diferentes contextos, por exemplo: André Coelho (2007) que trabalhou acerca das construções de barragens para hidrelétricas e a transposição de água para o Rio Doce e como as mesmas influenciaram os processos hidrogeomorfológicos. Em seguida, Irani dos Santos (2009), estudaram características hidrogeomorfológicas para explicar a taxa de escoamento superficial. Além disso, Miguel Felipe (2013) elucida a dinâmica das nascentes através do estudo da hidrogeomorfologia das águas superficiais e subterrâneas (MORAES 2017, p.26-39).

Portanto, a chamada hidrogeomorfologia constitui um novo campo de conhecimento, essencialmente interdisciplinar, que engloba as ligações entre os processos hidrológicos e geomorfológicos (FELIPPE, 2013, p. 37).

Dessa forma, quando se analisam os detalhes hidrogeomorfológicos, entende-se a natureza transdisciplinar que a ela pode desempenhar no estudo da sucessão de cheias. Isto posto, relaciona-se os fundamentos hidrológicos à distribuição das águas juntamente ao controle dessa dinâmica que é exercido pela morfologia do relevo.

2.2 INUNDAÇÕES: MECANISMOS, FATORES CAUSAIS E TIPOLOGIA

Charlton (2008, p. 30) define inundação a partir da “vazão relativamente alta que excede a capacidade do canal”, desencadeando o fluxo de água do rio para áreas adjacentes à seção transversal do canal, configurando as chamadas “planícies de inundação”. Sob essa ótica, inundações são fenômenos naturais que ocorrem com frequência nos cursos d’água, geralmente provocado por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração (BRAGA, 2016, p.1).

Porém, do ponto de vista social, inundações conformam-se em problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos (hazards) naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico (ISDR, 2002), ou seja, aquele de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica (SOUZA, 2005). A ocorrência de uma inundação é o resultado de vários fatores que interferem na formação dos escoamentos e em sua propagação ao longo da bacia hidrográfica de contribuição (PINHEIRO, 2007).

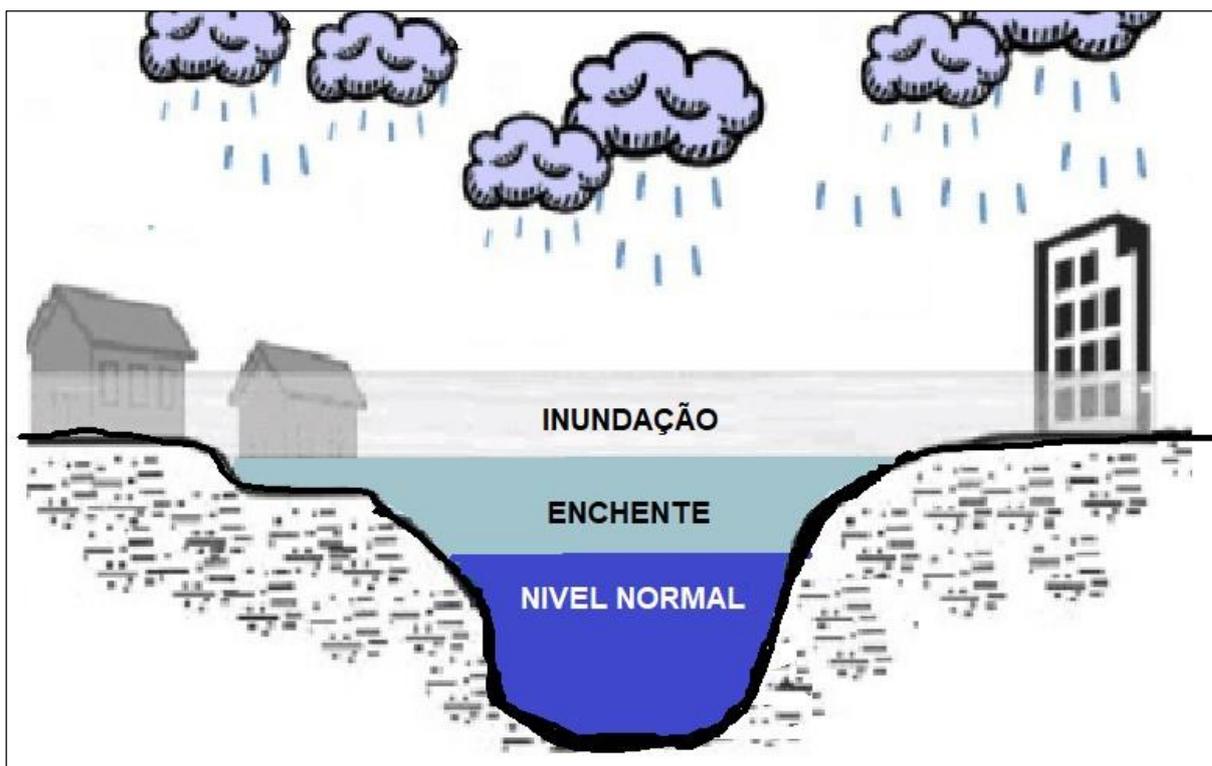
Nesse sentido, o escoamento superficial é um dos fatores a serem analisados no estudo das inundações. Segundo Collischonn e Dornelles (2013, p.131-132), o escoamento tem origens

diferentes dependendo se está ocorrendo um evento chuva ou não. Durante as chuvas intensas, a maior parte da vazão que passa por um rio é a água da própria chuva que não consegue penetrar no solo e escoar imediatamente, atingindo cursos d'água e aumentando a vazão (picos de vazão), gerando as cheias ou enchentes.

Porém existe diferença entre cheia e inundações. A cheia ou enchente refere-se a um fenômeno hidrológico de frequência variável, natural ou induzido pela ação humana, que consiste na elevação da cota de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, podendo ou não originar a inundação dos terrenos ribeirinhos (leito de cheia). As inundações são fenômenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, que consistem na submersão de uma área usualmente emersa.

As inundações podem ser devidas a várias causas e, consoante estas, podem ser divididas em vários tipos: (i) inundações fluviais ou cheias, (ii) inundações de depressões topográficas, (iii) inundações costeiras e (iv) inundações urbanas. Embora nem todas as cheias e inundações sejam devidas a causas meteorológicas. No entanto, cheia e inundação são fenômenos hidrológicos que não é possível evitar, e que podem ser potencialmente perigosos, dependendo da magnitude atingida (altura da água, caudais), da velocidade com que progridem e da frequência com que ocorrem. Contudo, só provocam situações de risco se houver elementos a elas expostos (população, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades económicas), ou seja, localizados em áreas inundáveis, que possam ser destruídos ou gravemente danificados (RAMOS, 2009,p.11-12)

FIGURA 02-Diferença entre cheia ou enchente e inundação



Fonte: InfoEnem 2020

Além disso, a probabilidade de ocorrência das inundações é analisada combinando condições naturais e antrópicas. Entre as condições naturais, destacam-se: as características da rede de drenagem da bacia; a intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; as características do solo e seu teor de umidade; a presença ou ausência de cobertura vegetal (TOMINAGA; SANTORO ; AMARAL,2009, p.45).

Outro aspecto importante neste assunto, é a classificação das inundações de acordo com sua magnitude e sua evolução. Em função da magnitude, as inundações são classificadas como: excepcionais, de grande magnitude, normais ou regulares e de pequena magnitude. Em função da evolução, as inundações são classificadas em: enchentes ou inundações graduais, enxurradas ou inundações bruscas, alagamentos e inundações litorâneas provocadas pela brusca invasão do mar (CASTRO, 2003, p.40).

Os fatores que governam ou influenciam a ocorrência de inundações em uma determinada bacia, podem ser agrupados em fatores naturais e fatores artificiais. Fatores naturais são fornecidos pela bacia em seu estado natural (relevo, forma da bacia, tipo de precipitação, cobertura vegetal, capacidade de drenagem, tipo de solo etc.). Outros fatores provocados pelo homem, porém, podem agravar ou atenuar os processos de inundação. Um

elemento chave é a urbanização da bacia contribuinte, que leva à impermeabilização da superfície, redução da infiltração e aumento do escoamento superficial. Isso torna as enchentes mais frequentes e mais intensas (PAZ, 2004, p.123-124).

Os fatores permanentes têm forte influência na ocorrência de inundações, por exemplo, temos a topografia que é um fator que permite de fixar os limites da bacia e das áreas drenadas pelos diferentes elementos da rede hidrográfica, permite de avaliar as diferentes capacidades de armazenamento e localizar as áreas onde o risco hidrológico é mais forte. Portanto, é um importante fator de controle da gênese dos fluxos. Acresce a isso, a cobertura vegetal influencia as trocas com a atmosfera devido à interceptação das chuvas. No entanto, quando a capacidade de interceptação das plantas é fraca ocorrem inundações de alta intensidade (LEBLOIS,1996, p.31-32).

Agora, no que diz respeito aos fatores artificiais, os seres humanos têm grande influência na formação de enchentes a partir de suas ações no uso da terra e no desenvolvimento de canteiros instalando todo tipo de construção. Como resultado, a urbanização geralmente leva a um aumento nos picos de inundação porque sela o solo e aumenta o escoamento. Portanto, a urbanização é um agravante na formação de enchentes (LEBLOIS,1996, p.34-36).

Segundo Cooke e Doornkamp (1990) os fatores que se inter-relacionam e são responsáveis pela ocorrência de eventos de inundação podem ser transitórios, permanentes e mistos. Os fatores transitórios estão associados às chuvas, à evapotranspiração e ao grau de saturação do solo. Os fatores permanentes correspondem às características da morfometria da bacia de drenagem e de um substrato rochoso, enquanto os fatores mistos estão relacionados ao tipo de uso e ocupação do solo.

Do ponto de vista hidrológico, devemos levar em conta estes quatro principais parâmetros que são muito importantes no processo de inundação: i) período de retorno da inundação; ii) altura e a duração da submersão; iii) velocidade da corrente; iv) volume de material transportado.

O período de retorno da inundação é uma estimativa de quantas vezes uma inundação de uma determinada magnitude pode ocorrer. Como inundações mais extremas são menos frequentes, um evento centenário seria de magnitude maior do que um com período de retorno de vinte anos, por exemplo (CHARLTON, 2007, p.30).

Amaral e Ribeiro (2009) destacam que, ao considerar as inundações como processos naturais que ocorrem nas bacias hidrográficas, sua magnitude e frequência se devem: à intensidade e distribuição das chuvas, à taxa de infiltração da água no solo, ao grau de saturação do solo, características morfológicas e características.

A altura e a duração da submersão podem ter um impacto significativo nas edificações, especialmente quando ultrapassa o nível de referência⁵. A estrutura construtiva das moradias pode ser danificada e os pisos e paredes encharcados (ESSONNE, 2020). Quando a duração da submersão é longa (superior a 24 h ou mesmo 48 h), podem surgir problemas de saúde, podendo ter um impacto significativo nas lavouras e residências (sobretudo se contaminados por esgoto) (AGRISUR, 2013).

Além disso, há outro aspecto que não pode ser ignorado, que é a influência do relevo no processo de desencadeamento do fenômeno das inundações. Porque o relevo, combinado às inclinações e a área da bacia hidrográfica, desempenha um papel preponderante na aceleração da circulação das águas superficiais e controla o transporte de sedimentos.

Segundo Charlton (2007), o trabalho de transporte de água e sedimentos pelo canal é definido pela potência do curso d'água (streampower), que é controlada pela inclinação do canal. Assim entende-se, quando sedimentos grosseiros se acumulam nos canais dos rios, elevam o leito do canal enquanto reduz a sua capacidade. Isso aumenta o risco de inundação durante as cheias. Além do mais, com o aporte de sedimentos os canais também se tornam instáveis, com frequentes mudanças de posição (CHARLTON, 2007, p.65,116).

Assim, a ocorrência de enchentes se torna um “problema” devido à ocupação das planícies (e várzeas) pela população e à frequência das inundações. Este último refere-se ao fato de que a ocorrência de enchentes está ligada à aleatoriedade do regime de precipitação na bacia contribuinte, fazendo com que o rio transborde e inunde suas planícies com certa frequência, determinada em estudos hidrológicos por meio de técnicas estatísticas (PAZ, 2004, p.122).

Existem vários tipos de eventos pluviométricos distintos que podem resultar em diferentes respostas hidrológicas em uma bacia: os eventos acumuladores e os extremos. Os eventos acumulados correspondem a soma do total precipitado em diferentes eventos de chuva,

⁵ Para os seres humanos, geralmente considera-se que alturas de água superiores a 50 cm são perigosas. Por exemplo, um carro começa a se encher de água a partir de 30 cm de água (ESSONNE, 2020).

fato que favorece a saturação de solo e incremento de escoamento superficial, que pode ultrapassar uma capacidade de vazão dos corpos hídricos da bacia (MARTH, MOURA, KOESTER, 2016, p.15).

Normalmente, falamos de eventos extremos quando sua intensidade e magnitude sai do intervalo normalmente observado. Na maioria das vezes, são inesperados e violentos. Esses eventos têm grande poder destrutivo, o gera severo impacto na sociedade, na vida humana e nas propriedades.

Portanto, para entender a importância dos eventos extremos, ou seja, processos de alta intensidade, é importante determinar a relação entre o trabalho realizado na paisagem e os relevos particulares que resultam. Portanto, é por isso que os pesquisadores em geomorfologia fluvial têm prestado atenção considerável às inundações por meio da abordagem de hidrogeomorfologia para entender os eventos passados ou geomorfologia de paleo inundações e hidrologia de inundações. Porque, durante as inundações, a magnitude e a frequência exercem um controle muito importante sobre o impacto da processos geomorfológicos, e influenciam na mudança do relevo e, no equilíbrio dinâmico dos sistemas geomorfológicos (ALCÁNTARA-AYALA, 2002, p. 114).

Assim, para descrever eventos extremos relacionados ao sistema fluvial, os termos inundações repentinas são mais frequentemente úteis. Por um lado, as inundações repentinas são inundações brutais, devido às chuvas fortes e localizadas muito violentas. Elas são caracterizadas por um aumento muito rápido dos níveis de água (C-PRIM, 2022). De acordo com COBRADE (2022), enxurrada é o escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente e em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela extensão das vazões de drenagem determinada e transbordamento abrupto da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo. ”

Isso nos ajuda a entender que as grandes inundações são causadas principalmente por condições excepcionais de abastecimento, tanto em termos de abundância quanto de intensidade, duração, extensão ou sucessão próxima (JEAN-NOEL, 1997, p.17).

Segundo Castro (2003), as inundações bruscas (flash floods) ou enxurradas são provocadas por chuvas intensas e concentradas, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, que escoam de forma rápida e intensa. Muitas vezes, ocorrem associadas a áreas mais íngremes e em bacias de tamanho médio ou pequeno, sendo que a

inclinação do terreno, ao favorecer o escoamento, contribui para intensificar a torrente e causar danos.

Outro aspecto a considerar é o tempo que está sempre envolvido no desenvolvimento desse fenômeno, por isso nos referimos ao período de retorno. Por exemplo, inundações provocadas por furacões ou tempestades tropicais são desenvolvidas em uma base temporal distinta da acumulação paulatina de água em cheias regulares. Distúrbios atmosféricos levam à formação de tempestades tropicais, que podem evoluir para furacões, levando de algumas horas a alguns dias. Além disso, a intensidade e duração das chuvas em conjunto com a natureza do sistema fluvial determinariam as características da cheia (ALCÁNTARA-AYALA,2002, p.109).

Segundo Coll (2020), os eventos extremos sempre existiram, mas o que a comunidade científica tem demonstrado é que a maior regularidade está intimamente ligada à ação humana. A maior frequência de eventos severos, como chuvas fortes e inundações, sinaliza a necessidade de rever os padrões de desenvolvimento (COLL,2020).

Assim, entendemos que a urbanização é outro aspecto que influencia inundações repentinas. Pois, uma das consequências mais visíveis da urbanização é a impermeabilização do solo, que limita muito as possibilidades de infiltração de água e promove um aumento nos volumes de água de escoamento. Este elemento é frequentemente apresentado para explicar as inundações urbanas. No entanto, se o aumento do escoamento é muito significativo para eventos pluviométricos frequentes, ou mesmo para eventos correspondentes aos períodos de retorno considerados, conseqüentemente, a urbanização é determinante no aumento do risco de inundações.

2.3 RELAÇÃO DE CICLONES COM INUNDAÇÕES E EVENTOS EXTREMOS

Os termos ciclone e furacão designam, dependendo da região, um sistema climático de baixa pressão que se forma sobre águas tropicais ou subtropicais e é caracterizado por trovoadas, chuvas torrenciais e ventos violentos (OMS,2018). Segundo Ferreira et al. (2016), os ciclones tropicais são eventos considerados de risco natural e podem ser caracterizados pela sua magnitude ou intensidade, pela sua velocidade inicial, duração e extensão da área considerada.

Com efeito, as fortes chuvas associadas à passagem de um ciclone tropical com rajadas de vento e pressão atmosférica muito baixa podem ter conseqüências desastrosas para inundações. De fato, estas cheias repentinas estão frequentemente associadas à noção de

avalanches⁶, ao mesmo tempo que congregam dois fenômenos distintos, por um lado chuvas intensas e por outras inundações. As pancadas de chuva e o transbordamento dos canais são concomitantes, pois o intervalo de tempo é pequeno, de um quarto de hora a algumas horas, entre o início das chuvas e o pico da enchente. Este fenômeno é consequência da pequenez das bacias hidrográficas e do sistema de declives que acelera todas as transferências (LORION,2016).

Bernstein et al. (2007) indicaram que alguns eventos extremos de tempo têm mudado suas frequências e/ou intensidade nos últimos 50 anos. Isto inclui um aumento na frequência de eventos de precipitação forte sobre muitas áreas do globo. Nesse período, a precipitação aumentou significativamente nas partes leste das Américas do Sul e Norte, norte da Europa e centro da Ásia.

Esse fenômeno é frequente nos alguns países tropicais. Considerando o caso do Brasil, desde o ano 1950, as regiões Sudeste e Sul do Brasil experimentam aumento na frequência de dias com chuvas intensas, assim como aumento na frequência de ondas de calor e de dias secos consecutivos, o que significaria chuva intensa concentrada em poucos dias com períodos secos e quentes entre eventos chuvosos (Magrin et al., 2014). Por exemplo no Sul do Brasil, em 1983 intensas inundações graduais em todo o Estado de Santa Catarina. Essas inundações ocorreram em todos os períodos sazonais, destacando-se os meses de maio e julho, com o maior número de registros. Em julho de 1983, 5 dias de chuvas intensas fizeram o rio Itajaí-Açu subir mais de 15 metros, inundando mais de 90 cidades. Em março de 2004, um ciclone extratropical atingiu o litoral e o sul do Estado, deixando 28 mil casas danificadas, 955 destruídas, 2 mortes e 23.000 desabrigados (UFSC,2011).⁷ E nos dias de 22 a 24 de novembro de 2008, chuvas fortes afetaram o Estado de Santa Catarina de novo e causaram grandes inundações e deslizamentos fatais, que afetaram 1,5 milhão de pessoas, resultando em 120 mortes e deixando 69.000 pessoas desabrigadas. Uma combinação incomum de condições meteorológicas favoreceu a intensificação da chuva ao longo da região litorânea de Santa Catarina esse evento foi considerado a pior tragédia climática da história da região. A maior parte dos municípios vitimados por um evento extremo de enchente ou inundação se localizam ao leste do Estado, indicando que o crescimento populacional da época contribuiu para a ocorrência de enchentes, pois as cidades com os maiores números de ocorrências estão, quase todas elas, na zona Litoral,

⁶ Palavra francês que significa “Torrente formada por fortes chuvas”

⁷ <https://laam.ufsc.br/files/2011/05/minicurso6.pdf>

onde os municípios são de baixa altitude ou planos. Isto oferece um terreno ideal para eventos extremos de enchente e inundação, pois seus perímetros urbanos estão localizados próximos a grandes corpos d'água.

E mais recente no Estado de Rio grande do Sul que vem sofrendo nos últimos anos com eventos extremos, nos primeiros cinco dias de setembro 2023, choveu o dobro do que costuma chover em todo o mês no Estado. Essa situação que permitiu o rio Taquari subiu muito rapidamente na sua cabeceira, propagando uma onda de cheia ao longo da bacia. As inundações que se seguiram levaram à morte de 50 pessoas. Em apenas três meses, esse foi o quarto ciclone extratropical a atingir a região. Em junho, outras 16 pessoas já haviam morrido em evento similar no litoral norte do estado⁸. Portanto, ciclones tropicais podem estar associados a inundações e eventos extremos no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, e é crucial para as populações. Isso mostra que os eventos extremos têm afetado seriamente o Brasil durante os últimos anos.

Assim, entendemos que os ciclones tropicais podem dar origem a períodos prolongados de chuvas fortes enquanto causam inundações na forma de inundações repentinas. Quando a inundação ocorre ao mesmo tempo que as tempestades, a consequência pode ser muito mais severa do que teria sido se esses fenômenos ocorrerem separadamente.

Em resumo, os ciclones tropicais estão intimamente relacionados a inundações e eventos climáticos extremos, devido à combinação de chuvas intensas, tempestades de maré, ventos fortes e outros fatores que podem causar danos significativos e impactos negativos nas áreas afetadas.

2.4 SUSCETIBILIDADE MORFOMÉTRICA A INUNDAÇÕES

Segundo Martins (2022), a morfologia é o elemento que controla a dispersão ou a concentração d'água e a morfometria pode facilitar o entendimento dessas condições, possibilitando a investigação de causa e efeito entre morfologia e inundação. Desta maneira, entender a morfologia proporciona a distinção das áreas de maior ou menor suscetibilidade à inundação.

⁸ <https://www.nexojornal.com.br/externo/2023/09/29/Os-planos-para-o-clima-extremo-engavetados-pelo-governo-ga%C3%BAcho>

Segundo Christofolletti (1999), a análise morfométrica de bacias hidrográficas é a análise quantitativa da configuração dos elementos do modelado superficial que geram sua expressão e configuração espacial: o conjunto das vertentes e canais que compõem o relevo, sendo os valores medidos correspondentes aos atributos desses elementos.

Assim, para entender a suscetibilidade morfométrica a inundações, é importante de compreender a dinâmica do sistema fluvial, procurar compreender a evolução da bacia hidrográfica e de sua rede de drenagem. Por que isso teve um papel central no estudo hidrológico que procura compreender a ocorrência, distribuição, movimentação da água e de suas propriedades. Designa os sistemas naturais ou artificiais capazes de drenar água superficial atuando como importante registro das alterações ocorridas em seu interior, de forma a refletir, via de regra, as mudanças condicionadas por processos naturais ou atividades antrópicas, seja por meio das alterações na qualidade das águas, ou na própria configuração da rede de drenagem (SOUZA; SOBREIRA, 2017, p.1356). Então, entendemos que a determinação da suscetibilidade à inundação é procurar os aspectos do ambiente como a geomorfologia, o tipo de solo, e a influência da cobertura vegetal e o clima.

Mais ainda, existem um conjunto de fatores que estão relacionados com a suscetibilidade a inundações. Segundo Ávila et al. (2017), as inundações são processos naturais que estão relacionados, entre outros fatores, às características morfométricas que representam a geometria do relevo da bacia hidrográfica. Ou seja, sabe-se que o conjunto das feições do relevo em uma bacia pode contribuir para escoar de modo mais rápido ou mais lento suas águas superficiais, condicionando (ou não) a ocorrência de cheias, em associação aos fenômenos meteorológicos.

Por isso, o conhecimento da rede de drenagem é um elemento indicador de alterações ocorridas na composição da paisagem, seja por mudanças na sua estruturação e forma, seja por ganho ou perda de canais, por que elas são os processos do meio físico os responsáveis pela dinâmica imposta ao meio ambiente, provocando alterações de maneira continuamente sobre as ações dos fenômenos meteorológicos e climáticos.

Souza (2005), explicou, que o método de obtenção da Suscetibilidade Morfométrica de bacias é um método semi-quantitativo que integra o maior número possível de parâmetros morfométricos. É bastante fácil de ser aplicado, rápido e econômico. Pode ser utilizado para qualquer número de parâmetros morfométricos, embora seja já recomendado o maior número possível. É especialmente útil quando se quer comparar várias bacias de uma determinada

região. Então, os parâmetros morfométricos têm a importância fundamental no estudo da bacia, por exemplo: a densidade hidrográfica, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção, gradiente de canais, índice de circulação e índice de sinuosidade, relação de declividade. Essas características se confirmam pela presença de dois níveis de base locais que se configuram em áreas de retenção de sedimentos e se localizam sempre a montante das porções dos canais controladas por falhas, fraturas e contatos geológicos (LANA et al., 2001).

Portanto, estudar a suscetibilidade às inundações, há um conjunto de critérios a serem levados em consideração: aspectos topográficos, aspectos hidrológicos e aspectos físicos. No que diz respeito aos critérios topográficos temos a inclinação que desempenha um papel muito importante no mapeamento de suscetibilidade a inundações. Por exemplo, no caso de declividade é muito baixo, a suscetibilidade as inundações são muito fortes, e quando a declividade é muito forte, a suscetibilidade as inundações são muito baixas também. Assim entendemos que as classes de suscetibilidade dependerão dos níveis de declividade do terreno que controla a velocidade dos escoamentos. Este fator intrínseco permite controlar a velocidade do escoamento e determinar as zonas de estagnação das águas superficiais durante as precipitações ocasionais. A inclinação do talude das vertentes de uma bacia hidrográfica atua sobre a velocidade do escoamento da água enquanto seu comprimento promove altas vazões e a concentração de água (MONTOROI, 2012, p.96).

Em relação aos critérios hidrológicos, as chuvas de intensidade moderada, que duram vários dias, também podem causar inundações pela subida lenta e gradual das águas; chuvas intensas podem causar enchentes devastadoras. Quando as chuvas escoam e se concentram nos cursos d'água, isso pode causar inundações que podem favorecer a rápida formação de inundações torrenciais ou escoamento pluvial⁹. Contudo, a dinâmica hidrológica da bacia pode possuir diferentes significados para o escoamento das águas, de acordo com parâmetros controladores da eficiência do processo de drenagem, tais como: densidade de drenagem e gradiente. Em relação ao gradiente da bacia, Christofolletti (1980), destacou que o gradiente da bacia é considerado um parâmetro importante para a dinâmica hídrica da bacia e influência na dinâmica do escoamento superficial e na velocidade do fluxo. Assim, o gradiente da bacia é um indicativo da declividade dos terrenos, entendemos que quando o gradiente for maior, haverá também uma maior velocidade do escoamento.

⁹ <https://vigilance.meteofrance.fr/fr/dangers-meteorologiques-pluie-flood>.

No que diz respeito aos critérios físicos, temos a densidade da drenagem que depende da geologia (estrutura e litologia) das características topográficas da bacia hidrográfica e, em certa medida, das condições climatológicas e antrópicas. Na prática, os valores de densidade de drenagem variam de 3 a 4 para regiões onde o fluxo atingiu um desenvolvimento muito limitado e é centralizado; eles excedem 1000 para certas áreas onde o fluxo é altamente ramificado com pouca infiltração. Segundo Schumm, o valor inverso da densidade de drenagem, $C=1/Dd$, é chamado de “constante de estabilidade do fluxo”. Fisicamente, representa a área da bacia necessária para manter as condições hidrológicas estáveis em um vetor hidrográfico unitário (seção da rede) (MUSY, 2005).

Segundo Stervaux e Latrubesse (2017), o escoamento de água pode ocorrer em superfície ou em subsuperfície, depender das condições ambiente existentes, por exemplo, eles mostraram que densidade de drenagem e um parâmetro quantitativo ligado mais fortemente a eficiência do escoamento e o padrão de drenagem e uma classificação qualitativa do arranjo da rede que pode refletir mais fortemente o componente geológico-estrutural e a história geomorfológica da bacia.

Acresce a isso, temos o uso do solo é o fator que reflete a superfície urbanizada. O fato de que quanto maior a área urbanizada a montante de um local, maior o percentual de escoamento que passará por ele durante o evento. Destaca, portanto, as áreas de concentração do escoamento a jusante das áreas urbanizadas. E nós, não podemos esquecer, ações antrópicas como: a drenagem de terras agrícolas, a construção de barragens, o aterro, a proteção de margens e a correção de cursos de água modificam continuamente o curso original da rede hidrográfica (MUSY, 2005). Portanto, todos esses aspectos facilitam uma alta suscetibilidade a inundações, porque a água nunca esquece seu caminho.

Segundo Franco e Santo (2015), a morfometria de bacias hidrográficas é útil para caracterizar matematicamente os aspectos geométricos do relevo, que por sua vez têm implicações para a hidrologia das bacias. Assim, graças à morfometria, é possível identificar certas tendências no comportamento hidrológico, o que é particularmente útil para áreas onde este tipo de dados é escasso. Isso nos ajuda a entender que a influência da morfologia da bacia facilita a transferência dos volumes de água para a saída de uma bacia. Em outras palavras, é um dos fatores responsáveis pela suscetibilidade natural ao desenvolvimento de riscos hidrometeorológicos, incluindo inundações (SOUZA, 2005, p.51).

Souza (2005), propõe o conceito de suscetibilidade morfométrica das bacias hidrográficas às inundações, a fim de definir a parcela de responsabilidade da geometria das bacias hidrográficas no desencadeamento das inundações. Esta proposta se mostra perspicaz e atrativa, pois ajuda a entender a interação entre os atributos geométricos das bacias e seu funcionamento conjunto no que diz respeito ao comportamento hidrológico das bacias hidrográficas. Sobretudo em áreas, como o Haiti, onde séries históricas hidrometeorológicas praticamente inexistem. A suscetibilidade morfométrica também pode servir como chave para identificar bacias hidrográficas com comportamentos hidrológicos semelhantes (SOUZA, 2005, p,51).

Segundo Souza (2005), as características geológicas, os tipos de cobertura vegetal e as características climáticas da bacia desempenham um papel importante nas inundações. Porém, a compreensão de como os fluxos superficiais se distribuem no tempo e no espaço em uma bacia é condição fundamental para compreender o acúmulo de água. Os parâmetros morfométricos auxiliam nessa leitura. Assim, dependendo das informações disponíveis sobre a bacia, a suscetibilidade morfométrica pode ser definida quali-quantitativamente e classificada em graus, possibilitando a comparação de zonas (sub-bacias) quanto à tendência de acúmulo de água (MARTINS,2022).

Assim, as bacias hidrográficas, é como um sistema individualizado, que podem ser consideradas como fontes de dados relevantes para a obtenção de informações sobre a evolução do modelo de uma superfície. No intuito de se obterem dados quantitativos para diferenciar áreas homogêneas dentro de uma bacia hidrográfica utilizam-se o método da análise morfométrica, que consiste na caracterização de parâmetros morfológicos, tais como: densidade hidrográfica, densidade de drenagem, gradiente de canais, índice de sinuosidade, entre outro. Tais parâmetros explicitam os indicadores físicos da bacia, caracterizando suas homogeneidades (LANA et al., 2001).

Por fim, determina a suscetibilidade morfométrica à inundação, é levado em consideração as características da bacia. Primeiro, a declividade da bacia é importante fator a determinar a velocidade do escoamento superficial, que determina o tempo de concentração da bacia e define a magnitude dos picos de enchente. Em seguida, o coeficiente de compacidade de uma bacia hidrográfica, que é um índice que informa sobre a susceptibilidade da ocorrência de inundações nas partes baixas da bacia. Além do mais, a cobertura vegetal da bacia hidrográfica exerce importante influência sobre a parcela da água de chuva que se transforma

em escoamento superficial e sobre a velocidade com que esse escoamento atinge a rede de drenagem (BARBOSA.JR,2023).

2.5 CONCEITO DE SUSCETIBILIDADE, FRAGILIDADE, VULNERABILIDADE E RISCO

Segundo Freitas e Lombardo (2013), a suscetibilidade representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado processo perigoso, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência (FREITAS; LOMBARDO, 2013).

A suscetibilidade é a probabilidade de um determinado fenômeno ocorrer independente de fatores sociais, mas tendo a sociedade como um elemento interferente que acelera ou retarda. Outro ponto é que a suscetibilidade é específica de um fenômeno. Assim, as características do ambiente podem torná-lo mais vulnerável a movimentos de massa e menos a inundações, por exemplo (GIRÃO et al.,2018). Caracteriza-se pela possibilidade de ocorrência de um fenômeno, inerente ao local de ocupação, e pela ação do ser humano seu potencial agravante (FERRAZ; VALADÃO, 2020).

A definição da fragilidade encerra uma avaliação qualitativa das condições ambientais, apresentando o resultado das relações de conectividade e interdependência das componentes ambientais com as atividades humanas (SANTOS ,2015, p.8).

Segundo Ross (1994), a fragilidade dos ambientes naturais face as intervenções humanas são maiores ou menores em função de suas características genéticas. Ele mostrou que a análise da fragilidade do ambiente é uma proposta de investigação cujo princípio básico é definir os diferentes níveis de fragilidade dos ambientes naturais, modificados ou não pelas atividades antropogênicas, em face o desenvolvimento das atividades. Por isso as fragilidades dos ambientes naturais devem ser avaliadas quando pretende-se aplica-lá ao planejamento territorial ambiental.

Segundo Santos (2015), o reconhecimento das fragilidades ambientais perpassa, necessariamente, pelos levantamentos de solos, clima, rochas, minerais, águas, flora, fauna e demais componentes da natureza; no entanto, a análise da fragilidade exige que esses componentes sejam avaliados de forma integrada, ancorados numa perspectiva sistêmica e holística de modo a envolver a complexidade destas com as atividades humanas.

Então, a noção fragilidade se refere à falta de resistência de um sistema ou comunidade a eventos adversos. Ela está intimamente relacionada à vulnerabilidade, indicando que um sistema frágil é mais suscetível a sofrer danos significativos quando confrontado com um evento adverso. A fragilidade pode ser causada por falhas na infraestrutura, deficiências institucionais, falta de recursos ou desigualdades sociais.

De acordo com Acsehrad (2006), vulnerabilidade é um conceito relativo, geralmente associado à exposição a riscos e designa a maior ou menor suscetibilidade de pessoas, lugares, infraestruturas ou ecossistemas a sofrer um determinado tipo de dano. Se vulnerabilidade é resultado de uma relação histórica estabelecida entre diferentes segmentos sociais, para eliminar a vulnerabilidade será necessário superar as causas de privações sofridas por pessoas ou grupos sociais e que haja uma mudança nas relações que mantêm com a sociedade como um todo (ACSELRAD, 2006).

A vulnerabilidade, no sentido mais amplo, expressa o nível de consequências previsíveis para um fenômeno natural. Vulnerabilidade designa a maior ou menor sensibilidade de uma questão a um ou mais perigos, o nível de dano causado pelo perigo em questão, mas também a capacidade de reação da sociedade afetada a esse fenômeno. Corresponde à exposição de um território a um fenômeno considerado perigoso e está ligado às características físicas e morfológicas desse território (FANNY, 2008).

Por outro lado, a vulnerabilidade pode assim ser traduzida cartograficamente graças ao zoneamento que apresenta a gradação de exposição de acordo com o perigo. A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite refinar essas avaliações. (VEYRET; REGHEZZA, 2005)

No entanto, existe um conjunto de fatores que intervêm no aumento da vulnerabilidade, como o da densidade populacional, a extensão dos edifícios. Acresce a isso, fatores estão relacionados a diversos aspectos, dentre os quais se destacam fatores técnicos que estão relacionados à má qualidade da construção, mau controle hídrico, subdimensionamento das obras de drenagem e tratamento de efluentes. Faz-se importante destacar os aspectos socioeconômicos que influenciam a vulnerabilidade, que incluem o nível de pobreza da população, a debilidade em termos de meios de transporte e muitas vezes a ausência de um sistema de informação.

Por isso, a vulnerabilidade social caracteriza os referidos fatores negativos de uma forma sintética e integrada podendo ser definida de diversos modos, nomeadamente os seguintes: A característica de uma pessoa ou de um grupo de pessoas de ter capacidade para antecipar, enfrentar, resistir e recuperar do impacto de um evento natural e perigoso, o grau de suscetibilidade e de capacidade para superar os efeitos adversos da alteração (LOURENCO, TEDIM,2014, p.26)

Não podemos esquecer o aspecto cultural que está ligado ao desconhecimento do perigo, falta de consciência do risco, ou seja, má concepção, compreensão do risco pelos membros da população. Depois, outro aspecto muito importante é o que está ligado às instituições político-administrativas, que se manifesta pela falta de coordenação entre os atores responsáveis, ausência de um programa de prevenção, ausência de reflexão sobre os programas de planeamento, sem esquecer o desleixo legislação que, por vezes, é demasiado tolerante com o aumento do envolvimento dos atores políticos na corrupção. Por fim, o último fator é em relação ao aspecto funcional que corresponde à ausência de uma previsão efetiva, ausência de um sistema de alerta e má gestão de crises (VEYRET; REGHEZZA, 2005).

Então, no que diz respeito à vulnerabilidade social de um lugar, entendidas como a ausência ou insuficiência de elementos essenciais que permitiriam um patamar mínimo de bem-estar para a população. Assim, a vulnerabilidade social descreve as características demográficas de diferentes grupos sociais que os fazem mais ou menos susceptíveis aos impactos negativos de um evento extremo. E há alguns fatores como renda e instrução também são utilizados com indicadores da vulnerabilidade social, ou seja, ela não trata apenas de fatores demográficos. Contudo, às vezes são as pessoas criam a sua própria vulnerabilidade, através de suas ações e decisões. (GOERL et al.,2021). Por outro lado, em alguns lugares, a vulnerabilidade física pode ser bastante elevada (por exemplo, nas zonas costeiras), mas se a população residente for rica, com recursos consideráveis para a preparação para e resposta a desastres (o que equivale a menor vulnerabilidade social), a comunidade será capaz de recuperar rapidamente. Se, por outro lado, a comunidade costeira vizinha (com o mesmo nível de exposição física) apresentar características sociais diferentes (residentes pobres, idosos e pertencentes a minorias), então essa comunidade irá demorar mais tempo a recuperar, uma vez que a capacidade dos seus habitantes para absorver as perdas e recuperar é também mais limitada (CUTTER,2011).

O risco pode ser considerado como uma categoria de análise associada a priori às noções de incerteza, exposição ao perigo, perdas e danos materiais, econômicos e humanos devido a processos “naturais”. Além do mais, o risco refere-se à probabilidade de ocorrência de processos não constantes e indeterminados no tempo e no espaço, e como esses processos (direta ou indiretamente) afetam a vida humana. É estimado pelo produto da probabilidade e das consequências. De modo geral, pode-se dizer que a gênese dos riscos, assim como o aumento da capacidade de gerar danos e sua magnitude, acompanham a história da sociedade (CASTRO et al., 2005, p. 12-14).

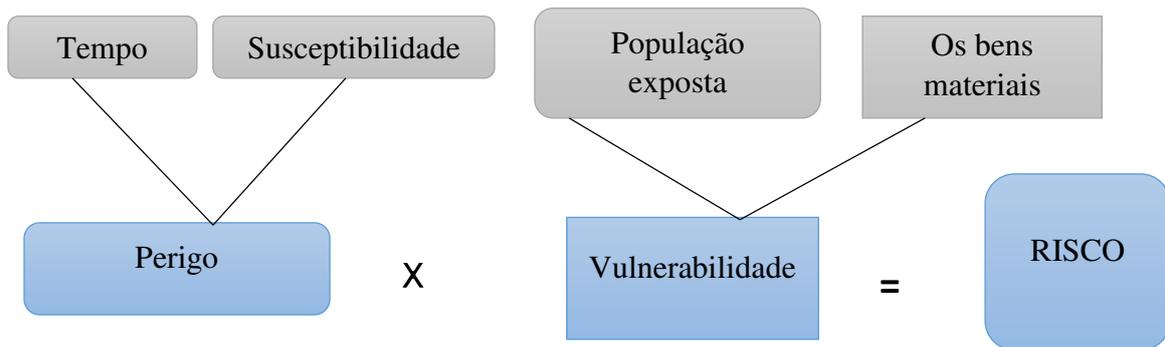
Segundo Amaro (2005, p. 7), “O risco é, pois, função da acessibilidade ou via de contato potencial de exposição), características da população exposta (receptores), probabilidade de ocorrência e magnitude dos perigos”.

Existem alguns fatores que agravam os riscos, tais como: a urbanização e a pobreza. Os efeitos das áreas naturais e das catástrofes induzidas se fazem sentir nas cidades, as vezes em diferentes escalas espaciais e em diferentes momentos no tempo. O sistema urbano traz os germes da vulnerabilidade. Os efeitos da concentração e da densidade urbanas, a desigual mobilidade dos cidadãos, mais marcante nas cidades, e o impacto das práticas de urbanismo desregrado induzem as interações entre os agentes destruidores e as construções. A rede urbana regional ou nacional, na qual se inscreve uma cidade, também pode engendrar efeitos em cadeia externos a um desastre natural. Por outro lado, a pobreza constitui um triplo fator de risco; ela força as pessoas a viverem nas zonas menos caras, mais perigosas; ela domina as preocupações cotidianas das pessoas que não tem nem recursos econômicos nem tempo de preservar o meio ambiente; ela força a expansão da ocupação para atender as necessidades fundamentais (VEYRET, 2003, p.87,89).

Segundo Veyret (2003, p.89), a percepção de risco entre citadinos e camponeses é distinta. Nas cidades, a percepção do risco é menor, sendo o conhecimento do perigo esteja fundado em comunicações orais e televisivas. Os imigrantes rurais perdem progressivamente o conhecimento das medidas tradicionais de defesa e de adaptação adquiridas no campo. A consciência do risco é ainda menor nos citadinos pobres, pois ela é substituída por preocupações advindas de outros riscos específicos, notadamente os dos conflitos sociais ligados ao modo de vida urbana.

Mais ainda, não devemos esquecer que a noção de vulnerabilidade está associada à de risco (FIGURA 3), por isso, há uma óbvia relação entre estes dois conceitos. Assim, a noção de risco é inseparável da de vulnerabilidade (RABELO, 2001)

FIGURA 03- Modelo conceitual de risco



Fonte: LOURENCO; TEDIM (2014), organizada por LAGUERRE (2023)

2.6 GESTÃO DO RISCO DE INUNDAÇÕES

De acordo com a norma internacional ISO 31.000 “Risk Management Principles and Guidelines” (2009), a gestão de riscos compreende o “conjunto de atividades para orientar e controlar uma organização no que respeita ao risco”.

Segundo Lourenço e Tedim (2014), um processo de gestão de riscos pode interferir com valores sociais e culturais, colocando a questão da responsabilidade ética e moral. Os critérios de aceitação ou de tolerabilidade pública dos riscos são componentes importantes do processo de decisão e de responsabilização, mas não podem ser considerados como simples produtos racionais. E as questões relativas aos critérios de apreciação envolvendo probabilidades de ocorrência e consequências que se podem colocar são, entre outras, as seguintes:

Os critérios de aceitabilidade poderão ser universais ou válidos para qualquer tipo de risco ou deverão ser específicos, em função do tipo de perigo e dos efeitos?

Poderão esses critérios ser absolutos ou deverão resultar de processos de escolha entre opções alternativas? Será mesmo admissível considerar uma aceitação de um risco acrescido ou o que se aceita são sempre opções com compensações? A fixação do risco socialmente aceitável ou tolerável coloca questões muito delicadas de índole política e ética. (LOURENCO, TEDIM, 2014, p.26)

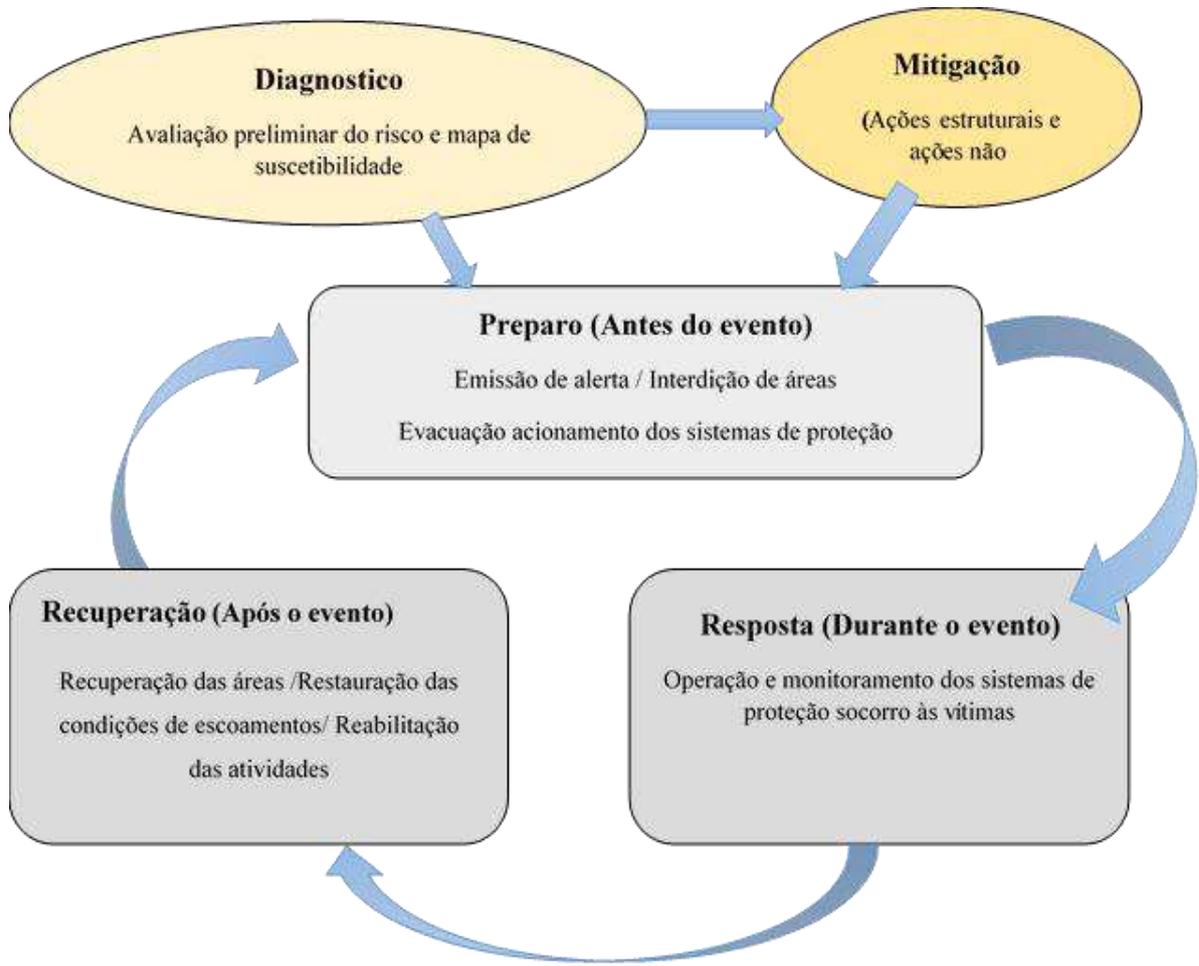
Segundo Mendiondo e Graciosa (2011), a gestão do risco é um processo que visa reduzir o dano em decorrência de um evento por meio da mitigação da exposição, vulnerabilidade e ameaça, atuando em quatro fases integradas: antes, durante e após o evento e mitigação. Entende-se por dano a intensidade das perdas humanas, materiais ou ambientais que ocorrem como consequência de um desastre.

Associada à gestão de risco, a gestão de crises corresponde às ações em estado de emergência, uma das grandes preocupações é então saber o quanto antes a extensão precisa da inundação, e também a localização das populações mais vulneráveis (TANGUY, 2012).

O gerenciamento de riscos é categorizado temporalmente como um processo de três etapas. No entanto, este ciclo fechado de etapas (antes, durante e após o evento) requer recursos financeiros para que sejam tomadas as medidas mais eficazes para a redução de danos (MENDIONDO E GRACIOSA, 2011). Assim, de forma sistemática, são mencionados cinco passos na gestão dos riscos de inundação (FIGURA 04):

- Diagnóstico - parte da avaliação e análise preliminar do risco e contempla os estudos das ameaças e vulnerabilidades, culminando no mapeamento do risco de inundação.
- Mitigação - ações na bacia para minimizar a ocorrência de eventos de inundação ou a dimensão dos danos associados, como a implantação de obras e sistemas de alerta, fundos de seguros, planos de zoneamento, mapas de inundação e mapas de risco de inundação, recuperação de várzeas e implementação de tecnologias compensatórias.
- Preparação - ações pré-evento, de prevenção e preparo da bacia ante a iminência de um evento de inundação, como acionamento do sistema de alerta, acionamento de sistemas de proteção, interdição das áreas de risco e evacuação. Esta etapa visa construir as capacidades necessárias para gerir eficazmente todos os tipos de emergências e permitir uma transição suave entre a resposta e a recuperação sustentada. O termo “Preparação” descreve a capacidade de responder rápida e adequadamente à necessidade (UNISDR, 2009, p.16).
- Resposta - ações durante o evento, como socorro às vítimas, operação e monitoramento dos sistemas de proteção.
- Recuperação - ações pós-evento, para recuperação das áreas afetadas, restabelecimento das condições de escoamento e reabilitação das atividades normais.

FIGURA 04 - Etapas da gestão do risco de inundações



Fonte: ABRH (2009,2015)

Como primeiro passo, qualquer plano de gerenciamento de risco deve começar com a avaliação de risco para facilitar a priorização da redução do risco de desastres, capacidade de gerenciamento de emergência e resposta a emergências e desenvolvimento de estratégias de investimento (UNISDR,2017).

No mundo, existem alguns países que estão enfrentando os problemas ligados aos riscos de inundações estabeleceram planos da gestão para poder reduzir os impactos desse fenômeno. Portanto, neste trabalho, a ilustração de dois casos foi considerada.

No caso do Brasil, as inundações têm gerado grandes desafios à gestão pública do Brasil, devido a fatores relacionados ao desenvolvimento do país como o crescimento descontrolado das cidades brasileiras. Além desses fatores, as condições socioeconômicas do Brasil, a grande densidade populacional em áreas de risco de inundação e a falta de planejamento urbano no país também são fatores que aumentam a vulnerabilidade da sociedade brasileira (PNDC, 2007).

Então para gerar o risco de inundações no Brasil existe uns conjuntos dispositivos, que são responsáveis este assunto por meio de por meio da implementação de planos nacionais ao longo da última década no país e que fazem parte das normativas da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), que tem como objetivo de abranger as ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação voltadas à proteção e defesa civil. Parágrafo único. A PNPDEC deve integrar-se às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais, tendo em vista a promoção do desenvolvimento sustentável segundo o Art. 3º A PNPDEC (PNPDEC,2012)¹⁰. Entendemos que a gestão do risco de inundações no Brasil é uma preocupação muito importante urgente para as autoridades.

Segundo Pozzer e Mazzega (2013), a redução do risco de inundação no Brasil tem sido uma prioridade nacional e local com sólida base institucional para implementação, o que pode ser evidenciado nos últimos anos pelo desenvolvimento de políticas com quadros legislativos e institucionais que contribuem para a redução do risco de inundação e auxiliam a gestão pública do país. De maneira a enfrentar a ocorrência das inundações no Brasil aplicam-se regulamentos nas três esferas de governo para basilar o atendimento das medidas de redução de risco de inundação nos Estados brasileiros, interligando diferentes setores da sociedade e níveis de governo. No Brasil, o governo federal sancionou a Lei nº 12.608/12, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), a qual dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) e autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres, entre outros. A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (2012) contempla uma abordagem sistêmica de ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação a desastres voltadas à proteção e defesa civil. Além disso, essa política preconiza a sua integração às políticas de ordenamento territorial, desenvolvimento urbano, saúde, meio ambiente, mudanças climáticas, gestão de recursos hídricos, geologia, infraestrutura, educação, ciência e tecnologia e às demais políticas setoriais. Tem como diretrizes uma atuação articulada entre União, Estados, Distrito Federal e Municípios para redução de desastres, dando prioridade às ações preventivas relacionadas à minimização de desastres (POZZER; MAZZEGA,2013, p.27-28).

¹⁰ <https://catalogo.ipea.gov.br/politica/297/politica-nacional-de-protecao-e-defesa-civil-pnpdec>

A gestão do risco de inundações no Brasil é uma preocupação importante, dada a extensão do país e a ocorrência frequente de eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e enchentes. A gestão desse risco envolve vários aspectos, incluindo planejamento urbano, monitoramento meteorológico, alertas, infraestrutura de controle de enchentes e ação coordenada entre diferentes níveis de governo. Aqui estão alguns dos principais elementos da gestão do risco de inundações no Brasil:

1. Monitoramento Meteorológico e Hidrológico:

- ✓ O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Nacional de Águas (ANA) são responsáveis por monitorar as condições climáticas e hidrológicas em todo o país.
- ✓ Através da coleta de dados de chuvas, níveis de rios e previsões meteorológicas, é possível identificar áreas de risco de inundação.

2. Alertas de Inundações:

- ✓ O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) emite alertas de desastres naturais, incluindo inundações, para autoridades locais e o público em geral.
- ✓ O Sistema de Alerta de Cheias da ANA fornece informações sobre cheias e níveis de rios em tempo real.
- ✓ A CPRM opera os Sistemas de Alerta Hidrológico (SAHs), com o objetivo de monitorar e gerar informações hidrológicas de qualidade, para subsidiar a tomada de decisões, por parte do Órgão, relacionadas à mitigação dos impactos desses eventos.

3. Planejamento Urbano:

- ✓ A gestão do risco de inundações começa com o planejamento urbano adequado. Muitas cidades brasileiras enfrentam problemas de inundação devido ao desenvolvimento desordenado e ocupação de áreas de risco.
- ✓ Planos diretores urbanos e zoneamento são ferramentas para evitar construções em áreas vulneráveis a inundação.

4. Infraestrutura de Controle de Inundações:

- ✓ O Brasil investe em obras de engenharia, como barragens e diques, para controlar enchentes em algumas regiões.
 - ✓ Obras de drenagem, como canais e sistemas de escoamento, são fundamentais para evitar inundações urbanas.
5. Educação e Conscientização:
- ✓ Educar a população sobre como se preparar para inundações e como agir durante esses eventos é crucial.
 - ✓ Campanhas de conscientização e treinamento em resposta a desastres são realizadas em nível local.
6. Coordenação entre Governos:
- ✓ A gestão do risco de inundações envolve a coordenação entre diferentes níveis de governo: federal, estadual e municipal.
 - ✓ Planos de contingência e resposta a desastres são desenvolvidos e coordenados entre esses níveis.
7. Pesquisa e Desenvolvimento:
- ✓ Pesquisas científicas sobre o clima e a hidrologia do Brasil são fundamentais para melhorar a previsão de inundações e o planejamento de medidas de redução de riscos.
8. Resposta a Desastres:
- ✓ Em caso de inundações, as autoridades locais e nacionais devem estar preparadas para a resposta imediata, incluindo o resgate de pessoas em áreas afetadas e a prestação de assistência às vítimas (PNUD; MDR; SEDEC, 2021, p.10-26).

A gestão do risco de inundações no Brasil é um desafio constante, devido à sua vasta extensão territorial e à variabilidade climática do país. A abordagem integrada, envolvendo monitoramento, planejamento, infraestrutura e ação coordenada, é fundamental para reduzir o impacto das inundações e proteger as comunidades vulneráveis.

Nos Países Baixos, sobre a Diretiva dos Estados-Membros da UE, de seis em seis anos as autoridades atualizam os planos de gestão de riscos de inundações e integram o resultado em um novo plano, para poderem avaliar e definir objetivos e medidas para gerir os riscos de inundações nas áreas identificadas. Partem da análise de risco de cheias onde mapearam as

zonas inundáveis, as zonas de contenção, as áreas protegidas em todo o território holandês, de forma a poderem assegurar a fase de preparação para a cheia, evacuação e serviços de emergência e salvamento (WOORDEN et al., 2021, p. 3).

Assim, na sequência dos estragos causados pelas cheias, iniciaram programas de estudo e especialização em torno da gestão do risco de cheias e envolveram-se na gestão da água, e na construção de obras para garantir a proteção do país. É neste contexto que eles criaram o “Rijkswaterstaat” que é a autoridade nacional da água. Juntos, as autoridades regionais de água (“Waterschappen”) e o serviço do Estado, são responsáveis por prevenir o risco de inundação. O “Rijkswaterstaat” também é responsável pela previsão hidrometeorológica (com o serviço meteorológico, “KNMI”), programação de pesquisa no campo da previsão de risco e desenvolvimento dos regulamentos associados (SLOMP, 2012, p.36).

Para poder implementar um plano de gestão sustentável, estabeleceram uma política de gestão da água na Holanda, em que 95% das vias navegáveis são moldadas pelo homem \approx^{11} 20% do atual território perdido no mar desde o ano mil \approx 13% recuperados do mar. Além disso, após a drenagem, a construção de grandes obras, eles criaram uma lei em 1996 que enfatiza a manutenção dessas obras localmente e diariamente respeitando as normas de segurança nacionais (SLOMP, 2018, p.202).

Em síntese, a política de gestão de risco de inundação nos Países Baixos é baseada em três fases principais (SLOMP, 2018, p.207):

- Preparação para evacuação e serviços de emergência e salvamento
- Planejamento do uso da terra (habitações resilientes)
- Proteção, diques, estruturas

Portanto, trabalhar na gestão de risco não é simples, existe um custo. Por isso, foram implementadas as “Políticas sociais e mecanismos financeiros”, onde se faz uso extensivo de esquemas públicos de compensação. O valor da compensação concedida é decidido caso a caso, embora o montante de 450 milhões de euros fixado por lei não possa ser excedido (OCDE, 2016, p.42).

¹¹ Símbolo que significa uma aproximação

No Japão é considerado “um país em risco” e já passou por vários desastres, entre eles as enchentes, que ocorrem devido a fortes chuvas e nevascas. Com um grande número de desastres naturais em seu histórico, o Japão também se tornou "uma nação líder em resposta a desastres" e desenvolveu tecnologias avançadas nesse campo, em parceria com a indústria, a academia e o governo.

Na luta contra as inundações que causam enormes prejuízos, o Japão estabeleceu uma política de prevenção que inclui um conjunto de medidas e organizações que têm a responsabilidade de facilitar a concretização de plano de gestão do risco de inundação (HIRAI, 2007, p.15):

- Medida 1 - Controlar das cheias. Que passa pelo desenvolvimento de instalações de regularização hídrica, como alargamento do leito dos cursos de água, construção de barragens e bacias de retenção.
- Medida 2 - A salvaguarda do ambiente habitacional, com consonância com as normativas e recomendações do ordenamento do território (zonas de urbanização regularizadas, cartografia de riscos etc.). Tudo isso, é feito sob o controle dos órgãos responsáveis pela gestão das hidroviás e dos gabinetes de urbanismo.
- Medida 3 - Controle da inundação. Para a eficácia desta medida, permitiram o aproveitamento da água para outras atividades ligadas ao progresso da sua economia, bem como submeteram-se à autorização de atos que possam dificultar o escoamento das águas.

Em caso de emergência, estabelecem-se outras medidas que estão vinculadas à medida principal, por exemplo: estabelecer as operações para controlar de inundações, reparando instalações de emergência, transmissão de informações precisas à população, além do reparo de vazamentos e erosão de diques, tudo sob a responsabilidade de órgãos relacionados à gestão das hidroviás. Além disso, uma das medidas mais importantes é a evacuação da população em risco, proporcionando-lhes a assistência necessária para sobreviver à intervenção comunitária. E se a situação for de grande magnitude, apelam à intervenção dos órgãos governamentais, das Autodefesas etc. No entanto, mesmo em tempos normais (fora das épocas críticas para intempéries), o Japão continua a trabalhar na gestão de riscos, aproveitando todas as oportunidades para tornar a informação acessível aos munícipes de modo a poderem indicar as

rotas de fuga e o centro de evacuação. Desse modo, a conscientização sobre os perigos das enchentes é outro aspecto que ocupa um lugar importante para o Japão. De forma técnica, elabora planos de intervenção, graças à organização das diversas medidas de intervenção em caso de cheia. Além disso, há uma distribuição de tarefas e definição de responsabilidades em nível do Estado e das comunidades locais. (HIRAI, 2007, p.15).

Em relação às medidas adotadas para o desenvolvimento dos rios com o objetivo de diminuir o nível de vazão das águas durante as cheias, elas se baseiam em princípios que se distribuem da seguinte forma (HIRAI, 2007, p.19):

- Aumento da capacidade do curso d'água por recuo dos diques (alargamento do leito) e rebaixamento do nível d'água.
- Redução de água por retenção de cheias em barragens e bacias de retenção e rebaixamento do nível do rio a jusante.
- Aumento da capacidade do curso de água por dragagem (escavação do fundo) e rebaixamento do nível da água (pode ser necessária uma barragem no estuário).
- Redução de água por desvio de cheias para um canal de desvio e rebaixamento do nível do rio a jusante.

A administração central (Estado) e a administração territorial (Departamentos e Municípios) têm atribuições a cumprir nas diferentes fases do ciclo do desastre, com base em leis e outras normas. A legislação japonesa sobre desastres é composta por um conjunto de mais de 100 leis principais que foram promulgadas após cada desastre, principalmente centradas na prevenção, (HEIMBURGER, 2022, p.7). As leis também visam tornar as medidas de emergência mais rápidas e adequadas em caso de crise, bem como acelerar e melhorar a recuperação após o início de um desastre. Existem muitos atores públicos na gestão de riscos. Em nível nacional, estes são principalmente o executivo, ministérios como o Ministério da Defesa, do qual dependem as autodefesas, bem como a Agência Meteorológica, a Agência Nacional de Bombeiros e a Agência Nacional de Polícia. Em nível local, tratam-se das coletividades territoriais, que são os departamentos e as municípios. Por outro lado, desempenham um papel importante atores privados, como empresas, hospitais e clínicas, equipes médicas especializadas, e também cidadãos.

Entendemos que a gestão do risco de inundação no Japão passa por todos os setores do país. De uma forma geral, pessoas de todos os estratos sociais dão seu apoio às iniciativas do

estado para alcançar uma gestão sustentável. Por esses motivos, vemos o Japão como um país líder em gerenciamento de riscos de inundações.

3 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Haiti é, depois de Cuba, o maior país das Antilhas. É atravessado por quatro Cadeias de montanhas dirigidas de noroeste a sudeste. Suas planícies, cobertas de plantações, são regadas por numerosos e abundantes cursos d'água. O Haiti, por sua riqueza natural, pela suavidade de seu clima, pela beleza incomparável de suas paisagens, mereceu ser chamado de "Pérola das Antilhas". Foi conquistado no dia de 6 de dezembro de 1492 por um marinheiro genovês a serviço da Espanha: Cristóvão Colombo. Era, então, habitada pelos Chemès (nativos), a quem Colombo chamou de índios porque acreditava ter desembarcado na Índia. Os nativos do Haiti, mostraram-se temerosos com a visão das caravelas espanholas pois temiam as repetidas incursões dos Caribe, uma tribo das ilhas vizinhas ao sul (DORSAINVIL, 1934).

O nome do Haiti vem de "Ayiti", ou Terra das Altas Montanhas, nome dado à ilha por seus primeiros habitantes, os pacíficos índios Taínos, do grupo Arawak. Todos eles tragicamente desaparecidos em poucos anos, vítimas da colonização europeia (trabalhos forçados, perseguições, doenças) e pela invasão do terrível grupo de índios canibais do Caribe que vieram das ilhas vizinhas (HERODOTE.NET, 2022).

Durante o domínio dos espanhóis, a ilha foi apelidada de Hispagnola, que significa Pequena Espanha. Os colonos espanhóis buscavam enriquecer o mais rápido possível antes de voltar para casa. É por isso que os primeiros espanhóis receberam terras com o direito de empregar os índios que ali viviam. Este é o princípio do "repartimiento". A extração de ouro no subsolo e nos rios revelou-se, em princípio, muito produtiva, chegando a fornecer de grande quantidade de dinheiro por ano à Espanha. Com a vinda de escravos África no barco Negrière em 1503, a mão-de-obra indígena foi substituída. Porém, o trabalho de plantação e a exploração das jazidas de ouro se ampliaram, passando a assumir grande magnitude.

Visando expandir o sistema colonial, durante os primeiros trinta anos, Hispaniola foi realmente próspera. Aventureiros, em busca de fortuna rápida, afluíam para lá, atraídos pelo ouro; e negligenciando o trabalho agrícola, acionaram os trabalhos das minas para grande prejuízo dos índios escravizados.

Desde a época da descoberta, corsários e aventureiros navegaram as costas da América. Vários deles, ingleses e franceses, estabeleceram-se em La Tortue por volta de 1625. A partir do estabelecimento dos franceses, o Haiti tomou o nome de Saint-Domingue. . A partir do estabelecimento dos franceses, o Haiti tomou o nome de Saint-Domingue. Os aventureiros e

corsários franceses permaneceram afastados das autoridades da metrópole até 1641, formando dois grupos: os bucaneiros e os flibusteiros (DORSAINVIL, 1934, p.7).

Em 1697, o rei Luís XIV teve a parte ocidental de Hispaniola legalmente cedida a ele pelo Tratado de Ryswick, que pôs fim à Guerra da Liga de Augsburg. Esta aquisição marca o verdadeiro início das ambições coloniais da França. A partir de então, os aventureiros franceses se estabeleceram na parte ocidental da ilha e Espanha na parte oriental de Hispaniola. A colônia de São Domingos se tornou próspera para a colônia, por causa da fertilidade do solo e do trabalho escravo. Durante a colheita, o trabalho dos negros escravizados muitas vezes se estendia até as primeiras horas da noite. Esse trabalho era supervisionado pelo comandante que, ao menor descuido, ao menor sinal de cansaço, açoitava duramente o escravo (DORSAINVIL, 1934, p.49-51). Sob a autoridade francesa, as plantações prosperam no clima tropical da ilha: café, tabaco e cacau (HERODOTE.NET, 2022).

Às vésperas da Revolução Francesa, Saint-Domingue fornecia quase 3/4 do comércio mundial de açúcar. Em 1788, seu comércio exterior, avaliado em 214 milhões de francos, era maior que o dos Estados Unidos. A colônia tinha cerca de 600.000 habitantes, incluindo 40.000 libertos, principalmente mulatos e 500.000 escravos negros. Porém, o destino da ilha é perturbado pela Revolução Francesa. Em 15 de maio de 1791, em Paris, a Assembleia Nacional concedeu timidamente o direito de voto a certos homens negros livres. Essa meia medida preocupa os colonos brancos de Santo-Domingo e não satisfaz os libertos. Ambos se chocam violentamente (HERODOTE.NET, 2022).

Então essa situação fomentou a organização dos escravizados. A revolta dos escravos do Haiti começou em 14 de agosto de 1791 com a cerimônia vodu de Bois Caïman. Passaram 13 anos de guerra para conseguirem facilitar a derrota do exército napoleônico em Vertière, que os ajudou a proclamar a independência do Haiti em 1º de janeiro de 1804 (HERODOTE.NET, 2022).

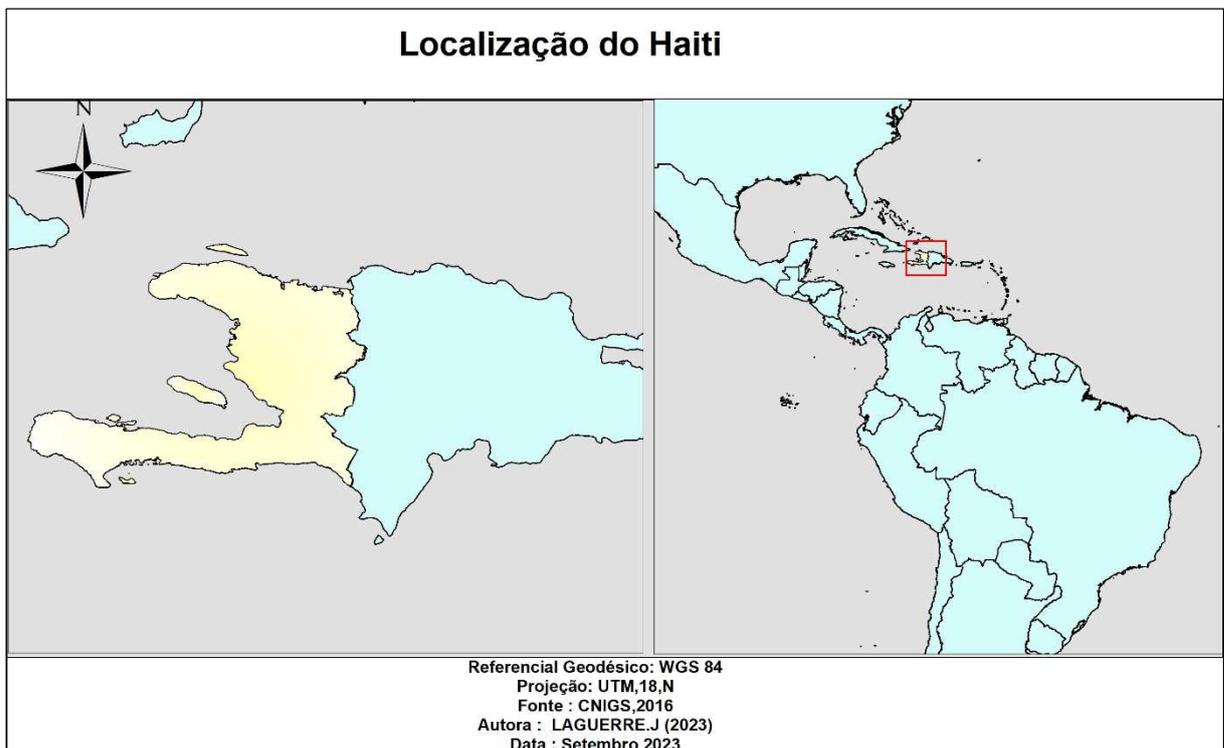
Nesse contexto, toda a ilha era um país único, mas a agitação política na República do Haiti somou-se aos danos causados pela passagem de um grande terremoto em maio de 1842, que devastou toda a ilha. Em mais uma história de violências e guerras, estes acontecimentos levaram à Proclamação da Independência da República Dominicana foi proclamada em 27 de fevereiro de 1844 (PEREZ, 2004).

Como resultado, a ilha é dividida em duas repúblicas: no oriente, encontra-se a República Dominicana, com a língua oficial sendo o espanhol, uma vez que fora colonizada pela Espanha; no ocidente, a República do Haiti, que foi colonizada pela França, com o domínio de a língua francesa desde a independência em 1804. Assim, com a ascensão da colônia francesa a partir do século XVII e a intensificação da escravidão, o Haiti tornou-se uma nova Babel onde as línguas africanas conviviam com as variedades do francês não unificado do primeiro colono, enquanto as línguas dos nativos, que haviam sido dizimadas em poucas décadas, desapareceram. É neste solo que se enraíza o francês e se forja o crioulo, "língua africana com vocabulário francês" (VERDIER, 2019).

Desde então, a República do Haiti tem duas línguas oficiais: o francês e o crioulo haitiano.

O território do Haiti ocupa o terço ocidental da ilha (FIGURA 5), com área de 27.750 km², divididos em dez departamentos e 143 comunas. O Haiti é um país muito montanhoso, apenas 20% do território está localizado nas planícies. A leste da Península Austral, a cordilheira de Selle possui o pico mais alto do país, o Pic de la Selle, a uma altitude de 2.680 m (CIAT, 2015, p.4).

FIGURA 05 - Localização do Haiti



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O Haiti se beneficia de um clima tropical¹² caracterizado pela alternância entre uma estação chuvosa, de maio a novembro, e uma estação seca, de dezembro a abril. Nas planícies, as temperaturas médias variam entre 28°C no inverno e 32°C no verão. No topo das montanhas, a temperatura pode oscilar entre 18°C e 22°C. A precipitação varia não só com a altitude, mas também com a orientação das serras em relação aos ventos alísios de nordeste. A precipitação pode, portanto, ser altamente contrastada Norte e Sul são as mais úmidas (mais de 2.500 mm/ano) e o lado oeste da península setentrional, localizado a favor do vento, é a região mais seca, com menos pluviosidade 1.000 mm/ano com menos de 1.000 mm /ano (CIAT, 2015, p.6).

A República do Haiti possui uma rede hidrográfica muito densa, com águas superficiais distribuídas por aproximadamente 30 bacias hidrográficas, divididas em 6 grandes regiões hidrográficas (FIGURA 6). No entanto, a maioria dessas bacias hidrográficas está muito degradada pelas atividades humanas e cujas consequências são enormes como: perda de área agrícola, perda de produtividade, redução da disponibilidade e redução da quantidade de água, perda de biodiversidade etc. (JOSEPH, 2018).

FIGURA 06 - Mapa das bacias hidrográficas do Haiti



Fonte: Projeto Bacia Hidrográfica no Haiti (2012)

¹² <https://www.haiti-reference.com/pages/map/geography-and-tourism/natural-environment/climate-haiti/>

O Haiti é uma terra montanhosa, composta por formações geológicas variadas, de origem vulcânica (basaltos, andesitos...), plutônica (granitos...), metamórfica (xistos, mármore, gnaisses). Marcos na história geológica, herdados de diferentes contextos geodinâmicos (antigo arco de ilha vulcânica, frente de subducção, zona de colisão orogénica, bacia de retroarco, rift oceânico...), estes materiais rochosos foram tomados por tectônicas posteriores e hoje parecem altamente dobrados e falhados. Esse desenvolvimento levou notavelmente à formação do bloco continental de Hispaniola (CIAT, 2015, p.6).

Além disso, no Haiti existe uma grande variedade de rochas sedimentares (calcário, margas, areia, conglomerados...). Existem formações sedimentares formadas por terrenos de tipo aluvial recentes que ocupam as planícies principais e, na periferia das serras, existem depósitos aluviais que se organizam em leques que testemunham a erosão ativa destas montanhas. Além disso, há a presença de calcários recifais, que apresentam aspecto recortado onde o solo não ainda não existe e que estão crescendo em quase todas as costas da República. A presença desses terraços recifais se deve a um rápido soerguimento da ilha no Quaternário. Eles não são muito grossos (menos de 50 metros) e formam uma espécie de carapaça que se sobrepõe aos terrenos mais antigos. No entanto, apesar de sua idade recente, eles podem ser encontrados até 700 metros acima do nível do mar.

Além de tudo isso, existem sedimentos grosseiramente detríticos com uma espessura de 100 metros, sedimentos grosseiros com influência marinha da planície do Cul-de-Sac cuja espessura chega a 1.000 metros, e sedimentos finos depois grossos e costeiros (fácies regressivas) da península meridional (PREPPTIT e JEAN, 2005, p.7).

Nas encostas das serras, a presença de sedimentação pelágica calcária foi gradualmente substituída por fácies cada vez mais siltosas e menos carbonatadas. E a sedimentação carbonatada caracteriza todo o Mioceno médio do maciço de Selle e as montanhas Trou d'Eau São frequentes os materiais turbidíticos (PREPPTIT; JEAN, 2005, p.10).

Do ponto de vista geomorfológico, a maioria das cadeias montanhosas do Haiti são maciços que apresentam maciços calcários cristalinos, de idade Eoceno e especialmente do Mioceno inferior, e que sofreram desmatamento significativo, apresentam uma topografia cárstica típica, e isto é o caso do Maciço de la Hotte, nas áreas de calcário do Cretáceo superior, é quebrado por funis de dolinas, às vezes são cortados em desfiladeiros, cachoeiras, abismo assustador, e encontramos a argila vermelha laterítica que se acumula nas depressões deste maciço. Do outro lado, o Maciço de la selle que tem muitos sumidouros. São então submetidas

a uma alteração química muito intensa, da qual se pode ter uma ideia examinando as que afloram no extremo norte da depressão. A sua desintegração explica o frequente colapso de estradas e caminhos. Além disso, ao nível da cadeia de Matheux, a maior parte é composta por calcários do Eoceno, a maioria dos quais são maciços e cristalinos. Esta é marcada pela existência de numerosos planaltos, muito secos, irregulares com dolinas. Os vales fluviais são muito profundos, formando por vezes verdadeiros desfiladeiros e infiltrações consideráveis. As regiões onde afloram formações detríticas do Mioceno são formadas por morros, cortados por voçorocas em forma de Y e cujas lombas são arredondadas (BUTTERLIN, 1960).

As montanhas negras têm características geomorfológicas bem marcadas. Por um lado, na parte NW do maciço, sobreposição de séries calcárias do Eoceno médio e séries de andesitos e dacitos. Novamente, é considerada a "janela do Selle", ou seja, uma típica inversão do relevo, com sinclinais empoleirados que correspondem aos calcários (mornes Bazile, Chapelet, etc.) e vales anticlinais, rochas ígneas formadas, mais velhos, formando savanas básicas. Os cumes calcários apresentam, ao mesmo tempo, um relevo cárstico típico, com o desenvolvimento de belíssimos lapiez, falésias calcárias repletas de grutas, dominando encostas mais suaves, em relação à presença das rochas ígneas subjacentes. Outro fenômeno geomorfológico interessante é a passagem do rio Artibonite pela parte mais estreita da cadeia, na região de Péligre (BUTTERLIN, 1960).

No caso do Planalto Central, é constituído por terrenos moles e impermeáveis, dá origem a áreas deprimidas, com formas suaves e onduladas, formas calcárias coralinas, acima destas encostas, escarpas abruptas. Ao nível dos vales, os rios são recortados nas formações aluviais do Pliocénico, sendo as encostas destes vales, conseqüentemente, muito voçorocadas, apresentando um ritmo bastante característico. São, ao mesmo tempo, recortadas em socacos fluviais. Como os vales dos rios são muito mais baixos do que o planalto, este assume um aspecto árido e sub deserto na estação seca. Depois, no maciço norte, as partes oeste e centro, constituídas por rochas vulcânicas e calcárias, predominam vários tipos de morfologia: as rochas vulcânicas são cortadas em cumes estreitos, as encostas marcadas por vales em forma de V. Os flancos são cobertos com solo laterítico. As áreas de calcário têm uma topografia cárstica. As encostas são muito íngremes, os vales cortados em desfiladeiros, as partes mais altas formam verdadeiras falésias. Existem muitas cavernas, os planaltos têm muitos sumidouros. A superposição de calcário duro do Eoceno e rochas vulcânicas e sedimentares macias do Cretáceo às vezes produz inversões de relevo, como no maciço de Selle. Na região oriental, as zonas constituídas por quartzo diorito são recortadas em planaltos, os vales são

bastante recortados nas rochas vulcânicas, provavelmente por serem mais facilmente erodidas. Regiões formadas por rochas sedimentares cretáceas apresentam relevo muito semelhante às formadas por rochas vulcânicas. A Península Setentrional compreende regiões que são constituídas por calcários geralmente apresentam uma topografia cárstica, regiões onde as cristas estreitas e acentuadas, separadas por vales em Y, estreitas e profundas, importantes drenagens superficiais (BUTTERLIN, 1960).

No caso das ilhas pertencentes ao Haiti, é sempre domínio relevos cársticos maduros, marcados por drenagem superficial nula, exceto na estação chuvosa. No que diz respeito à ilha de Gonâve, os vales formam, no entanto, profundos desfiladeiros, transversais às direções estruturais. No caso da ilha da tartaruga, é bem marcada pela existência de grutas na falésia de “Tête Chrétien” que domina o terraço elevado. Os terraços calcários secos do Pleistoceno correspondem a savanas. Os calcários xistosos são marcados por uma topografia muito acidentada, com encostas esburacadas (BUTTERLIN, 1960).

Em relação às planícies, devido ao baixo relevo, existe uma espécie de influência dos caracteres geológicos na morfologia pouco acentuada. Notemos apenas a existência de terraços fluviais, bem visíveis na entrada dos rios na planície. É explicada pela retração do mar durante o Quaternário Superior, por exemplo: as costas da planície Cul-de-Sac são baixas e pantanosas, com lagoas e manguezais, e a planície Artibonite onde suas costas são baixas, muito lagunares tipo, de contorno irregular e instável, o terreno a ganhar constantemente sobre o mar, aluvial, constituem três plataformas escalonadas que devem corresponder ao nível do mar, respetivamente no Pliocénico, no Pleistoceno e Recente. Essas costas são baixas, arenosas e pantanosas (BUTTERLIN, 1960).

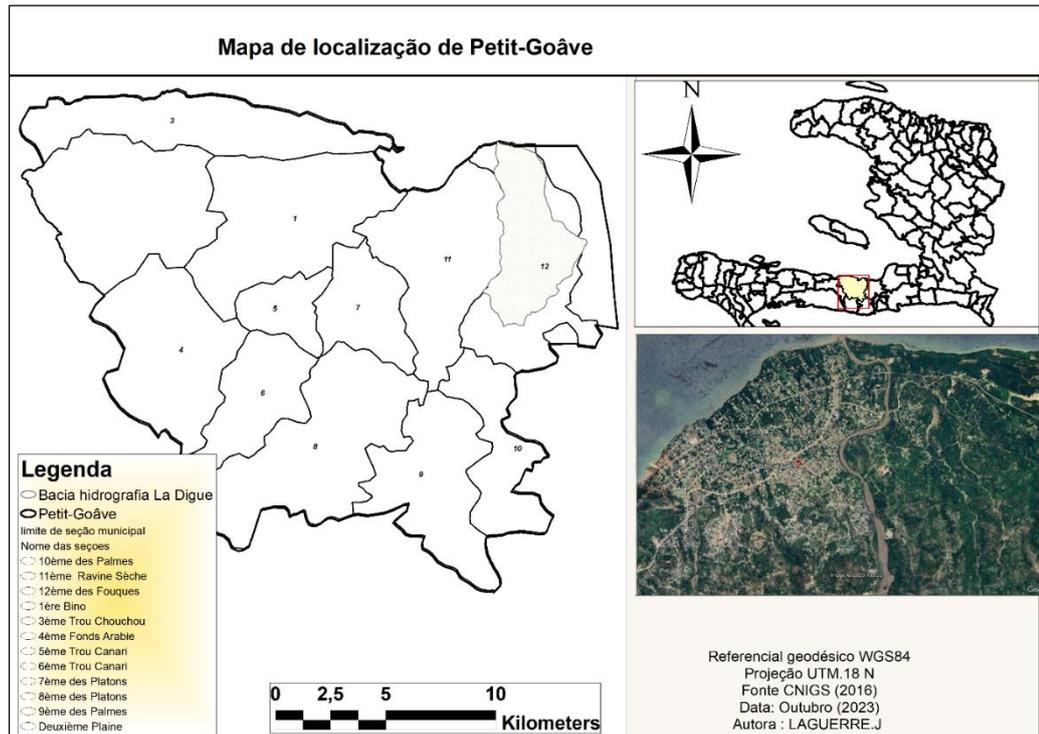
Os solos encontrados na comuna de Petit-Goâve são ferralíticos ou ferruginosos, ou aluviais. Esses tipos de solo são em grande parte uma função da altitude. Assim encontramos o tipo ferralítico em altitudes superiores a 110 metros, os solos ferralíticos encontram-se assim entre os ramos de 25 a 110 metros enquanto encontramos sobretudo os solos de tipo aluvial na faixa de 5 a 25 metros (BUTERLLIN, 1960).

3.1- MUNICÍPIO DE PETIT GOÂVE (CAMPO DE ESTUDO)

A cidade de Petit-Goâve está localizada no departamento Oeste do Haiti, no distrito de Léogane. Localizada no meio da passagem nº 2 Nacional, que liga Petit-Goâve à capital Porto Príncipe, (68 km ao sul), possui uma área de 387,88 Km² e conta com uma população de

117.504 habitantes. Esta comuna é composta pela vila de Petit-Goâne e 12 secções comunais (FIGURA 7).

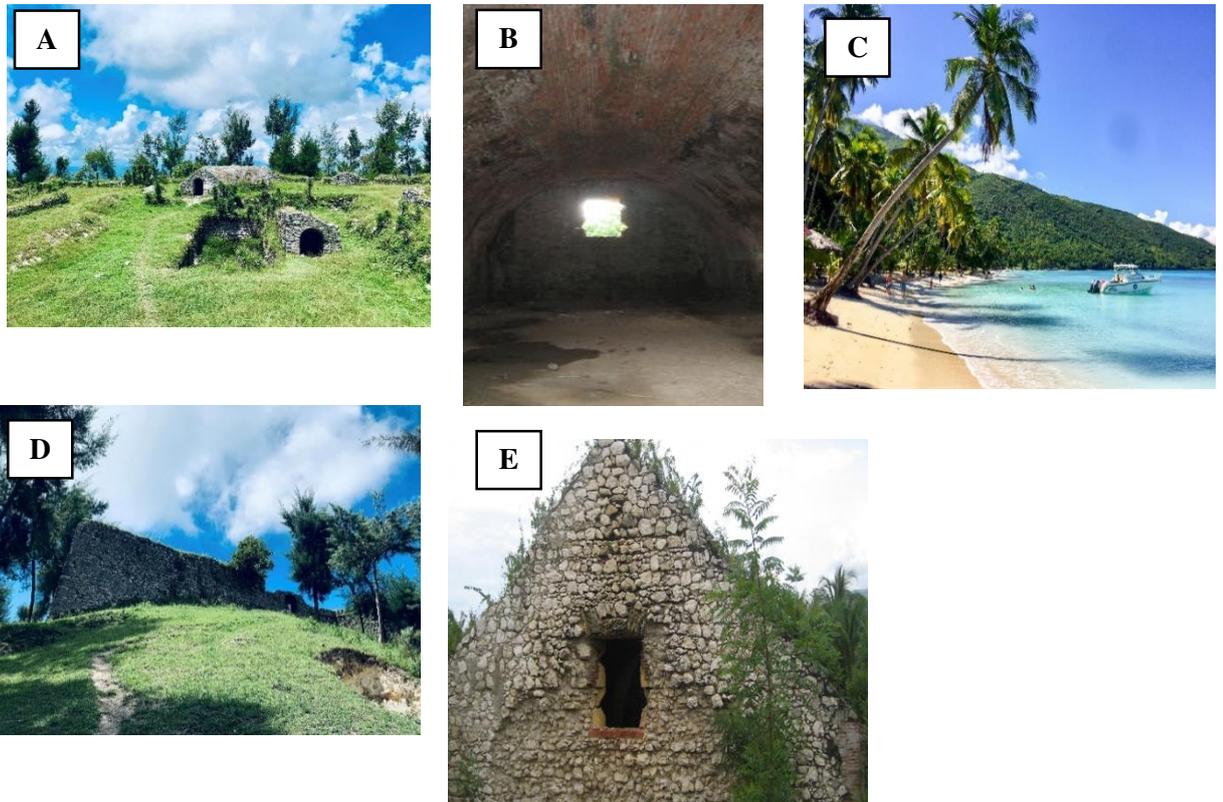
FIGURA 07 - Localização Petit-Goâne



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A história confirmou que Petit-Goâne é uma das cidades mais antigas do país, chamada de Goâne pelos indígenas. Os espanhóis, no final do século XVI, chamavam-lhe Aguava. Na agricultura, Petit-Goâne é famosa pela sua produção de feijão, café, milho, banana. Do ponto de vista turístico, o município de Petit-Goâne é muito rico com suas belas praias e pontos de turísticos (DELMOND, 2016).

FIGURA 08- Imagens de alguns lugares turísticos em Petit-Goâve (A,B) - Fort Gary; (C,D)- Fort Royal; (E)- Banannier praia)



Fonte: News Magazine (2021)

Petit-Goâve é uma das cidades mais educadas do país e as pessoas nunca deixam de lado sua cordialidade e simpatia. Os jovens sempre mostram um grande interesse em aprender e se entregar à leitura. Muitos deles se dedicam à escrita expondo seus trabalhos em feiras tanto em Petit-Goâve quanto na capital (SAINT-CYR, 2013).

As principais atividades econômicas da população de Petit-Goâve são relacionadas ao comércio, agricultura e pecuária. Além disso há um mercado moderno no centro da cidade (rua republicana). “Alimentos, roupas e calçados usados, cosméticos, refrigerantes, livros escolares” são alguns dos produtos expostos ao redor do mercado localizado em frente à Praça Dama. Além disso, há outros mercados como o de Ceradot e o de Violet, situados a cerca de dez minutos de tap-tap¹³ da cidade de Petit-Goâve, onde todos os agricultores trazem seus alimentos para vender com os comerciantes de Porto Príncipe e de outros departamentos mais próximos. Além do mais, os Petit-Goâviens dão muita importância às atividades que dizem respeito à educação: duas escolas secundárias (Lycée Faustin Soulouque e a de Roseline Vavale) várias

¹³ Pequena van fornecendo transporte público de um distrito para outro

escolas nacionais etc. Além dessas atividades citadas, a comuna de Petit-Goâve é reconhecida no mercado nacional e internacional por sua deliciosa doçaria denominada “DOUCE MARCOS” (NOUVELLISTE, 2009).

Em relação ao clima, a cidade de Petit-Goâve possui um clima tropical. A precipitação é menor no inverno do que no verão de acordo com Koppen e Geiger, o clima é classificado AW, ao longo do ano a temperatura média em Petit-Goâve é de 24,7 graus Celsius. Caem em média 1047 mm de chuva por ano. A temperatura pode subir para 27,8 graus Celsius durante o mês de agosto; com temperatura média de 23,3 graus Celsius, janeiro é o mês mais frio do ano. Entre o mais seco e o mais chuvoso dos meses, a amplitude da precipitação é de 148mm, uma variação de 3,5°C registrada ao longo do ano¹⁴.

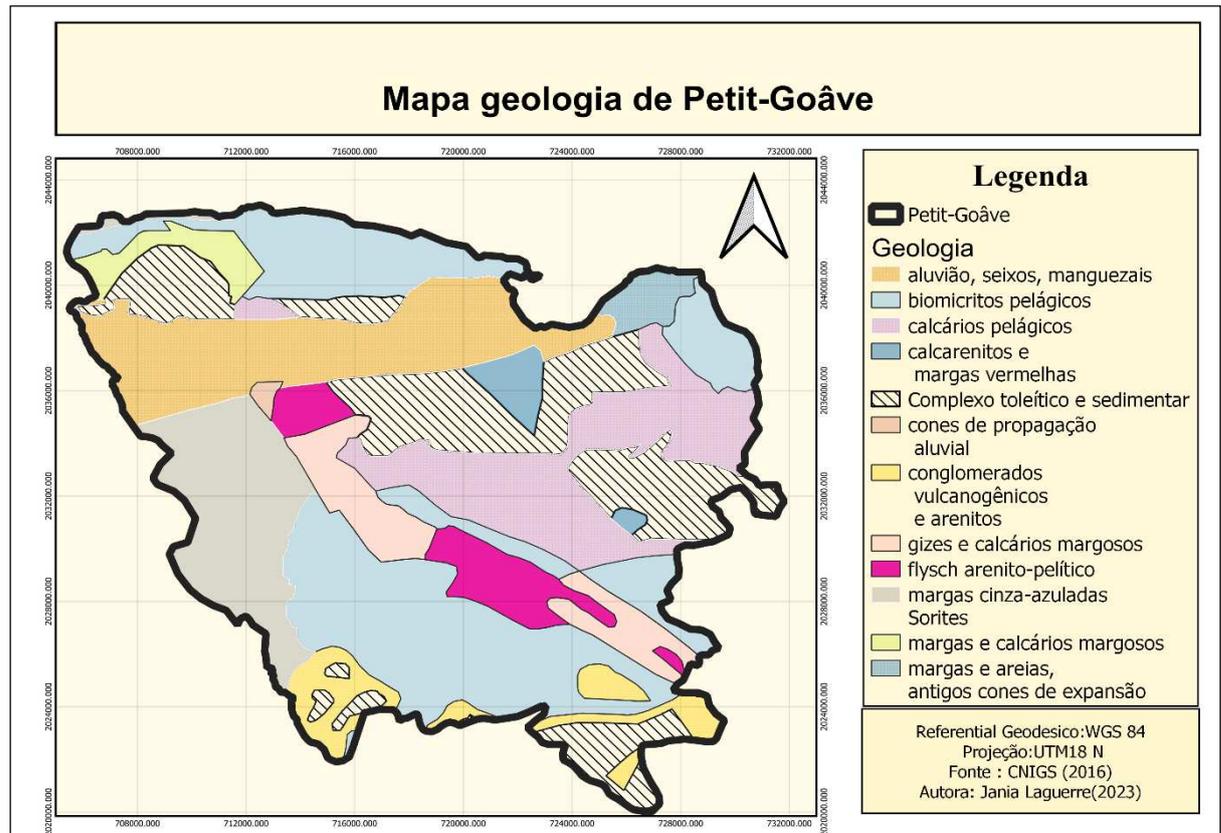
Do ponto de vista topográfico, Petit-Goâve tem um nível de altitude que vai de 0 a 1500 metros com um relevo muito variável. A cidade é composta principalmente de terrenos montanhosos. Uma pequena parte é composta por vale, planície e contrafortes. As encostas são, em sua maioria, muito íngremes, mas a parte a jusante é formada por contrafortes com declives baixos. A montante, a maioria das vertentes encontra-se muito dissecada e com declives acentuados (BUTERLLIN, 1960).

A comuna de Petit-Goâve é embasada por um afloramento basáltico cretáceo aflorando principalmente no coração do maciço de Selle encimado por uma série de calcários eoceno e mioceno (FIGURA 09). Existem calcários pelágicos datados do Cretáceo Superior, estes calcários são geralmente de cor branca, creme ou bege entrecortados por venezianas de calcita, muitas vezes deformadas. Eles afloram em pequenos fragmentos ao sul de Petit-Goâve. Existem calcários madreporicos, maciços, vermelhos, cobertos por areias ligeiramente argilosas, que afloram na depressão que limita o Tapion ao sul (BUTERLLIN, 1960).

Os solos encontrados na comuna de Petit-Goâve são ferralíticos ou ferruginosos, ou aluviais. Esses tipos de solo são em grande parte uma função da altitude. Assim encontramos o tipo ferralítico em altitudes superiores a 110 metros, os solos ferralíticos encontram-se assim entre os ramos de 25 a 110 metros enquanto encontramos sobretudo os solos de tipo aluvial na faixa de 5 a 25 metros (BUTERLLIN, 1960).

¹⁴ <https://fr.climate-data.org/amerique-du-nord/haiti/departement-de-l-ouest/petit-goave-48206/>

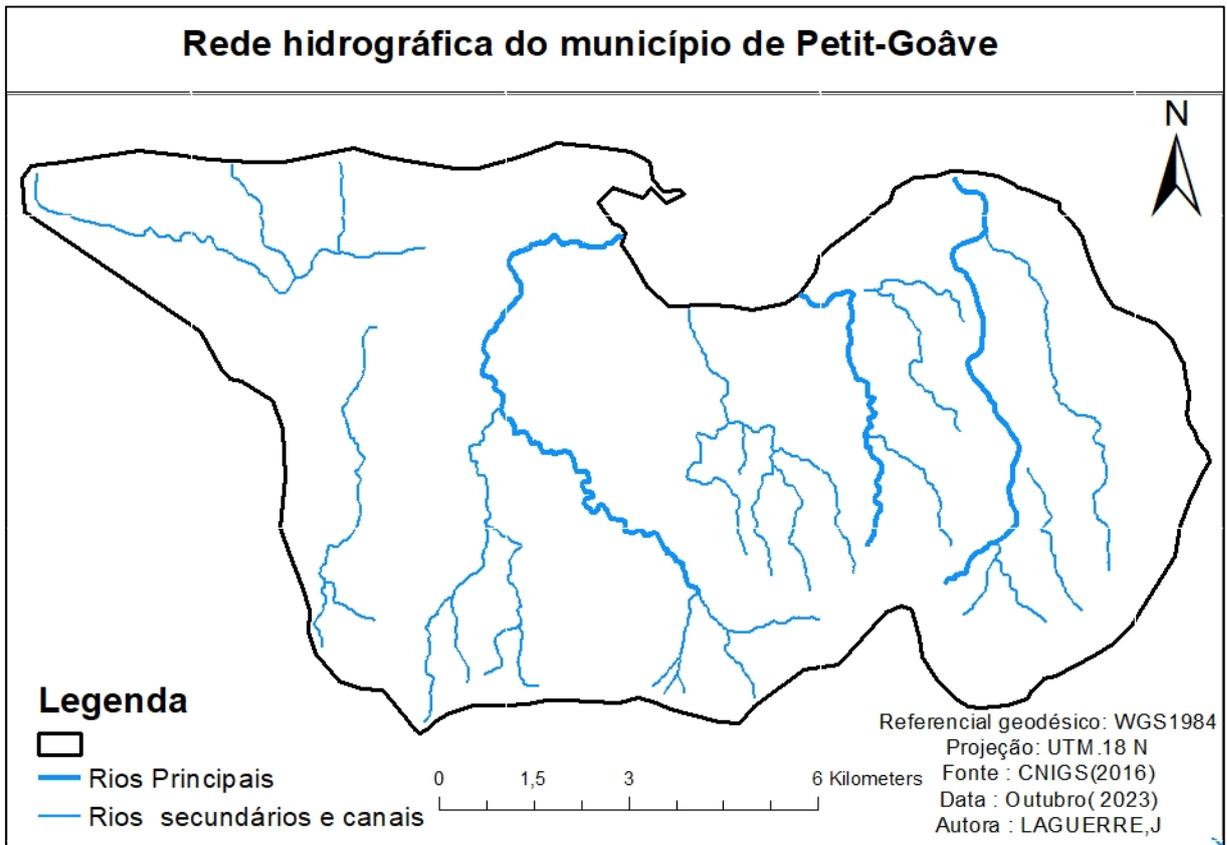
FIGURA 09- Mapa geologia de Petit-Goâve



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A comuna de Petit-Goâve contém um conjunto de rios que asseguram o abastecimento de água para as pessoas, mais precisamente para os agricultores, podendo ser citados: La Digue, Barret, Curtis, Benee, Figaro, Dlopiti, Lagoa Durissi, 2ª lagoa plana (FIGURA 10). Todos estes rios têm grandes impactos durante os mais torrenciais, porque nascem nas grandes altitudes, por exemplo dos rios La Digue, Caiman, Barret são grandes rios que deixaram seus vestígios durante a estação chuvosa, inundando a planície antes de atingir sua saída. Mas a maior ameaça ao centro de Petit-Goâve é La Digue.

FIGURA 10 - Mapa de rede hidrografia de Petit-Goâve.



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No que diz respeito à vegetação, de acordo com as observações realizadas, é constituída por formações naturais de savana arborizada (árvores e arbustos), de mangais, coqueiros e outras árvores perenes. Esses recursos estão, em sua maioria, sujeitos à degradação para fins agrícolas, produção de carvão e madeira.

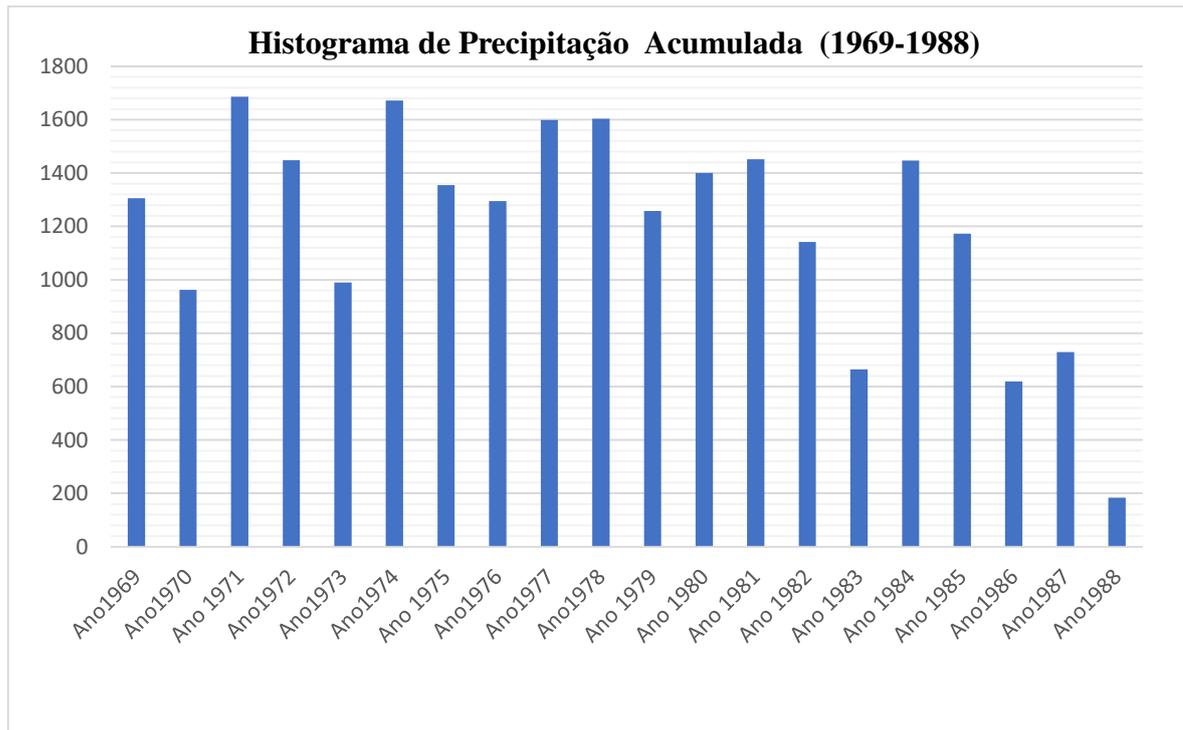
3.2 ANÁLISES PLUVIOMÉTRICAS

Através dos dados disponibilizados pela Unidade Hidrometeorológica do Haiti (UHM), dentro de um período de cerca de 20 anos, podemos observar que a quantidade de precipitação anual é muito variável. Observamos anos que receberam maior volume de precipitação, como 1971, 1974, 1977, 1978, 1981, em detrimento dos demais. Porém, outros anos que não são mencionados neste intervalo de 20 anos receberam uma quantidade de precipitação que variam em média entre 1200 a 1500mm/ano (UHM), mesmo que foram registrados alguns meses que faltam de informações cerca de alguns anos, isso que permitem de realizar uma análise aproximativa da realidade, por causa de falta dos dados pluviométricos não estão completos.

Por exemplo, o ano 1988 tem dados somente de cinco meses, e durante este ano, ocorreram tempestade, ciclone e inundação (UHM,1988).

O histograma da (Figura 11) ilustra a precipitação acumulada no intervalo de vinte (20) anos de acordo com os dados analisados.

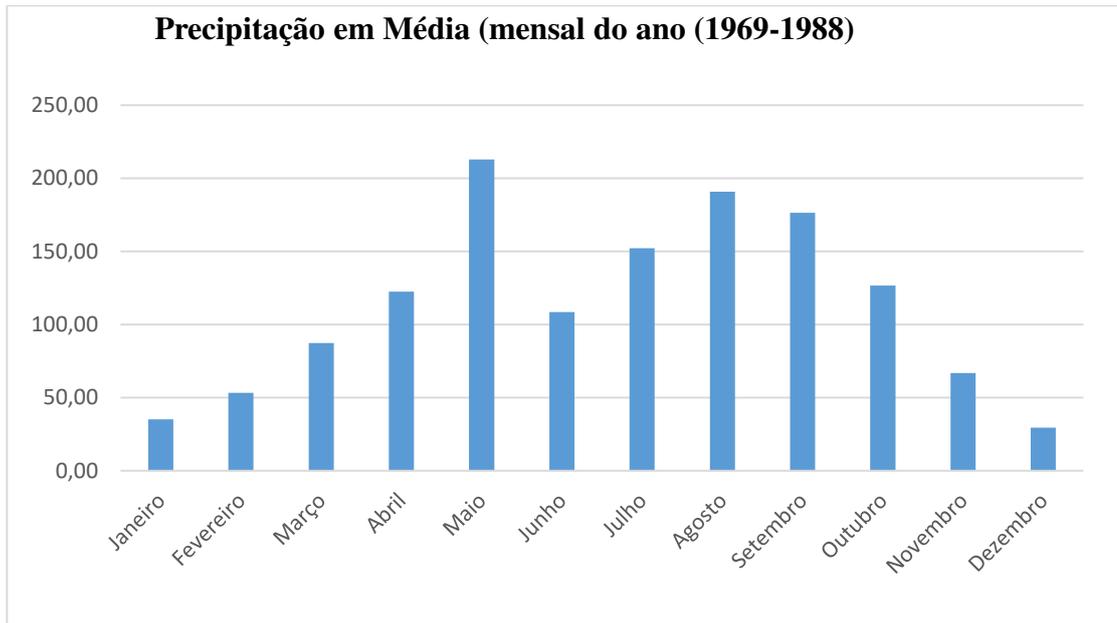
FIGURA 11 - Precipitação acumulada no intervalo de vinte anos



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Segundo as análises dos dados pluviométricos, a quantidade média de chuva varia muito durante as diferentes épocas do ano. O período com os menores valores vai de dezembro a março, que marca a transição para o inverno, que apesar de não registrar quedas expressivas na temperatura, é a estação mais seca. Os outros meses receberam uma quantidade abundante de precipitação que marca a estação chuvosa, também é no intervalo desses meses que eles são mais propensos a ter inundações muito violentas. Na maioria das vezes, essas inundações são devidas a chuvas torrenciais associadas à passagem de ciclones, o que costuma ocorrer nesses períodos.

FIGURA 12 - Precipitação em Média Mensal do ano (1969-1988)



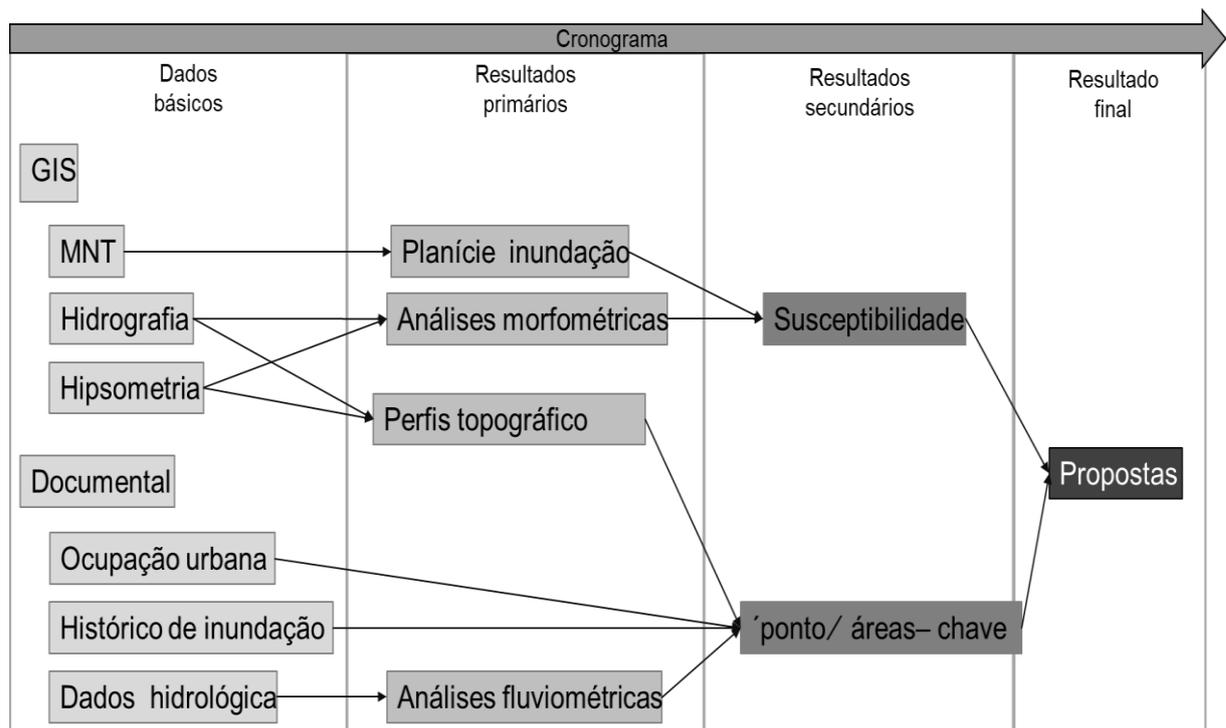
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os conjuntos de abordagens metodológicas para estudar a suscetibilidade às inundações na cidade de Petit-Goâve. Sabemos que esta cidade possui várias bacias hidrográficas, portanto, aquela com maior área contribuinte (Rio La Digue) foi escolhida para este estudo. Além disso, a escolha desta bacia hidrográfica foi baseada em seu comportamento em relação às cheias, o que recorrentemente causa problemas para a população e, em casos extremos, está associado a perdas materiais e humanas. Portanto, para isso, utilizamos a abordagem hidrogeomorfológica, que envolve uma análise do terreno e conhecimento da dinâmica fluvial de longo prazo (LELIEVRE, et al., 2007, p.7).

A Figura 13 resume os conjuntos de abordagens e passos metodológicos que foram seguidos para poder realizar este trabalho.

FIGURA 13 - Os passos metodológicos deste trabalho



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

4.1 REVISÃO DA LITERATURA

Iniciamos a pesquisa com a construção de uma revisão teórica dos temas e conceitos-chave: inundações, geomorfologia fluvial, hidrologia de canais, morfometria e suscetibilidade/risco/vulnerabilidade. Foram consultados alguns autores pioneiros no desenvolvimento de pesquisas sobre o tema, e trabalhos mais atuais realizados por diferentes grupos de pesquisa em diversas regiões do planeta. Por outro lado, consultamos alguns sites para ler resenhas, relatórios, teses, o que nos permitiu encontrar alguns dados necessários para uma melhor abordagem do nosso trabalho. Além disso, por causa da carência de dados, e informações sobre o fenômeno das enchentes no Haiti, a pesquisa bibliográfica se concentrou em trabalhos sobre o fenômeno das enchentes e geografia física em diversas partes do mundo, com enfoque em eventos extremos.

4.2 LEVANTAMENTO DE ASPECTOS HIDROGEOMORFOLÓGICOS

Para compreensão dos aspectos hidrogeomorfológicos da área de estudo, vários passos foram realizados. Iniciou-se pela análise remota da topografia e da morfologia na bacia hidrográfica de La Digue, o que nos permitiu entender os elementos que contribuem para a formação de inundações. Partiu-se das imagens, do satélite japonês ALOS PALSAR com resolução 12.5 m, utilizando o software QGIS. O mapa topográfico foi produzido, com as curvas níveis que possuem a equidistância de 10 m, na escala 1/25000. Depois, para delimitar as três sub-Bacias do rio La Digue, o mesmo dado foi utilizado.

Além disso, algumas ferramentas do QGIS foram utilizadas para calcular os elementos importante para descrever os aspectos geométricos da bacia, tais como:

- Área da bacia hidrográfica e das sub-bacias (A): calculadas no QGIS, usando a tabela de atributos criar uma coluna de Área para a bacia principal e para cada uma das sub-bacias – calculadora de campo geometria de área em km².
- Perímetro da bacia hidrográfica e das sub-bacias (P) : calculadas no QGIS, usando a tabela de atributos criar uma coluna de perímetro para a bacia e cada uma das sub-bacias – calculadora de campo geometria de Perímetro em km.
- Comprimento da bacia hidrográfica e suas sub-bacias: foi medido a partir da ferramenta régua do QGIS, foi usada a linha reta da desembocadura até o ponto mais alto da bacia.

- Amplitude altimétrica da bacia hidrográfica (Hm): diferença altimétrica entre a altitude da foz e a altitude da cota máxima entre os canais de primeira ordem, calculado no software Excel com os valores encontrados nas curvas de nível.

De posse desses materiais, foram elaborados e posteriormente interpretados o Modelo Digital de Terreno e os mapas hipsométrico e de declividade, a fim de analisar as zonas de acumulação de água que contribuem para inundações torrenciais, além de entender os processos erosivos que levam ao transporte de materiais a jusante do rio La Digue. Além disso, essas informações permitiram uma compreensão mais detalhada do ambiente físico dessa bacia e para ajudar a analisar a suscetibilidade de áreas que podem ser inundadas.

Compreendendo o caráter estrutural e funcional das planícies e sua relação intrínseca com os processos de inundação, foram mapeadas as várzeas do rio La Digue, como registros morfológicos da história de cheias da bacia. Foram utilizadas imagens do satélite ESRI e ALOS PALSAR no mapeamento da planície inundações. Além disso, foi feita uma comparação da evolução da ocupação urbana dessas áreas em duas datas (inicialmente, propomos 2008 e 2018). O uso da terra que foi feito manualmente, também é um parâmetro muito essencial no zoneamento de suscetibilidade a inundações. Solos nus, áreas construídas e áreas com baixa densidade vegetal possuem baixa capacidade de infiltração e, por isso, são caracterizadas por alta suscetibilidade a inundações.

Por fim, a energia do sistema fluvial foi interpretada a partir dos perfis longitudinal e transversal desta bacia. Os perfis foram realizados por meio de software ArcGis, graças à ferramenta Analysis tools e interpolate Shape.

Tabela 1- Resumo das fontes de dados que foram usados na realização de todos os mapas deste trabalho

Tipo de dado	Resolução	Formato	Fonte
MDT	12,5 m	Imagem	Alos Palsar
Landsat 9	Espacial: 10m*10m	Geotif	USGS Earth Explorer
Imagens Google Earth		JPEG	2022-2023
Google , ESRI satélite		Geotif	
Camada Geológica		Shapefile	CNIGS(2016)
Camada Geomorfológica		Shapefile	CNIGS(2016)

Camada Hidrográfica		Shapefile	CNIGS(2016)
Limite Petit-Goâve		Shapefile	CNIGS(2016)

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Além do mais, procuramos interpretar os parâmetros morfométricos que permitem abordar a acumulação e a dispersão da água no sistema fluvial. Partindo desses dados constituiu-se a discussão sobre a suscetibilidade morfométrica da bacia hidrográfica de La Digue:

- Índice de circularidade, que dá uma resposta direta à sensibilidade à inundação da bacia em termos de forma. Pois, o formato da bacia influencia na retenção de água durante as chuvas. Quanto mais circular, maior a retenção de água, aumentando a sensibilidade às inundações na bacia hidrográfica de La Digue.
- Densidade de drenagem, que é um elemento chave na descrição e estimativa do tempo de residência das águas. Além disso, sabe-se que quanto maior a densidade de drenagem, maior a velocidade com que a água chega ao rio, aumentando o efeito de inundação a jusante da bacia do Digue.
- Amplitude altimétrica e declividade: definem parcialmente o fluxo. Quanto maiores os valores, mais rápida a vazão, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia. Geralmente, dentro de bacias com altos valores desses índices, ocorrem poucas inundações, principalmente de rápida duração. Por outro lado, este fluxo de alta velocidade pode aumentar o efeito de inundação a jusante da bacia.
- Gradiente do canal, dado pela razão entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal. Este índice destina-se a indicar a inclinação do curso d'água da bacia. Além disso, a inclinação desempenha um papel muito importante no mapeamento da suscetibilidade às inundações. Este fator intrínseco permite compreender a velocidade de escoamento.

Assim a Tabela 2 mostra as equações utilizadas no software Excel para calcular os parâmetros morfométricos para a bacia e todas as sub-bacias:

Tabela 2 - Equações usadas para calcular os parâmetros morfométricos para a bacia todas sub-bacias

Fator de forma	$kf = \frac{A}{L^2}$	Kf: Fator de forma A: área da bacia hidrográfica (km ²) L: comprimento do eixo da bacia
Índice de compacidade de Gravelius	$K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi A}}$ ou $0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$	KG : Índice de compacidade de Gravelius A : área da bacia hidrográfica [km ²], P : perímetro da bacia hidrográfica
Índice de circularidade	$IC = 12,57 \times \frac{A}{P^2}$	IC=Índice de Circularidade adimensional A = Área da bacia em km ² P = Perímetro da bacia em km
Densidade hidrográfica	$Dh = \frac{N}{A}$	Dh = Densidade hidrográfica N = Número de rios ou canais A = Área da bacia em km ² .
Relação de relevo	$Rr = \frac{Hm}{Lc}$	Rr = Relação de relevo em m/km Hm =amplitude altimétrica em m Lc = comprimento do canal principal em km.
Densidade de drenagem	$D_d = \frac{L}{A}$	D_d : densidade de drenagem (km/km ²) L: comprimento total dos cursos d'água (km) A : área da bacia hidrográfica (km ²)
Coefficiente de manutenção	$Cm = \frac{1}{Dd}$	Cm =Coeficiente de manutenção Dd = Densidade de drenagem.

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Tabela 3- Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de bacias.

N/km ²	Denominação
-------------------	-------------

< 3	Baixa
3 – 7	Média
7 – 15	Alta
> 15	Muito alta

Fonte: Lollo (1995)

Em relação ao estudo dos aspectos hidrológicos da bacia do rio de La Digue o Método Racional de estimativa de vazão foi usado (SMEDEMA; RYCROFT, 1983). Este método faz parte do princípio básico de que a vazão máxima, provocada por uma chuva de intensidade uniforme e constante, ocorre quando todas as partes da bacia contribuem simultaneamente com escoamento na seção de deságue. O método racional está, portanto, fundamentado nos seguintes princípios básicos:

- a) As precipitações deverão ter alta intensidade e curta duração, sendo a vazão máxima de escoamento superficial aquela que ocorre quando a duração da chuva for igual ao tempo de concentração, situação em que toda a área da bacia deverá contribuir com escoamento superficial na seção de deságue.
- b) A precipitação com duração igual ao tempo de concentração ocorre, uniformemente, ao longo de toda a bacia.
- c) Dentro de um curto período, a variação na taxa de infiltração não deverá ser grande. Geralmente assume-se que, durante o evento extremo, o solo encontra-se saturado e, portanto, com taxa de infiltração estável, o que corresponde à condição mais desfavorável.
- d) Adota-se um coeficiente único de perdas, denominado coeficiente de escoamento superficial, estimado com base nas características da bacia.
- e) Não se permite caracterizar o volume de escoamento superficial produzido e a distribuição temporal das vazões (SMEDEMA e RYCROFT, 1983).

Par aplicação deste método, os seguintes fatores foram considerados: Áreas de drenagem que é um parâmetro importante e evidencia a superfície capaz de drenar água para

uma determinada seção; a intensidade máxima média da precipitação (im); o Tempo de concentração mensurado através da equação de Kirpich (1940).

Para calcular o coeficiente de escoamento, adotamos um número adimensional empírico (correspondente ao percentual da água precipitada que não infiltra e, portanto, esco). Assim, para toda a bacia, a partir dos coeficientes de escoamento apresentados na Tabela 4, foi realizada a média ponderada pela área de cada tipo de uso da terra.

Tabela 4 -Valores do coeficiente de escoamento do Método Racional para diferentes tipos de cobertura da bacia.

Superfície	C	
	Intervalo	Valor esperado
Asfalto	0,70- 0,95	0,83
Concreto	0,80 - 0,95	0,88
calçadas	0,75-0,85	0,80
Telhado	0,75 - 0,95	0,85
Gramma em solo arenoso plano	0,05 - 0,10	0,08
Gramma em solo arenoso inclinado	0,15 - 0,20	0,18
Gramma em solo arenoso argiloso plano	0,13-0,17	0,15
Gramma em solo arenoso argiloso inclinado	0,25-0,35	0,30
Área rurais	0,0-0,30	-

Fonte: Collischonn et Dornelles (2013)

A bacia hidrográfica La Digue foi dividida em três setores: i) na área com grau de impermeabilização do solo muito alto (área urbanizada), o coeficiente adotado foi 0,9; ii) na zona pouco permeável, com predominância de pastagens com presença de espécies de vegetação raquítica e dominada por declives acentuados, o coeficiente adotado foi 0,35; iii) na área que contém vegetação arbórea, onde o nível de permeabilidade do solo é normal, o coeficiente adotado foi 0,2.

Na estimativa do escoamento superficial para calcular a vazão da bacia hidrográfica do Rio La Digue, usamos dados da Unidade de Hidrometeorologia do Haiti (UHM). Porém, desde 1988, depois do período da ditadura, a UHM não coleta dados para todas as cidades da Província, tampouco de Petit-Goâve, devido ao baixo orçamento. Assim, o uso desses dados foi feito apenas para a realização de estimativas sobre a vazão dessa bacia hidrográfica. Então, graças

ao método racional, obtemos o fluxo de acordo com a recomendação que se apresenta na Equação 1. Para calcular o tempo de concentração foi utilizada a Equação 2

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = 0,278 C * I * A \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que Q é a vazão em m³/s; I é a intensidade da precipitação em mm/h; e A é a área de contribuição em km²; C é um número adimensional que representa a taxa média de escoamento superficial.

$$T_c = 3,989 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que T_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do rio principal em km; e S é a declividade média da bacia (KIRPICH, 1940).

Além disso, para calcular o período de retorno (PR) dos eventos extremas das inundações, o método de Kimball foi utilizado. Esse método apresenta a fórmula de frequência ($f = \frac{m}{n+1}$). Os resultados foram obtidos graças à avaliação das vazões máximas durante um ano, utilizando-se dá para determinar a frequência. Por fim, a determinação do período de retorno que é o inverso da frequência (**PR = 1/f**).

4.3 SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

Para realização do mapa de suscetibilidade a inundações, foi realizada a análise multicritérios de três parâmetros da bacia hidrográfica, os quais são: uso do solo, declividade e vazão acumulada. Os parâmetros escolhidos foram classificados em quatro (4) classes como mencionadas na tabela 5.

Tabela 5 - Critérios utilizados

Uso do solo	Escala	Interpretação
Vegetação nativa	1	Muito Baixa
Áreas florestas	2	Baixa
Áreas agrícolas e pastagens	3	Moderada
Solo exposto e área urbana	4	Alta
Declividade (Graus)		
> 51	1	Muito Baixa
23 a 51	2	Baixa
9 a 23	3	Moderada

0 a 9	4	Alta
Vazão acumulada (m³/s)		
0 a 1600	1	Muito Baixa
1601 a 5500	2	Baixa
5501 a 18000	3	Moderada
> 18000	4	Alta

Fonte: (KORAH; LOPEZ, 2015).

Então esses parâmetros facilitaram a elaboração desse mapa graças aos diferentes pesos para cada variável: ocupação e ocupação do terreno (40%), declividade (25%), vazão acumulada (35%) conforme orientação de (KORAH; LOPEZ, 2015).

5 ATLAS GEOAMBIENTAL DA BACIA DO RIO LA DIGUE

5.1 LOCALIZAÇÃO DO RIO LA DIGUE

A bacia hidrográfica de La Digue está localizada no município de Petit-Goâve, mais precisamente na 11ª e 12ª seção comunal (Ht) perto de Pointe des Roches, Provence e La Hatte. Também está perto de rio des Vignes. A latitude do rio La Digue é 18.4439 N, e longitude é -72.84962 W.¹⁵ A bacia hidrografia do rio La Digue tem um rio principal com o mesmo nome que nasce e é alimentado por uma pequena lagoa que fica a montante, na zona montanhosa, e também pelo rio da Provence, que é um rio secundário, e por vários outros canais intermitentes, que drenam águas pluviais (FIGURA 14). É um rio intermitente, que é seco e para de fluir por alguns períodos muito curtos durante o ano.

As curvas de nível da bacia do rio La Digue foram feitas com a equidistância de 10 m. Onde as curvas são mais próximas estamos no terreno mais íngreme, o que ocorre principalmente no alto curso. Por outro lado, quando as curvas de nível divergem, estamos em terreno mais plano como encontramos na terça inferior da bacia (FIGURA 15).

O MDE de La Digue contém informações sobre a elevação da superfície da bacia. Percebe-se que a bacia hidrográfica de La Digue tem uma elevação baixa no intervalo de 0-95 para chegar no intervalo de 1325 a 1350 onde a elevação é alta (FIGURA 16).

Para a divisão altimétrica, o mapa hipsometria da bacia hidrográfica do rio La Digue foi elaborado com uma equidistância de 150 m e cores diferentes de acordo com a altitude. Por exemplo, cores mais escuras representam áreas de baixa altitude, onde ocorre a deposição de sedimentos. Cores mais claras representam interflúvios caracterizados por uma topografia mais elevada em relação aos vales, e o escarpamento de recuo da erosão é indicado pela transição para o amarelo. Este mapa facilita uma melhor compreensão da distribuição espacial do relevo (Imagem c) e permite observar toda a bacia, desde o nível mínimo (0 m) até o nível máximo (1350 m), em todas as dimensões(FIGURA 17).

O mapa da declividade da bacia hidrográfica do rio La Digue mostra relevo plano em seu terço inferior, e que continua com vertentes que podem ser altas para chegar ao alto curso onde a inclinação é mais acentuada. Na parte direita desta bacia que é ocupada pelo rio

¹⁵ <https://geoy.com/46/riviere-la-digue-2850575/>

secundário Provence, encontramos as encostas mais íngremes no curso superior. A descrição da vertente foi feita nessa figura (FIGURA 18).

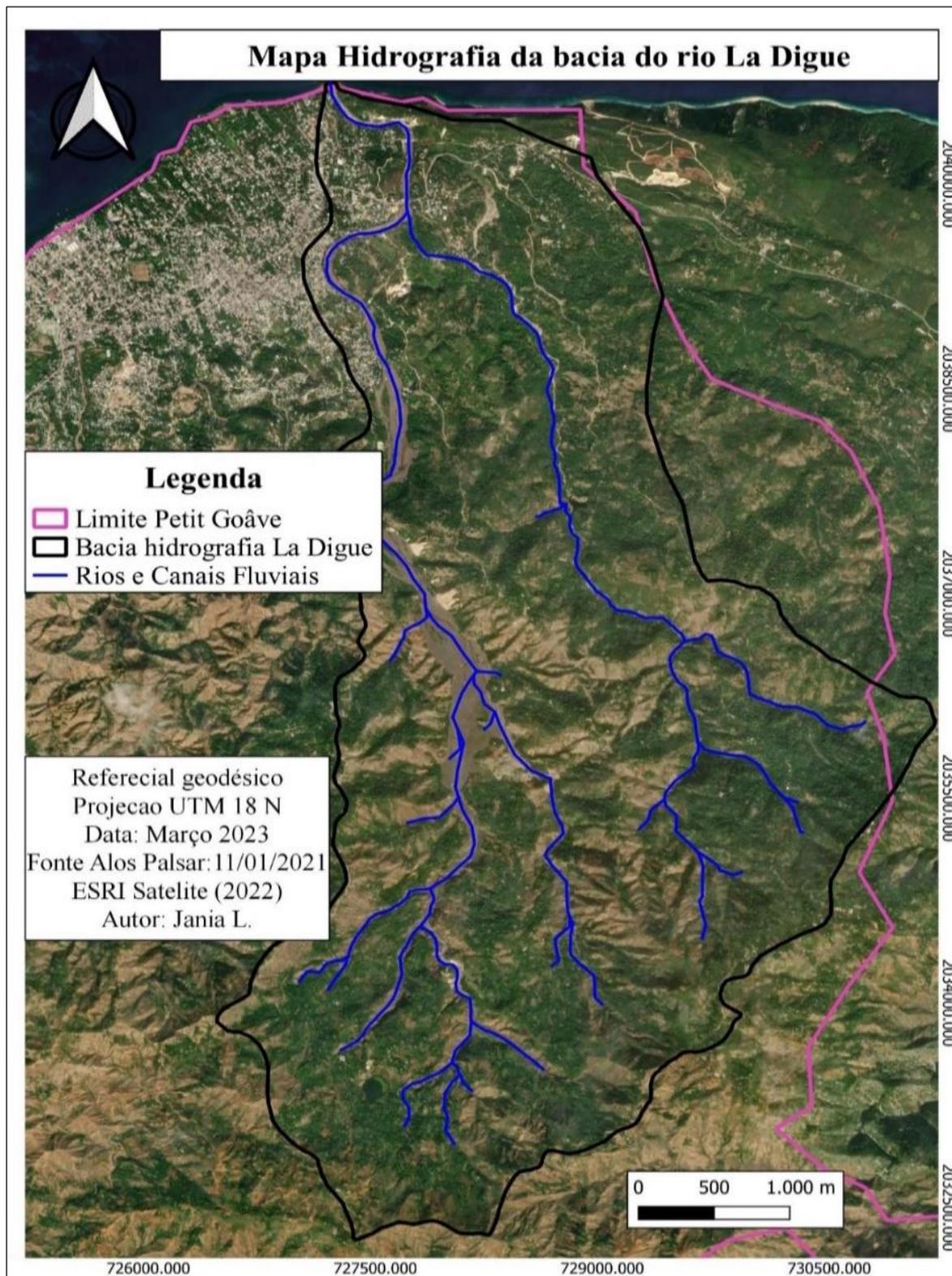
Em relação à geomorfologia, a bacia hidrografia La Digue é dominada pela presença de montanhas baixas e montanhas intermediárias na parte baixa. Além disso, no alto curso, onde as encostas são íngremes, encontramos as rochas residuais (FIGURA 19).

Ao nível da bacia hidrográfica do rio Digue, a geologia é dominada pela presença de biomicritos pelágicos idênticos aos da península meridional e calcários pelágicos. Então, encontramos um complexo toleítico (que inclui basaltos, andesitos, dacitos) e sedimentar acompanhado de derrames maciços, com ou sem intercalações sedimentares. Finalmente, no terço inferior, encontramos a presença de margas e areias, de antigos cones de espalhamento (FIGURA 20)

O mapa da planície de inundação do rio La Digue mostra a área plana ou levemente inclinada adjacente ao canal do rio que é inundada durante as cheias. As planícies começam a se formar no curso médio do rio, mas se expandem significativamente no curso inferior, conectando-se e se integrando com a planície litorânea em suas margens. A inundação neste lugar sempre acontece quando o volume de água excede a capacidade de transporte do rio, fazendo com que a água extravase para áreas adjacentes mencionadas pela cor amarela (FIGURA 21).

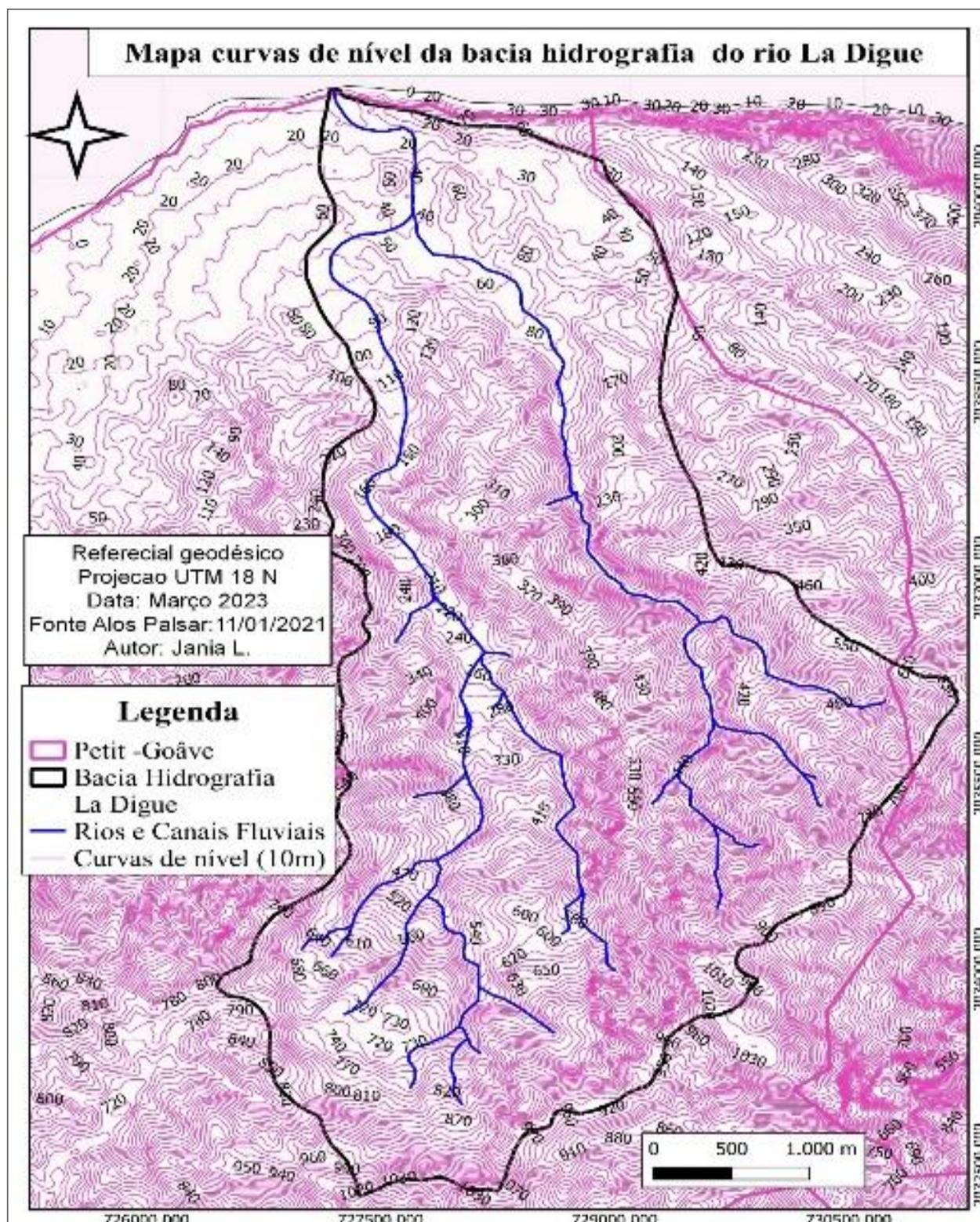
A parte esquerda da planície de inundação da bacia do rio La Digue é ocupada por construções urbanas de todo o tipo na margem esquerda. Como podemos observar no mapa (FIGURA 22), a bacia é ocupada por área de florestal, da pastagem, do solo exposto. A vegetação no terço inferior desta bacia ocupada pela presença das espécies frutíferas como: mangueira, Coqueiro, Abacate. E no terço superior encontramos dos arbustos e pastagens.

FIGURA 14- Mapa da bacia hidrografia La Digue



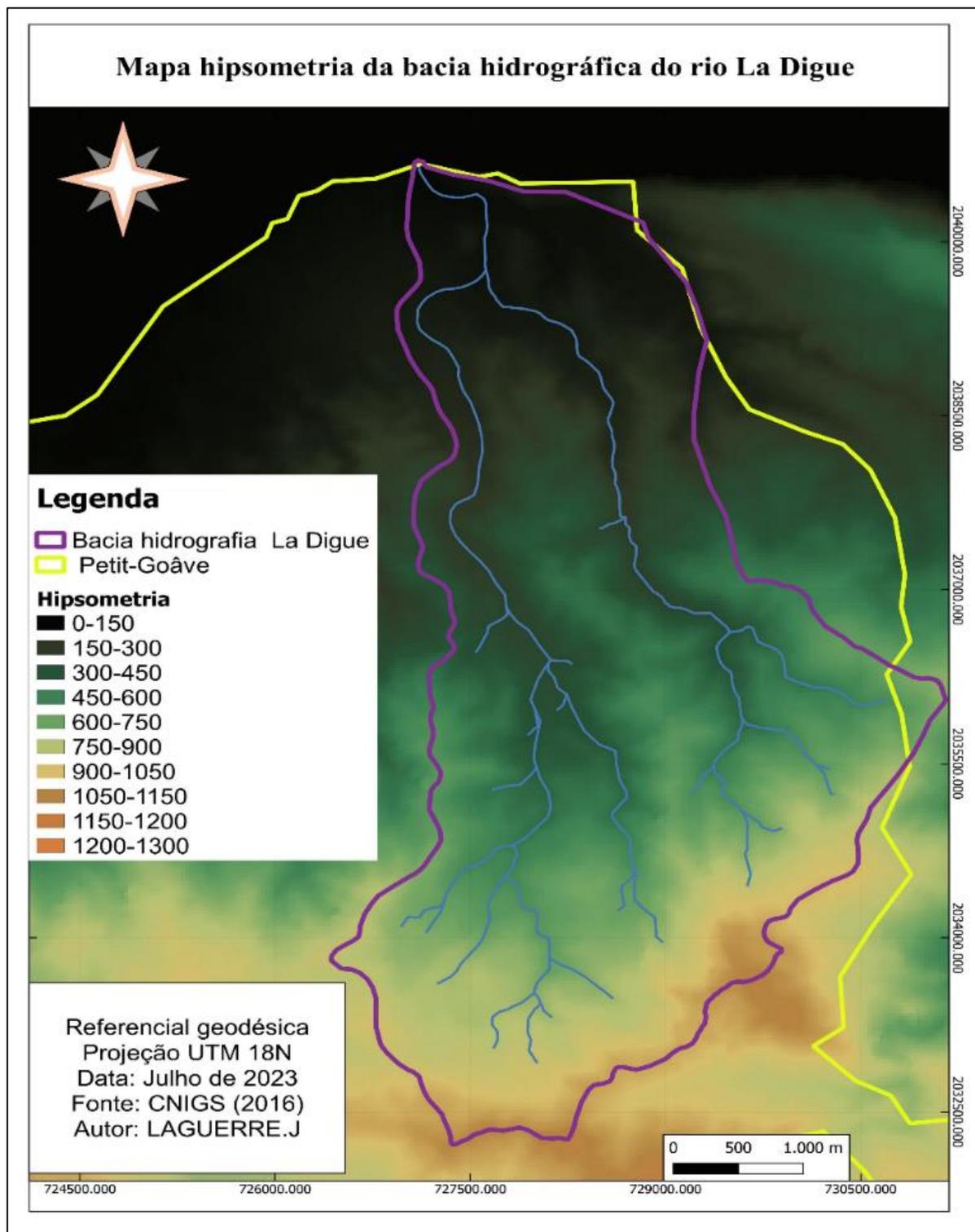
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 15 - Mapa das curvas de nível da bacia do rio La Digue



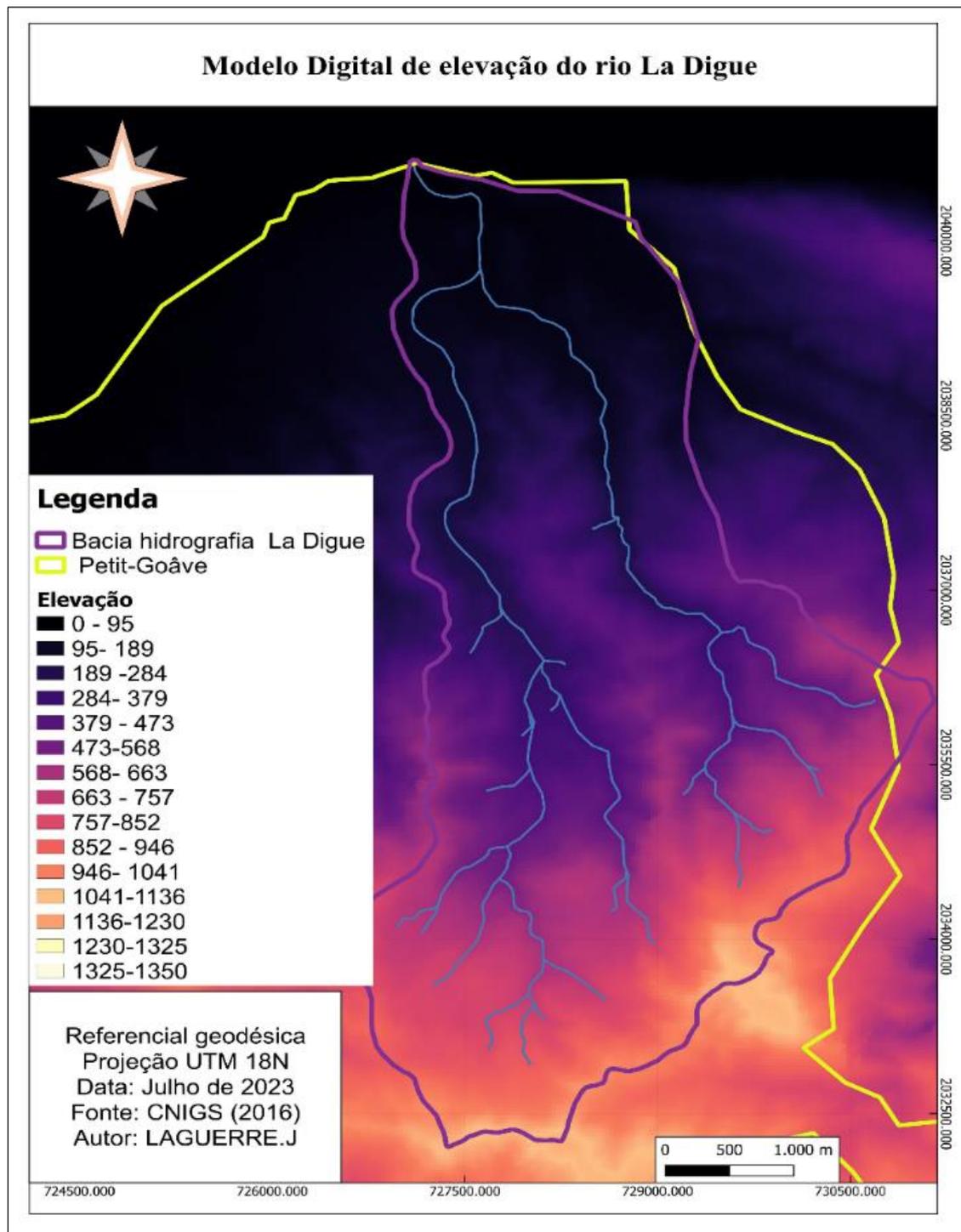
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 16- Mapa de hipsometria da bacia hidrográfica do rio La Digue



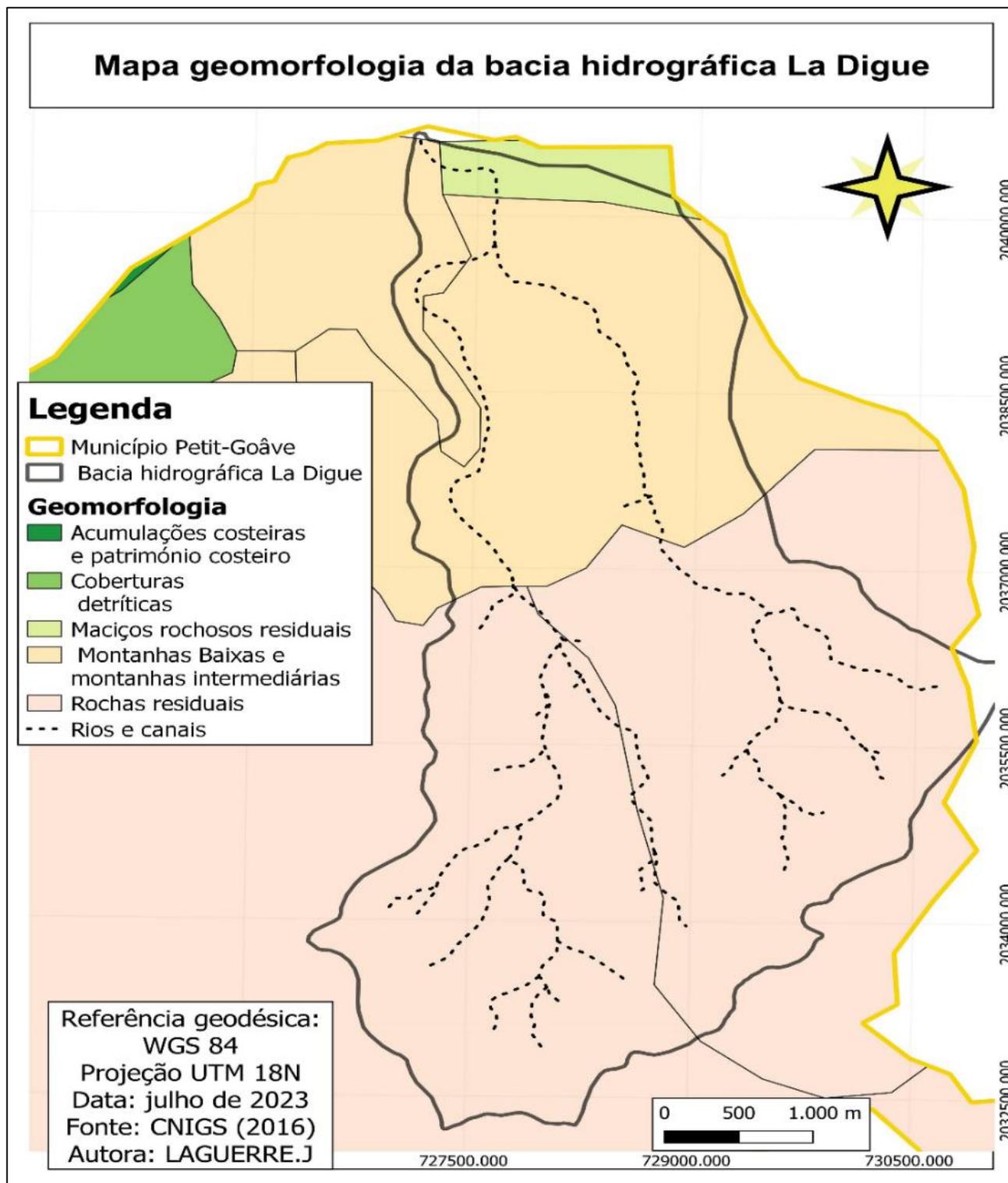
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 17- Mapa do modelo digital de elevação do rio La Digue



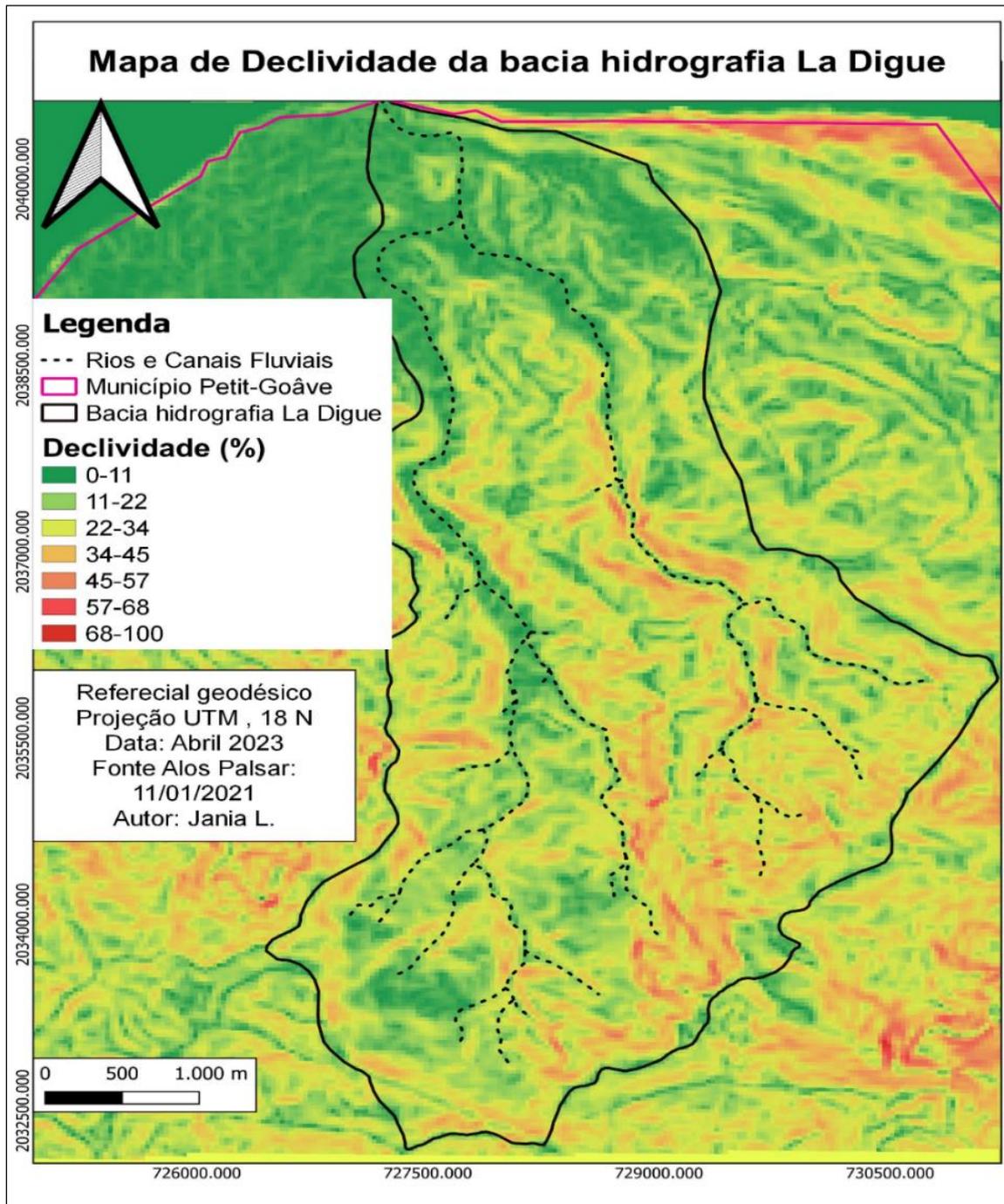
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 18 - Mapa da declividade da bacia hidrográfica do rio La Digue



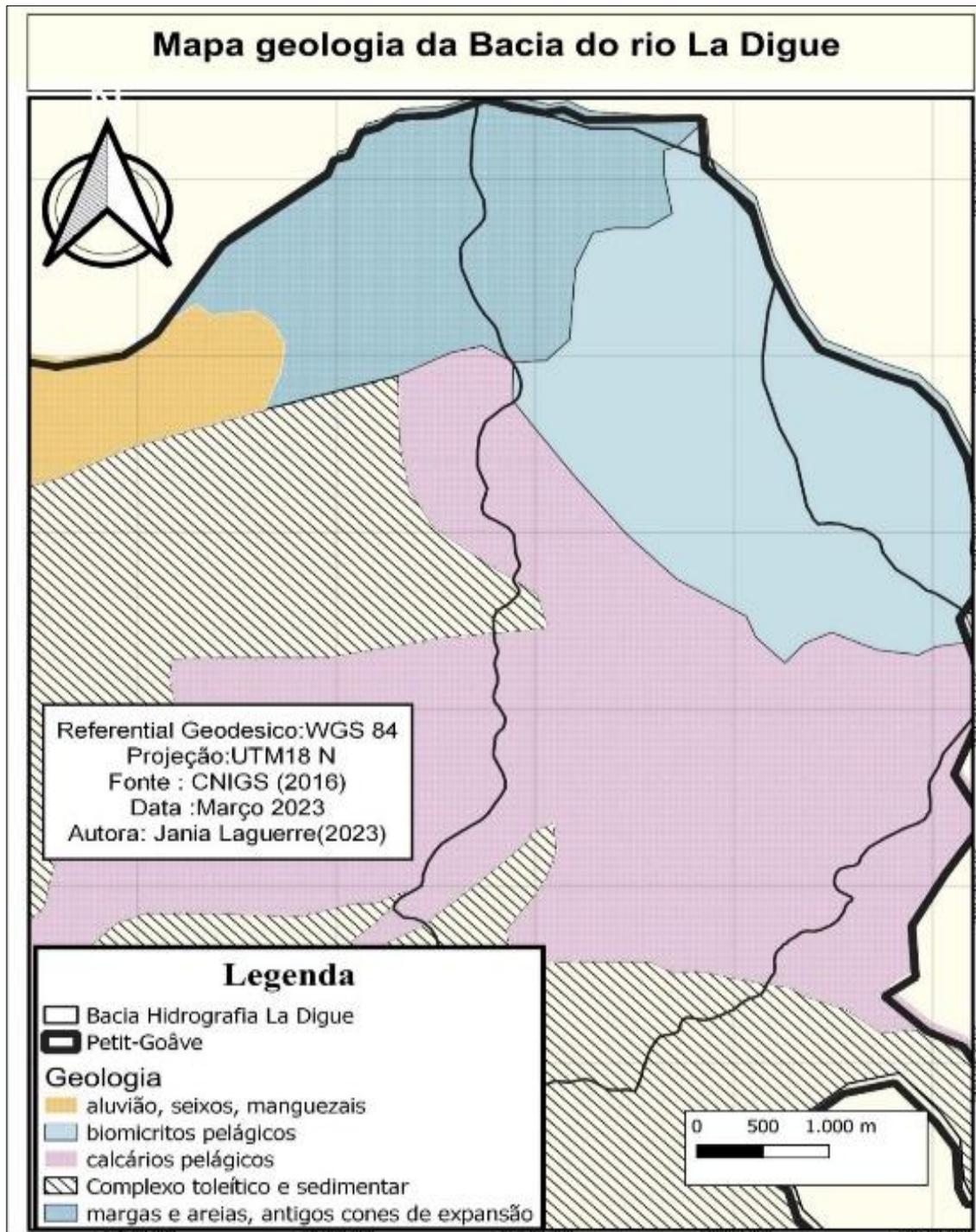
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 19 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica La Digue



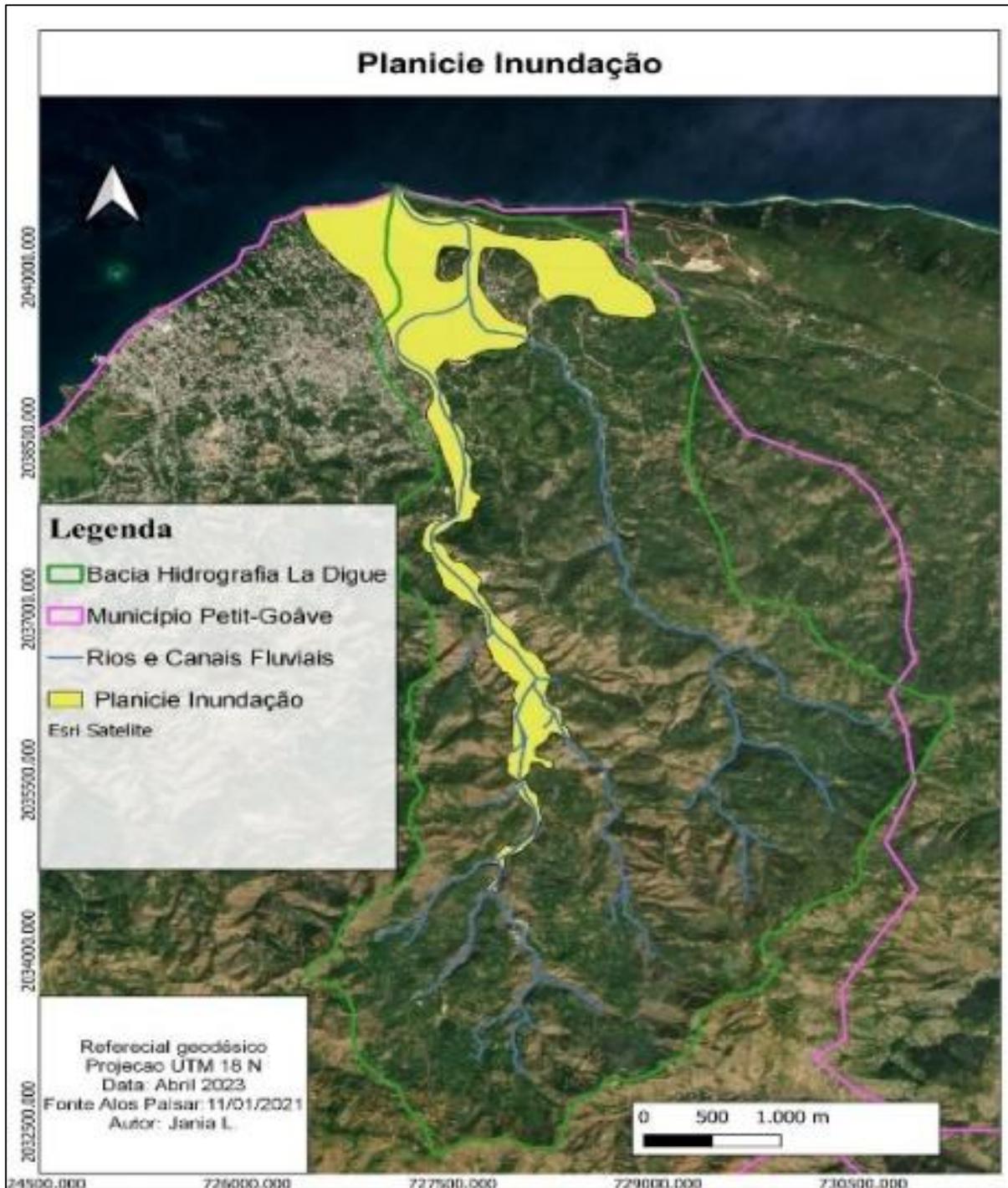
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 20 - Mapa geologia de bacia do rio La Digue



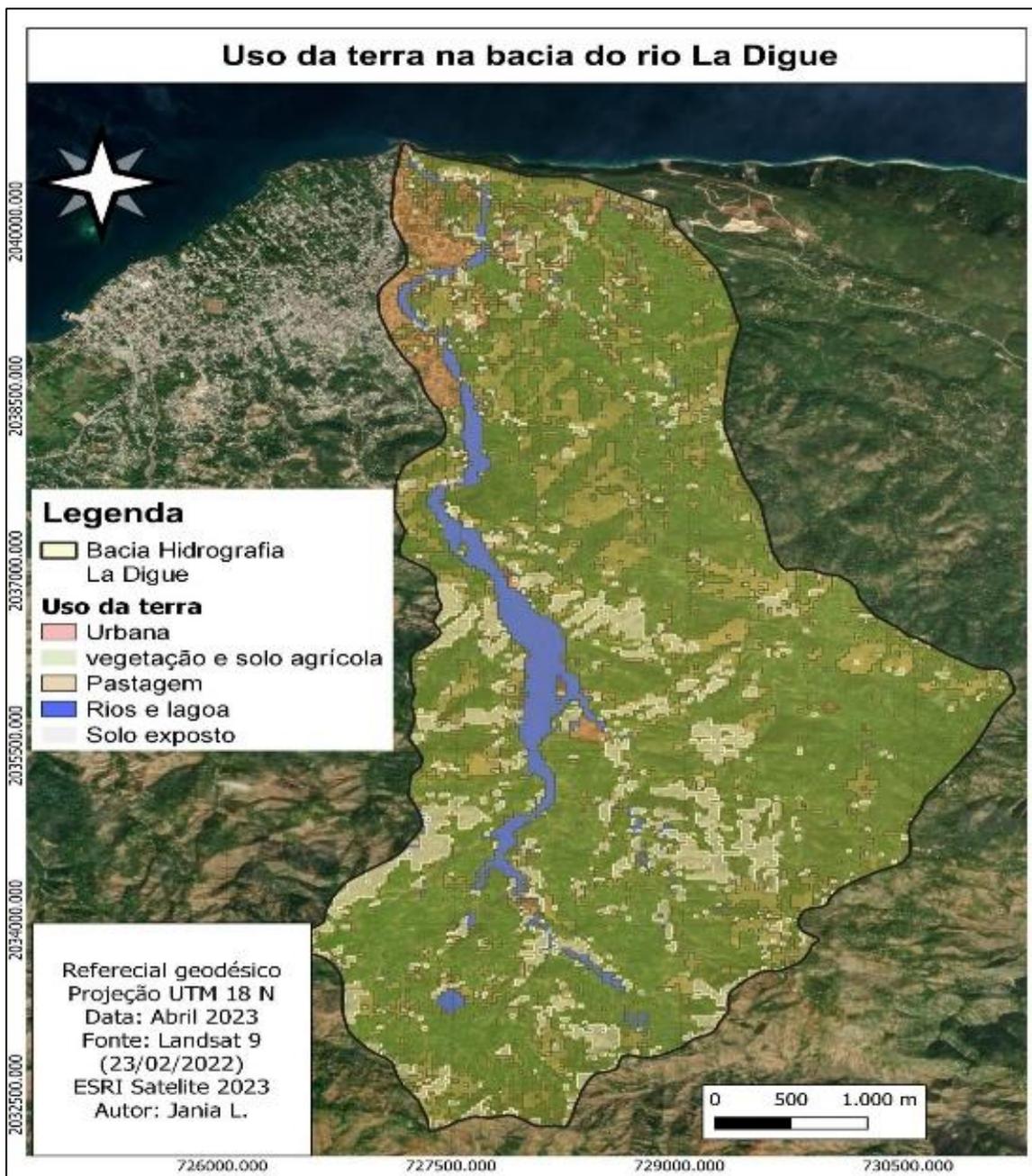
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 21 - Mapa da planície de inundação do rio La Digue



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 22 - Mapa do uso da terra



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

6 HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE PETIT-GOÂVE

Traçar a história das inundações na comuna de Petit-Goâve, representa um grande desafio. Por se tratar de uma cidade interiorana, os jornais diários do país não possuem informações online sobre o passado da cidade em relação aos desastres naturais. No entanto, encontramos informações datadas de 2008 a 2018, intervalo de 10 anos, por meio de rádios e revistas online.

Na maioria dos casos, as inundações ocorrem na cidade associadas a violentos ciclones, tempestades tropicais, que atingem o Haiti, e raramente por chuvas torrenciais. Por exemplo, o ano de 2008 foi considerado como um ano doloroso porque quatro ciclones e tempestades tropicais (Fay: tempestade tropical de 15 a 16 de agosto de 2008, Gustav: ciclone de 25 a 28 de agosto, Hanna: tempestade tropical de 1 a 4 de setembro, Ike: ciclone de 5 a 8 de setembro de 2008) atingiram sucessivamente o Haiti, causando vários milhares de mortos e desaparecidos em todo o país. A situação não era tão diferente na comuna de Petit-Goave, porque segundo a organização internacional Concert-Action, 4 setembro de 2008, a comuna de Petit-Goâve está atualmente inacessível para carros e, enquanto não forem iniciadas as obras de recuperação das estradas, será difícil entregar as ajudas necessárias às vítimas. Também será difícil evacuar os pacientes do Petit-Goâve que vão ao Centro de Saúde e cujo estado requer cuidados mais específicos (PRYSTHON, 2008). De fato, há vários anos, o Concert-Action dá apoio a essas comunidades carentes nas áreas de saúde comunitária, água potável e agricultura. As reivindicações são de magnitude excepcional, a economia de vários municípios ficou paralisada por meses (PRYSTHON, 2008).

Em 25 de outubro de 2012, a tempestade Sandy causou inundações no sul do país, e a comuna de Petit-Goave também foi afetada, o que levou os Petit-Goaviens a deplorar a situação. Para ajudá-los, a Direção de Proteção Civil do Haiti evacuou três assentamentos, Fond-fabre, Place Soulouque e La Céboanle, onde vivem cerca de cem pessoas (UN-MINUDTHA, 2012).

Em 2013, as cheias do rio La Digue teriam levado um jovem, segundo as testemunhas. Buscas foram realizadas com vistas à possível localização do corpo. A Secretaria Permanente de Gestão de Riscos e Calamidades apelou à prudência dos habitantes das áreas de risco, indicando que as chuvas se manteriam abundantes nos dias seguintes (KISKEYA, 2013).

De 3 à 4 de outubro de 2016, as chuvas que acompanharam o furacão Matthew causaram grandes inundações em várias cidades do sul da península. A metade sul do Haiti, a região mais atingida pelo furacão, foi isolada do resto do país, segundo as autoridades de Petit-Goâve após

o desabamento de uma ponte sobre La Digue. Isso causou danos às redes rodoviárias, bloqueando a Estrada Nacional nº 2, o único acesso rodoviário aos departamentos de Grand'Anse, Nippes e Sul. Grande parte da rede elétrica de todo o sul da península foi gravemente afetada e as redes de telecomunicações ficaram inoperantes. O furacão destruiu a grande maioria da produção agrícola (LE TEMPS,2016).

Em 7 de maio de 2017, mais de trinta casas foram inundadas e várias cabeças de gado desapareceram nas localidades de "Courbe Raphaël" e "Fond-Fable". Estas localidades situam-se na 12ª zona comunal de Petit-Goâve. O prejuízo registrado foi resultado das chuvas que caíram sobre a cidade no período. Famílias que tiveram suas casas inundadas abandonaram seus domicílios, sem ter um destino definido, pedindo ajuda às autoridades do país (RAYMOND, 2017).

As chuvas que caíram de 4 a 5 de maio de 2018 causaram inundações em diferentes localidades de Petit-Goâve, onde vários rios inundaram. Os agricultores e a população anunciaram dias de protesto na estrada nacional nº 2 com vista a obrigar os funcionários a iniciarem os trabalhos de limpeza, drenagem, gabionagem de todos os rios da primeira zona de Petit-Goâve. A água da chuva acumulada não conseguia escoar devido à falta de canalização e alagou as casas dos moradores locais. Estes últimos criticam a falta de visão da Câmara Municipal que não tem sabido tomar medidas preventivas (MATHIEU,2018).

As recentes chuvas torrenciais que caíram sobre o departamento do Oeste e seus arredores, em 18 de setembro de 2019, causaram a morte de duas pessoas na cidade de Petit-Goâve, outras quatro ficaram desaparecidas, enquanto 30 casas foram completamente destruídas, outras 55 danificadas e 240 inundadas, segundo informações do correspondente de rádio Kiskeya, morador da cidade. Segundo o relatório do coordenador técnico da Defesa Civil, Enrico Claude, esta inundações ocorreu sobretudo devido à degradação do solo sob a forma de erosão. Claude explica que montes de areia e terra invadiram as casas dos moradores de Petit-Goâve. O escoamento do alúvio causou danos, assim como as águas torrenciais. As autoridades locais, que têm feito tentativas de encontrar retroescavadeiras para limpar os espaços obstruídos por lama e aluvião, solicitaram a intervenção do Estado central nessa difícil situação (LEBRUN, 2019).

Na noite de 18 para 19 de outubro de 2019, o município de Petit-Goâve ainda estava debaixo d'água. Dezenas de famílias foram evacuadas para o centro de acolhimento instalado no Liceu Faustin Soulouque, casas foram destruídas e uma dezena de cabeças de gado foi levada

pela água. Além disso, o assessor do prefeito aproveitou para pedir ao governo alimentos, água, roupas, colchões e kits de higiene para pessoas em dificuldade, que somam cerca de 140 (

7 HIDROGEOMORFOLOGIA NA COMPREENSÃO DAS INUNDAÇÕES DO RIO LA DIGUE

7.1 PARAMETROS MORFOMÉTRICOS

A primeira coisa a se levar em consideração na análise dos parâmetros geomorfológicos são os parâmetros geométricos que incluem a superfície topográfica e o perímetro de escoamento, etc. Como resultado, a área da bacia hidrográfica do rio Digue é igual a 21,02 km². E o perímetro da bacia hidrográfica de La Digue que foi medido por técnicas de digitalização usando o software de mapeamento (QGIS) é igual a 22,944 km.

A morfometria da bacia influencia muito a distribuição temporal da vazão dos canais, garantindo a função de transferência dos volumes de água para o exutório. Os principais parâmetros calculados para a bacia do rio La Digue são apresentados na Tabela 6.

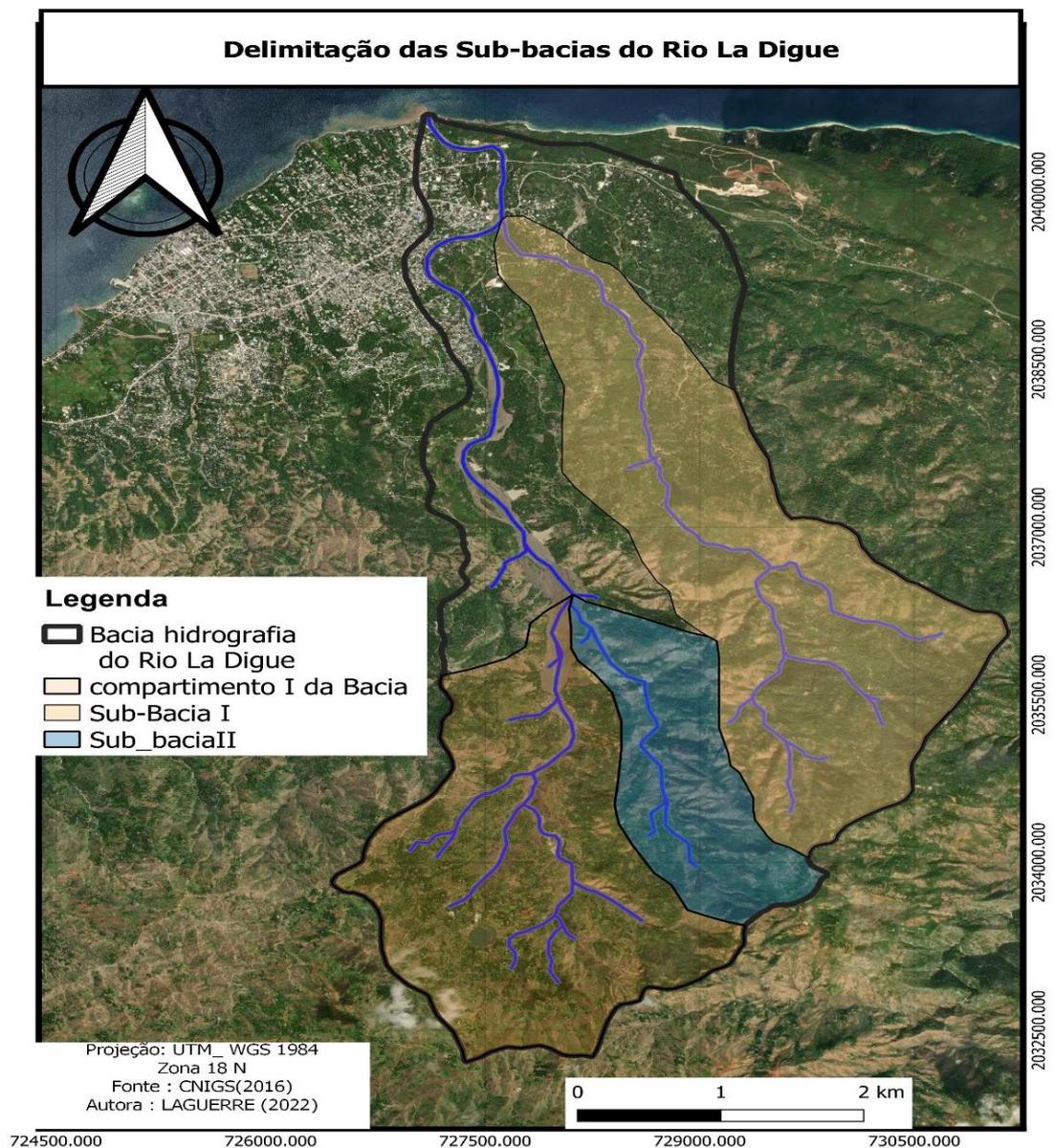
Tabela 6: Parâmetros morfométricos da bacia do rio La Digue

Amplitude altimétrica	1.086 m
Área da bacia	21,02 km ²
Comprimento da bacia	8,511 km
Perímetro	23 km
Comprimento do canal principal	8,395 km
Hierarquização Fluvial	1 ^a ordem = 0,445 km 2 ^a ordem = 1,038 km 3 ^a ordem = 5,493 km 4 ^a ordem = 1,325 km
Fator de forma	0,29 m ² /m
Índice de compacidade de Gravelius	1,40
índice de circularidade	0,5
Densidade hidrográfica	0,99 canais/km ² .
Densidade de drenagem	0,39
Coefficiente de manutenção	0,256
Relação de relevo	129,36 m/km

+Índice de sinuosidade	1,28
------------------------	------

A bacia hidrográfica do rio La Digue é composta de três (3) sub-bacias. A determinação de parâmetros morfométricos dessas subunidades é muito importante, para saber a que contribui mais durante os momentos de turbulências meteorológicas, nos processos de escoamento de processos de transporte. A Figura 23 mostra a delimitação de cada sub-bacias.

FIGURA 23- Mapa de delimitação das sub-bacias La Digue



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Tabela 7 - Parâmetros morfométricos das Sub-Bacias

	Sub-Bacia I	Sub-Bacia II	Compartimento I
Área da bacia	7,011km ²	2,334 km ²	5,824 km ²
Largura da bacia	2,118 km	0,793 km	1,883km
Comprimento da bacia	6,061 km	3,074 km	4,167 km
Perímetro	14,95 km	7,734 km	12 km
Comprimento do canal principal	5,359 km	2,612 km	2,882km
Fator de forma	0,19 m ² /m	0,24 m ² /m	0,33 m ² /m
Índice de compacidade	1,58	1,41	1,39
índice de circularidade	0,39	0,49	0,5
Densidade hidrográfica	0,85 canais/km ²	0,85 canais/km ² .	1,2 canais/km ²
Densidade de drenagem	0,76 km/km ²	1,12 km/km ²	0,49 km/km ²
Coefficiente de manutenção	1,31	0,89	2,04

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

De acordo com a fórmula de Gravenius, quando a bacia hidrográfica tem um índice de compacidade entre 1,00 e 1,25 (K_c : 1,00 – 1,25), a bacia hidrográfica tem uma alta propensão a grandes inundações; se o índice de compacidade estiver entre 1,25 e 1,50 (K_c : 1,25 – 1,50), a bacia hidrográfica com tendência média a alta de inundações, e no caso o índice for maior que 1,5 ($K_c > 1,50$), a bacia não é sujeita a grandes inundações (VILELLA; MATTOS,1975). Assim, no caso da bacia hidrográfica do rio La Digue, o coeficiente de compacidade (K_c) é igual a 1,40, isso quer dizer, ela tem tendência média a alta de inundações. Por outro lado, na sua sub-bacia I, o coeficiente é igual a 1.58, maior que 1.5, isto significa que a sub-bacia não está sujeita a grandes inundações. E no caso da segunda sub-bacia e no compartimento I, elas têm um índice respectivamente: $K_c = 1,41$; $K_c = 1,39$, isso mostra que essas sub-bacias são sensíveis com a tendência média a alta de inundações, assim compreendemos, e elas contribuem mais no caso de enchente.

Em relação ao fator de forma, o resultado obtido para a bacia hidrográfica do rio La Digue é $F = 0,29$, o que significa que em condições normais de precipitação, são pouco sensíveis a inundações. E para suas sub-bacias, os resultados são quase próximos um do outro, seus

fatores de forma são respectivos e $F1 = 0,19$; $F2 = 0,24$; $F3 = 0,33$, isso confirma que é o compartimento I que é mais sensível a inundações em condições normais de precipitação, ele é mais contribui para a distribuição das inundações em condições meteorológicas variáveis. Portanto, para reforçar os resultados das características morfométricas, adiciona-se o índice de circularidade, daí para a bacia principal, $IC = 0,5$, que são respectivamente iguais a: 0,38; 0,49; 0,5.

A densidade hidrográfica representa o número de cursos d'água por unidade de área, portanto, no caso da bacia hidrográfica do La Digue e suas sub-bacias, a quantidade de canais por área é baixa. Isso indica que a capacidade dessa bacia e suas sub-bacias em gerar novos cursos d'água é muito baixa, pois são menores que $3,00$ canais/km². Neste trabalho foi possível obter uma densidade hidrográfica de $0,99$ canais/km² para a bacia principal, e respectivamente: $0,85$ canais/km²; $0,85$ canais/km²; $1,2$ canais/km² foi encontrado para as sub-bacias de acordo com as regras estabelecidas por Lollo (1995).

A densidade de drenagem é um parâmetro utilizado para pré-avaliação em estudos de regionalização ou transposição de dados hidrológicos entre bacias de uma região, pois permite avaliar as semelhanças de escoamento entre bacias hidrográficas de tamanhos diferentes. Segundo Villela e Matos (1975), o critério da classificação de densidade drenagem depende do resultado:

Bacias com drenagem pobre $\rightarrow Dd < 0,5$ km/km²

Bacias com drenagem regular $\rightarrow 0,5 \leq Dd < 1,5$ km/km²

Bacias com drenagem boa $\rightarrow 1,5 \leq Dd < 2,5$ km/km²

Bacias com drenagem muito boa $\rightarrow 2,5 \leq Dd < 3,5$ km/km²

Bacias excepcionalmente bem drenadas $\rightarrow Dd \geq 3,5$ km/km²

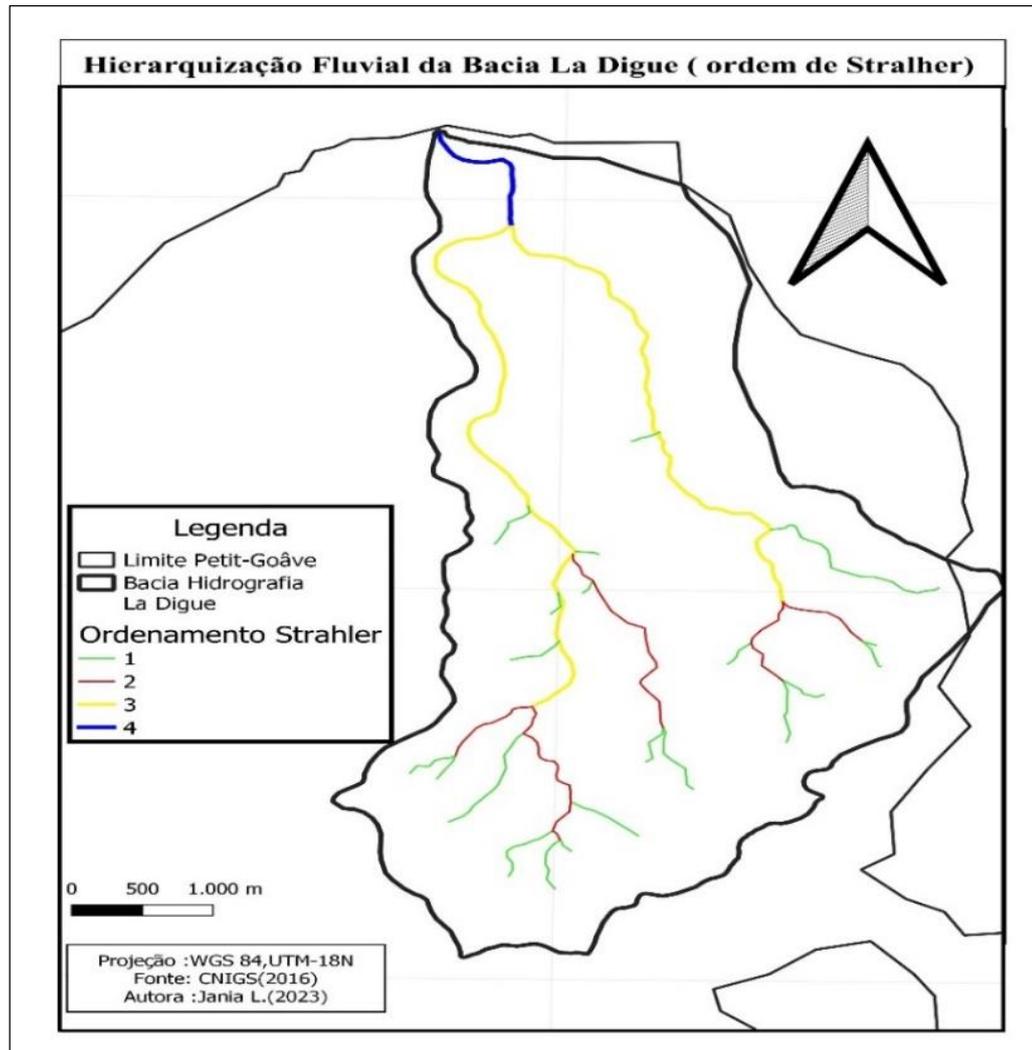
Então, a densidade de drenagem da bacia do rio La Digue é igual a $0,39$ km/km², inferior a $0,5$. Portanto, a bacia hidrográfica do rio Digue apresenta-se um valor de baixa densidade de drenagem. Por outro lado, a primeira sub-bacia apresenta-se um valor ligeiramente superior, caracterizando-se como uma bacia hidrográfica com média densidade de drenagem do compartimento I com baixa densidade de drenagem igual $0,49$. Além disso, a segunda sub-bacia apresenta uma densidade de drenagem regular igual a $1,12$. Então, o fato é que as bacias

hidrográficas de La Digue e suas 2 sub-bacias têm drenagem deficiente, o que se explica principalmente pela composição do solo dessas bacias, que apresentam, na maioria delas, solo arenoso misturado com lodo. De facto, o clima, a pedologia, a utilização do solo pelo homem, o coberto vegetal, são fatores que influenciam a sua densidade de drenagem.

Outro parâmetro importante da qualidade da rede de drenagem de uma bacia é o coeficiente de manutenção (C_m), calculado pela razão inversa da densidade de drenagem e que fornece a superfície mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de drenagem (SCHUMM, 1956). Assim, no que diz respeito ao equilíbrio hidrodinâmico das duas sub-bacias, os resultados obtidos indicam que são necessários $2,56 \text{ m}^2$ de superfície para preservar cada metro do canal principal, contra $1,31 \text{ m}^2$ de superfície para preservar cada metro da primeira sub-bacia, $0,89$ para a segunda e $2,05$ para o compartimento I da bacia. Ou seja, o tipo de uso e cobertura podem influenciar na capacidade de produção de água da lagoa.

Através da Figura 24, constatou-se que está bacia hidrográfica é uma bacia pequena tanto em extensão quanto em área e de formato alongado, com hierarquia fluvial de ordem 4 com 21 tributários e bem distribuídos em fluxo dendrítico. E uma densidade de drenagem que é baixa devido à influência da litologia, uma densidade hidrográfica que prova que a bacia não tem grande capacidade de gerar novos canais

FIGURA 24- Mapa de hierarquização fluvial de la Digue



Fonte: Elaborado pela autora (2022)

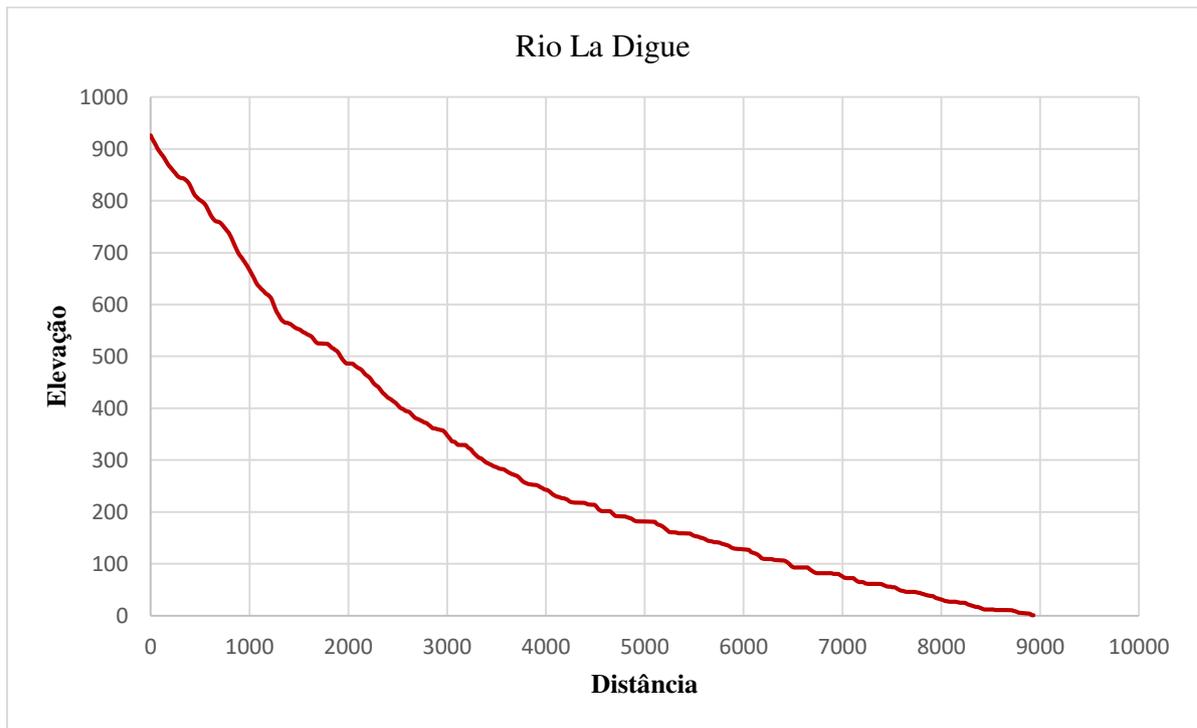
7.2 Perfis topográficos

O perfil longitudinal e transversal (perpendicular à rede hidrográfica) são elementos fundamentais no diagnóstico do funcionamento do curso de água e da relação entre o leito menor e o leito maior. Permitem compreender os níveis de base fluviais e as rupturas de declives que definem o relevo dos vales, por isso é uma ferramenta que possibilita encontrar “anomalias” topográficas presentes na superfície, a partir da observação da concavidade natural do perfil.

Assim, foram traçados os perfis longitudinais do rio La Digue e dos diferentes canais que desaguam no canal principal. A bacia hidrografia do rio La Digue tem um comprimento total de 8.015m. Este rio tem a sua nascente a uma altitude mais de 926 m e flui para o Norte

onde encontra seu principal afluente, o rio Provence. Ao longo do rio principal, encontramos vários canais afluentes, dos quais foram traçados os perfis longitudinais. Além disso, ao longo do perfil observamos uma forma côncavo, próximo ao equilíbrio, com poucas rupturas se declive, mas com uma evidente planície a partir de aproximadamente 8500m (FIGURA 25).

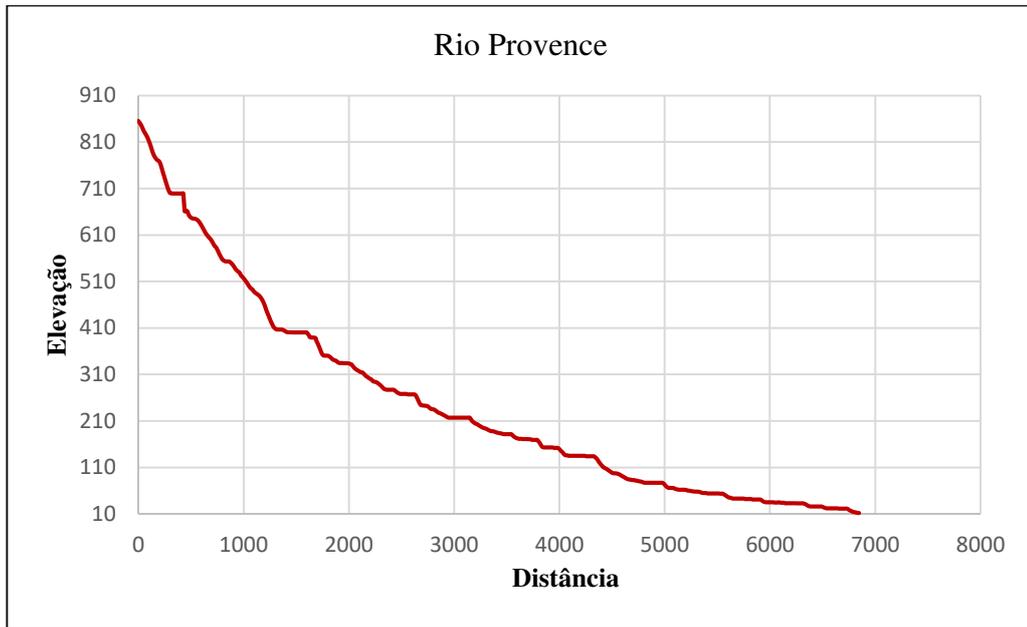
FIGURA 25- Perfil Longitudinal do rio La Digue



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O perfil longitudinal do rio Provence (FIGURA 26), que é um rio secundário que desagua no rio La Digue mostra uma elevação máxima de 854 metros, com uma extensão de aproximadamente 6402 metros. Sua forma geral, tende a uma curva função logarítmica o que denota que este canal se aproxima do perfil de equilíbrio. Todavia, há rupturas de declive e trechos muito inclinados a última extensão começa a parte de 310 m, apresenta forte possibilidade de erosão, principalmente na parte superior e que chega no La Digue quase no nível do mar. É um rio com maior gradiente.

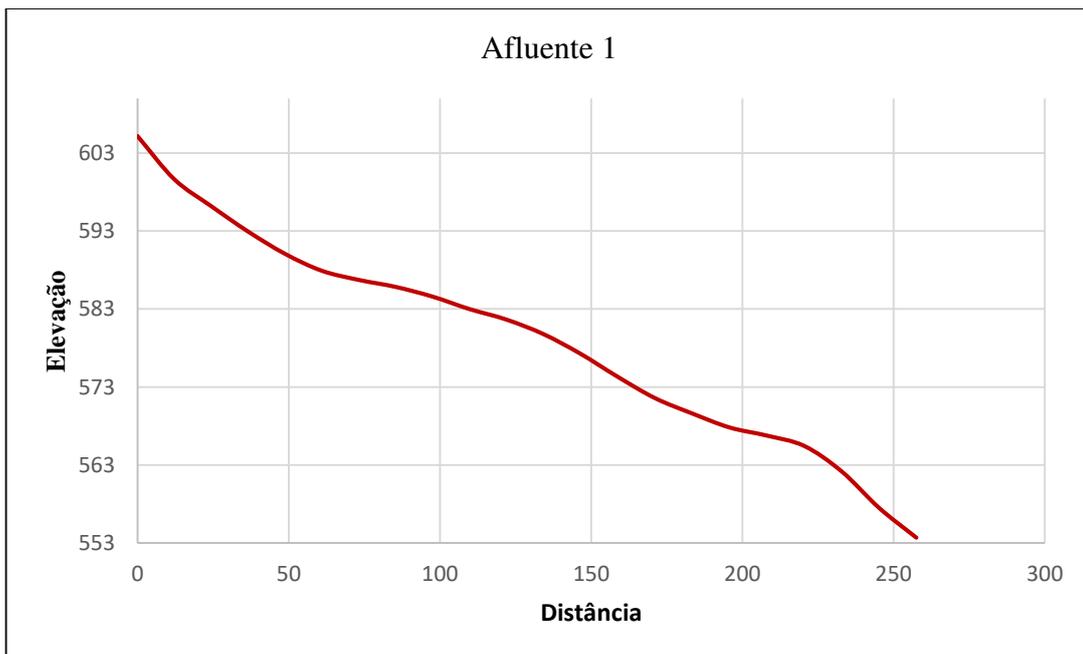
FIGURA 26- Perfil Longitudinal do rio Provence



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 1 (FIGURA 27) do rio La Digue, tem uma altitude máxima de 606 metros e uma distância de aproximadamente 257 metros. Além disso, a declividade é 0,20. O perfil mostra que este canal também não está em estado de equilíbrio, o que confirma que a situação não tem estabilidade, então pois as encostas localizadas a montante são muito íngremes.

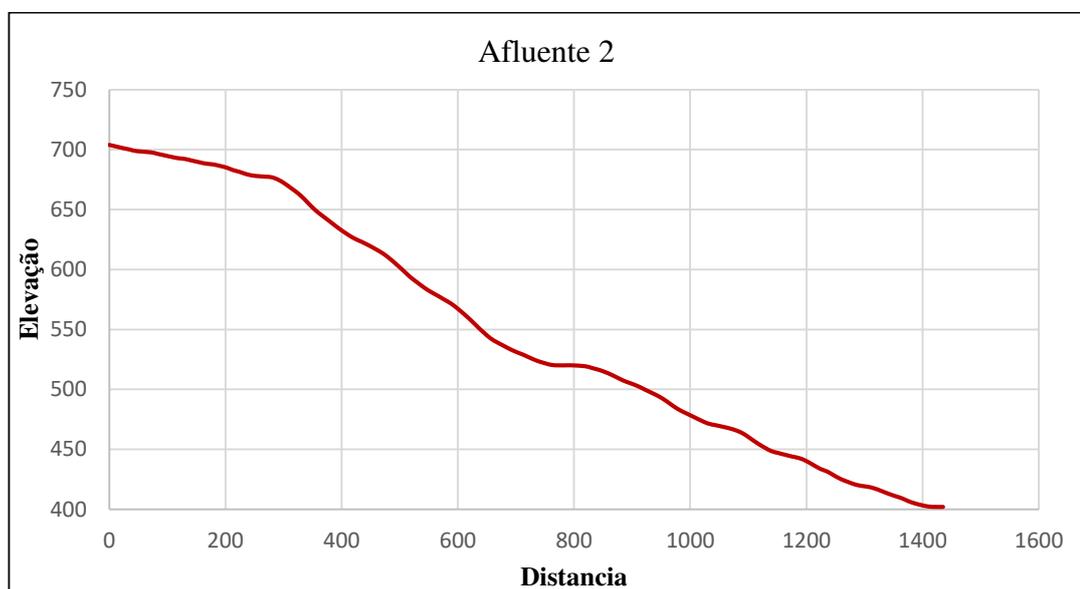
FIGURA 27 - Perfil Longitudinal do afluente 1



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 2 (A FIGURA 28) mostra o perfil longitudinal do rio La Digue. Ele se eleva a uma altitude máxima de 703 metros e possui uma extensão de aproximadamente 1400 metros e uma declividade de 0,22. O perfil apresenta diversas irregularidades e rupturas de declive que, de um modo geral, indicam forte erosão. Seu trecho superior encontra-se em um patamar altimétrico elevado, com pequenas rugosidades. A partir de 200m de extensão, o rio inicia um segmento retilíneo de grande declividade, até atingir o nível de base (oceano) aproximadamente na marca dos 1435m. Com as vertentes muito acentuadas, o transporte de partículas erodidas é muito ativo o que resulta na deposição de sedimentos a jusante deste canal.

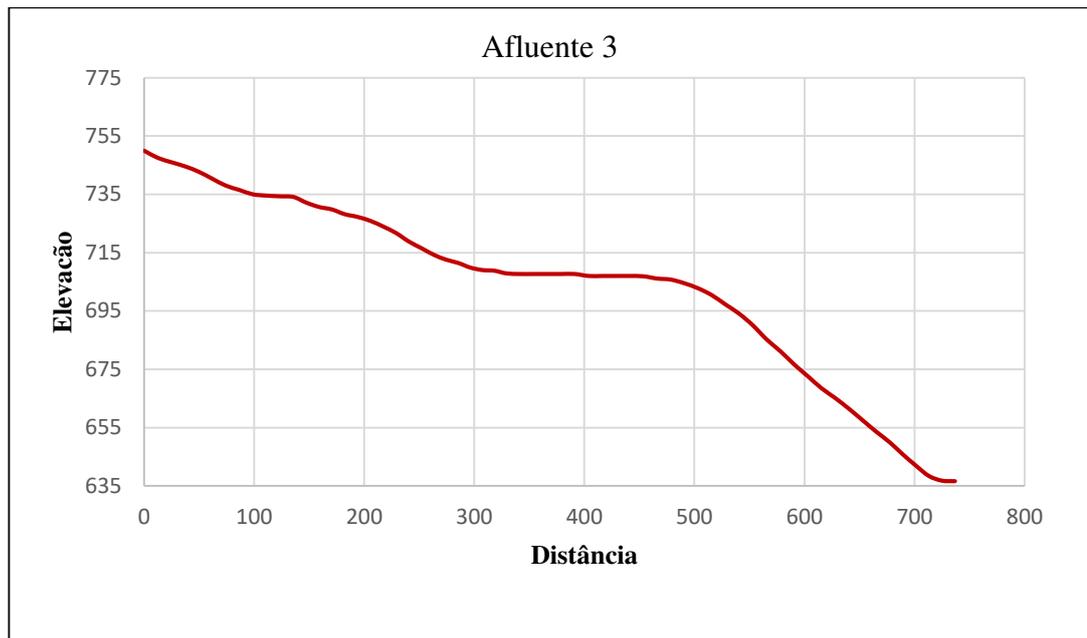
FIGURA 28- Perfil Longitudinal do afluente 2



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No perfil longitudinal do afluente 3 (FIGURA 29) tem-se uma altitude de 749 metros na sua nascente, com uma extensão aproximada de 748 metros com a declividade em média de 0,18. A partir de 500 m de extensão, este canal inicia um segmento retilíneo de grande declividade, até atingir o nível de base. Com as vertentes muito acentuadas, o transporte de partículas erodidas é muito ativo o que mostra que este canal contribui na deposição de sedimentos a jusante da bacia

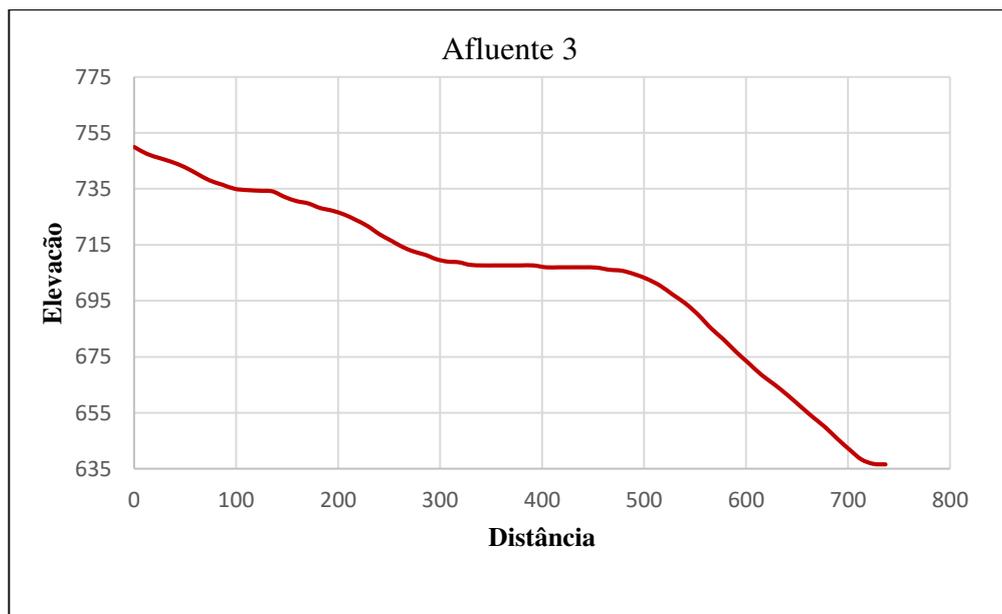
FIGURA 29 - Perfil Longitudinal do afluente 3



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 4 (FIGURA 30) do La Digue tem uma altitude máxima de 807 metros e uma distância total de cerca de 757 metros, com a declividade de 0,24. O perfil é praticamente retilíneo, com fraquezas rupturas ao longo da extensão. Entanto, a parte da extensão de 700 m, as zonas deste afluente indicassem a presença do processo erosivo.

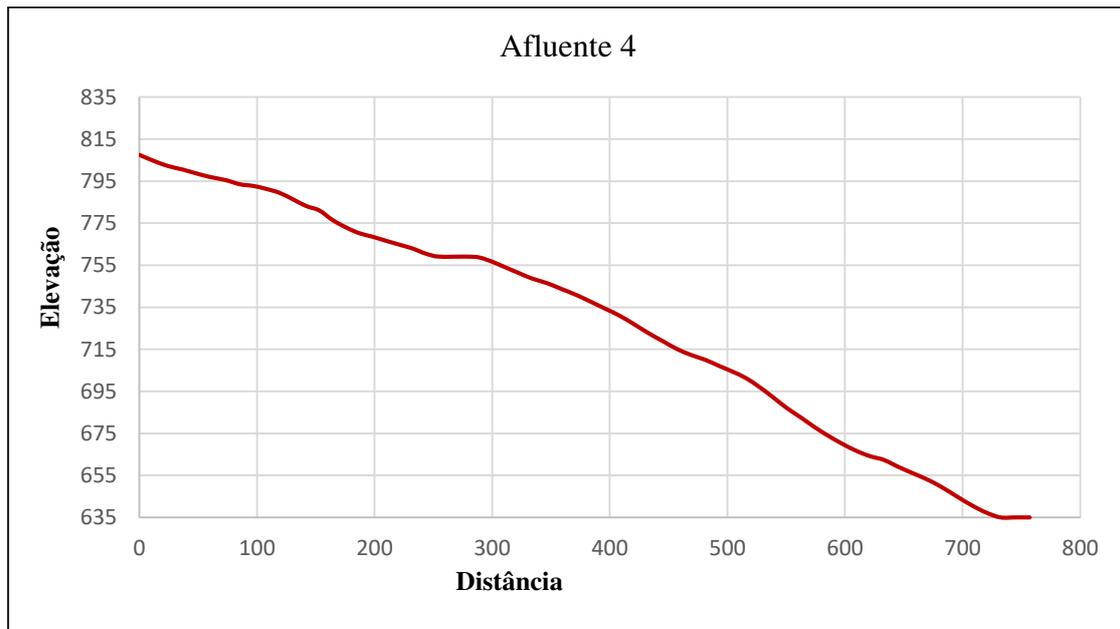
FIGURA 30 - Perfil Longitudinal do afluente 3



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 4 (FIGURA 31) do La Digue tem uma altitude máxima de 807 metros e uma distância total de cerca de 757 metros, com a declividade de 0,24. O perfil é praticamente retilíneo, com fraquezas rupturas ao longo da extensão. Entretanto, a parte da extensão de 700 m, as zonas deste afluente indicassem a presença do processo erosivo.

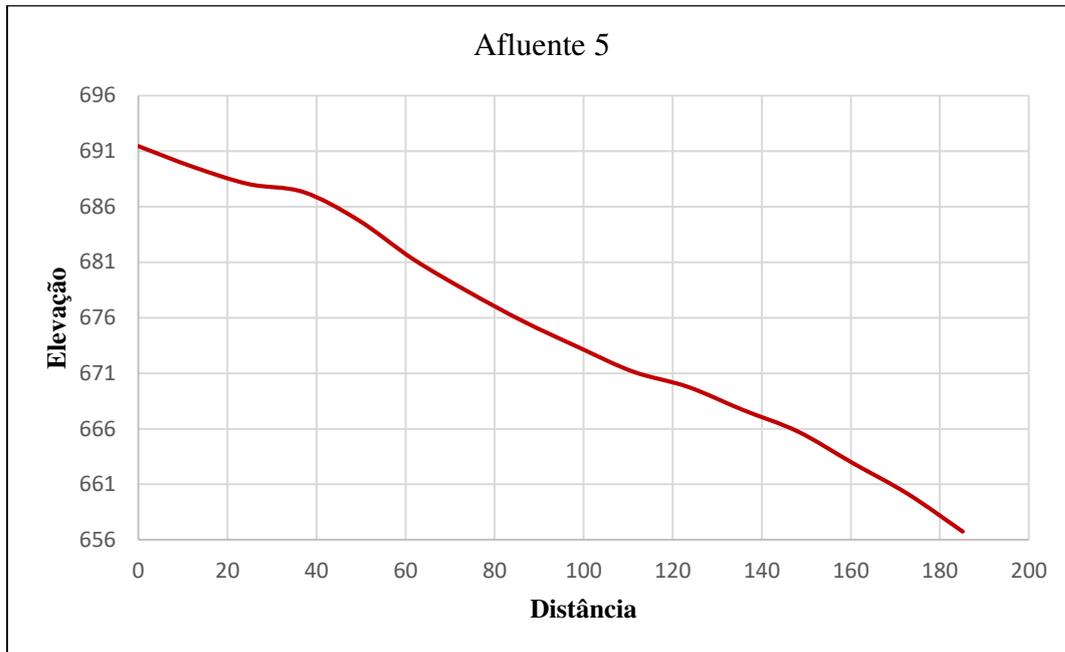
FIGURA 31 - Perfil Longitudinal do afluente 4



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 5 (FIGURA 32) do rio La Digue, tem uma altitude máxima de 691 metros e uma distância de aproximadamente 185 metros. Além disso, a declividade é 0,19. O perfil mostra que este canal também não está em estado de equilíbrio, as encostas localizadas na parte final deste afluente são íngremes.

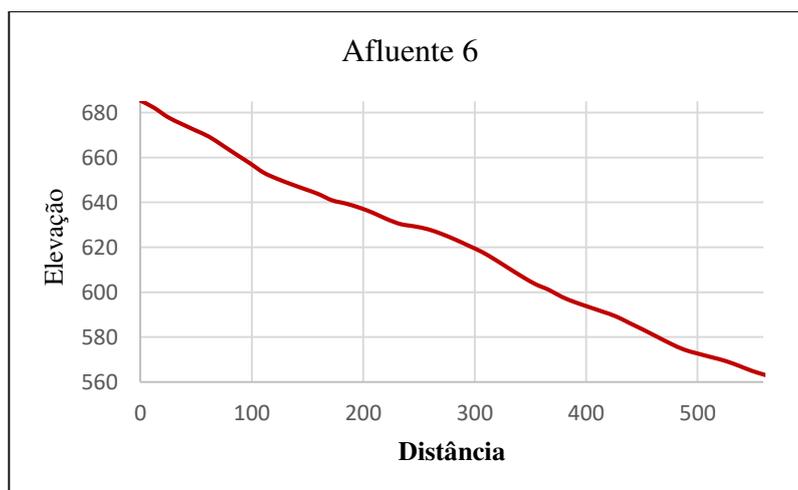
FIGURA 32-Perfil Longitudinal do afluente 5



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 6 (FIGURA 33) do La Digue tem uma altitude máxima de 685 metros e uma distância total de cerca de 585 metros e a declividade em média é 0,21. O perfil é praticamente retilíneo, com pequenas rupturas em alguma área, o que mostra há pequenas irregularidades neste afluente. Com as encostas muito íngremes, possui a erosão e transporte sedimentar muito ativos.

FIGURA 33– Perfil Longitudinal do afluente 6

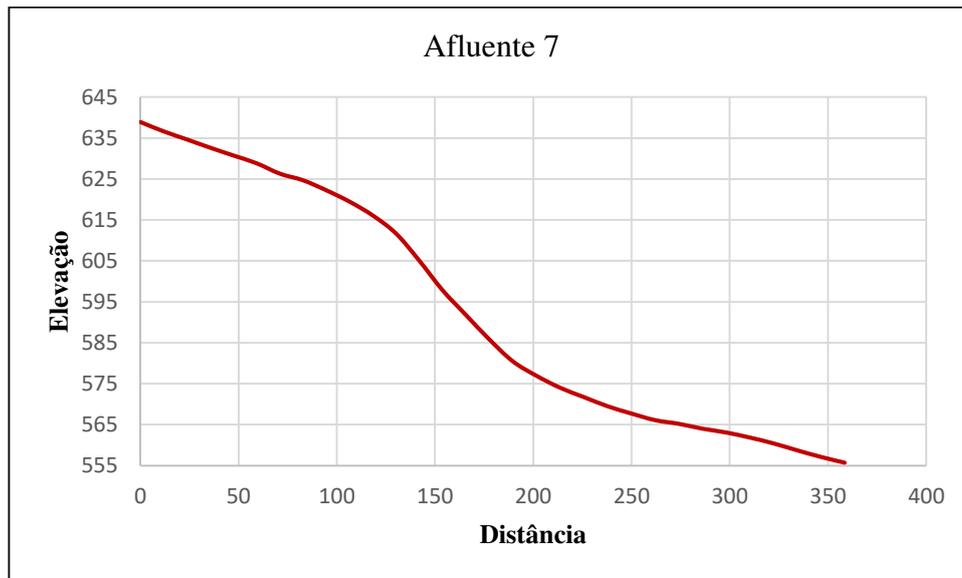


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 7 (FIGURA 34) do rio La Digue, tem uma altitude máxima de 638 metros e uma distância de aproximadamente 358 metros. Além disso, a declividade em média é 0,23. O

perfil mostra que este canal tem uma sequência de alto declive no médio curso, com sucessivos segmentos retilíneos; um segmento côncavo no baixo curso. Então, também não está em estado de equilíbrio, então pois as encostas localizadas ao meio são muito íngremes, isso mostra que a erosão é ativa.

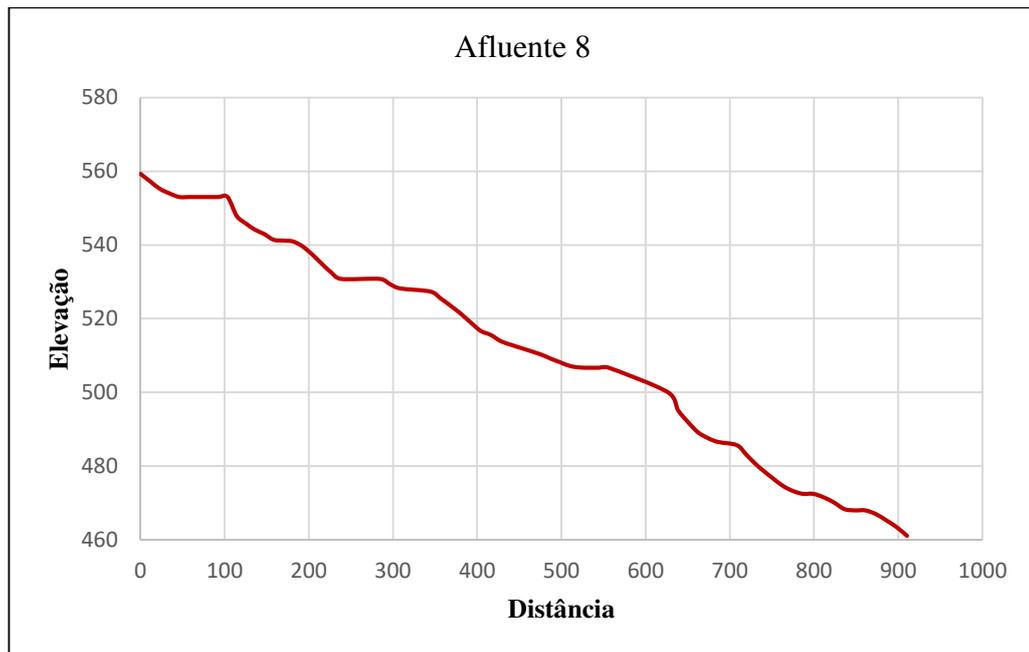
FIGURA 34- Perfil Longitudinal do afluente 7



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O perfil longitudinal do afluente 8 (FIGURA 35) do Rio La Digue tem uma altitude máxima de 559 metros e uma extensão de cerca de 910 metros com a declividade média de 0,13. Ao longo de todo seu curto perfil, a curva apresenta das pequenas irregularidades, com predominância de segmentos quase retilíneos. Então, neste curso a transportaçã sedimentar é ativo

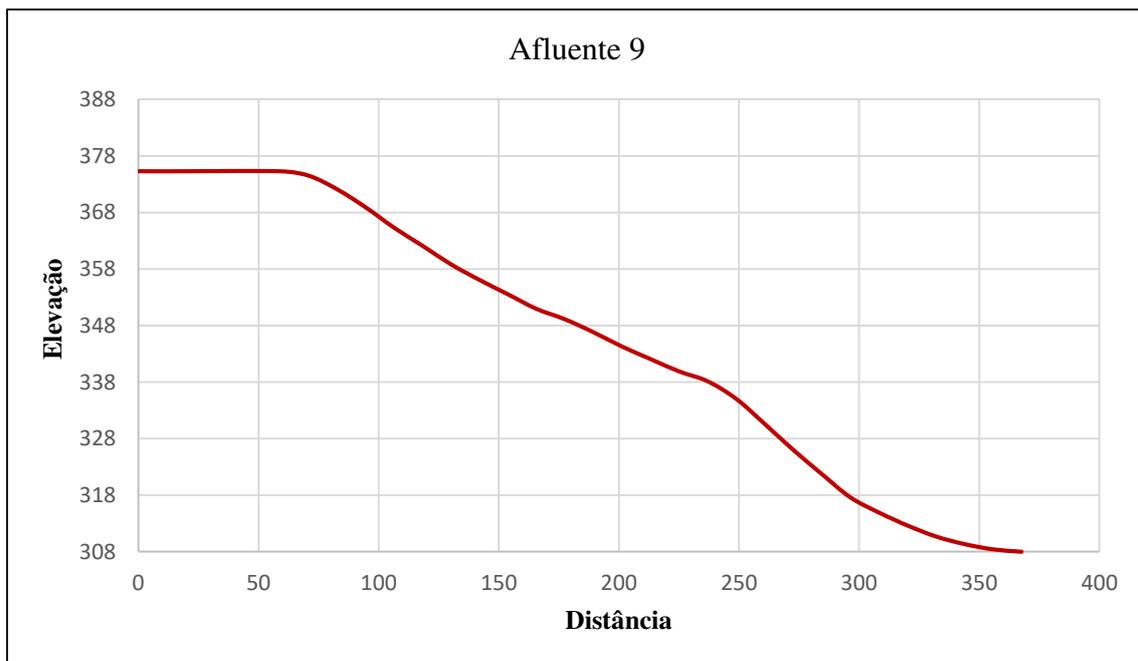
FIGURA 35- O Perfil Longitudinal do afluente 8



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 9 (FIGURA 36) tem uma altitude máxima de 375 metros e uma distância total de cerca de 379 metros. O perfil topográfico tem um patamar de cimeira no meio curso, com sucessivo segmento retilíneo, com uma ligeira inclinação que atinge o nível de base.

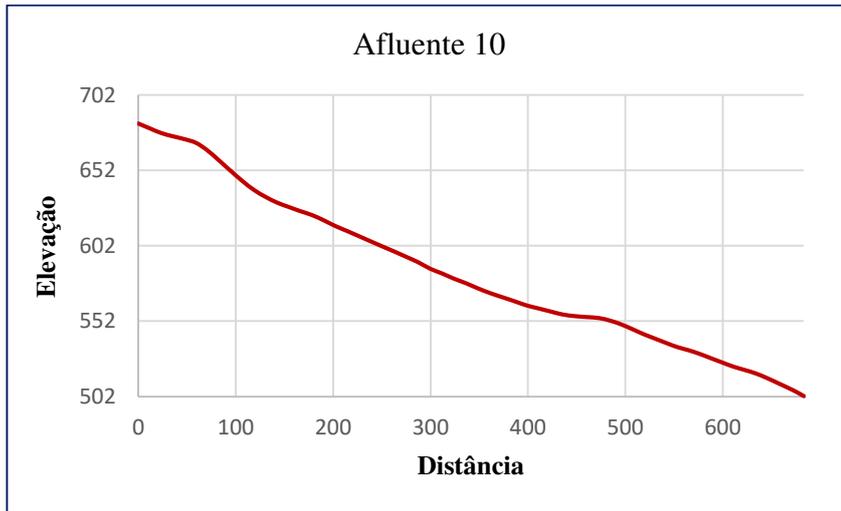
FIGURA 36- Perfil Longitudinal do afluente 9



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

A FIGURA 37, (afluente 10), um afluente do rio Provence, tem uma altitude máxima de 683 metros. O perfil, apresenta uma alteração morfológica a uma distância de 700 metros, denotando uma importante ruptura de declive, que marca a mudança de comportamento do rio, ganhando poder erosivo a jusante da mesma.

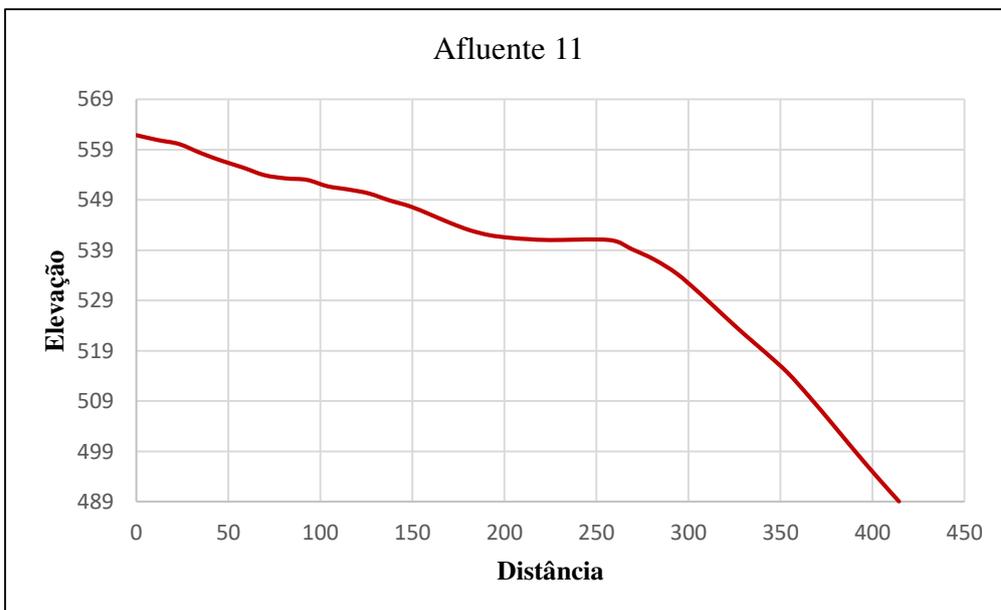
FIGURA 37 – Perfil Longitudinal do afluente 10



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O perfil longitudinal do afluente 11 (FIGURA 38) tem uma altitude máxima de 561 metros e uma extensão de cerca de 414 metros, com a declividade de 0,18. Neste perfil partir 250 m, este canal inicia um segmento retilíneo de forte declive, até atingir a parte final do curso, isso mostra que a erosão é ativa na jusante.

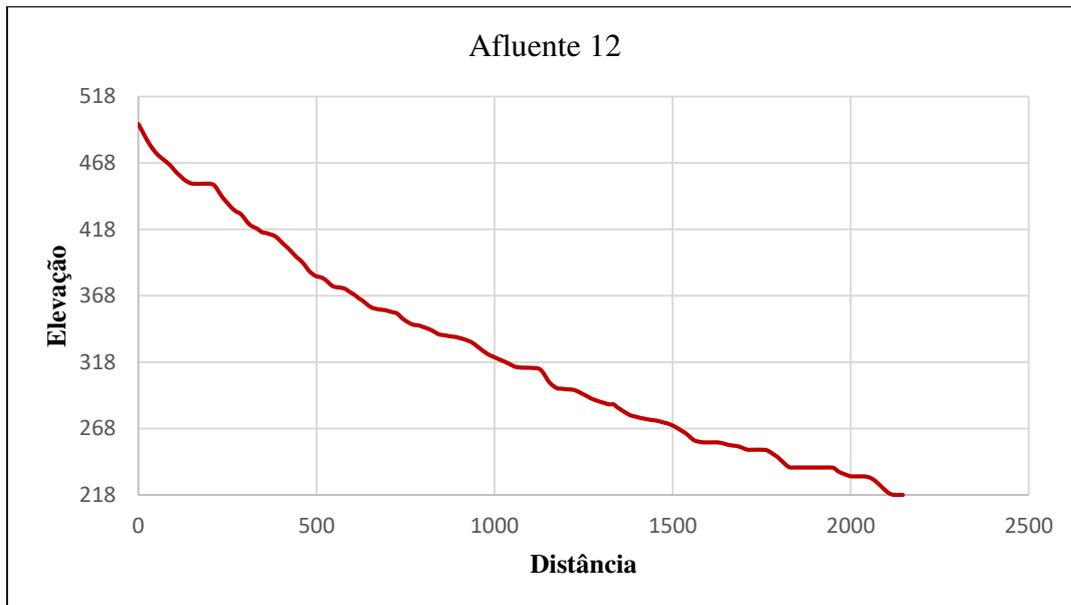
FIGURA 38 -Perfil Longitudinal do afluente 11



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O perfil longitudinal do afluente 12 (FIGURA 39) não apresenta grandes rupturas de declive. Possui uma cota máxima de 497 metros na sua nascente, com uma extensão de aproximadamente 2146 metros. Este perfil mostra as regiões aplanadas levemente irregularidade com pouca convexidade, indicando a presença de erosão do curso superior e transporte extensivo ao longo do curso médio e inferior.

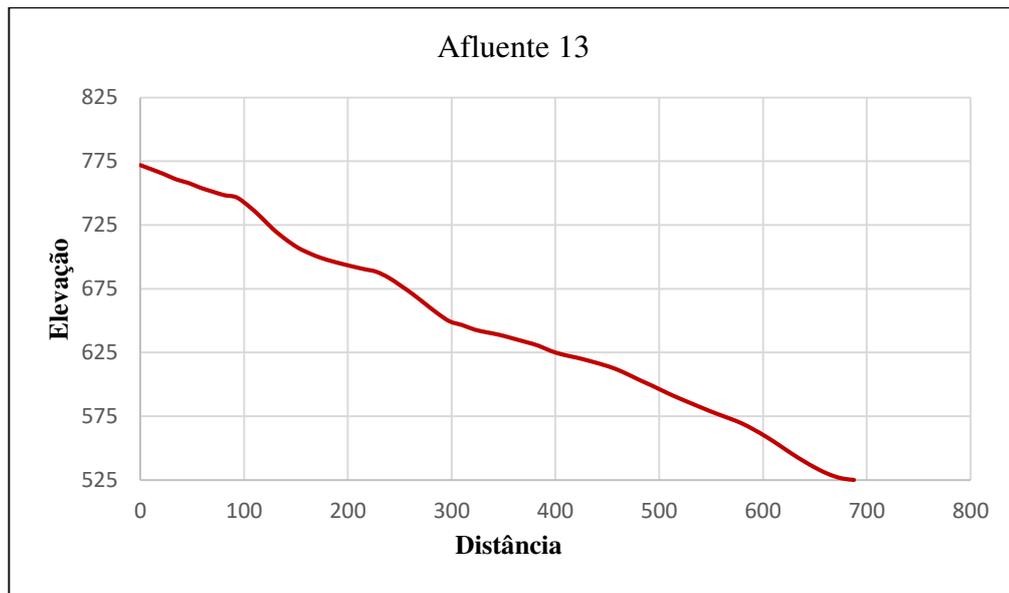
FIGURA 39 - Perfil Longitudinal do afluente 12



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No perfil longitudinal do afluente 13 (FIGURA 40) tem-se uma altitude de 771 metros na sua nascente, com uma extensão aproximada de 687 metros com a declividade em média de 0,15. Ele possui grande alteração morfológica, pois apresenta fortes rupturas de declive e um trecho predominantemente algumas irregularidades no meio do curso até chegar na parte inferior.

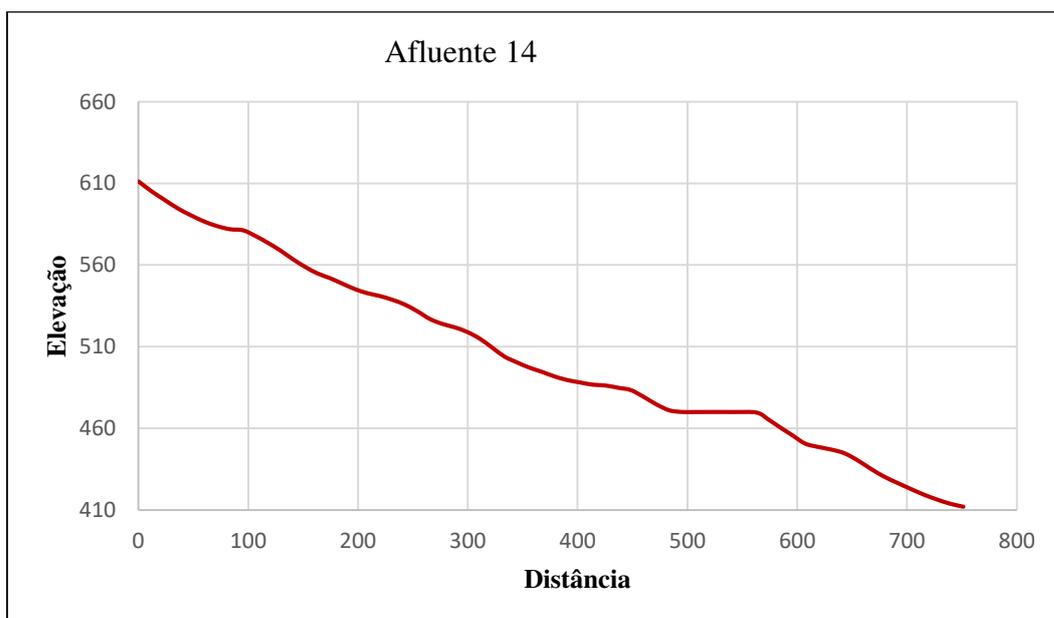
FIGURA 40 - Perfil Longitudinal do afluente 13



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No perfil longitudinal do afluente 14 (FIGURA 41) tem-se uma altitude de 611 metros com uma extensão aproximada de 771 metros com a declividade de 0,29. Ele possui grande alteração morfológica, pois apresenta fortes declive no início e, a parte baixa possui por um trecho predominantemente uma forma côncava com a alternância de forma ligeiramente convexo.

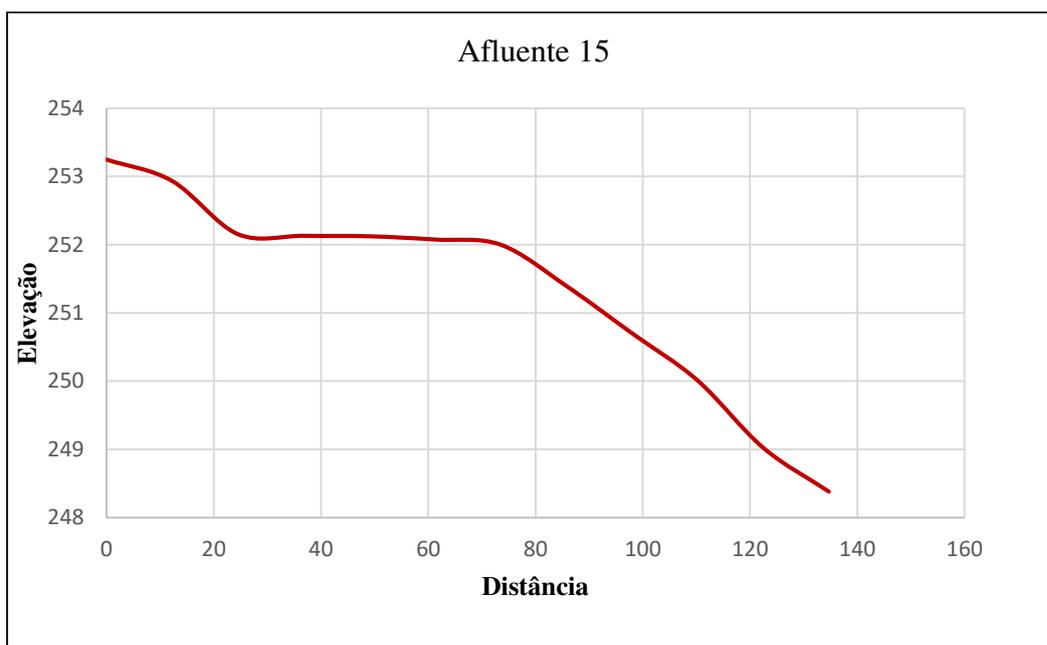
FIGURA 41 - Perfil Longitudinal do afluente 14



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No perfil longitudinal do afluente 15 (FIGURA 42) tem-se uma altitude de 253 metros, com uma extensão aproximada de 134 metros com a declividade de 0,04. Este perfil mostra um segmento retilíneo, ganhando de poder, até chegar na parte final do curso o processo da erosão é ativa.

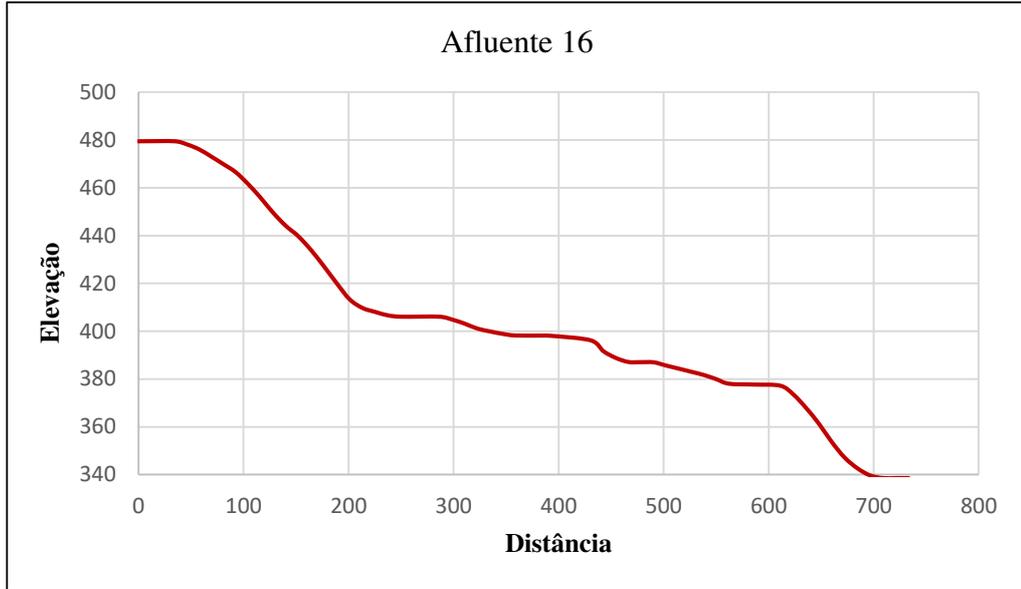
FIGURA 42 - Perfil Longitudinal do afluente 15



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No perfil longitudinal do afluente 16 (FIGURA 43), afluente do rio Provence, evidencia-se uma altitude que vai desde os 478 metros até chegar ao máximo de 733 metros na sua nascente, com um declive de 0,24. A curva do perfil mostra as áreas com quebras fracas e áreas convexas na parte média e na parte inferior, encontra-se um segmento retilíneo, o que indica que neste curso o processo erosivo é ativo.

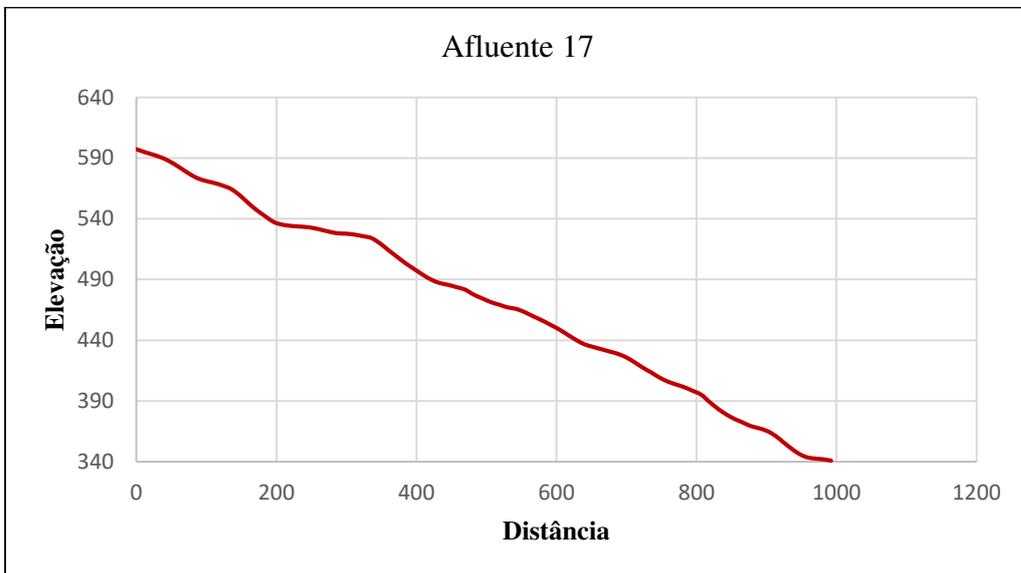
FIGURA 43 - Perfil Longitudinal do afluente 16



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O perfil longitudinal do afluente 17 (FIGURA 44) mostra uma altitude máxima de 597 metros da sua nascente e extensão de 992 metros. O perfil deste canal não é uniforme, com a presença de forte declive até chegar ao nível base.

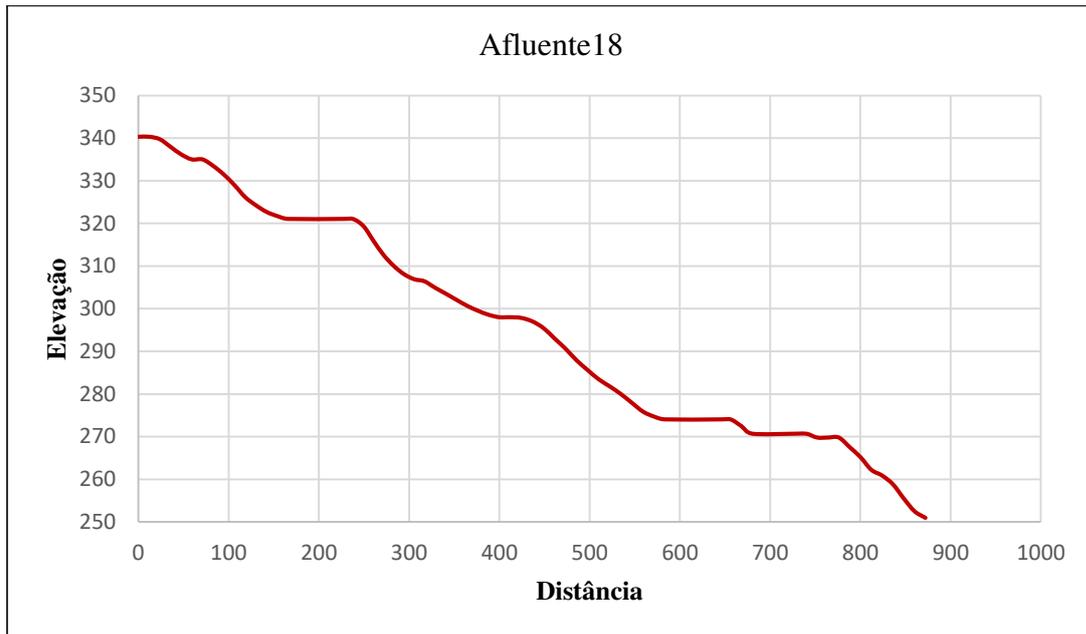
FIGURA 44 - Perfil Longitudinal do afluente 17



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 18 (FIGURA 45) tem uma altitude máxima de 340 metros e um comprimento de aproximadamente 800 metros com a declividade de 0,14. O perfil mostra que este canal também não está em estado de equilíbrio, o que confirma que a situação não tem estabilidade, pois as encostas localizadas a montante até chegar na jusante são muito íngremes.

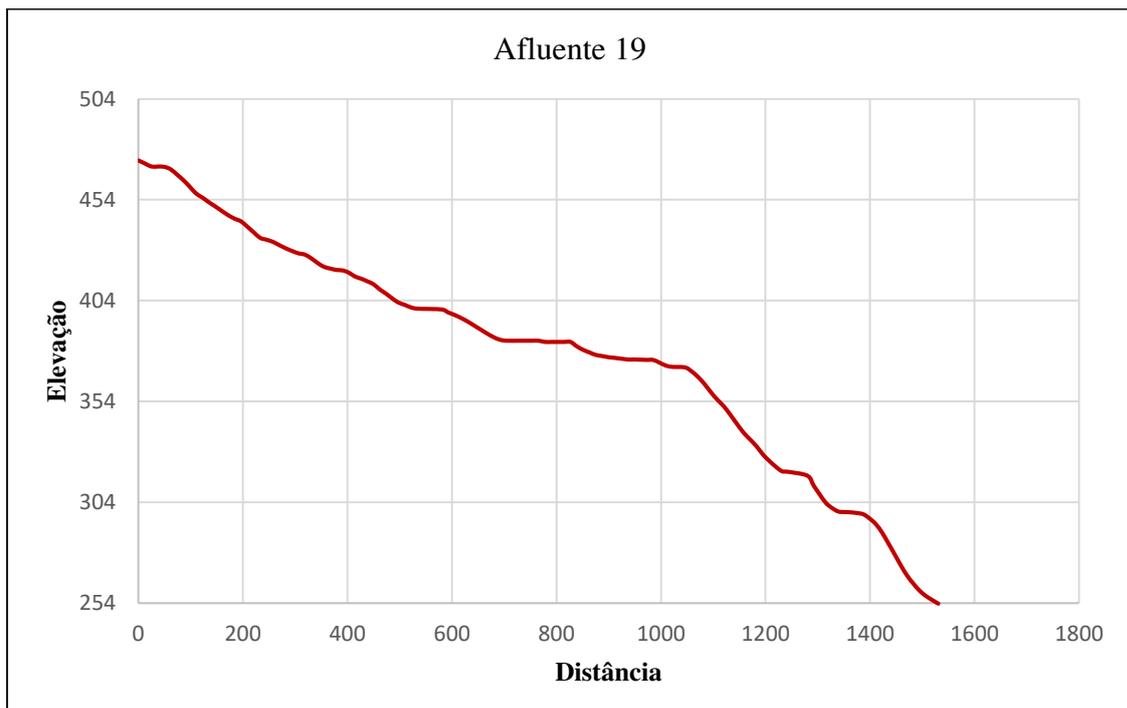
FIGURA 45 - Perfil Longitudinal do afluente 18



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O afluente 19 (FIGURA 46) do rio Provence tem uma altitude máxima de 474 metros. O perfil, apresenta uma alteração morfológica a uma distância de 1530 metros, denotando uma importante ruptura de declive, que marca a mudança de comportamento do rio, ganhando poder erosivo a jusante da mesma.

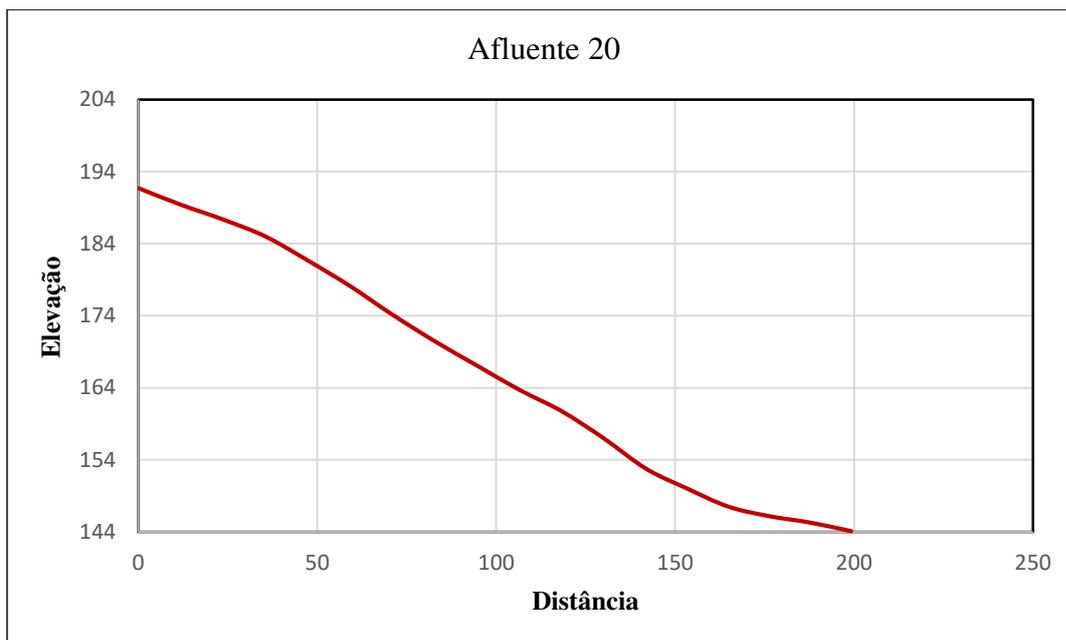
FIGURA 46 - Perfil Longitudinal do afluente 19



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No perfil longitudinal do afluente 20 (FIGURA 47) percebe-se uma altitude máxima de 191 metros e uma distância total de 200 metros. É um dos cursos d'água de nível topográfico mais baixo da bacia. Através do perfil deste afluente, percebem-se trechos que têm uma forma ligeiramente côncava.

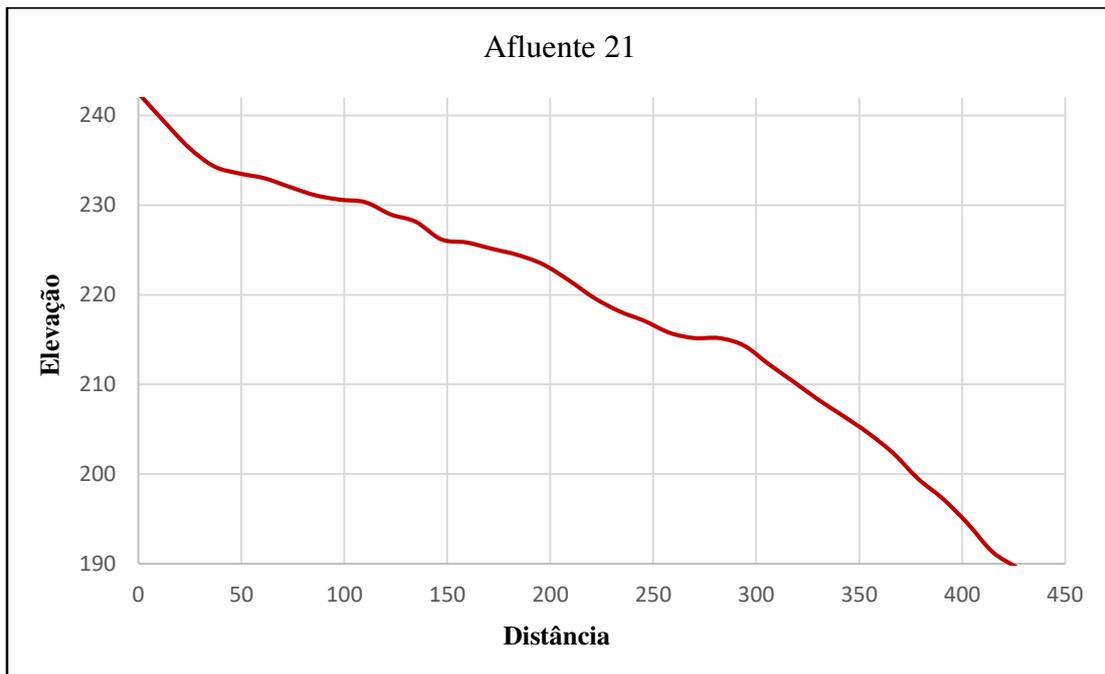
FIGURA 47 - Perfil Longitudinal do afluente 20



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No perfil longitudinal do afluente 21 (FIGURA 48) um afluente percebe-se uma altitude máxima de 242 metros e uma distância total de 426 metros. É um dos cursos d'água de nível topográfico mais baixo da bacia. Através do perfil deste afluente, observamos ao longo dos trechos uma forma ligeiramente côncavos e convexos, e o inferior apresenta um relevo mais íngreme até chegar no curso principal, também nestas áreas que encontramos indícios de subsidência.

Figura 48 - Perfil Longitudinal do afluente 21



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

De maneira geral, existem três tipos de perfis fluviais distintos:

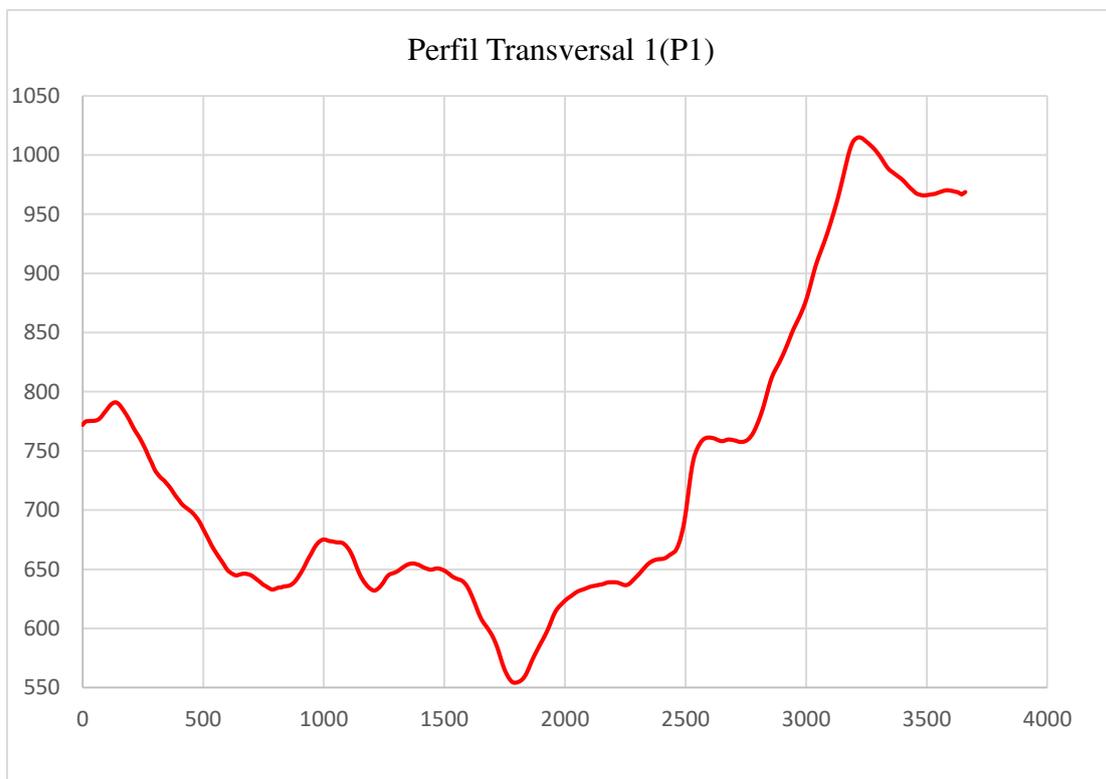
- a) Perfis côncavos - como o da Digue e da Provence, que são mais equilibrados e apresentam um controle marcado do nível de base global (o nível do mar). Uma vez que eles têm sua origem nas montanhas, é possível observar mudanças de altitude, variações de declive e características geomorfológicas ao longo de seu percurso. Isso possibilita uma melhor compreensão de como esses rios moldam a paisagem e transportam sedimentos.
- b) Perfis retilíneos - observado principalmente ao longo de cursos de rios, a maioria dos canais fluviais apresenta uma taxa de erosão mais alta, o que leva ao acúmulo de sedimentos. Eles transportam sedimentos para áreas de confluência.
- c) Perfis anômalos apresentam mudanças bruscas de declive na parte média do curso, resultando em um curso inferior acentuado e enérgico. Isso ocorre em alguns canais fluviais, cujos perfis mostram irregularidades ao longo de seu trajeto.

Os perfis transversais são outro elemento importante na compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica da bacia hidrográfica. Foram produzidos quatro perfis transversais na bacia do rio La Digue: o primeiro perfil (P1) corresponde ao alto curso parte superior da bacia do rio La Digue. O segundo perfil transversal um pouco mais baixo que o primeiro (P2),

representam a porção mais alta da área de estudo (FIGURA 45 e FIGURA 46). No médio curso, há um outro perfil transversal antes da união do rio Provence e do rio La Digue (FIGURA 47). No baixo curso, foi feito um outro perfil (P4) na área com probabilidade de inundação, que apresenta os níveis topográficos mais baixos (FIGURA 48).

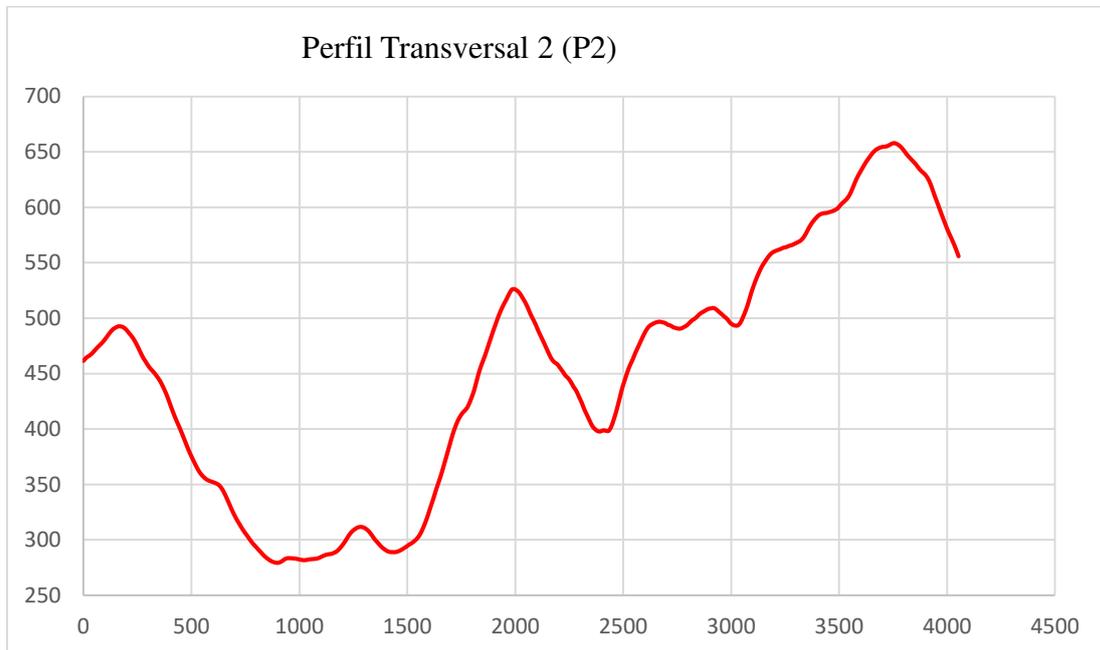
Os resultados obtidos permitem afirmar que cada perfil possui características diferentes, seja em altitude, distância e trecho molhado, o que influencia muito a mudança em cada trecho da bacia. Por exemplo, o perfil 1 (P1) não mostra planície e apesar de ser muito assimétrico, tem apenas o canal principal evidente, o perfil 2 (P2) já mostra o vale do La Digue mais amplo, e um outro afluente com vale muito encaixado a 400m. No perfil 3(P3), os vales estão bem individualizados, com mais de 100m de dissecação no La Digue. Por fim, o perfil 4(P4), a dissecação é bem mais baixa. Com muitos talwegues, mas elevações pouco maiores que 10m separando eles. Então, os resultados correspondem, portanto, a um conjunto de variáveis de resposta que têm impactos na modelagem da morfologia de La Digue, dependendo das flutuações dos fluxos de líquidos e dos detritos de materiais pré-existentes.

FIGURA 49 - Perfil Transversal 1 (P1)



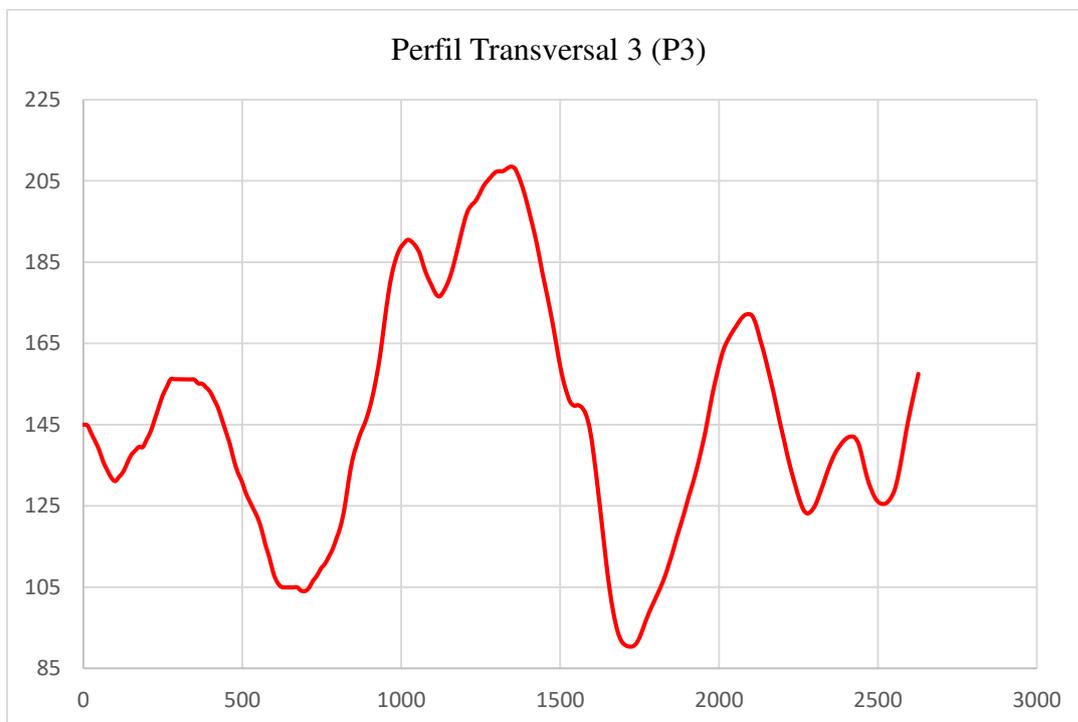
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 50 - Perfil Transversal 2 (P2)



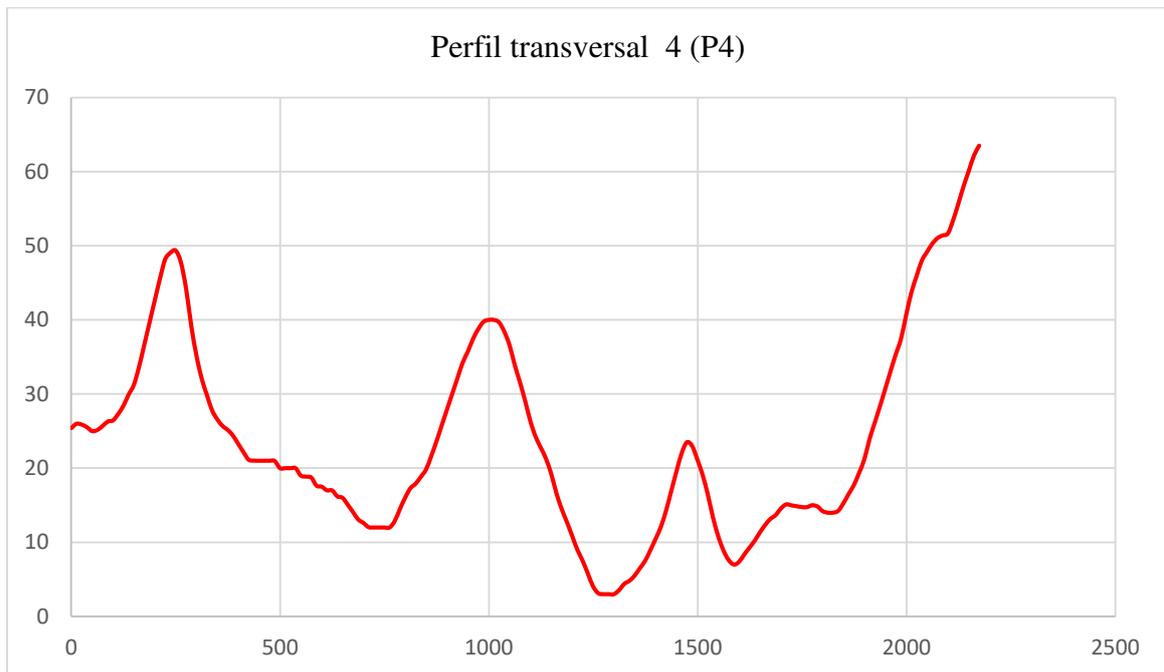
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 51- Perfil transversal 3(P3)



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 52- Perfil transversal 4 (P4)



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

De acordo com a análise de vários parâmetros geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Digue, verifica-se que a energia do sistema fluvial é muito elevada. Como as encostas dos afluentes a montante são íngremes, isso facilita os processos erosivos de forma ativa, pois quanto mais íngremes as encostas, maior a taxa de erosão, como mostram os perfis. Além disso, o comprimento das encostas também é outro aspecto a ser levado em consideração, pois em caso de chuvas intensas o comprimento das encostas pode sofrer modificações devido ao aumento do escoamento superficial que provoca a transferência progressiva de volumes de material do alto curso da bacia hidrográfica para as planícies. Então, compreendemos que o rio La Digue é o grande coletor, mas também tem uma saída expressiva. Basta ver que a maioria dos perfis tem longos trechos de declive acentuado.

As zonas de produção que permitem o trânsito de materiais a jusante estão mais localizadas na parte intermediária da bacia (zonas de transferência), do que nas cabeceiras. Este funcionamento atípico é explicado pelo facto dos sectores montanhosos situados no alto curso não serem drenados enquanto as zonas de transferência são ocupadas por solos derivados de rochas xistosas, cuja por erosão nos canais de escoamento produz ocasionalmente volumes de materiais que continuam a despejar no leito principal.

Além do mais, a maior parte desta bacia hidrográfica é composta por afluentes que nas áreas montanhosas, que alimentam o curso de água principal, o que lhe confere potencial para transportar todos os materiais provenientes da alteração das rochas, do processo de erosão movimentos de massa.

A observação da situação atual desta bacia hidrográfica resulta de um conjunto de fatores que facilitam mudanças em seu ambiente em um espaço de tempo. O processo de sedimentação da bacia hidrográfica de La Digue não é resultado do acaso, é a prova que mostra que há uma espécie de disfuncionamento, de desequilíbrio na parte montante. Assim, existe um conjunto elementos a ser considerado para poder compreender a origem deste problema.

Outro aspectos é que a influência das estações meteorológicas, que é marcada pela alternância anual entre dois períodos de chuva e dois períodos de seca, também contribui fortemente. Pois, a precipitação é a principal variável climática suscetível de ter um impacto nas taxas de erosão. No entanto, um dos fatores que também participa fortemente da aceleração desse processo são as atividades antrópicas. A prática de desmatamento por alguns agricultores para fazer carvão e móveis com o objetivo de encontrar meios econômicos para atender às necessidades pessoais contribuiu para acelerar o fenômeno de degradação dos solos e erosão.

Devido à complexidade geomorfológica, atividades antrópicas que transgridam os limites de resiliência do solo, erosão, transporte, sedimentação tornaram-se questões ambientais de difícil controle. A observação dos resultados comprova que estas representam um grande desafio ambiental, pois, cada vez que a quantidade de sedimentos se torna insuportável, os responsáveis do município utilizam um trator para retirar algumas toneladas, e colocá-las junto ao leito do rio La Digue, a fim de proteger a população contra uma possível inundação pela invasão de enchentes torrenciais. Como já foi explicado pode-se observar que o suprimento de sedimentos em excesso nesta bacia provoca o assoreamento, reduzindo a capacidade de escoamento, pois os sedimentos depositados no fundo reduzem a área disponível para o escoamento.

E após o processo de erosão, todos os resíduos e materiais detríticos são transportados por água, por água, por transporte (areias, cascalhos e seixos) por suspensão (areias finas, sílicas e argilas) e depositados na parte mais baixa desta bacia hidrográfica. Daí a origem do processo de sedimentação na bacia hidrográfica de La Digue. Outro aspecto que notamos é que durante os períodos de cheia, a quantidade de sedimentos dos rios torna-se cada vez maior, pois os fluxos, mais fortes, têm uma força erosiva mais importante e uma maior energia de transporte.

Como resultado, o meio desta bacia está sujeito a uma evolução progressiva do relevo, o que gera o excesso da quantidade de sedimento presente na parte inferior desta bacia.

Um terceiro elemento é a velocidade da água. Também define a quantidade e o tamanho dos sedimentos que serão transportados; a velocidade da água é uma função da inclinação e da viscosidade. No entanto, tendo em conta a sazonalidade desta bacia hidrográfica que varia em uma estação seca, onde a velocidade do fluxo de água é praticamente baixa, e uma estação chuvosa onde a bacia está sujeita a diferentes turbulências que podem modificar as velocidades do fluxo e aumentar a viscosidade com o tamanho e a espessura das partículas transportadas.

8 ASPECTOS HIDROLÓGICOS DA BACIA HIDROGRAFIA DO RIO LA DIGUE

Em geral, a bacia de La Digue é drenada por uma rede hidrográfica que é alimentada por um rio secundário (Provence) e por vários canais fluviais que se ramificam ao longo da bacia e desaguam no rio principal. Este, por sua vez, nasce na altura de uma pequena lagoa localizada no nível superior com uma altitude 1300m (figura 49, parte A).

A maior parte da superfície desta bacia hidrográfica é posicionada nas montanhas, isso que favorável pelos processos de escoamentos superficiais que são combinados pela topografia, o que faz com que os processos de escoamento sejam muito rápidos e isso influencia o fluxo do curso d'água principal e dos afluentes de acordo com as condições meteorológicas e as estações.

Assim, as imagens (Figura 51), representam de maneira breve a bacia hidrográfica do La Digue. Na imagem A, observa-se a nascente circulada em azul, e os pontos vermelhos que mostram o ponto iniciante de erosão do solo. Na imagem B, identifica-se a áreas de desmatamento, que são compostas de materiais sensíveis. Além disso, a imagem C, que mostra um trecho do leito do rio com afloramentos de basalto, solos arenosos, areias, outros tipos de materiais sedimentares desagregados. No final, na última imagem (D), observa-se o baixo curso, ocupado pela área urbana.

FIGURA 53 – Áreas de desmatamento



FIGURA 54 – Trecho do leito do rio



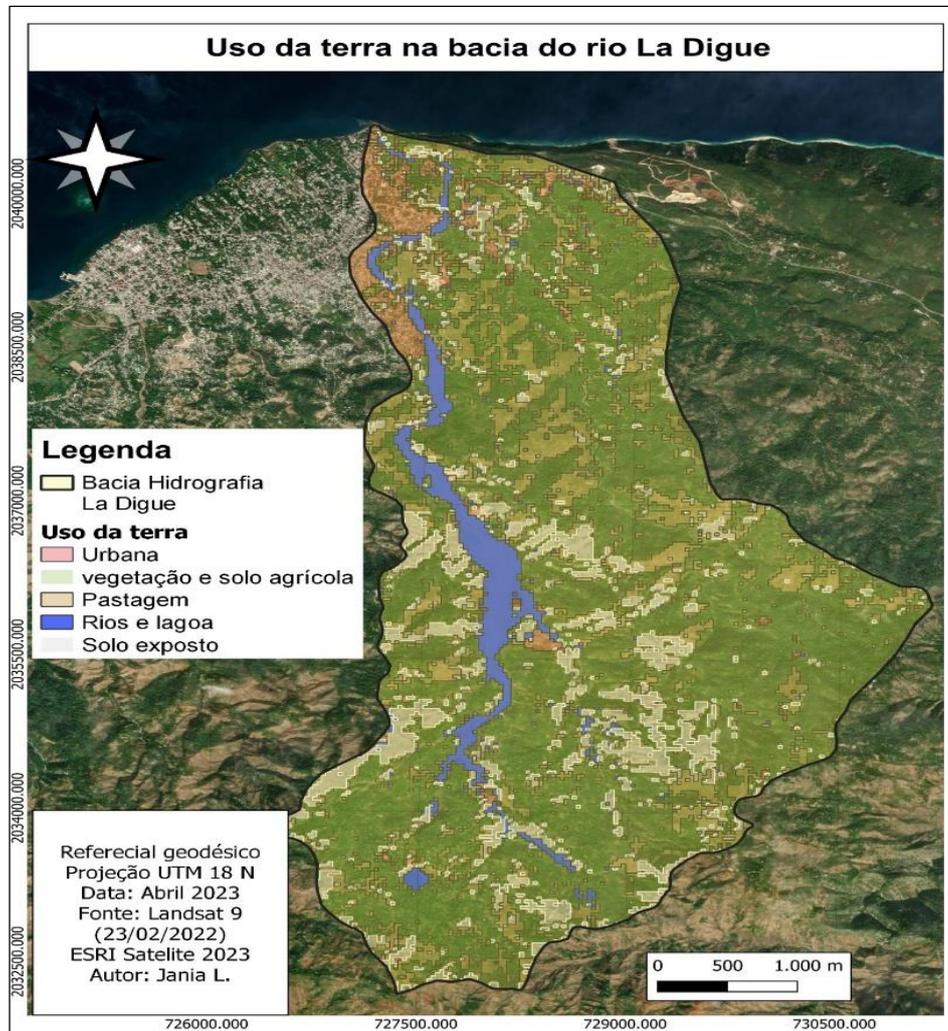
Fonte (Google Earth,2023)

8.2 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A hidrologia da bacia do La Digue não pode ignorar que as condições agroclimáticas têm uma grande influência sobre os processos de escoamento, já que no terço superior desta bacia, as práticas agrícolas, tendem a facilitar a drenagem superficial e, conseqüentemente, a perda de solo. Além disso, há 70 % da área com cobertura de gramíneas (pastagem) em solo arenoso, com a declividade e comprimento da encosta favoráveis à velocidade dos escoamentos superficiais. No entanto, se tivesse uma cobertura e uso da terra constituídos pela presença de vegetação, isso ajudaria na redução do volume de enchentes e controle os processos de erosão. Porém, a presença de área urbana na jusante degenerou a situação, porque a urbanização que permite o crescimento do escoamento. O mapa de uso da ocupada da terra (FIGURA53)

confirma isso, porque na parte esquerda desta bacia está cheia de construção. Na realidade, o rio La Digue mudou de direção por causa dessas construções.

FIGURA 55- Mapa de uso e ocupação da terra



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Por definição, o coeficiente de escoamento superficial é o indicador dessa relação entre as características do ambiente e a geração de fluxos hídricos superficiais. Em cada parte da bacia ele varia sobretudo com a cobertura da terra, o tipo de solo e o gradiente da vertente. A estimação do coeficiente de escoamento superficial para incorporação no método racional de estimação de vazão é apresentada na tabela 8. E segundo os valores convencionais mencionaram no livro de hidrologia escreve por Colochonn e Dornelles em 2013, foi adotado 0,9 para área ocupada pela urbanização, 0,2 para área ocupada pela vegetação e grama pesado, 0,35 para área ocupada pela cobertura de grama solo arenoso (Pastagem). Depois, a multiplicação

desses valores pela área ocupada por cada um (urbana, vegetação e grama pesado, solo arenoso e pastagem) foram realizados para obter o coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 8- Valores convencionais de coeficiente escoamento adotado

Área ocupada por:	C adotado	Área em km	Área* C
Area de urbanização	0,9	4	3,6
Vegetação, solo argiloso	0,2	9	1,8
Pastagem, grama solo arenoso	0,35	9	3,15
	Total	21,2	
		$[(0,9*4)+(0,2*9)+(0,35*9)]/21$	C= 0,407

Fonte: Elaborada pela autora (2023)

Então, o coeficiente superficial da bacia hidrografia do rio de La Digue é igual 0.407, isso quer dizer que 40% das chuvas vão escoar. Esse resultado que mostra a bacia do rio La Digue esta confrontando um sério problema para inundação. Por exemplo, considerando que a precipitação de 1500, quer dizer que 600mm/ano viram vazão. Isso quer dizer quase 12mil litros de água.

8.3 ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL ATRAVÉS DOS DADOS DE CHUVA

Sabemos que a principal importância de abordar os aspectos hidrológicos de uma bacia hidrográfica é definir a probabilidade de ocorrência de uma vazão em um determinado ponto dessa bacia. Assim, para melhor compreensão da hidrologia da bacia do La Digue, é relevante de fazer uma estimativa das contribuições de escoamento para cada superfície, da sub-bacia. Por isso, a comparação entre as vazões das sub-bacias, é um elemento essencial e pode qualificar a discussão da suscetibilidade a inundações em um cenário que, como já foi dito, há escassez de dados pluviométricos e fluviométricos. Assim, a distribuição da área de de cada sub-bacia foi feita a través do Software Qgis, a delimitação foi feita, graças a ferramenta calculadora foi usada para calcular a área e depois a delimitação. Por exemplo: sub-bacia I tem um área de 7,011km², a sub-bacia II, tem a área 2,334 km² e o compartimento I 5,824 km². Depois, utilizando as quantidades de chuva recebidas pela bacia hidrográfica em diferentes anos, mais precisamente os anos que foram recebidos a maioria precipitação porque eles apresentaram as maiores possibilidades de inundações, assim foram encontrados resultados

diferentes para cada sub-bacia, graças a aplicação da formula de vazão (Q) do método racional mencionou na metodologia.

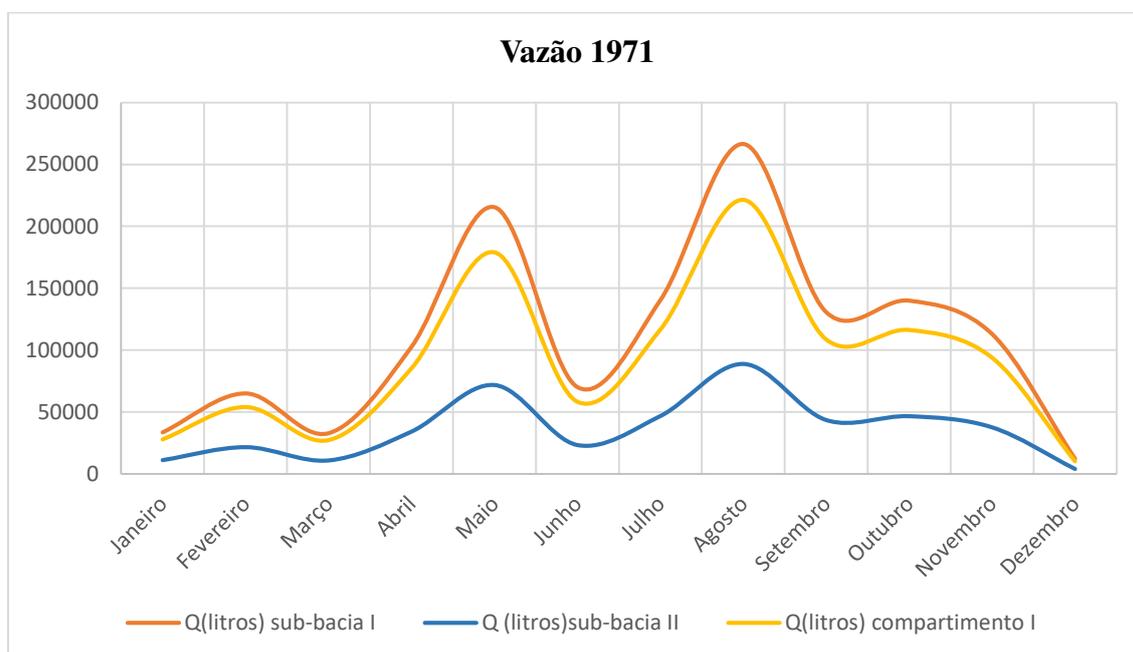
Usando o os volumes de precipitação no ano de 1971, porque este ano faz parte dos anos que receberam mais precipitações segundo os dados de UHM, os resultados mostram que a sub-bacia I tem escoamento máximo igual a 215530 litros mês de maio, e no mês de agosto que é igual a 266540 litros, esse resultado representa 33 % do escoamento da bacia do rio La Digue. Então na parte ocupada pela sub-bacia II, o escoamento menor que a sub-bacia I, igual a 71750 litros em maio e 88730 litros, em agosto. Finalmente, a parte ocupada pelo compartimento I apresenta escoamento maior que a sub-bacia II 179040 litros no mês de maio e 221410 litros/s no mês de agosto), essa representa 27 % da superfície da bacia. Neste ano, os resultados mostraram que o escoamento da área da sub-bacia I é mais elevada que a área da sub-bacia II que representa 11% da superfície da bacia La Digue. Isso mostra que o a sub-bacia I têm os maiores fluxos e a capacidade de infiltração de seus solos é muito baixa e são os que mais contribuem para a formação de inundações durante as chuvas intensas. É os resultados de cada sub-bacia que foram feitos graças a aplicação da formula de Vazão (Q) do método racional que podemos observar através da tabela 8 e a figura 53

Tabela 6 - Vazão 1971

1971	I mm	Q(litros) sub-bacia I	Q (litros)sub-bacia II	Q(litros) compartimento I
Janeiro	42,4	33630	11200	27940
Fevereiro	82	65050	21650	54030
Março	41,5	32920	10960	27350
Abril	129,4	102650	34170	85270
Maio	271,7	215530	71750	179040
Junho	88,5	70200	23370	58320
Julho	176,9	140330	46720	116570
Agosto	336	266540	88730	221410
Setembro	164,8	130730	43520	108600
Outubro	176,5	140010	46610	116310
Novembro	142,5	113040	37630	93900
Dezembro	15,5	12300	4090	10210

Fonte: UHM(1971) , organizado pela autora (2023)

FIGURA 56 – Vazão 1971



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No ano de 1974, os resultados mostram que as vazões máximas que foram obtidas nos meses de abril, julho, e agosto os resultados são respectivamente: 151990 litros; 223860litros; 171270 litros, ou seja, uma média de 107650 litros para a área da sub-bacia I. E para a sub-bacia II, tem uma vazão máxima nestes meses que são inferiores as outras sub-bacias que são respectivamente: 50600 litros; 74520 litros; 57020 litros, ou seja, uma média de 35840 litros. Além disso, a área do compartimento I, tem vazão maior que a área sub-bacia II que são iguais a: 126260 litros; 185960 litros; 142270 litros, ou seja, uma média de 89430 litros, A quantidade de precipitação acumulada durante esses três meses foi 689,70 mm, ou seja, um aumento de 79 % na sub-bacia I e 26,4% na área da sub-bacia II. Entendemos somente durante três meses a chance de ter mais escoamentos superficiais.

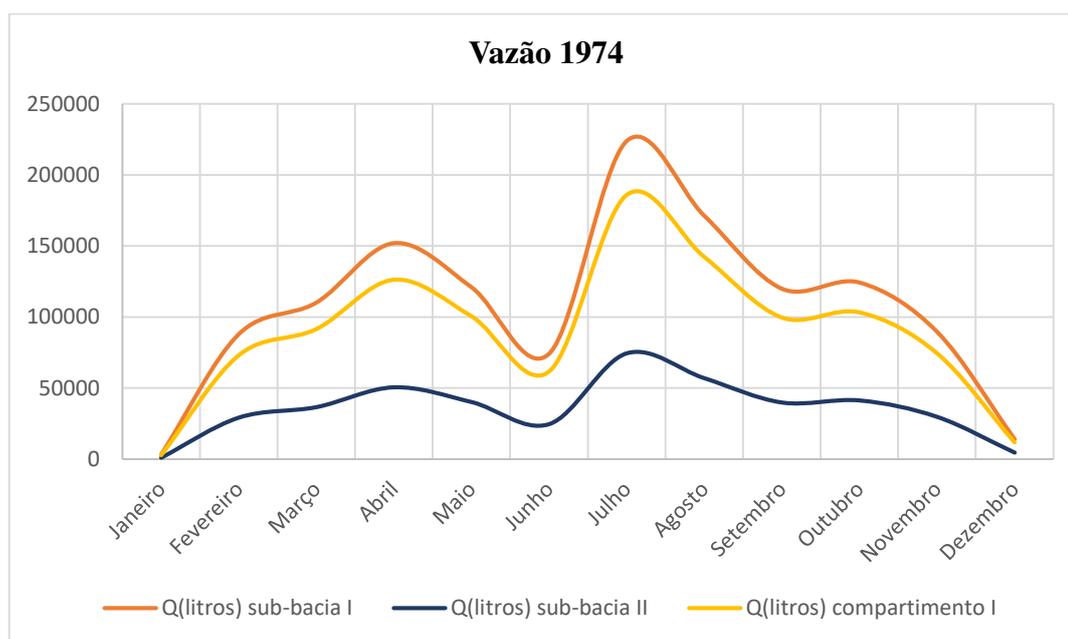
Tabela 7 - Vazão 1974

1974	I(mm)	Q(litros) sub-bacia I	Q(litros) sub-bacia II	Q(litros) compartimento I
Janeiro	4,20	3330	1110	2770
Fevereiro	110,90	87970	29290	73080
Março	138,90	110180	36680	91530
Abril	191,60	151990	50600	126260
Maio	152,50	120970	40270	100490
Junho	93,60	74250	24720	61680
Julho	282,20	223860	74520	185960

Agosto	215,90	171270	57020	142270
Setembro	151,20	119940	39930	99640
Outubro	156,70	124300	41380	103260
Novembro	113,00	89640	29840	74460
Dezembro	17,80	14120	4700	11730

Fonte: UHM (1974), organizado pela autora (2023)

FIGURA 57 - Vazão 1974



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

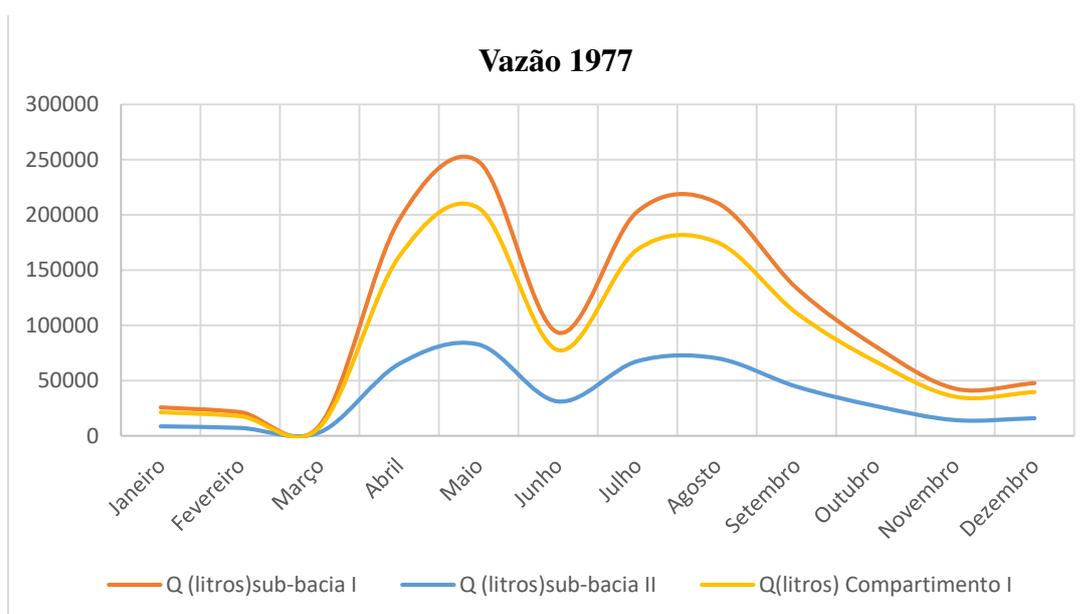
Em 1977, os resultados mostram que sub-bacia I apresenta uma das vazões máximas no mês de maio e agosto, respectivamente iguais: 248370 litros; 211170 litros; ou seja, uma média de 229770 litros. Então para a sub-bacia II a vazão máxima é igual a: 82680 litros no mês de maio, ou seja, uma média de 76490 litros, para a mesma intensidade de chuva, o compartimento I tem a vazão maximal no mês de maio igual: 206320 litros, e durante três meses que receberam as chuvas intensas, haverá uma vazão em média 159270 litros. A tabula 13 e a figura 56 mostram a vazão deste ano.

Tabela 8 - Vazão 1977

Ano 1977	I(mm)	Q (litros)sub-bacia I	Q (litros)sub-bacia II	Q(litros) Compartimento I
Janeiro	32,5	25780	8580	21420
Fevereiro	27	21420	7130	17790
Março	11,8	9360	3120	7780
Abril	246,2	195300	65020	162240
Mai	313,1	248370	82680	206320
Junho	117,9	93530	31140	77690
Julho	255,9	203000	67580	168630
Agosto	266,2	211170	70300	175420
Setembro	169,1	134140	44660	111430
Outubro	102,1	80990	26960	67280
Novembro	53,9	42760	14230	35520
Dezembro	60,2	47750	15900	39670

Fonte: UHM (1977), organizado pela autora (2023)

FIGURA 58- Vazão 1977



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Durante o ano de 1978, os resultados mostram a sub-bacia I que tem vazão máxima igual a 209260 litros no mês de maio, ou seja, uma média de 105900 litros durante os meses que tinham as maiores de precipitações acumuladas. Então, a sub-bacia II tem uma vazão menor que a sub-bacia I, sua vazão é igual a 69670 litros em maio, ou seja, uma média de 35260 litros, pois a presença de vegetação facilita um pouco a infiltração. No caso da sub-bacia III a vazão é igual a 173830 litros no mês de maio. Isso mostra que a sub-bacia I tem maior escoamento e baixíssima capacidade de infiltração durante chuvas intensas. Além disso, por uma precipitação

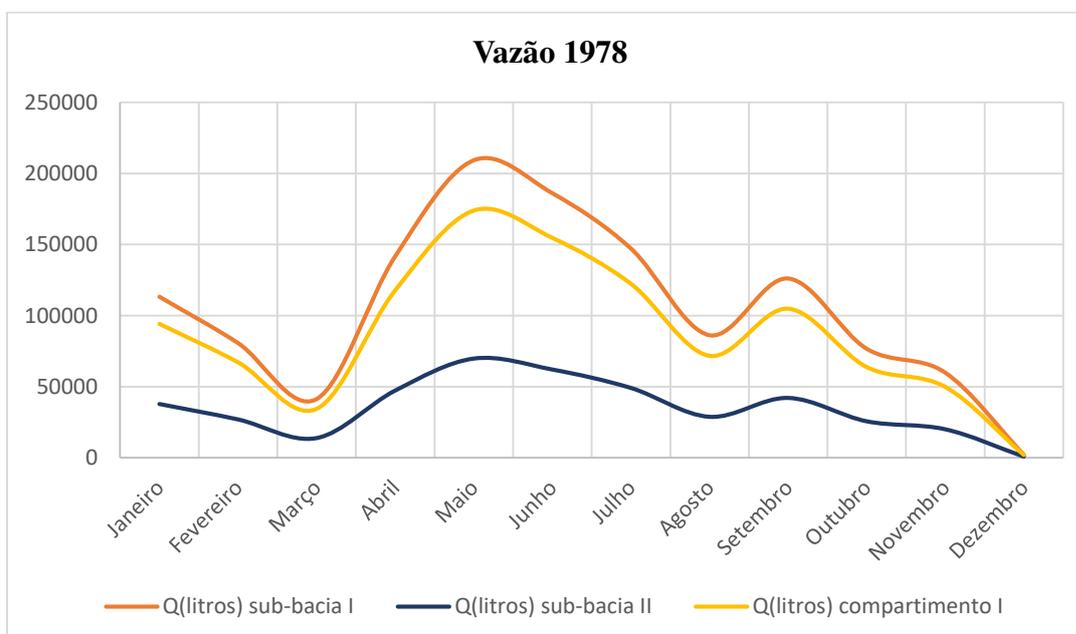
acumulada de 862,6 mm por quatro meses, a sub-bacia I contribui mais na ocorrência das enchentes.

Tabela 9 :Vazão 1978

1978	I (mm)	Q(litros) sub-bacia I	Q(litros) sub-bacia II	Q(litros) compartimento I
Janeiro	142,8	113280	37710	94100
Fevereiro	101,8	80750	26880	67080
Março	52,1	41330	13760	34330
Abril	178,6	141680	47170	117690
Maiο	263,8	209260	69670	173830
Junho	234,6	186100	61950	154590
Julho	185,6	147230	49010	122300
Agosto	108,7	86230	28710	71630
Setembro	159	126130	41990	104780
Outubro	96,7	76710	25540	63720
Novembro	75,5	59890	19940	49750
Dezembro	2,8	2220	740	1850

Fonte: UHM(1978),organizado pela autora (2023)

FIGURA 59- Vazão 1978



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No ano 1981, os resultados mostram que a sub-bacia I tem uma vazão maximal igual a 398300 litros, ou seja, de uma média de 213020 litros durante a época de chuva. Então para a

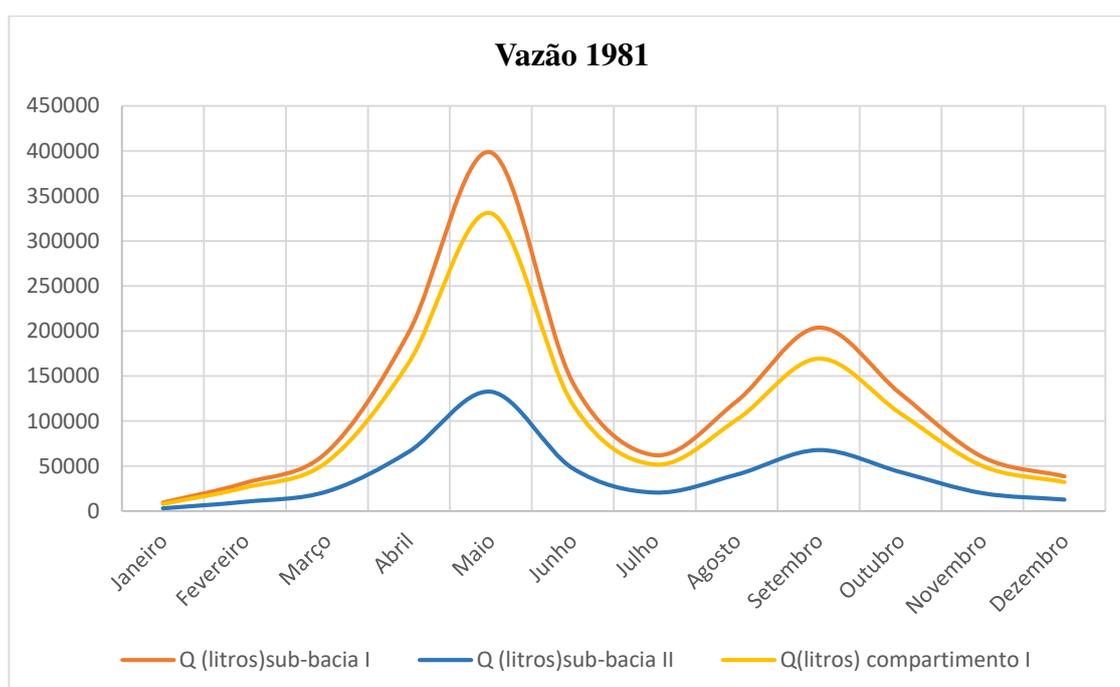
sub-bacia II tem uma vazão máxima durante o mês de maio é igual a 132600 litros, ou seja, uma média de 70920 litros. E para o compartimento I a vazão é maior que a sub-bacia II, seja em média de 176960 litros durante o mês de maio. As análises mostraram que a sub-bacia II e III têm os maiores escoamentos superficiais e contribuirão mais nas ocorrências de inundações durante a época de chuva. Na tabela 12 e a figura 58 observamos a vazão de cada setor da bacia.

Tabela 10 - Vazão 1981

1981	I(mm)	Q (litros)sub-bacia I	Q (litros)sub-bacia II	Q(litros) compartimento I
Janeiro	12,00	9520	3170	7910
Fevereiro	39,50	31330	10430	26030
Março	82,50	65440	21790	54360
Abril	249,89	198230	65990	164670
Maio	502,10	398300	132600	330860
Junho	180,20	142950	47590	118750
Julho	78,40	62190	20700	51660
Agosto	153,60	121850	40560	101220
Setembro	256,90	203790	67840	169290
Outubro	164,50	130490	43440	108400
Novembro	75,90	60210	20040	50020
Dezembro	48,70	38630	12860	32090

Fonte: UHM(1981),organizado pela autora (2023)

FIGURA 60- Vazão 1981



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Assim, usando o método racional, conseguimos comparar a produção de escoamento de cada sub-bacia do rio La Digue, o que permitiu entender que as grandes cheias do La Digue são intensificadas pelas áreas da sub-bacia I e II. Além disso, esses resultados podem usar como um exemplo, o como umas amostras de aproximação para ter uma noção sobre vulnerabilidade da cidade Petit-Goâve frente às enchentes na época de chuva.

8.4 ESTIMATIVA DA VAZÃO MÁXIMA DA BACIA DO RIO LA DIGUE

A vazão máxima pode ser estimada com base na precipitação, por métodos que representam os principais processos da transformação da precipitação em vazão e pelo método racional, que engloba todos os processos em apenas um coeficiente (C). Por isso, ao levarmos em consideração os casos que podem causar inundações extremas, optamos por calcular as vazões para 5 anos que possuem maior quantidade de precipitação.

No caso do ano de 1971, que recebi 1667,7 mm durante um ano, ou seja, em média 138,98 mm por mês, a vazão máxima estimada foi de 793960 litros no mês agosto. O ano de 1974 recebeu uma quantidade de precipitação igual a 1628,5 mm (média de 282,2 mm por mês), com vazão estimada de 666830 litros. Em 1977, a quantidade de precipitação acumulada foi de 1655,9 mm, ou uma média mensal de 137,99 mm, o que resultou em uma vazão máxima estimada de 739855 litros. No ano de 1978 choveu o equivalente a 1602,5 mm, ou seja, uma média de 133,50 mm em um mês, com vazão máxima 623360 litros. No ano 1981, a quantidade de precipitação acumulada foi de 1549,2 mm (média mensal de 129,10 mm), com vazão máxima de 483470 litros.

Desde o início, foi mencionado que a área de captação do La Digue foi dividida em três setores para poder determinar o coeficiente de escoamento, porém cada parte produz um montante de escoamento diferente. Primeiro, a parte que é ocupada pela urbanização tem um fluxo maior que a zona ocupada pela pastagem, solo pesado ou vegetação baixa, cobertura da grama e solo arenoso. No entanto parte ocupa uma área de 4 km², tem uma percentagem que se adapta à realidade porque as zonas urbanizadas, porque as ocupações do terreno facilitam geralmente um aumento de escoamento de ponta, devido à redução muito forte de infiltrações.

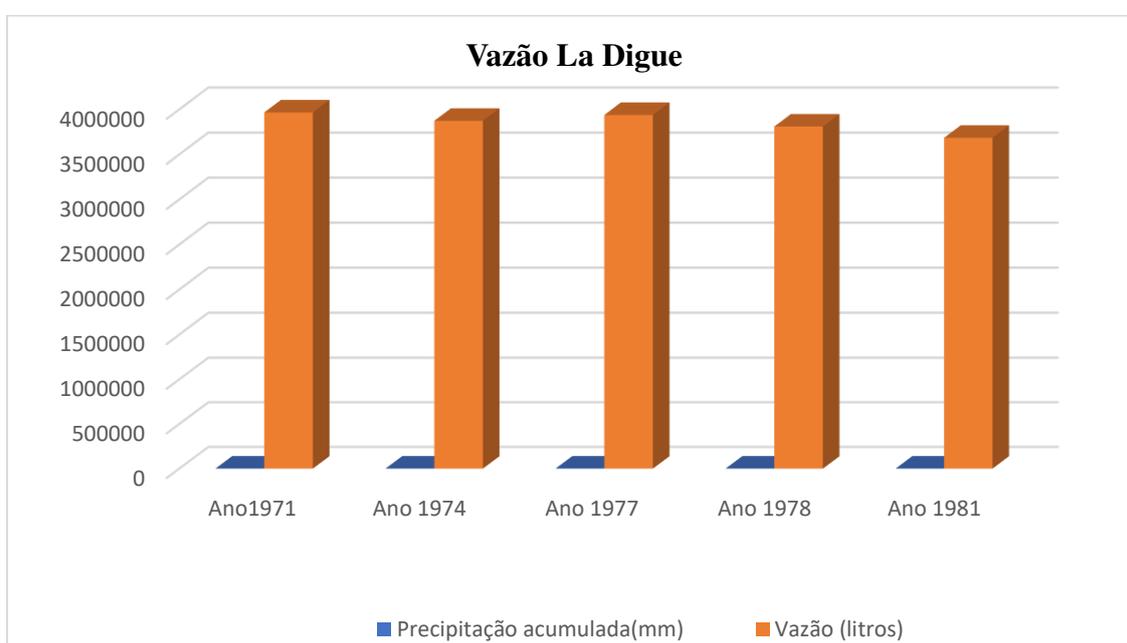
Por fim, a parte ocupada pela presença da vegetação e grama em solo argiloso tem uma área de 9 km², área que representa uma quantidade de 21%, quase insuficiente em relação às demais. A presença de vegetação desempenha um certo papel no retardo e redução das vazões máximas das águas das cheias, contribui fortemente na redução das vazões na bacia hidrográfica em geral. A descrição dos cálculos foi feita na tabela 13 e no histograma da figura 59.

Tabela 11 - Vazão La Digue

	Precipitação acumulada(mm)	Vazão (litros)
Ano1971	1667,70	3966340
Ano 1974	1628,50	3873110
Ano 1977	1655,90	3938270
Ano 1978	1602,00	3810080
Ano 1981	1549,20	3684510

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

FIGURA 61 - Vazão La Digue



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

8.5 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo que a água leva para atravessar os limites topográficos de uma bacia a hidrografia é um fator importante na análise hidrológica. Conceitualmente, o tempo de concentração é o período decorrido entre o início da precipitação e o alcance da vazão máxima na saída da área de captação (MUSY, 2005). Corresponde ao tempo necessário para permitir que a água escoe do ponto mais remoto da bacia até a foz, sendo definido como o tempo máximo necessário para que uma gota de água percorra o trajeto hidrológico entre um ponto da bacia e a foz deste último (PAZ,2014). Depois de realizar os cálculos graças à aplicação da fórmula de Kirpich (mencionada na metodologia) foi encontrado o resultado de tempo de concentração de

34 minutos para a bacia do rio La Digue. Então, entendemos que o tempo de concentração na bacia é muito curto e, por isso, os fenômenos de inundação ocorrem muito rapidamente.

As características físicas da bacia podem ter contribuído para os resultados dessa rápida resposta. Porque, no terço superior observa-se uma formação de relevo mais acidentado do solo com material de origens sedimentares e basálticos, solo raso e textura argilosa. Essas condições favorecem a formação de enxurradas que são direcionadas rapidamente como escoamento superficial direto até chegar no do rio La Digue. Outro elemento a se destacar é a declividade, que interfere diretamente na velocidade do escoamento e que, quanto mais íngreme for a região, mais rápido será o escoamento superficial, maiores serão os picos de cheia e menor será o tempo de concentração. Sobretudo no alto curso dos afluentes e do rio principal, como mostram seus perfis longitudinais, o gradiente é elevado. Enfim, a grande amplitude altimétrica percorrida pelos canais fluviais em curtas extensões devido ao relevo típico da Ilha Hispaniola, promove uma rápida resposta aos eventos de chuva.

8.8 PERÍODO DE ENCHENTE

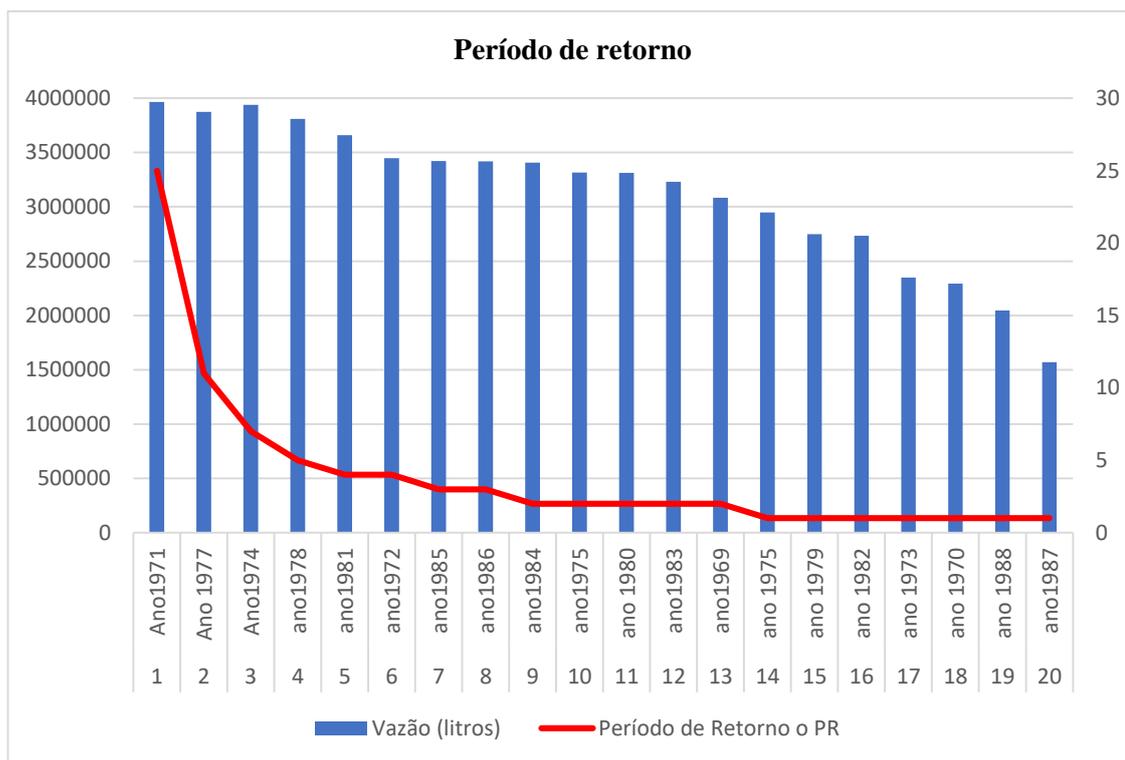
O período de retorno é o intervalo de tempo médio entre dois eventos, portanto é uma forma prática de associar a probabilidade de uma inundação em Petit-Goâve. Na bacia hidrográfica de La Digue, o período de retorno de inundações extremas é de 25 anos, e as cheias menores ocorrem com período de retorno de 1 ano, portanto, muito frequentes. Para encontrar esses detalhes, foram utilizados os resultados das vazões que foram obtidas por meio da equação do Método Racional já citada na metodologia deste trabalho, assim a classificação foi feita pela ordem descendente segundo o valor da vazão de cada ano. Depois utilizando a fórmula do método de Kimball, e encontramos o período de retorno que é o inverso da frequência. E isso que a tabela 14 e a figura 60 mostram.

Tabela 12 - Período de retorno

Ordem	Ano	Vazão (litros)	Frequência	Período de Retorno o PR
1	1971	3966340	0,04	25
2	1977	3873110	0,09	11
3	1974	3938270	0,14	7
4	1978	3810080	0,19	5
5	1981	3660760	0,23	4
6	1972	3447617	0,28	4
7	1985	3421380	0,33	3
8	1986	3418550	0,38	3
9	1984	3406260	0,42	2
10	1975	3316230	0,47	2
11	1980	3311980	0,52	2
12	1983	3230690	0,57	2
13	1969	3084190	0,61	2
14	1975	2949730	0,67	1
15	1979	2749580	0,71	1
16	1982	2733510	0,76	1
17	1973	2349290	0,8	1
18	1970	2291870	0,85	1
19	1988	2046800	0,9	1
20	1987	1571160	0,95	1

Fonte: Elaborada pela autora (2023)

FIGURA 62 - Período de retorno de enchentes



Fonte: Elaborada pela autora (2023)

9 SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO

Dentre os condicionantes geomorfológicos, a amplitude do relevo e a declividade na bacia hidrográfica são os fatores com maior influência nas inundações. Por outro lado, as atividades agrícolas foram responsáveis pela redução da cobertura vegetal no período de 1986 a 2020 no município de Petit-Goâve, sendo condicionantes fundamentais da diminuição da retenção da água da chuva pela vegetação e favorecendo o escoamento superficial.

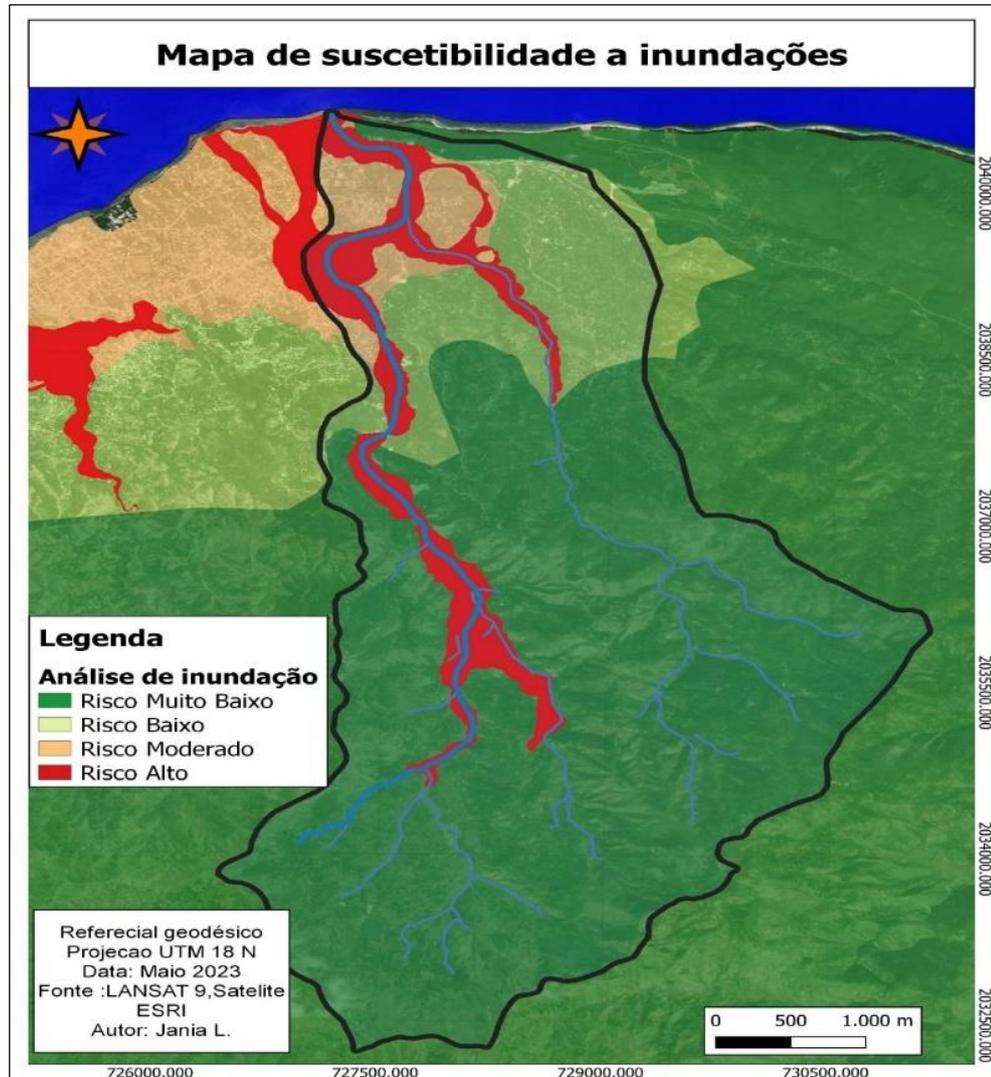
A suscetibilidade a inundações da bacia hidrográfica do rio La Digue foi classificada em quatro níveis hierárquicos (Figura 60), que variam de muito baixa até alto.

A classe de suscetibilidade muito baixa e baixa a inundações ocorre nas áreas montanhosas com declives acentuados, mais precisamente no terço superior da bacia hidrográfica do rio La Digue. Essas classes estão associadas com um conjunto de afluentes que alimentam o rio principal.

Por outro lado, as classes de suscetibilidade moderada e alta ocorrem na parte baixa do rio, em áreas com baixas declividades ao norte da bacia. Nestas áreas encontram-se assentamentos urbanos que estão situados na várzea do rio La Digue. Além disso, essas áreas estão sobre depósitos de sedimentos (colúvio, alúvio) provenientes da degradação e erosão das encostas à montante.

Então, entendemos que a bacia do rio La Digue é dominada por uma grande área que foi incluída nesta classe de suscetibilidade. Cerca de 80% da parte da bacia tem uma suscetibilidade de inundação muito baixa, por ser a zona de transferência da água pluvial para os baixos vales. No baixo curso que representa 20 % da bacia, é caracterizada pela presença de solos aluviais, dominados pela presença de urbanizações, onde a planície de inundação é rebaixada em relação às montanhas intermediárias a suscetibilidade de inundações é moderada alguns lugares mais próximos do curso da água, o risco é alto. Portanto, no caso de eventos extremos, a parte ocupada pela urbanização terá inundações.

FIGURA 63 -Mapa de suscetibilidade a inundações da bacia hidrográfica do rio La Digue



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

O mapeamento da suscetibilidade a inundações na bacia hidrográfica do rio La Digue permitiu identificar as áreas que têm maior probabilidade de ocorrência de inundações em caso de eventos extremos, graças à delimitação das diferentes classes de suscetibilidade.

A suscetibilidade moderada é localizada na toda parte baixa do sistema fluvial, combinada com o nível alto na área muito próxima ao leito principal representa um perigo para a vida humana e os bens materiais. Isso deixa evidente a importância deste estudo para o planejamento de intervenções estratégicas na contenção das cheias.

10 REFLEXÕES E RECOMENDAÇÕES

10.1 PLANEJAMENTO DE GESTÃO E RISCO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE PETIT-GOÂVE

Gerenciar o risco de inundação significa tentar de integrar esses fenômenos ao planejamento do uso da terra. Portanto, é necessário determinar com precisão a dinâmica do risco de acordo com a dinâmica urbana. Com efeito, o risco não é um dado relacionado apenas com a cheia, mas sim definido em função dos bens e das pessoas já que os espaços pouco ocupados podem sofrer cheias sem que isto represente um problema social. Por sua vez, a dinâmica do uso da terra é função da conjuntura econômica e correlativamente da pressão fundiária.

De fato, a vulnerabilidade da população de Petit-Goâve ao risco de inundação tem causas profundas que se repetem ao longo do tempo, devido à falta de infraestruturas básicas, atividades econômicas e a ausência de iniciativas que tenham em conta o crescimento do ambiente urbano. Isso gera impactos na disposição e distribuição de recursos entre diferentes grupos das populações. Além disso, as diferentes formas manifestação da vulnerabilidade da população se expressam no tempo e no espaço juntamente com as ameaças naturais. As condições perigosas se manifestam por: a localização da população em áreas de risco; a falta de seguro contra desastres naturais, de fundos para prevenção, resposta e reconstrução, todos também fazem parte dos fatores agravam a vulnerabilidade. Para isso, a situação requer meios muito eficazes que ajudem a encontrar uma solução definitiva no município de Petit-Goâve diante do risco de inundação.

Analisando a suscetibilidade de Petit-Goâve à inundação, fica evidente a necessidade de estratégias de gestão específicas para a situação. Porque a posição geográfica, a geomorfologia e a hidrografia da cidade provam em casos extremos que o ambiente urbano é susceptível de ser inundado. Por isso, um plano de gestão é uma ferramenta essencial no município. Depois de identificados os parâmetros que facilitam a ocorrência de inundações, as iniciativas deveriam seguir uma lógica que desse segurança à população quanto ao enfrentamento dos problemas advindos de fenômenos extremos.

Primeiro, as autoridades devem traçar objetivos e colocar em prática planos de ação para proporcionar o controle da situação do município. Além disso, estabelecer sistemas que associem ações de prevenção, gestão de crises e retorno de enchentes para proteger a população

contra o fenômeno das inundações que podem ocorrer durante as estações chuvosa e de furacões, levando em consideração sua frequência e intensidade, que podem variar dependendo da quantidade de precipitação. Depois, no âmbito da prevenção, é preciso tomar medidas estruturais, organizando uma espécie de hierarquia por meio de grupos, equipes organizadas para poder encontrar meios de remediar a situação.

Por outro lado, o conhecimento e educação, sobre o fenômeno de inundação é um aspecto importante. Porque, para prevenir o risco de inundações, o conhecimento do passado é um dos aspectos essenciais. Por isso, é fundamental traçar a história das cheias através de notáveis dispositivos de memória que contribuam para o conhecimento dos territórios e que possam ajudar os membros da população a conhecer o passado da comuna de Petit-Goâve. De fato, tentar configurar um banco de dados é outra ferramenta essencial. Além disso, o atlas de mapa encontramos nesta pesquisa é uma ferramenta valiosa que vai desempenhar um papel fundamental na educação, no planejamento e na conscientização da população em Petit-Goâve sobre a característica da bacia La Digue. Ele ajudará também as pessoas a entender a necessidade de mudar as percepções negativas sobre as inundações. Por outro lado, esse atlas ajudará as organizações, as autoridades locais e nacionais utilizam os mapas para tomar decisões informadas em áreas como a gestão de desastres, desenvolvimento e o planejamento da urbanização em Petit-Goâve.

Além disso, a informação de Petit-Goaviens sobre o risco de inundação no município é um elemento chave, porque têm localidades muito expostas onde deveria ser proibido de instalar construções. A unidade de comunicação do município deve permitir que a população conheça o perigo a que estão expostos, os danos previsíveis, as medidas preventivas que possam ajudá-la a reduzir o nível de vulnerabilidade. E o município necessita de um centro de acolhimento bem equipado e com todos os equipamentos necessários em casos excepcionais, que possa acolher pessoas com mobilidade reduzida e toda a população deve conhecer a sua localização. Além disso, as informações preventivas contribuem para a construção de uma memória coletiva e garantem a manutenção da consciência coletiva.

No que diz respeito à preparação, as principais atividades devem centrar-se em atividades de sensibilização e mobilização de recursos locais. Transparência e acesso à informação sobre o risco de inundação para sensibilizar a população sobre a sua exposição ao perigo, pois a falta de acesso a informação correta sobre este fenômeno poderia impedir todos os esforços de sensibilização, o que compromete as medidas de preparação para a redução da

vulnerabilidade. É necessário alimentar o debate público em torno das políticas de ordenamento do território através das rádios mais ouvidas no concelho. Além disso, deve ser implementado um sistema de vigilância, a fim de poder alertar e prever os membros da população.

Estabelecer o controle da urbanização é uma alavanca essencial para reduzir os danos em caso de inundação. Precisamos de constituir uma equipe especializada ou uma associação para poder prevenir o crescimento de edifícios em áreas susceptíveis de serem inundadas, para facilitar a viabilidade das ações destas equipes ou organizações disponibilizadas na comuna de Petit-Goâve, devem participar ativamente na melhoria do conhecimento e conscientização da população, tudo isso seria possível graças a uma boa comunicação. Além disso, devemos pensar em um plano de urbanização que se adapte à situação do município para poder controlar o crescimento das áreas urbanas, mesmo que o orçamento do município seja muito pobre,

Segundo relatório produzido pela Federação da Cruz Vermelha Haitiana em 2015, sobre gestão de riscos no Haiti, a questão do ordenamento do território não é uma tarefa fácil, porque no Haiti existem Leis sobre esse aspecto, parece que a questão de gestão tem uma estrutura meio bem organizada, mas a realidade é o contrário. Essas Leis de Planeamento do Uso da Terra são quase totalmente administradas pelo governo central, embora a Lei Haitiana reconheça alguns poderes no nível regional. Ao nível central, as atividades de planeamento são tuteladas pelo Ministério da Cooperação e Planeamento Externo (MPCE), que promove o ordenamento do território, mas a Direção não funciona como departamento de planeamento propriamente dito: em vez disso, ele coordena os esforços de planeamento e supervisiona vários projetos de "plano diretor" em Porto Príncipe. As evidências sugerem que nenhum desses planos diretores foram autorizados ou implementados por meios de regulamentos. Além disso, o MTPTC também possui um departamento de planeamento urbano que depende do Departamento de Obras Públicas, e cujo papel parece se sobrepôr ao do Departamento de Planeamento do MPCE (IFCR,2015). Por último, por força de um decreto presidencial de janeiro de 2009, foi criada a Comissão Interministerial de Ordenamento do Território (CIAT) como órgão coordenador responsável por “coordenar e harmonizar a ação pública nos domínios do urbanismo e da habitação”; as atividades relacionadas a essa responsabilidade incluem o desenvolvimento de planos diretores para os principais centros urbanos do Haiti (IFCR,2015)¹⁶.

¹⁶ Sociedade da Cruz Vermelha do Haiti e Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho, Genebra.

Portanto, entendemos que os regulamentos existem no Haiti apenas oralmente e por escrito sem ações efetivas. Portanto, o prefeito da comuna deve apresentar a situação a esses órgãos no mais alto nível, para que eles apoiem ativamente o aspecto de planejamento da comuna.

Como a situação é complexa e a principal causa das inundações na cidade é o transbordamento das enchentes provenientes das bacias hidrográficas que dominam o município de Petit-Goâve, existem medidas eficazes que podem ajudar a melhorar a situação. Por exemplo, os resultados deste trabalho podem fornecer informações cruciais para a gestão sustentável da bacia hidrográfica de La Digue, que domina a cidade. Eles também podem auxiliar na prevenção de inundações e no planejamento do uso da terra. É por isso que nos preocupamos em analisar cuidadosamente os dados referentes ao município de Petit-Goâve, a fim de demonstrar a necessidade de realizar trabalhos de desenvolvimento nos sub-bacias que alimentam o rio La Digue. É urgente empreender trabalhos de reflorestamento na superfície desta bacia hidrográfica com plantas adaptadas ao seu clima. Isso poderia contribuir para estabilizar o solo, reduzir a erosão e promover a infiltração de água no solo, desempenhando um papel crucial na regulação do fluxo de água durante as épocas de chuva. Portanto, as autoridades deveriam considerar os trabalhos de desenvolvimento como uma prioridade. No que diz respeito ao meio urbano, a implementação de sistemas capazes de reter ou desacelerar a velocidade das enchentes seria muito útil para proteger os edifícios contra o transbordamento das águas provenientes do leito principal. Assim, o aterramento e o uso de gabiões no leito são muito importantes para limitar o alargamento transversal do leito inferior, a fim de proteger as margens contra inundações torrenciais e erosão fluvial.

A última etapa de um necessário é plano de ações a mitigação. Nesta etapa, as autoridades do município devem coordenar as pesquisas científicas e técnicas, que são realizadas nas cidades que enfrentam o mesmo problema, e as que são realizadas para o município por Petit-Goâviens, a fim de compreender as causas e buscar soluções para os problemas advindos das inundações. Além disso, promover a implementação das Leis já existentes sobre gestão de riscos, incentivando o apoio da proteção civil nesta fase. É necessário tornar operacionais e viáveis os sistemas de alerta precoce em caso de inundação, dispondo de meios de manutenção permanente. Por outro lado, o município deve informar a população sobre os riscos através da sua unidade de comunicação e proteção civil. Ademais, deve-se garantir que as construções não sejam feitas sem a expertise de um profissional qualificado, por isso são eles os responsáveis pela emissão das autorizações e alvarás de construção.

É papel da Municipalidade garantir a segurança da população no território da comuna e assegurar a manutenção dos níveis dos rios que atravessam a cidade. Por esta razão, cada membro da população é responsável por tomar ações que possam ajudá-los a proteger melhor suas vidas e seus bens materiais. Por isso, é muito urgente estabelecer um Sistema de Monitoramento e Alerta como a ONU aconselha. Além disso, a ação resultante do alerta deve ser baseada em procedimento de Gestão de Risco de inundações estabelecidas por organizações no nível regional e local. O alerta de inundações precisa ser claramente entendido, práticas que possam informar e aconselhar os grupos da população mais vulneráveis e operacionalmente relevantes para a Defesa Civil no município de Petit-Goâve. Em cima disso, é necessário monitorar e prever mudanças nos padrões de vulnerabilidade, particularmente nos níveis locais, em função do crescimento da urbanização sem norma, problemas econômicos e pressão demográfica.

De maneira prática, de acordo com a Cruz Vermelha (2018), há ações individuais/familiares que podem ser empreendidas tais como: Antes, durante, depois (ICR,2018). Isso pode aplicar também no caso do município de Petit-Goâve

Tabela 15 – As instruções a seguir (antes, durante e depois)

Antes de uma inundação
<ul style="list-style-type: none"> • Prepare um plano de emergência que inclua informações sobre toda a família e sua saúde. • Informe-se sobre os riscos de inundação existentes na sua comunidade, contatando o seu município. • Certifique-se de que seu seguro residencial cobre danos causados por enchentes • Memorize e pratique seus planos de evacuação estabelecidos pelas autoridades. • Monitore as condições meteorológicas e alertas. Evacue sua casa se as autoridades assim o solicitarem. • Tenha em mãos um kit de emergência que contenha as necessidades básicas, como remédios, alimentos, água e outros suprimentos de emergência, isso o ajudará a ser capaz de atender às suas necessidades e às de todos os membros da sua família
Durante

- Ouça a rádio ou a mídia local e/ou siga os serviços de emergência locais ou as notícias nas mídias sociais para obter as últimas informações sobre a situação e os alertas de enchentes.
- Esteja preparado para evacuar rapidamente
- Se um alerta de inundação ou inundação repentina for emitido em sua área, dirija-se a um terreno alto e permaneça lá.
- Mantenha crianças e animais de estimação longe de áreas alagadas.
- Tenha muito cuidado à noite, porque a escuridão dificulta a visão dos perigos

Depois

- Aguarde até que as autoridades declarem que é seguro viajar no seu bairro antes de voltar para lá.
- Tenha cuidado ao passar por lá, pois o local ainda pode apresentar perigos.
- Esteja ciente de que a realocação e o reassentamento de sua família podem ser longos e envolver muitas etapas. Seja paciente.
- Realoque sua família. Se a sua residência estiver inabitável, você precisará encontrar uma acomodação temporária. O governo pode fornecer assistência para isso. Tente não separar sua família

Fonte: (Cruz Vermelha, 2018).

Outro fator que requer ação urgente é a situação crítica da bacia hidrográfica do município de Petit-Goâve, que está sujeita à falta de vegetação no alto curso. A presença de vegetação de grande biomassa reduz o impacto das chuvas. Por isso, esta bacia hidrográfica necessita de um programa de reflorestamento, para que a vegetação possa intervir contra a erosão das águas superficiais que carrega grandes volumes de sedimentos para os rios e ampliar as taxas de infiltração, para que haja uma melhor distribuição temporal das cheias.

De fato, as raízes das árvores poderiam reduzir os sedimentos erodidos ao reduzir a energia dos agentes erosivos. Além disso, pode exercer um efeito favorável na sedimentação de partículas, graças aos processos de aprisionamento e retenção de parte dos sedimentos erodidos dentro de uma bacia hidrográfica. E em áreas onde as encostas são íngremes, é aconselhável fazer uso de sebes de plantas como o plantio de vetiver, capim-guinés, a fim de promover a retenção de sedimentos com maior eficiência.

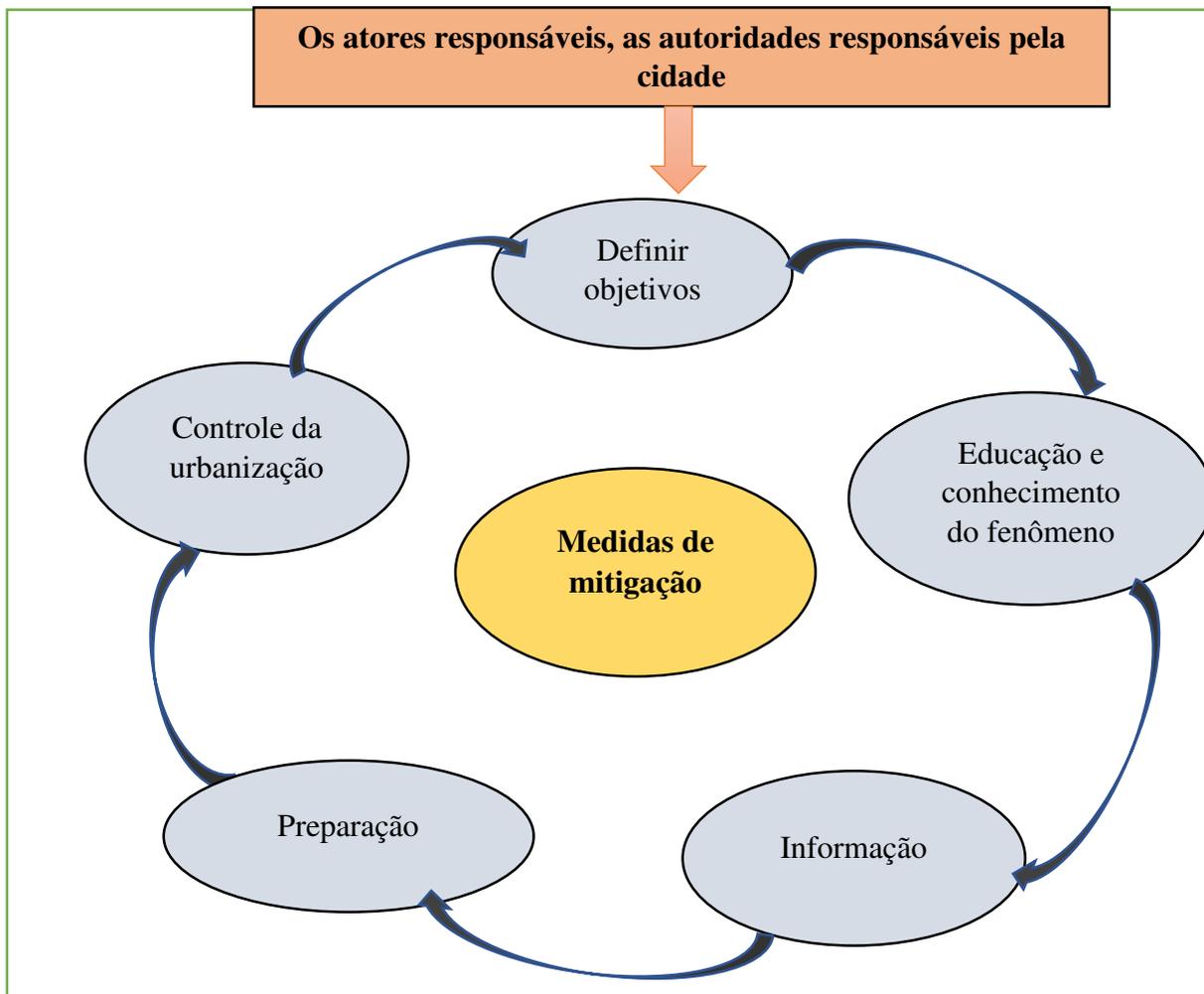
10.2 O PAPEL DOS ATORES, AUTORIDADES

Sabemos que todos os planos de gestão de riscos contam com um conjunto bem organizado de coordenação de recursos, todos identificando claramente os atores institucionais, bem como seu papel no processo, e apresentando seus métodos operacionais de acordo com as necessidades da área em questão. Portanto, o primeiro ator envolvido é o Estado. Como ator responsável, deve instaurar um sistema administrativo sobre sua supervisão e seus serviços de planejamento ordenamento territorial. Os eleitos da comuna de Petit-Goâve devem fazer dos problemas advindos da inundação como uma prioridade deles.

Portanto, o plano de gestão dos riscos de inundações no município de Petit-Goâve deverá ter por um lado o suporte: de uma abordagem sistémica, porque estabelecer a gestão do risco de inundações é pôr em marcha um conjunto de decisões político-administrativas, operacionais atividades, atores e tecnologias para reduzir ou mitigar os efeitos desse fenômeno na comunidade. Nesse sentido, inclui a avaliação e análise do risco, bem como a implementação de estratégias e ações específicas para controlá-lo, reduzi-lo e transferi-lo. Por outro lado, o apoio a uma abordagem participativa, em que todos os membros da população possam cooperar com base nas informações que receberam, a fim de mitigar ou transferir os efeitos adversos dos riscos por meio de atividades e medidas de prevenção, e preparação.

A gestão do risco, seja através de ações de prevenção ou de gestão de crises, assenta-se em um bom conhecimento do fenômeno natural. É necessário ser capaz de colocar qualquer evento futuro ou potencial de inundação em perspectiva em relação a outras possíveis inundações. Assim, a FIGURA 62 resume todos os passos fundamentais a seguir para melhor gerir o risco de inundação na comuna de Petit-Goâve.

FIGURA 64- As etapas de planejamento da gestão do risco inundações.



Fonte: MENDIONDO;GRACIOSA (2011)

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da suscetibilidade de inundações no município de Petit-Goâve (caso La Digue) mostra que o nível de vulnerabilidade da população depende de alguns fatores.

Por exemplo, em relação aos aspectos físicos, a análise da litologia confirma o solo que contém materiais sensíveis ao fenômeno da erosão e drenagem. E por se situar numa zona onde predomina o clima tropical com alternância entre as estações seca e chuvosa, permite também estar suscetível ao fenômeno da erosão hídrica e alteração das rochas maduras. Além disso, a análise dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio La Digue colabora na construção de um inventário do meio físico, apoiado na composição geológica, geomorfológica, que permite ampliar a compreender potencial de enchentes da área urbana.

Com relação aos aspectos do relevo, a maior parte da bacia hidrográfica é composta por região montanhosa com declives acentuados, morfologia favorável ao transporte de sedimentos por gravidade e transporte fluvial. Os quais são muito visíveis graças à presença de aluviões em excesso durante a estação chuvosa e também de neossolos , flúvicos que formam de solo em sua planície aluvial. Com efeito, não devemos descuidar das práticas agrícolas a montante, que modificam o sistema de taludes de forma muitas vezes irreversível. A partir da análise dos parâmetros físicos da bacia do rio La Digue, entendemos que estão reunidas todas as condições para que haja inundações. Outro aspecto é que nas épocas de chuvas e furacões, é muito provável que ocorram enchentes por transbordo de água, pois existe um obstáculo que impede a circulação da água em direção às saídas.

Então, os problemas da bacia hidrográfica de La Digue são graves, é urgente encontrar uma maneira de remediá-los. Porque esta situação tem um impacto sobre a população durante a temporada de furacões, que causam inundações. Então, entendemos que a verdadeira questão ambiental não é a bacia hidrográfica em si, mas sim a situação da parte o alto curso, que exige um trabalho de desenvolvimento, reflorestamento para facilitar a infiltração da água, diminuir a erosão. De facto, o volume de sedimentos presentes no leito do rio Digue é uma das causas das cheias na cidade de Petit-Goâve. É muito urgente que as autoridades tomem providências para tomar as medidas necessárias para sanar este problema.

Outro aspecto que envolve o problema da ocorrência de enchentes está relacionado principalmente à ocupação de áreas propensas a enchentes pela população e a frequência de ocorrência de enchentes. Este último refere-se ao facto de a ocorrência de cheias estar ligada à

natureza aleatória do regime de precipitação na bacia contribuinte, fazendo com que as águas do Rio Digue transbordem e inundem a área a jusante.

No entanto, apesar das razões históricas para a ocupação das áreas próximas ao rio, há um crescimento desordenado e acelerado da cidade, mais precisamente do centro da cidade. Isso faz com que a pressão demográfica ocupe o maior leito da bacia. Isso facilita a urbanização sem nenhuma estrutura, e que permite um aumento do escoamento superficial, ocasionando, para um mesmo volume de precipitação ao mesmo tempo, uma maior oferta de água ao rio, que chega mais rápido, devido à redução da infiltração. Essa contribuição maior e mais concentrada ao longo do tempo torna as inundações mais intensas e frequentes. Observa-se, portanto, que a ocorrência de inundações tem acarretado maiores prejuízos, tanto em termos de perdas humanas quanto em termos econômicos.

Portanto, para compreender as inundações de Petit-Goâve, é preciso observar não apenas a quantidade de água do rio, mas também os depósitos de aluvião à jusante. Os próximos passos perfazem o uso da geomorfologia no auxílio da definição de pontos para intervenção a fim de diminuir os efeitos das inundações, com apoio da análise hidrológica, que é fundamental para dimensionar essas estruturas.

Entendemos que o estudo da suscetibilidade a inundações na cidade de Petit-Goâve permite constatar que a ameaça nesta cidade é elevada em algumas localidades. Mas existe uma espécie de desconhecimento desta ameaça devido às fragilidades registadas ao nível da urbanização, as populações continuam a instalar as suas casas em zonas onde o nível de vulnerabilidade é elevado sem qualquer intervenção concreta das autoridades. Cada um constrói à sua maneira no leito maior do curso d'água.

Por isso, para reduzir as consequências nefastas do fenômeno de inundação, seria necessário fazer intervenções rápidas na bacia hidrográfica La Digue, incluindo obras de urbanização. Além disso, as autoridades envolvidas devem ser capazes de controlar o crescimento da urbanização, promover a melhoria ou realocação de edifícios existentes em áreas de risco. Assim, de acordo com a análise da situação, é evidente que não haverá redução do risco de cheias se as autoridades competentes não tiverem em conta a existência desses riscos.

É recomendado valorizar estudos sobre riscos naturais no Haiti, ao mesmo tempo em que se empenham esforços para disponibilizar dados hidrológicos e climáticos acessíveis a todos os pesquisadores em geociências. Isso poderia contribuir para a realização de pesquisas

mais aprofundadas sobre a susceptibilidade a inundações repentinas e muitos outros riscos naturais. É importante se informar adequadamente, conscientizar os membros da população por meio do conhecimento científico disponível, ressaltando que medidas estruturais devem ser implementadas no município para garantir a proteção de propriedades e vidas humanas em Petit-Goâve. Nesse sentido, a ciência geográfica, por meio de estudos contínuos, pode fornecer respostas e soluções para os desafios enfrentados, contribuindo para uma compreensão adequada dos riscos naturais a fim de garantir não apenas a proteção da geração atual, mas também das gerações futuras em Petit-Goâve e no Haiti.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ação preventiva da AgriSur contra diferentes tipos de inundações. AgriSur, 2013. Disponível em: <https://www.agrisur.fr/>. Acesso em: 18.ago.2021

ACSELRAD, H. **Vulnerabilidade ambiental, processos e relacionamentos.** 2006. Disponível em: <https://documentoskoha.s3.amazonaws.com/11342.pdf>. Acesso em: 09.out.2021.

ALCÁNTARA-AYALA, I. **Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries.** Geomorphology, Cambridge: Elsevier, v. 47, n. 2/4, p. 107-124, oct. 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X02000831>. Acesso em: 31.fev.2023.

AMARO, A. **Consciência e cultura do risco nas organizações.** Territorium, Coimbra, n. 12, p. 5-9, 2005. Acesso em 21.set.2022.

ANA CAROLINA VICENZI FRANCO, M. A. **Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio luís alves/sc. mercator.** 2015 doi:10.4215/RM2015.1403. 0009.

Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. 2020. Acesso em 10 de 08 de 2022, disponível em Meio ambiente: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/enxurradas>

ÁVILA, BT, ALMEIDA NETO, JO ; FELIPPE, MF (2017, janeiro/abril). **Sensibilidade morfométrica às inundações nas bacias tributárias do rio do peixe, área da mata de minas gerais ávila.** Treinamento online, tomo 1(2178-7298.), 156. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

BABAR, M. **Hidrogeomorfologia: Aplicações e Técnicas Fundamentais.** Nova Delhi: NIPA, 274p, 2005.

BARBOSA JR, A. R. (2023). **Bacia Hidrográfica. Hidrologia Aplicada – CIV 226.** Acesso em 02 fev 2023. Disponível em http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/Cap2%20-%20Bacia%20Hidrografica_UFOP.pdf

BENNIS, S. (2014). **Hidráulica e Hidrologia**. Quebec: ETS. Acesso em 17 set, 2021.

BERTONI, JC (2006). **Inundações urbanas na América Latina: reflexões sobre o papel dos fatores de risco**. *Frontiers in Flood Research*, 123-141. Acesso em 10 set de 2022.

BERNSTEIN, L., et al. **Climate change 2007: synthesis report (IPCC 4th Assessment Report)**, 2007.

BRAGA, JO (2016). **Alagamentos e inundações em áreas urbanas: studio de caso na cidade de santa maria - DF**. Brasília. Acessado em 02 jan, 2022.

BUTERLLIN, J. (2019, 25 de janeiro). **Geologia geral do Haiti** OpenEditionBooks. (ed. IHEAL, Ed.) doi:10.4000/books.iheal.5606.

CHOCAT, B. (1997). **O possível papel da urbanização no aumento do risco de inundação**. *GEOCARREFOUR*, 273-280. Acesso em 18 set 2022.

COLL, L. (2020-02-27). **Jornal da UNICAMP. Climático e o aumento de eventos extremos**. Acesso em 18 set 2022. Disponível em <https://www.unicamp.br/unicamp/index.php/ju/noticias/2020/02/27/estreita-relacao-entre-mudancas-climaticas-eo-aumento-de-eventos-extremos>.

CLEBER MARQUES DE CASTRO, M. N. (2005). **Riscos Ambientais e Geografia: Conceituações, Abordagens e Escalas**. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, p. 11-30. Acesso em 19 set de 2022.

C-PRIM.(2022). **Derretimento: COMPREENDENDO FLASH FLOODS**: <https://www.c-prim.org/documentation/dossiers-th%C3%A9matiques/comprendre/>

CAIO MÁRIO LEAL FERRAZ, RC (2020, 10). **Avaliação e mapeamento de riscos socioambientais: quem está vulnerável? dos vozes do vales** (UFVJM)(ISSN: 2238-6424). Acessado em 02 jan, 2022.

CARLOS MIRANDA RODRIGUES, MM (2011). **Universidade de Évora notas para cursos de hidrologia**. Acessado em 02 28, 2022

CHARLTON, R. **Fundamentos de geomorfologia fluvial**. Nova York: Rosemary Charlton, 2007.

C. FERREIRA .**O impacto do ciclone Winston em Viti Levu, ilhas Fiji: a vivência de um desastre**. XV Colóquio Ibérico de Geografia/Retos y tendencias de la Geografia Ibérica, Flórida 2016. p. 176-188. Acesso em 01 out 2022

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.

CLAUDE COSANDEY, MR . **Hidrologia Continental**. Editora: Armand Colin, 2012.

COOKE, Reino Unido; DOORNKAMP, JC **Geomorfologia na gestão ambiental**. Oxford: Claredon Press, 1990. 410 p.

CONHECI ANDERE WOORDEN, AH). **Plano de Gestão do Risco de Cheias 2022-2027**. Amsterdã, 2021. Acesso em 23 nov de 2022.

CUTTER, S. L. **A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores**. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, 2011. doi:DOI : 10.4000/rccs.165

DELMOND, C. Recuperado em 12 de setembro de 2021, da Radio Mega Net: <http://www.radiomega.net/03/haiti-societe-petit-goave-une-commune-riche-mais-neglige/uncategorized/admin/10/04/06/31/2016/>

EDUARDO ANTONIO LICCO, SF. **Alagamentos, Impactos Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sociais e governança**. *Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística Edição Temática em Sustentabilidade*, 2015. 5(#3), 163. Acesso em 02 fev, 2022

ESSONE. (2020). Recuperado de https://www.essonne.fr/fileadmin/5-cadre_vie_environnement/Environnement/risques_majeurs/dossier_information.pdf

FANNY, M. **Urbanização e áreas propensas a inundações: Que fatores influenciam as autoridades eleitas em suas escolhas para urbanizar áreas propensas a inundações?** 2008. Acessado em 02 fev, 2022

FELIPPE, MF. **Gênese e dinâmica das molas: contribuições da pesquisa hidrogeomorfológica na região tropical**. Tese (Doutorado em Geografia) -, Universidade Federal Minas Gerais (UFMG) Belo Horizonte, 2013.

G. GALÉA E C. PRUDHOMME. **Noções e conceitos básicos úteis para a compreensão da modelagem sintética de regimes de inundação em bacias hidrográficas dentro do significado dos modelos**, 1997, QdF p.83-101.

GOERL, Roberto Fabris et al. **Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Porto Alegre, c. 2, não. 13, p.103-111, maio de 2012.

GOERL, R. F., KOBİYAMA, M., & PELLERIN, J. R.. **Mapeamento de vulnerabilidade no município de rio negro – sc: uma proposta metodológica**. *Caminhos de geografia - revista on line*, 2011. Acesso em 02 nov 2023. Disponível em <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>

HEIMBURGER, J.-F. **O sistema de prevenção e gestão de desastres meteorológicos no Japão Que lições práticas para melhorar o sistema norte-coreano?** LEVALLOIS-PERRET: FUNDAÇÃO PARA PESQUISA ESTRATÉGICA, 2022. Acesso em 24 nov 2022

HIRAI, H. **Trabalho de prevenção de inundações no japão**, 2007. Acesso em 17 nov 2022. Disponível em: <https://lenouvelliste.com/article/70711/petit-goave-sucree-au-douce-marcos>

ISO, A. N. **Gestão de riscos — Princípios e diretrizes Risk management – Principles and guidelines**, 2009.

ÍTALO FERREIRA GIRÃO, DR. **Análise dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade teórica e Suscetibilidade**. REINO, 2018). 4, pág. 72. Acesso em 02 jan, 2022.

J. JACQUES. **Aplicação do método do hidrograma unitário**. Lahouile Blanche (ESPECIAL No. B-1960), 858. Acesso em 09 13, 2021.

JEAN-NOEL, S. **homem diante de enchentes e inundações**: Pessac. 1997.
doi:10.4000/books.pub.1466

BALLAIS.J.L; SILVAIN C;DERLOME-LAURENT.V; CHRISTOPHE.E
Hydrogéomorphologie et inondabilité. *ERUDIT*, 2009 ,75-84.
doi:https://doi.org/10.7202/029571ar

JONATHAN DUARTE MARTHINS .**Estudo da suscetibilidade à inundaçãõ com base em análise geomorfológica, bacia hidrográfica do arroio santa Isabel, região costeira do rio grande do Sul, brasil**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 37 (1), 2016, pp. 13-28.
doi:DOI 10.5935/0100-929X.20160002

JOSE CANDIDO STERVAUX, E. M.**geomorfologia fluvial**. sao paulo: colecao geografia. 2017.

JOSEPH, A.. **O Haiti Tem Uma Rede Hidrográfica Extremamente Rica**. Metrônomo. 2018, 25 de junho .Acesso em 09 nov, 2021.

KORAH, P. I.; LÓPEZ, F. **Mapping Flood Vulnerable Areas in Quetzaltenango, Guatemala using GIS**. Journal of Environment and Earth Science, v. 5, n. 6, p. 132-143, 2015. Disponível em: <https://iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/21000/21249>. Acesso em: 26 Junho. 2023.

LABORDE, J. **Elementos de hidrologia de superfície**. Nancy, 2009. Consultado em 09 13, 2021. Disponível em:
https://www.pseau.org/outils/ouvrages/universite_de_nice_elements_d_hydrologie_de_surface_laborde_2009.pdf

LANA, C. E., Alves, J. M., & Castro, P. d. **Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil**. *Geologia • Rem: Rev. Esc. Minas*, 2001.
<https://doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008>. Acesso em 02 fev 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008>

LAUTHARTE, SL. **Verificação do modelo de hidrograma unidade da scs para sub-bacias hidrográficas de porto alegre**. Santa Maria, 2015. Acessado em 09 14, 2021

LEBLOIS, E. **L'influence humaine dans l'origine des crues**. *ministère de l'Environnement* (pp. 30-36). Paris: Gip Hydrosystèmes, 1996. Acesso em 11 maio 2022.

LÍDIA KEIKO TOMINAGA, JS. **Desastres naturais conhecer para prevenir**. pág. 39. 2009. Acessado em 09 out, 2021.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

LORION, D. **Aterros e riscos de inundações em ambientes tropicais. O exemplo da Ilha da Reunião**. REVISTA DE EDIÇÃO ABERTA, 2006 p. 45-66. doi: <https://doi.org/10.4000/norois.1753>

LUCIANO LOURENÇO, F. T. **Realidades e desafios na gestão dos riscos: diálogo entre ciência e utilizadores**. Coimbra: NICIF - Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, 2014. doi:10.14195/978-972-8330-23-1_1

LELIEVRE M-A ; THOMAS. B.-B ; FRANCOIS.M. . **l'approche hydrogéomorphologique pour la cartographie des zones à risque d'inondation dans les vallées de petites et moyennes tailles : un exemple commenté pour la vallée de la rivière-au-renard**. Georisk, GeoHazards,,: Quebec, 2007.

Magrin, GO, Marengo, JA, Boulanger JP, Buckeridge, MS, Castellanos, E, Poveda, G, Scarano, FR, e Vicuña, S (2014) **Central and South America. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566.

MARTINS, V. A. **Dos condicionantes naturais à construção social da vulnerabilidade: as inundações urbanas na bacia do córrego humaitá, juiz de fora, mg, brasil**. Dissertação de mestrado (curso de geografia). Juiz de Fora, 2022.

MELISSA CRISTINA PEREIRA GRACIOSA, E. M. **Seguro-enchente como mecanismo de gestão do risco de inundações em bacias hidrográficas urbanas**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió sediará, 2011. Acesso em 01 fev 2023, disponível em https://abrh.s3.saeast1.amazonaws.com/Sumarios/81/2ae436ee009c7f49bc4b38891b832a01_d20bb57614b6ee950437d560715335e6.pdf

MONIQUE FORT, FB-F. **Geomorfologia dinâmica e ambiente**. Arnaud Collin, 2015.

MONTOROI, J.-P. **O papel do solo na gênese das inundações**. Simpósio europeu problema atual de luta contra as inundações, 2012. Acesso em 04 nov 2022.

MORAES, G. A. (2017). **Breve estudo da hidrogeomorfologia no brasil e em portugal**. 2017

MUSY, A. **A bacia de águas e seu complexo**. 2005. Acesso em 04 dez 2022. Disponível em: <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>

OECD, **Financial Management of Flood Risk**, OECD Publishing, Paris 2016. Disponível em : <https://dx.doi.org/10.1787/9789264257689-en>. Acesso em 18 nov 2022

PAZ, AR . **Hidrologia Aplicada**. Rio Grande do Sul. 2004. Acessado em 02 out 2022

POZZER, C.; MAZZEGA, P. **A redução de risco de inundação no Brasil: uma prioridade no quadro legislativo do país**. Paranoá, Brasília, no 10, p. 25-36, 2013.

PINHEIRO, A. **Enchente e inundação**. In: SANTOS, RF (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 192p.

PNUD, MDR, SEDEC (2021) **guia prático de utilização de alertas do governo federal para ações de preparação para desastres**. 2ª Edição: Brasil p.10-26

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. Revista do departamento de geografia, v. 8, p. 63-74, 1994.

REBELO, F. **A Riscos naturais e acção antrópica**. 274p. Coimbra: Imprensa da Universidade, 2001.

SANTOS, Jader de Oliveira. **Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos**. Mercator (Fortaleza), v. 14, p. 75-90, 2015.

SCHEIDEGGER, AE, 1973. **Hidrogeomorfologia**. J. Hydrology., 20: 193-215.

SCHUMM, SA. **O Sistema Fluvial**. John Wiley and Sons, Nova York, 1977. 338 p.

SHENG, T. **Guia, estudo e planejamento de gestão de bacias hidrográficas**. Roma. 1993.

SOCIÉTÉ DE LA CROIX-ROUGE D'HAÏTI ET FÉDÉRATION INTERNATIONALE DES SOCIÉTÉS DE LA CROIX-ROUGE ET DU CROISSANT-ROUGE, S. d.-R. (2015).

Comment la loi et la réglementation Haïti: rapport d'étude de cas d'Haïti. Acesso em 23 abril 2023. Disponível em

https://disasterlaw.ifrc.org/sites/default/files/media/disaster_law/2020-09/HAITI%20DRR%20Report%20francesNov17.pdf

SMEDEMA, L.K; RYCROFT, D.W. **Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems**. New York: Cornell University Press, 1983.376p.

SOUZA, C. R.. **Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras**. Revista Brasileira de Geomorfologia, 2005. Acesso em 08 mai 2022.

SOUZA, L. A., & SOBREIRA, F. G. **Bacia hidrográfica do ribeirão do carmo: atributos morfométricos, equação de chuva intensa e tempo de concentração, e análise da**

suscetibilidade a inundação. Revista Brasileira de Cartografia , 2017. p. 1355-1370. Acesso em 01 fev 2023.

SLOMP, R. **Simpósio internacional – adaptação dos pântanos costeiros às mudanças climáticas.** Gestão de risco de inundação na Holanda, como enfrentar o desafio do clima e da sociedade? Holanda: Espace LA ROCHELLE, 2018. Acesso em 18 nov 2022

SLOMP, R. **O quadro legislativo e organizacional para a gestão do risco de cheias nos Países Baixos.** Paris: Ministério de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2012. Acesso em 22 nov 2022.

TANGUY, M. **Mapeamento de risco de cheias urbanas adaptado à análise preliminar de gestão de crises.** Quebec: Instituto Nacional de Pesquisa Científica Centro Eau Terre Environnement, 2012. Acesso em 28 nov. 2022.

UN. (21 de 09 de 2004). **Ciclone Jeanne: mais de 600 mortos na cidade de Gonaives, no Haiti.** Acesso em 10.set.2022. Disponível em: UNITED NATIONS INFOS: <https://news.un.org/en/story/2004/09/59502>.

UNISDR. **Terminologia UNISDR para prevenção de riscos e desastres.** Suíça, Genebra: Nações Unidas, 2009. Acesso em 28.nov.2022.

UNISDR. **Plataforma Global 2017 para Redução de Risco de desastre.** Cancun. Acesso em 02.fev.2023. Disponível em https://www.preventionweb.net/files/55465_proceedingsfrweb.pdf

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

VINCENT BRAHY, SL (sd). **Os fluxos, inundações e baixos níveis de água dos rios.** AGUA. Recuperado 09 13, 2021, de http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rapport%20analytic%202006-2007/Chap10/7_DebitsCruesEtiagesCoursEau/EAU_06.pdf

WATERLOO PEREIRA FILHO, P. T. (2019). **Escoamento superficial e hidrógrafa.** Disponível em : https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/676/2019/08/3_Hidr%C3%B3grafa.pdf

COLLISHONN .W; DORNNELLES. F. **Hidrologia para engenharia e ciencias ambientais.** porto alegre: coleção ABRH, 2013. Acesso em 09 de 08 de 2022

WHO. (2018). **Liberações químicas associadas a ciclones.** WHO/CED/PHE/EPE/18.03/FR, 2. Acesso em 01.out.2022. Disponível em <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330913/WHO-CED-PHE-EPE-18.03-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

YVETTE VEYRET, M.-R.. **Aléas e riscos na análise geográfica.** Annales des mines, 67. 2005. Acesso em 12.out.2022. Disponível em: <https://www.annales.org/site/re/2005/re40/veyret.pdf>