

CONTRIBUIÇÃO DA HIDROGEOMORFOLOGIA NA ANÁLISE DAS INUNDAÇÕES EM PETIT-GOÂVE, HAITI

Jania **Laguerre**¹, Miguel Fernandes **Felippe**²

(1 – Universidade Federal Juiz de Fora (UFJF), Programa de Pós-Graduação em geografia, laguerrejanias88@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-6051-7581>; 2 – Universidade Federal Juiz de Fora, Departamento Geociências, miguel.felippe@ich.ufjf.br, <https://orcid.org/0000-0002-0261-4298>).

Resumo: As inundações representam uma das catástrofes naturais mais recorrentes, provocando sérias consequências para a população. O Haiti, em particular, enfrenta repetidas inundações, especialmente em Petit-Goâve, associadas à temporada de chuvas, furacões e tempestades tropicais. Este estudo teve como objetivo analisar a contribuição dos aspectos hidrogeomorfológicos para a ocorrência de inundações em Petit-Goâve, examinando a relação entre a geomorfologia e o acúmulo de água na bacia hidrográfica do rio La Digue. Adotou-se uma abordagem hidrogeomorfológica, por meio da análise de parâmetros morfológicos e da elaboração de perfis topográficos. Os aspectos hidrológicos foram avaliados utilizando-se o método racional, enquanto a suscetibilidade a inundações foi determinada com base em um método multicritérios, considerando declividade, fluxo e uso do solo. Os resultados indicam que as inundações são fortemente influenciadas por fatores ambientais, especialmente pela ocupação urbana em áreas de planície de inundação. Estes achados reforçam a importância do planejamento territorial e da gestão ambiental para reduzir os impactos das inundações em regiões vulneráveis.

Palavras -Chaves: Bacia hidrográfica; geomorfologia; La Digue

CONTRIBUTION OF HYDROGEOMORPHOLOGY IN THE ANALYSIS OF FLOODS IN PETIT-GOÂVE, HAITI.

Abstract: Floods represent one of the most recurrent natural disasters, causing serious consequences for populations. Haiti, in particular, faces repeated flooding, especially in Petit-Goâve, associated with the rainy season, hurricanes, and tropical storms. This study aimed to

analyze the contribution of hydrogeomorphological aspects to the occurrence of flooding in Petit-Goâve, examining the relationship between geomorphology and water accumulation in the La Digue River watershed. A hydrogeomorphological approach was adopted, based on the analysis of morphological parameters and the development of topographic profiles. Hydrological aspects were assessed using the rational method, while flood susceptibility was determined through a multicriteria approach, considering slope, flow, and land use. The results indicate that flooding is strongly influenced by environmental factors, particularly urban occupation in floodplain areas. These findings reinforce the importance of territorial planning and environmental management to mitigate flood impacts in vulnerable regions.

Keywords: Watershed; Geomorphology; La Digue

CONTRIBUTION DE L'HYDROGÉOMORPHOLOGIE DANS L'ANALYSE DES INONDATIONS À PETIT-GOÂVE, HAÏTI

Résumé: Les inondations représentent l'une des catastrophes naturelles les plus récurrentes, provoquant de graves conséquences pour les populations. Haïti, en particulier, fait face à des inondations répétées, notamment à Petit-Goâve, liées à la saison des pluies, aux ouragans et aux tempêtes tropicales. Cette étude a pour objectif d'analyser la contribution des aspects hydrogéomorphologiques à la survenue des inondations à Petit-Goâve, en examinant la relation entre la géomorphologie et l'accumulation d'eau dans le bassin versant de la rivière La Digue. Une approche hydrogéomorphologique a été adoptée à travers l'analyse des paramètres morphologiques et l'élaboration de profils topographiques. Les aspects hydrologiques ont été évalués à l'aide de la méthode rationnelle, tandis que la susceptibilité aux inondations a été déterminée selon une méthode multicritère, en tenant compte de la pente, de l'écoulement et de l'usage des sols. Les résultats indiquent que les inondations sont fortement influencées par des facteurs environnementaux, en particulier par l'occupation urbaine des zones de plaines inondables. Ces résultats soulignent l'importance de la planification territoriale et de la gestion environnementale pour réduire les impacts des inondations dans les régions vulnérables.

Mots-clés : Bassin versant ; Géomorphologie ; La Digue

Introdução

Os desastres naturais impactam anualmente diversos países, seja por processos geológicos, como terremotos e erupções vulcânicas, ou por fenômenos climáticos, como ciclones, secas e inundações. Entre esses eventos, as inundações destacam-se como as mais recorrentes em escala global, ocasionando impactos significativos sobre as populações, a infraestrutura e os ecossistemas (BBC, 2024). Estima-se que, entre 1990 e o presente, mais de 4 bilhões de pessoas tenham sido afetadas por inundações, resultando em perdas econômicas superiores a US\$ 1 trilhão, com maior incidência sobre grupos socialmente vulneráveis (Guterres, 2021). De acordo com o Banco Mundial (2022), cerca de 1,81 bilhão de pessoas vivem atualmente expostas ao risco de inundação, evidenciando a sobreposição entre vulnerabilidade social e exposição ambiental.

Além dos impactos socioeconômicos, as inundações produzem efeitos ambientais expressivos, alterando ecossistemas, comprometendo a biodiversidade e reduzindo a qualidade de vida das populações afetadas, com reflexos diretos sobre a segurança alimentar (Santana, 2024). Esse quadro tem sido agravado pelas mudanças climáticas, uma vez que o aquecimento global intensifica a capacidade da atmosfera de reter vapor d'água, favorecendo a ocorrência de chuvas mais intensas e eventos extremos que frequentemente excedem a capacidade de drenagem natural e artificial dos sistemas fluviais (Yamamoto & Sayama, 2021).

No Haiti, as inundações configuram-se como fenômenos recorrentes e frequentemente devastadores. Eventos extremos, como o ciclone Jeanne em 2004, provocaram enchentes catastróficas em Gonaïves, resultando em mais de 3.000 mortes (Gilbert, 2008). Entre 2004 e 2018, o país acumulou perdas significativas associadas a ciclones, tempestades tropicais e chuvas torrenciais. A comuna de Petit-Goâve exemplifica esse cenário de vulnerabilidade, tendo sido severamente afetada por eventos ocorridos em setembro e outubro de 2018, bem como pelo ciclone Matthew em 2016, que destruíram infraestruturas essenciais e comprometeram as vias de transporte. Esses impactos são potencializados por fatores estruturais como elevada densidade populacional, pobreza extrema, desmatamento, ocupação desordenada das planícies fluviais e ausência de obras de controle hidrológico.

A compreensão desses fenômenos exige uma abordagem integrada dos processos hidrológicos. A hidrologia, segundo Laborde (2009), é definida como a ciência que estuda o

ciclo da água e estima suas diversas vazões, abrangendo componentes como a climatologia, a precipitação, a evaporação, o retorno da água à atmosfera e a hidrologia de superfície. Nesse sentido, a precipitação exerce papel central na dinâmica hidrológica, constituindo o principal componente responsável pela alimentação das reservas hídricas do solo, pela recarga dos aquíferos subterrâneos e pela regulação do regime fluvial (Porteret, 2008; Cosandey & Robinson, 2012).

Quando a intensidade da precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, parte da água acumula-se na superfície, dando origem ao escoamento superficial (Collischonn & Dornelles, 2013). Esse processo é fortemente influenciado pela intensidade e duração das chuvas, bem como pelas intervenções antrópicas no uso e cobertura do solo. A urbanização, por exemplo, tende a aumentar a vazão de pico e o volume do escoamento superficial, alterando significativamente a resposta hidrológica das bacias hidrográficas (Rodrigues & Blanco, 2018).

A análise temporal das vazões fluviais é tradicionalmente realizada por meio do hidrograma, que representa graficamente a descarga que atravessa uma seção do rio ao longo do tempo (Filho et al., 2019). A forma do hidrograma está diretamente relacionada à duração da chuva e ao tempo de concentração, definido como o intervalo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia alcance o exutório (Collischonn & Dornelles, 2013). Esse parâmetro é fundamental na previsão e no gerenciamento de eventos de enchentes.

No âmbito dos estudos hidrológicos aplicados às inundações, o método racional destaca-se como uma das metodologias mais utilizadas para a estimativa de vazões máximas, sobretudo em pequenas bacias hidrográficas. Segundo Tomaz (2013), o método estabelece uma relação direta entre a intensidade da chuva e o escoamento superficial, sendo amplamente empregado no dimensionamento hidráulico. No entanto, sua aplicabilidade é limitada por pressupostos restritivos, como a uniformidade espacial da precipitação, a contribuição simultânea de toda a bacia e a incorporação das perdas no coeficiente de escoamento, além de restrições quanto à área máxima da bacia analisada (Akan, 1993; FCTH, 1998).

Diante dessas limitações, a abordagem hidrogeomorfológica surge como um referencial teórico-metodológico complementar e essencial para a compreensão das inundações. A hidrogeomorfologia é uma ciência interdisciplinar que analisa as interações entre os processos hidrológicos e geomorfológicos em diferentes escalas espaciais e temporais, buscando

compreender como a água superficial e subterrânea modela a paisagem (Scheidegger, 1973; Goerl et al., 2011; 2012; Felipe, 2013). Ao longo do tempo, esse conceito foi ampliado para incorporar aspectos geográficos, geológicos e hidrológicos, permitindo analisar as transformações do relevo em resposta a eventos naturais e ações antrópicas (Babar, 2005; Magalhães Jr. & Barros, 2020).

Essa abordagem tem se destacado, especialmente em pesquisas europeias, por seu caráter naturalista e por sua relevância na gestão de áreas expostas ao risco de inundação, contribuindo para a redução da vulnerabilidade e para o ordenamento da expansão urbana (Ballais et al., 2005; 2011). No contexto haitiano, e particularmente na comuna de Petit-Goâve, a análise hidrogeomorfológica revela-se fundamental, uma vez que a bacia do rio La Digue apresenta elevada dissecação do relevo, intenso aporte sedimentar e modificações históricas no uso do solo, fatores que reduzem a capacidade de armazenamento e condução dos canais fluviais e favorecem o transbordamento recorrente.

Parte-se da hipótese de que as inundações em Petit-Goâve não são explicadas somente pela intensidade das chuvas, mas pela configuração hidrogeomorfológica da bacia do rio La Digue, cuja elevada dissecação do relevo, o encurtamento efetivo do tempo de concentração e o intenso aporte sedimentar reduzem estruturalmente a capacidade de armazenamento e condução dos canais fluviais. Essas condições fazem com que eventos pluviométricos com duração igual ou superior ao tempo de concentração ativem simultaneamente grande parte da bacia, produzindo vazões de pico desproporcionais às chuvas registradas, mesmo na ausência de precipitação espacialmente uniforme, o que limita a aplicabilidade direta das premissas clássicas do método racional no contexto local.

Este artigo tem como objetivo analisar a contribuição dos aspectos hidrogeomorfológicos para a ocorrência de inundações no município de Petit-Goâve, com ênfase na bacia hidrográfica do rio La Digue, considerando as variáveis morfológicas, hidrológicas e ambientais que controlam a dinâmica desses eventos. Para tanto, busca-se caracterizar a morfologia da bacia, analisar a relação entre precipitação, tempo de concentração e resposta hidrológica, avaliar o papel da dissecação do relevo e do aporte sedimentar na intensificação das cheias e discutir os limites das abordagens hidrológicas clássicas, em especial do método racional, frente à complexidade hidrogeomorfológica local.

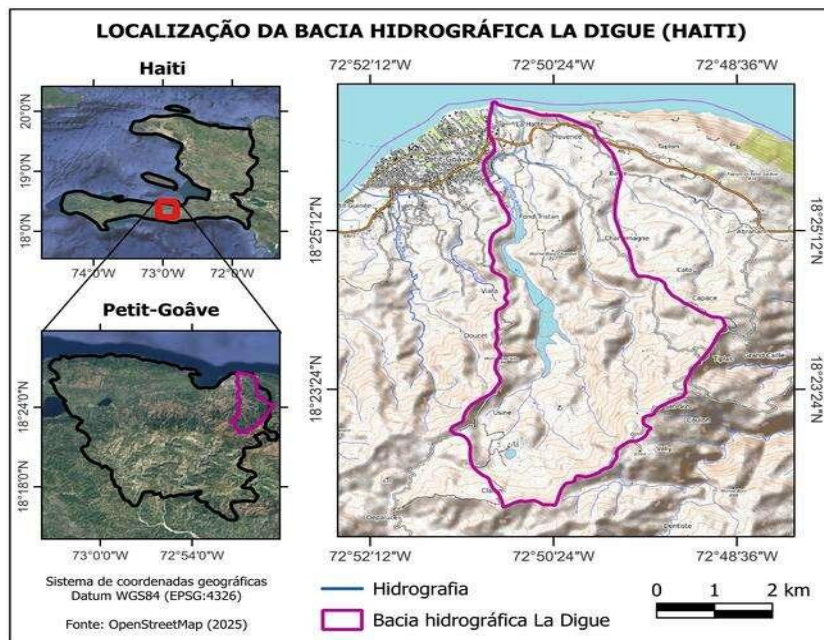
Materiais e métodos

Apresentação da área de estudo

A comuna de Petit-Goâve está situada no departamento Oeste do Haiti, no arrondissement de Léogâne, a aproximadamente 68 km ao sul da capital Porto Príncipe, próxima à Rodovia Nacional nº 2, possuindo área de 387,88 km² e população estimada em 117.504 habitantes, distribuídos entre a vila de Petit-Goâve e 12 seções comunais. Do ponto de vista climático, o município apresenta clima tropical do tipo AW, segundo a classificação de Köppen-Geiger, caracterizado por chuvas concentradas no verão, temperatura média anual de 24,7 °C com variações de 23,3 °C em janeiro a 27,8 °C em agosto, precipitação média anual de 1.047 mm e amplitude térmica de 3,5 °C entre os períodos seco e úmido (Climate-Data.org, n.d).

Em termos de cobertura vegetal, a região possui vegetação típica das áreas tropicais do Caribe, adaptada aos terrenos montanhosos e às variações sazonais de precipitação, com predominância de matas baixas e vegetação secundária em áreas de relevo acentuado. No que se refere à hidrografia, Petit-Goâve é composto por diversas bacias hidrográficas, destacando-se a bacia do rio La Digue (Figura 1) como a principal fonte de risco durante episódios de chuvas intensas, uma vez que atravessa a 11^a e a 12^a seções comunais e abrange áreas próximas a Pointe des Roches, Provence, La Hatte e ao rio Vignes.

Figura 1 - Localização da Bacia hidrográfica La Digue.



Organização: Autores.

Aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica La Digue

Utilização do método racional

A Estimativa vazão na bacia do rio La Digue foi feita pelo método racional (Smedema & Rycroft,1983), que parte do princípio de que a vazão máxima ocorre quando toda a bacia contribui simultaneamente durante uma chuva intensa e constante. Esse método considera que:

- A chuva deve ter alta intensidade e curta duração, coincidindo com o tempo de concentração.
- A precipitação ocorre de forma uniforme em toda a bacia.
- A infiltração é estável e o solo está saturado durante eventos extremos.
- Um único coeficiente de escoamento representa as perdas.
- Não é possível determinar o volume total nem a variação temporal do escoamento.

Limitações e Considerações

Na prática, a precipitação pode variar significativamente no tempo e no espaço, principalmente em regiões tropicais sujeitas a chuvas convectivas intensas e localizadas. Caso a duração da chuva seja menor que o tempo necessário para toda a bacia contribuir com o

escoamento, a vazão calculada pode ser superestimada. Além disso, em bacias maiores ou com heterogeneidade de uso do solo, a infiltração, o tempo de resposta e o escoamento superficial apresentam variações consideráveis.

Outra limitação importante está relacionada à escassez de validação dos resultados, visto que o método racional fornece valores teóricos baseados em parâmetros simplificados. Essa limitação torna-se ainda mais evidente na bacia do rio La Digue devido à falta de dados hidrométricos recentes. A utilização do método racional, portanto, tem caráter estimativo e auxilia na compreensão geral do comportamento hidrológico da bacia.

Os dados da Unidade de Hidrometeorologia do Haiti (UHM) foram usados para estimar o escoamento superficial e a vazão da bacia do rio La Digue, embora a coleta tenha sido limitada desde 1988, especialmente para Petit-Goâve, devido à falta de dados disponíveis. Utilizando-se o método racional, obteve-se a vazão conforme a recomendação apresentada na equação 1:

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

Onde Q é a vazão em m³/s, I é a intensidade da chuva em mm/h, e A é a área de contribuição em km².

Para calcular o tempo de concentração, utilizou-se a equação 2:

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

Onde 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) das cheias extremas, foi utilizado o método de Kimball. Esse método apresenta a fórmula da frequência: $F = (m / (n + 1))$. Os resultados foram obtidos por meio da avaliação das vazões máximas ao longo de um ano, utilizando-se esse método para determinar a frequência. Por fim, a determinação do período de retorno é feita tomando-se o inverso da frequência: $PR = 1 / f$.

Análise Cartográfica

Em seguida, foram empregados os softwares de cartografia QGIS para a elaboração do mapa de delimitação da bacia hidrográfica do rio La Digue, utilizando-se uma escala

cartográfica de 1:25.000. Essa etapa permitiu definir com precisão os limites naturais da bacia e identificar suas principais características morfológicas.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio La Digue, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 9, obtidas no site USGS Earth Explorer, com resolução espacial de 30 m nas bandas multiespectrais, 15 m na banda pancromática e 100 m nas bandas térmicas, além de dados complementares do satélite Esri. As imagens foram processadas e classificadas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, permitindo identificar e delimitar as diferentes classes de uso do solo.

Além disso, a energia do sistema fluvial foi analisada a partir da elaboração dos perfis longitudinais e transversais da bacia. Esses perfis foram elaborados no ArcGIS usando as ferramentas Analysis Tools e Interpolate Shape, permitindo analisar as variações do relevo e a energia do sistema fluvial.

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. A declividade foi derivada do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Alos Palsar, com resolução espacial de 12,5 m. O mapa de uso e ocupação do solo foi obtido da Esri 2021 e reclassificado em quatro classes para compatibilizar com outras variáveis. O fluxo acumulado, gerado a partir do MDE, passou por correções altimétricas. Foram obtidas as direções de fluxo da bacia hidrográfica e, em seguida, o fluxo acumulado para toda a bacia do rio La Digue, posteriormente recortado para o perímetro urbano. Cada variável em formato raster foi reclassificada conforme a suscetibilidade ao risco de inundação. Os parâmetros escolhidos foram classificados em três classes como mencionadas no quadro 1.

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).

Quadro 1- Os parâmetros 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.

Resultados e discussão

Perfis topográficos e coeficiente de escoamento superficial como indicadores da vulnerabilidade a inundações na bacia hidrográfica La Digue.

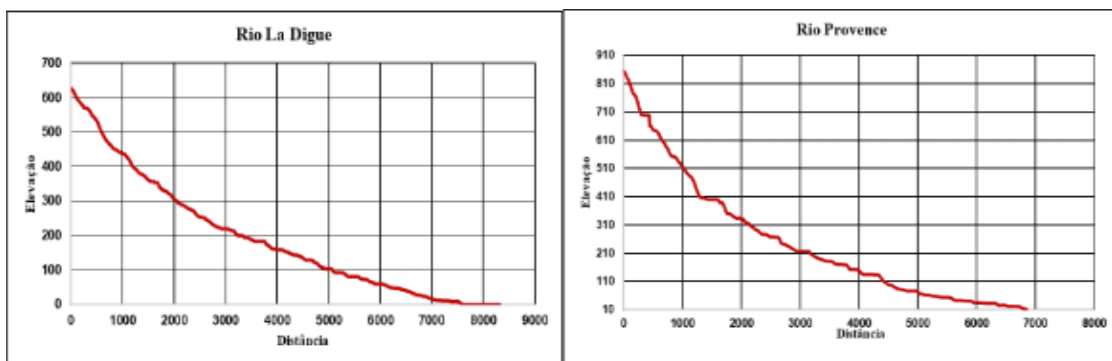
A bacia hidrográfica do rio La Digue apresenta suas nascentes em áreas montanhosas situadas acima de 700 m de altitude, condição que confere ao sistema um elevado nível de energia potencial. Esse fator é determinante para a intensificação dos processos de erosão hídrica nas áreas do terço superior, bem como para o aumento da capacidade de transporte do escoamento ao longo do canal principal. Conforme destaca Christofletti (1980), em sistemas fluviais de alta energia, o controle morfoestrutural exerce papel central na organização da rede de drenagem e na distribuição espacial dos processos hidrogeomorfológicos.

No setor superior da bacia, as encostas íngremes e fortemente dissecadas favorecem a geração de escoamento superficial concentrado, sobretudo durante eventos pluviométricos intensos. Em contrapartida, os setores médio e inferior, caracterizados por declividades mais suaves, atuam predominantemente como áreas de transferência e redistribuição de sedimentos.

Essa diferenciação espacial está em consonância com o modelo clássico de funcionamento hidrogeomorfológico das bacias hidrográficas, no qual as áreas da parte superior funcionam como zonas de produção de sedimentos, enquanto os trechos intermediários e inferiores desempenham o papel de zonas de transporte e de deposição (Guerra & Cunha, 2011).

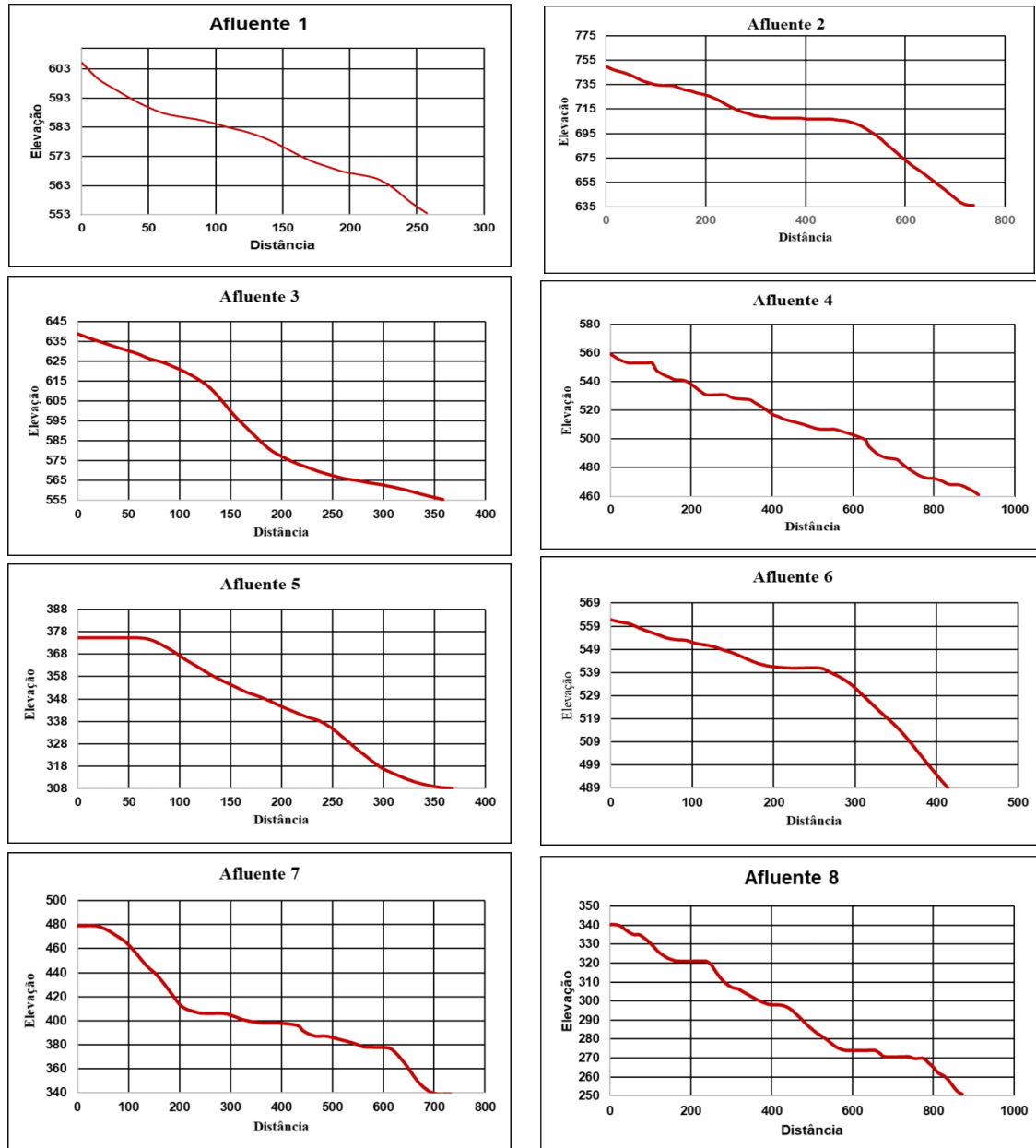
A análise dos perfis longitudinais dos afluentes revela variações morfológicas significativas, uma vez que a maioria apresenta leves irregularidades, expressas por formas convexas ou côncavas. De acordo com Tricart (1977), essas irregularidades indicam rupturas de equilíbrio do sistema fluvial e respostas a variações na descarga líquida e sólida. No caso da bacia do rio La Digue, tais características sugerem a coexistência de processos de erosão regressiva na nascente e de transporte sedimentar expressivo nos setores médio e inferior, evidenciando um sistema fluvial em constante ajuste hidrogeomorfológico (Figuras 2 e 3).

Figura 2- Os perfis longitudinais da bacia hidrográfica de La Digue e Provence.



Fonte: Autores, 2026.

Figura 3- Os perfis longitudinais de alguns afluentes bacia hidrográfica La Digue.



Organização: Autores.

Outro aspecto relevante refere-se à influência do regime climático regional, marcado pela alternância anual entre dois períodos chuvosos e dois períodos secos. Essa dinâmica pluviométrica contribui de forma significativa para a variabilidade do escoamento superficial e para a intensificação dos processos erosivos e de transporte de sedimentos ao longo da bacia. Além dos condicionantes naturais, as atividades antrópicas exercem papel fundamental na aceleração dos processos de degradação ambiental da bacia hidrográfica. Práticas como o

desmatamento reduzem a capacidade de interceptação e infiltração da água no solo, favorecendo o aumento do escoamento superficial em alta velocidade durante os eventos de chuva. Considerando que a bacia do rio La Digue funciona como um importante coletor de energia, a interação entre as características das encostas, a intensidade das precipitações e as intervenções humanas contribui de maneira significativa para a intensificação do escoamento superficial e, conseqüentemente, para a elevação do risco de inundações.

O estudo dos perfis transversais (Figura 4) da bacia do rio La Digue permite compreender a dinâmica hidrogeomorfológica, mostrando como a forma do relevo influencia a capacidade de armazenamento e o escoamento da água em períodos de chuva. Foram realizados quatro perfis: o primeiro (P1) na nascente, localizado na parte superior da bacia; o segundo (P2), logo abaixo, também em região elevada; o terceiro, situado na parte média, antes da confluência entre o rio Provence e o rio La Digue; e o quarto (P4), na porção inferior, em área suscetível a inundações, representando os níveis mais baixos.

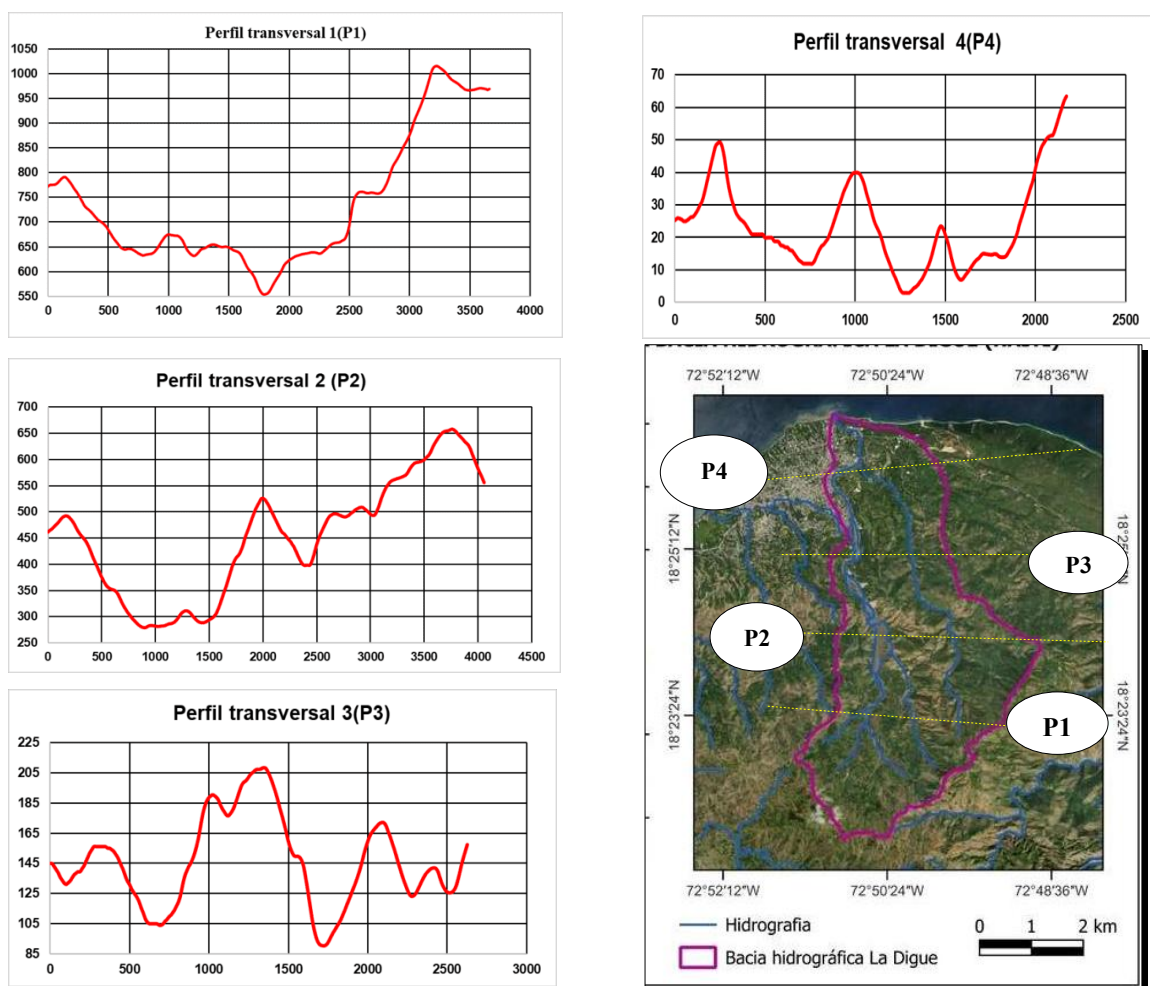
Nos perfis localizados na parte superior da bacia (P1 e P2), observa-se um padrão associado a áreas de maior declividade e menor largura dos vales, o que favorece o escoamento superficial rápido e reduz a capacidade de retenção hídrica. Segundo Tricart (1977), em setores superiores do sistema fluvial predominam processos erosivos intensos, impulsionados pela elevada energia do relevo, o que contribui para a rápida transferência de água e sedimentos para os setores a jusante. Essa dinâmica é reforçada, conforme Ross (1994), quando os compartimentos geomorfológicos apresentam elevada fragilidade ambiental, tornando-os mais sensíveis à ação das chuvas intensas.

O perfil situado no setor média da bacia (P3), imediatamente antes da confluência entre o rio Provence e o rio La Digue, representa uma área de transição geomorfológica, onde ocorre a diminuição gradual das declividades e o alargamento do vale. De acordo com Cunha (2008), essas zonas intermediárias tendem a apresentar maior capacidade de acomodação do fluxo fluvial, funcionando como áreas de redistribuição de energia e sedimentos. Nesse contexto, o canal passa a alternar processos erosivos e deposicionais, influenciando diretamente a dinâmica das cheias e o tempo de resposta hidrológica da bacia.

Por sua vez, o perfil inferior (P4), localizado em área de baixos níveis altimétricos e suscetível a inundações, evidencia a influência do relevo mais plano na redução da velocidade

do escoamento e no aumento da capacidade de armazenamento temporário da água. Conforme Ab'Sáber (2003), os setores de fundo de vale e planícies fluviais constituem áreas naturalmente predispostas à inundação periódica, resultado da convergência dos fluxos provenientes das partes mais elevadas da bacia. Essa condição é amplamente discutida por Tucci (2003), ao afirmar que a morfologia do vale, associada ao regime de chuvas e à ocupação do solo, exerce papel determinante na magnitude e na frequência das inundações. Assim, as características físicas da bacia hidrográfica do rio La Digue permitem compreender que os eventos de inundação observados no terço inferior da bacia não constituem fenômenos isolados, mas resultam da interação cumulativa dos processos hidrogeomorfológicos que atuam desde as áreas de nascente até os setores de jusante.

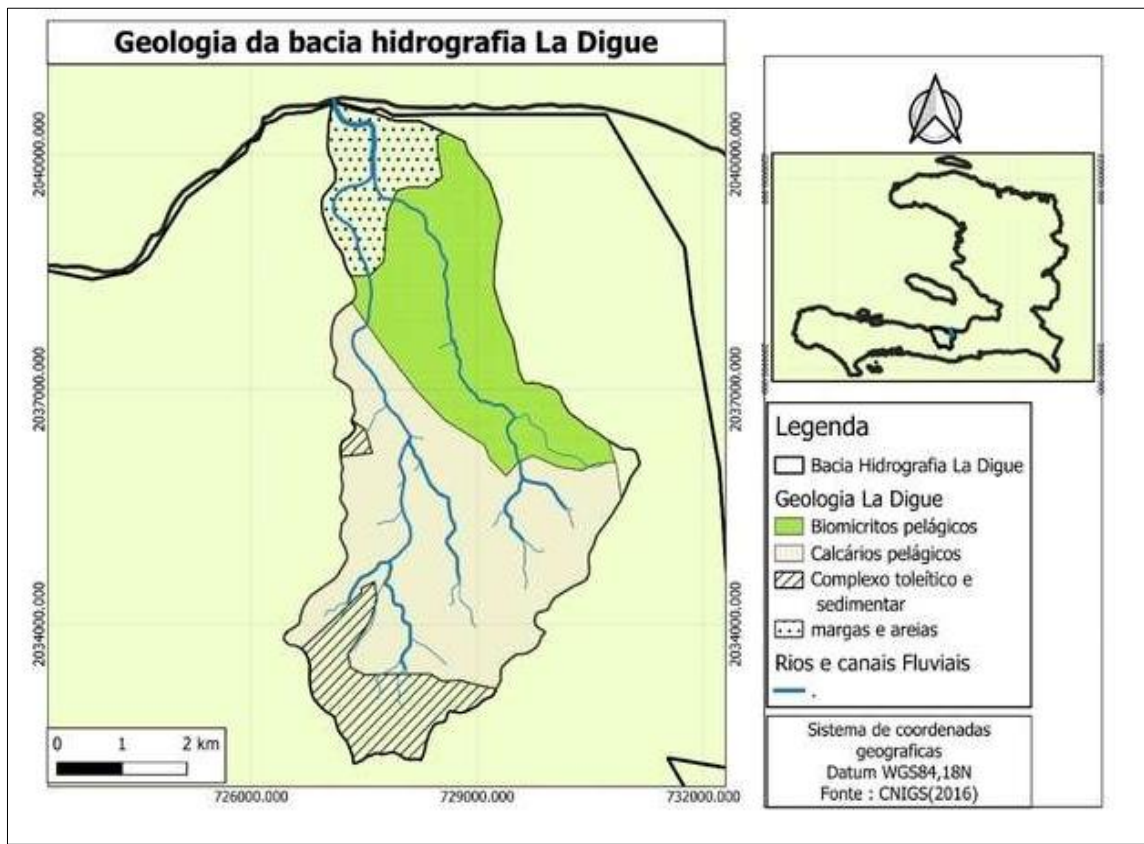
Figura 4 - Os perfis transversais da bacia hidrográfica La Digue.



Organização: Autores.

Ao nível da bacia hidrográfica do rio Digue (Figura 5), 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.

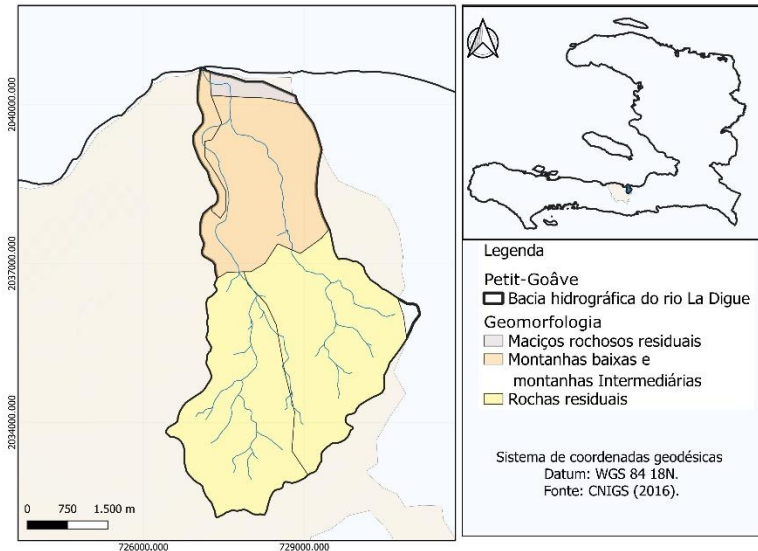
Figura 5- Geologia da bacia hidrográfica La Digue.



Organização: Autores.

A geomorfologia da bacia hidrográfica do rio La Digue organiza-se em três setores distintos (Figura 6). No setor superior, predominam maciços rochosos residuais, caracterizados por relevo elevado, acidentado, declives acentuados e rede de drenagem pouco desenvolvida, o que indica baixa dissecação. No setor central, ocorrem áreas montanhosas de baixa a média altitude, com relevo ondulado e maior grau de dissecação, onde se concentram os cursos d'água, estruturando o canal principal e configurando uma zona de transição. No setor inferior, predominam superfícies mais baixas e relativamente planas, resultantes de processos de intemperismo e erosão, com presença de múltiplos canais fluviais próximos à saída da bacia.

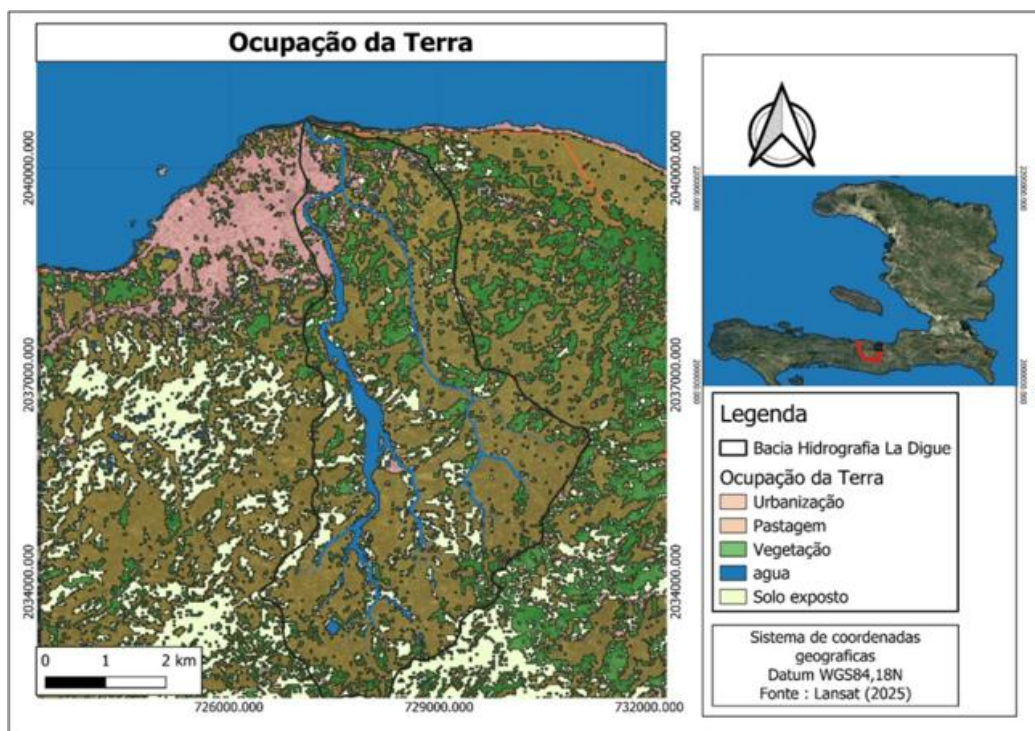
Figura 6 - geomorfologia da bacia hidrográfica do rio La Digue



Organização :Autores.

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 observa-se no mapa (Figura 7), a bacia é ocupada por áreas de vegetação, da pastagem e do solo exposto.

Figura 7- Uso da terra da bacia hidrográfica La Digue.



Organização: Autores.

A bacia hidrográfica do rio La Digue é alimentada principalmente pelo rio Provence e por diversos canais fluviais secundários. A drenagem na região é rápida, favorecendo o escoamento superficial intenso durante episódios de chuva. Além disso, dados pluviométricos históricos indicam elevada variabilidade espacial e temporal das chuvas, característica típica de regiões tropicais, o que influencia diretamente os regimes de vazão e a dinâmica fluvial da bacia.

Aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica La Digue

Inicialmente, procedeu-se à determinação do coeficiente de escoamento superficial, adotando-se um valor empírico adimensional que expressa a proporção da precipitação efetiva que não se infiltra no solo e que, portanto, contribui diretamente para o escoamento superficial. Para o conjunto da bacia hidrográfica, com base nos coeficientes apresentados no quadro 2, calculou-se uma média ponderada em função da área ocupada por cada classe de uso e cobertura do solo.

Quadro 2- Valores do coeficiente de escoamento adimensional para diferentes coberturas da bacia.

Superfície	C (Coeficiente)	
	Intervalo	Valor adotado
Asfalto	0,70- 0,95	0,83
Concreto	0,80 - 0,95	0,88
Calçadas	0,75-0,85	0,80
Telhados	0,75 - 0,95	0,85
Gramado em solo arenoso plano	0,05 - 0,10	0,08
Gramado em solo arenoso em declive	0,15 - 0,20	0,18
Gramado em solo argilo–arenoso plano	0,13-0,17	0,15
Gramado em solo argilo–arenoso em declive	0,25-0,35	0,30
Zona urbana	0.0-0.30	-

Fonte: Collischonn & Dornelles, 2013.

Neste trabalho, a Área da bacia hidrográfica foi calculada no QGIS, usando a tabela de atributos para criar uma coluna de Área para a bacia principal e uso. Segundo o resultado, considerou-se a bacia hidrográfica La Digue é uma pequena bacia hidrográfica com uma área de 22,94 hectares.

Quadro 3- Características de uso do solo.

Uso	Tipo de cobertura	Tipo de solo
1	Zona urbanizada	Solo impermeável
2	Pastagem	Solo pouco permeável
3	Vegetação arbórea	Permeabilidade do solo é normal

Organização: Autores,

A bacia hidrográfica do rio La Digue foi dividida em três setores:

- Na zona de impermeabilização muito elevada do solo (zona urbanizada), o coeficiente adotado foi de 0,9.
- Na zona pouco permeável, com predominância de pastagem, dominada por encostas íngremes, o coeficiente adotado foi de 0,35
- Na zona com vegetação arbórea, onde o nível de permeabilidade do solo é normal, o coeficiente adotado foi de 0,2.

A bacia hidrográfica do rio La Digue apresenta um coeficiente de escoamento superficial de 0,384 (Quadro 4), indicando que cerca de 38,4% da precipitação se transforma em escoamento, evidenciando um risco significativo de inundações (Quadro 5). Por exemplo, com 1500 mm de chuva anual, o escoamento seria de aproximadamente 576 mm/ano, equivalente a 132.134 m³/ano litros de água. A vazão máxima foi estimada com base nas precipitações usando métodos que transformam a chuva em escoamento, incluindo o método racional. Os cinco anos mais chuvosos resultaram em vazões máximas significativas:

Quadro 4 - valores convencionais de coeficiente escoamento adotado.

Superfície ocupada por uso do solo	C adotado (coeficiente)	Superfície em km2	Superfície * C (Coeficiente)
Zona de urbanização	0,9	4	3,6
Pastagem	0,2	9,47	1,89
vegetação arbórea	0,35	9,47	3,31
	Total	22,94	C = 0,384
		[(0,9*4) + (0,2*9,47) + (0,35*9,47)] /22,94	

Organização: Autores.

Quadro 5- vazão da bacia hidrográfica La Digue.

Ano	1971	1974	1977	1978	1981
Precipitação mm	1667,7	1628,5	1628,5	1602,5	1549,2
Vazão (m ³ /S)	0,00465	0,00454	0,00454	0,00447	0,00432

Organização: Autores.

A área de captação da bacia foi dividida em três setores, com vazões diferentes conforme o uso do solo:

- ✓ Zona urbana: maior vazão devido à impermeabilização e menor infiltração
- ✓ Pastagens e solos compactos: vazão intermediária.
- ✓ Vegetação erva sobre solo argiloso: menor vazão, com função importante de retardar e reduzir os picos de enchente.

Processo resposta hidrológica da Bacia

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é o intervalo entre o início da chuva e o momento em que a vazão máxima é atingida no exutório da bacia (Musy, 2005). Ele representa o tempo que uma gota de água leva para percorrer o trajeto do ponto mais distante da bacia até a foz, ou seja, o tempo máximo necessário para o escoamento completo entre qualquer ponto da bacia e sua saída (Paz, 2014).

Após os cálculos pelo método de Kirpich, o tempo de concentração da bacia do rio La Digue foi estimado em 34 minutos, indicando que os fenômenos de inundação ocorrem de forma muito rápida. Esse comportamento está associado às características físicas da bacia: o terço superior apresenta relevo acidentado, solos pouco profundos de origem sedimentar e basáltica, com textura argilosa. Essas condições favorecem o rápido escoamento superficial, acelerando a chegada das águas à foz do rio e aumentando o risco de enchentes.

Período de retorno das cheias

O período de retorno indica o intervalo médio entre a ocorrência de eventos hidrológicos, sendo útil para estimar a probabilidade de inundações em Petit-Goâve. Na bacia

do rio La Digue, cheias extremas apresentam um período de retorno de 21 anos, enquanto cheias menores ocorrem a cada 1 ano, mostrando alta frequência desses eventos.

Os dados foram obtidos a partir das vazões calculadas pelo método racional, organizadas em ordem decrescente de magnitude (Quadro 6). Em seguida, aplicou-se a fórmula do método de Kimball para calcular a frequência, determinando o período de retorno como o inverso dessa frequência.

Quadro 6- Período de retorno de cheias.

Ordem	Ano	vazão (m ³ /S)	Frequência	Período de retorno (PR)
1	1971	0,00465	0,0476	21,00
2	1977	0,00454	0,0952	10,50
3	1974	0,00454	0,1429	7,00
4	1978	0,00447	0,1905	5,25
5	1981	0,00432	0,2381	4,20
6	1972	0,00407	0,2857	3,50
7	1985	0,00402	0,3333	3,00
8	1986	0,00402	0,3810	2,63
9	1984	0,00401	0,4286	2,33
10	1975	0,00391	0,4762	2,10
11	1980	0,00390	0,5238	1,91
12	1983	0,00389	0,5714	1,75
13	1969	0,00363	0,6190	1,62
14	1975	0,00324	0,6667	1,50
15	1979	0,00318	0,7143	1,40
16	1982	0,00277	0,7619	1,31
17	1973	0,00265	0,8095	1,24
18	1970	0,00260	0,8571	1,17
19	1988	0,00252	0,9048	1,11
20	1987	0,00227	0,9524	1,05

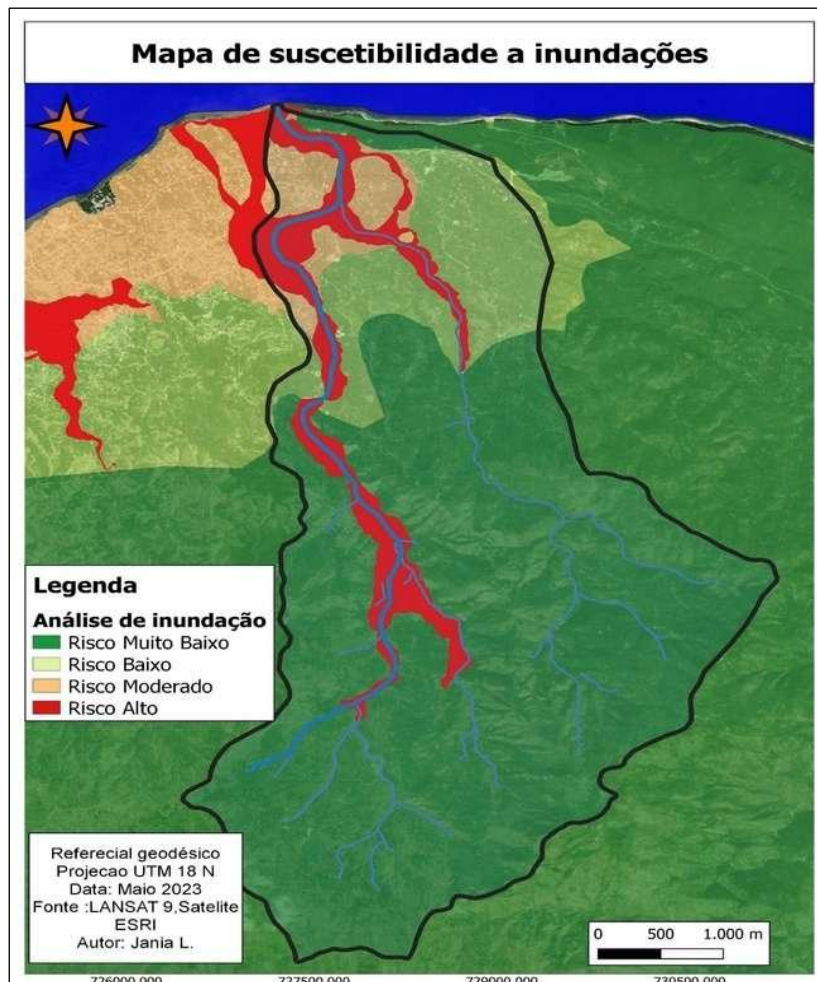
Organização: Autores.

Suscetibilidade das inundações

A bacia hidrográfica do rio La Digue apresenta quatro níveis de suscetibilidade a inundações, variando de muito baixa a alta. As áreas com suscetibilidade muito baixa e baixa concentram-se nas regiões montanhosas do terço superior da bacia, caracterizadas por declives

acentuados e presença de afluentes. Já as classes moderadas e alta predominam no baixo curso, em zonas planas ao norte, onde há depósitos aluviais e coluviais e intensa ocupação urbana. Aproximadamente 80% da bacia apresenta baixa suscetibilidade, atuando como zona de transferência de águas pluviais, enquanto os 20% restantes localizados no baixo curso são mais vulneráveis devido à topografia plana e ao uso do solo. Nessas áreas urbanizadas, eventos extremos tendem a provocar inundações significativas, onde o risco é alto onde o risco é alto devido à passagem das cheias que atravessam o centro da cidade durante a época chuvosa (Figura 8).

Figura 8 - mapa de suscetibilidade das inundações.



Fonte: Autores, 2023.

Conclusões

- Os resultados obtidos confirmam que a elevada recorrência das inundações na bacia hidrográfica do rio La Digue está associada à interação entre condicionantes hidrogeomorfológicos e intervenções antrópicas, destacando-se o relevo fortemente dissecado nas áreas de montante, os solos geologicamente frágeis, o intenso aporte sedimentar e a redução significativa da cobertura vegetal. Esses fatores favorecem a intensificação do escoamento superficial, o encurtamento do tempo de concentração e a geração de vazões de pico elevadas, resultando em cheias rápidas e recorrentes no baixo curso da bacia.
- A análise evidencia que as inundações observadas em Petit-Goâve não constituem eventos isolados ou exclusivamente associados à intensidade das chuvas, mas refletem um funcionamento hidrogeomorfológico integrado, no qual os processos atuantes nas partes superiores condicionam diretamente a dinâmica das planícies fluviais urbanizadas. A ocupação desordenada dessas áreas, naturalmente predispostas à inundação, compromete a capacidade de armazenamento temporário da planície e amplia a vulnerabilidade socioambiental da população local.
- Diante desse contexto, recomenda-se que os produtos cartográficos gerados, especialmente o mapa de suscetibilidade a inundações, sejam incorporados aos instrumentos de planejamento territorial da comuna de Petit-Goâve, de modo a orientar o uso e a ocupação do solo, restringindo a expansão urbana em áreas de alto risco. Ressalta-se, ainda, a necessidade de ações voltadas à recuperação da cobertura vegetal em todas as partes da bacia hidrográfica do rio La Digue, como estratégia fundamental para a redução do escoamento superficial e do aporte sedimentar aos canais fluviais.
- No campo da gestão ambiental, os resultados reforçam a importância de uma abordagem integrada da bacia hidrográfica, que considere simultaneamente os aspectos hidrológicos, geomorfológicos e antrópicos. Destaca-se também a necessidade de ampliação da rede de monitoramento hidrometeorológico local, visando à obtenção de séries de dados mais consistentes, essenciais para a calibração de modelos hidrológicos e para uma avaliação mais precisa da frequência e da magnitude das cheias.
- Por fim, do ponto de vista científico, o estudo contribui para o avanço das análises geoambientais aplicadas às inundações em contextos tropicais e caribenhos, ao evidenciar os limites das abordagens hidrológicas clássicas quando utilizadas de forma

isolada. Recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem a integração entre modelagem hidrológica e análise hidrogeomorfológica, bem como a avaliação de cenários de mudanças climáticas, de modo a subsidiar políticas públicas mais eficazes de redução de riscos em bacias hidrográficas com características semelhantes às do rio La Digue.

Referências

- Ab'Sáber, A. N. (2003). *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial.
- Antonio José Teixeira Guerra, S. B. (2011). *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Antônio Pereira Magalhães Júnior, L. F. (2020). *Hidrogeomorfologia: forma, processos e registros sedimentares fluviais. 1. ed*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Babar, M. (2005). (*Hydrogeomorphology: Fundamentals applications and techniques*. . Nova Delhi: NIPA.
- BBC. (19 de 09 de 2024). *Pourquoi les inondations se produisent-elles*. Fonte: BBC,News Afrique:
<https://www.bbc.com/afrique/articles/cvgw544dnjzo#:~:text=Les%20inondations%20constituent%20le%20type,de%20personnes%20dans%20le%20monde.&text=Les%20inondations%20sont%20le%20type,deux%20veuves%22%2028%20ao%20C3%BBt%202024>
- Christofoletti, A. (1980). *Geomorfologia, 2. ed*. São Paulo: Edgard Blücher,.
- Claude Cosandey, M. R. (2012). *Hidrologia continental*. paris: Armand Colin.
- Climate-Data.org. (n.d.). Clima de Petit-Goâve: Temperatura e condições meteorológicas por mês. Recuperado em 23 de abril de 2026, de <https://fr.climate-data.org/amerique-du-nord/haiti/departement-de-l-ouest/petit-goave-48206/>
- Felippe, M. F. (2013). Gênese e dinâmica das nascentes : contribuições da pesquisa hidrogeomorfológica na região tropical. *these Doutorado em Geografia*. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Fonte: <http://hdl.handle.net/1843/IGCC-9GQJDJ>

- Gilbert, M. (7 de nov de 2008). Haïti : A catástrofe não era natural. Fonte: reliefWeb: <https://reliefweb.int/report/haiti/ha%C3%A9ti-la-catastrophe-n%C3%A9tait-pas-naturelle>
- Guterres, A. (28 de junho de 2021). Desastres relacionados ao clima afetaram as vidas de 4 bilhões de pessoas nas últimas duas décadas, alerta Guterres. Fonte: Nações Unidas: <https://brasil.un.org/pt-br/133472-desastres-relacionados-ao-clima-afetaram-vidas-de-4-bilh%C3%B5es-de-pessoas-nas-%C3%BAltimas-duas>
- Jean-Louis Ballais, S. C.-L. (25 de maio de 2007). Hydrogeomorphology and inundability. *Érudit*, pp. <https://www.erudit.org/en/journals/gpq/2007-v61-n1-gpq2875/029571ar/>.
- Koji Yamamoto, T. S. (5 de Janeiro de 2021). Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia. *Progress in Earth and Planetary Science*, pp. 1-15. Fonte: <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>
- Laborde, J.-P. (2009). *Elementos de hidrologia de superfície*. Nancy: polytechn Nice-Sophia. Fonte: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/universite_de_nice_elements_d_hydrologie_de_surface_laborde_2009.pdf
- Lammert Klaas Smedema, D. W. (1983). *Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems*. New York:: Cornell University Press.
- Leandro Lima Rodrigues, C. J. (2018). Vazão de pico em uma bacia hidrográfica com diferentes níveis de urbanização em Santarém/PA. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 9, pp. 62-75, <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0007>
- Marie-Andrée Lélièvre, B.-B. T. (2007). 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*, pp. 1–8. Fonte: <https://cgs.ca/docs/geohazards/GeoHazards4/geohazard/alea/Lelievre.pdf>
- Masato Kobiyama, K. C. (12 de dezembro de 2021). A hidrogeomorfologia como ferramenta para popularização e desenvolvimento de SABO no Brasil. *Revista Geografia Acadêmica*, 15, pp. 5-25.

- Musy, A. (2005). *e bassin versant et son complexe*. Fonte: Echo: <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/chapitres/chapitre2/chapitre2.html>
- Paz, A. R. (2004). Hidrologia aplicada. Curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia., *material didactica*, p. 1–148. Caxias do Sul, Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, brasil.
- Pinheiro, A. (2007). Enchente e inundação eitas Santos (org.). Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos? B. *Ministério do Meio Ambiente*, p. 192.
- Porteret, J. (2008). *La connaissance de l'hydrologie pour la gestion des zones humides*. Les Cahiers Techniques. Fonte: <https://www.cen-rhonealpes.fr/wp-content/uploads/2014/04/CT-hydro.pdf>
- Prince Isaac Korah, F. M. (2015). Mapping flood vulnerable areas in Quetzaltenango, Guatemala using GIS. *Journal of Environment and Earth Science*, 5, pp. 132–143.
- Rentschler Jun, S. M. (28 de junho de 2022). *Flood risk already affects 1.81 billion people: climate change and unplanned urbanization could worsen exposure*. Fonte: World Bank Blogs: <https://blogs.worldbank.org/en/climatechange/flood-risk-already-affects-181-billion-people-climate-change-and-unplanned>
- Roberto Fabris Goerl, M. K. (2011). Mapeamento de vulnerabilidade no município de Rio Negrinho – SC: uma proposta metodológica. *Caminhos de Geografia – Revista On-line*. Fonte: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>
- Roberto Fabris Goerl, M. K. (2012). Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 13, pp. 103–111. <https://doi.org/10.20502/rbg.v13i2.166>
- Ross, J. L. (1994). Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia*, 8, pp. 63-74.
- Santana, J. (2024). *Entenda as causas das enchentes e formas de prevenção*. Fonte: Aprova Total: <https://aprovatotal.com.br/enchentes/>

Scheidegger, A. E. (1973). Hydrogeomorphology. *Journal of Hydrolog*, pp. 193-215.

[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(73\)90061-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(73)90061-9)

Tomaz, P. (2013). Curso de manejo de águas pluviais. *capítulo 2 - método racional*. Fonte:
<https://pt.slideshare.net/slideshow/capitulo-02-metodo-racional/75716102>

Tricart, J. (1977). *Ecodinâmica*. . Rio de Janeiro: IBGE.

Tucci, C. E. (2003). *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Walter Collischonn, F. D. (2013). *Hidrologia para engenhariabe ciencias*. Porto Alegre: ABRH.

WaterlooPereira Filho, P. V. (2019). scoamento superficial: hidrógrafa ou hidrograma. *Disciplina de hidrogeografia*. Santa Maria. Fonte:
https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/676/2019/08/3_Hidr%C3%B3grafa.pdf

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores :Jania Laguerre: coleta, análise e organização dos dados, escrita e discussão; Miguel Fernandes Felipe: supervisão, análise formal de dados, validação e revisão da escrita e discussão. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais da Geoambiente On-line.

Financiamento: Universidade Federal Juiz de Fora (UFJF), Organização dos Estado Americanos e Grupo de Cooperação Internacional de Universidades Brasileiras (OEA/GCUB).

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.