

Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Timor-Leste



Relatório de Investigação Científica INCT 2024

Modelação da Bacia Hidrográfica de Irabere para o dimensionamento da Barragem.

Dr. Eng. Benjamim Hopffer Martins

Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia de Timor-Leste



Relatório de Investigação Científica INCT 2024

*Modelação da Bacia Hidrográfica de Irabere para o dimensionamento da
Barragem*

Dr. Eng. Benjamim Hopffer Martins

Dili, Setembro, 2024

**Instituto Nacional
de Ciências e Tecnologia de Timor-Leste**



**Relatório de
Investigação Científica INCT 2024**

*Modelação da Bacia Hidrográfica de Irabere para o dimensionamento da
Barragem*

Área de Conhecimento: Engenharia Civil
Estudo Elaborado por:

Investigador Responsável:

Dr. Eng. Benjamim Hopffer Martins

Investigador 1: Justino Soares da Costa,
M.Eng.

Investigador 2: Alfredo Ferreira, S.T.,
M.Sc.

Investigador 3: Humbelina Maia S. Viegas,
M.Sc.

Investigador 4: Pedro Junior Fernandes,
M.Eng.

Dili, 20 de setembro de 2024

Declaração

Nome do Investigador Responsável: Dr. Eng. Benjamim Hopffer Martins
Endereço Eletrônico: benjamim.martins@untl.edu.tl

Telefone/Telemóvel: +670 77839977

Número de Bilhete de Identidade: 0603-0228-0663-9054-7

Título da Pesquisa Científica INCT 2024: **Modelação da Bacia Hidrográfica de Irabere para o dimensionamento da Barragem**

Área de Conhecimento: **Engenharia Civil**

Ano de Conclusão: 2024

Declaro, por minha honra, que os dados aqui apresentados são verdadeiros e que neste estudo apresentado não foi cometido plágio nem nenhuma ilegalidade em termos de direitos de autor.

Autorizo a reprodução integral deste relatório apenas para efeitos de investigação.

Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia, a 8 de Novembro de 2024



Assinatura do Investigador Responsável: _____

Modelação da Bacia Hidrográfica de Irabere para o dimensionamento da Barragem

O Relatório de Pesquisa Científica INCT que aqui se apresenta, intitulado **Modelação da Bacia Hidrográfica de Irabere para o dimensionamento da Barragem** surge como resultado de um estudo que procurou responder os objetivos propostos pelo INCT por meio de pesquisas e estudos desenvolvidos pelo grupo de trabalho. Numa primeira fase foram recolhidas informações, dados espaciais disponíveis e trabalhos ou relatórios desenvolvidos anteriormente relacionados ao tema em foco para elaborar resultados preliminares. Numa segunda fase, procedeu-se a observação visual no campo e troca de impressões com os residentes, registo fotográfico e recorrendo em paralelo a aplicação de instrumentos de medição para refinar os resultados preliminares. Numa terceira fase procedeu-se uma segunda fase de observação de campo para fim de completar informações e dados em falta. Numa quarta fase, com base nos dados processados efetuou-se uma análise nos resultados obtidos elaborar e finalizar o presente.

Palavras-Chave: Modelação da Bacia Hidrográfica, Irabere, Barragem, Hidrograma Unitário, SIG

Irabere Hydrographic Watershed Modelling for Dam Design

*Abstract: The INCT Scientific Research Report presented here, titled **Irabere Hydrographic Watershed Modelling for Dam Design**, is the result of a study conducted to address the objectives proposed by INCT through research and analysis carried out by the working group. In the first phase, available spatial data, previous studies, and reports relevant to the subject were gathered to establish preliminary results. In the second phase, visual field observations were conducted, including interactions with local residents, photographic documentation, and the application of measurement instruments to refine these preliminary findings. The third phase involved a second round of field observations to fill in any remaining data gaps. In the fourth phase, an analysis of the processed data was conducted to produce and finalize this report.*

Keywords: Watershed Modelling, Irabere, Dam, Unit Hydrograph, GIS

Índice

1. INTRODUÇÃO.....	9
(1.1) CONTEXTUALIZAÇÃO.....	9
(1.2) ENQUADRAMENTO TEÓRICO.....	11
1.2.1 Introdução Geral.....	11
1.2.2 Caracterização da Bacia Hidrográfica	15
1.2.2.1. Característica Geometria da Bacia Hidrográfica	15
1.2.2.3. Características do Relevo	18
1.2.3.3. Análise do Caudal Ponta de Cheia.....	20
1.2.2.5. Dimensionamento Hidráulico.....	25
(1.3) FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	27
(1.4) FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES	27
(1.5) OBJETIVOS.....	28
1.5.1. <i>Objetivo Geral</i>	28
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	29
(1.6.) IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO	29
(1.7) ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	30
(1.8) LOCAL GEOGRÁFICO DA ÁREA DE ESTUDO	31
2. METODOLOGIA	32
2.1. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	32
2.2. ESTUDOS PRECEDENTES EM TIMOR-LESTE	36
2.3. TÉCNICAS (MEIOS) E INSTRUMENTOS DE RECOLHA DE DADOS	37
2.3.1 <i>Dados espaciais</i>	37
2.3.2. <i>Instrumentos</i>	39
2.3.3. <i>Softwares</i>	39
3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	40
3.1. PRECIPITAÇÃO	40
3.2 MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA	41
3.2.1. Preparação dos Dados de Elevação	41
3.2.2. Correção de Depressões (Sink Fill).....	42
3.2.3. Direção do Fluxo (Flow Direction)	43
3.2.4. Acumulação de Fluxo (Flow Accumulation)	43
3.2.5. Extração da Rede de Drenagem (Stream Network).....	43
3.2.6. Análise de Parâmetros da Bacia	44
3.2.7. Hidrograma Unitário Sintético (HUS)	45
3.3. CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO	46
3.4 CÁLCULO HIDRÁULICO	48
3.4.1 Lâmina da água sobre a altura do vertedor de superfície	48
3.5 ÁREA INUNDADA E CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	49
3.6 DELIMITAÇÃO DE ÁREA PROTEGIDA AO LONGO DAS LINHAS DE ÁGUA.....	50
4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	51
4.1 CONCLUSÃO	51
4.2. RECOMENDAÇÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS.....	58

Índice de Figuras

Figura 1. Forma bacia hidrográfica	16
Figura 2. Ordem dos cursos da água, (Lima, 2008).....	17
Figura 3. Hipsométrica do ciclo de erosão segundo Strahler, 1952	19
Figura 4. Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Snyder	22
Figura 5. Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Nakayasu	23
Figura 6. Vertedor de superfície Creager, 1914.....	26
Figura 7. Localização geográfica da área de estudo	32
Figura 8 Alaska Satellite Facilities (ASF)/ALOS PALSAR – High Terrain Corrected DEM 38	
Figura 9. JAXA Global Rainfall Watch/Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)38	
Figura 10. Copernicus Sentinel-2 da União Europeia – imagens ópticas de satélite, Sentinel-2 Level 2, com resolução de 30 metros	39
Figura 11. Chuvas histórica de Projeto em torno de Iliomar JTS, 2022.....	41
Figura 12. Modelo Digital de Elevação	42
Figura 13. Modelo Digital do Terreno corrigida com representação hipsométrica	43
Figura 14. Mapa de Linhas de água, sistema de drenagem superficial e linha de água principal	44
Figura 15. Representação gráfica do Hidrograma Unitário Sintético.....	46
Figura 16. Mapa de cobertura do solo	47
Figura 17. Imagem orthomosaic do local de estudo	47
Figure 18. Ilustração do Vertedor de superfície, modelo Creager, 1914	48
Figura 19. Área inundada, resultado da altura da barragem de 10 metros	50
Figure 20. Delimitação da área protegida até a elevação de 200 metros	51

Índice de tabelas

Tabela 1. Parâmetros da Bacia Hidrográfica	Erro! Marcador não definido.
Tabela 2. Cálculo de Hidrograma Unitário Sintético.....	Erro! Marcador não definido.

Lista de Abreviaturas

ADB	Asian Development Bank
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
ASF	Alaska Satellite Facility
GERTIL	Grupo de Estudo para a Reconstrução de Timor-Leste
GSMaP	Global Satellite Mapping of Precipitation
GUI	Graphics User interfaces
HEC-HAM	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System
HSPF	Hydrologic Simulation Program in FORTRAN
HUS	Hidrograma Unitário Sintético
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JICA	Japanese International Cooperation Agency
JTS	JICA Team Survey
MDE	Modelos Digitais de Elevação
PALSAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
SWAT	Soil Water Assessments Tools
TOPOMODEL	Topography Based Hydrological Model
US SCS	United States Soil Conservation Services
USACE	U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center
USDA	United Stated Department Of Agriculture

1. Introdução

(1.1) Contextualização

A gestão sustentável dos recursos hídricos tem ganhado destaque global, não apenas como uma questão ambiental, mas também como um desafio de desenvolvimento socioeconômico e de segurança nacional. O aumento da demanda por água potável, agricultura e geração de energia, aliado aos efeitos das mudanças climáticas, tem pressionado países ao redor do mundo a investirem em infraestrutura hídrica robusta e políticas de gestão integrada. O IX Governo Constitucional apresenta no plano Programa do Governo iniciar estudos sobre o desenvolvimento de barragens em Timor-Leste e implementar projetos-piloto de barragem e aproveitamento de lençóis freáticos (Governo, 2011; Governo, 2023a). Desde 2023 foi orçamentado através do fundo de Infra estruturas para o Estudo de Viabilidade e Desenho Detalhado do Esquema de Barragem em Timor-Leste (Governo, 2023a). Esse contexto também se reflete em Timor-Leste, onde a Bacia Hidrográfica de Irabere se apresenta como um recurso estratégico ainda subutilizado.

Politicamente, através da Resolução do Governo N.º 42/2020 de 23 de Outubro – Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (Governo, 2020) - o governo timorense tem reconhecido a necessidade de um planeamento de gestão hídrico eficiente para sustentar o crescimento do país e garantir a segurança hídrica das populações rurais e urbanas. Alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 6, que trata do acesso à água potável e saneamento para todos, Timor-Leste busca implementar estratégias que promovam o uso eficiente dos seus recursos hídricos. Nesse contexto, a construção de barragens tem sido considerada uma solução eficaz para regular o fluxo de água, armazenar recursos durante as estações chuvosas e garantir a disponibilidade durante os períodos de seca, característicos do clima tropical do país.

Globalmente, há uma tendência crescente de integrar a modelação hidrológica e o uso de tecnologias avançadas, como sistemas de informação geográfica (SIG) e simulações hidrológicas, no planeamento de infraestruturas hídricas. Isso permite não apenas a maximização do uso dos recursos, mas também a mitigação de impactos ambientais e sociais (Melo et al., 2008; Daniel et al, 2011). Diversos países em desenvolvimento

têm adotado tais abordagens para garantir um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e sustentabilidade ambiental, fortalecendo a resiliência às mudanças climáticas. No cenário de Timor-Leste, a modelação da Bacia Hidrográfica de Irabere se insere nesse movimento global, ao buscar dados precisos que possam subsidiar o dimensionamento de uma barragem eficiente e sustentável.

Dessa forma, o presente estudo propõe-se contribuir, através de implementação de pequena ou micro barragens, tanto para a segurança hídrica de Timor-Leste quanto para o desenvolvimento socioeconômico do país. Além disso, a pesquisa alinha-se com as tendências internacionais de gestão integrada de recursos hídricos, promovendo o uso sustentável dos recursos naturais e fornecendo uma base para futuras intervenções no setor hídrico.

A modelação de bacias hidrográficas é fundamental para sustentar o planejamento e a execução de projetos de barragens. Esse tipo de infraestrutura não só apoiará a agricultura — setor em que a maioria da população se dedica à agricultura de subsistência — mas também poderá promover boas práticas agrícolas, introduzir novas tecnologias e incentivar culturas além do arroz e do milho. Ademais, uma barragem multifuncional poderá abastecer a rede de distribuição de água potável, gerar energia elétrica, estimular o turismo e contribuir para a mitigação de desastres naturais.

O estudo de viabilidade para dimensionamento de uma barragem em Irabere classicamente envolve várias etapas:

- 1) Seleção do local: Primeiramente, será definido o local para o estudo de viabilidade da construção da barragem, levando em conta fatores hidrológicos, geomorfológicos e ambientais.
- 2) Coleta de dados: Em seguida, será feita a coleta dos dados disponíveis, incluindo dados pluviométricos fornecidos pelo GSMaP (JAXA), modelo digital do terreno (Alaska Satellite Facility), imagens de cobertura do solo (Copérnicos Sentinel-2), áreas protegidas, e outros recursos como exemplo os dados espaciais elaborados pela GERTIL. Uma revisão bibliográfica sobre o tema em foco e estudos semelhantes complementarará esses dados.
- 3) Modelação e extração de dados: A terceira etapa consiste em desenvolver um modelo que integre diversos mapas temáticos gerados a partir dos dados disponíveis,

abrangendo os estudos hidrológicos e ambientais, a análise e interpretação do relevo (topografia e geomorfologia), morfologia e dinâmica dos cursos d'água.

4) Reconhecimento de campo: Será então elaborado um plano de reconhecimento de campo para validar o modelo preliminar e coletar novos dados técnicos, ambientais (como localização precisa da barragem e medição de caudais), com o objetivo de aprimorar o modelo inicial.

5) Ajuste e refinamento do modelo: Por fim, os dados coletados em campo serão integrados aos mapas temáticos previamente gerados, servindo como base técnica para o dimensionamento da barragem e servir de base para o desenvolvimento de um estudo mais detalhado sobre a viabilidade da construção da barragem.

O estudo culminará na elaboração de um relatório final de viabilidade, que apresentará as conclusões e recomendações sobre a viabilidade da construção de uma barragem multifuncional, visando atender múltiplas necessidades de Timor-Leste.

(1.2) Enquadramento Teórico

1.2.1 Introdução Geral

A modelagem hidrográfica é uma ferramenta crítica na hidrologia que ajuda a prever o fluxo de água em rios e ribeiras ao longo do tempo, principalmente durante e após eventos de chuva. Timor-Leste, enfrenta desafios hidrológicos únicos devido à sua topografia acidentada, clima e condições socioeconômicas. No entanto, a modelagem hidrográfica em Timor-Leste permanece pouco explorada na literatura científica global. Esta revisão aborda a literatura existente sobre modelagem de hidrogramas unitários e gestão de recursos hídricos em Timor-Leste e apresenta algumas metodologias globais que podem ser aplicadas ao contexto timorense.

Dado o contexto geográfico e hidrológico único de Timor-Leste - terreno íngreme, clima de monções, escassez de dados e vulnerabilidade às mudanças climáticas - selecionar os modelos de hidrográficos mais apropriados é crucial. Embora muitos modelos hidrológicos tenham sido desenvolvidos globalmente, nem todos são adequados para os desafios específicos do ambiente de Timor-Leste. Os melhores modelos para a modelagem de hidrogramas em Timor-Leste devem ser flexíveis o suficiente para trabalhar com dados limitados, capazes de simular os efeitos do uso da

terra e das mudanças climáticas, e adaptáveis a pequenas bacias hidrográficas íngremes.

Modelos mais utilizados na modelação de bacias hidrográficas são: 1) HEC-HMS – versátil, lida bem com dados limitados, ideal para modelagem de inundações. No entanto, requer dados de calibração, embora seja adaptável. Adequado para previsão de enchentes e modelagem geral de escoamento superficial. 2) SWAT – ótimo para modelar o uso da terra e as mudanças climáticas, especialmente em cenários de longo prazo. Requer dados detalhados (pode utilizar conjuntos de dados globais). Indicado para a gestão de bacias hidrográficas e gestão de longo prazo. 3) TOPMODEL – eficaz para terrenos íngremes, simples e utiliza dados topográficos. A hidrologia é simplificada, com foco principal na topografia. Ideal para bacias pequenas e íngremes com escoamento rápido.

O hidrograma unitário é descrito como o gráfico que representa o escoamento gerado por uma precipitação efetiva de intensidade unitária, distribuída de forma homogênea sobre a bacia e com uma duração específica. Supondo que a bacia se comporte de maneira linear, sua resposta a eventos de precipitação mais complexos pode ser determinada com base no hidrograma unitário e na precipitação observada.

Há duas maneiras de se obter o hidrograma unitário: de forma direta, utilizando dados de hietogramas e hidrogramas registrados, ou de forma indireta, por meio de equações que consideram as características físicas da bacia.

O hidrograma unitário obtido de maneira indireta é chamado de hidrograma unitário sintético, sendo o mais utilizado, especialmente para bacias sem dados hidrológicos disponíveis. Equações como as de Snyder e do SCS baseiam-se em características físicas da bacia, como o comprimento do curso principal do rio e sua declividade (Ponce, 1989).

Uma abordagem mais detalhada e trabalhosa para obter o hidrograma unitário na ausência de dados é o método do histograma tempo-área. Nesse método, as características físicas da bacia são exploradas de forma mais aprofundada, e o uso de ferramentas de geoprocessamento ou sistemas de informações geográficas (SIG) pode acelerar o processo de obtenção do hidrograma unitário por meio do histograma tempo-área (Muzik, 1996; Maidment, 1996).

O presente estudo tem como objetivo modelar a bacia hidrográfica de Irabere utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com base em

dados topográficos, de precipitação e de cobertura do solo. O modelo adotado será fundamentado principalmente no método TOPMODEL, que é adequado para simulações em bacias com terreno íngreme e escoamento rápido. Os parâmetros obtidos a partir da modelagem da bacia hidrográfica, principalmente morfométricas, serão utilizados para determinar a descarga, a altura e a dimensão do vertedouro (*spillway*), bem como a extensão da área inundada.

À medida que a demanda por uma melhor compreensão e gestão dos desafios relacionados aos recursos hídricos aumentou, os estudos científicos voltaram sua atenção para a modelagem dos processos hidrológicos e interações tanto na superfície quanto no subsolo da bacia hidrográfica. Diferente de muitos modelos que se concentram em processos individuais ou múltiplos processos dentro de um corpo d'água, um modelo de bacia hidrográfica adota uma abordagem mais abrangente, simulando os processos hidrológicos em toda a área da bacia.

Muitos dos modelos de bacias hidrográficas amplamente utilizados foram desenvolvidos entre 1960 e 1990, como o HEC-1, criado em 1967 no *Hydrologic Engineering Center* em Davis, Califórnia (USACE 1981), o *Hydrologic Simulation Program in Fortran* (HSPF) nos anos 1960 (Donigian et al. 1993), o método SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*) foi desenvolvido inicialmente no início dos anos de 1990 pelo ARS (*Agricultural Research Service*) do USDA (*United States Department Of Agriculture*) e o TOPMODEL, um modelo hidrológico baseado em topografia, lançado em 1974 (Kirkby, 1978 e 1988; Weyman, 1974). Após o surgimento desses modelos, os esforços de desenvolvimento concentraram-se na melhoria da gestão e utilização de dados, por meio de interfaces gráficas de usuário (GUIs) integradas a sistemas de informações geográficas (SIG) e na adoção de dados obtidos via detecção remota (Borah e Bera, 2003). Além disso, os avanços na modelagem desses processos oferecem uma estrutura promissora para tratar muitas dessas questões de forma mais integrada.

A adoção da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na modelagem de bacias hidrográficas tem proporcionado grandes benefícios e promete ainda mais vantagens no futuro. Pesquisas indicam que o uso do SIG para modelar bacias está em expansão, como apontado por Brooks et al. (2006). Esse crescimento se reflete nos esforços das agências governamentais em disseminar informações sobre bacias e aprimorar as ferramentas de modelagem baseadas em SIG. O sucesso dessas iniciativas

depende da capacidade dos desenvolvedores de criar sistemas de interface SIG-modelos que sejam fáceis de usar. Embora a integração de SIG com modelos de simulação ofereça vantagens, a falta de padrões bem definidos tem dificultado o avanço em diretrizes adequadas (Zhang et al, 2014; Burrough et al, 2015). Além disso, questões como escala espacial e administração de grandes volumes de dados são desafios para a integração completa de SIG e modelos de bacias (Noto e Loggia, 2007). Até o momento, a abordagem tem sido vincular interfaces SIG com modelos de bacias. Apesar dos obstáculos, a integração continua avançando, com as tendências futuras influenciadas pelo desenvolvimento de sistemas híbridos, software SIG de código aberto, plataformas SIG na web e dados em tempo real.

As barragens de grande escala têm uma longa trajetória na história da humanidade, com exemplos encontrados em diversos países. Algumas dessas barragens foram utilizadas por séculos, começando em regiões como Mehrgarh e Mesopotâmia durante o período Neolítico (7.000 – 3.200 a.C.). Na Idade do Bronze (3.200 – 1100 a.C.), barragens também foram construídas no sudeste da Grécia e no vale do Indo, impulsionadas pela necessidade de otimizar o uso de recursos naturais, proteger civilizações de desastres naturais e melhorar as condições de vida. No século XX, o rápido avanço tecnológico reduziu o valor atribuído às antigas técnicas de construção de barragens. No entanto, muitos problemas relacionados a essas estruturas ainda permanecem, especialmente em países em desenvolvimento, onde esses desafios têm se intensificado. A sabedoria associada às barragens antigas, como sua durabilidade e adaptação ao ambiente, pode oferecer lições valiosas para lidar com os desafios atuais. O desenvolvimento dessas tecnologias em várias civilizações ao longo do tempo é considerado fundamental para as conquistas modernas da engenharia hidráulica. Portanto, olhar para o passado pode ser essencial para enfrentar as demandas do futuro, já que essas estruturas desempenharam um papel crucial na evolução das tecnologias de barragens.

As pequenas barragens ou microbarragens, destacam-se como uma alternativa de menor impacto ambiental e econômico em relação às barragens de grande porte. Com altura inferior a 15 metros, essas estruturas são projetadas para atender necessidades locais de água e energia, especialmente em comunidades rurais e países em desenvolvimento. Sua construção é mais simples e acessível, facilitando sua implementação em áreas remotas. Elas oferecem benefícios importantes, como

irrigação, armazenamento de água potável e controle de enchentes em pequena escala, contribuindo para a resiliência diante de secas e mudanças climáticas. Além disso, podem integrar sistemas de geração de energia hidrelétrica de baixa capacidade, conhecidos como pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), que têm impacto ambiental reduzido. No entanto, enfrentam desafios como a capacidade limitada de armazenamento e geração de energia, tornando-as menos adequadas para áreas com alta demanda. Além disso, problemas de sedimentação e manejo inadequado podem comprometer a vida útil dessas estruturas.

1.2.2 Caracterização da Bacia Hidrográfica

A caracterização de bacias hidrográficas por Modelos Digitais de Elevação (MDE) possibilita análises detalhadas da superfície terrestre, oferecendo informações cruciais para a gestão de recursos hídricos, a mitigação de desastres e para a concepção de estruturas hidráulicas. Com o MDE, parâmetros como área de drenagem, relevo, declividade e rede de drenagem são identificados, auxiliando na compreensão do escoamento superficial e na previsão de cheias. Além disso, índices morfométricos derivados (razão de forma, densidade de drenagem) ajudam a prever o comportamento hidrológico da bacia. Esse método é essencial para delimitar divisores de água e avaliar a resposta hidrológica a eventos climáticos.

Os elementos a serem desenvolvidas entre estudo são os seguintes:

- a) Caracterização geométrica da bacia hidrográfica;
- b) Caracterização do sistema de drenagem da bacia hidrográfica;
- c) Caracterização do relevo da bacia hidrográfica;
- d) Estimação do tempo de concentração dos escoamentos superficiais.
- e) Estimação do Caudal de vazão enchente ou Caudal de projeto
- f) Dimensionamento do Vertedor de superfície.

1.2.2.1. Característica Geometria da Bacia Hidrográfica

Área da Bacia, (A)

É a área da projeção horizontal da superfície da bacia hidrográfica, representado em unidade km^2 ou ha.

Perímetro da Bacia, (P)

É o perímetro da projeção horizontal da superfície da bacia hidrográfica representado em km

Forma da bacia, (Kc)

É a forma da bacia hidrográfica que permite fornecer informação acerca da maior ou menor tendência para cheias que a bacia apresenta.

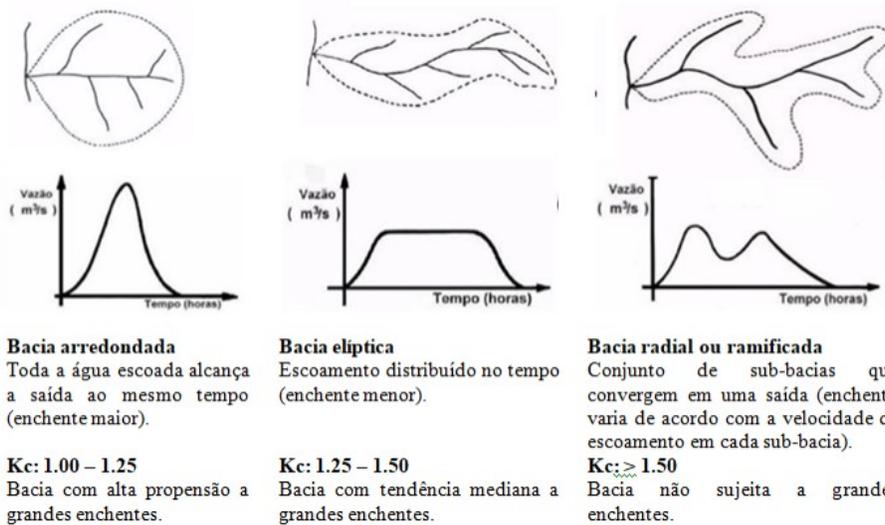


Figura 1. Forma bacia hidrográfica

Fator de forma da bacia (Kf)

É a relação entre a largura média e o comprimento da bacia. As bacias com fatores de forma baixos ($K_f < 1$) são as que têm formas estreitas ou irregulares. Nestes casos, é menos provável a ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a sua extensão, e, por outro lado, os escoamento resultantes surgem na secção de saída mais distribuídos ao longo do tempo (Hipólito & Vaz, 2011).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{eq. 1}$$

Em que:

A : é a área da bacia [km^2]

L : é o comprimento axial (da foz até cabeceira mais distante [km])

Índice de compacidade ou índice de Gravelius (Kc)

É a relação entre a forma da bacia com um círculo e define-se como a relação entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo igual à da bacia. O valor de Kc é sempre maior que 1 (se fosse igual a 1, a bacia teria forma de círculo perfeito). Quanto

mais próximo de 1 for o valor de K_c , mais circular é a bacia, menor será o tempo de concentração (t_c) e maior a tendência de ocorrência de picos de enchente.

$$K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad \text{eq. 2}$$

Sendo:

P : é o perímetro da bacia em km

A : é a área da bacia em km^2

Fator de alongamento (K_L)

Considerando um retângulo equivalente à bacia em estudo, este fator representa a relação entre o comprimento, L_e , e a largura, l_e , desse retângulo. A bacia é considerada alongada para valores superiores a 2.

$$K_L = \frac{L_e}{l_e} \quad \text{eq. 3}$$

1.2.2.2. Característica do Sistema de Drenagem

Ordem do curso de água

Reflete o grau de ramificação dentro de uma bacia. Conforme o Método de Strahler, os canais primários (nascentes) são designados como de 1ª ordem. A junção de dois canais primários forma um canal de 2ª ordem, e assim sucessivamente, Figura 1.2.

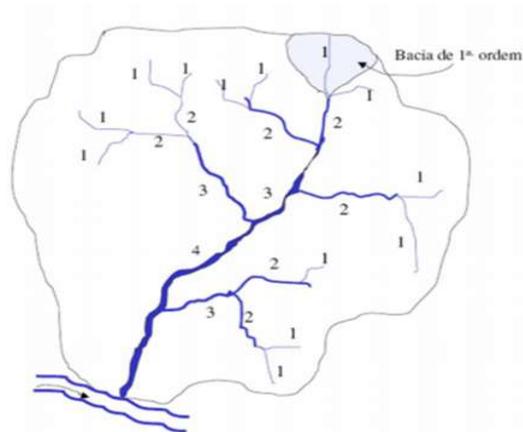


Figura 2. Ordem dos cursos da água- método de Strahler

Constância do escoamento

Uma maneira utilizada para classificar os cursos de água é a de tomar como base a constância do escoamento com o que se determinam três tipos: a) Intermitentes

(contêm água durante todo o tempo, **b**) Perenes (em geral, escoam durante as estações de chuvas e secam nas de estiagens), **c**) Efêmeros (a superfície freática se encontra sempre a um nível inferior ao do leito fluvial, não havendo a possibilidade de escoamento de deflúvio subterrâneo) (Lencastre e Franco, 2010)

Densidade de drenagem (D_d)

É uma indicação da eficiência da drenagem natural da bacia, constituindo, assim, um índice da tendência para a ocorrência de cheias. Mantendo-se iguais os demais fatores, quanto maior a densidade de drenagem de uma bacia, maior será também a tendência para a ocorrência de cheias (Shahidian et. al, 2012).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad \text{eq. 4}$$

Sendo:

L_t : é comprimento total dos cursos de água de uma bacia em km.

A : é a área da bacia de drenagem em km^2 .

1.2.2.3. Características do Relevo

O relevo de uma bacia hidrográfica exerce grande influência sobre fatores meteorológicos e hidrológicos. Por um lado, o relevo afeta a precipitação, a temperatura e a evapotranspiração, que dependem da altitude. Por outro lado, o relevo influencia a velocidade do escoamento superficial, que é dependente da declividade da bacia (Shahidian et. al, 2012).

Altitude média (\bar{Z})

Exerce influência na precipitação (que aumenta com a altitude até valores entre 2000 e 3000 m), nas perdas de água por evaporação e transpiração e, conseqüentemente, no escoamento.

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{Z}_i \cdot A_i}{A} = \frac{Z_{max} + Z_{min}}{2} \quad \text{eq. 5}$$

- Altitude média, \bar{Z} : corresponde à ordenada média da curva hipsométrica.
- Altura média, \bar{H} : A altura média é, influência a energia potencial da água e portanto o tempo que a água leva atingir a secção de referencia. Concendo a altitude mínima da bacia ou altitude da cecção de referencia, Z_{min} , pode calcular-se a altura média da bacia por equação:

$$\bar{H} = \bar{Z} - Z_{min} \quad \text{eq. 6}$$

Curva hipsométrica

É a representação gráfica do relevo médio da bacia. Fornece a variação da altitude dos terrenos da bacia em relação ao nível médio do mar e representa a área da bacia que

fica acima de cada altitude. A área é expressa em unidades de área ou em percentagem da área total

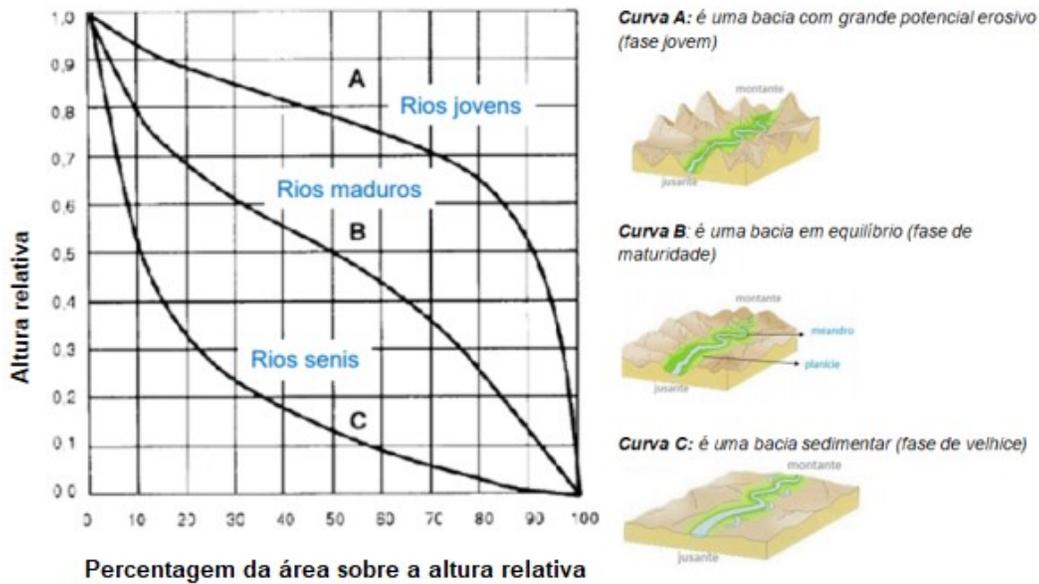


Figure 3. Hipsométrica do ciclo de erosão segundo Strahler, 1952

Declividade da bacia: quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, menor t_c e maior as perspectivas de picos de enchentes.

Declividade média do curso de água: No perfil longitudinal do rio principal definir as declividade média do rio, que existem 4 procedimentos determinar a declividade média do curso de água:

Declividade baseada nos extremos/declividade media (S_1):

$$S_1 = \frac{Z_{cabecera} - Z_{foz}}{L} \quad \text{eq. 7}$$

Declividade ponderada (S_2):

Declividade 10 – 85% de comprimento do rio principal (S_4):

$$S_{10-85} = \frac{Z_{85\%} - Z_{10\%}}{0,75L} \quad \text{Eq. 8}$$

1.2.3. Tempo de Concentração

O tempo de concentração de uma bacia (t_c), é o tempo necessário para que uma gota de água caída no ponto hidráulicamente mais afastado da bacia chegue à secção de referência da bacia.

Métodos para o cálculo do tempo de concentração em grandes bacias naturais, com base em critérios e informações disponíveis:

Fórmula de Giandotti: é utilizada em bacias hidrográficas naturais com área entre 170 e 70.000 km²

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,80\sqrt{H}} \quad \text{eq. 9}$$

Fórmula de Temez: Utilizada em bacia hidrográficas naturais com área até 3000 km²

$$t_c = 1,115 \left(\frac{L^{0,95}}{(Z_{\max} - Z_{\min})^{0,19}} \right) \quad \text{eq. 10}$$

Sendo:

T_c : é o tempo de concentração [hora]

L : é o comprimento do rio principal [km]

A : é a área da bacia [km²]

1.2.3.3. Análise do Caudal Ponta de Cheia

O caudal de ponta de cheia em m³/s é calculado através dos seguintes métodos de Hidrograma Unitário Sintético (HUS), nomeadamente os de Snyder, Nakayasu, SCS e Gamma 1.

Hidrogramas Unitário Sintético (HUS)

O Hidrograma Unitário Sintético (HUS) é um hidrograma derivado com base em dados de rios da mesma bacia hidrográfica ou de uma bacia hidrográfica próxima, mas com características semelhantes (Bhunya et al., 2011). Métodos para sintetizar hidrogramas para áreas não monitoradas foram desenvolvidos ao longo do tempo por Bernard, Clark, McCarthy e Snyder. A abordagem mais conhecida é a de Snyder (1938). Snyder analisou um grande número de hidrogramas de bacias de drenagem na região das Montanhas Apalaches, nos EUA, com áreas variando de 25 a 25.000 km², e seleccionou três parâmetros para o desenvolvimento do hidrograma unitário, a saber: largura da base (T_b), o caudal de pico do hidrograma unitário (q_p) e o tempo de pico do hidrograma (t_p) (Raghunath, 2006). A seguir, o método de Snyder é utilizado para estimar o caudal de pico do hidrograma unitário com altura de precipitação de 1 cm.

Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Snyder

Dados necessários:

Área da bacia hidrográfica, A [km²]

Comprimento do rio principal, L [km]

Comprimento de ponto observação para o ponto mais próximo do centro de gravidade da bacia, LCG [km]

Altura de precipitação, R [mm]

$$\text{Tempo de pico do hidrograma [h], } t_p = 0,75C_t \cdot (L \cdot L_{CG})^n \quad \text{eq. 11}$$

$$\text{Duração da precipitação efetiva [h], } t_e = \frac{t_p}{5,5} \quad \text{eq. 12}$$

$$\text{Tempo de base do hidrograma unitário para } t_p = 5,5t_e \text{ [h], } t_b = 72 + 3t_p \quad \text{eq. 13}$$

$$\text{Tempo de base do hidrograma unitário para } t_p \neq 5,5t_e \text{ [h], } t_b = \frac{5,56}{q_p R} \quad \text{eq. 14}$$

$$\text{Caudal de pico da hidrógrafa unitária [m³/s/km²], } q_p = 0,278 \cdot \frac{C_t}{t_p} \quad \text{eq. 15}$$

$$\text{Caudal de pico [m³/s], } Q_p = q_p \cdot A \quad \text{eq. 16}$$

Construção do hidrograma:

Para a construção do hidrograma unitário, baseando o valor de tres parametro e oo valores de W75 e W50

$$W_{75} = \frac{3,21}{(q_p)^{1,08}} \quad \text{eq. 17}$$

$$W_{50} = \frac{5,6}{(q_p)^{1,08}} \quad \text{eq. 18}$$

Sendo:

L é o comprimento do rio principal (km), LCG é distancia medida de ponto observação até o ponto de centro gravidade da bacia (km), Ct é o coeficiente empírico, que depende das características da bacia com valor entre 1,8 a 2,2 e A é a área da bacia hidrográfica (km²).

Equação de Alexejev para determinação do caudal total:

$$\lambda = \frac{q_p \cdot T_p}{h \cdot A} \quad \text{eq. 19}$$

$$X_a = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 = \frac{t}{T_p} \quad \text{eq. 20}$$

$$Y = 10^{-a \frac{(t-1)^2}{x}} \quad \text{eq. 21}$$

$$Q = Y \cdot Q_p \quad \text{eq. 22}$$

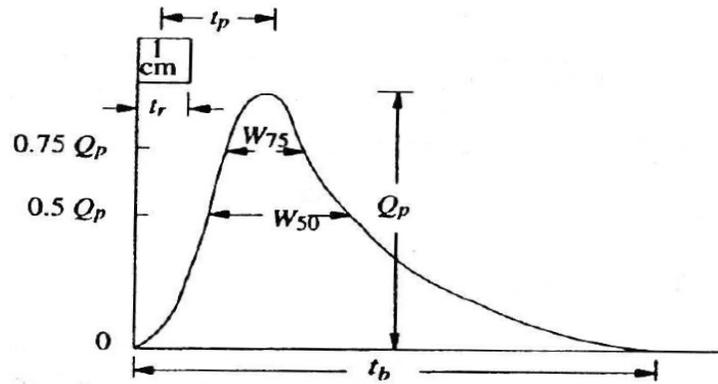


Figure 4. Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Snyder (Subramanya, 2008)

Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Nakayasu

No Japão, Nakayasu em 1950 investigou hidrogramas unitários em vários rios no Japão e, em seguida, derivou algumas fórmulas de hidrogramas unitários sintéticos a partir de seus estudos.

Dados necessários:

Tempo de concentração (time lag) em horas,

$$t_g = 0.40 + 0,058L \text{ para } L > 15 \text{ km} \quad \text{eq.23}$$

$$t_g = 0.21L^{0.7} \text{ para } L < 15 \text{ km} \quad \text{eq. 24}$$

$$\text{Duração das chuvas, } t_r \text{ em horas: } t_r = 0.5t_g \text{ até } 1t_g \quad \text{eq. 25}$$

$$\text{Tempo de pico do hidrograma em horas: } t_p = t_g + 0.8t_r \quad \text{eq. 26}$$

$$\text{Tempo para } 0.3Q_p, \text{ em horas : } t_{0.30} = \alpha \cdot t_g \quad \text{eq. 27}$$

α = fator de forma da bacia (1,5 – 3)

Caudal de pico da hidrográfica unitário em m³/s para $R_0 = 1 \text{ mm}$

$$Q_p = \frac{C.A.R_0}{3.6 \times (0.3t_p + t_{0.30})} \quad \text{eq. 28}$$

Construção do hidrograma:

Caudal cheio na curva de crescimento na zona $0 < t < t_p$)

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{t_p} \right)^{2.40} \quad \text{eq. 29}$$

Caudal cheio na curva de decrescimento na zona ($t_p \leq t \leq t_{0.30}$)

$$Q_t = Q_p \times 0.30 \left(\frac{t-t_p}{t_{0.30}} \right) \quad \text{eq. 30}$$

Caudal cheio na curva de decrescimento na zona $t_p \leq t < 1.5t_{0.30}$)

$$Q_t = Q_p * 0.30 \left(\frac{t-t_p+0.50t}{1.5t_{0.30}} \right) \quad \text{eq. 31}$$

Caudal cheio na curva de decrescimento na zona ($t > 1.5t_{0.30}$)

$$Q_t = Q_p * 0.30 \left(\frac{t - t_p + 1.50t_{0.30}}{2t_{0.30}} \right) \quad \text{eq. 32}$$

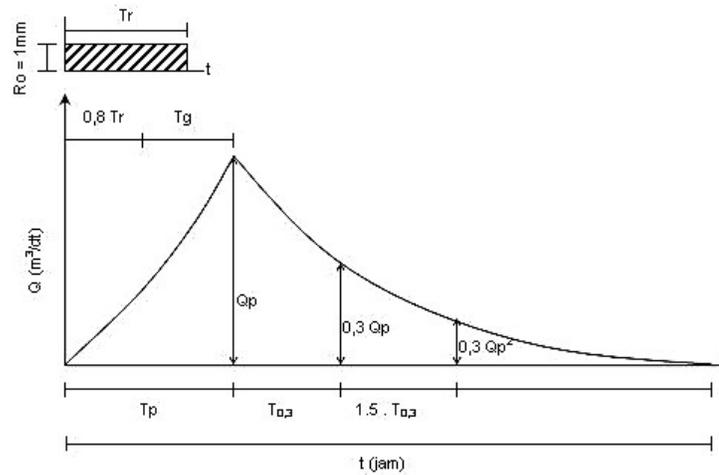


Figura 5. Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Nakayasu (Somarto, 1999)

Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Gamma 1

O Método do Hidrograma Unitário Gamma 1 consiste em equações para o cálculo de relações hidrográficas com o escoamento superficial, associadas aos riscos e inundações (Kamiana, 2010).

Fator de Fonte (SF), que é a comparação entre o comprimento total dos rios de primeiro nível e o comprimento total dos rios de todos os níveis:

$$SF = \frac{L1}{LN} \quad \text{eq. 33}$$

Fator largura (WF), da bacia hidrográfica na zona 0.75L:

$$WF = \frac{WU}{WL} \quad \text{eq. 34}$$

Racio (RUA) entre AU e A:

$$RUA = \frac{AU}{A} \quad \text{eq. 35}$$

Fator Simetria, SIM:

$$SIM = WF \times RUA \quad \text{eq. 36}$$

Racio entre P1 e PN, SN:

$$SN = \frac{P1}{PN} \quad \text{eq. 37}$$

Racio entre LN e A, D

$$D = \frac{LN}{A} \quad \text{eq. 38}$$

Tempo de pico, T_r (h):

$$T_r = 0.43 * \left(\frac{L}{100 * SF} \right)^3 + 1.0665 * SIM + 1.2775 \quad \text{eq. 39}$$

Caudal de pico da HUS, Q_p (m^3/s):

$$Q_p = 0.1836 * A^{0.5886} * T_r^{-0.4008} * JN^{0.2381} \quad \text{eq. 40}$$

$$k = 0.561 * A^{0.5886} * S^{-0.1446} * SF^{-1.0897} D^{0.0452} \quad \text{eq. 41}$$

$$t = 0.43 * \frac{L^3}{100 * SF} + 1.0665 * SIM + 1.2775 \quad \text{eq. 42}$$

Caudal na zona decrescimento, Q_t (m^3/s)

$$Q_t = Q_p * e^{\left(\frac{-t}{k} \right)} \quad \text{eq. 43}$$

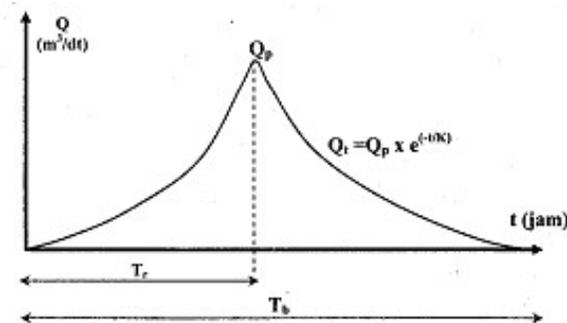


Figure 6. Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de Gamma 1 (Kamiana, 2011)

Sendo:

$$WU = 0,75L$$

$$WL = 0,25L$$

Q_p – Caudal ou vazão de pico, (m^3/s);

JN – Número de encontros de rios.

LN – comprimento total dos rios de todos os níveis;

A – área da bacia hidrográfica, (km^2)

L - O comprimento do rio principal (m)

L1 - Comprimento total dos rios de primeiro nível

TR – Tempo Pico (h);

RUA – Comparação entre AU e A

WF – Fator largura da bacia hidrográfica na zona 0,75L

WU - Largura da Área de Drenagem do Rio no ponto 0,75L a partir da saída

WL - Largura da Área de Drenagem do Rio no ponto 0,25L a partir da saída

AU – Largura da área da bacia hidrográfica do rio (m)

S – Inclinação longitudinal do leito do rio (m)

Hidrograma Unitário Sintético (HUS) de SCS

1.2.2.5. Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento das estruturas hidráulicas em pequenas barragens, como o descarregador de fundo, o vertedouro de superfície e a bacia de dissipação de energia, assim como o amortecimento das ondas de cheias, é essencial. Essas estruturas garantem a segurança e a integridade da obra durante eventos de chuvas intensas, além de assegurar a manutenção do fluxo mínimo necessário a jusante, atendendo às exigências ambientais e às necessidades de outros usuários. Este estudo não aborda aspectos estruturais específicos, como a estabilidade dos taludes, a escolha de filtros e drenos, ou o tipo de material empregado na construção. Focamos, conforme o objetivo inicial, na seleção e dimensionamento do vertedouro de superfície, com base em procedimentos práticos e aplicáveis a casos de menor complexidade.

O vertedor de superfície é uma estrutura hidráulica projetada para liberar as vazões do reservatório para o leito natural a jusante, por meio de um canal aberto. No presente trabalho adotou o modelo [Creager \(1017\)](#) aplicado geralmente em pequenas barragens, com a função essencial de permitir o escoamento seguro das vazões máximas calculadas para o reservatório, após um possível efeito de amortecimento, evitando que o volume de água ultrapasse o corpo da barragem e comprometa sua estabilidade.

Esse vertedor, também chamado de extravasor de superfície, possui geralmente uma seção retangular revestida. Suas partes principais incluem um canal de aproximação, uma soleira posicionada no canal, uma calha inclinada (ou rápido) e uma bacia de dissipação de energia, que auxilia no retorno controlado do fluxo ao leito natural a

jusante por meio do canal de restituição. Destaca-se a importância desse tipo de descarga superficial, pois ele promove um escoamento eficaz e controlado sobre a soleira, dissipando a energia de forma adequada para que o fluxo vença o desnível sem riscos à estrutura.

Descarga pelo vertedor de Superfície

$$Q = \mu LH\sqrt{2gH}$$

Sendo:

Q = vazão sobre a soleira em m³/s

μ = coeficiente de descarga

H = lâmina d'água sobre a soleira do vertedor em m

g = aceleração da gravidade, de valor igual a 9,81 m/s²

L = largura do vertedor (comprimento da soleira) em m

Como, $\sqrt{2g} = 4.43$

$$Q = 4.43\mu LH^{3/2}$$

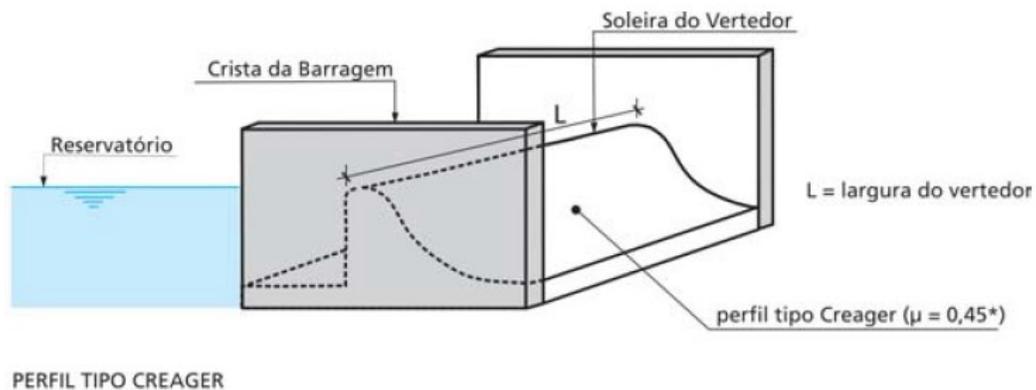


Figura 7. Vertedor de superfície Creager, 1917

(1.3) Formulação do Problema

Em Timor-Leste, a escassez e o uso ineficiente dos recursos hídricos representam desafios significativos para o desenvolvimento sustentável, a segurança alimentar e o bem-estar das populações rurais e urbanas. A demanda crescente por água potável, irrigação agrícola e geração de energia, somada aos impactos das mudanças climáticas, exige soluções de infraestrutura hídrica eficazes e integradas. Embora o governo timorense tenha reconhecido a necessidade de um planeamento estratégico para a gestão de recursos hídricos, conforme exposto na Resolução N.º 42/2020 e no plano Programa do Governo, ainda há uma carência de estudos aprofundados que subsidiem o desenvolvimento de infraestruturas essenciais, como barragens multifuncionais.

Neste contexto, a modelação hidrológica da Bacia Hidrográfica de Irabere desponta como uma estratégia promissora para fornecer dados e insights críticos para a viabilidade de uma barragem multifuncional. Este projeto visa assegurar a disponibilidade de água durante os períodos de seca e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do país, especialmente nas regiões agrícolas de subsistência. Globalmente, a modelação de bacias hidrográficas tem sido aplicada como uma ferramenta robusta para o planeamento de infraestruturas hídricas sustentáveis, promovendo práticas que equilibram o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental.

Assim, o problema de estudo consiste em avaliar a viabilidade da construção de uma barragem multifuncional na Bacia Hidrográfica de Irabere, visando atender às necessidades hídricas, agrícolas e energéticas de Timor-Leste e contribuir para a segurança hídrica e resiliência climática da região. Para tanto, é necessário desenvolver um modelo hidrológico integrado, coletando e analisando dados espaciais e hidrológicos, de modo a possibilitar um planeamento adequado e eficiente dessa infraestrutura hídrica essencial.

(1.4) Formulação de Hipóteses

A formulação de hipóteses para este estudo visa, assim, explorar e avaliar as variáveis-chave da bacia hidrográfica e os potenciais impactos ambientais e socioeconômicos como se segue:

- 1) A construção de uma barragem multifuncional na Bacia Hidrográfica de Irabere contribuirá significativamente para a segurança hídrica de Timor-Leste, garantindo o abastecimento de água durante períodos de seca e atendendo à demanda de populações urbanas e rurais.
- 2) A modelação hidrológica e geomorfológica da Bacia de Irabere fornecerá dados precisos para dimensionar a barragem com segurança, minimizando o risco de transbordamentos e danos estruturais em eventos de chuvas intensas.
- 3) O dimensionamento da barragem, juntamente com a delimitação de áreas protegidas ao longo das linhas de água da Bacia de Irabere, reduzirá significativamente os impactos ambientais negativos, preservando a biodiversidade local e protegendo ecossistemas aquáticos vitais para a manutenção dos recursos hídricos.
- 4) A construção de uma barragem multifuncional reduzirá a vulnerabilidade de Timor-Leste aos impactos das mudanças climáticas, como inundações e secas, ao regular o fluxo de água e controlar as cheias durante a estação chuvosa.

A partir dessas hipóteses, o estudo buscará evidências que sustentem ou refutem as premissas iniciais, orientando o desenvolvimento de futuros estudos e apoiando decisões fundamentadas para a implementação de uma barragem em Irabere

(1.5) Objetivos

1.5.1. Objetivo Geral

A modelação da bacia hidrográfica de Irabere, constitui um estudo de vital importância para o desenvolvimento sustentável da região. Esta bacia abrange uma vasta área com significativos recursos hídricos, com grande destaque a nascente de Irabere e representa um potencial estratégico para o aproveitamento desses recursos em múltiplos setores, como turismo, agricultura, silvicultura, geração de energia e

mitigação de riscos naturais. Timor-Leste, como uma nação insular em desenvolvimento, enfrenta inúmeros desafios relacionados à gestão de recursos naturais. A geografia montanhosa do país, associada à variabilidade climática, torna a gestão da água um fator crucial para o desenvolvimento socioeconômico. A bacia de Irabere, que se estende pelas regiões centrais e orientais de Timor-Leste, oferece um potencial notável para a construção de uma pequena barragem ou micro barragem multifuncional, capaz de atender a diversas necessidades da comunidade local e da economia nacional.

1.5.2. Objetivos específicos

A proposta de dimensionamento de uma barragem na bacia de Irabere é central a este estudo, que se propõe a:

- 1) Modelação e Caracterizar da bacia hidrográfica;
- 2) Determinar a localização da barragem baseando os vários fatores;
- 3) Estimar o tempo de concentração (t_c) e o caudal pico (Q_p) do escoamento superficial
- 4) Determinar a largura e altura da barragem
- 5) Calcular a altura da lâmina de água do vertedor
- 6) Calcular a extensão da área inundada e a capacidade do reservatório

(1.6.) Importância da Investigação

A água é essencial para a vida e constitui um recurso natural indispensável para os seres humanos e outros seres vivos. Contudo, muitas comunidades ainda não têm acesso adequado à água, tanto para o consumo doméstico quanto para uso agrícola. Diante disso, torna-se fundamental adaptar as condições topográficas locais para melhor aproveitamento da água disponível e integrá-la ao cotidiano das populações.

Além disso, Timor-Leste carece de infraestrutura hidráulica multifuncional que possa atender simultaneamente a diversas necessidades. Este estudo é, portanto, importante para analisar e modelar a bacia hidrográfica do rio Irabere, caracterizando sua geometria, estimando o tempo de concentração do escoamento superficiais e o caudal pico enchente. Com essas informações, será possível determinar as dimensões ideais para dimensionamento de uma futura barragem multifuncional, capaz de atender a

diferentes demandas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e a segurança hídrica do país.

(1.7) Organização do Trabalho

O presente estudo de viabilidade para dimensionamento de uma barragem em Irabere classicamente envolve as seguintes etapas:

- 1) Seleção do local: Primeiramente, será definido o local para o estudo de viabilidade da construção da barragem, levando em conta fatores hidrológicos, geomorfológicos e ambientais.
- 2) Coleta de dados: Em seguida, será feita a coleta dos dados disponíveis, incluindo dados pluviométricos fornecidos pelo GSMaP (JAXA), modelo digital do terreno ASF (Alaska Satellite Facility), imagens de cobertura do solo (Copérnicos Sentine-2), áreas protegidas, e outros recursos como exemplo os dados espaciais elaborados pela GERTIL. Uma revisão bibliográfica sobre o tema em foco e estudos semelhantes complementarará esses dados.
- 3) Modelação e extração de dados: A terceira etapa consiste em desenvolver um modelo que integre diversos mapas temáticos gerados a partir dos dados disponíveis, abrangendo os estudos hidrológicos e ambientais, a análise e interpretação do relevo (topografia e geomorfologia), morfologia e dinâmica dos cursos d'água.
- 4) Reconhecimento de campo: Será então elaborado um plano de reconhecimento de campo para validar o modelo preliminar e coletar novos dados técnicos, ambientais (como localização precisa da barragem e medição de caudais), com o objetivo de aprimorar o modelo inicial.
- 5) Ajuste e refinamento do modelo: Por fim, os dados coletados em campo serão integrados aos mapas temáticos previamente gerados, servindo como base técnica para o dimensionamento da barragem e servir de base para o desenvolvimento de um estudo mais detalhado sobre a viabilidade da construção da barragem.

(1.8) Local Geográfico da área de estudo

A caracterização da área de estudo é fundamental para compreender sua dinâmica e interações ambientais. Elementos-chave como localização geográfica, geologia, uso do solo, cobertura vegetal, clima, demografia e urbanização são cruciais para os objetivos deste estudo. Não se trata apenas de descrever, mas de entender os fatores que influenciam a dinâmica da bacia hidrográfica, a perigosidade da área e a sua gestão ambiental.

A Bacia hidrográfica de Irabere localiza-se em uma área onde engloba os três municípios do leste nomeadamente: Município de Viqueque – Posto Administrativo de Watulari, Município de Baucau – Posto Administrativo de Baguia e o Município de Lospalos – Posto Administrativo de Iliomar. É caracterizada por uma topografia acidentada, com encostas íngremes, grandes montanhas, picos altos e vales profundos. A paisagem da Bacia de Irabere é modelada por processos geodinâmicos externos, como a erosão e o intemperismo. A formação litológica instalada e depositada na bacia é amplamente composta por camadas não vulcânicas. O nome da bacia hidrográfica da Ribeira de Irabere prove do nome da nascente Irabere, onde brota água de grande quantidade todo o ano. Para a determinação da posição geográfica apresentamos o ponto do centro da gravidade do polígono da Bacia Hidrográfica definida pela Latitude -8.636265 graus; Longitude 126.71905862 graus; Altitude 330 metros ; Altitude. O ponto de observação do estudo coincide com a ponte de Irabere que se encontra danificado.



Figura 8. Localização geográfica da área de estudo

2. Metodologia

2.1. Metodologia de Pesquisa

A modelagem hidrográfica é uma ferramenta crítica na hidrologia que ajuda a prever o fluxo de água em rios e ribeiras ao longo do tempo, principalmente durante e após eventos de chuva. Timor-Leste, enfrenta desafios hidrológicos únicos devido à sua topografia acidentada, clima e condições socioeconômicas. No entanto, a modelagem hidrográfica em Timor-Leste permanece pouco explorada na literatura científica global. Esta revisão aborda a literatura existente sobre modelagem de hidrogramas unitários e gestão de recursos hídricos em Timor-Leste e apresenta algumas metodologias globais que podem ser aplicadas ao contexto timorense.

Dado o contexto geográfico e hidrológico único de Timor-Leste - terreno íngreme, clima de monções, escassez de dados e vulnerabilidade às mudanças climáticas - selecionar os modelos de hidrográficos mais apropriados é crucial. Embora muitos

modelos hidrológicos tenham sido desenvolvidos globalmente, nem todos são adequados para os desafios específicos do ambiente de Timor-Leste. Os melhores modelos para a modelagem de hidrogramas em Timor-Leste devem ser flexíveis o suficiente para trabalhar com dados limitados, capazes de simular os efeitos do uso da terra e das mudanças climáticas, e adaptáveis a pequenas bacias hidrográficas íngremes.

Modelos mais utilizados na modelação de bacias hidrográficas são: 1) HEC-HMS – versátil, lida bem com dados limitados, ideal para modelagem de inundações. No entanto, requer dados de calibração, embora seja adaptável. Adequado para previsão de enchentes e modelagem geral de escoamento superficial. 2) SWAT – ótimo para modelar o uso da terra e as mudanças climáticas, especialmente em cenários de longo prazo. Requer dados detalhados (pode utilizar conjuntos de dados globais). Indicado para a gestão de bacias hidrográficas e gestão de longo prazo. 3) TOPMODEL – eficaz para terrenos íngremes, simples e utiliza dados topográficos. A hidrologia é simplificada, com foco principal na topografia. Ideal para bacias pequenas e íngremes com escoamento rápido.

O hidrograma unitário é descrito como o gráfico que representa o escoamento gerado por uma precipitação efetiva de intensidade unitária, distribuída de forma homogênea sobre a bacia e com uma duração específica. Supondo que a bacia se comporte de maneira linear, sua resposta a eventos de precipitação mais complexos pode ser determinada com base no hidrograma unitário e na precipitação observada.

Há duas maneiras de se obter o hidrograma unitário: de forma direta, utilizando dados de hietogramas e hidrogramas registrados, ou de forma indireta, por meio de equações que consideram as características físicas da bacia.

O hidrograma unitário obtido de maneira indireta é chamado de hidrograma unitário sintético, sendo o mais utilizado, especialmente para bacias sem dados hidrológicos disponíveis. Equações como as de Snyder e do SCS baseiam-se em características físicas da bacia, como o comprimento do curso principal do rio e sua declividade (Ponce, 1989).

Uma abordagem mais detalhada e trabalhosa para obter o hidrograma unitário na ausência de dados é o método do histograma tempo-área. Nesse método, as características físicas da bacia são exploradas de forma mais aprofundada, e o uso de ferramentas de geoprocessamento ou sistemas de informações geográficas (SIG) pode

acelerar o processo de obtenção do hidrograma unitário por meio do histograma tempo-área (Muzik, 1996; Maidment, 1993).

O presente estudo tem como objetivo modelar a bacia hidrográfica de Irabere utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com base em dados topográficos, de precipitação e de cobertura do solo. O modelo adotado será fundamentado principalmente no método TOPMODEL, que é adequado para simulações em bacias com terreno íngreme e escoamento rápido. Os parâmetros obtidos a partir da modelagem da bacia hidrográfica, principalmente morfométricas, serão utilizados para determinar a desgarga, a altura e a dimensão do vertedouro (*spillway*), bem como a extensão da área inundada.

À medida que a demanda por uma melhor compreensão e gestão dos desafios relacionados aos recursos hídricos aumentou, os estudos científicos voltaram sua atenção para a modelagem dos processos hidrológicos e interações tanto na superfície quanto no subsolo da bacia hidrográfica. Diferente de muitos modelos que se concentram em processos individuais ou múltiplos processos dentro de um corpo d'água, um modelo de bacia hidrográfica adota uma abordagem mais abrangente, simulando os processos hidrológicos em toda a área da bacia.

Muitos dos modelos de bacias hidrográficas amplamente utilizados foram desenvolvidos entre 1960 e 1990, como o HEC-1, criado em 1967 no *Hydrologic Engineering Center* em Davis, Califórnia (USACE, 1981), o Hydrologic Simulation Program in Fortran (HSPF) nos anos 1960 (Bicknell et al. 1993), o método SWAT (*Soil and Water Assessment Tools*) foi desenvolvido inicialmente no início dos anos de 1990 pelo ARS (*Agricultural Research Service*) do USDA (*United States Department Of Agriculture*) e o TOPMODEL, um modelo hidrológico baseado em topografia, lançado em 1974 (Kirkby e Weyman, 1974). Após o surgimento desses modelos, os esforços de desenvolvimento concentraram-se na melhoria da gestão e utilização de dados, por meio de interfaces gráficas de usuário (GUIs) integradas a sistemas de informações geográficas (SIG) e na adoção de dados obtidos via detecção remota (Borah e Bera, 2003). Além disso, os avanços na modelagem desses processos oferecem uma estrutura promissora para tratar muitas dessas questões de forma mais integrada.

A adoção da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na modelagem de bacias hidrográficas tem proporcionado grandes benefícios e promete ainda mais

vantagens no futuro. Pesquisas indicam que o uso do SIG para modelar bacias está em expansão, como apontado por [Brooks et al. \(2006\)](#). Esse crescimento se reflete nos esforços das agências governamentais em disseminar informações sobre bacias e aprimorar as ferramentas de modelagem baseadas em SIG. O sucesso dessas iniciativas depende da capacidade dos desenvolvedores de criar sistemas de interface SIG-modelos que sejam fáceis de usar. Embora a integração de SIG com modelos de simulação ofereça vantagens, a falta de padrões bem definidos tem dificultado o avanço em diretrizes adequadas ([Martin et al., 2005](#)). Além disso, questões como escala espacial e administração de grandes volumes de dados são desafios para a integração completa de SIG e modelos de bacias ([Noto e Loggia, 2007](#)). Até o momento, a abordagem tem sido vincular interfaces SIG com modelos de bacias. Apesar dos obstáculos, a integração continua avançando, com as tendências futuras influenciadas pelo desenvolvimento de sistemas híbridos, software SIG de código aberto, plataformas SIG na web e dados em tempo real.

As barragens de grande escala têm uma longa trajetória na história da humanidade, com exemplos encontrados em diversos países. Algumas dessas barragens foram utilizadas por séculos, começando em regiões como Mehrgarh e Mesopotâmia durante o período Neolítico (7.000 – 3.200 a.C.). Na Idade do Bronze (3.200 – 1100 a.C.), barragens também foram construídas no sudeste da Grécia e no vale do Indo, impulsionadas pela necessidade de otimizar o uso de recursos naturais, proteger civilizações de desastres naturais e melhorar as condições de vida. No século XX, o rápido avanço tecnológico reduziu o valor atribuído às antigas técnicas de construção de barragens. No entanto, muitos problemas relacionados a essas estruturas ainda permanecem, especialmente em países em desenvolvimento, onde esses desafios têm se intensificado. A sabedoria associada às barragens antigas, como sua durabilidade e adaptação ao ambiente, pode oferecer lições valiosas para lidar com os desafios atuais. O desenvolvimento dessas tecnologias em várias civilizações ao longo do tempo é considerado fundamental para as conquistas modernas da engenharia hidráulica. Portanto, olhar para o passado pode ser essencial para enfrentar as demandas do futuro, já que essas estruturas desempenharam um papel crucial na evolução das tecnologias de barragens.

As pequenas barragens ou microbarragens, destacam-se como uma alternativa de menor impacto ambiental e econômico em relação às barragens de grande porte. Com

altura inferior a 15 metros, essas estruturas são projetadas para atender necessidades locais de água e energia, especialmente em comunidades rurais e países em desenvolvimento. Sua construção é mais simples e acessível, facilitando sua implementação em áreas remotas. Elas oferecem benefícios importantes, como irrigação, armazenamento de água potável e controle de enchentes em pequena escala, contribuindo para a resiliência diante de secas e mudanças climáticas. Além disso, podem integrar sistemas de geração de energia hidrelétrica de baixa capacidade, conhecidos como pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), que têm impacto ambiental reduzido. No entanto, enfrentam desafios como a capacidade limitada de armazenamento e geração de energia, tornando-as menos adequadas para áreas com alta demanda. Além disso, problemas de sedimentação e manejo inadequado podem comprometer a vida útil dessas estruturas.

2.2. Estudos precedentes em Timor-Leste

Timor-Leste possui um considerável potencial para o aproveitamento dos recursos hídricos, embora seja limitado pela falta de dados e pela capacidade institucional necessária para aplicar soluções de Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). O desenvolvimento dos recursos de água superficial enfrenta obstáculos devido a fatores como a topografia acentuada das bacias hidrográficas, a presença de geologia cárstica, as práticas de uso do solo, o clima tropical de monções — com períodos distintos de seca e chuva — e o escoamento variável, que, em especial durante enchentes rápidas, transporta grandes volumes de sedimentos ([Banco Mundial, 2014](#)). Até o presente, os esforços para aproveitar a água superficial têm sido direcionados à criação de infraestruturas de desvio e captação de água para irrigação. Um exemplo recente é o projeto de captação de água para a irrigação em Buluto construído pela JICA ([JICA, 2013](#)). Outras obras hidráulicas foram construídas com barragens de retenção de sedimentos (*check dam*) que contribuem para a mitigação de desastres naturais como enchentes e secas. Embora o governo tenha sugerido a construção de algumas barragens multifuncionais, nenhuma foi ainda realizada. A escassez de dados e informações torna necessário que todas as propostas de desenvolvimento hídrico sejam baseadas em estudos e levantamentos detalhados, a fim de apoiar decisões fundamentadas. Por exemplo, em 2015, o Ministério da Agricultura e Pescas conduziu

estudos preliminares para avaliar o potencial de construção de barragens em 15 ribeiras. Embora esses estudos não tenham apontado viabilidade imediata para execução, eles servem como base para futuros estudos e para o desenvolvimento de novos projetos na área ([Governo, 2015](#)).

2.3. Técnicas (meios) e Instrumentos de Recolha de Dados

Para a realização deste estudo, serão necessários adquirir dados espaciais em formato digital disponibilizado gratuitamente *online*, utilização de diversos instrumentos para recolha de dados de campo e softwares especializados para processamento e análise de dados:

2.3.1 Dados espaciais

Neste estudo, foram utilizados três tipos de dados fundamentais para a modelação da bacia hidrográfica: **a)** Modelo Digital de Elevação (MDE) ou Digital Elevation Model (DEM); **b)** dados de precipitação; e **c)** ortomosaico de cobertura do solo. Esses dados foram obtidos gratuitamente online, através das seguintes fontes: **1)** Alaska Satellite Facilities (ASF)/ALOS PALSAR – *High Terrain Corrected DEM*, com resolução de 12,5 metros; **2)** JAXA *Global Rainfall Watch/Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)*, com precipitação em resolução horária; **3)** Copérnicos Sentinel-2 da União Europeia – imagens óticas de satélite, Sentinel-2 Nível 2, com resolução de 30 metros.

Além desses dados, foram recolhidas informações espaciais disponibilizadas pela GERTIL e estudos prévios sobre o tema, para a realização de análises preliminares no escritório e trabalho de campo. Durante o trabalho de campo, foram coletados dados sobre as condições reais do terreno, medição do caudal da ribeira utilizando o fluxímetro e levantamentos aéreos com uso de drone.

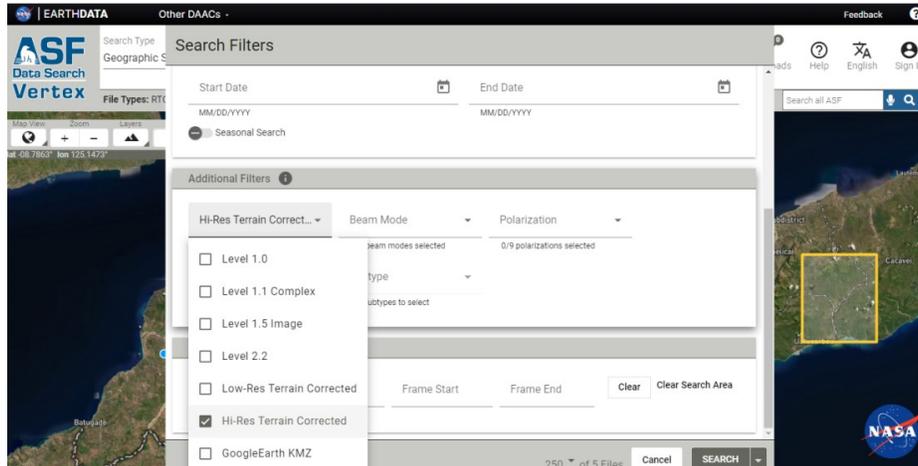


Figure 9. Alaska Satellite Facilities (ASF)/ALOS PALSAR – High Terrain Corrected DEM

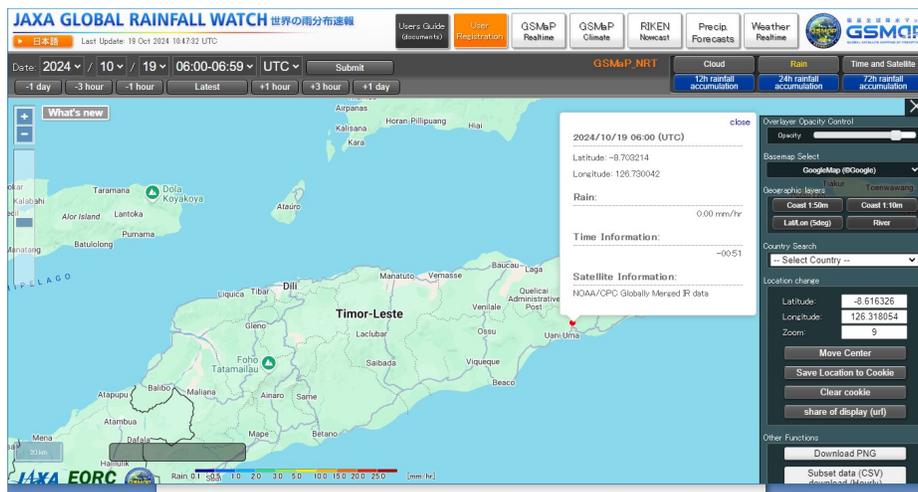


Figure 10. JAXA Global Rainfall Watch/Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP)

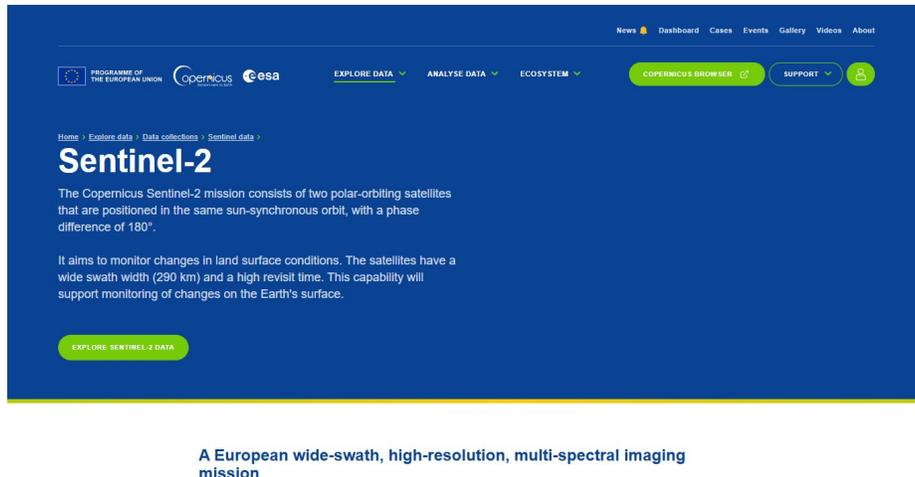


Figura 11. Copérnicos Sentinel-2 da União Europeia – imagens óticas de satélite, Sentinel-2 Nível 2, com resolução de 30 metros

2.3.2. Instrumentos

- Fluxímetro de Hélice: Utilizado para medir a velocidade da vazão de água nos cursos d'água.
- Drone (UAV): Equipamento indispensável para o mapeamento aéreo detalhado da área proposta para a barragem.
- Computador de Alta Capacidade: Necessário para o processamento de mapas e modelagem de dados geoespaciais.
- GNSS Topcon: Sistema de posicionamento global de alta precisão para levantamento topográfico e determinação de pontos de controle da área de estudo.

2.3.3. Softwares

- ArcGIS: Software para análise e visualização de dados geográficos, essencial para o planejamento e modelagem espacial.
- QGIS: Ferramenta de código aberto para processamento de dados geoespaciais e complementação das análises realizadas no ArcGIS.
- Agisoft Metashape: Utilizado para processamento de imagens obtidas por drone, criando modelos 3D, modelo digital de elevação e ortofotos para análise detalhada da topografia e do ambiente

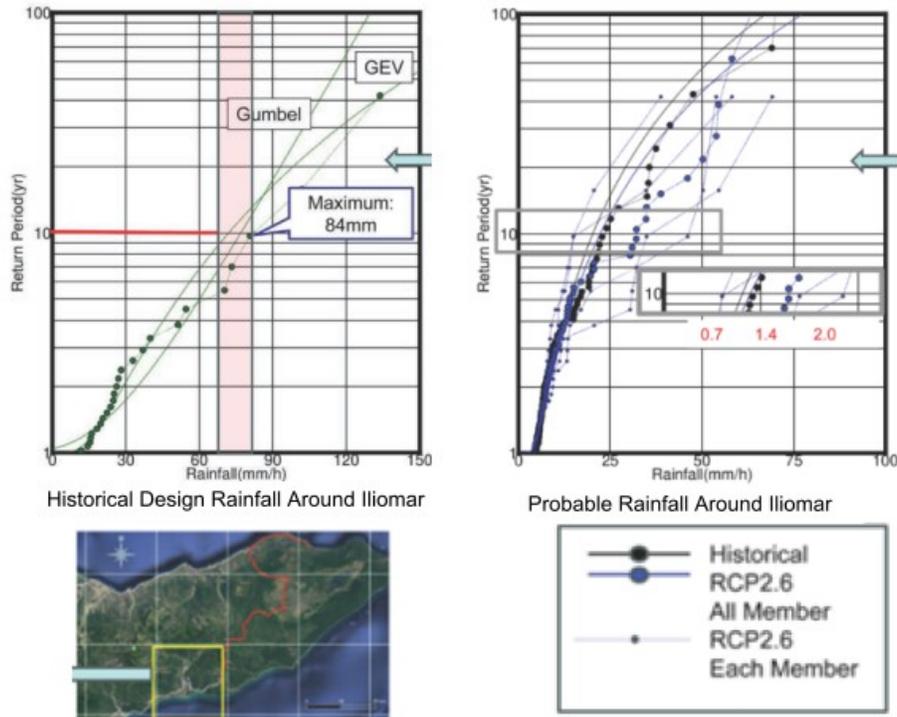
Esses instrumentos e softwares permitirão a coleta e análise rigorosa dos dados necessários para o estudo de modelação da bacia e o dimensionamento da barragem.

3. Discussão dos Resultados

3.1. Precipitação

O presente trabalho utilizou dados de precipitação específicos para a localização, desenvolvido pela JTS (JICA Team Survey, 2022) and ADB (2024) provenientes do Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP), que disponibiliza mais de 25 anos de dados horários desde 1998. O resultado da análise dos dados de satélite apresenta uma tendência semelhante à dos dados de pluviômetros instalados no terreno. Este método foi necessário devido à disponibilidade limitada de estações pluviométricas em Timor-Leste, onde a maioria das localidades tem apenas registos diários de precipitação dos últimos 15 anos. Com base nestes dados de satélite, a JTS (2022) e ADB (2024) calcularam a taxa de alteração climática e projetou a precipitação futura para fins de conceção, integrando o conceito de engenharia adaptada às alterações climáticas futuras.

As taxas de alteração climática variaram entre 0,7 e 2,0 em quatro padrões diferentes. Os mecanismos subjacentes são complexos, com as condições de El Niño geralmente a provocarem menos episódios de chuva intensa, enquanto as condições de La Niña resultam em mais episódios de precipitação forte. Para simplificar a análise, o conjunto de dados que integra todos os quatro padrões foi considerado o mais fiável devido ao seu tamanho da amostra maior. Esta abordagem resultou numa taxa calculada de 1,4. Com esta taxa, a precipitação projetada para o futuro foi estimada em 118 mm/h (84 mm x 1,4).



GEV = generalized extreme value, h = hour, mm = millimeter,
RCP = Representative Concentration Pathway, yr = year.
Map data: Google, Data Scripps Institution of Oceanography (SIO),
National Oceanic and Atmospheric
Administration (NOAA), United States (US) Navy,
National Geospatial-Intelligence Agency (NGA),
General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO), Image © Landsat/Copernicus.

Figura 12. Chuvas histórica de Projeto em torno de Iliomar (JTS, 2022; ADB, 2024)

3.2 Morfometria da Bacia hidrográfica

O Modelo Digital de Elevação (MDE) disponibilizado pela Alaska Satellite Facilities (ASF)/ALOS PALSAR – High Terrain Corrected DEM, com resolução de 12,5 metros foi processado em Ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para geração de mapas temáticos correspondente aos parâmetros do relevo que caracterizam a Bacia Hidrográfica de Irabere. A ferramenta utilizada no processamento é do software ArcGIS – *Spatial Analysis Tools – Hydrology* seguindo os passos seguintes:

3.2.1. Preparação dos Dados de Elevação

O processo começa com a importação de um Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de estudo no ArcGIS em formato TIFF e é convertido para o formato GRID. Este modelo é a base para as análises hidrológicas, pois fornece informações de elevação

necessárias para calcular o escoamento superficial e identificar as características da bacia hidrográfica (Figura 12 & 13).

Bacia Hidrográfica de Irabere

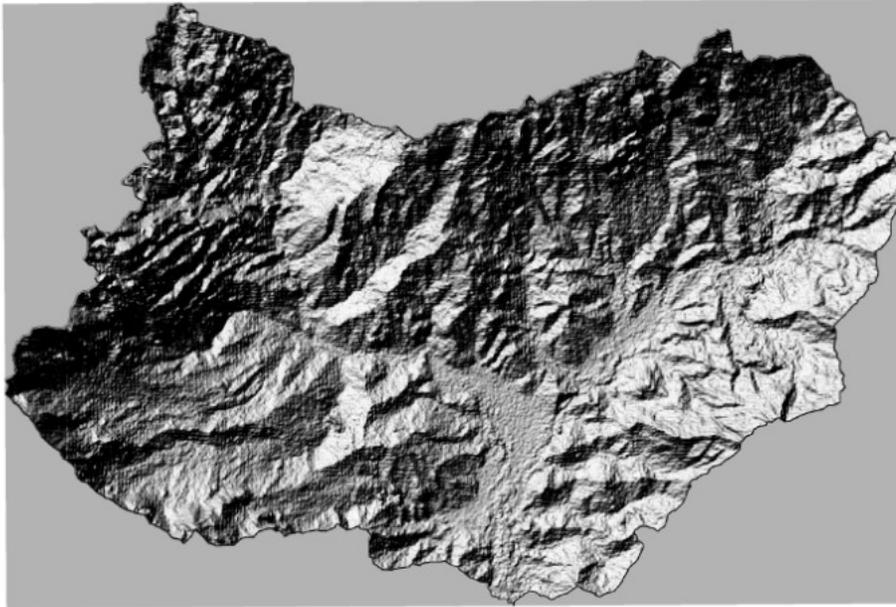


Figura 13. Modelo Digital de Elevação

3.2.2. Correção de Depressões (*Sink Fill*)

A ferramenta – *Fill* – é usada para corrigir pequenas depressões no MDE que poderiam interromper o fluxo de água. Essas depressões podem ser devidas a erros de resolução do MDE e, caso não sejam corrigidas, podem criar áreas de fluxo estático que não refletem o comportamento hidrológico real (Figura 13).

Bacia Hidrográfica de Irabere



Figura 14. Modelo Digital do Terreno corrigida com representação hipsométrica

3.2.3. Direção do Fluxo (*Flow Direction*)

Após a correção de depressões, a ferramenta – *Flow Direction* – é aplicada para calcular a direção do escoamento em cada célula do MDE. Esta etapa determina o caminho que a água seguiria em cada ponto, identificando as direções de fluxo e estabelecendo a base para os passos seguintes (**Figura 14**).

3.2.4. Acumulação de Fluxo (*Flow Accumulation*)

Com base na direção do fluxo, a ferramenta – *Flow Accumulation* – calcula a quantidade de fluxo acumulado em cada célula do MDE, somando as contribuições de todas as células situadas a montante. Esse cálculo identifica áreas com maior concentração de fluxo, indicando possíveis linhas de drenagem e canais principais.

4.2.5. Delimitação da Bacia Hidrográfica (*Watershed*)

Utilizando pontos de saída (*outlets*) ou localizações específicas na bacia (geralmente pontos onde a drenagem é conhecida ou desejada), a ferramenta – *Watershed* – é aplicada para delimitar a área de contribuição de cada ponto. Esse passo gera a bacia hidrográfica, destacando a área que contribui com o escoamento para o ponto de interesse (**Figura 14**).

3.2.5. Extração da Rede de Drenagem (*Stream Network*)

A partir da acumulação de fluxo, é possível definir um limiar mínimo de acúmulo para identificar e extrair a rede de drenagem. A ferramenta – *Stream Order* – pode ser usada para hierarquizar as linhas de drenagem com base em sua ordem de fluxo, o que facilita a análise da rede hidrográfica (**Figura 15**).

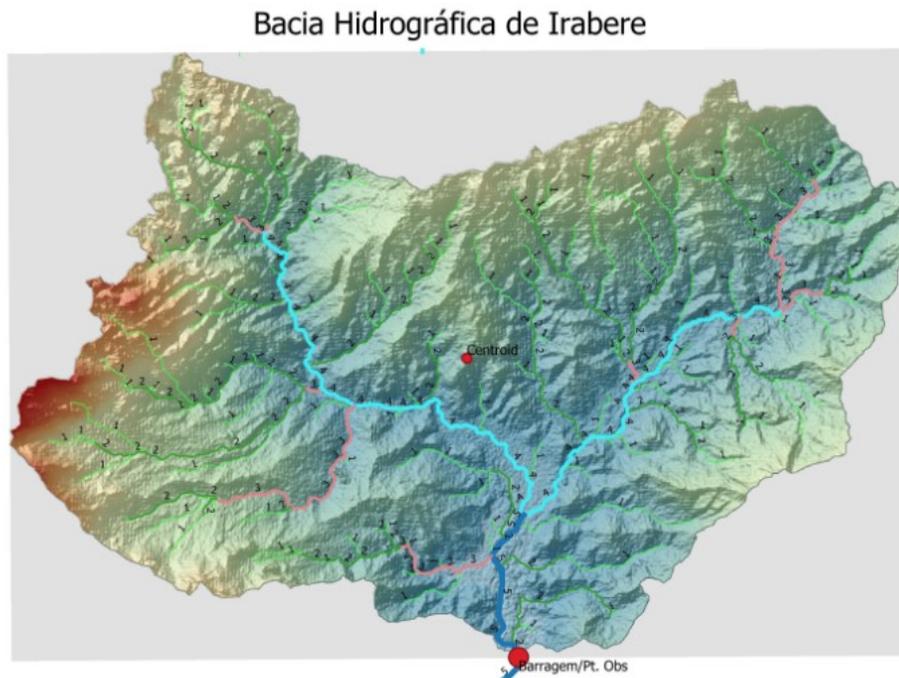


Figura 15. Mapa de Linhas de água, sistema de drenagem superficial e linha de água principal

3.2.6. Análise de Parâmetros da Bacia

Com a bacia hidrográfica e a rede de drenagem delimitadas, calcula-se parâmetros importantes, como área de drenagem, comprimento dos cursos d'água, densidade de drenagem e declividade média da bacia. Estes parâmetros fornecem informações essenciais para a análise hidrológica e o comportamento do escoamento, proporcionando uma visão detalhada da rede de escoamento e facilitando a gestão de intervenções ou monitoramento dos recursos hídricos.

Paralelamente, foi utilizado o software *Open Source* QGIS para manipulação de dados espaciais e geração de mapas temáticos, essenciais para o estudo. O QGIS permitiu um tratamento eficiente dos dados, oferecendo ferramentas avançadas para edição e análise espacial que facilitaram a criação de mapas personalizados, adaptados às necessidades específicas da pesquisa. Com uma interface intuitiva e altamente personalizável, o

QGIS possibilitou uma integração fluida de diferentes camadas de dados e suportou uma ampla gama de formatos de arquivos. Além disso, o QGIS dispõe de uma biblioteca extensa de plugins, que ampliou a capacidade de análise espacial e facilitou a automação de tarefas rotineiras. Esses recursos foram fundamentais para visualizar e comunicar os resultados do estudo de forma clara e precisa.

3.2.7. Hidrograma Unitário Sintético (HUS)

Os parâmetros obtidos a partir da modelagem da bacia hidrográfica em ambiente SIG (**Tabela 1**), principalmente os parâmetros morfométricos, foram utilizados para estimar o caudal de cheia ou Caudal de Pico (Q_p) por meio da elaboração do Hidrograma Unitário Sintético (HUS). Para essa estimativa, foram aplicados quatro modelos de HUS: a) Modelo de Snyder, b) Modelo de Nakayasu, c) Modelo CSC e d) Modelo Gamma 1. Os resultados dos cálculos são apresentados na **Tabela 2**, e o respectivo gráfico na **Figura 16**. Os valores de caudal de pico obtidos na Tabela 2 indicam uma discrepância notável no Modelo CSC, que pode ser atribuída à ausência da classificação dos solos, fator que influencia a infiltração de água no solo. Os demais modelos apresentaram valores semelhantes, com diferenças mínimas entre si. Portanto, para o presente estudo, foi adotado o valor máximo obtido pelo modelo de Snyder, com $Q_p = 2068,671 \text{ m}^3$.

Tabela 1. Parâmetros da Bacia Hidrográfica

Num.	Parâmetros da Bacia Hidrográfica	Símbolo	Valores	Unidade
1	Área	A	357.201	km ²
2	Comprimento do rio principal	L	29.625	km
3	Comprimento total das linhas de água, todas as ordens	LN	326.220	km
4	Comprimento total das linhas de água, de Ordem 1	L1	169.726	km
5	Largura	AU	168.282	km
6	Declividade do Rio Principal	S	0.033	%
7	Número de junções das linhas água	JN	115	

Tabela 2. Cálculo de Hidrograma Unitário Sintético

Snyder		Nakayasu		SCS		Gamma 1	
Tempo -t	Caudal -Q						
0	0.00	0	0.00	0	0	0	0
1	1078.453	1	107.123	0.25	52.326	1	2139.404
2	1789.468	2	565.397	0.50	261.628	2.786	1504.097
3	2019.042	3	1496.140	0.75	558.140	3	1442.048
4	2068.671	3.4	2020.369	1.01	976.746	4	1183.923
5	2039.329	4	1737.885	1.26	1500.002	5	972.001
6	1972.005	4.25	1631.655	1.51	2093.026	6	798.014
7	1886.007	5	1350.362	1.76	2686.051	7	655.170
8	1791.378	6	1049.252	2.01	3104.656	8	537.895
9	1693.703	6.38	953.329	2.26	3383.726	9	441.612
10	1596.214	7	815.284	2.51	3488.377	10	362.564
11	1500.825	8	633.488	2.76	3418.610	11	297.665

continua, ...

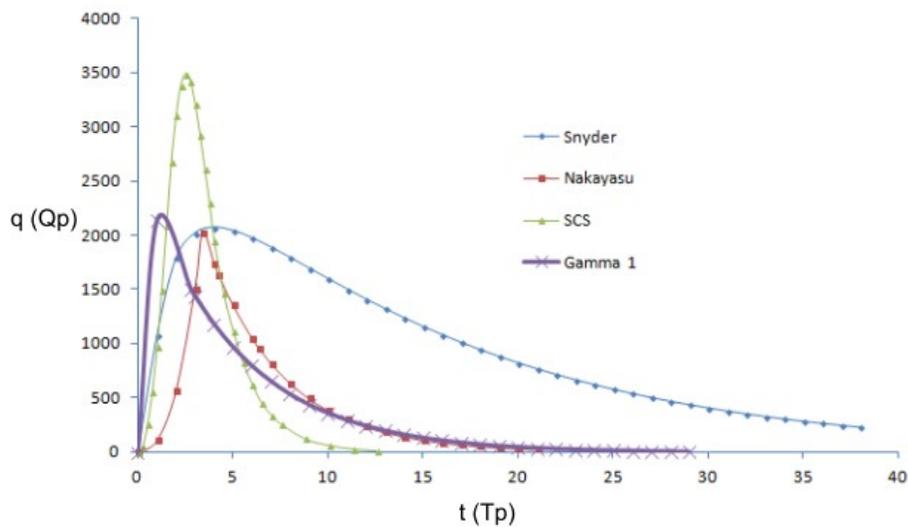


Figura 6. Representação gráfica do Hidrograma Unitário Sintético

3.3. Classificação da Cobertura do Solo

Além da análise dos parâmetros hidrológicos da bacia, foi essencial examinar a cobertura do solo da área em estudo. Para isso, foram utilizadas imagens de satélite adquiridas gratuitamente na plataforma Copernicus Sentinel-2 da União Europeia — imagens óticas de satélite Sentinel-2, nível 2, com resolução espacial de 30 metros. A classificação da cobertura do solo foi realizada no ambiente *Google Earth Engine*, uma plataforma gratuita de código aberto baseada em nuvem. Para validar os resultados da

classificação, realizou-se um levantamento aéreo no local (**Figura 15**), utilizando uma plataforma UAV/Drone (**Figura 16**).

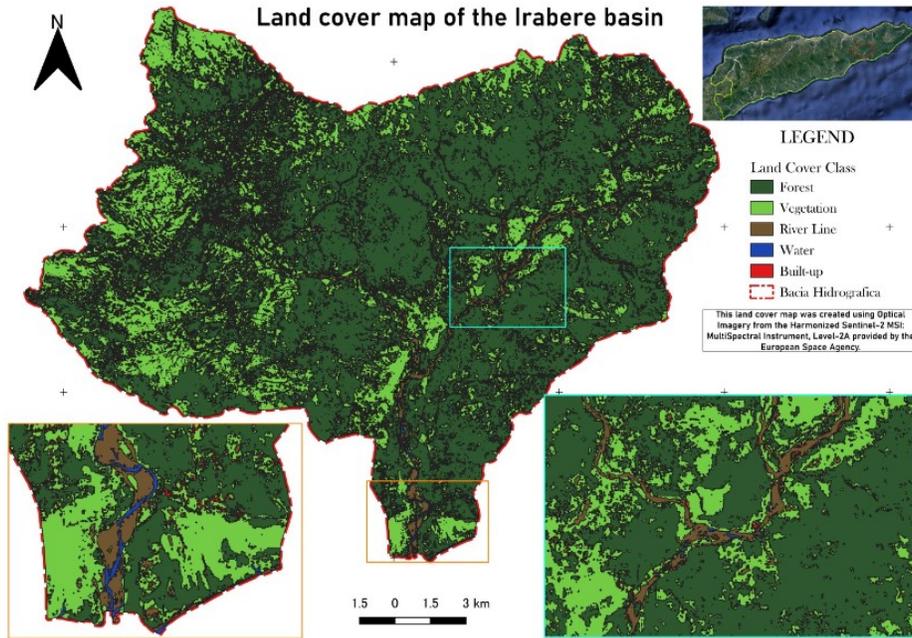


Figura 17. Mapa de cobertura do solo

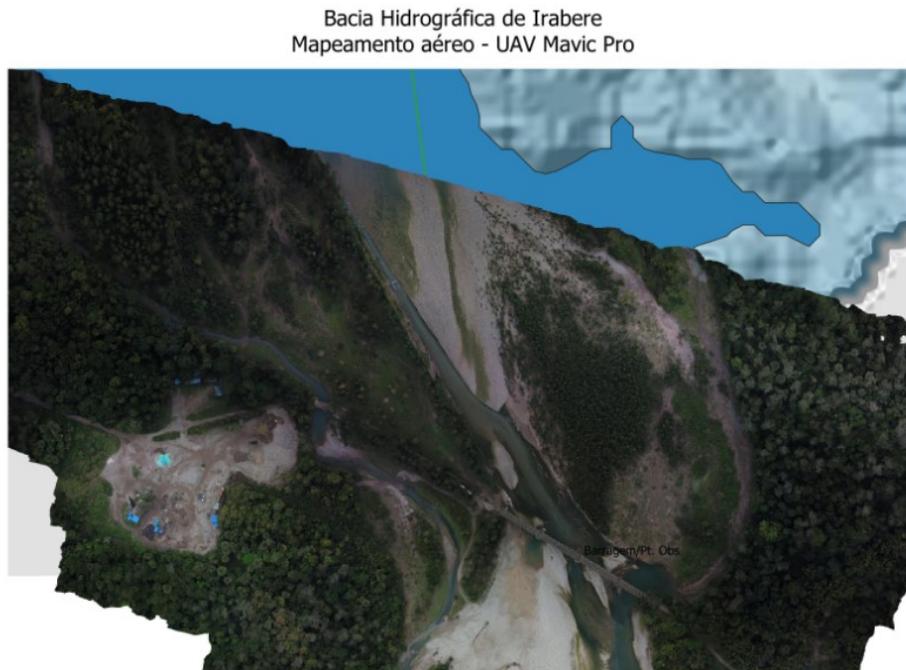


Figura 18. Imagem ortomosaico do local de estudo

3.4 Cálculo hidráulico

3.4.1 Lâmina da água sobre a altura do vertedor de superfície

Apos obter o caudal de cheia enchente $Q = 21390404 \text{ m}^3/\text{s}$ (valor obtido do modelo HUS Gamma I), a largura do Vertedor $L = 230 \text{ m}$ (medido a partir do mapa aéreo UAV), a altura da barragem $h = 10 \text{ m}$ (determinada com base na avaliação do menos impacto da área inundada ou lago) foi possível calcular a altura da lâmina da água sobre o vertedor como seguinte:

$$Q = 4.43\mu LH^{3/2}$$

$$2139.404 = 4.43 \times 0.45 \times 230 H^{3/2}$$

$$H = 2.792 \text{ metros}$$

Para calcular a altura da lâmina da água sobre a soleira

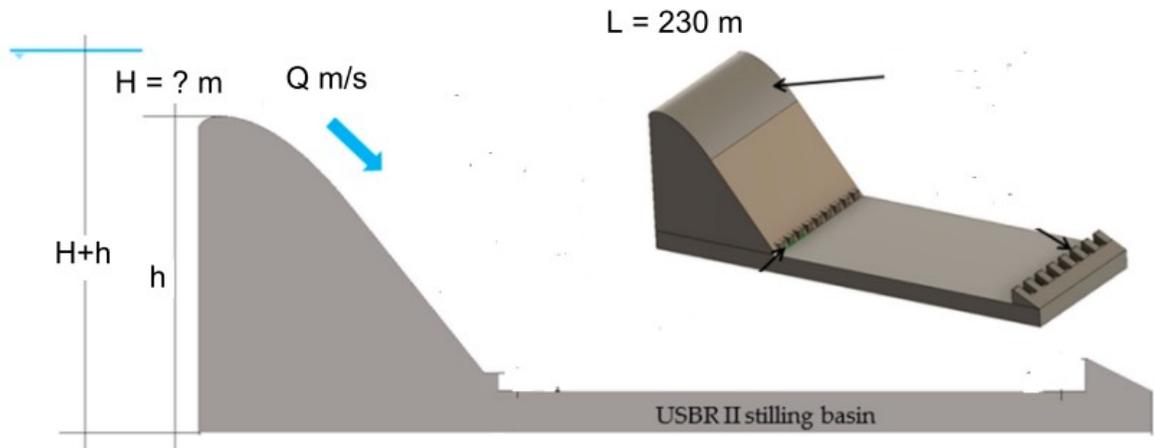


Figura 9. Ilustração do Vertedor de superfície, modelo Creager, 1917

Este é um cálculo simplificado do processo, sendo que o projeto real de uma barragem exige uma análise detalhada e o cumprimento rigoroso das normas e regulamentações nacionais.

Para o projeto de uma barragem, é fundamental atender às normas estruturais e hidráulicas estabelecidas pelo país. Essas normas garantem que todas as fases do projeto, da concepção inicial à execução, estejam em conformidade com os requisitos de segurança, funcionalidade e durabilidade. As normas estruturais regulam a resistência

dos materiais, a capacidade de carga, e a estabilidade da estrutura, incluindo a resistência a fenômenos como sismos e pressões hidrostáticas. Já as normas hidráulicas focam no comportamento e controle da água, abordando elementos como vazão máxima admissível, escoamento de água em caso de cheias, e eficiência dos dispositivos de descarga e segurança. A adesão a essas regulamentações é essencial não apenas para a segurança da construção e do ambiente circundante, mas também para garantir a conformidade com padrões técnicos de engenharia e boas práticas de construção. Em muitos casos, essas normas são complementadas por diretrizes internacionais, que ajudam a alinhar o projeto aos mais altos padrões globais.

3.5 Área inundada e capacidade do reservatório

Com base no estudo do relevo, foi determinada uma altura de barragem de 10 metros, calculada a partir da diferença de elevação entre 75 m e 65 m. Com essa altura, a barragem será capaz de inundar aproximadamente 93 hectares (ou 930000 metros quadrados) e terá um comprimento de 3.000 metros. A largura da área inundada é irregular, com média de 300 metros, e a inclinação do leito é de $i = 0.0033$. Dessa forma, estima-se que a capacidade do reservatório será de aproximadamente 4500000 metros cúbicos. A morfologia da área alagada favorece a remoção de sedimentos depositados para utilização em obras de aterro, o que, por sua vez, contribui para o aumento da capacidade do reservatório. Outro fator positivo é o formato alongado da área inundada, com comprimento superior a 3000 metros, o que ajuda a amortecer ondas de cheia e garante maior segurança e integridade da obra durante eventos extremos. O fator de forma da bacia ($K_f = 0,404 < 1$) indica que a bacia possui uma forma estreita e irregular, o que reduz a susceptibilidade a enchentes. Da mesma forma, o índice de compacidade da bacia ($K_c = 1,43 > 1$) sugere que a bacia tem uma menor tendência a enchentes.

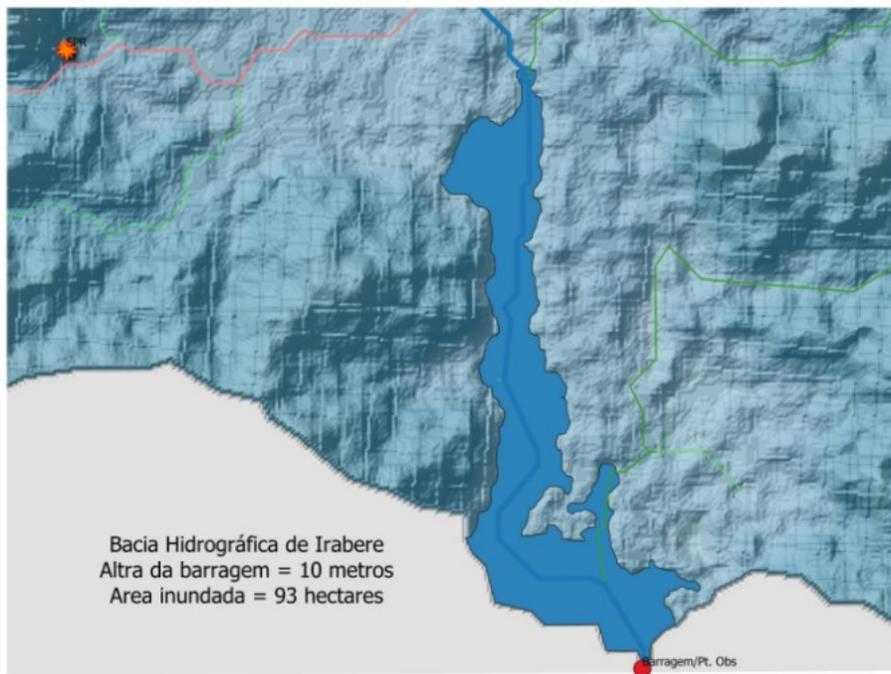


Figura 20. Área inundada, resultado da altura da barragem de 10 metros

3.6 Delimitação de Área Protegida ao Longo das Linhas de Água

A delimitação de áreas protegidas ao longo das linhas de água, a partir do nível de elevação da barragem até a altitude de 200 metros, desempenha um papel crucial para a conservação ambiental, com impacto direto na cobertura vegetal, biodiversidade, controle da erosão e estabilidade do solo. Criar essas faixas de proteção visa promover a recuperação e o crescimento da vegetação nativa, o que aumenta a diversidade de espécies de flora e fauna e contribui para um ecossistema mais equilibrado. A ampliação da cobertura vegetal nessas áreas tem efeitos significativos na contenção de processos erosivos e no controle de deslizamentos de terra, especialmente em regiões de relevo acidentado ou solos mais suscetíveis à erosão. Com o estabelecimento de uma cobertura vegetal densa, o solo torna-se mais estável e menos propenso a sofrer o impacto direto das chuvas, que são uma das principais causas da erosão. As raízes das plantas atuam como uma malha de retenção, mantendo o solo coeso e reduzindo a perda de sedimentos para os cursos d'água, o que também contribui para a melhoria da qualidade da água a jusante, evitando o assoreamento de rios e reservatórios. Outro benefício importante dessas áreas protegidas é o aumento da capacidade de infiltração do solo. Com menor escoamento superficial, mais água pode ser absorvida e

armazenada no solo, recarregando aquíferos e mantendo a umidade da área por períodos mais prolongados. Esse processo é essencial para a sustentabilidade hídrica, especialmente em períodos de seca. Em síntese, a delimitação de áreas protegidas ao longo das linhas de água é uma estratégia essencial para a proteção dos recursos naturais, a preservação dos habitats e o fortalecimento da resiliência ambiental em regiões sensíveis e ecossistemas aquáticos



Figura 21. Delimitação da área protegida até a elevação de 200 metros

4. Conclusão e Recomendações

4.1 Conclusão

A modelação da bacia hidrográfica de Irabere destaca-se como uma iniciativa essencial para promover o desenvolvimento sustentável em Timor-Leste, especialmente nas regiões centrais e orientais do país. Este estudo proporcionou uma análise detalhada dos recursos hídricos disponíveis, com ênfase na nascente de Irabere, demonstrando o potencial estratégico da bacia para diversas aplicações, incluindo o turismo, a agricultura, a silvicultura, a geração de energia e a mitigação de desastres naturais.

Diante da geografia montanhosa e da variabilidade climática do país, que apresentam desafios únicos para a gestão de recursos hídricos, a bacia de Irabere surge como uma

solução viável e estratégica. Os resultados obtidos confirmam a viabilidade preliminar para a construção de uma pequena barragem ou micro barragem multifuncional, capaz de suprir necessidades locais e contribuir para o fortalecimento da economia nacional. Por meio de objetivos específicos como a modelação e caracterização da bacia, a determinação da localização adequada para a barragem, e o cálculo de parâmetros essenciais — incluindo o tempo de concentração, o caudal de pico, e a capacidade do reservatório —, este estudo criou uma base técnica robusta para orientar os próximos passos. Esses dados oferecem subsídios para o dimensionamento de uma estrutura segura e eficiente, bem como uma avaliação criteriosa do impacto na área de inundação e no volume de água armazenado.

Em conclusão, este estudo sobre a bacia hidrográfica de Irabere e o dimensionamento da barragem propõe uma estrutura de captação que pode servir como um modelo de desenvolvimento hídrico sustentável para outras regiões de Timor-Leste. Com a implementação desse projeto, espera-se não apenas um incremento na segurança hídrica e no abastecimento de água, mas também a criação de oportunidades socioeconômicas que promovam o bem-estar da população e a resiliência da infraestrutura local frente aos desafios naturais.

4.2. Recomendações

Dadas as limitações e dificuldades enfrentadas na elaboração deste estudo, serão apresentadas recomendações essenciais para o desenvolvimento de projetos, obras hidráulicas e a gestão de recursos hídricos em Timor-Leste.

1. Melhoraria do registo e monitorização de dados meteorológicos e hidrológicos

É essencial expandir a rede de estações pluviométricas e hidrométricas em Timor-Leste para aumentar a precisão dos dados locais. Embora o uso de dados de satélite, como o GSMaP, seja útil para estimativas preliminares, a criação de uma rede de monitoramento nacional, distribuída pelas bacias hidrográficas e com registros contínuos e detalhados, é fundamental para apoiar a modelação hidrológica e o planeamento hídrico de forma confiável e sustentável.

2. Integração de estruturas para medição e monitorização do escoamento superficial

A construção de infraestruturas dedicadas à medição e monitorização do escoamento superficial é essencial para melhorar a precisão dos valores de precipitação, infiltração, tempo de concentração e caudal de pico durante cheias. Estas estruturas permitirão a calibração contínua dos modelos hidrológicos desenvolvidos localmente, proporcionando dados críticos para a conceção e o dimensionamento de barragens e outras infraestruturas hídricas, aumentando a resiliência e a eficiência da gestão de águas.

3. Promoção da gestão integrada de recursos hídricos

Para enfrentar os desafios impostos pela topografia acidentada, pela geologia cárstica e pela variabilidade climática, é necessário reforçar a capacidade institucional para implementar a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Este modelo permitirá uma abordagem holística na gestão dos recursos, integrando práticas de conservação de solo e água, uso sustentável do solo e planeamento estratégico para períodos de seca e chuvas intensas, assegurando a sustentabilidade do sistema hídrico.

4. Estabelecimento de normas técnicas e diretrizes para estudos de viabilidade, projetos e Construção de Obras Hidráulicas

Para garantir a qualidade e segurança das infraestruturas hídricas, recomenda-se a criação de normas específicas para a realização de estudos de viabilidade e construção de obras hidráulicas, incluindo barragens e estruturas de medição de escoamento. Estas diretrizes devem cobrir procedimentos técnicos, critérios ambientais e sociais, e padrões de engenharia que assegurem a durabilidade das estruturas e minimizem o impacto ambiental. Um quadro regulamentar robusto contribuirá para a segurança das infraestruturas e a confiança dos investidores e comunidades.

5. Promoção de estudos detalhados para projetos de desenvolvimento hídrico

Futuros projetos de barragens e estruturas de captação de água devem ser precedidos de estudos aprofundados e levantamentos detalhados, incluindo avaliações da geologia local, características hidrológicas, hidrogeológicas e impacto ambiental. Esses estudos são essenciais para a viabilidade e sustentabilidade das infraestruturas propostas. Os estudos preliminares realizados pelo Ministério da Agricultura e Pescas em 2015,

apesar de não terem indicado viabilidade imediata, oferecem uma base importante para novos projetos e investigações futuras.

6. Desenvolvimento de Infraestruturas Hidráulicas Multifuncionais

Face à necessidade de reforçar a capacidade de abastecimento de água e mitigar eventos extremos, recomenda-se que o governo priorize a construção de barragens multifuncionais, que possam fornecer irrigação, abastecimento de água potável, controlo de cheias e, eventualmente, geração de energia. Projetos como a captação de água para irrigação em Buluto e as barragens de retenção de sedimentos (check dams), são exemplos de iniciativas bem-sucedidas e servem de referência para o planeamento de futuras obras.

7. Integração de Soluções de Engenharia Adaptadas às Alterações Climáticas

Com base nas projeções climáticas, é crucial incorporar conceitos de engenharia ajustadas no planeamento e construção de infraestruturas hídricas, considerando o aumento na intensidade e frequência de eventos climáticos extremos. Recomenda-se que todos os projetos de barragens e reservatórios futuros incluam uma avaliação do impacto das alterações climáticas para garantir resiliência e sustentabilidade a longo prazo.

8. Reforço de Parcerias Internacionais e Capacitação Técnica

A colaboração com instituições internacionais e a capacitação de profissionais locais são cruciais para superar as limitações técnicas e institucionais em Timor-Leste. É altamente recomendada a continuidade da cooperação com entidades e agências internacionais para a transferência de tecnologias e técnicas de modelação hidrológica, monitorização e gestão de recursos hídricos, a fim de assegurar um desenvolvimento hídrico eficiente e sustentável.

Referências Bibliográficas

ADB (2024). Toward Climate-Resilient Roads Climate Change Adaptation Measures For The Road Sector In Timor-Leste. Asian Development Bank (ADB)

BANCO Mundial (2014). Timor-Leste Water Sector Assessment and Road Map. Water Global Practice. Grupo Banco Mundial.

BHUNYA, P. K., PANDA, S. N., & GOEL, M. K. (2011). Synthetic unit hydrograph methods: a critical review. *The Open Hydrology Journal*, 5(1).

BORAH, D. K., & BERA, M. (2003). Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases. *Transactions of the ASAE*, 46(6), 1553-1566.

BROOKS, Thomas M., RUSSELL A. Mittermeier, GUSTAVO AB Da Fonseca, JUSTIN Gerlach, MICHAEL Hoffmann, JOHN F. Lamoreux, CRISTINA Goettsch Mittermeier, JOHN D. Pilgrim, and ANA SL Rodrigues. (2006). Global biodiversity conservation priorities. *science* 313, no. 5783 (2006): 58-61.

BURROUGH, P. A., MCDONNELL, R. A., & LLOYD, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems*. Oxford University Press, USA.

CREAGER, W. P. (1917). *Engineering for masonry dams*. J. Wiley & sons, Incorporated.

DANIEL, E. B., Camp, J. V., LEBOEUF, E. J., PENROD, J. R., DOBBINS, J. P., & ABKOWITZ, M. D. (2011). Watershed modeling and its applications: A state-of-the-art review. *The Open Hydrology Journal*, 5(1).

DONIGIAN, A. J., BICKNELL, B. R., & IMHOFF, J. C. (1995). *Hydrological Simulation Program-Fortran (HSPF)*.

GOVERNO TL (2015). *Detailed Engineering Design for Ten (10) Irrigation Schemes and Preliminary Study for Fifteen (15) Rivers*, Ministério da Agricultura e Pescas (MAP).

GOVERNO, JAPÃO (2015). *Project for Agriculture Master Plan and Irrigation Development Plan, Final Report*, Japan International Cooperation Agency (JICA).

GOVERNO, TL (2011). *Plano Estratégico de Desenvolvimento 2011 – 2030*.

GOVERNO, TL (2020). *Resolução do Governo N.º 42/2020 de 23 de Outubro – Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos*.

GOVERNO, TL (2023). *Fundo de Infraestruturas (FI), IX Governo Constitucional*.

GOVERNO, TL (2023). *Programa do IX Governo Constitucional, IX Governo Constitucional*.

HIPÓLITO J. R. & VAZ Á. C. (2011). Hidrologia e Recursos Hídricos. (1ª Ed.). Instituto Superior Técnico, Lisboa. Portugal.

JICA, Japan (2013). The Preparatory Survey Report On The Project For Rehabilitation And Improvement Of Buluto Irrigation Scheme In The Democratic Republic Of Timor-Leste, Japan International Cooperation Agency.

JICA, Japan (2022). The Post Situation And Data Collection Survey For The Flood Countermeasures In Dili - Final Report, Japan International Cooperation Agency (JICA) - IDEA Consultants, Inc. - Sanyu Consultants Inc. - INGEROSEC Corporation

KAMIANA I. M. (2011). Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. (1a Ed.), Graha Ilmu. Yogyakarta. Indonesia.

KIRKBY, M. (1978). Hydrograph modelling strategies, in: Processes in Human and Physical Geography, edited by: Peel, R., Chisholm, M., and Haggett, P., Heinemann, London, 69–90.

KIRKBY, M. (1988). Hillslope runoff processes and models. *Journal of hydrology*, 100(1-3), 315-339.

LOUSADA S. A. N. & Camasho R. F. (2018). Hidrologia, Recursos Hídricos e Ambiente. (1ª . Ed.). Universidade da Madeira. Madeira Portugal.

MAIDMENT, D. R. (1996). GIS and hydrologic modeling-an assessment of progress. In Third International Conference on GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico.

MELO, H. D. A., CUNHA, J., NÓBREGA, R. L., RUFINO, I. A., & GALVÃO, C. O. O. (2008). Modelos Hidrológicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG): Integração Possível. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador, 1-14.

MUZIK, I. (1996). Flood modelling with GIS-derived distributed unit hydrographs. *Hydrological processes*, 10(10), 1401-1409.

NOTO, L. V., & La LOGGIA, G. (2007). Derivation of a distributed unit hydrograph integrating GIS and remote sensing. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(6), 639-650.

PONCE, V. M., & Hawkins, R. H. (1996). Runoff curve number: Has it reached maturity?. *Journal of hydrologic engineering*, 1(1), 11-19.

RAGHUNATH H. M., (2006). Hydrology: Principles, Analysis, Design. (2a Edição). New Delhi India.

RAGHUNATH, H. (2006). Hydrology. Principles. Analysis. Design. (2nd, Ed.) New Delhi India: New Age international (P). Limited.

RAGHUNATH, H. (2006). Hydrology. Principles. Analysis. Design. (2nd, Ed.). New Age international (P) Limited. New Delhi India.

SNYDER, F. F. (1938). Synthetic Unit Hydrographs-Trans. Amer. Geophysics Union, 447.

SOEMARTO C. D. (1999). Hidrologi Teknik. (2a . Ed). Indrato. Erlangga. Malang Indonesia.

SUBRAMANYA K. (2008). Engineering Hydrology. (3rd. Ed.). Sandhya Chandrasekhar. Tata McGraw-Hill. New Delhi. India.

TRIATMODJO, B. (2008). Hidrologi Terapan. (1a, Ed.) Universitas Gadjah Mada, Yogiakarta: Beta Offset.

TRIATMODJO, B. (2008). Hidrologi Terapan. (1a. Ed.). Betta Offset. Universitas Gadjah Mada, Yogiakarta. Indonesia.

VAZ, J. R. (2022). Hidrologia e Recursos Hídricos.

VILELA & MATTOS (1975). Hidrologia Aplicada. Editora: McGraw Hill Brasil.

ZHANG, L., OFOSU ANIM, D., & KABO-BAH, A. T. (2014). Integration of Geographical Information Science (GIS) technology in Hydrological Modeling: A critical review. Advanced Materials Research, 838, 2284-2291.

Sítios da internet

DIGITAL ELEVATION MODEL Data Source: <https://asf.alaska.edu/datasets/daac/alos-palsar/#>.

HOURLY PRECIPITATION DATA SOURCE: <https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/>.

LAND COVER IMAGES DATA SOURCE: <https://www.copernicus.eu/en>.

Anexos

É obrigatório que se coloque como anexo os seguintes documentos:

- 1. Instrumentos de Pesquisa** Anexar os instrumentos de recolha e análise de dados (na parte final do trabalho questionários, inquéritos, entrevistas, sondagens, entre outros).

Os instrumentos elaborados devem apresentar as opções de resposta (quantitativa) de forma clara e sem ambiguidades;

Os instrumentos elaborados deverão ser relevantes para o tema e objetivos propostos pela pesquisa;

Os instrumentos elaborados devem respeitar a componente ética do entrevistado; em caso de experiências científicas conduzidas em laboratório, a experiência levada a cabo deve respeitar a integridade física e psicológica da pessoa humana, dos seres sencientes e do meio ambiente. O entrevistado ou inquirido deverá assinar o documento de Consentimento Informado.

- 2. Carta de Aprovação Ética/Carta(s) de Autorização/Acompanhamento INCT de Pesquisa;**
- 3. Calendário/Cronograma;**
- 4. Outros Documentos que considere relevantes.**

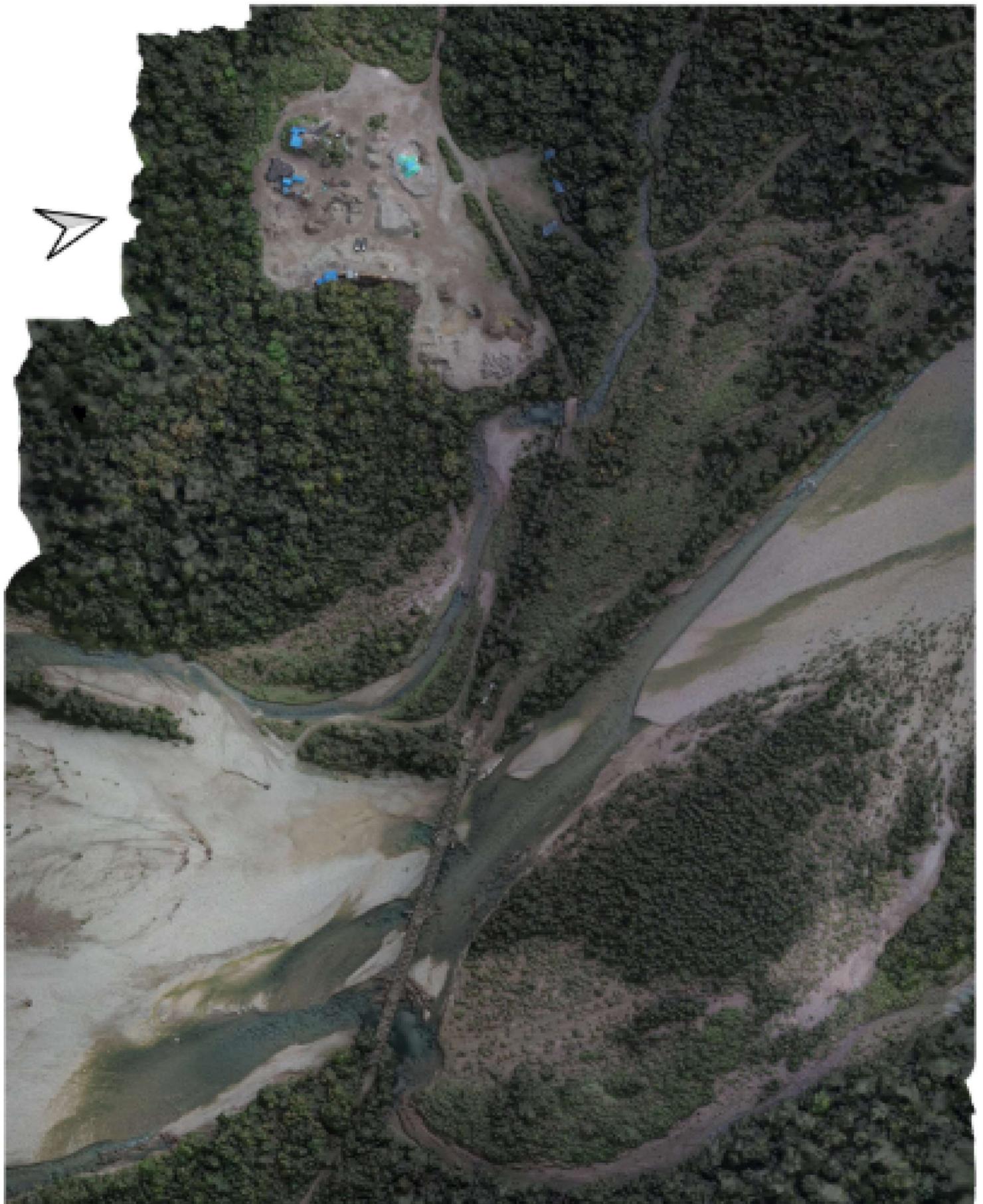
08 de Novembro de 2024



Dr. Eng. Benjamim H. Martins
O investigador principal

Mapeamento Aéreo

Proposta Localização Barragem Irabere



Mapeamento Aéreo

Transporte e deposição de sedimentos ao longo do leito da Ribeira de Irabere



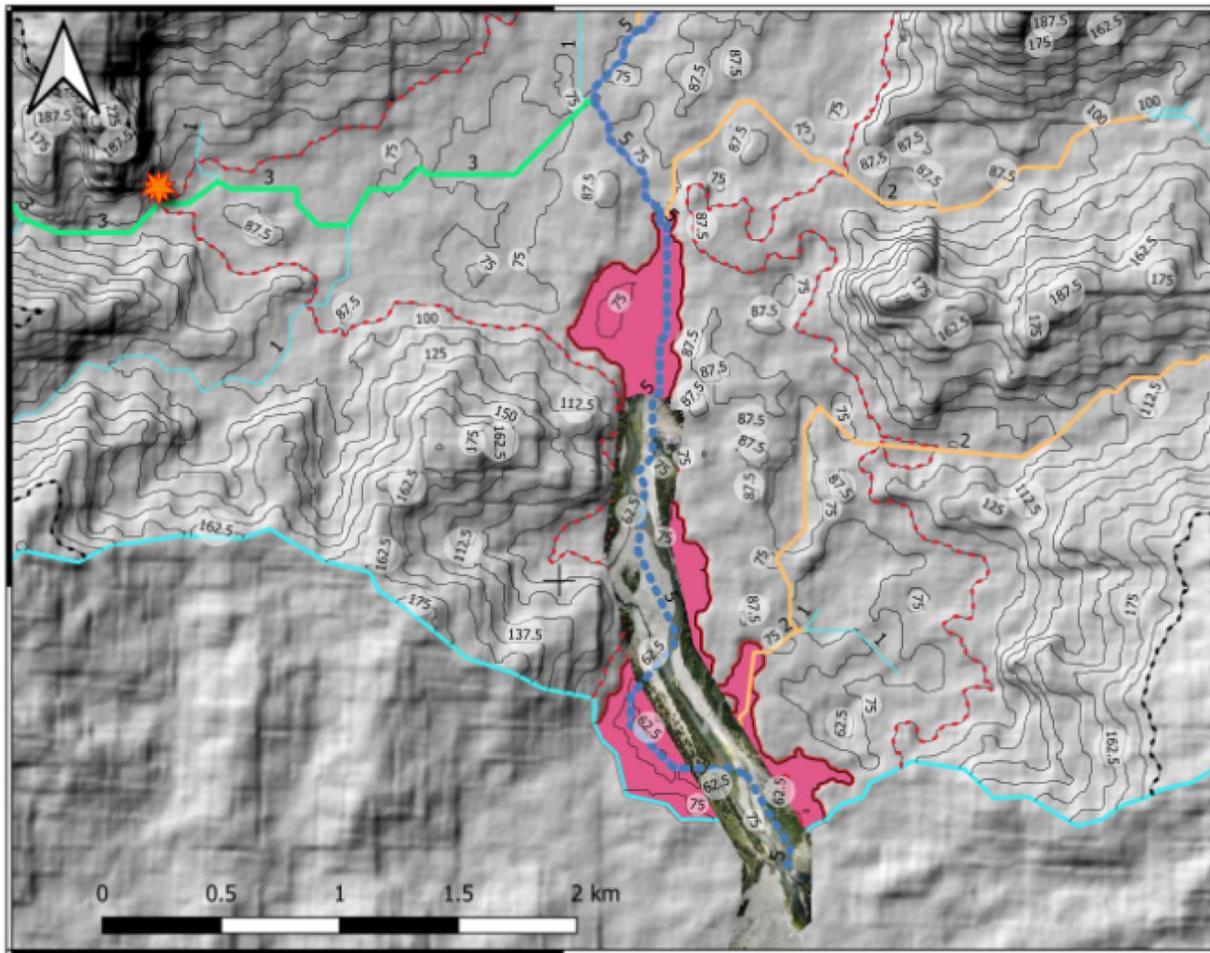
Dados Levantamento GNSS (Topcon Hiper V)

P	N	E	Z	D
100	9035083.743	250582.816	68.162	Base
101	9035082.226	250581.0458	68.0533	GCP
102	9035123.731	250542.7033	59.5231	GCP
103	9034986.576	250585.2826	60.4798	GCP
120	9035153.854	250416.7543	60.8257	Wcur
121	9035149.94	250414.807	60.2184	Wcur
122	9035149.761	250414.6869	59.8744	Wcur
123	9035148.542	250414.0107	59.7513	Wcur
124	9035147.525	250413.4828	59.7817	Wcur
125	9035146.305	250412.8224	59.7623	Wcur
126	9035145.015	250412.0683	59.8131	Wcur
127	9035143.878	250411.4261	59.8527	Wcur
128	9035142.502	250410.8012	60.0239	Wcur
129	9035141.075	250410.359	60.2024	Wcur
130	9035134.743	250407.3343	60.935	Wcur
131	9035148.898	250414.3231	59.7904	Wcur
132	9035146.728	250413.4001	59.8729	Wcur
133	9035145.143	250412.5557	59.8407	Wcur
134	9035143.508	250411.5314	59.8671	Wcur
135	9035142.64	250410.9499	59.9719	Wcur

Nota:

Base:	Estção Base
GCP	Ponto de Controlo Terestre (Ground Control Point)
Wcur	Corrente de água (Water Current)

Modelação Bacia Hidrográfica de Irabere



Legenda

- Barragem
- Limite Bacia H-Irabere
- Perfil L_d_Agua
- Area_Inund_75m
- cn 12.5 m
- - - Elev. 87.5 m
- - - Elev. 200 m
- UAV Corridor

DEC-UNTL 2024

Hidrograma Unitário Sintético

Snyder		Nakayasu		SCS		Gamma 1	
Tempo-t	Caudal-Q	Tempo-t	Caudal-Q	Tempo-t	Caudal-Q	Tempo-t	Caudal-Q
0	0.00	0	0.00	0	0	0	0
1	1078.453	1	107.123	0.25	52.326	1	2139.404
2	1789.468	2	565.397	0.50	261.628	2.786	1504.097
3	2019.042	3	1496.140	0.75	558.140	3	1442.048
4	2068.671	3.4	2020.369	1.01	976.746	4	1183.923
5	2039.329	4	1737.885	1.26	1500.002	5	972.001
6	1972.005	4.25	1631.655	1.51	2093.026	6	798.014
7	1886.007	5	1350.362	1.76	2686.051	7	655.170
8	1791.378	6	1049.252	2.01	3104.656	8	537.895
9	1693.703	6.38	953.329	2.26	3383.726	9	441.612
10	1596.214	7	815.284	2.51	3488.377	10	362.564
11	1500.825	8	633.488	2.76	3418.610	11	297.665
12	1408.67	9	492.23	3.02	3209.307209	12	244.383235
13	1320.38	10	382.47	3.27	2930.237017	13	200.6387968
14	1236.32	11	297.18	3.52	2616.283051	14	164.7245842
15	1156.63	12	230.92	3.77	2302.329085	15	135.2389921
16	1081.33	13	179.43	4.02	1953.491345	16	111.0313015
17	1010.36	14	139.42	4.52	1465.118509	17	91.15677162
18	943.61	15	108.33	5.03	1116.280768	18	74.8397695
19	880.91	16	84.17	5.53	837.2105764	19	61.44350002
20	822.10	17	65.40	6.03	627.9079323	20	50.44515396
21	766.99	18	50.82	6.53	453.4890622	21	41.41550461
22	715.40	19	39.49	7.04	341.8609853	22	34.00215654
23	667.13	20	30.68	7.54	261.6283051	23	27.9157929
24	622.01	21	23.84	8.80	125.5815865	24	22.91888435
25	579.83			10.05	62.79079323	25	18.81641913
26	540.44			11.31	31.39539661	26	15.44829249
27	503.65			12.57	13.95350961	27	12.68305831
28	469.32					28	10.41279922
29	437.28					29	8.548915012
30	407.39						
31	379.50						
32	353.50						
33	329.26						
34	306.66						
35	285.60						
36	265.96						
37	247.67						
38	230.62						

Instrumentos e medições



Instrumentos e medições



Instrumentos e medições

Fitamétrica



Fluxímetro TAMAYA

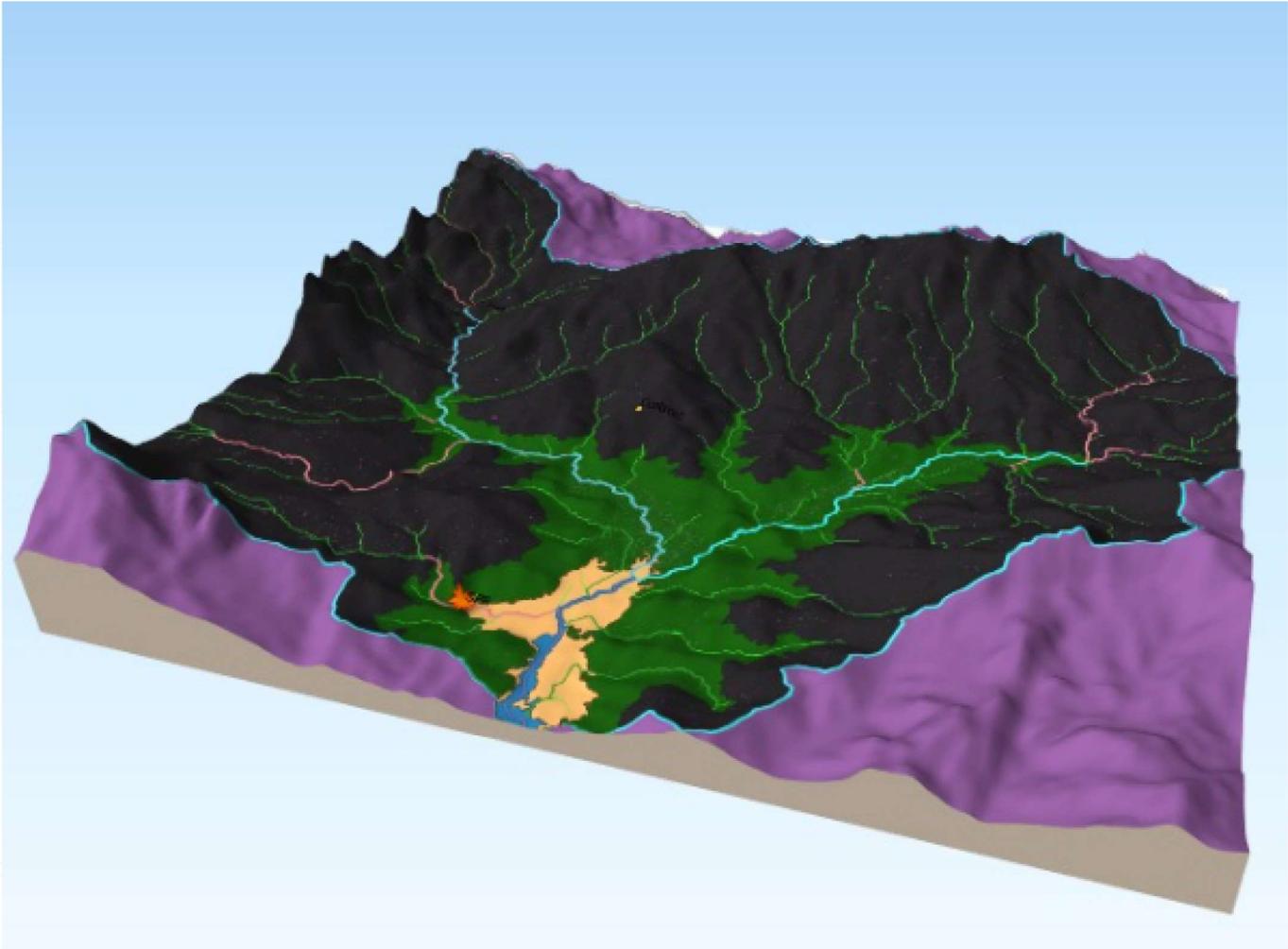


GNSS RTK Topcon Hyper V



**DJI Mavic Pro
Drone/UAV**

Modelo 3D da Bacia hidrográfica de Irabere



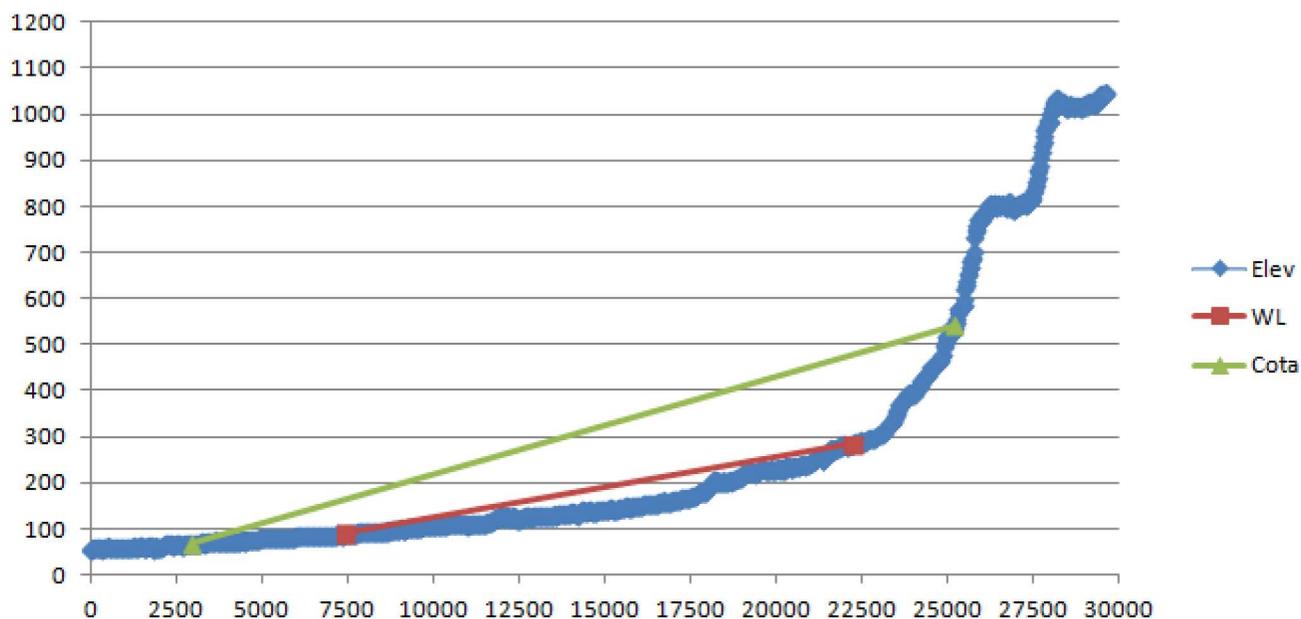
Primeiro trabalho de Campo



Segundo trabalho de Campo acompanhado por Sr. Mateus - Ex-Administrador do Posto Watucarabau



Perfil Longitudinal da Linha de Água Principal



FID

L	29625	Elev (m)	WL (m)	Area total Bacia Ordem 1	m.q.
299	0.25L	7406.250	90	24791.00	199477618
892	0.75L	22218.750	284	10528.00	
	0.10L	2962.5	68		
	0.85L	25181.25	542		
Au		168282433.041			
Pontos Uniao		115		Indice	55.84 %