



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE
BIOSSISTEMAS

LAÍS DAS NEVES SANTANA

MODELAGEM ECONÔMICA DO POTENCIAL DESTRUTIVO EM
DECORRÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVAS

ALAGOINHAS – BA

2023

LAÍS DAS NEVES SANTANA

**MODELAGEM ECONÔMICA DO POTENCIAL DESTRUTIVO EM
DECORRÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biossistemas da Universidade do Estado da Bahia em cumprimento da exigência para a defesa da dissertação.

Orientador: Prof. Dr. Alarcon Matos de Oliveira

ALAGOINHAS – BA

2023

Sistema de Bibliotecas da UNEB
Biblioteca Carlos Drummond de Andrade – *Campus II*
Manoela Ribeiro Vieira
Bibliotecária - CRB 5/1768

S232m Santana, Laís das Neves
 Modelagem econômica do potencial destrutivo em decorrência dos eventos
 extremos de chuvas / Laís das Neves Santana – Alagoinhas, 2023
 69 f.: il

Orientador: Prof. Dr. Alarcon Matos de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas. Mestrado em Modelagem e Simulação de Biosistemas – Alagoinhas, 2023.


1. Inundações – Catu BA 2. Modelagem econômica 3. Geoprocessamento I. Oliveira, Alarcon Matos de. II. Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Ciências Exatas e da Terra – Campus II. III. Título

CDD – 627.42


FOLHA DE APROVAÇÃO
"MODELAGEM ECONÔMICA DO POTENCIAL DESTRUTIVO EM
DECORRÊNCIA DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA."

LAÍS DAS NEVES SANTANA


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biossistemas – PPGMSB, em 23 de outubro de 2023, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestra em Modelagem e Simulação de Biossistemas pela Universidade do Estado da Bahia, conforme avaliação da Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
ALARCON MATOS DE OLIVEIRA
Data: 23/10/2023 17:03:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. ALARCON MATOS DE
OLIVEIRA UNEB
Doutorado em Geografia (Geografia Física)
Universidade de São Paulo

 Documento assinado digitalmente
MARIA DOLORES RIBEIRO ORGE
Data: 23/10/2023 17:11:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. MARIA DOLORES
RIBEIRO ORGE UNEB
Doutorado em Ecología y Medio Ambiente
Universidad Complutense de Madrid

 Documento assinado digitalmente
ROSANGELA LEAL SANTOS
Data: 23/10/2023 17:15:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. ROSÂNGELA LEAL
SANTOS UEFS
Doutorado em Engenharia de Transportes
Universidade de São Paulo

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, toda honra e glória, aos meus pais, Marinalva das Neves Santana e Josevaldo dos Santos Santana (*in memoriam*), aos meus irmãos e a minha família como um todo e aos meus amigos amados.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter-me permitido passar na seleção e ter permitido conciliar o meu trabalho e o mestrado e por me amparar durante todo o curso e principalmente nos últimos meses me conduzindo para que eu tivesse a oportunidade de qualificar.

Agradeço aos meus pais por sempre me incentivarem no caminho dos estudos e a minhas irmãs e irmão por me alfabetizarem e me ajudarem a ingressar na universidade.

Aos meus amigos, em especial à mestranda Carlina Aparecida, que está comigo desde a graduação, Telma Costa e Cintia Porto, também mestranda do programa, e aos demais amigos por me apoiarem e torcerem para que eu conquistasse essa nova etapa.

Ao orientador Professor Alarcon Matos de Oliveira, por toda a parceria, paciência, compreensão e profissionalismo ao longo desse tempo, deixei nas mãos do Senhor a escolha do meu orientador e Ele o escolheu, logo só tenho a agradecer por tudo.

A Racquel e Catugy por me ajudarem na fase crítica de minha pesquisa, onde Racquel me apresentou ao meu coorientador não oficial.

A Fabricio Garcia por, mesmo não podendo ter o nome na pesquisa por estar ainda concluindo seu doutorado, me ajudou na parte da modelagem possibilitando assim que obtivesse os dados necessários para qualificação.

Ao Professor José Roberto, vulgo Zé, por todo amparo e orientação desde a graduação e por ter me enviado o edital de inscrição do programa e pelo acolhimento no tirocínio.

À Universidade do Estado da Bahia por todas as oportunidades que me foram concedidas.

Aos meus colegas de trabalho por todo o incentivo na conquista dessa nova etapa em minha vida.

Ao Professor Marcos, por me ajudar no momento da dificuldade na troca de tema.

À Professora Thayse Fonseca, pelo apoio na reta final da dissertação.

Ao programa PPGMSB, por ajudar os alunos no processo ao longo do mestrado.

Enfim, a todos que, de alguma forma, me ajudaram a estar onde estou hoje, MEU MUITO OBRIGADA.

Revela ao Senhor tuas tarefas, e teus projetos se realizarão. Pr, 16, 3.

RESUMO

As inundações são um problema recorrente em muitas cidades do Brasil, resultando em prejuízos significativos tanto pessoais quanto para a economia da cidade, tais como, na saúde, materiais, financeiros e para o meio ambiente como um todo. O município de Catu, no estado da Bahia, também vem sofrendo com esse cenário, com pontos críticos de inundação no bairro da Santa Rita nas redondezas do centro de abastecimento, no centro da cidade e em alguns bairros. Esta pesquisa concentrou-se em analisar o potencial destrutivo de chuvas intensas na região da Santa Rita (Centro de Abastecimento) de Catu - BA, utilizando softwares de simulação baseados em tecnologias computacionais e de geoprocessamento, como HEC RAS, HEC HMS e o QGis 3.16, utilizando a modelagem bidimensional. Os resultados revelaram que a área em questão se torna praticamente intransitável durante eventos de inundação, causando perdas econômicas significativas, principalmente para os feirantes locais.

Palavras-chave: Inundações. Modelagem. Geoprocessamento.

ABSTRACT

Floods are a recurring problem in many cities in Brazil, resulting in significant losses both personally and to the city's economy, such as health, material, financial and the environment as a whole. The municipality of Catu, in the state of Bahia, has also been suffering from this scenario, with critical flooding points in the Santa Rita neighborhood, close to the supply center, in the city center and in some neighborhoods. This research focused on analyzing the destructive potential of intense rains in the Santa Rita region (Supply Center) of Catu - BA, using simulation software based on computational and geoprocessing technologies, such as HEC RAS, HEC HMS and QGis 3.16, using two-dimensional modeling. The results revealed that the area in question becomes practically impassable during flood events, causing significant economic losses, especially for local stallholders.

Keywords: Floods. Modeling. Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mortes por excesso de chuva no Brasil.....	28
Figura 2. Representação dos fenômenos de alagamento, enchente e inundação.....	30
Figura 3. Impacto devido a urbanização desordenada.....	31
Figura 4. Número de casos de desastres naturais no mundo entre 1990 e 2020.	31
Figura 5. Perdas econômicas causadas no Brasil por inundações entre 1990 e 2019.	33
Figura 6. Mapa de localização do município de Catu, Bahia (Brasil).....	35
Figura 7. Pluviosidade Média acumulada mensal para a região de Alagoinhas	38
Figura 8. Reposição Hídrica	38
Figura 9. Mapa do Uso e Cobertura do Solo	39
Figura 10. Variação da velocidade de infiltração com o tempo.	41
Figure 11. Hietograma resultante para um tempo de retorno de 10 anos.	48
Figure 12. Junção das três sub-bacias.....	49
Figura 13. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 10 anos.	51
Figura 14. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 25 anos.	52
Figura 15. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 50 anos.	52
Figura 16. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 100 anos.	53
Figura 17. Inundação no Bairro da Santa Rita, Catu – BA	54
Figura 18. Bairro da Santa Rita, Catu – BA.	54
Figura 19. Modelagem realizada para a camada de 10 anos	55
Figura 20. Modelagem realizada para a camada de 25 anos	56
Figura 21. Modelagem realizada para a camada de 50 anos	56
Figura 22. Modelagem realizada para a camada de 100 anos	57
Figura 23. Dano relativo aos dias de paralização das áreas atingidas.	58
Figura 24. Regressão linear para a variável área inundada estimada em tempos de retorno. .	59
Figura 25. Regressão linear para a variável altura da água estimada em tempos de retorno. .	59
Figura 26. Estimativa de prejuízo financeiro em diferentes tempos de retorno.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Características físicas das bacias.....	43
Quadro 2. Cálculo da Curva Número.....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Picos de chuva para os tempos de retorno	49
Tabela 2. Hidrogramas para os tempos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos.	50
Tabela 3. Área e altura de inundação para tempos de retorno 10, 25, 50 e 100 anos.....	53
Tabela 4. Classificação hipotética de inundações da feira em função dos tempos de retorno e dias de paralização.....	60

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 01. Equação de Gumbel

EQUAÇÃO 02. Equação IDF para a Bacia Hidrográfica de Alagoinhas

EQUAÇÃO 03. Equação de Sainte-Venant: princípio da conservação de massa

EQUAÇÃO 04. Equação de Sainte-Venant: princípio de conservação do momento

EQUAÇÃO 05. Equação de Risco e Ameaça

EQUAÇÃO 06. Equação de Risco

EQUAÇÃO 07. Equação IDF para a cidade de Alagoinhas

EQUAÇÃO 08. Equação da metodologia de Temez

EQUAÇÃO 09. Equação para Precipitação Acumulada na determinação do Hietograma

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Água
CN	Curva Número
CN-SCS	Curve Number – Soil Conservation Service
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GRG	Gradação Reduzida Generalizada
HEC	Hydrologic Engineering Center
IBGE	Instituto Brasileiro de Estatística
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica
ID	Indicadores Econômicos
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IDF	Intensidade Duração Frequência
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
LPI	Inércia Parcial Local
MDT	Modelo Digital de Terreno
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
PEA	População Economicamente Ativa
PIB	Produto Interno Bruto
PVA	Argissolos Vermelho-Amarelos
SEI	Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia
UNET	Unsteady NETwork Model
USACE	Army Corps of Engineers

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Hipótese	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Riscos Hidrológicos.....	19
2.2 Tempo de Retorno	20
2.3 Tempo de Eventos Extremos (Seca e Chuva).....	20
2.3.1 Duração de chuvas (curta duração e alta intensidade).....	21
2.4 Equações IDF.....	22
2.5 Modelagem Ambiental	24
2.6 Modelo Hidrológico (HEC HMS)	24
2.7 Modelo Hidráulico HEC RAS (Modelagem - 1D e 2D)	25
2.8 Avaliação e Estimativa de Riscos	27
2.8.1 Risco de Inundação.....	29
2.9 Razões Econômicas	32
2.9.1 Indicadores Econômicos	33
3 MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 Caracterização da área de estudo	35
3.2 Materiais	36
3.3 Métodos	36
3.3 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Catu	37
3.3.1 Caracterização de Uso e Cobertura do solo	38
3.4 Determinação do Hietograma	39
3.5 Determinação dos Tempos de Retorno	41
3.6 Determinação do Hidrograma no HEC - HMS.....	42
3.7 Determinação da mancha de inundação HEC.....	45
3.8 Quantificação de prejuízos econômicos.....	46
4 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	47
4.1 Análise do Hietograma	47

4.2 Análise do Hidrograma	48
4.3 Análise da Mancha de Inundação	51
4.4 Análise do Perfil Logintudinal e Seções Transversais da mancha de inundação	54
4.5 Modelagem do Prejuízo.....	57
5 CONCLUSÃO.....	62
REFERÊNCIAS	63
ANEXO	69

1 INTRODUÇÃO

O cenário de inundações é recorrente em várias cidades do Brasil, resultando em diversos prejuízos tanto pessoais como econômicos, tais como saúde, bens materiais, finanças e impactos ambientais. O município de Catu não é exceção, enfrentando inundações em várias áreas, incluindo o bairro de Santa Rita, nas redondezas do Centro de Abastecimento, no centro da cidade, e outras ruas da cidade.

Além disso, as enchentes causadas pelas chuvas intensas representam riscos, como o arrasto de pessoas, danos aos veículos e a possibilidade de doenças decorrentes da contaminação por água de esgoto, impactando negativamente o comércio local. Em determinadas épocas do ano, os altos índices pluviométricos podem resultar em desastres, incluindo inundações de residências, estabelecimentos comerciais e templos religiosos.

De acordo com Freitas e Ximenes (2012), essas inundações tendem a ocorrer em áreas mais vulneráveis, como em regiões mais pobres e periféricas geralmente ocupadas de forma desordenada e em encostas suscetíveis a deslizamentos. Por conta dessas questões, foi escolhida para o estudo a região do bairro de Santa Rita, onde está localizado o Centro de Abastecimento de Catu, onde funciona a feira livre e vários outros pontos de comércio às margens do rio Catu e da barragem existente na cidade.

Diante da complexa ocupação urbana desordenada, o presente estudo visou analisar implicações econômicas decorrentes de eventos de chuvas extremas, vivenciadas por moradores e comerciantes (feirantes e lojistas) do Centro de Abastecimento de Catu, para identificar possíveis soluções que os gestores públicos possam adotar. Diante do exposto, a questão que norteou esse estudo foi: Quais os impactos econômicos das chuvas extremas em Catu-Bahia (Brasil)?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o potencial destrutivo de chuvas intensas na região de Santa Rita, onde está localizado o Centro de Abastecimento de Catu (Bahia), por meio da utilização de softwares de simulação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar os prejuízos econômicos causados pela inundação em diferentes tempos de retorno, a fim de compreender o seu impacto na comunidade;
- Realizar simulações para modelar e analisar o comportamento hidrológico e hidrodinâmico em eventos de precipitação intensa, a fim de identificar áreas de maior vulnerabilidade e compreender os padrões de inundação.

1.2 Hipótese

A hipótese desse estudo é que, por meio da análise do impacto econômico decorrente das inundações causadas por chuvas intensas, será possível identificar e propor soluções que minimizem os prejuízos à comunidade local. Acredita-se que ao compreender os custos e danos econômicos associados às inundações, será possível desenvolver estratégias e medidas de adaptação que contribuam para uma convivência mais resiliente e sustentável com eventos de chuvas fortes.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Riscos Hidrológicos

A hidrologia engloba o estudo dos fenômenos naturais presentes no ciclo hidrológico, tais como precipitação, evaporação, infiltração e escoamento em rios. No entanto, a análise dessas características é complexa devido à influência de diversos fatores interconectados (Marinho Filho, 2012).

Os modelos hidrológicos são ferramentas fundamentais utilizadas para representar os processos que ocorrem em bacias hidrográficas e prever as consequências em relação aos valores observados. O objetivo de um modelo hidrológico é determinar com eficiência os componentes do ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica e estimar com precisão o comportamento e a magnitude do fluxo de água (Marinho Filho, 2012).

Segundo Lourenço e Nunes (2018), os riscos hidrometeorológicos associam certos eventos meteorológicos capazes de gerar precipitações intensas, ou seja, grande quantidade de chuva concentrada em um curto período de tempo e em uma determinada região geográfica.

Monte *et al.* (2021) destacam que a civilização humana enfrenta diversos perigos naturais com o potencial de produzir desastres, cuja classificação está relacionada ao desencadeamento dos eventos. Os autores ressaltam que as atividades desempenhadas nos relacionamentos pessoais, como a divisão do trabalho, o sistema econômico-político e as relações de produção, quando se estendem ao ambiente, podem criar condições desastrosas devido ao gerenciamento inadequado desses setores em relação ao meio.

Episódios hidrológicos fluviais ou oceânicos, capazes de transportar enormes volumes de água pela superfície terrestre através de caudais volumosos, muitas vezes resultam em inundações, que estão entre as catástrofes naturais mais mortíferas que têm atingido a humanidade. Essas catástrofes podem estar associadas a marés que atingem áreas costeiras, provocando um elevado número de vítimas fatais e desalojadas (Lourenço; Nunes, 2018).

De acordo com Okada (2019), os estudos do ciclo hidrológico, concomitante com as alterações climáticas são fundamentais, principalmente quando se aborda as projeções das precipitações as quais ainda são incertas. O autor resalta que o rápido aumento da humanidade após a era da industrialização resultou em mudanças drásticas em como a população passou a utilizar o solo.

É de grande relevância aprofundar os estudos dos ricos hidrológicos, uma vez que eles desempenham um papel fundamental na mitigação de catástrofes, bem como nos estudos do escoamento de encostas.

2.2 Tempo de Retorno

De acordo com Prina e Trentin (2018), o tempo de recorrência é o inverso da probabilidade de ocorrência de um evento, representando o período médio em que o evento pode ocorrer novamente. Esse conceito é crucial na avaliação e previsão de eventos hidrológicos. Tendo como ponto de partida os riscos inerentes às inundações causadas por grandes volumes de chuvas, o risco hidrológico emerge de um compromisso entre a proteção quase absoluta e a preocupação em limitar os custos envolvidos na implantação e operação de projetos de gestão de águas pluviais (Kurek, 2012).

O risco de uma inundação é definido com base na vulnerabilidade do local. As consequências de uma inundação podem ser agravadas com base na ocupação da área afetada. Por exemplo, as repercussões serão diferentes se uma área inundada para uma zona comercial movimentada em comparação com um simples estacionamento (Kurek, 2012).

Segundo Tucci (1993), “a escolha do tempo de retorno é arbitrária e depende da definição do futuro zoneamento”. Ou seja, conforme o resultado obtido no tempo de retorno (a cota altimétrica corresponde a determinado tempo de retorno), o futuro zoneamento (do risco) estará atrelado a essa questão.

Portanto, o entendimento do tempo de retorno e seu uso na avaliação de riscos hidrológicos é essencial para tomar decisões informadas sobre a gestão de inundações e a implementação de estratégias de mitigação de desastres. Essa abordagem considera a probabilidade de eventos futuros e a vulnerabilidade das áreas afetadas, garantindo um equilíbrio entre a segurança e a eficiência dos investimentos em projetos de controle de inundações.

2.3 Tempo de Eventos Extremos (Seca e Chuva)

Eventos extremos representam as ocorrências climatológicas que se afastam do padrão de análise, abrangendo períodos de estiagem, alta frequência de secas, chuvas intensas, e outras características climáticas superficiais (Rodrigues *et al.*, 2020).

Os eventos climáticos extremos, sejam de seca ou de chuva, provocam impactos em várias escalas temporais. Os eventos de chuva extrema, tipicamente, ocorrem em períodos curtos, abrangendo apenas alguns dias com chuvas intensas. Por outro lado, os eventos de seca manifestam-se em uma escala temporal mais ampla, estendendo-se até mesmo ao longo de vários anos. Esses episódios são caracterizados por uma estiagem prolongada, marcada pela diminuição constante das reservas hídricas (Santos *et al.*, 2017).

De acordo com Silva *et al.* (2020), os eventos meteorológicos e climáticos extremos são uma parte intrínseca da variabilidade climática, sendo que sua frequência e intensidade podem variar em resposta às mudanças climáticas. Essa variabilidade climática, por meio de ciclos, resulta em excessos ou déficits de chuva em todo o mundo, desencadeando secas e inundações.

Esses eventos extremos têm causado impactos significativos, afetando tanto o meio ambiente quanto as comunidades que habitam as áreas afetadas. Dentre esses impactos pode-se citar estiagens, inundações e deslizamentos ocorridos nos centros urbanos, acarretando perdas de vidas, desabrigados, danos materiais, doenças, impactos ambientais e uma série de situações desastrosas (Pereira *et al.*, 2020).

Considerando a cidade de Catu, as chuvas ocorrem ao longo de todo o ano. Maio é o mês mais chuvoso, com uma média de 148 milímetros de precipitação de chuva, destacando-se nas estações do outono e inverno, enquanto janeiro é o mês menos chuvoso, característico do verão (Weatherspark, 2023).

2.3.1 Duração de chuvas (curta duração e alta intensidade)

A intensidade pluviométrica é definida como a quantificação empírica do grau de risco que está submetida uma unidade de paisagem (Crepani *et al.*, 2004). As chuvas intensas, ou chuvas extremas, são também conhecidas por chuvas máximas e têm distribuição irregular tanto temporalmente quanto espacialmente. Como evidenciado anteriormente, esses eventos acarretam danos significativos, incluindo erosão do solo, inundações, perdas econômicas, bem como impactos em reservatórios (Silva Neto *et al.*, 2016).

Existem várias metodologias para estimar chuvas de curta duração e alta intensidade. Dentre eles, destacam-se aqueles relacionados à intensidade-duração-frequência (IDF), ideal para estimar a intensidade das chuvas a serem considerados na

determinação de vazões de cheia. Segundo Back *et al.*, (2012), as relações IDF são obtidas por meio da análise estatística de longas séries de dados observados em pluviógrafos.

Back *et al.* (2012) desenvolveram relações que descrevem as precipitações de diferentes durações no Estado de Santa Catarina, promovendo a desagregação das chuvas diárias em eventos de curta duração. Isso resultou na construção de séries de máximas anuais de chuva, com durações variando entre 5 e 1440 minutos, a partir dos registros de treze estações pluviográficas. Em um contexto semelhante, Silva Neto *et al.* (2016) aplicaram o método de ajuste da função cumulativa de probabilidade de Gumbel aos dados de precipitação máxima diária anual. Esse procedimento permitiu a obtenção da equação de intensidade-duração-frequência, aplicada à chuva de 24 horas na cidade de Guaraí, no estado de Tocantins. Os resultados revelaram um bom ajuste do modelo à série de dados, com significância nos testes realizados.

Damé *et al.* (2008) utilizaram séries sintéticas de opções para estimar as relações IDF. Entre os métodos mais empregados estão aqueles que se baseiam nas relações entre precipitações de diferentes durações para desagregar a chuva máxima diária em chuvas de menor duração. Esse método é vantajoso devido à sua simplicidade, à qualidade dos resultados e à sua aplicabilidade em diferentes locais, conferindo-lhe validade regional. No Brasil, as relações entre durações, publicadas pela CETESB (1986), são amplamente utilizadas, bem como as abordagens de Mello *et al.* (2003), Ferreira *et al.* (2005), Soprani e Reis (2007) e Oliveira *et al.* (2008).

Há uma variedade de métodos disponíveis para a obtenção de dados sobre chuvas de curta duração e alta intensidade, e a escolha de qual método usar dependerá das características específicas da região em questão.

2.4 Equações IDF

Conforme Pereira *et al.* (2007), os estudos hidrológicos requerem não apenas o conhecimento das chuvas máximas registradas em séries históricas, mas também a capacidade de prever as precipitações máximas que podem ocorrer com uma determinada frequência. Esta previsão pode ser obtida a partir da análise das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos.

Elementos como o dimensionamento de sistemas de drenagem pluvial, vertedores, estruturas de proteção contra cheias e erosão hídrica são de grande importância (Sobieraj

et al., 2022). Além disso, é fundamental compreender as três principais grandezas que caracterizam uma precipitação: intensidade, duração e frequência (Barbosa; Fernandes, 2012).

A Equação de Chuvas Intensas, comumente chamada de Equação IDF, é a principal ferramenta para caracterizar a relação entre essas grandezas. Pereira *et al.* (2007) destacam que as séries de intensidade máxima anual, para cada duração, são ajustadas à distribuição de valores extremos, conhecida como distribuição de Gumbel:

$$F(X) = \exp^{-\exp\left(\frac{X-\alpha}{\beta}\right)} \quad \text{Equação (01)}$$

Em que F_X é a distribuição acumulada Gumbel e ∞ e β são, respectivamente, os parâmetros de posição e escala.

Estudos foram desenvolvidos para determinar equações IDF, tais como Westra *et al.* (2014), Nyamathi e Kumar (2021) e Ortiz e Martínez-Graña (2023). Para se determinar uma IDF é necessária a análise dos dados de densidade da rede pluviográfica e a relação ao curto período de observação disponível. Isso exige um extenso trabalho de análise, interpretação e coleta de grandes conjuntos de dados (Martel *et al.*, 2021).

Vale salientar que, no Brasil, nem todas as localidades possuem equações IDF estabelecidas. Isso torna mais desafiadora a realização de estudos sobre inundações e outros eventos relacionados, justamente pelas dificuldades de encontrar dados que correspondam ao perfil daquela região, de bacias, etc.

Conforme Moreira *et al.* (2020), no estado da Bahia, existem 20 equações ajustadas que relacionam a intensidade, a duração e a frequência da precipitação máxima para diversos municípios e localidades, incluindo Barreiras, Brotas de Macaúbas, Cândido Sales, Carinhanha, Cocos, Ibipêba, Formosa do Rio Preto, Ipiatã, Itamaraju, Itapebi, Ituberá, Juazeiro, Medeiros Neto, Morpará, Salvador, Santa Cruz da Vitória, Santa Maria da Vitória, Rafael Jambeiro e Teodoro Sampaio.

Além disso, Moreira *et al.* (2020) observam que a carência de informações com base nas equações de chuvas intensas para a maior parte das localidades do Estado da Bahia tem levado à utilização de dados de postos pluviométricos próximos das localidades onde os projetos são desenvolvidos. No entanto, isso resulta em estimativas pouco seguras, devido à variabilidade espacial dos dados de ocorrência pluvial.

2.5 Modelagem Ambiental

A modelagem ambiental representa um conjunto organizado de elementos e interações sistêmicas (Christofolletti 2015; Bianchi; Campos, 2023). Também, conforme o conceito de Figueiras (2001), refere-se a modelos matemáticos criados para representarem características ou processos do mundo real. Esses modelos têm a finalidade de aumentar o conhecimento sobre um processo, prever valores em áreas observadas e comprovar, ou não, hipóteses feitas sobre o processo.

Para a análise e modelagem ambiental é importante distinguir esses sistemas das características, cuja ação deve procurar abstrair o referido sistema da realidade. A modelagem ambiental deve considerar a complexidade dos processos naturais e as interações espaço-temporais entre as diversas variáveis que compõem esses sistemas (Oliveira, 2016).

Os sistemas biológicos são frequentemente representados por meio de modelos que podem ser inovadores com diversas ferramentas computacionais. Essas ferramentas possibilitam essa interação do homem com a representatividade da natureza, contribuindo para que esses processos biológicos sejam devidamente reconhecidos.

Existem vários modelos e abordagens aplicadas a diversas representações geográficas, e, de acordo com Christofolletti (2015), há uma tipologia de modelos em hidrologia que são usados para diferentes tipos e desenvolvidos para objetivos diferenciados. Assim, pode-se classificar os modelos em: a) tempo contínuo ou eventos; b) período diário; c) período mensal e períodos anuais, com base na disponibilidade dos dados para fins computacionais e gerenciamento.

2.6 Modelo Hidrológico (HEC HMS)

Segundo Rennó e Soares (2002), modelos hidrológicos podem ser definidos como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. Há uma relação intrínseca entre a modelagem hidrológica, o fluxo biológico e a ecológica, pois o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais na água, e o regime de água pode afetar diversos habitats.

Além disso, a hidrologia está intimamente relacionada às condições climáticas, e, portanto, modelos hidrológicos e atmosféricos deveriam estar acoplados. No entanto, na

prática, essa integração se torna bastante desafiadora, uma vez que os modelos atmosféricos trabalham com resoluções espaciais muito maiores que as utilizadas na modelagem hidrológica (Rennó; Soares, 2002).

Os modelos hidrológicos visam representar a parte terrestre do ciclo hidrológico, transformando a precipitação em uma bacia em vazão numa determinada seção de um rio. Esses modelos podem variar consideravelmente, refletindo diferentes tipologias, dependendo de seus objetivos, que podem ser simulados ou otimizados (Almeida; Serra, 2017).

Com relação a sua gênese (ciclo hidrológico), esses modelos podem ser empíricos, conceituais ou baseados em processos físicos. A discretização espacial e as arquiteturas podem variar de agregadas a distribuídas. Além disso, o tempo é uma dimensão relevante, com modelos orientados para simular eventos isolados e outros para simulação contínua (Almeida; Serra, 2017).

A modelagem hidrológica tem sido amplamente utilizada como ferramenta para a obtenção de conhecimento mais aprofundado a respeito dos fenômenos físicos envolvidos e na previsão de cenários. Eles compreendem sistemas de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros que estão sendo cada vez mais presentes em estudos ambientais, ajudando a entender o impacto das mudanças no uso da terra e prevenindo alterações futuras nos ecossistemas (Almeida; Serra, 2017).

Oliveira (2016) afirma que, embora existam diversos tipos de modelos disponíveis, sua classificação há de considerar que não existe uma superioridade de um modelo sobre o outro, mas sim sua aplicabilidade devido à análise dos aspectos.

Além disso, a utilização de modelos hidrológicos no planejamento ambiental é ampla, pois conta com variáveis que irão determinar a modelagem realizada, como por exemplo, dimensionamento, previsão em tempo real e avaliação do uso da terra; dimensionamento e previsão de cheias; cálculo do volume de reservatório, nível do lençol freático; interação rio-aquífero; simulação de alterações do sistema; efeitos do escoamento a jusante, impacto de afluente, eutrofização de reservatório, rede de abastecimento e tratamento de água; rede de irrigação e navegação fluvial (Oliveira, 2016).

2.7 Modelo Hidráulico HEC RAS (Modelagem - 1D e 2D)

O Hidrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) é um software que realiza modelagem matemática, desenvolvido no início da década de 70, amplamente reconhecido por sua capacidade de realizar modelagem unidimensional (1D) (USACE, 2002).

Conforme Leitão (2018), ao longo do tempo, foi adicionado ao HEC-RAS, a capacidade de realização de modelagem hidrodinâmica bidimensional (2D) para fluxos não permanentes, usando equações de Saint-Venant ou equações de onda de difusão.

Para o fluxo não permanente e não uniforme para um canal aberto unidimensional, a equação de Saint-Venant é baseada em duas leis da física, o princípio da conservação de massa e o princípio de conservação do momento, conforme descrito por Bruno *et al.* (2021) nas equações a seguir:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (uA)}{\partial x} = 0 \quad \text{Equação (03)}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Qv}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right) + s_f = 0 \quad \text{Equação (04)}$$

Onde A_t é a área total da seção, Q a vazão, q a vazão adicional lateral por unidade de comprimento, g é a aceleração da gravidade, A é a área molhada, dz/dx é a declividade da linha d'água, s_f é a inclinação de atrito do terreno (Bruno *et al.*, 2021).

A área 2D, localizada na barra de tarefas do HEC-RAS, pode ser utilizada de diversas formas. Neste estudo, será empregado para realizar a Modelagem 2D detalhada do canal e da barragem de inundação.

Conforme Leitão (2018), a modelagem 2D é conseguida através da adição de elementos de fluxo 2D ao modelo, de maneira semelhante à inclusão de uma área de armazenamento. Essa área em 2D é adicionada desenhando um polígono, desenvolvendo a malha computacional e ligando o modelo 2D com elementos do 1D, aplicando as devidas condições de contorno.

Com este software, é possível simular e realizar análises envolvendo escoamento permanente, não permanente, análise da qualidade da água e movimento de sedimentos, o que permite ao usuário obter informações bastante precisas em diversos tipos de simulação (ANA, 2018).

A opção de modelagem do escoamento transitório é disponibilizada pelo algoritmo Unsteady NETwork Model (UNET) nas versões do HEC-RAS a partir de 2000,

versão 3.0. No HEC-RAS, é possível calcular regimes de escoamento subcrítico, supercrítico e misto, permitindo transições entre eles. No entanto, é necessário aplicar a técnica LPI (Inércia Parcial Local) para reduzir instabilidades numéricas devido a descontinuidades no fluxo, embora isso possa resultar em alguma perda de precisão nos resultados (Oliveira, 2016).

É importante ressaltar que as informações inerentes às condições de contorno e fluxos são definidas no próprio programa HEC-RAS, não qual os parâmetros de declividade, escoamento, profundidade e vazão de projeto são inseridos de acordo com cada situação (Reis; Schmidt, 2017).

2.8 Avaliação e Estimativa de Riscos

Segundo Diginino e Carpi (2007), o termo “risco” está associado à suscetibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais, representando a probabilidade de que um evento esperado ou não esperado se torne uma realidade. Diginino e Carpi (2007) também identificaram várias categorias de riscos de riscos como: riscos naturais, que corresponde àqueles que não podem ser facilmente atribuídos ou relacionáveis à ação humana, embora algumas ações indiretas possam influenciá-los. Além disso, há outros riscos como o tecnológico, social e ambiental. Sendo que este último, o ambiental, o resultado da associação entre os riscos endógenos e os riscos decorrentes de processo naturais agravados pela atividade humana e pela ocupação do território.

Brito e Oliveira (2016) conceituam também riscos como sendo “resultados de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um ecossistema (vulnerável), causando danos humanos, materiais e/ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais”.

Como exemplo de riscos ambientais pode-se citar o ocorrido na região serrana do Rio de Janeiro em 2011, quando um dos maiores desastres naturais relacionado ao movimento de massas e enxurradas acarretou 947 vítimas fatais, 300 desaparecimentos, mais de 5000 mil desabrigados e atingindo aproximadamente 1 milhão de pessoas (Brito; Oliveira, 2016).

Com o sistema para gerenciar riscos, essas consequências podem ser atenuadas, uma vez que os alertas podem ser dados para quando forem estimados a possibilidade de ocorrência. Riscos podem ser utilizados para explicar a causa e efeito tanto em

macroescala, como no uso da bacia hidrográfica, ou de região metropolitana, como em microescala (Diginino; Carpi, 2016).

A Figura 1 evidencia o número de óbitos ocorridos no Brasil no ano de 2022, percebe-se que no referido ano, foram mais de 450 vítimas.



Fonte: BBC (2022)

Em consonância com as ameaças anteriormente destacadas, Oliveira (2018) apresenta uma abordagem que avalia tanto o risco quanto a ameaça, a qual foi utilizada como um dos parâmetros deste estudo.

$$R = P(fA) * C(fV) * g^{-1} \quad \text{Equação (05)}$$

Onde o R corresponde ao Risco; o P a probabilidade de ocorrer um evento físico ou perigo (A), ocasionando consequências C (que pode ser às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade V dos elementos expostos, e que pode ser modificado pelo grau de gerenciamento g. Este estudo enfoca a análise de “P” e “C”, uma vez que a modelagem os tornará visíveis, bem como as consequências enfrentadas pela região.

Festa *et al.* (2022) realizou estudos de inundação e seus impactos econômicos em microescala, no Sul da Itália utilizando a equação de Risco:

$$R = H \times V \times E \quad \text{Equação (06)}$$

Onde o R é o valor total do Risco; o V expressa os efeitos adversos sofridos por pessoas e estruturas vulneráveis; E exposição dos elementos em risco e por fim o H consequência de impacto de um evento perigoso (perigo de um evento natural).

No caso de risco de inundação, a avaliação geralmente envolve a consideração de níveis de inundação distribuídos espacialmente ao longo do tempo probabilístico. As recorrências de eventos de determinada magnitude são frequentemente utilizadas para estimar o potencial de exposição a perigos de inundação. Por outro lado, a vulnerabilidade concentra-se na avaliação do potencial grau de danos que os elementos expostos podem sofrer, com base em estimativas das profundidades de inundação (Festa *et al.*, 2022).

2.8.1 Risco de Inundação

Para compreender o risco de inundação, é relevante trazer seu conceito e a diferença entre enxurrada, enchente e alagamento. De acordo com Tucci (2007), inundações em áreas urbanas são um problema crônico que remonta aos primórdios das cidades e aglomerados urbanos. Esses eventos ocorrem quando as águas de rios, córregos e sistemas de drenagem pluvial excedem sua capacidade de transporte, transbordando para áreas que normalmente são utilizadas pela população para fins residenciais, de transporte, lazer, comércio, indústria e outros.

A enxurrada também pode ser caracterizada como escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas em unidade de tempo curta, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. É caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial (Brasil, 2012).

Em relação às enchentes, Tucci (2007) as categoriza em dois tipos: enchentes devido à urbanização e enchentes em áreas ribeirinhas. As enchentes urbanas ocorrem devido ao aumento da frequência e magnitude resultante da urbanização, que envolve o desenvolvimento de áreas com superfícies impermeáveis e sistemas de drenagem inadequados, além de obstruções como aterros e pontes. Já as enchentes em áreas ribeirinhas são naturais e afetam as populações que habitam as barreiras aluviais dos rios, sendo desencadeadas principalmente por processos naturais nos quais os rios ocupam suas barreiras maiores, geralmente em eventos extremos com uma média de tempo de retorno de cerca de 2 anos.

Por fim, os alagamentos são caracterizados por ocorrências em áreas planas, depressões ou vales, nas quais o escoamento superficial é prejudicado pela topografia e pela ausência ou insuficiência de sistemas de drenagem em ambientes urbanos. Além disso, há falta de áreas verdes e uma infiltração reduzida no solo situado para o escoamento superficial, limitando o auxílio que poderia ser fornecido pelos aquíferos suspensos para atenuar essas ocorrências (Teodoro; Nunes, 2007).

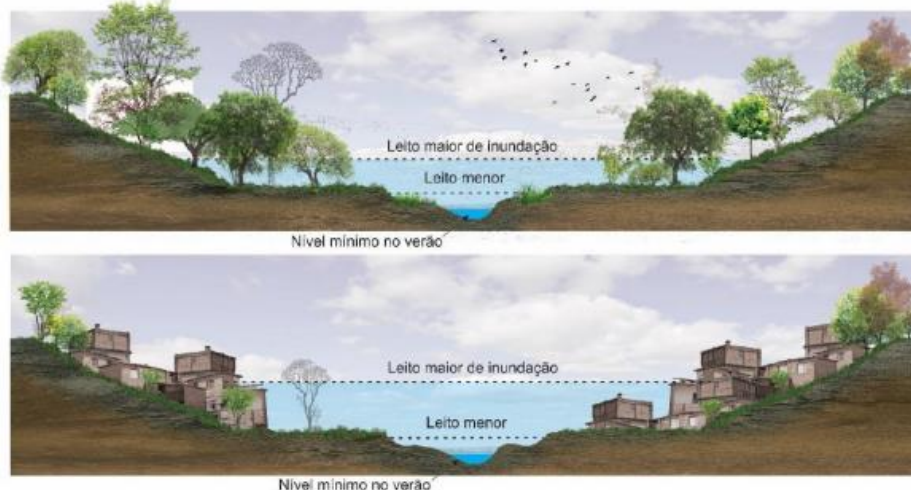
Na figura 2, podemos discernir entre inundação, alagamento e enchente, observando que há situações consideradas normais, mas esses eventos podem se transformar em desastres naturais.

Figura 2. Representação dos fenômenos de alagamento, enchente e inundação



Fonte: Garcia (2021)

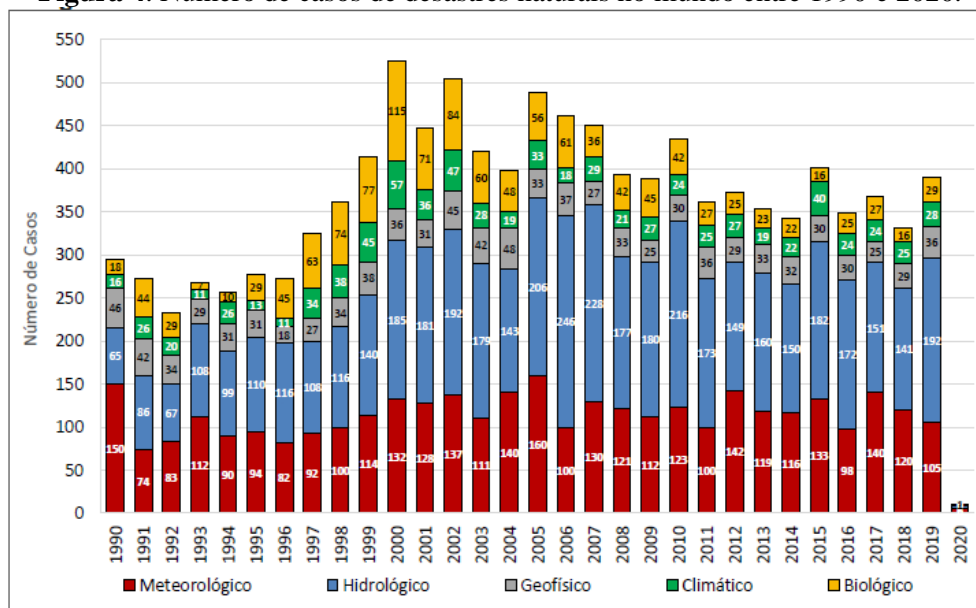
Segundo Hora (2009), as inundações representam um dos fenômenos naturais mais ocorrentes no mundo, afetando numerosas populações em todos os continentes. Causam impactos desastrosos nas áreas afetadas, provocando perdas humanas e materiais. Apenas no ano de 2007, as inundações afetaram mais de 164.662.775 pessoas em todo o mundo, causando uma trágica perda de 8.382 vidas. A autora também afirma que as inundações têm causado também grandes desastres à população brasileira principalmente em razão da ocupação desordenada no leito maior dos rios e impermeabilização do solo das bacias urbanas (figura 3).

Figura 3. Impacto devido a urbanização desordenada

Fonte: Benini (2017).

A falta de políticas de monitoramento e controle das inundações tem aumentado os prejuízos e perdas nas cidades. Esse aumento ocorre devido à falta de planejamento urbano adequado, à ausência de conhecimento dos riscos associados às áreas propensas a inundações e à falta de iniciativas para resolver esse problema (Hora, 2009).

A figura 4 evidencia os números de desastres naturais ocorridos entre os anos de 1990 e 2020, sendo possível identificar que a população foi mais atingida com os desastres hidrológicos seguido dos meteorológicos.

Figura 4. Número de casos de desastres naturais no mundo entre 1990 e 2020.

Fonte: Garcia (2021)

É importante salientar a diferença entre desastre, dano e prejuízo. Conforme Siqueira (2017), desastre é o resultado de eventos adversos, naturais ou provocado pelo homem sobre um sistema vulnerável, causando danos humanos, materiais e/ou ambientais, e consequentes prejuízos econômicos e sociais. A intensidade de um desastre depende da interação entre a magnitude do evento e a vulnerabilidade do sistema e é quantificada em termos de danos e prejuízos.

Já o dano é a medida da intensidade ou severidade da lesão resultante de um evento adverso. Também é definido como a intensidade das perdas humanas, materiais ou ambientais que ocorrem como consequência de um desastre (Araújo, 2012). Os danos por inundação podem ser classificados em tangíveis ou intangíveis. Danos tangíveis são aqueles que permitem uma expressão monetária, ao passo que os danos intangíveis são aqueles cuja estimativa do prejuízo associado é muito difícil ou mesmo impossível (Jonov *et al.*, 2013).

Para controlar e mitigar esses riscos de inundação, existe um sistema de proteção composto por uma série de ações lógicas destinadas a reduzir os impactos das inundações. A gestão de riscos emerge como um procedimento bem definido para lidar com desastres ambientais ou causados pela ação humana, sendo as inundações um exemplo representativo (Siqueira, 2017).

Ainda segundo o autor, a gestão de risco, a partir dos conceitos de ameaça, exposição e vulnerabilidade, pode ser conceituada e abordada em cinco estágios: diagnóstico, preparação, prevenção, manejo dos eventos adversos e recuperação.

2.9 Razões Econômicas

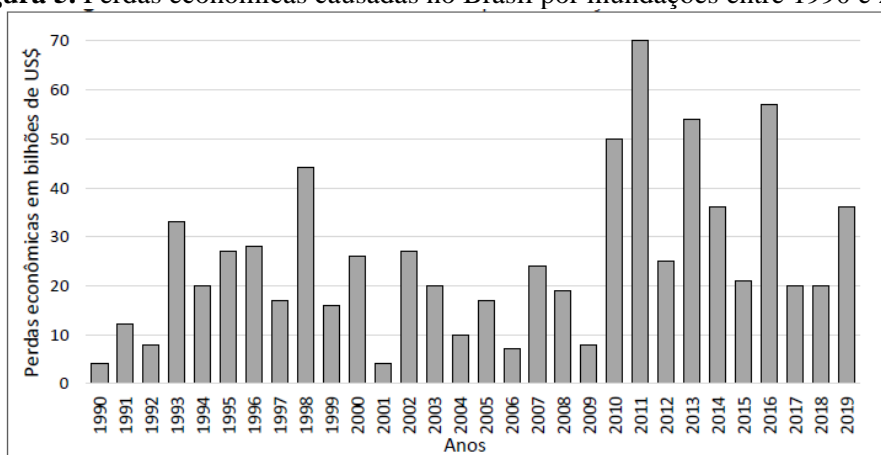
A feira livre que funciona na cidade de Catu é de suma importância para a população local. Através dela existe uma rotatividade econômica dos produtos que lá são comercializados, beneficiando não apenas os moradores urbanos, mas também aqueles da zona rural, pois comercializam suas produções como hortaliças, frutas, como também produtos de origem animal.

Os residentes das áreas circundantes da feira são compradores frequentes dos alimentos vendidos, pois a sua proximidade facilita o acesso. Além disso, a feira atrai pessoas de municípios vizinhos, como Pojuca e São Sebastião do Passé, que vêm participar do comércio local. Ou seja, o entreposto comercial desempenha um papel significativo na economia, impulsionando as atividades de pequenos produtores e

microempresários. Isso, por sua vez, estimula a geração de empregos e a distribuição de renda na região. Além disso, a dinâmica fenomenológica da feira promove encontros entre pessoas que, em outras situações, não se conheceriam.

No entanto, é importante ressaltar que a ocorrência de inundações pode interromper esse fluxo de pessoas, resultando em perdas econômicas, como demonstrado na figura 5.

Figura 5. Perdas econômicas causadas no Brasil por inundações entre 1990 e 2019.



Fonte: Garcia (2021)

2.9.1 Indicadores Econômicos

De acordo com Lourenço (2002), os indicadores econômicos (IEs) representam essencialmente dados ou informações que indicam ou apontam o desempenho (individual ou integrado) das diferentes variáveis e fenômenos que compõem um sistema econômico, seja a nível de um país, região ou estado.

Conforme o autor, essas IEs são fundamentais tanto para propiciar uma melhor compreensão da situação presente e o delineamento das tendências de curto prazo da economia, quanto para subsidiar o processo de tomada de decisões estratégicas dos agentes públicos (governo) e privados (empresas e consumidores).

Araújo e Ribeiro (2018) ressaltam que as feiras livres trazem benefícios para a economia local, gerando renda que, em sua maioria, é destinada ao comércio urbano. No entanto, esse tipo de indicador econômico passa muitas vezes despercebido dos órgãos municipais, sendo alvo de pouca atenção e incentivos. Ou seja, a interferência desse desenvolvimento econômico por parte das inundações compromete a arrecadação do município no que tange as atividades derivadas do comércio.

Assis *et al.* (2006) realizaram um estudo sobre o impacto das Feiras no Jequitinhonha mineiro e observou-se, os impactos que as feiras livres provocam em algumas cidades dessa região, como o aumento de 50% das vendas no comércio urbano nos dias de feiras, sendo mais significativo nos estabelecimentos de consumo direto de alimentos, como padarias, lanchonetes, bares, além de salão de cabelereiro.

É importante destacar que o volume de gastos no comércio urbano supera as receitas obtidas nas feiras em cerca de 80% do total recebido. Mesmo em feiras de pequenos municípios, onde o movimento é inicialmente pequeno, observa-se impactos reais no comércio local e na renda dos feirantes. Isso demonstra um dinamismo eficaz na economia desses municípios (Araújo; Ribeiro, 2018).

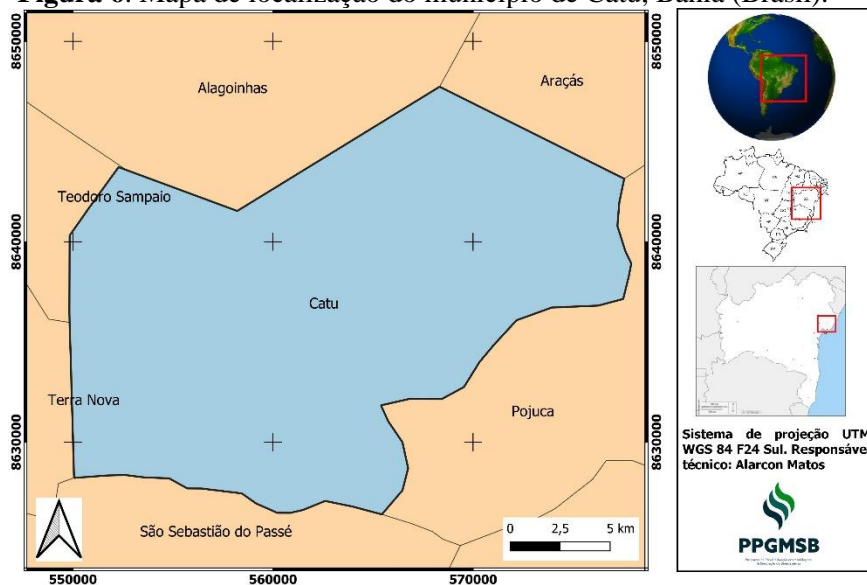
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), o território onde hoje se localiza o município de Catu era habitado pelos índios pataxós e tupiniquins, integrando a terra das Sesmarias do Conde da Ponte, para onde afluíram numerosos colonos na época. A povoação desses colonos teve início em 1872, resultando na divisão administrativa composta por três distritos: Catu, São Miguel e Sítio Novo (IBGE, 2023).

Atualmente, o município de Catu possui aproximadamente uma área territorial de 426, 955 km² e está localizada por volta de 70,13 km de Salvador, capital do Estado da Bahia (Figura 6). Sua população é estimada em 55.222 habitantes, com a densidade demográfica de 122,72 hab/km².

Figura 6. Mapa de localização do município de Catu, Bahia (Brasil).



Fonte: Alarcon Matos de Oliveira, 2023.

O território de Catu está inserido na área da bacia hidrográfica do rio Pojuca, sendo cortado por seus principais afluentes que são os rios Catu, Pitanga, Una e o Quiricó Pequeno, além do rio Pojuca que limita o município com o de São Sebastião do Passé (Menezes, 2011). A vegetação predominante no município de Catu é a floresta ombrófila densa, embora as temperaturas elevadas, com média de 25°C, e altas precipitações sejam distribuídas durante o ano, o período seco pode variar de 0 a 60 dias (Menezes, 2011; EMBRAPA, 2010).

Borges (2015) descreve o clima atuante no município como úmido a subúmido, com índice hídrico de 0% a 20 %, excedente hídrico entre 50 mm a 300 mm e com chuvas concentradas no período de outono-inverno, com uma temperatura média anual de 23,9°C. Quanto aos índices pluviométricos, quando ocorrem chuvas intensas, especialmente na região do Centro de Abastecimento da cidade, localizada no bairro de Santa Rita, a área fica inundada, impedindo o tráfego de pedestres e veículos, prejudicando significativamente os feirantes, o desenvolvimento do comércio local e a população em geral.

De acordo com dados do IBGE (2022) sobre o perfil de ocupação profissional, o salário médio mensal é de 2,7 salários-mínimos, embora apenas 15,3% da população façam parte da População Economicamente Ativa (PEA), totalizando aproximadamente 8.388 pessoas, indicando assim uma concentração de renda. Em comparação com a década passada, o percentual da população com rendimento nominal mensal per capita era de até ½ salário-mínimo em 2010. No entanto, a taxa de escolarização de 6 a 14 anos de idade no ano de 2010 era de 93,7%. Nos anos seguintes, o Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) alcançado foi de 5,1 nos anos iniciais (equivalente a 98,1%) e 3,9 nos anos finais, demonstrando um avanço no quesito educação se comparado com a década anterior.

3.2 Materiais

Para se chegar aos resultados dessa pesquisa, foram coletados os dados topográficos da área e adotado a Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) de 30 m, que é o modelo digital do terreno.

A modelagem hidrológica foi conduzida por meio do software HEC HMS. O processo envolve a delimitação da bacia e sub-bacias, realizado com o auxílio do software QGIS 3.16.13, bem como a caracterização do solo e a análise da ocupação na bacia.

Para os dois modelos hidrológicos e hidrodinâmicos em questão, foram necessários os tempos de retornos estarem bem definidos para que se chegasse aos resultados.

3.3 Métodos

Este estudo utilizou o método hipotético-dedutivo, que se fundamenta na identificação de problemas, lacunas ou contradições presentes no conhecimento prévio ou em teorias já condicionais. A partir desses problemas, conjecturas, soluções ou hipóteses são formuladas. Posteriormente, essas suposições passam por um processo de avaliação, denominada de técnica de falseamento (Diniz, 2015).

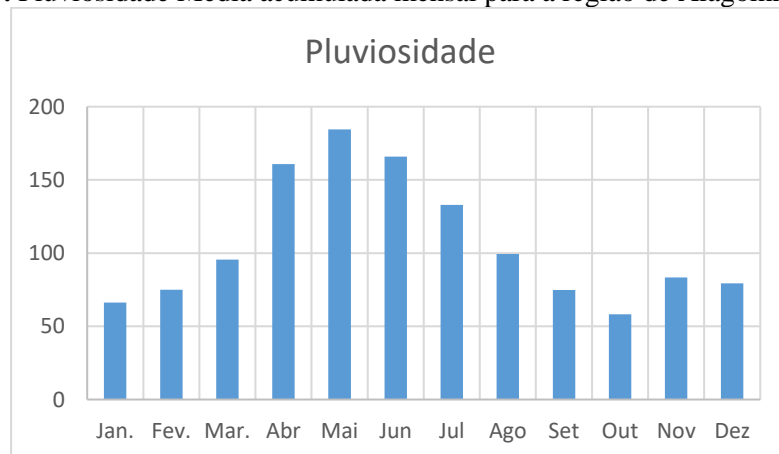
Dentro desse contexto, o falseamento pode ser realizado por meio de diversas abordagens, incluindo experimentação e análise estatística. Após analisados os resultados, são avaliadas as conjecturas, soluções ou hipóteses previamente elaboradas, que podem ser reputas (rejeitadas) ou corroboradas.

3.3 Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Catu

Realizou-se a caracterização hidrológica da bacia do rio Catu, cuja a estação climatológica de referência está localizada na cidade de Alagoinhas. Os dados climatológicos da cidade de Alagoinhas foram empregados como fonte primária, devido à falta de uma estação climatológica em Catu, que é o local de interesse.

Segundo Porciúncula *et al.* (2016), a região possui cerca de 140.000 habitantes, que vivem numa área de 1179 km², situando-se a cerca de 107 km da capital, Salvador.

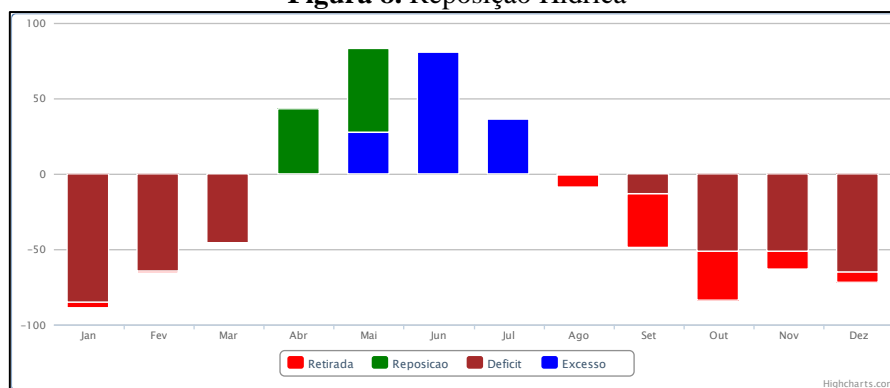
Essa bacia apresenta sistema de drenagem superficial desenvolvido, com rios perenes e algumas lagoas remanescentes. A média anual de precipitação pluviométrica atingiu 1.234,1 mm, enquanto a evapotranspiração real é de 1.096,2 mm (Figura 7). Esses dados resultaram em um excedente hídrico de 137,9 mm/ano, conforme o Sistema de Informações Energéticas (SEI) em 1999, mostrando a relevância dessas características para a compreensão da dinâmica hídrica da região (SEI, 1999).

Figura 7. Pluviosidade Média acumulada mensal para a região de Alagoinhas

Fonte: INMET – Normais climatológicos de 1991-2021

De acordo com Porciúncula *et al.* (2016), o município de Alagoinhas se destaca no âmbito geoambiental e hidrogeológico por abrigar uma importante reserva hídrica subterrânea denominada aquífero São Sebastião. Esta reserva abrange a maior parte da região, muitas vezes sobreposta pela Formação Marizal, que por sua vez, desempenha um papel crucial na proteção desse manancial.

Ainda segundo o seu balanço hídrico, há uma tendência de déficit hídrico nos períodos de primavera a verão, sendo que a reposição hídrica retorna no mês de abril (Figura 8). É importante observar que esse período também coincide com a estação mais propícia para chuvas frequentes que causam inundações na região estudada, embora o fenômeno possa ocorrer em outros períodos devido a antropização da região.

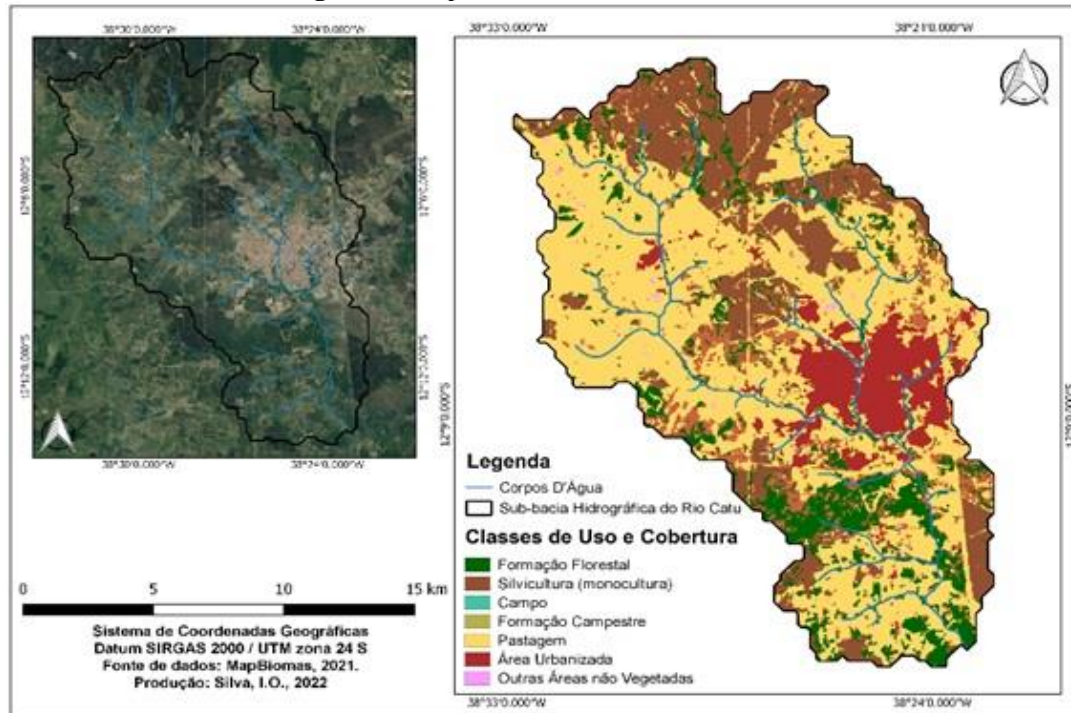
Figura 8. Reposição Hídrica

Fonte: INMET – Normas climatológica de 1991-2021

3.3.1 Caracterização de Uso e Cobertura do solo

A bacia hidrográfica em estudo, de maneira geral, é descrita por uma predominância de usos de solo, incluindo pastagens, áreas de silvicultura, fragmentos florestais e pequenos núcleos urbanos. A exceção a esta descrição é a cidade de Alagoinhas, que se destaca como um município de porte médio. Essa distribuição de uso e cobertura do solo pode ser visualizada na Figura 9.

Figura 9. Mapa do Uso e Cobertura do Solo



Fonte: Alarcon Matos de Oliveira, 2022.

3.4 Determinação do Hietograma

Para a realização da modelagem do perfil de inundação da Cidade de Catu desse estudo, foi necessário seguir uma sequência de etapas numa ordem sincronizada e bem definida. A primeira etapa é a definição da equação IDF que mais se encaixa com a pesquisa desenvolvida em questão. Nesse sentido, a equação IDF utilizada foi baseada no modelo proposto por Moreira *et al* (2020). A equação IDF é representada por:

$$IDF = \frac{K.TR^2}{(t+b)^2} \quad \text{Equação (02)}$$

Em que, IDF – representa a intensidade duração e frequência máxima média de precipitação, mm h^{-1} ; TR – período de retorno em anos; t – duração da precipitação, min;

Após obtidos os valores das máximas precipitações para cada duração e período de retorno, realizou-se o ajuste dos parâmetros (K, a, b e c) da equação IDF. Onde:

$$K = 829,668$$

$$a = 0,1666$$

$$b = 12,856$$

$$c = 0,777$$

Em que: K e a são parâmetros empíricos da equação IDF, e TR o período de retorno, em anos em que: i = intensidade estimada; t = tempo em minutos e b e c = parâmetros empíricos ajustados. Portanto, foram utilizados os seguintes parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade para as constantes da IDF:

$$I = \frac{K \cdot TR^{0.1660}}{(t+B)^{0.776}} \quad \text{Equação (07)}$$

Conforme metodologia de Moreira *et al.* (2020), o ajuste dos parâmetros da equação IDF foi executado por meio de regressão múltipla não linear, utilizando o método de interação de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG) não linear. A qualidade do ajuste foi avaliada com base no coeficiente de determinação (R^2). Além disso, a avaliação do ajuste dos dados é realizada por meio da análise da regressão dos dados observados e os dados estimados, atentando para o coeficiente angular da reta. Todas essas etapas foram conduzidas com o auxílio do pacote de ferramentas do Solver para o Microsoft Excel.

Para obter os resultados desejados, foi necessário determinar a duração das chuvas em minutos. Optou-se por adotar uma duração de 60 minutos, correspondendo ao período de chuva, com intervalos de 5 minutos para cada bloco. Essa abordagem permite uma representação adequada da variação temporal da chuva ao longo do evento.

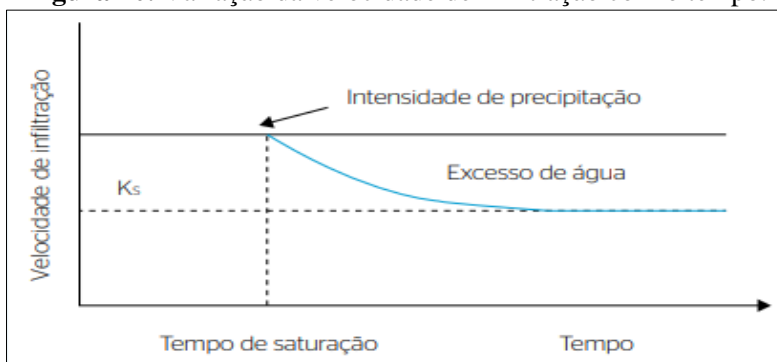
A intensidade da chuva foi expressada em milímetros por hora e foi calculada com base na curva IDF mencionada. Dessa forma, foi possível determinar a precipitação acumulada ao longo do período considerado.

Adotou-se a metodologia dos blocos alternados, reconhecida por sua simplicidade e importância crítica na abordagem da pesquisa. Esse método propõe a desagregação dos totais de chuva em intervalos de tempo discretizados pela sua duração total. A partir dos incrementos totais acumulados de precipitação, transformados em altura de chuva, os blocos obtidos são rearranjados numa sequência tal que, no centro da duração da chuva,

situe-se o bloco maior e, em seguida, demais blocos, em ordem decrescente, um à direita e o outro à esquerda do bloco maior, alternadamente (Abreu *et al.*, 2017).

A abordagem dos blocos alternados é utilizada para obter uma representação mais realista dos padrões de chuva observados na área de estudo em questão. Essa técnica consiste em inserir o pico de maior intensidade e alternar os valores restantes para se aproximar da realidade dos fenômenos de chuva (Figura 10).

Figura 10. Variação da velocidade de infiltração com o tempo.



Fonte: Abreu, Sobrinha e Brandão (2017)

Essa representação gráfica é de extrema importância para compreender a distribuição temporal das chuvas intensas ao longo desses períodos e auxilia no planejamento de medidas de mitigação de riscos e adaptação para eventos extremos (Abreu, Sobrinha e Brandão, 2017).

O hietograma foi gerado com base nos dados obtidos no estudo de Moreira *et al.* (2020) e inserido em uma planilha eletrônica que utiliza a metodologia dos Blocos Alternados.

3.5 Determinação dos Tempos de Retorno

Para a construção do hietograma e hidrograma, foram adotados tempos de retorno definidos, incluindo os períodos de 10, 25, 50 e 100 anos. Esses tempos de retorno selecionados são significativos, pois não estão muito distantes de ocorrer e não são difíceis de alcançar.

Eles proporcionam uma representação adequada para análise e estudo, permitindo uma compreensão abrangente dos eventos hidrológicos. A consideração desses tempos de retorno é essencial para avaliar o comportamento do sistema hidrológico em diferentes

cenários e tomar decisões informadas em relação ao planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

3.6 Determinação do Hidrograma no HEC - HMS

Para a determinação do hidrograma foi necessário trilhar algumas etapas. Para determinar a cobertura e uso do solo, foi utilizada a classificação do Mapbiomas, que é uma rede colaborativa que busca revelar as transformações do território brasileiro por meio da ciência, com precisão, agilidade e qualidade, e tornar acessível o conhecimento sobre a cobertura e o uso da terra. Esta informação é fundamental para a conservação e gestão sustentável dos recursos naturais e para o combate às mudanças climáticas (Mapbiomas, 2023).

Para este estudo, foi utilizada a coleção 7, onde as classes foram agregadas de acordo com as respectivas cores dessa coleção, de acordo com o relatório gerado com os dados inseridos no QGIS 3.16. (Figura 9). Esta figura evidencia a cobertura e uso do solo da bacia hidrográfica referenciada nesse estudo. Foram agregadas em 5 classes: a floresta, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada e corpo d'água.

Para caracterização do solo foi adotada a classificação da Embrapa, considerando que os solos da região se enquadram na categoria de Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA). Esses solos são desenvolvidos a partir de rochas cristalinas do Grupo Barreiras e apresentam horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita.

A construção do hidrograma envolveu várias etapas, todas direcionadas para a descoberta da Curva Número (CN), que fornece dados para o HEC HMS, incluindo a impermeabilização do solo. O HEC HMS, é composto por três componentes: o Modelo da Bacia Hidrográfica, o Modelo Meteorológico e as Especificações de Controle (USACE, 2008).

Para o processamento do modelo hidrológico, foi necessário inicialmente a inserção de dados relacionados à bacia hidrográfica, bem como os dados meteorológicos. Após a entrada de dados, foram selecionados os métodos para o cálculo de perdas, transformação chuva-vazão, composição do escoamento de base e de propagação em rios. A escolha desses métodos levou em consideração uma variedade de parâmetros, incluindo a área das sub-bacias, tempo de concentração, fatores de infiltração e evapotranspiração.

Adotou-se o Método Curve Number – Soil Conservation Service (CN-SCS), um modelo chuva-deflúvio que consiste numa aproximação empírica entre um dado evento de chuva e as condições de superfície da bacia hidrográfica para estimativa do escoamento superficial direto (Q) ou deflúvio. Foi originalmente desenvolvido para a estimativa do escoamento superficial direto (Q) gerado em uma bacia ou área de contribuição, estimando-se o armazenamento potencial de água no solo a partir da adoção de um parâmetro, conhecido como Curve-Number (CN). Este parâmetro reflete as condições da cobertura vegetal, os atributos físico-hídricos do solo e a umidade antecedente, que é estimada com base na precipitação ocorrida nos últimos 5 dias (Alves, 2016).

Considerando que a bacia estudada possui três sub-bacias, foi necessário calcular a área total, comprimento do rio principal, ponto mais alto, ponto mais baixo, diferença entre o ponto alto e o baixo, declividade, tempo de concentração e tempo de retardo (Quadro 1).

Quadro 1. Características físicas das bacias

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS BACIAS	SUB-BACIAS		
	SUB1	SUB2	SUB3
Área total (km ²)	118.75	83.21	189.62
Comprimento do rio principal (km)	23.45	16.42	29.76
Ponto mais alto (m)	330.00	245	111
Ponto mais baixo (m)	112.00	108	58
Diferença entre o ponto alto e o baixo (m)	218.00	137	53
Declividade (km)	0.009296375	0.008343484	0.001780914
Tempo de concentração (seg)	8.025095802	6.248112522	13.16619006
Tempo de retardo (seg)	4.815057481	3.748867513	7.899714036

Fonte: Autor (2023)

Para a reprodução do hidrograma em uma seção do rio, foi considerado o tempo de concentração, constituindo um parâmetro hidrológico de grande importância, uma vez que informa o momento da ocorrência da vazão máxima e a forma do hidrograma (Farias Junior *et al.*, 2011). Winkler *et al.*, (2009) define o tempo de concentração como o tempo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial na seção de saída.

Para as características da bacia em estudo, foi adotada a metodologia proposta por Temez (1978), que considera a bacia com no máximo 3000 km² e utiliza a seguinte equação:

$$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{I^{0,25}}\right)^{0,76} \quad \text{Equação (08)}$$

Onde:

t_c – tempo de concentração (h);

L – comprimento do talvegue principal (km);

I – declividade média equivalente (m/m).

Ao empregar a fórmula e considerar as classes: água, urbanização, agricultura, vegetação densa e vegetação rasteira, foi viabilizado o cálculo do número da curva (CN) (Quadro 2). Esta etapa desempenha um papel crucial no avanço da simulação da mancha de inundação, uma vez que o número da curva reflete a capacidade do solo de absorver água da chuva.

Quadro 2. Cálculo da Curva Número

CLASSE	ÁREA	ÁREA (KM2)	CN	A*CN
Água	101.44	0.101436	100	10.1436
Urbanização	27546.83	27.546828	90	2479.21452
Agricultura	283319.80	283.319799	78	22098.9443
Vegetação Densa	78534.90	78.534903	70	5497.44321
Vegetação Rasteira	500.19	0.500193	75	37.514475
SOMA	390003.16	390.00		30123.26
			CN PONDERADO	77.2385029

Fonte: Autor (2023).

Com base nesse valor calculado, foi possível determinar a quantidade de água que é escoada superficialmente e que, consequentemente, contribui para a formação da mancha de inundação.

É importante ressaltar que essa etapa inicial estabelece os fundamentos do modelo hidrológico adotado na simulação, permitindo a compreensão dos processos de escoamento e inundação. A partir desse ponto, foram empregados métodos adequados

para a obtenção da mancha de inundação, proporcionando uma análise mais precisa e detalhada dos cenários de inundação na área de estudo.

Portanto, os hidrogramas e sua influência na determinação da mancha de inundação são etapas essenciais para compreender o comportamento hidrológico da área em estudo e fornecer subsídios importantes para a gestão de eventos extremos.

3.7 Determinação da mancha de inundação HEC

Para obter a mancha de inundação, foram realizadas várias etapas. Primeiramente, foi necessário definir a geometria da bacia de estudo, considerando características como o relevo e os cursos d'água presentes na região. Em seguida, foram utilizados coeficientes de rugosidade de Manning, que foram pré-definidos com base em um banco de dados relacionado ao uso do solo, no software HEC-RAS. Esses coeficientes são essenciais para calcular a resistência ao escoamento da água em diferentes áreas da bacia.

Para isso, foi realizada a simulação de uma onda de cheia advinda de um evento extremo de precipitação. Constatamos preliminarmente o tempo de concentração, o qual é fundamental na formação das inundações, acarretando em dificuldade na locomoção dos comerciantes e moradores, ficando inviável a utilização desse espaço como centro de abastecimento, além dos prejuízos econômicos devido à perda de mercadorias.

A primeira tentativa de realizar a modelagem foi no modelo unidimensional (1D), mas ressaltamos como limitações dessa pesquisa alguns erros, como as constantes que foram adotadas. Portanto, optamos por utilizar um modelo bidimensional (2D) para maior precisão na determinação das seções transversais e para classificar o coeficiente de Manning.

As condições de contorno, incluindo cotas de inundação caracterizadas por alturas de referência, também foram consideradas para determinar até que ponto a água pode chegar durante uma inundação. Além disso, foram utilizados hietogramas (modelos hidráulicos) e hidrogramas (modelos hidrodinâmicos) para simular o comportamento do fluxo da água e, assim, determinar a extensão da mancha de inundação.

Foi adotado um Modelo Digital de Terreno (MDT) com uma resolução de 30 metros e uma malha de 12,5 metros na modelagem numérica, sendo o fator computacional o limitante por não ter utilizado uma malha de menor dimensão. Esses dados são fundamentais para representar com precisão o relevo da região estudada. A delimitação

da área de estudo foi baseada no tamanho real da cidade, garantindo que a simulação abrangesse todas as áreas relevantes.

Uma vez que a simulação foi gerada, as manchas de inundação foram exportadas para o software QGIS, permitindo a criação de mapas temáticos detalhando as áreas afetadas pelo evento de inundação.

3.8 Quantificação de prejuízos econômicos

O presente estudo utilizou uma abordagem simplificada para obter os prejuízos econômicos decorrentes de inundações no município de Catu, baseada na estimativa de danos por dias parados (DDP). Essa abordagem foi incorporada à metodologia de quantificação de danos do presente estudo, a qual ponderou o dano na área inundada de acordo com os dias de interrupção de atividades.

Este dano está relacionado ao impacto na economia local, representando o investimento perdido em funcionários incapazes de contribuir devido à paralisação das atividades no município devido às inundações.

Com base na duração das inundações na região, é possível quantificar os danos associados aos dias parados. Nesse contexto, este estudo baseou-se na pesquisa de Tachini (2010) e os danos foram estimados usando a seguinte equação:

$$DDP = \frac{LMI}{ND} \cdot POP \cdot DI \quad \text{Equação (09)}$$

Onde:

DDP: dano relativo aos dias de paralização das áreas atingidas em reais (R\$)

LMI: lucro médio semanal por indivíduo (R\$/semanal)

ND: número de dias da semana

POP: número de pessoas atingidas pela inundação

DI: duração da inundação em dias

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Primeiramente, foram apresentados os hietogramas, que representaram graficamente as variações de precipitação ao longo do tempo. Os hietogramas foram construídos utilizando as técnicas e os dados mencionados anteriormente, permitindo uma análise detalhada das características da chuva em diferentes períodos de retorno.

Em seguida, as manchas de inundação resultantes das simulações foram apresentadas. Cada tempo de retorno foi avaliado separadamente, fornecendo informações sobre a extensão e a intensidade das áreas afetadas pela inundação. Os resultados foram apresentados de forma clara e visualmente compreensível, por meio de mapas e gráficos que destacaram as áreas inundadas em cada cenário.

Esses resultados foram de grande importância para compreender os riscos de inundação e subsidiar a tomada de decisões relacionadas ao planejamento urbano, à gestão de recursos hídricos e à redução de danos causados por eventos extremos. A análise dos hietogramas e das manchas de inundação proporciona uma visão abrangente dos impactos das chuvas intensas e auxilia na implementação de medidas preventivas e de adaptação em áreas suscetíveis a inundações.

4.1 Análise do Hietograma

Com base na metodologia dos blocos alternados, foram gerados os hietogramas com seus respectivos tempos de retorno, utilizando a equação IDF apresentada anteriormente, juntamente com as variáveis extraídas da pesquisa realizada por Moreira *et al.* (2020).

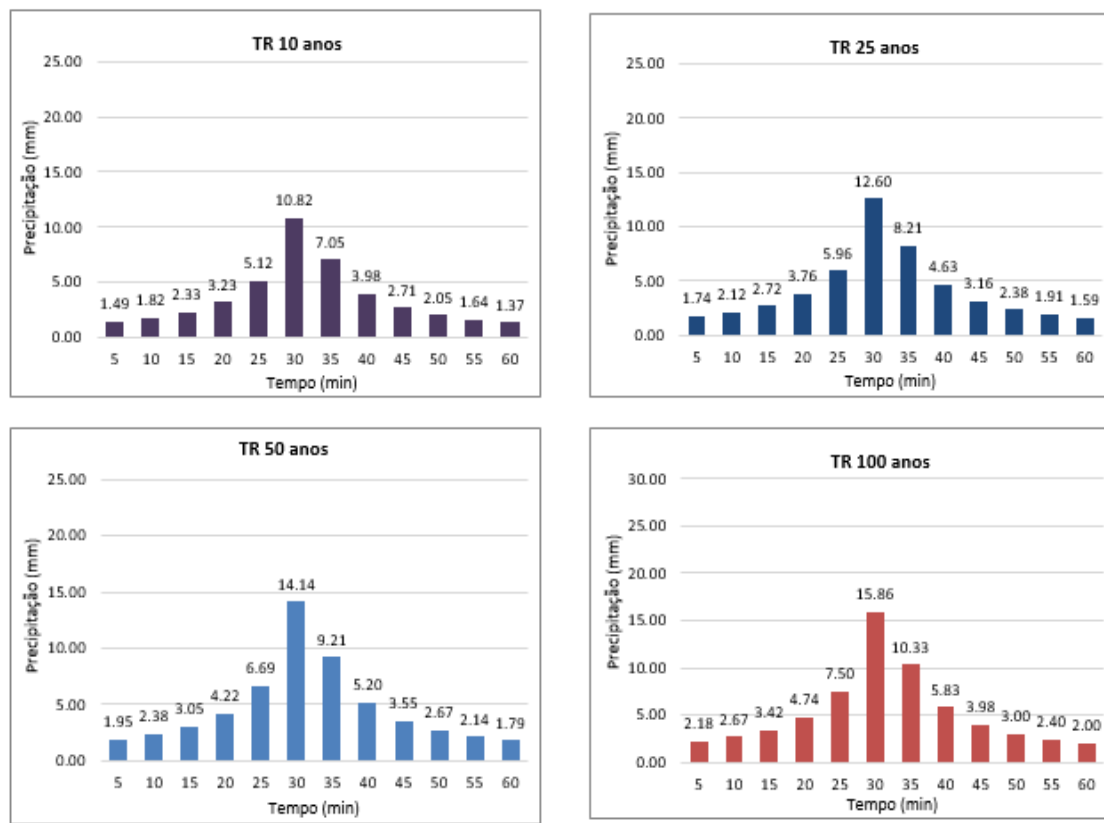
$$P_{acumulada} = \frac{Intensidade * duração (instante)}{Tempo total de duração da chuva} \quad \text{Equação (10)}$$

Esses cálculos e considerações metodológicas são cruciais para compreender e analisar a distribuição espacial e temporal das chuvas, o que contribui para avaliar os riscos associados a eventos climáticos extremos.

O resultado da precipitação indica a quantidade de milímetros de chuva que ocorre a cada minuto, representando uma lâmina de água acumulada ao longo do tempo.

Na figura 11 apresentada no estudo, é possível visualizar o hietograma resultante para um tempo de retorno de 10 anos, seguido pelos tempos de retorno de 25, 50 e 100 anos.

Figure 11. Hietograma resultante para um tempo de retorno de 10 anos.



Fonte: Autor (2023).

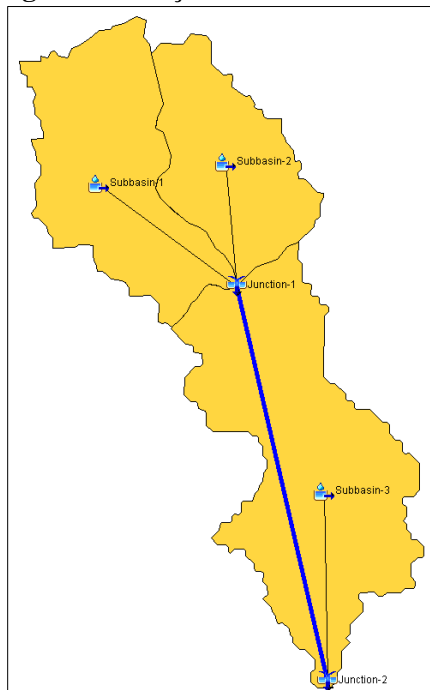
As figuras fornecidas apresentam as variações nos tempos de retorno para eventos de diferentes anos. Observa-se que, para um tempo de retorno de 10 anos, o pico de precipitação atinge 10,82 mm. Conforme o tempo de retorno aumenta, a intensidade da chuva também aumenta, alcançando 12,60 mm aos 25 anos, 14,14 mm aos 50 anos e 15,6 mm aos 100 anos, com o pico ocorrendo aos 30 minutos. Após 35 minutos, a intensidade começa a diminuir, refletindo uma característica comum das chuvas.

Os hietogramas resultantes são ferramentas valiosas para o planejamento de infraestruturas, gestão de recursos hídricos e tomada de decisões relacionadas à resiliência climática.

4.2 Análise do Hidrograma

A modelagem do hidrograma envolve a combinação das vazões das três sub-bacias, resultando em uma linha contínua, conforme ilustrado na Figura 11. A vazão na junção 1 desempenha um papel importante no desencadeamento das inundações na área de estudo, uma vez que recebe todo o volume de água proveniente das sub-bacias.

Figure 12. Junção das três sub-bacias.



Fonte: Autor (2023).

Os picos de chuva para os tempos de retorno estão resumidos na tabela 1.

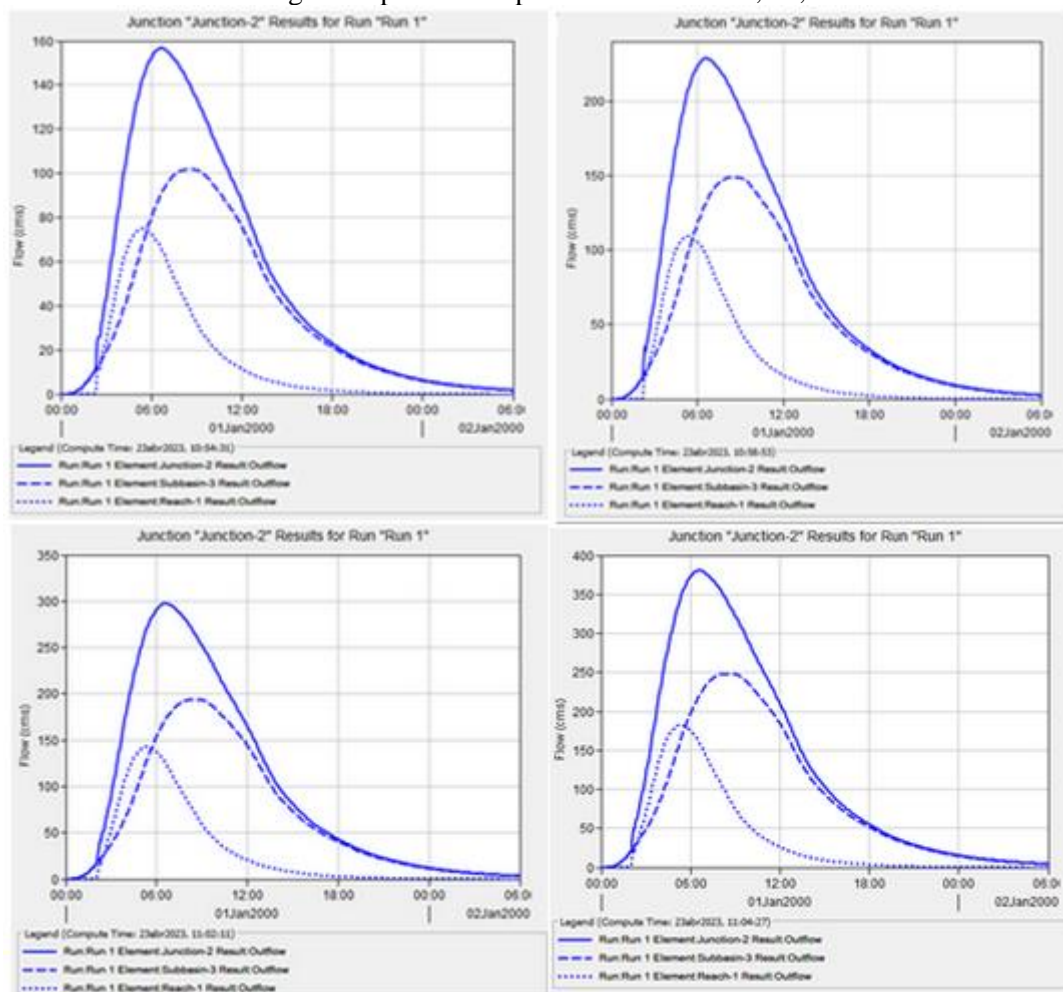
Tabela 1. Picos de chuva para os tempos de retorno

ANOS	PICO
10	158 m ³ /seg
25	250 m ³ /seg
50	300m ³ /seg
100	385m ³ /seG

Fonte: Autor (2023)

Os hidrogramas para os tempos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos foram apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Hidrogramas para os tempos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos.



Fonte: Autor (2023)

A partir dos hidrogramas obtidos, foi possível determinar a mancha de inundação da área estudada. Esses hidrogramas desempenham um papel importante na definição da vazão da região, levando em consideração o tempo de retorno selecionado. Observa-se que o tempo de retorno de 100 anos apresentou o maior índice pluviométrico, indicando chuvas intensas e um potencial maior para ocorrência de enchentes.

Por meio dos hidrogramas, é possível observar um crescimento contínuo das vazões conforme aumentam os tempos de retorno, todos expressos em metros cúbicos por segundo. Essa análise permite compreender como as vazões se comportam e se intensificam em resposta aos eventos de maior magnitude. Essas informações são cruciais para avaliar os riscos de enchentes e auxiliar no planejamento de medidas de mitigação, como a adequação de sistemas de drenagem e estruturas de contenção.

A modelagem do hidrograma e a análise das vazões contribuem para uma melhor compreensão dos processos hidrológicos e são fundamentais para estudos de engenharia hidráulica e gestão de recursos hídricos.

4.3 Análise da Mancha de Inundação

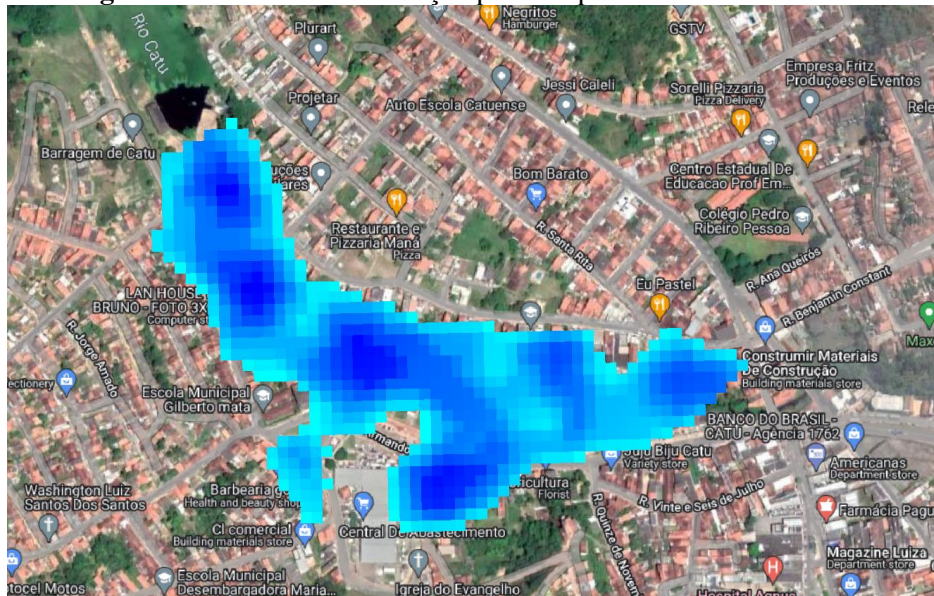
A partir da simulação realizada, foi constatado que a área de estudo é sujeita a inundação devido ao fluxo de água, o que é claramente evidenciado pela mancha de inundação representada pela área em azul (Figuras 12, 13, 14 e 15). Cada figura corresponde a um tempo de retorno específico, sendo eles de 10, 25, 50 e 100 anos.

Figura 13. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 10 anos.



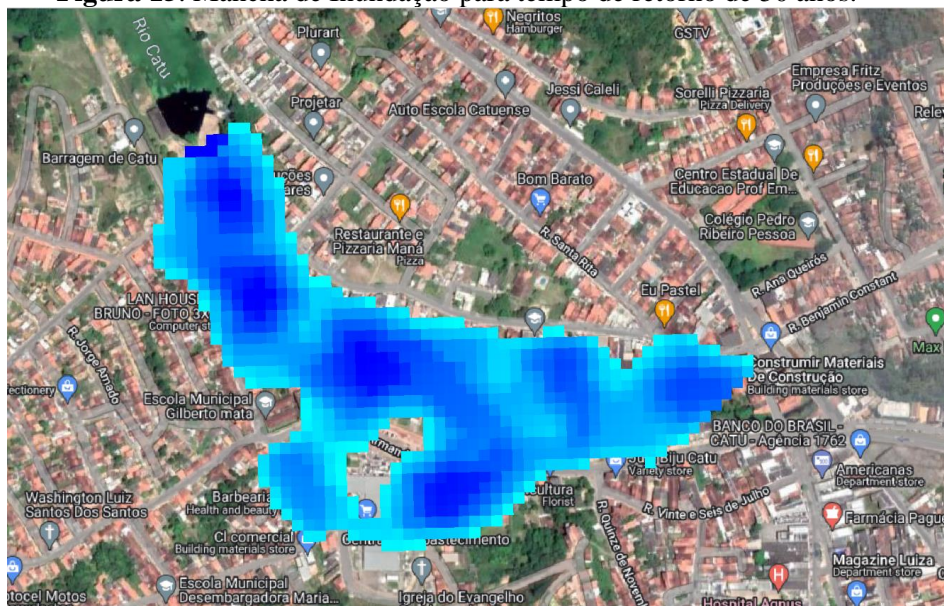
Fonte: Autor (2023)

Figura 14. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 25 anos.

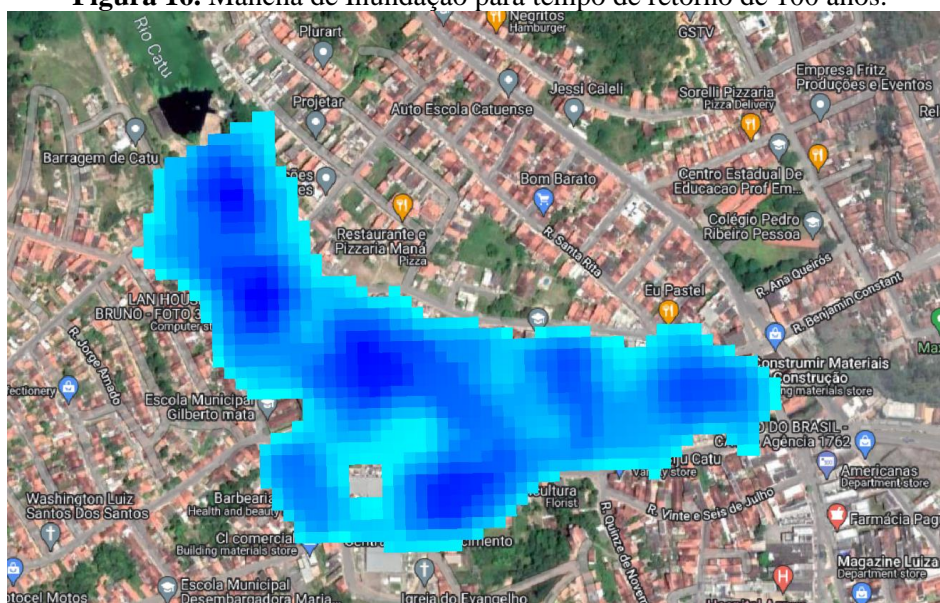


Fonte: Autor (2023)

Figura 15. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 50 anos.



Fonte: Autor (2023).

Figura 16. Mancha de Inundação para tempo de retorno de 100 anos.

Fonte: Autor (2023).

Para um tempo de retorno de 10 anos, os resultados revelam uma área inundada de aproximadamente 89.000 m², com uma altura máxima de inundação de 4,23 metros, conforme demonstrado na figura 12. Aumentando o tempo de retorno para 25 anos, a área inundada se expande para cerca de 119.000 m², com uma altura máxima de 4,33 metros.

Para os tempos de retorno de 50 e 100 anos, observa-se um aumento progressivo na área inundada. O tempo de retorno de 50 anos resulta em uma área de aproximadamente 140.000 m² e uma altura máxima de 4,62 metros. Já para o tempo de retorno de 100 anos, a área inundada atinge cerca de 157.000 m², com uma altura máxima de 5,40 metros. Os dados de área e altura de inundação para tempos de retorno foram resumidos na tabela 3.

Tabela 3. Área e altura de inundação para tempos de retorno 10, 25, 50 e 100 anos

Tempo de retorno (anos)	Área inundada (m ²)	Altura total (m)
10	89000	4,23
25	119000	4,33
50	140000	4,62
100	157000	5,40

De forma geral, ao analisar os diferentes tempos de retorno, pode-se observar uma evolução da mancha de inundação ao longo do tempo, com as inundações se tornando

mais evidentes e abrangentes. Essas informações são cruciais para compreender os riscos de inundação na área estudada e são úteis para o planejamento de medidas de prevenção e mitigação de enchentes, bem como para o desenvolvimento de estratégias de gestão de riscos.

A figura 17 mostra a precipitação pluviométrica registrada na área de estudo durante o período de 28 de dezembro de 2022. Essa imagem evidencia a distribuição espacial e temporal da chuva na região, permitindo analisar padrões e variações ao longo do tempo. É possível observar a intensidade e a extensão das áreas afetadas pela chuva (Figuras 17 e 18), fornecendo informações importantes para a compreensão do regime pluviométrico da área e para o planejamento de ações relacionadas a recursos hídricos, como drenagem urbana e gestão de enchentes.

Figura 17. Inundação no Bairro da Santa Rita, Catu – BA



Fonte: Alagoinhas Notícias (2023)

A seguir, na figura 18, é apresentado o bairro Santa Rita antes da inundação.

Figura 18. Bairro da Santa Rita, Catu – BA.



Fonte: Autor (2023).

4.4 Análise do Perfil Logintudinal e Seções Transversais da mancha de inundação

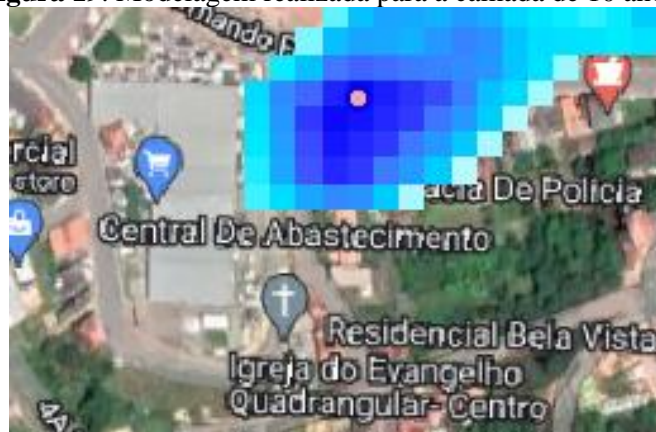
A análise do perfil longitudinal da mancha de inundação revela a variação da altura da água ao longo do seu curso. Essa análise permitiu identificar pontos críticos e entender como a inundação se comporta ao longo do terreno.

De acordo com o perfil longitudinal, a variação da água para os quatro diferentes tempos de retorno apresentou a mesma característica em quatro pontos: no ponto A com coordenadas x 1220881 e y 8625797; no ponto B, considerado crítico, as coordenadas foram de x 1220908 e y 8625686; seguindo respectivamente do ponto C, x 1221035 e y 8625604; e, por fim, no ponto D, com o eixo x de 1221125 e y 8625458.

Nessas áreas específicas, a análise de altura da água revela a inviabilidade da circulação de pessoas para o comércio local, devido ao alagamento. Nas seções transversais da mancha, essa análise proporcionou *insights* sobre a distribuição espacial da água e a extensão da inundação em diferentes pontos da área estudada.

Analisando os pontos por meio da modelagem elaborada para o período de 10 anos, identifica-se um dos locais mais críticos próximos ao centro de abastecimento, notado pela intensa concentração de água na área em azul mais escuro (Figura 19). As coordenadas desse ponto são 1221126 no eixo x e 8625471 no eixo y, resultando em uma considerável altura da água.

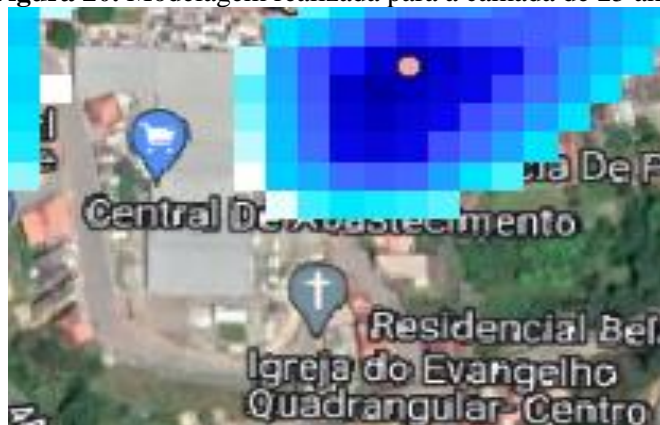
Figura 19. Modelagem realizada para a camada de 10 anos



Fonte: Autor (2023).

No cenário analisado em Catu, é evidente que a extensão da mancha de inundação varia de acordo com os diferentes tempos de retorno. Para o tempo de retorno de 25 anos, é possível observar um aumento na concentração de água em relação ao tempo de retorno anterior, como demonstrado na Figura 20.

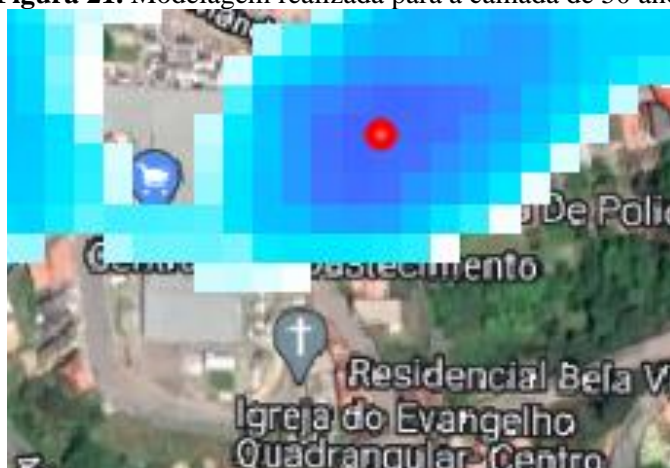
Figura 20. Modelagem realizada para a camada de 25 anos



Fonte: Autor (2023).

Já para o tempo de 50 anos, percebe-se que no mesmo ponto há uma concentração de água em tons de azul mais claro, porém, em uma proporção significativamente maior que o tempo de retorno anterior (Figura 21).

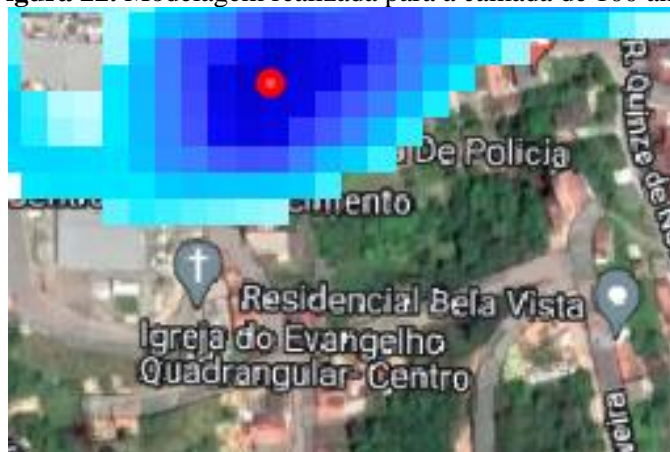
Figura 21. Modelagem realizada para a camada de 50 anos



Fonte: Autor (2023).

No cenário de 100 anos do tempo de retorno, a situação se agrava, a tal ponto que, a identificação precisa do centro de abastecimento da cidade torna-se impossível devido ao grande volume de água, resultando em uma inundação total, como evidenciado na Figura 22.

Figura 22. Modelagem realizada para a camada de 100 anos



Fonte: Autor (2023).

4.5 Modelagem do Prejuízo

De acordo com informações fornecidas pela atual Coordenação da Feira Municipal de Catu, cerca de 200 feirantes dependem da renda gerada por suas mercadorias. Cada feirante obtém um lucro médio de R\$ 250,00 por semana. Considerando os 200 feirantes, o lucro semanal atinge aproximadamente R\$ 50.000,00. A importância do desenvolvimento da feira na cidade é evidente, pois gera uma atividade econômica significativa tanto para os vendedores quanto para os compradores.

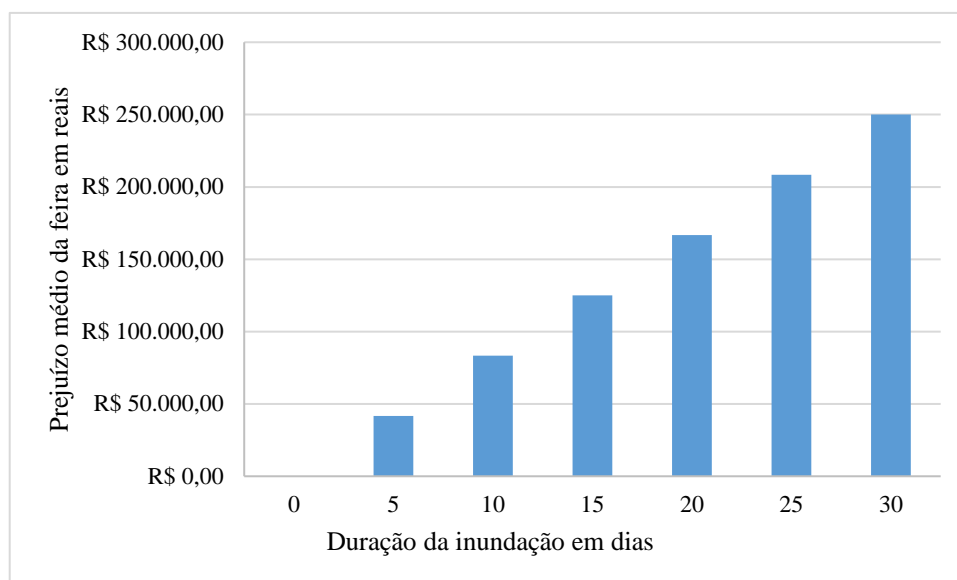
O setor agrícola da cidade de Catu é discutido em eventos públicos conduzidos pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano local, que oferece cursos voltados para a área, como o curso Técnico em Agropecuária. Isso contribui para o crescimento da feira livre e traz inovação para a agricultura familiar. A maioria dos feirantes reside nas zonas rurais dos bairros, onde cultivam produtos agrícolas, como hortaliças, frutas, verduras e farinha, fortalecendo a agricultura familiar.

A feira opera de segunda-feira a sábado, com maior movimento de clientes nas sextas-feiras e sábados. Embora o lucro semanal de cada feirante não seja alto, qualquer impedimento para que eles realizem vendas ocasionará um impacto significativo em suas vidas, privando-os de recursos essenciais para sua subsistência. Além disso, inundações, como as que afetam parte da feira durante fortes chuvas, interrompem as vendas, causando prejuízos à cidade.

Considerando os dados atuais do quantitativo de feirantes e seu lucro médio semanal, a estimativa de dano relativo aos dias de paralização (DDP) da feira por conta

de inundações pode atingir o total de R\$ 250.000,00 de prejuízo em 30 dias, como mostra o gráfico da figura 23.

Figura 23. Dano relativo aos dias de paralização das áreas atingidas.



Ao analisar o PIB per capita da cidade, caracterizado por R\$ 11.003,76 (IBGE, 2022), constata-se que os feirantes fazem parte da população economicamente ativa, representando 16,9% da população ocupada.

Com os dados da análise da mancha de inundação, foram realizadas regressões lineares para obter equações matemáticas que podem ser utilizadas para estimar o impacto, em área inundada e altura da água, em diferentes tempos de retorno. Os coeficientes de determinação R^2 que, quanto mais próximo de 1, melhor demonstra o ajuste do modelo, foram de 0,85 e 0,98 para as variáveis área inundada e altura da água, respectivamente (Figuras 24 e 25).

Figura 24. Regressão linear para a variável área inundada estimada em tempos de retorno.

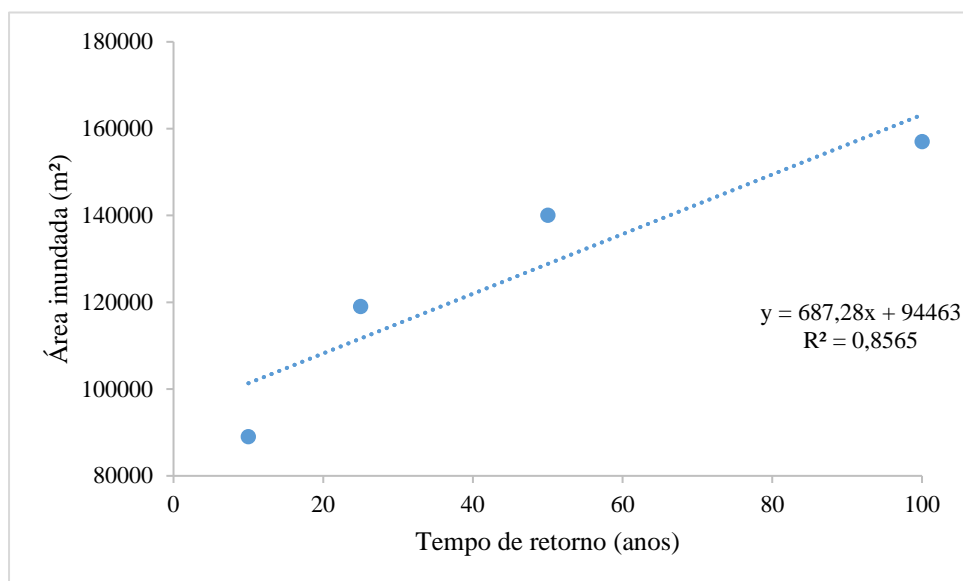
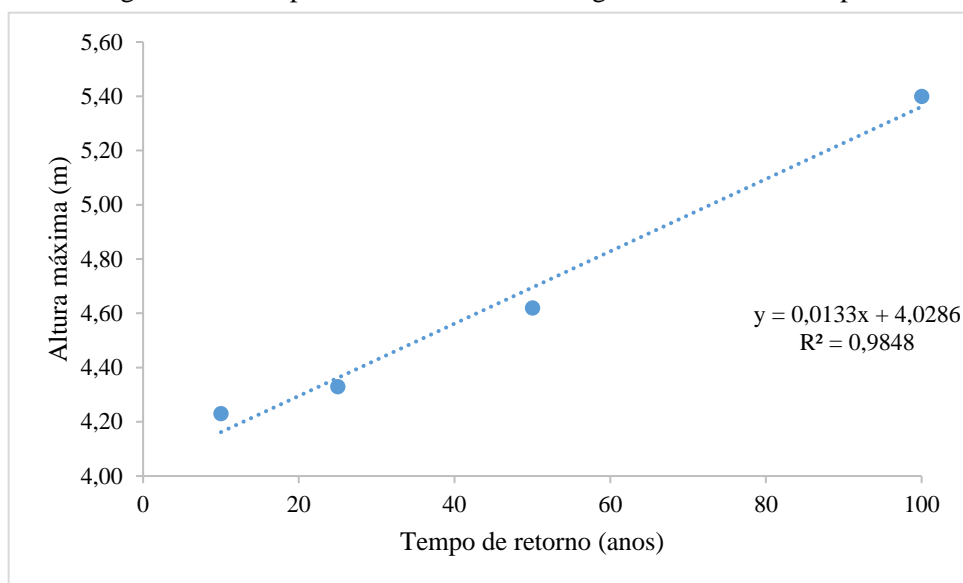


Figura 25. Regressão linear para a variável altura da água estimada em tempos de retorno.



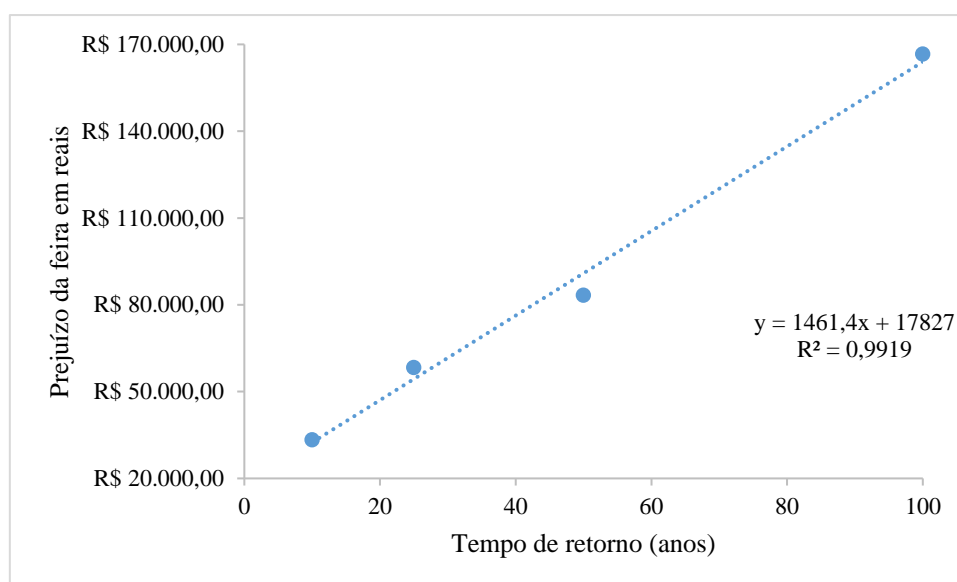
Considerando os dados da análise da mancha de inundação para os tempos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos, classificou-se as inundações da feira em 4 níveis diferentes e determinou-se, de forma hipotética, a quantidade de dias de paralização para o cálculo de prejuízo financeiro em função do DDP, apresentados na tabela 4:

Tabela 4. Classificação hipotética de inundações da feira em função dos tempos de retorno e dias de paralização.

Tempo de retorno	Nível de inundação	Dias de paralização
10 anos	Pequena	4
25 anos	Média	7
50 anos	Grande	10
100 anos	Total	20

Com os dados da tabela 4 e da figura 23, foi realizada uma regressão linear para obter a equação matemática que pode ser utilizada para estimar o prejuízo financeiro em reais em diferentes tempos de retorno. O coeficiente de determinação R^2 foi 0,99 (figura 26).

Figura 26. Estimativa de prejuízo financeiro em diferentes tempos de retorno.



Considerando uma situação hipotética com base nos dados obtidos, para uma inundação com um tempo de retorno de 75 anos, a feira seria inundada em uma área de 146.000 m², com altura máxima da água em 5,03 m e prejuízo em torno de R\$ 637,00 por feirante e R\$ 127.432,00 total.

Além disso, em caso de inundação total do centro de abastecimento, a prefeitura teria custos significativos para reconstruir a área afetada. Isso ressalta a relevância dessa pesquisa para a população local.

A análise de danos causados pelas inundações também se baseou em estudos, como o de Fadel (2015) e Silva (2021) que quantificou os prejuízos econômicos

associados a cada nível de inundação, assim como calculou os tempos de retorno para cada magnitude de cheia e o prejuízo econômico associado a ele.

Tomando como base essa modelagem apresentada, é importante destacar que os danos utilizados nesse trabalho não abrangem todos os danos potenciais observados em um evento de inundação, podendo variar de forma substancial conforme as características da região estudada.

Em resumo, essa pesquisa permitiu mensurar os danos causados aos feirantes em relação aos dias parados em Catu – BA e também proporcionou uma avaliação dos riscos e prejuízos associados a eventos de inundação, que são cruciais para a formulação de estratégias de gestão de riscos e medidas preventivas. Além disso, esses resultados podem servir como base para políticas públicas destinadas a fortalecer a resiliência da comunidade local diante de eventos climáticos extremos.

5 CONCLUSÃO

Esse estudo revelou *insights* importantes sobre as inundações causadas pela chuva no bairro de Santa Rita, na cidade de Catu (Bahia). A proximidade do bairro com o rio Catu e a presença de uma pequena barragem foram identificadas como fatores que mitigam os impactos das inundações, uma vez que essa área recebe a vazão das três sub-bacias.

Os modelos hidrológicos e hidrodinâmicos, em conjunto com o software QGIS, desempenharam um papel fundamental na construção da simulação e na análise dos resultados. Vale ressaltar que essa simulação levou em conta um momento no tempo, futuramente com o aumento da impermeabilização, a situação pode piorar. Portanto, esta pesquisa demonstrou a relevância dessas simulações para o município, fornecendo novas percepções sobre o comportamento da vazão e das inundações na área.

É importante ressaltar que as inundações representam um perigo para o comércio local, a feira livre e o tráfego de pessoas, especialmente considerando o tempo de retorno de 100 anos. Essas áreas se tornam especialmente vulneráveis nessas condições extremas.

A implementação de soluções e estratégias para gerenciar eventos de chuvas intensas é crucial para reduzir as perdas econômicas e fortalecer a resiliência da comunidade. De acordo com o problema de pesquisa inicialmente identificado, ficou claro que as inundações causam sérios prejuízos para a população feirante de Catu, impactando tanto em perdas de vidas como em prejuízos econômicos.

Acreditamos que ao compreender os custos e danos econômicos associados às inundações, poderíamos desenvolver estratégias e medidas de adaptação que contribuiriam para uma convivência mais resiliente e sustentável diante de eventos de chuvas intensas.

Essas conclusões ressaltam a necessidade de medidas de mitigação e adequado planejamento urbano, visando a minimização dos riscos e impactos das inundações. A compreensão dos padrões de inundação, a identificação de áreas de alto risco e o desenvolvimento de estratégias de gestão de águas pluviais são fundamentais para promover a segurança e a resiliência da comunidade local.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. G. DE; SOBRINHA, L. A.; BRANDÃO, J. L. B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 239–250, 19 jan. 2017.
- ALMEIDA, L.; SERRA, J. C. V. Modelos Hidrológicos, tipos de aplicações mais utilizadas. **Revista Fae**, Curitiba, v.20. n.1, p. 139 – 137, jan/jun. 2017.
- ALVES, G. J. **Aplicabilidade do método CN-SCS a uma bacia hidrográfica representativa dos latossolos no Sul de MG**. Universidade Federal de Lavras (Dissertação de mestrado), 2016.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual Básico HEC-RAS 5.0.3 Ruptura de Barragem**. 2018.
- ARAÚJO, A. M.; RIBEIRO, E. M. Feiras e desenvolvimento: impactos de feiras livres do comércio urbano no Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 7, n. 2, p. 300, 29, 2018.
- ARAÚJO, S. S. **Administração de Desastres: conceitos e tecnologias**. Manual de Planejamento Contra Emergências – Secretaria de Estado de Defesa Civil. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSIS, T. R. P. *et al.* Impactos das feiras de produtores rurais no comércio urbano em municípios do vale do Jequitinhonha. **Anais do XLIV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural**. Fortaleza, 2006.
- BACK, Á. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 391–398, abr. 2012.
- BARBOSA, A. E.; FERNANDES, J. N.; DAVID, L. M. Key issues for sustainable urban stormwater management. **Water Research**, v. 46, n. 20, p. 6787–6798, dez. 2012.
- BENINI, S. M. **Dinâmica fluvial no espaço urbano: aspectos relevantes**. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**. 2017
- BIANCHI, C. I.; CAMPOS, P. M. B. G. M. A review of the study of environmental modeling tools to understand the real impact of cosmetic products on environmental safety. **Biomedical and Biopharmaceutical Research**, v. 20, n. 1, p. 126–135, 2023.
- BORGES, P. G. **Estudo Hidroquímico das águas subterrâneas do Município de Catu-Bahia**. Universidade Federal da Bahia, UFBA. 2015.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional da Defesa Civil. Centro de Gerenciamento de Riscos e desastres. **Anuário brasileiro de desastres naturais**, 2012. Disponível em:

<http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=e3cab906-c3fb-49fa-945d-649626acf790&groupId=185960> Acesso em: 13 out. 2023.

BRITO, P. L.; OLIVEIRA, G. A. Caracterização de Aplicações de Informações Geográficas Voluntárias na Gestão de Riscos Hidrológicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Salvador p. 143-161, 2016.

CEPRANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A, F. **Intensidade pluviométrica**: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. INPE, 2004.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de projeto**. 3.ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgart Blucher, 1ª Edição, 2015.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas-RS. **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, p.245-255, 2008.

DIGININO, R. S.; CARPI JUNIOR, S. Risco Ambiental: conceitos e aplicações. **Revista de Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, vol.2, p. 50, jul/dez. 2007.

DINIZ, M. T. M. Contribuições ao ensino do método hipotético-dedutivo a estudantes de Geografia. **Geografia. Ensino & Pesquisa**, 19 (2), 107–111, 2015.

EMBRAPA. **Aspectos Ecológicos – florestas**. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/aspec.htm>. Acesso em: 12 out. 2023

FADEL, A. W. **Incorporação do risco de prejuízo no gerenciamento de medidas de controle de inundação**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

FARIAS JUNIOR, J. E. F.; BOTELHO, R. G. M. **Análise comparativa do tempo de concentração: um estudo de caso na bacia do rio cônego, município de Nova Friburgo/RJ**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

FERREIRA, J. C.; DANIEL, L. A.; TOMAZELA, M. Parâmetros para equações mensais de estimativas de precipitação de intensidade máxima para o Estado de São Paulo - Fase I. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.1175-1187, 2005.

FESTA, G. I. *et al.* Calculating Economic Flood Damage through Microscale Risk Maps and Data Generalization: A Pilot Study in Southern Italy. **Sustainability**, 2022.

FIGUEIRAS, C. A. Modelagem Ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: O paradigma Geostático por inundação. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. 2001.

FREITAS, C. M.; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, 17(6):1601-1615, 2012.

GARCIA, F. R. **Comparação de MTDs a partir do acoplamento de modelo hidrológico e hidrodinâmico aplicado à identificação de áreas de inundações urbanas**. Universidade Federal da Bahia, UFBA. 2021.

GUIMARÃES, P. de O.; SANTOS, A. M. dos. Spatial analysis of deforestation factors in the Atlantic Forest Biome / Brazil. **Revista GEOgrafias**, p. 1–19, 2023.

HORA, S. B. Mapeamento e avaliação do risco a inundações do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 21 (2): 57-75, ago. 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Catu**. 2023. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/catu/historico>> Acesso em: 13 out. 2023.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Catu: População**. 2022. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/catu/>> Acesso em: 13 out. 2023.

INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em <<https://portal.inmet.gov.br/normais>> Acesso em: 18 nov. 2023.

JONOV, C. M. P.; NASCIMENTO, N. DE O.; SILVA, A. DE P. E. Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 1, p. 75–94, mar. 2013.

KUREK, R. K. M. **Avaliação do Tempo de Retorno dos Níveis das Inundações no Vale do Taquari/RS**. Centro Universitário Univates. 2012.

LEITÃO, F. T. **Modelagem hidrodinâmica 1d, 1d/2d e 2d do efeito de maré no rio Cocó** (Dissertação de mestrado). Fortaleza, 2018.

LOURENÇO, G. M. **Indicadores Econômicos**. Universidade do Rio Grande do Sul, UFRGS. 2002

LOURENÇO, L; NUNES, A. Riscos Hidrometeorológicos. **Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança**, Coimbra. 2018.

MAPBIOMAS. **Coleções MapBiomas**. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 13 out. 2023.

MARINHO FILHO, G. M. M. *et al.* Modelos Hidrológicos: conceitos e aplicabilidade. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas; v.6, p35 a 47. 2012.

MARTEL, J. L. *et al.* Climate Change and Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves: Overview of Science and Guidelines for Adaptation. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 26, n. 10, out. 2021.

BRUNO, L. S. MATOS, T. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Modelagem de Bacias Hidrográficas com o HEC – RAS. **Universidade Federal de Minas Gerais**, 2021.

MELLO, C. R. *et al.* Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.925-933, 2003

MENEZES, M. A. A. **Educação profissional, agricultura familiar e desenvolvimento local e regional: o instituto federal de educação baiano campus catu**. Universidade Salvador, UNIFACS. 2011.

MONTE, B. E. O.; GOLDENFUM, J. A.; MICHEL, G. P.; CAVALCANTI, J. R. de A. Terminology of natural hazards and disasters: A review and the case of Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 52, p. 101970, jan. 2021.

MOREIRA, P. G. *et al.* Estimativa dos parâmetros de equações de intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para o estado da Bahia, brasil. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 1, n. 14, p. 151-164, fev. 2021. 2020.

NYAMATHI, S. J.; KUMAR, H. K. Y. Generation of Intensity Duration Frequency Curve Using Daily Rainfall Data for Aghanashini River Watershed. **Uttara Kannada**, 2021. p. 647–654.

OKADA, O. K. **Escoamento Fluviais e Riscos Hidrológicos em Bacias de Montanha do Parque Natural de Montesinho, NE de Portugal: variabilidade espacial e tendências temporais**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2019.

OLIVEIRA, A. M. de. **Mapeamento de áreas de suscetíveis a inundações por rompimento de barragem em ambiente semiárido**. Universidade de São Paulo (Tese de doutorado em Geografia Física). p. 1-142. 2016.

OLIVEIRA, E. L. A. Vulnerabilidade: A Questão Central da Equação de Risco. **Geografia, Ensino e Pesquisa**, v. 22, p. 01-09, 2018.

OLIVEIRA, L. F. C; ANTONINI, J. C.; GRIEBELER, N. Métodos de estimativa de precipitação máxima para o Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 620-625, 2008.

ORTIZ, J. A. V.; MARTÍNEZ-GRANA, A. M. Calculation of precipitation and seismicity thresholds as triggers for mass movements in the region of Bucaramanga, Colombia. **Ecological Indicators**, v. 152, p. 110355, ago. 2023.

PEREIRA, J. M. A. *et al.* Impacto das mudanças climáticas na saúde pública: revisão integrativa. **Revista Eletrônica Acervo Saúde**, v. 12, n. 11, p. e4720, nov. 2020.

PEREIRA, S. B. *et al.* Equação de Intensidade, Duração e Frequência da Precipitação para a Região de Dourados, MS. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)**, 2007.

PORCIÚNCULA, R. DE J.; LIMA, O. A. L. DE; LEAL, L. R. B. Método geoeletrico - potencial instrumento para auxílio da gestão do solo e dos recursos hídricos subterrâneos: estudos de caso, Alagoinhas, Bahia. **XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**, 2016.

PRINA, B. Z.; TRENTIN, R. Tempo de retorno de inundações: aplicação metodológica. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 22, n. 3, p. 670-686, dez. 2018. ISSN 2179-0892

REIS, P. A.; SCHMIDT, M. A. Avaliação dos Modelos HEC-RAS e GRASS na identificação de Áreas Vulneráveis a Inundações em Áreas Urbanas. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. v. 1, 115-126, 2017.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Capítulo 2: Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica**. 2002

RODRIGUES, R. S. S. *et al.* Análise dos efeitos de um evento extremo de chuva sobre o escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural amazônica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, n. April 2018, p. 368–392, 2020.

SANTOS, S. R. Q. *et al.* Frequency of extreme dry and rain events in Amazon using different precipitation data bases. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, 2017.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Análise de Atributos Climáticos do Estado da Bahia**. 1999.

SILVA NETO, V. L. *et al.* Relação intensidade-duração-frequência (IDF) para precipitação extrema em Guaraí-TO. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 1147, 2016.

SILVA, D. F. *et al.* Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 2, p. 449–464, 7 abr. 2020.

SILVA, E. D. Determinação da cota de inundação severa com base no critério de prejuízos econômicos associados: aplicação ao município de São Sebastião do Caí - RS. **XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2021.

SIQUEIRA, R. C. **Proposição de metodologia para construção de gráfico de risco de inundações em bacias urbanas: estudo de caso bacia do córrego cachoeirinha**. Escola de Engenharia da UFMG. 2017.

SOBIERAJ, J.; BRYX, M.; METELSKI, D. Stormwater Management in the City of Warsaw: A Review and Evaluation of Technical Solutions and Strategies to Improve the Capacity of the Combined Sewer System. **Water**, v. 14, n. 13, p. 2109, 1 jul. 2022.

SOPRANI, M. A.; REIS, J. A. T. Proposição de equações de Intensidade-Duração-Frequência de precipitações para a bacia do rio Benevente, ES. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, v.1, p.18-25, 2007.

TACHINI, M. **Avaliação de danos associados às inundações no município de Blumenau**. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

TEMEZ, J. R. Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos em pequeñas cuencas naturales. Madrid: Ministério de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU). **Dirección General de Carreteras**, n. 12, 1978.

TEODORO, P. H. M.; NUNES, J. O. R. Os alagamentos em Presidente PrudenteSP: um trabalho interdisciplinar embasado no mapeamento geológico. **Revista Formação**, n.17, volume 2 – p. 81-102. São Paulo, 2007.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. São Paulo/Porto Alegre: Edusp/UFRGS, cap. 16. p. 621-658, 1993.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol.2 – jul/dez, 2007

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). **HEC-RAS: river analysis system, user's manual**. Davis: Hydrologic Engineering Center, 2002.

USACE-HEC. **Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.3 – User's Manual**, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, September 2008.

WEATHERSPARK. **Clima e condições meteorológicas médias em Catu no ano todo**. 2023. Disponível em <<https://pt.weatherspark.com/y/31064/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Catu-Brasil-durante-o-ano#:~:text=Chove%20ao%20longo%20do%20ano,mil%C3%ADmetros%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20de%20chuva.>> Acesso em: 13 out. 2023.

WESTRA, S. *et al.* Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. **Reviews of Geophysics**, v. 52, n. 3, p. 522–555, set. 2014.

WINKLER, A. S. *et al.* Estimativa do tempo de concentração de uma bacia hidrográfica: comparação entre metodologias. **XVIII CIC - XI EPOS I Mostra científica**, 2009.

ANEXO

Anexo 1. Tabela do Hietograma para os tempos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos

Instante (min)	Intensidade (mm/h)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Alternada (mm)	Instante (min)	Intensidade (mm/h)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Alternada (mm)
5	129.87	10.82	10.82	1.49	5	151.21	12.60	12.60	1.74
10	107.23	17.87	7.05	1.82	10	124.85	20.81	8.21	2.12
15	91.97	22.99	5.12	2.33	15	107.08	26.77	5.96	2.72
20	80.91	26.97	3.98	3.23	20	94.20	31.40	4.63	3.76
25	72.49	30.20	3.23	5.12	25	84.40	35.17	3.76	5.96
30	65.84	32.92	2.71	10.82	30	76.65	38.33	3.16	12.60
35	60.43	35.25	2.33	7.05	35	70.36	41.04	2.72	8.21
40	55.95	37.30	2.05	3.98	40	65.14	43.43	2.38	4.63
45	52.16	39.12	1.82	2.71	45	60.73	45.55	2.12	3.16
50	48.91	40.76	1.64	2.05	50	56.94	47.45	1.91	2.38
55	46.09	42.25	1.49	1.64	55	53.66	49.19	1.74	1.91
60	43.61	43.61	1.37	1.37	60	50.78	50.78	1.59	1.59

Instante (min)	Intensidade (mm/h)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Alternada (mm)	Instante (min)	Intensidade (mm/h)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Alternada (mm)
5	169.65	14.14	14.14	1.95	5	190.34	15.86	15.86	2.18
10	140.07	23.35	9.21	2.38	10	157.15	26.19	10.33	2.67
15	120.14	30.03	6.69	3.05	15	134.79	33.70	7.50	3.42
20	105.69	35.23	5.20	4.22	20	118.58	39.53	5.83	4.74
25	94.69	39.45	4.22	6.69	25	106.24	44.27	4.74	7.50
30	86.00	43.00	3.55	14.14	30	96.49	48.24	3.98	15.86
35	78.94	46.05	3.05	9.21	35	88.57	51.66	3.42	10.33
40	73.08	48.72	2.67	5.20	40	81.99	54.66	3.00	5.83
45	68.13	51.10	2.38	3.55	45	76.44	57.33	2.67	3.98
50	63.89	53.24	2.14	2.67	50	71.68	59.73	2.40	3.00
55	60.20	55.19	1.95	2.14	55	67.54	61.92	2.18	2.40
60	56.97	56.97	1.79	1.79	60	63.92	63.92	2.00	2.00

Fonte: Autor (2023).