

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL**

Maria Clara Dutra Fumian

**Estudo preliminar de um reservatório de amortecimento de cheias para
controle de inundações em Espera Feliz/MG**

Juiz de Fora

2024

Maria Clara Dutra Fumian

**Estudo preliminar de um reservatório de amortecimento de cheias para
controle de inundações em Espera Feliz/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Especialização
em Gestão Pública em Proteção e Defesa
Civil da Universidade Federal de Juiz de
Fora como requisito parcial à obtenção do
título de Especialista.

Orientador: Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Dutra Fumian, Maria Clara.

Estudo preliminar de um reservatório de amortecimento de cheias para controle de inundações em Espera Feliz/MG / Maria Clara Dutra Fumian. -- 2024 .

59 p. : il.

Orientador: Celso Bandeira de Melo Ribeiro

Trabalho de Conclusão de Curso (especialização) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia. Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil, 2024 .

1. Reservatórios de Detenção. 2. Inundações. 3. Métodos Expeditos. 4. Drenagem Urbana. 5. Hidrologia. I. Ribeiro, Celso Bandeira de Melo, orient. II. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO PÚBLICA EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

Ata da sessão pública referente à defesa do Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado "Estudo preliminar de um reservatório de amortecimento de cheias para controle de inundações em Espera Feliz/MG" pela discente Maria Clara Dutra Fumian, matrícula 112960065, sob orientação do professor Celso Bandeira de Melo Ribeiro.

Aos 19 dias do mês de junho do ano de 2024, às 14 horas, na modalidade virtual, reuniu-se a Banca Examinadora do TCC em epígrafe, com a seguinte composição:

Orientador: Dr. Celso Bandeira de Melo Ribeiro (UFJF).

Examinador 1: Dr. Christian Ricardo Ribeiro (UFABC).

Examinador 2: Dr. Marconi Fonseca de Moraes (UFJF).

Tendo o senhor Presidente declarado aberta a sessão, mediante o prévio exame do referido trabalho por parte de cada membro da Banca, o discente procedeu a apresentação de seu Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-graduação lato sensu e foi submetido à arguição pela Banca Examinadora que, em seguida, com base na nota 9,75 calculada pela planilha de avaliação do curso, deliberou sobre o seguinte resultado:

Reprovação por nota (Conceito R)

Aprovação por nota (Conceito A).

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Christian Ricardo Ribeiro, Usuário Externo**, em 28/07/2024, às 20:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marconi Fonseca de Moraes, Professor(a)**, em 29/07/2024, às 07:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Celso Bandeira de Melo Ribeiro, Professor(a)**, em 31/07/2024, às 10:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1888720** e o código CRC **075927E8**.

Referência: Processo nº 23071.908703/2023-44

SEI nº 1888720

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho de conclusão de curso não teria sido possível sem o apoio, a orientação e a colaboração de diversas pessoas e instituições às quais sou profundamente grata.

Primeiramente, agradeço a Deus, por me conceder saúde, força e perseverança ao longo de toda esta jornada.

Aos meus pais e irmãos, por sempre acreditarem no meu potencial. Vocês são minha inspiração e motivo de todo meu esforço.

Ao meu noivo, por todo amor, paciência e apoio incondicional em todos os momentos desafiadores enfrentados nessa caminhada.

Ao meu orientador, pela dedicação, paciência e valiosas orientações que foram essenciais para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos, pelo companheirismo, pelas conversas motivadoras e por compartilharem comigo momentos de alegria e dificuldades durante essa caminhada acadêmica.

Ao Wagner Villa Verde, meu chefe e grande parceiro no desenvolvimento das ações de proteção e defesa civil no município de Espera Feliz.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

RESUMO

Este estudo teve como propósito calcular a vazão necessária para determinar o volume de detenção capaz de reduzir em 30% a vazão máxima em um local específico da bacia de estudo, situado no bairro João Clara, em Espera Feliz-MG. A utilização de métodos expeditos para estimar a vazão de projeto e o volume de detenção foi crucial devido à falta de dados observados de vazão em tempo real na área, onde não há estação fluviométrica para monitoramento. Além disso, dados de outras pesquisas na região forneceram informações algébricas, morfológicas e hidrológicas que foram essenciais para garantir resultados consistentes e permitir conclusões embasadas neste estudo. Foram discutidas as características, aplicações e pré-dimensionamento do reservatório de detenção. Os procedimentos metodológicos incluíram a aplicação dos métodos de Kokei Uehara e do Método Racional para determinar a vazão de projeto e o volume de detenção necessário para atenuar a vazão de pico. Um levantamento bibliográfico foi realizado para complementar as informações sobre os métodos de cálculo utilizados e obter dados específicos sobre a área da bacia hidrográfica estudada. Os resultados indicaram que, embora a área disponível para o reservatório não suporte todo o volume necessário para uma redução de 30% na vazão de projeto, foi possível alcançar uma redução de 42% deste objetivo inicial. Conclui-se, portanto, que a implementação de medidas para atenuar a vazão de projeto e amortecer cheias, baseadas em princípios sustentáveis e integração adequada, possui um potencial significativo para melhorar o sistema de drenagem. Essas ações têm um impacto positivo na gestão das águas pluviais ao aumentar a capacidade de lidar com inundações de maneira mais eficaz.

Palavras-chave: Reservatórios de Detenção, Inundações, Métodos Expeditos, Drenagem Urbana, Hidrologia.

ABSTRACT

This study aimed to calculate the flow required to determine the detention volume capable of reducing peak flow by 30% at a specific location in the study basin, situated in the João Clara neighborhood, Espera Feliz-MG. The use of expedited methods to estimate design flow and detention volume was crucial due to the lack of real-time observed flow data in the area, where there is no stream gauge for monitoring. Additionally, data from other research in the region provided algebraic, morphological, and hydrological information that was essential to ensure consistent results and allow informed conclusions in this study. The characteristics, applications, and preliminary design of the detention reservoir were discussed. Methodological procedures included applying the Kokei Uehara and Rational Method to determine design flow and the detention volume required to mitigate peak flow. A literature review was conducted to supplement information on the calculation methods used and to obtain specific data about the study basin area. The results indicated that while the available area for the reservoir does not support the entire volume needed for a 30% reduction in design flow, it was possible to achieve a reduction of 42% of this initial objective. Therefore, it is concluded that implementing measures to attenuate design flow and mitigate floods, based on sustainable principles and appropriate integration, has significant potential to improve drainage systems. These actions positively impact stormwater management by increasing the capacity to handle floods more effectively.

Keywords: Detention Reservoirs, Floods, Expedited Models, Urban Drainage, Hydrology.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	07
1.1	JUSTIFICATIVA.....	09
1.2	OBJETIVOS.....	16
1.2.1	Objetivo geral.....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO.....	19
2.1.1	Manutenção e estrutura.....	22
2.1.2	Dimensionamento.....	23
2.2	MÉTODOS EXPEDITOS.....	24
2.2.1	Método de Kokei Uehara.....	25
2.2.2	Método Racional.....	26
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	28
4	METODOLOGIA.....	33
4.1	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	33
4.2	APLICAÇÃO DOS MÉTODOS, ROTINA DE CÁLCULOS E RESULTADOS.....	34
5	DISCUSSÃO.....	49
6	CONCLUSÃO.....	51
7	RECOMENDAÇÕES.....	52
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Desde o final do século XVIII, sob efeitos da Revolução Industrial, a migração da população rural para as cidades se deflagrou em um fenômeno significativo e intimamente ligado ao crescimento desordenado do espaço urbano.

Em busca de condições dignas de moradia, o êxodo do campo para as cidades muitas vezes condiciona populações com fragilidades sociais à ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis, como é o caso das áreas de risco de inundação e deslizamentos de encosta.

Na primeira década do século XXI foi que, pela primeira vez na história, o número de pessoas vivendo em cidades ultrapassou o número de pessoas vivendo no campo (ONU, 2012). Conforme o Relatório Mundial das Cidades de 2022, documento bianual lançado pelo Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos (ONU-Habitat), a população mundial será 68% urbana até 2050 (ONU, 2022).

O crescimento populacional nas áreas urbanas, somado à ausência de planejamento e à ocupação irregular do solo acarretam na redução da taxa de infiltração, minimizando a recarga dos aquíferos e aumentando o escoamento superficial que, para Tucci (2005), é considerado um dos principais meios de poluição dos cursos d'água e aquíferos.

O aumento da velocidade de escoamento impossibilita a infiltração das águas pluviais no solo e cresce proporcionalmente à capacidade erosiva, resultando no aumento da magnitude e frequência das inundações (Tucci, 2007).

As ocorrências de enchentes e inundações nas áreas urbanas acontecem devido à intensidade das precipitações e se agravam por consequência das condições das bacias hidrográficas, que sofrem alterações resultantes da urbanização e da falta de planejamento do uso do solo, como por exemplo, a ocupação dos leitos dos rios (Pompêo, 2000).

A variabilidade climática atual, com tendência para o aquecimento global, está associada a um aumento de extremos climáticos. Nesta situação, os eventos de temporais, de chuvas intensas, de tornados ou de estiagens severas, entre outros, podem tornar-se mais frequentes, aumentando a possibilidade de incidência de desastres (Amaral; Ribeiro, 2009).

No Brasil, os principais fenômenos relacionados a desastres são derivados da dinâmica externa da Terra, tais como, inundações e enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades (Figura 1).

Estes fenômenos ocorrem normalmente associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, nos períodos chuvosos que correspondem ao verão na região Sul e Sudeste e ao inverno na região Nordeste (Amaral; Ribeiro, 2009).

Figura 1 – Distribuição por região dos desastres atendidos pela Defesa Civil Nacional

Saiba quais são os desastres mais frequentes atendidos pela Defesa Civil:



Fonte: SEDEC (2009) apud Amaral; Ribeiro (2009).

Nota: Ilustração original editada para melhoria da qualidade e clareza da leitura.

Ao longo dos anos de estudo e olhares voltados para as questões de Gerenciamento do Risco de Desastres, gradativamente, firma-se o entendimento de que riscos e sua consequente materialização em desastres não são naturais, são construídos pela forma com que a sociedade modifica o ambiente, apropria-se de seus recursos e organiza suas atividades no território (MDR, 2021).

Para Romero e Maskrey (1993), os riscos são resultado de baixo desenvolvimento socioeconômico ou de problemas não resolvidos do desenvolvimento. Portanto, as ameaças podem ser resultadas de processos naturais, socioambientais ou tecnológicos, mas o risco sempre é resultado da relação do desenvolvimento sociopolítico, cultural e econômico nos territórios suscetíveis a tais ameaças.

Percebendo os desastres como fenômenos resultantes de ações antrópicas e não somente naturais, tem-se buscado construir entendimentos e, principalmente, ações mais amplas na Gestão do Risco de Desastres, como é o caso do município de Espera Feliz, localizado na mesorregião da Zona da Mata mineira, que decretou, por três anos consecutivos, Situação de Emergência (SE) em razão de fortes chuvas e dos impactos gerados pela situação adversa.

1.1 JUSTIFICATIVA

A necessidade de investimento em infraestruturas para melhoramento dos sistemas de drenagem e controle de cheias, quase sempre é determinada após a ocorrência de grandes desastres (Pompêo, 2000).

Assim foi verificada a necessidade da construção de um reservatório de retenção no bairro João Clara, em Espera Feliz-MG, após o enfrentamento dos desastres causados pelas maiores inundações já registradas no município, em janeiro de 2020 e fevereiro de 2021.

Os eventos adversos instauraram Situação de Emergência (SE) no município por três anos consecutivos e, conforme dados do FIDE (Formulário de Informação do Desastre) cadastrado no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), o município de Espera Feliz-MG teve 86% do seu perímetro urbano diretamente atingido e, somente no ano de 2020, foi registrado o número de 2.226 (dois mil duzentos e vinte e seis) desabrigados (SINDPEC, 2020).

Segundo dados da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Social de Espera Feliz-MG – SEDESE (2024), o bairro João Clara, em sua maioria, é habitado por pessoas de alta vulnerabilidade social e/ou econômica e a grande parte dos imóveis surgiram de ocupações irregulares às margens do rio. Localizado na área mais baixa do município de Espera Feliz-MG, é primeiro local a ser inundado em caso de enchentes.

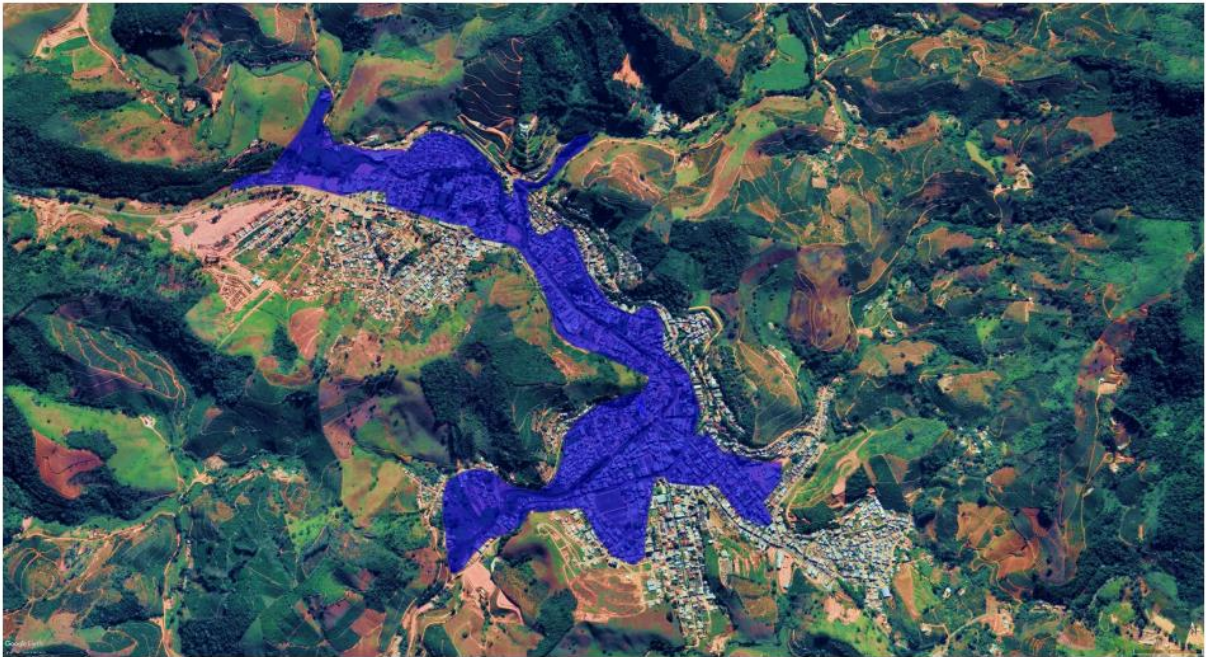
Vulnerabilidade é a condição intrínseca ao corpo ou sistema receptor que, em interação com a magnitude do evento ou acidente, caracteriza os efeitos adversos, medidos em termos de intensidade dos danos prováveis (Santa Catarina, 2012).

A intensidade do desastre depende muito mais do grau de vulnerabilidade ou de insegurança intrínseca dos cenários e das comunidades em risco do que da magnitude dos eventos adversos. Deste modo, as características da comunidade podem aumentar os danos provocados pelos desastres (Santa Catarina, 2012).

Nos anos de 2020 e 2021, em que a cidade teve 86% do seu perímetro urbano afetado diretamente pelas inundações (Figuras 2 e 3), o bairro João Clara teve grande parte de seus imóveis completamente submersos, visto que a cota de inundação atingiu, em alguns pontos, mais de 5,5 metros de altura (Figura 4).

Segundo dados do FIDE, foi estimado o prejuízo econômico para o setor privado de cerca de R\$ 94.810.000,00 e, em danos materiais, estima-se o valor de R\$ 71.100.000,00 (SINPDEC, 2020). Tais prejuízos podem ser retratados pelas Figuras 5, 6, 7, 8 e 9, que demonstram o cenário catastrófico vivenciado durante e após a ocorrência das inundações no município de Espera Feliz-MG.

Figura 2 – Mancha das áreas urbanas atingidas pela inundação de janeiro de 2020 em Espera Feliz-MG



Fonte: Defesa Civil Municipal (2021).

Figura 3 – Centro do município de Espera Feliz-MG acometido pela inundação de janeiro de 2020



Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Figura 4 – Imóveis submersos pela inundação de janeiro de 2020, no município de Espera Feliz-MG



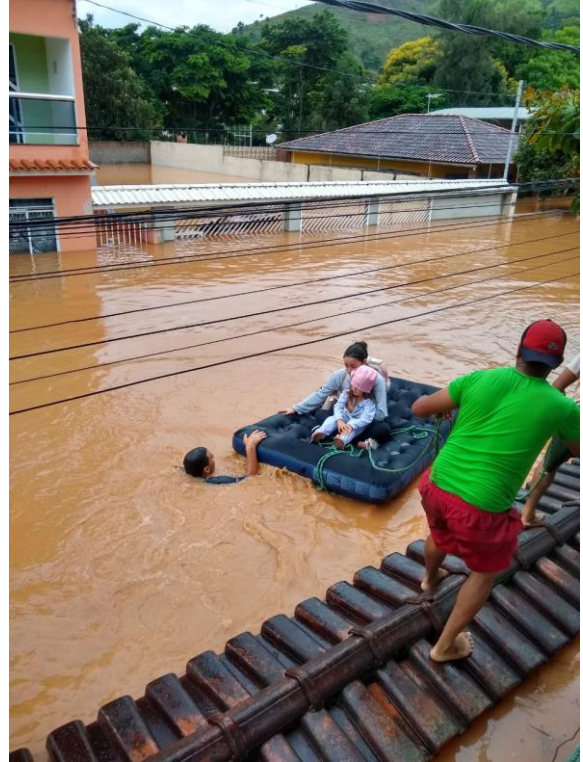
Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Figura 5 – Prefeitura de Espera Feliz, na região central, atingida pela inundação de janeiro de 2020



Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Figura 6 – Pessoas ilhadas durante a inundação de janeiro de 2020, em Espera Feliz



Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Figura 7 - Imóveis submersos pela inundação de janeiro de 2020, no município de Espera Feliz-MG



Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Figura 8 – Cenário pós inundação de janeiro de 2020, em Espera Feliz-MG



Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Figura 9 – Cenário pós inundação de janeiro de 2020, em Espera Feliz-MG



Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Além do alto índice pluviométrico nas cabeceiras dos rios São João e Caparaó, que desaguam dentro do perímetro urbano do município, um dos fatores que intensificaram o nível das inundações foi o acelerado processo de urbanização em áreas próximas ao curso dos rios.

Uma das características negativas do processo de urbanização e crescimento das cidades brasileiras, verificado principalmente nas regiões metropolitanas hoje em dia, é o aumento do número de pessoas vivendo em áreas de risco de escorregamentos, enchentes e inundações (Amaral, 1997).

Os reservatórios de detenção, popularmente conhecidos como "piscinões", são estruturas de armazenamento temporário que, após o período chuvoso, permanecem secas, desempenhando o papel de minimizar o impacto hidrológico da diminuição da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica, provocada principalmente pela impermeabilização do solo devido à urbanização (Tucci, 1997).

Embora as estruturas apresentem como principal função o amortecimento das ondas de cheias e a redução de enchentes e inundações urbanas, podem também proporcionar a recuperação da qualidade das águas dos córregos e rios urbanos, por meio da

captação de sedimentos e detritos posteriormente removíveis dos reservatórios (Pinto; França, 2016).

Além dos benefícios diretamente proporcionados pelo amortecimento de cheias na região, a implantação do reservatório no bairro João Clara é um auxílio potencial no combate a alguns efeitos causados pelo alto índice de vulnerabilidade e desigualdade social, visto que, no período de seca, pode ser utilizado como área de lazer e de prática de esportes.

No Brasil, o direito ao esporte, ao lazer, à prática desportiva e ao acesso a equipamentos comunitários, socializadores e inclusivos, considerando os mais diversos aspectos educacionais, sociais e culturais, é lei. De acordo com o Estatuto da Juventude, esses direitos se encontram no bojo dos direitos fundamentais da população jovem (ONU BR, 2016).

Portanto, além de mitigar os danos causados pelas inundações recorrentes no município de Espera Feliz-MG, a construção de um reservatório de retenção é um passo à frente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030 (Figura 10).

Figura 10 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de atingir a Agenda 2030



Fonte: ONU (2024).

O Agenda 2030 e os ODS (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável) são uma iniciativa global lançada pelas Nações Unidas em setembro de 2015. Seu objetivo principal é promover um desenvolvimento sustentável em nível mundial até o ano de

2030. A Agenda 2030 é composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Figura 10) e 169 metas, que abrangem áreas essenciais para melhorar a qualidade de vida das pessoas e proteger o meio ambiente.

A implantação de um piscinão de detenção e complexo esportivo no bairro João Clara desempenha um papel crucial na implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente no que diz respeito ao ODS 5 (Igualdade de Gênero), ao ODS 10 (Redução das Desigualdades), ao ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), e ao ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima).

No que tange à igualdade de gênero (ODS 5) e à redução das desigualdades (ODS 10), estas podem ser promovidas através da prática esportiva que é possibilitada a partir da implantação do complexo esportivo em um bairro com alto índice de vulnerabilidade social e ambiental.

Uma das questões mais controversas que o esporte enfrenta é a desigualdade de gênero. Não há apenas desigualdade na participação e oportunidade, mas também na remuneração e na cobertura da mídia. Na esfera esportiva, o termo equidade se refere a busca por oportunidades iguais a partir de suas diferenças. Desta forma, a implementação do esporte em áreas vulneráveis permite que homens e mulheres tenham direitos e acesso aos serviços esportivos, de lazer e recreação, promovendo a inclusão e equidade de gênero (Funiber, 2022).

É de suma importância a inclusão da prática esportiva e atividades de recreação em regiões de diversas vulnerabilidades, visto que o esporte tem uma ação transformadora na vida de qualquer indivíduo, pois permite entender o significado do processo educacional. Isso promove a reflexão sobre o exercício da cidadania, conceito de ética e como exercê-la; estimula atitudes de respeito, solidariedade, cooperação, sustentabilidade; incita o protagonismo de ser responsável; além de desenvolver o sentido de justiça e dedicação (Dias, 2022).

Para Dias (2022), quando damos acesso ao esporte para pessoas em situações distintas de vulnerabilidade, conseguimos garantir que recebam toda a estrutura necessária para que possam se desenvolver e, quem sabe, criar uma carreira de sucesso. A prática esportiva reduz a desigualdade e garante que todos, independentemente do status social, consigam treinar e descobrir seus talentos.

Acerca do cumprimento dos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), e ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), a implantação do reservatório

de detenção fortalece a resiliência da cidade e do bairro em face de desastres naturais e eventos climáticos extremos, visto que promove o planejamento urbano sustentável, a gestão de riscos de desastres e a infraestrutura resiliente.

Além disso, a implantação da estrutura supracitada colabora para integrar a redução do risco de desastres nas estratégias de adaptação às mudanças climáticas. Isso envolve, para além do controle de cheias, aumentar a conscientização sobre os riscos associados às mudanças climáticas e promover práticas de desenvolvimento que sejam resilientes aos impactos climáticos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho consistiu em, utilizando métodos adequados às características e dados locais, avaliar a redução da vazão através da implantação de um reservatório de detenção para amortecimento de cheia que, em períodos de seca, sirva como área de recreação no bairro João Clara, em Espera Feliz-MG.

1.2.2 Objetivos específicos

Foram elencados como objetivos específicos os seguintes pontos:

- a) Determinar a vazão de pico para o ponto exutório escolhido;
- b) Determinar a vazão de restrição para reduzir a vazão de pico em 30%;
- c) Determinar o volume de detenção necessário para amortecimento de cheia e redução do pico de vazão em 30%;
- d) Correlacionar os resultados obtidos nos cálculos com as áreas locais disponíveis para implantação de reservatórios;
- e) Propor continuidade no estudo de caso de forma aprofundada para o dimensionamento através de métodos mais precisos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O crescimento urbano no Brasil tem se concentrado principalmente em regiões metropolitanas e cidades que funcionam como centros regionais, ocorrendo de maneira desigual e com escasso planejamento, apesar da exigência de Planos Diretores Urbanos (Tucci, 2008).

Assim, segundo Rezende (2018), percebe-se que as principais consequências do crescimento urbano desordenado e da consequente impermeabilização do solo incluem: diminuição da capacidade de infiltração das águas pluviais, aumento na velocidade e volume do escoamento superficial, e elevação das vazões máximas. Tais impactos, consequentes da ocupação desordenada do solo, estão relacionados na Figura 11.

Figura 11 – Impactos gerados pela ocupação desordenada no ambiente urbano



Fonte: Tucci (2008).

Nota: Adaptado pela autora.

Os sistemas clássicos de drenagem urbana são caracterizados pelo rápido escoamento das águas pluviais e constituídos por microdrenagem e macrodrenagem. Podem ser classificados como sistemas de microdrenagem os meio-fios, sarjetas, bocas-de-lobo, tubulações de ligação, galerias e poços de visita. Já o sistema de

macrodrenagem são canais que, de forma geral, são representados por redes naturais de canais existentes antes da ocupação urbana, sendo compostos pelos córregos, riachos e rios localizados nos talwegues e vales (ReCESA, 2007).

O "conceito de canalização", amplamente aplicado por décadas ao redor do mundo e especialmente no Brasil, envolve a instalação de galerias e canais de concreto, o entubamento de córregos, a retificação de cursos d'água e o aumento das inclinações do leito, entre outras intervenções. O principal objetivo dessas medidas era facilitar o escoamento rápido das águas pluviais e, ao mesmo tempo, utilizar os fundos de vale como vias de tráfego, seja ao lado ou sobre os canais (Canholi, 2005).

Contudo, pode-se dizer que os sistemas clássicos de drenagem possuem alguns inconvenientes. Devido ao aumento na velocidade do escoamento, o sistema conduz as cheias para áreas a jusante com maior intensidade, frequentemente resultando em inundações nas regiões urbanas situadas a montante. Além disso, o sistema convencional não aborda adequadamente a manutenção e o controle da qualidade das águas. Com o crescimento desordenado da ocupação urbana, o sistema de drenagem existente frequentemente falha, levando a inundações, e a expansão desses sistemas para corrigir tais problemas se torna uma solução onerosa (Moura, 2004).

Como forma de mitigar os impactos negativos que o crescimento desordenado dos centros urbanos tem causado aos sistemas convencionais de drenagem, foi criado o método de Desenvolvimento urbano de baixo impacto (Low Impact Development - LID). O método atua no gerenciamento e controle do escoamento das águas pluviais, procurando imitar as condições hidrológicas de pré-desenvolvimento do local, usando técnicas de projeto para armazenar, infiltrar, evaporar e diminuir o escoamento superficial (Tavanti; Barbassa, 2010).

A abordagem do método de Desenvolvimento do Baixo Impacto (LID) difere do uso de sistemas convencionais ao integrar o manejo das águas pluviais diretamente no planejamento urbano. A adoção de técnicas de baixo impacto permite o crescimento urbano contínuo sem gerar custos excessivos, facilitando a adaptação do sistema de drenagem ao desenvolvimento urbano. Além disso, essas técnicas combinam o manejo das águas pluviais com aspectos urbanísticos e paisagísticos, promovendo uma abordagem integrada e sustentável para o ambiente urbano.

Essas tecnologias representam alternativas às soluções convencionais ao abordarem os impactos da urbanização de maneira abrangente, utilizando a bacia

hidrográfica como unidade de estudo. O objetivo é mitigar sistematicamente os efeitos da urbanização, controlando a geração de excessos de água devido à impermeabilização e evitando sua rápida transferência para áreas a jusante (Baptista, *et. al.*, 2005).

Para além das medidas estruturais elencadas para minimizar os impactos do crescimento urbano desordenado, é imprescindível citar as medidas não estruturais.

O Plano Diretor urbano deve incluir medidas para remediar problemas existentes e também programas educativos para a comunidade, capacitando-a a entender e lidar com as medidas estruturais e não estruturais aplicadas naquela região. A legislação local regulamentará as ações na área, enquanto a participação comunitária é crucial para o planejamento, implementação e contínua adesão às medidas de controle. Além disso, é essencial educar não apenas a comunidade, mas também os administradores das medidas, garantindo que as decisões sejam tomadas de forma consciente (Tucci, 2005).

Além do Plano Diretor urbano, o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) também é uma medida não estrutural relevante. De acordo com a Lei Federal nº 11.445/2007, conhecida como Lei de Saneamento Básico, todas as prefeituras são obrigadas a elaborar seu PMSB. Desde 2014, a ausência desse plano impede que a Prefeitura receba recursos federais para projetos de saneamento básico (Brasil, 2007).

Conforme estipulado pela mesma lei, o saneamento básico abrange serviços, infraestruturas e instalações operacionais relacionadas aos processos de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e gestão de resíduos sólidos (Brasil, 2007).

2.1 RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO

Existem várias técnicas de baixo impacto que podem ser empregadas para prevenir inundações e seus efeitos. Uma delas é o amortecimento de cheias por meio de reservatórios, que envolve o armazenamento temporário de água para evitar que a vazão do rio aumente significativamente e resulte em inundações (Araújo, *et. al.*, 2022).

Por definição, os reservatórios de retenção consistem em estrutura para acumulação ou infiltração de águas pluviais, a qual tem como objetivo o controle de

inundações em perímetros urbanos, redução de escoamento superficial e redução de poluição difusa em áreas urbanas (Baptista, *et al.*, 2005).

O reservatório de retenção pode ser integrado ao sistema de macrodrenagem da cidade. Nos loteamentos, ele visa ampliar o controle da geração de escoamento superficial, aliviando, assim, o sistema de macrodrenagem a jusante. Nos cursos d'água, esses reservatórios têm como objetivo o controle de cheias, sendo uma ferramenta importante para o planejamento da bacia hidrográfica como um todo (Curitiba, 2002).

Destaca-se, de forma geral, como principal benefício da implantação desse mecanismo a atenuação do pico de vazão (laminação) e o retardo do tempo de pico, ambos fundamentais para o controle de enchentes urbanas. No entanto, algumas restrições podem ser identificadas, como a disponibilização de espaço físico adequado e os custos de aquisição de terreno, além da integração do reservatório a outros componentes do sistema urbano. Operacionalmente, é crucial reconhecer a necessidade de manutenção dos dispositivos hidráulicos de saída do reservatório para garantir seu desempenho efetivo na laminação da cheia (Meneses, 2020).

As bacias de retenção impactam o regime hidrológico, a qualidade da água, a paisagem urbana e a qualidade de vida. No regime hidrológico, elas ajudam a suavizar os picos de vazão. A qualidade da água é melhorada pela sedimentação de partículas suspensas. A presença de superfícies aquáticas valoriza a paisagem urbana. É crucial informar a população sobre as funções e a manutenção dessas estruturas para promover uma alta qualidade de vida na comunidade (Castro, 2002).

Os aspectos construtivos de um reservatório de retenção dependem da área disponível para sua construção. Em regiões densamente ocupadas, costuma-se optar pela construção em paralelo, denominada *off-line* (Figura 12), permitindo o armazenamento de volumes maiores devido à possibilidade de ser mais profundo que o leito do córrego. Quando há espaço disponível, a preferência é pela construção em série com o leito do rio, denominada *in-line* (Figura 13) (ABCP, 2013).

Figura 12 – Reservatório de detenção off-line na Praça Júlio Andreatta - Porto Alegre, RS.



Fonte: Prefeitura de Porto Alegre (2008).

Figura 13 – Reservatório de detenção in-line no córrego Bonsucesso, em Belo Horizonte - MG



Fonte: Universidade Federal de Minas Gerais (2018).

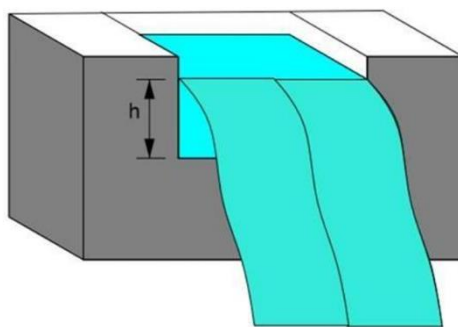
2.1.1 Manutenção e estrutura

Para a manutenção da bacia de detenção, Tomaz (2016, *apud*, Melo, 2016) sugere que, para a manutenção da bacia de detenção, seja reservado um volume adicional para a deposição de sedimentos, os quais devem ser removidos e transportados para o aterro sanitário quando estiverem cheios. Além disso, recomenda que as águas pluviais não permaneçam estagnadas por mais de três dias para evitar a proliferação de vetores. É também aconselhável realizar a limpeza das estruturas de entrada e saída, bem como cortar a grama e remover a vegetação indesejável.

Diferente dos reservatórios de retenção, os modelos de detenção armazenam água temporariamente e focam na redução de picos de vazão e prevenção de enchentes, portanto, são projetadas para esvaziar entre eventos de chuva.

O vertedor (Figura 14) é uma estrutura posicionada geralmente na parte superior da barragem, projetada para permitir o escoamento seguro das maiores cheias, sem comprometer a segurança da estrutura (Araújo *et al.*, 2022).

Figura 14 - Ilustração de um vertedor livre destacando a diferença de cota (h) entre o nível da água no reservatório e a cota da soleira do vertedor.



Fonte: Araújo *et al.* (2022).

A vazão de um vertedor livre, que não é controlado por comportas, varia conforme a altura da água acima da soleira, conforme a Equação 1.

$$Q = C \cdot L \cdot (H)^{3/2} \quad (1)$$

Sendo:

L: comprimento da soleira;

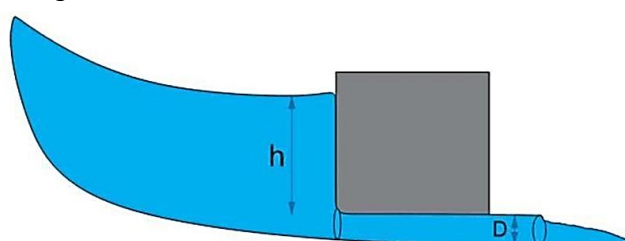
h: diferença de altitude ou cota entre o nível de água (NA) e a soleira;

C: coeficiente de descarga, com valores entre 1,4 e 1,8.

Segundo Collishconn e Dornelles (2015), além do vertedor, é comum que os reservatórios, especialmente os de pequeno porte destinados ao controle de cheias, possuam uma estrutura para liberar o volume acumulado após eventos de precipitação intensa. Essa estrutura é conhecida como descarregador de fundo.

Os descarregadores de fundo (Figura 15) são estruturas instaladas na parte inferior do reservatório, projetadas para permitir o esvaziamento completo do reservatório ou controlar a liberação de vazões para jusante quando a barragem não está vertendo (Araújo *et al.*, 2022).

Figura 15 - Ilustração de um descarregador de fundo destacando a diferença de cota (h) entre o nível da água no reservatório e a cota do eixo do descarregador de fundo.



Fonte: Araújo *et al.* (2022).

Para estimar a vazão através de um descarregador de fundo, pode-se utilizar uma equação de descarga de um orifício, através da Equação 2.

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (2)$$

Sendo:

A: é a área da seção transversal do orifício;

g: é a aceleração da gravidade;

C: é um coeficiente empírico com valor que depende da relação entre h e o diâmetro do orifício;

h : é a diferença de altura entre o NA e o eixo do descarregador de fundo.

Collishconn e Dornelles (2015) ressaltam que quando o valor de h é superior a três vezes o diâmetro do orifício, o coeficiente C tende a se aproximar de 0,6. Já quando o valor de h é próximo ao diâmetro do orifício, o coeficiente C se aproxima de 0,5.

2.1.2 Dimensionamento

O desenvolvimento urbano de baixo impacto avança conceitualmente ao empregar parâmetros hidrológicos e ambientais para definir e preservar o uso e a

ocupação do solo, além de dispor de variados dispositivos de controle de inundações. Desde sua concepção, incorpora questões relacionadas à drenagem das águas superficiais por meio de soluções sustentáveis que recuperam as funções do ciclo hidrológico. Isso é alcançado através de recursos como preservação das características locais, uso de canais naturais, aumento do caminho de fluxo, redução de áreas impermeabilizadas, desconexão de áreas, entre outros (Tavanti; Barbassa, 2010).

O amortecimento de cheias consiste na redução da vazão máxima, de um hidrograma de uma onda de cheia que passa por um determinado reservatório. Dessa forma, os reservatórios são comumente dimensionados para diminuir os impactos das cheias, reduzindo as vazões de pico.

Apesar das divergências entre os tipos de reservatórios, segundo Tomaz (2016, *apud*, Melo, 2016) as diretrizes para dimensionamento das bacias de retenção também podem ser aplicadas ao dimensionamento das bacias de detenção. A profundidade da bacia de detenção pode alcançar até 3 metros; no entanto, é essencial implementar medidas de proteção para banhistas e crianças devido ao risco de afogamento.

Canholi (2005) pontua que os volumes a serem reservados são estimados tanto na fase de planejamento quanto na fase de projeto. Antes do planejamento, há uma fase preliminar em que o projetista deve decidir se uma obra de detenção deve ser considerada.

O autor ainda ressalta que os métodos simplificados e expeditos são valiosos nessa fase inicial de tomada de decisão. Nos passos seguintes, deverão prevalecer métodos mais complexos e abrangentes.

2.2 MÉTODOS EXPEDITOS

Inúmeros métodos, simples ou complexos, foram e continuam sendo propostos para a estimativa de volumes a serem reservados nas bacias de detenção na fase de planejamento. Esses métodos apresentam inúmeras diferenças, especialmente quanto aos critérios adotados. A literatura inclui trabalhos dedicados à comparação dos diversos métodos para casos específicos de aplicação, como os de Urbanas (1990) e McCuen (1989).

Embora os métodos computacionais e os equipamentos disponíveis permitam realizar análises completas sem acarretar grandes ônus ao processo decisório, o

conhecimento das fórmulas e dos métodos simplificados tem a virtude de introduzir o problema e demonstrar os fatores intervenientes de maneira simples (Canholi, 2005).

Segundo Maidment (1992) o objetivo das bacias de retenção é o abatimento das vazões de pico, obtidos quando se reserva o volume máximo, definido pela diferença entre as vazões afluente e efluente a bacia. O autor também sugere que para bacias pequenas, até 100ha, não se justificam cálculos complexos, podendo os parâmetros hidráulicos serem baseados em relações IDF – Intensidade x Duração x Frequência e no método racional.

Lima et al. (2006) também utilizaram o método para determinar o volume da bacia de retenção e auxiliar no gerenciamento do escoamento da água armazenada. Além disso, o método numérico ajudou na simulação do comportamento dinâmico da bacia. Para realizar essa simulação, foram considerados alguns métodos expeditos, dos quais apenas o Hidrograma Triangular Simplificado (HTS) e o método de Wycoff e Singh (RWS) convergiram entre si, demonstrando um bom desempenho no dimensionamento da bacia. O autor concluiu que, para projetos, os métodos expeditos são limitados à fase de estudo prévio, enquanto na fase de execução é essencial a aplicação do modelo numérico, como o Level Pool Routing (Lima et al., 2006).

McCuen (1989, apud Canholi, 2005) desenvolveu um modelo para a fase de planejamento que apresenta conceitos e desenvolvimento com parâmetros familiares ao planejador.

De forma simplificada, utiliza-se um hidrograma triangular, onde o tempo para o pico é igual ao tempo de concentração (t_c) da bacia de drenagem, e um tempo de base de $2t_c$. Define-se Q_p e Q_d como as vazões de pico calculadas para os momentos anterior e posterior ao desenvolvimento urbano de uma área. Estes conceitos são úteis para dimensionar uma obra de reservação, visando preservar as condições naturais ou originais das enchentes locais, conforme exigido por lei em diversos estados dos EUA (impacto zero).

2.2.1 Método de Kokei Uehara

Kokei Uehara foi um renomado engenheiro brasileiro, de origem japonesa, conhecido por suas contribuições significativas na área de engenharia hidrológica no Brasil. Ele adaptou diversos métodos hidrológicos para a realidade brasileira, incluindo o Método do Hidrograma Unitário Sintético, inspirado em técnicas como as desenvolvidas por Snyder nos Estados Unidos. Kokei Uehara foi fundamental no

desenvolvimento de metodologias para estimativa de vazões e comportamento hidrológico, utilizando conhecimentos adquiridos e adaptados ao contexto brasileiro ao longo de sua carreira acadêmica e profissional (Costa, 2022).

Ele adaptou o Método I PAI WU para a realidade brasileira e fez importantes contribuições para a ciência hidrológica no país. Uehara, de origem japonesa, chegou ao Brasil em 1936 como refugiado da guerra. Ele se formou e se tornou professor na Universidade de São Paulo (USP).

Este método é utilizado para estimar a vazão máxima de uma bacia hidrográfica com base em características físicas e climáticas locais.

Segundo Costa (2022), o Método de Kokei Uehara possui algumas limitações:

- Este método é indicado, pelo DAEE SP, para áreas de contribuição de 200km² a 600km².
- Não considera perdas iniciais. A abstração inicial que leva em consideração a perda de água da chuva pela sua própria evaporação na queda, ou por acumulação de água em pontos baixos na bacia, não são considerados neste método.
- Não considera distribuição temporal, como nos Métodos de Huff e Blocos Alternados. Normalmente a chuva começa fraca e vai aumentando pouco a pouco até atingir o seu ápice. Toda esta dinâmica de aumento e redução de chuva não é levado em consideração neste método. O método racional considera uma intensidade única.
- Não considera umidade antecedente da bacia. Por exemplo, quando temos uma chuva na bacia, o solo fica úmido. Quando temos uma segunda chuva na bacia com o solo úmido, a infiltração tende a diminuir e o escoamento superficial tende a aumentar, este efeito não é contabilizado no método racional.

O Método Kokei Uehara, conforme Costa (2022), não apenas determina a vazão de projeto, mas também permite gerar um hidrograma triangular unitário. Os dados obtidos são utilizados como entrada em outros métodos e fórmulas para uma ampla gama de trabalhos na área de drenagem e hidrologia. Este método é aplicável para determinar a vazão em pontos específicos da bacia, dimensionar reservatórios, barragens de amortecimento de cheias e em diversas outras aplicações práticas.

2.2.2 Método Racional

O método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado por *Emil Kuichling* em 1889 e estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (Tomaz, 2021).

O nome Racional foi dado para diferenciá-lo dos outros que, na época, não eram considerados racionais.

O método é usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo. A chamada fórmula racional é expressa pela equação 3.

$$Q = C \times I \times \frac{A}{360} \quad (3)$$

Sendo:

Q= vazão de pico (m³/s);

C= coeficiente de escoamento superficial;

I= intensidade média da chuva (mm/h);

A= área da bacia (ha).

A aplicação do método racional se difere de uma localidade para outra, em função da área da bacia de estudo, conforme especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores limites da fórmula do Método Racional

Autores	Área	
	(ha)	(km ²)
David H. Pilgrim e Ian Cordery (Austrália) Método probabilístico, 1993	de 2000 a 50.000	20 a 500
Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo (FCTH) 1998 (*)	300	3
Wanielista et al.,1997	20 a 40	0,2 a 0,4
Ven Te Chow	40 a 81	0,4 a 0,81
DAEE, 2005 para pequenas barragens	200	2
DAEE-Cetesb	até 100	1
Porto,1995	até 300	3
Linsley et al.	40 a 486	0,4 a 4,86
Paulo Sampaio Wilken	até 500	5
Linsley e Franzini	até 500	5
Osman Akan, 1993	até 1300	13
Califórnia Highways	até 4.050	40,5
Otto Pfasstetter	até 20.000	200
ASCE,1992	até 80	0,8
Debo e Reese,1995	até 40	0,4
Regulamento do sul da Califórnia proíbe acima de oito hectares.	até 8	0,08
McCuen,1998	Pequenas Bacias	

Fonte: Tomaz (2021).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O município de Espera Feliz está localizado no estado de Minas Gerais, na divisa com o Espírito Santo. Essa localidade faz parte da Zona da Mata mineira, uma antiga denominação de regiões geográficas do Brasil. É importante destacar que o termo "Zona da Mata" foi substituído pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2017. Segundo o IBGE (2017), Espera Feliz agora pertence à Região Geográfica Imediata de Carangola e à Região Geográfica Intermediária de Juiz de Fora, caracterizadas por suas formações montanhosas.

O município está situado entre as coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM) Sirgas 2000 zona 23 sul, fazendo divisa com os municípios de Carangola, Divino, Caparaó, Alto Caparaó e Caiana, no estado de Minas Gerais, e Dolores do Rio Preto, no estado do Espírito Santo, conforme a representação gráfica da Figura 16.

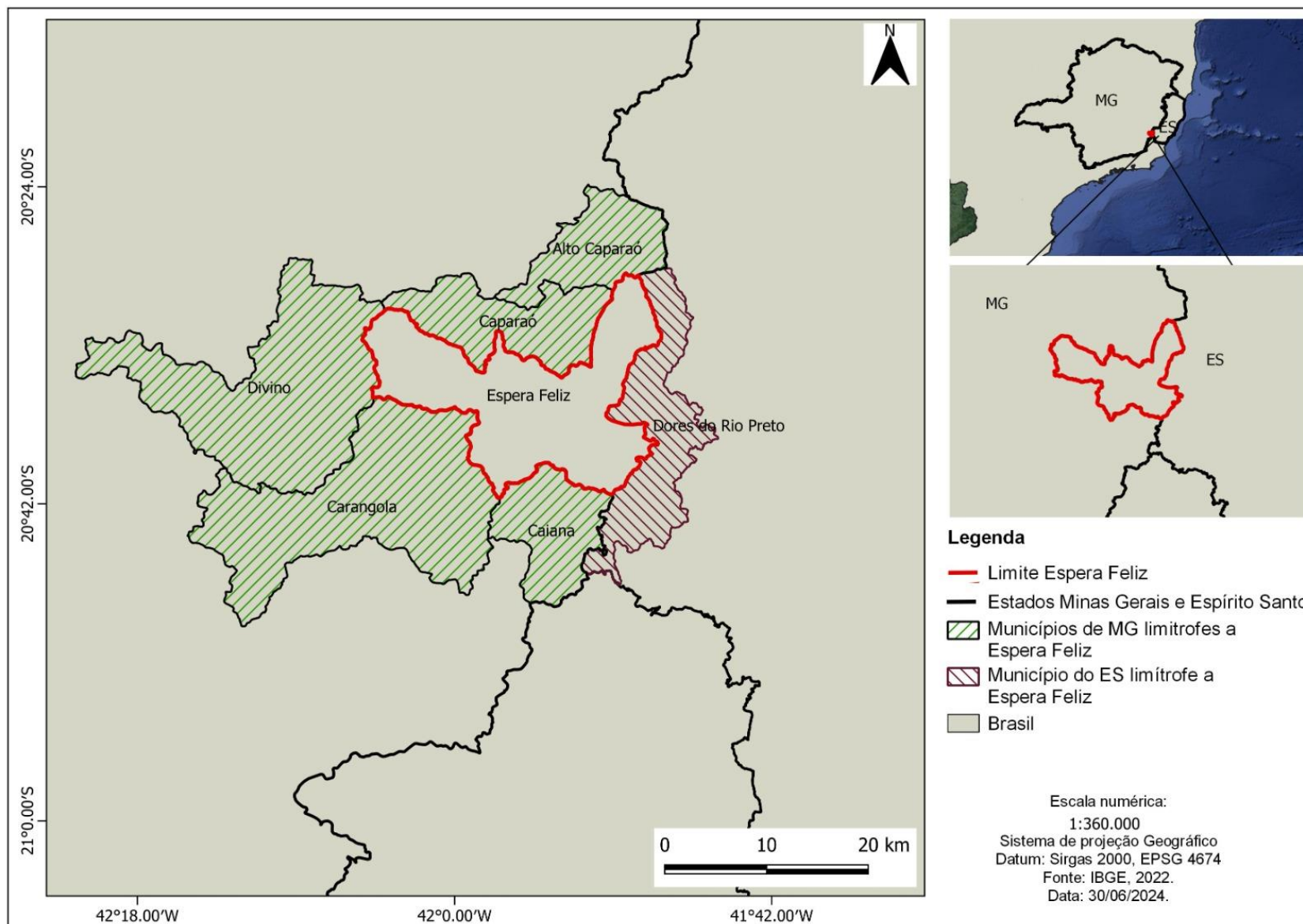
O clima predominante é tropical de altitude segundo a classificação de Köppen, com verão ameno e inverno frio, com temperaturas médias anuais que variam entre 12,8°C e 25,3°C, enquanto nas altitudes mais elevadas do topo da Serra do Caparaó, as temperaturas podem chegar a 0°C durante o inverno. A precipitação pluviométrica anual é em média de 1.595 mm (ICMBio, 2016).

Horn e Soares (2007) destacam que esse clima é especialmente favorável para o cultivo do café, que se destaca na região.

Segundo Ferreira et al. (2020), a produção de café, aliada à inauguração da estrada de ferro entre 1911 e 1915, contribuiu diretamente para o desenvolvimento econômico e administrativo da cidade.

A cidade de Espera Feliz está situada na divisa com o estado do Espírito Santo, localizada entre os vales da parte baixa da Serra do Caparaó e caracterizada por grandes formações montanhosas. A bacia hidrográfica de gestão federal que abrange a cidade é a do Rio Itabapoana. Focando na problemática local, o destaque vai para o Rio São João, afluente da margem direita do Rio Preto, que por sua vez é afluente da margem esquerda do Rio Itabapoana. Outro tributário importante é o Rio Caparaó, que nasce no Parque Nacional da Serra do Caparaó e se encontra com o Rio São João em Espera Feliz (Matoso, 2023).

Figura 16 – Localização do município de Espera Feliz-MG

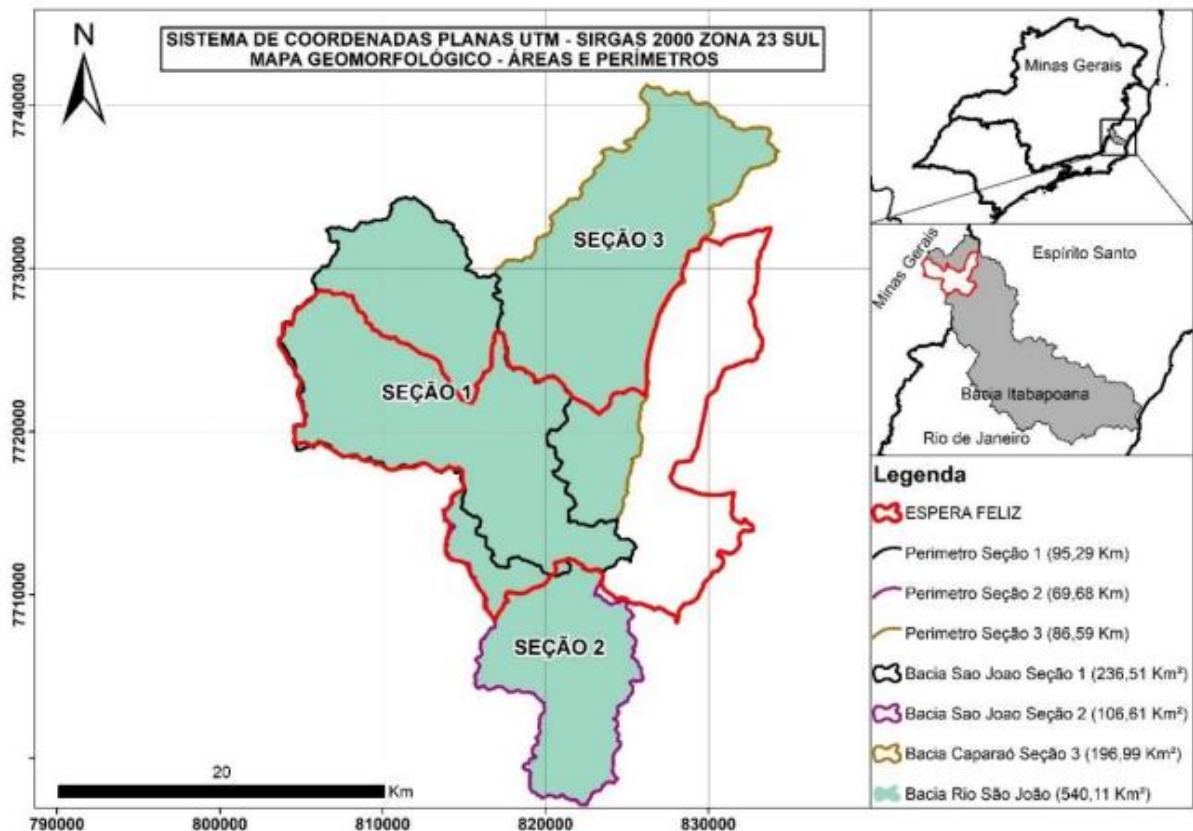


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Matoso (2023) apresentou resultados de estudos espaciais utilizando as bases de dados em plataforma SIG (Sistema de Informação Geográfica). Os primeiros resultados tratam especificamente das áreas (km²) e dos perímetros (km) de cada seção, destinadas às sub-bacias dos Rios Caparaó e São João. A Figura 17 apresenta os detalhes gráficos.

As áreas de cada seção têm caráter relevante para a análise dos dados, uma vez que retratam as áreas de drenagens de contribuições, através dos afluentes tributários. As análises relativas aos perímetros encontrados têm relevância no que se refere às linhas que limitam os divisores de água, sendo parâmetro de entrada para outros indicadores.

Figura 17 - Parâmetros morfológicos – áreas e perímetros



Fonte: Matoso (2023).

O Rio São João apresenta uma grande variação altimétrica ao longo de seu curso, com uma altitude máxima de 1.470 m e mínima de 746 m dentro da seção 1. Esse intervalo significativo de elevações contribui para a formação de diferentes características ao longo do rio. Em contraste, a seção 2, que está fora do território de Espera Feliz, não apresenta variações altimétricas tão acentuadas, com uma altitude

máxima de 746 m e mínima de 650 m, e não contribui para a problemática abordada neste trabalho. O Rio Caparaó, por sua vez, possui uma variação altimétrica ainda mais expressiva, com uma altitude máxima de 2.730 m e mínima de 750 m, refletindo sua extensa área de atuação nas regiões montanhosas da Serra do Caparaó (Matoso, 2023).

O bairro João Clara, área de estudo, está situado na cota de menor altitude do Rio São João, a 746m, sendo, também, o bairro de menor altitude em toda a extensão do perímetro urbano do município de Espera Feliz-MG.

A escolha do bairro João Clara para implantação do reservatório de detenção se deu pelo fato de que o local, região de altos índices de vulnerabilidade, foi severamente atingido pelas inundações de 2020 e 2021 que acometeram o município (Figura 18).

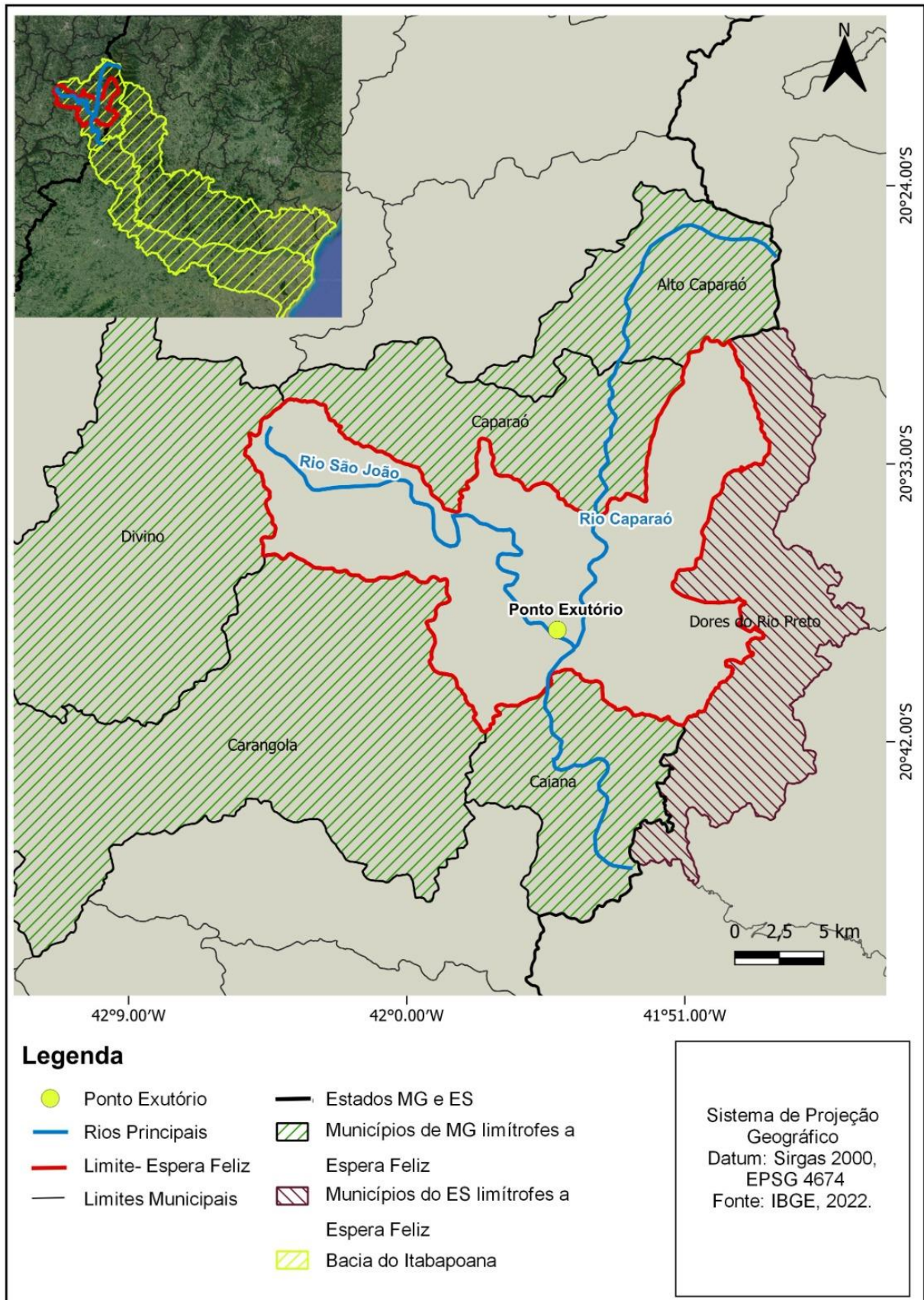
Além disso, o ponto escolhido para a implantação está situado 540m à montante do ponto de encontro do Rio São João com o Rio Caparaó (Figura 19), sendo um ponto estratégico para o amortecimento de cheia por toda a extensão do Rio São João ao longo do perímetro urbano.

Figura 18 – Marca da cota de inundação nas paredes do imóvel no ponto mais baixo do Bairro João Clara, em Espera Feliz-MG, após a inundação de janeiro de 2020.



Fonte: Arquivos da Defesa Civil Municipal (2020).

Figura 19 - Ponto escolhido para implantação do reservatório e sua localização em relação ao Rio São João e Caparaó



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4 METODOLOGIA

Neste capítulo da pesquisa foi abordada toda a sistematização metodológica utilizada para a análise e geração dos resultados obtidos no estudo.

A pesquisa adotou o estudo de caso como procedimento metodológico, pois analisou uma realidade específica em uma localidade particular. O estudo de caso é geralmente associado à pesquisa descritiva ou exploratória, mas não é restrita a tais formatos, podendo ser usado para teste de uma teoria ou construção de teoria (Eisenhardt, 1989).

Em termos de natureza, a pesquisa é classificada como aplicada, já que possui uma utilização prática que pode ser replicada em outros pontos da bacia hidrográfica em estudo.

Para Thiollent (2009), a pesquisa aplicada concentra-se em torno dos problemas presentes nas atividades das instituições, organizações, grupos ou atores sociais. Ela está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e busca de soluções. Responde a uma demanda formulada por clientes, atores sociais ou instituições.

4.1 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para assegurar uma compreensão mais clara das etapas desenvolvidas neste estudo e oferecer uma organização transparente das ideias relacionadas ao tema escolhido, foi realizada a explicação geral e cronológica da metodologia neste tópico.

Inicialmente definiu-se a área de estudo e o ponto de implantação do reservatório com base em características específicas dos eventos de inundação ocorridos no município de Espera Feliz-MG.

Em seguida, foi realizada a coleta dos dados históricos existentes nas bases de dados públicas e privadas de estações pluviométricas locais.

Para complementar as informações sobre os métodos de cálculo utilizados e obter dados específicos sobre a área da bacia hidrográfica de estudo, foi realizado um levantamento bibliográfico através da leitura e organização de estudos científicos, incluindo artigos, dissertações e teses.

Foi definido o método de Kokei Uehara para determinar a vazão de projeto, seguido pelo Método Racional para estimar o volume de retenção e,

consequentemente, estimar a redução desejada para a vazão de pico no ponto de exutório.

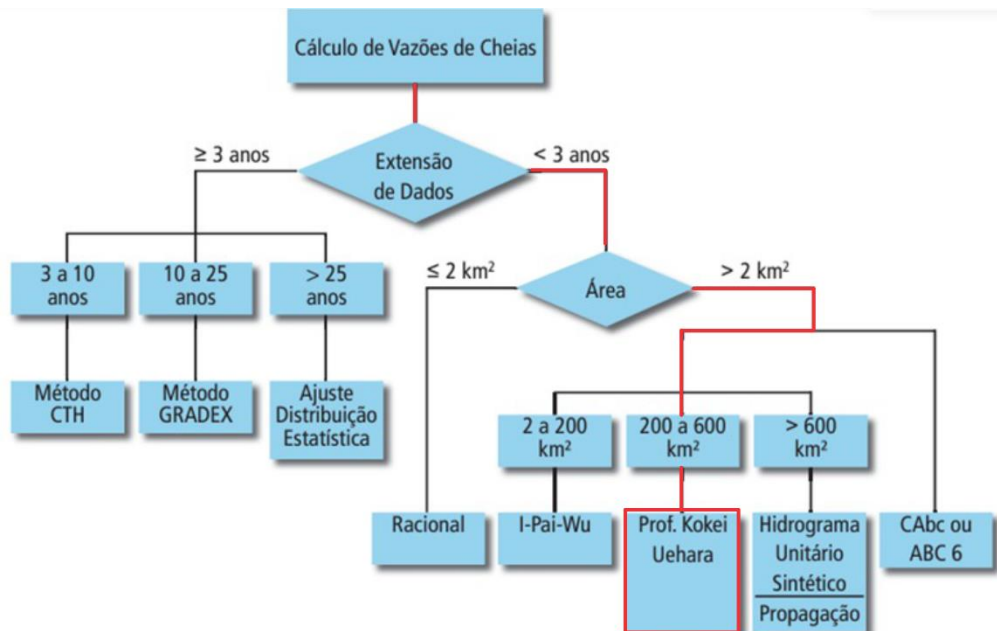
Ao utilizar o Método Racional para estimar a redução da vazão de pico desejada, foi possível determinar o volume de detenção necessário para alcançar essa redução.

Em seguida, foi estabelecida uma correlação entre o volume necessário para alcançar a redução da vazão de pico desejada e o volume do reservatório de detenção pré-projetado no ponto selecionado da bacia de estudo.

4.2 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS, ROTINA DE CÁLCULOS E RESULTADOS

Para a aplicação da metodologia adequada, em primeiro lugar, foi verificada a extensão da série histórica de dados fluviométricos existente e também, se necessário, o tamanho da área de drenagem (AD) da bacia em estudo (DAEE, 1994), conforme a seguinte classificação (Figura 20):

Figura 20 - Diagrama das metodologias adotadas para a estimativa de vazões de enchente.



Fonte: DAEE (2005).

A metodologia adotada para determinação da vazão de projeto foi a do Método do Prof. Kokei Uehara, tendo em vista que a extensão da série histórica de dados fluviométricos é inferior a 3 anos e a área da bacia de estudo é de 236,51km², estando entre 200km² e 600km².

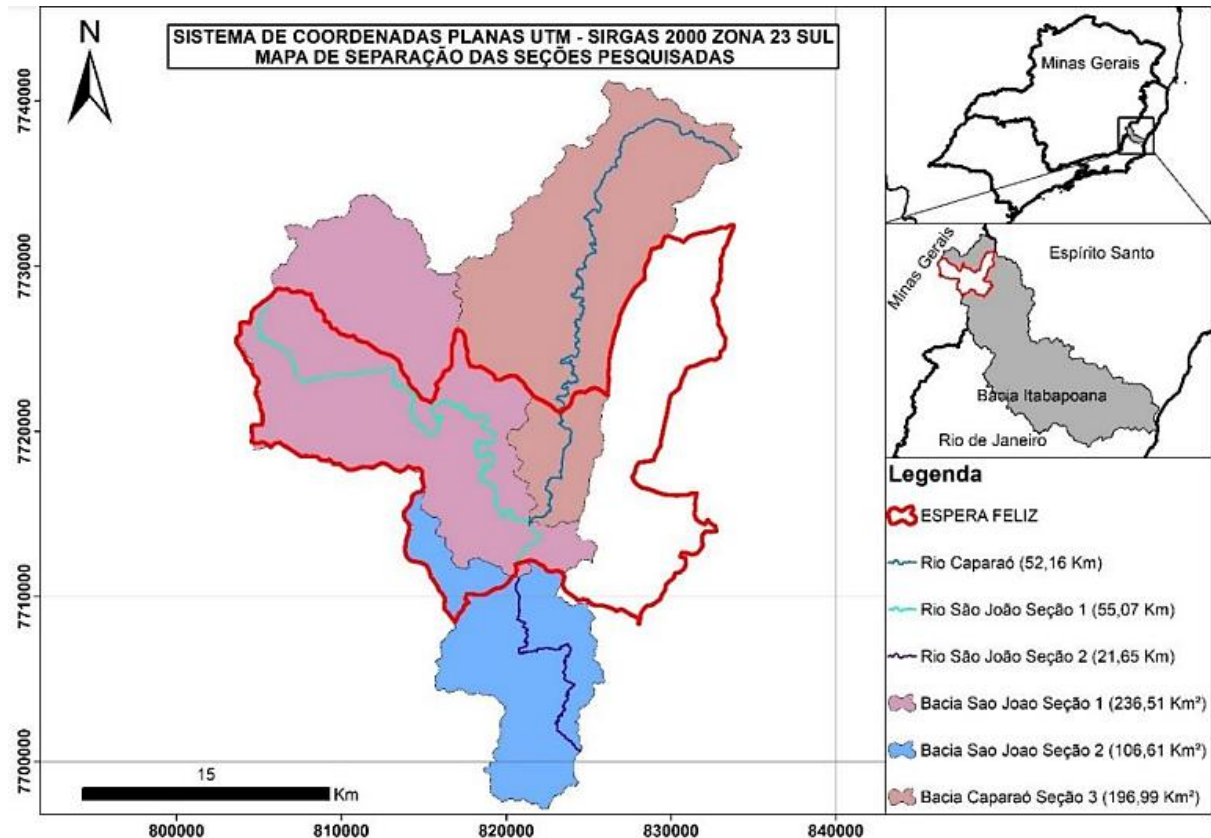
A extensão da área da bacia foi determinada considerando todo o entorno do talvegue principal do Rio São João, da nascente até o exutório, tendo em vista o fato de que o volume pluviométrico no perímetro urbano do município de Espera Feliz não gera impactos significativos na elevação do nível do rio, diferente dos acumulados dispensados na crista do talvegue.

Matoso (2023), através do Método Soil Conservation Service (SCS), apresentou as perspectivas hidrológicas e morfológicas no contexto das inundações urbanas em Espera Feliz-MG.

Para prosseguir com a análise, foi necessário definir seções nas bacias hidrográficas estudadas. Essa divisão teve como objetivo respeitar o limite estipulado pelo modelo do Soil Conservation Service, que estabelece um máximo de 250 km² por seção (Matoso, 2023).

Neste estudo, foi considerada como área da bacia a área definida por Matoso (2023) como Bacia São João Seção 1, com 236,51km² (Figura 21). A área corresponde a toda extensão do Rio São João que influencia no ponto escolhido para implantação do reservatório de detenção.

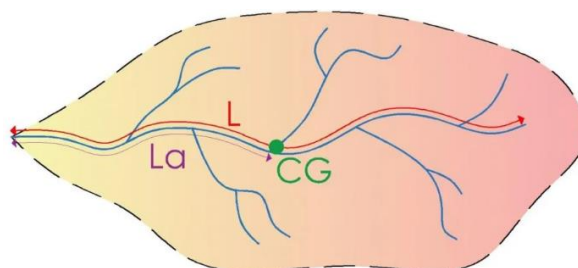
Figura 21 – Mapa de separação das seções pesquisadas



Fonte: Matoso (2023).

Anteriormente ao início dos cálculos pelo método do Prof. Kokei Uehara, é necessário determinar a distância do centro de gravidade do talvegue principal da área da bacia de estudo até o exutório, ilustrado pela medida de cor roxa (L_a) na Figura 22.

Figura 22 – Centro de gravidade de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Costa (2022).

Costa (2022) pontua que para a determinação do centro de gravidade, na prática, não existe nenhuma recomendação oficial, mas tal ponto pode ser estimado com auxílio de ferramentas de CAD ou até mesmo com a impressão da bacia em um papel mais espesso, onde faz-se o equilíbrio da peça de papel na horizontal, com auxílio de uma linha conectada à impressão.

Neste trabalho, optou-se por utilizar o Google Earth para estimar o centro de gravidade (CG) da bacia. Estimado o ponto do centro de gravidade, foi possível determinar o comprimento do talvegue (L_a) entre o CG e o ponto exutório, a partir de um caminho traçado em toda a extensão do Rio São João neste trecho especificado.

O comprimento do talvegue principal (L) foi definido por Matoso (2023) como 55,07km para a Seção 1 de estudo. Contudo, utilizou-se neste trabalho o comprimento do talvegue somente até o ponto exutório, portanto, foram subtraídos 4,93km do comprimento total do talvegue, que corresponde ao trecho à jusante do ponto exutório, com medida obtida através do Google Earth.

O segundo parâmetro é o coeficiente de armazenamento da bacia (C_t). Este coeficiente vai impactar na atenuação da vazão de pico. Tal coeficiente é empírico e carece de calibração (Costa, 2022).

Segundo McCuen (1998), este coeficiente varia de 1,80 a 2,20, já Uehara defende o uso de coeficientes de 0,80 a 2,00 para o território brasileiro, sendo o valor médio (mais aplicado na prática) de 1,40 (Costa, 2022).

Após a determinação dos coeficientes e dados mencionados anteriormente, foi necessário calcular o tempo de concentração, ou seja, o tempo que demora para toda a bacia contribuir para o exutório. O tempo de concentração (t_c) pode ser determinado

a partir da equação Californica Culverts Practice, que foi recomendada pelo Prof. Kokei Uehara (1969) para uso no método de I-PAI-WU (Equação 4).

$$tc = 57 \times \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0,385} \quad (4)$$

Sendo:

tc : Tempo de concentração (min);

L : Comprimento do talvegue (km);

S : Declividade equivalente do talvegue (m/km).

Substituindo os valores na Equação 4, obteve-se o valor do tempo de concentração, portanto $tc = 416,18\text{min}$ ou $6,94\text{h}$.

Determinado o tempo de concentração, pode-se obter o tempo de base (tb), que corresponde a 3 x o tempo de concentração (tc). Portanto, $tb = 20,82\text{h}$.

O próximo passo foi determinar o tempo de retardo (tr), ou seja, o intervalo de tempo entre o instante correspondente a metade da duração da chuva e o instante do pico do hidrograma. Pela fórmula empírica de Snyder, este tempo de retardo pode ser determinado segundo a Equação 5 (Costa, 2022).

$$tr = \frac{Ct}{1,33} \times (L \times L_a)^{0,3} \quad (5)$$

Sendo:

tr : Tempo de retardo (h);

Ct : Coeficiente de atenuação da bacia (adotou-se 0,8);

L : Comprimento total do talvegue (km);

L_a : Comprimento do centro de gravidade até o exutório (km).

Portanto, substituindo os dados na Equação 5, temos o tempo de retardo (tr) = $5,40\text{h}$.

Com a definição do tempo de retardo, foi possível determinar a duração da chuva que poderá provocar cheias através da Equação 6, criada por Snyder e adaptada ao Brasil pelo Prof. Kokei Uehara (Costa, 2022).

$$td = \frac{tr}{4} \quad (6)$$

Sendo:

td : Tempo de duração da chuva (h);

tr : tempo de retardo (h).

Na sequência, foi determinada a intensidade pluviométrica para a cidade de Espera Feliz-MG. Para isso, foi utilizada a equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF), extraída do software Pluvio 2.1 (Figura 23), e os valores obtidos para a cidade de Espera Feliz foram incorporados ao cálculo IDF, apresentado na equação de chuva abaixo (Equação 7).

$$i = \frac{K \times Tr^a}{(td + b)^c} \quad (7)$$

Sendo:

i : Intensidade média da precipitação intensa (mm/h^{-1});

td : duração da precipitação (min);

Tr : tempo de retorno (anos);

K, a, b e c : constantes de ajustes locais.

Figura 23 – Interface do software Plúvio 2.1 com os parâmetros da Equação IDF para Espera Feliz-MG

The screenshot shows the Pluvio 2.1 software interface. The main window displays a map of Minas Gerais, Brazil, with a blue outline of the state. The coordinates 41°54'26" and 20°39'01" are shown on the map. On the right side, there is a panel with the following sections:

- Estados:** Minas Gerais (selected in a dropdown menu).
- Estações:** A list of stations including Acaiaca, Acesa (Coronel Fabriciano), Aimorés, Aiuruoca, Alto da Boa Vista (Mateus Leme), Andrelândia, Araçuaí, Araguari, Araxá, and Arinos (ANFF1).
- Localidades:** A list of localities including Engenho Novo (Mar de Espanha), Entre Folhas, Entre Rios de Minas, Epaminondas Otoni (Carlos Chagas), Ermidinha (Montes Claros), Ervália, Esmeraldas, Esmeraldas de Ferros (Ferros), and Espera Feliz (highlighted in blue).
- Interpolação:** A button.
- Relatório:** A button.
- Ajuda:** A button.
- Cancelar:** A button.
- Fechar:** A button.

At the bottom of the interface, there is a section for the IDF equation parameters:

- Latitude:** 20°39'01"
- Longitude:** 41°54'26"
- Calcular:** A button.
- Parâmetros da Equação IDF:**
 - K:** 1088,213
 - a:** 0,140
 - b:** 13,970
 - c:** 0,782

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Uma das variáveis envolvidas no dimensionamento que ajuda na prevenção de problemas relacionados é o período de retorno (TR), que corresponde à probabilidade que um determinado evento hidrológico tem de ser igualado ou superado (Meneses *et al.*, 2020).

Segundo Tomaz (2002), o termo é conceituado por meio de uma aplicação probabilística, ou seja, quanto maior o tempo de retorno, menor a probabilidade de que o evento ocorra ao menos uma vez no ano. A probabilidade é calculada de maneira inversamente proporcional ao tempo de retorno escolhido.

Associado a essa variável, está o risco hidrológico. Dessa forma, o risco relaciona a probabilidade que ocorra um evento para determinado TR (em anos), durante um intervalo de tempo n (em anos).

Quanto menor o risco assumido, maior será o período de retorno. Esse parâmetro, portanto, afeta diretamente a durabilidade e segurança das obras. A redução do risco hidrológico exige intervenções de maior magnitude e, conseqüentemente, maiores custos para o empreendimento da estrutura hidráulica. No projeto, a escolha do período de retorno (TR) está condicionada ao nível de risco aceitável em relação aos impactos decorrentes de um colapso ou do não atendimento do propósito da intervenção (Meneses *et al.*, 2020).

De forma geral, adota-se períodos de retorno elevados para usinas hidrelétricas. Em contraste, para sistemas de drenagem urbana, segundo Bidone e Tucci (1995), esses valores tendem a ser menos elevados, variando de 2 a 100 anos, dependendo da importância da área.

O DAEE de SP apresenta recomendações para valores mínimos de períodos de retorno, conforme demonstra a Tabela 2.

Neste trabalho, foi adotado o Tempo de Retorno = 100 anos, visando a diminuição da probabilidade de novas ocorrências de inundações severas como as ocorridas nos anos de 2020 e 2021, em Espera Feliz-MG.

Portanto, substituindo na Equação 7 os dados extraídos do Plúvio 2.1, obteve-se o valor da intensidade pluviométrica de 58,92mm/h.

Tabela 2 - Recomendações para valores mínimos de períodos de retorno.

OBRA	SEÇÃO GEOMÉTRICA		TR (anos)	
			Área Urbana	Área Rural
Canalização	A céu aberto	Trapezoidal	50	(a)
		Retangular	100	
	Contorno fechado		100	
Travessias: pontes, bueiros e estruturas afins	Qualquer		100	100 ^(b)

Borda livre (f)

Canais a céu aberto: $f \geq 10\%$ da lâmina líquida de cheia (H_{TR}), com $f \geq 0,4m$

Canais em contorno fechado: $f \geq 0,2 H_{TR}$.

OBRA	DIMENSÕES – h e L ^(d) (m)	TR (anos)
Barramento ^(c)	$h \leq 5$ e $L \leq 200$	100
	$5 < h \leq 15$ e $L \leq 500$	1.000
	$h > 15$ e/ou $L > 500$	10.000 ou PMP ^(e)

Borda livre² (f) – desnível entre a crista e o nível máximo *maximorum*. $f \geq 0,5m$

(a) Análise caso a caso - TRs menores. (b) Para rodovias de menor importância e obras de menor porte e risco poderão ser utilizados TRs menores que 100 anos ($TR \geq 25$ anos), com análise caso a caso. (c) Conforme o tipo de ocupação a jusante de um barramento, pode haver exigências de períodos de retorno maiores que os indicados, para redução do risco de acidentes. (d) h = altura do maciço medida a partir do talvegue; L = comprimento do maciço. (e) PMP: Precipitação Máxima Provável.

Fonte: Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo – DAEE (2005).
Nota: Adaptado pela autora.

Em seguida, foi determinada, também, a altura de precipitação. Esta é o resultado da multiplicação da intensidade pluviométrica (i) pela duração da chuva. Fazendo este cálculo, obteve-se a altura de precipitação (h_i): 79,54mm.

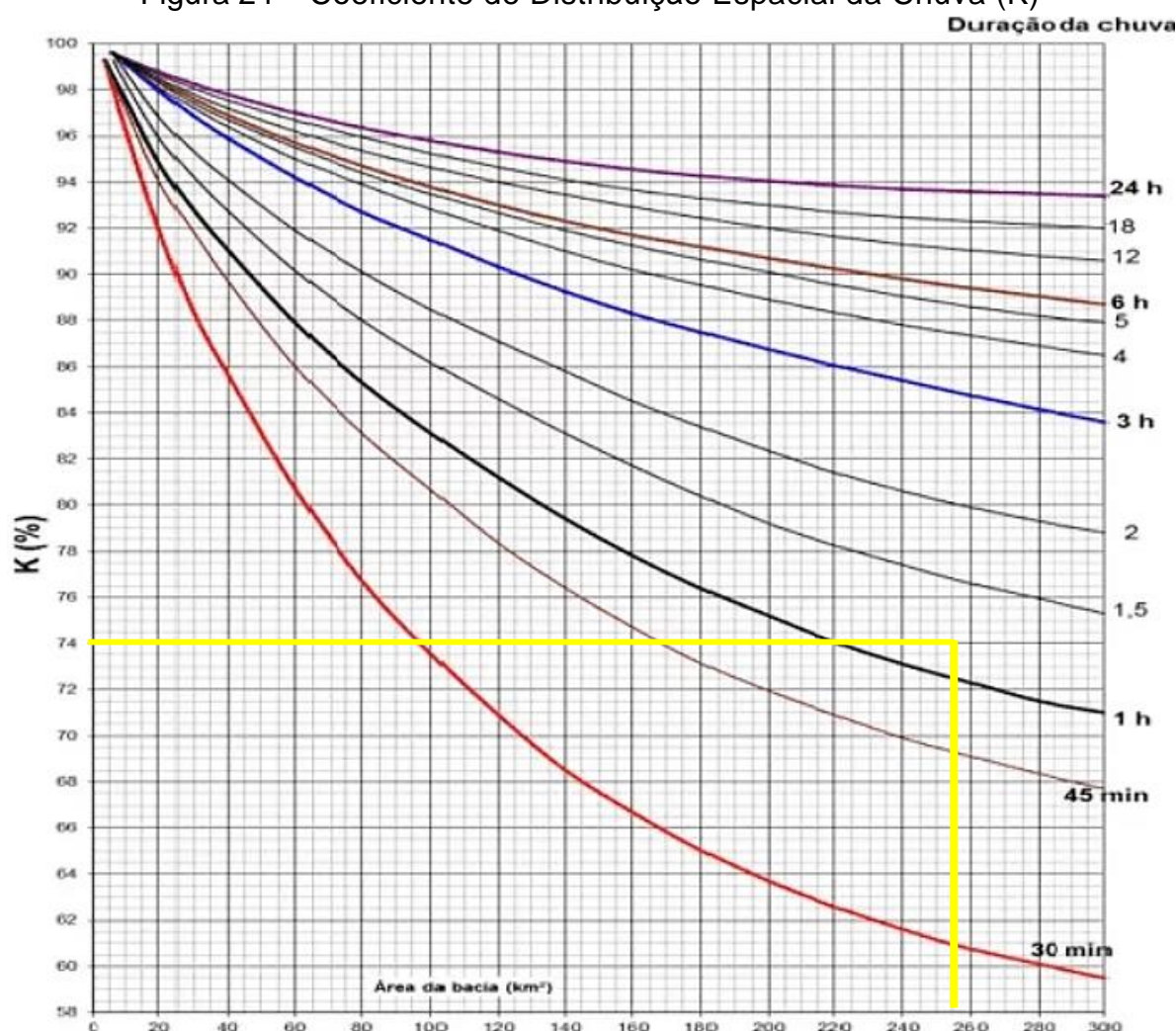
O próximo passo foi a aplicação do coeficiente de distribuição das chuvas (K), necessário devido à desigualdade de distribuição pluviométrica em toda extensão territorial da bacia de estudo.

A chuva de projeto é determinada para um local (ponto) específico da área da bacia. Mas a chuva que cai num ponto da bacia não representa a chuva que cai em toda sua área. Desta forma, deve-se aplicar um coeficiente de redução espacial (Costa, 2022).

Uma das formas de obter o coeficiente de redução espacial é utilizar o gráfico do *US Weather Bureau (ASCE, 1997)*, que relaciona a chuva em um ponto e área específicos, em função da área da bacia e do tempo de duração da chuva (Figura 24).

O eixo horizontal da Figura 24 representa a área de contribuição da bacia hidrográfica. Já as curvas coloridas representam a duração da chuva. Cruzando o valor da área encontrado no eixo X, para este caso, 236,51km², com a curva de duração de chuva igual a 1,35h, obteve-se um coeficiente de redução espacial (K) de aproximadamente 74% ou 0,74.

Figura 24 – Coeficiente de Distribuição Espacial da Chuva (K)



Fonte: ASCE, (1997).

Nota: Adaptado pela autora.

Determinado o coeficiente de distribuição espacial, o próximo passo consiste em determinar a chuva uniforme na bacia (h_u). Esta pode ser calculada através da multiplicação da altura de precipitação (h_i) já calculada pelo coeficiente de distribuição espacial (k), conforme demonstra a Equação 8.

$$h_u = K \times h_i \quad (8)$$

Através da Figura 24 foi determinado o coeficiente de distribuição espacial (k), que é igual a 0,74. A altura da precipitação (h_i) é igual a 79,54mm. Substituindo os valores na equação 8, obteve-se a chuva uniforme (h_u) = 58,86mm.

O próximo passo foi determinar a chuva excedente na bacia (h_{exd}), correspondente àquela porção da chuva que irá contribuir para o escoamento superficial direto. Para determinar esta variável, foi aplicada a Equação 9.

$$h_{exd} = C \times h_u \quad (9)$$

Sendo:

C : Coeficiente de Runoff (coeficiente de escoamento superficial);

h_u : chuva uniforme.

O Coeficiente de Runoff, estimado com base em características da bacia, representa o grau de impermeabilização ou de urbanização da área de estudo. Quanto menor a possibilidade de a água precipitada infiltrar-se no solo, ou de ficar retida pela vegetação, maior será a parcela que se transformará em Escoamento Superficial Direto, resultando um valor mais elevado para o coeficiente C . A Tabela 3 apresenta faixas de valores de C para uso em projetos (DAEE, 1994 apud DAEE, 2005).

Tabela 3 - Valores recomendados para o coeficiente C

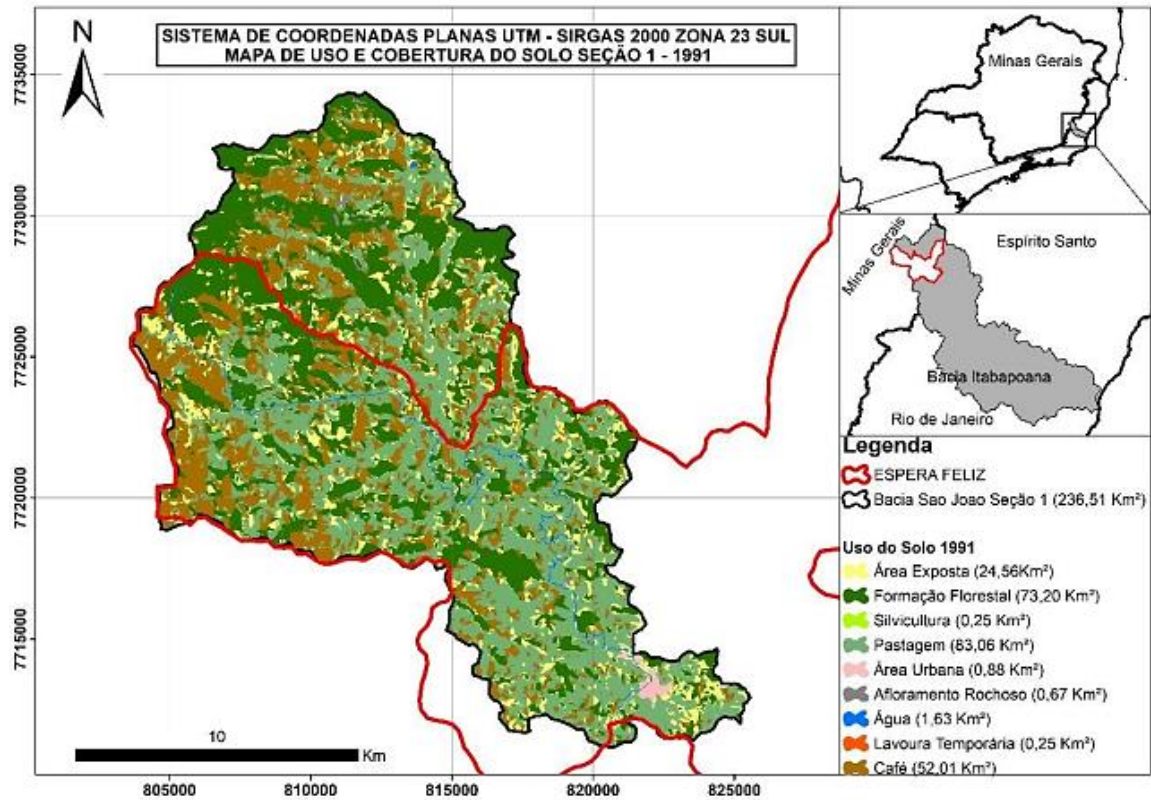
USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES DE C	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos etc.	0,20	0,35

Fonte: DAEE (1994, apud DAEE, 2005).

Matoso (2023) apresentou o mapa de uso e cobertura do solo referente aos anos de 1991 e 2021 para a área de estudo, definida pelo mesmo autor como Seção 1, conforme as Figuras 25 e 26.

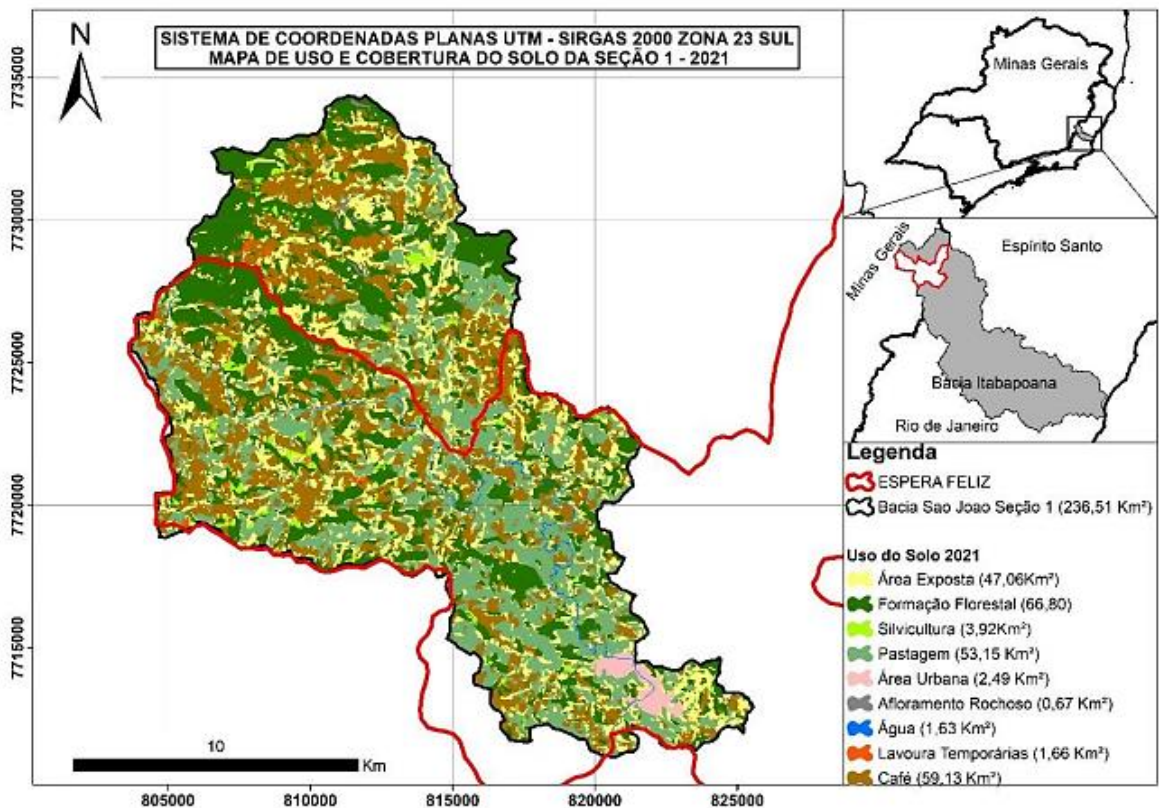
Em análise das Figuras 25 e 26, foi possível constatar que, apesar de a área da seção 1 ser parcialmente urbanizada, o percentual de área urbanizada corresponde a, somente, 0,37% em 1991 e 1,05% em 2021. Diante de tais constatações, foi adotado para este estudo o Coeficiente de Runoff (C) = 0,35.

Figura 25 - Mapa de uso e cobertura do solo seção 1 (1991).



Fonte: Matoso (2023).

Figura 26 – Mapa de uso e cobertura do solo seção 1 (2021).



Fonte: Matoso (2023)

A relação das porcentagens das áreas de uso e ocupação do solo extraídas dos mapas de Matoso (2023) está expressa na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de uso e cobertura do solo

USO E COBERTURA DO SOLO	Seção 1 1991	Seção 1 2021
Área Exposta	10,38%	19,90%
	24,56Km ²	47,06Km ²
Formação Florestal	30,95%	28,24%
	73,20Km ²	66,80Km ²
Silvicultura	0,11%	1,66%
	0,25Km ²	3,92Km ²
Pastagem	35,12%	22,47%
	83,06Km ²	53,15Km ²
Área Urbana	0,37%	1,05%
	0,88Km ²	2,49Km ²
Afloramento Rochoso	0,28%	0,28%
	0,67Km ²	0,67Km ²
Água	0,69%	0,69%
	1,63Km ²	1,63Km ²
Lavoura Temporária	0,11%	0,70%
	0,25Km ²	1,66Km ²
Café	21,99%	25,00%
	52,01Km ²	59,13Km ²
TOTAL	100%	
	236,51Km²	

Fonte: Matoso (2023).

Nota: Adaptado pela autora.

Pelos mapas de uso e cobertura do solo pode-se perceber o aumento de área exposta, silvicultura, área urbana e café. Apesar dessas alterações ocasionarem um impacto direto nas simulações das estimativas de escoamento superficial e na ampliação das susceptibilidades a inundações ao longo do tempo, Matoso (2023) constatou que a mudança do uso e cobertura do solo, ao longo dos 30 anos, não representou um aumento que pudesse ser considerado como um fator essencial para justificar o aumento das ocorrências de inundações em Espera Feliz, pois foi notado

que, com a mudança do uso e cobertura do solo, o escoamento superficial manteve-se em uma ordem de grandeza estável.

O passo seguinte consiste na determinação do volume do escoamento superficial direto, que foi obtido a partir da lâmina excedente na bacia hidrográfica (h_{exd}). Posto isso, aplicou-se a Equação 10.

$$V_{esd} = h_{exd} \times A \quad (10)$$

Sendo:

V_{esd} : volume do escoamento superficial direto (m³);

h_{exd} : Chuva excedente ÷ 1000;

A : área da bacia de estudo (m²).

Seguindo as instruções para compatibilização das unidades de medida na fórmula, obteve-se $V_{esd} = 4.472.106\text{m}^3$.

Por fim, calculou-se:

1. Vazão de cheia (Q_c), através da Equação 11.

$$Q_c = \frac{2 \times V_{esd}}{t_b \times 3600} = 130,01\text{m}^3/\text{s} \quad (11)$$

2. Vazão de base (Q_b) em m³/s, através da Equação 12.

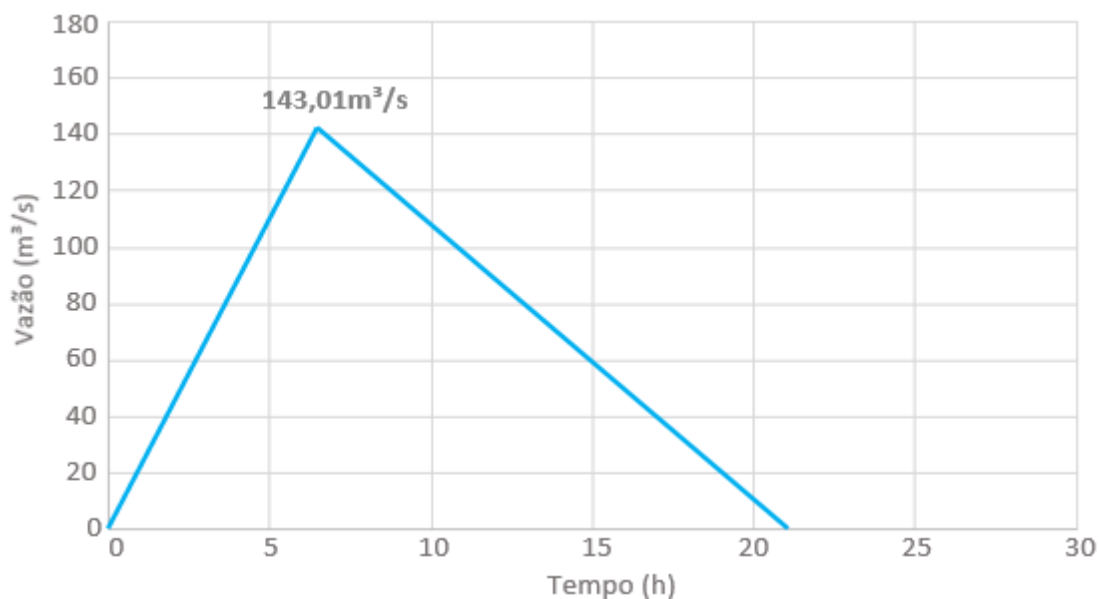
$$Q_b = 0,10 \times Q_c = 13,001\text{m}^3/\text{s} \quad (12)$$

3. Vazão de projeto (Q_p) em m³/s, através da Equação 13.

$$Q_p = Q_b + Q_c = 143,011\text{m}^3/\text{s} \quad (13)$$

A partir da metodologia empregada, foram obtidos os dados de entrada, detalhados na Tabela 5, o quais foram necessários para o desenvolvimento dos cálculos dos métodos utilizados, bem como para a elaboração do hidrograma triangular representado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Hidrograma triangular unitário



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Tabela 5 – Dados de entrada e valores obtidos

DADO DE ENTRADA	VALOR OBTIDO
Área de contribuição	236,51Km ²
Comprimento do talvegue (L)	50,14Km
Distância do exutório até o centro de gravidade da bacia (La)	30Km
Tempo de Retorno (Tr)	100 anos
Cota de crista do talvegue	1470m
Cota de base do talvegue	746m
Declividade do talvegue (S)	14,38m/km
Coefficiente de Runoff (C)	0,35 (adm)
Coefficiente de armazenamento (Ct)	0,8 (adm)
Tempo de concentração (tc)	416,18min ou 6,94h
Tempo de base (tb)	20,82h
Tempo de retardo (Tr)	5,40h
Duração da chuva (td)	1,35h
Intensidade da Chuva (i)	58,92mm/h
Altura da precipitação (hi)	79,54mm
Coefficiente de distribuição espacial (K)	74% ou 0,74 (adm)
Chuva uniforme na bacia (hu)	58,86mm
Chuva excedente (h _{exd})	20,60mm
Volume de escoamento superficial direto (V _{esd})	4.472.106m ³
Vazão de cheia (Qc)	130,01m ³ /s
Vazão de base (Qb)	13,001m ³ /s
Vazão de projeto (Qp)	143,01m ³ /s
Vol. de detenção desejado para amortecimento de 30% de Qc (Vs)	26.795,96m ³

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Após aplicar as equações do Método de Kokei Uehara para determinar a vazão de projeto, todos os dados necessários foram obtidos para a elaboração do Hidrograma Triangular. Este tipo de gráfico representa a vazão em função do tempo durante um evento de precipitação, caracterizando-se por uma elevação rápida até atingir o pico da vazão, seguida por uma queda gradual até retornar ao nível base.

O último passo desta metodologia envolveu a aplicação do Método Racional para determinar o volume de retenção necessário para o amortecimento desejado da vazão de pico, conforme estabelecido pelo Método de Kokei Uehara.

A equação para determinação do volume de retenção através do Método Racional geralmente compara cenários pré e pós urbanização na área da bacia de estudo. As vazões de pico são calculadas para os momentos anterior e posteriores ao desenvolvimento urbano de uma determinada área.

Neste estudo, optou-se por não considerar os dados de vazão de projeto pré e pós urbanização, baseando-se na análise dos resultados da dissertação de Matoso (2023). Conforme constatado ao longo do período de 30 anos estudado, de 1991 a 2021, a mudança no uso e cobertura do solo não resultou em um aumento significativo das ocorrências de inundações no município de Espera Feliz. Observou-se que o escoamento superficial permaneceu em uma ordem de grandeza estável ao longo dos anos, o que não justifica a inclusão desses dados para este estudo específico.

Canholi (2005) destaca que as vazões pré e pós urbanização podem ser consideradas como os picos de vazão atuais e pretendidos após a implementação de uma obra de reservação, sendo que o pico posterior será menor que o atual. Esses picos podem ser obtidos pelo método SCS ou pelo Método Racional.

Segundo Canholi (2005), dado o uso muito difundido da fórmula racional em hidrologia, um grande número de reservatórios foi dimensionado a partir do hidrograma obtido por esse método, através da Equação 14.

Portanto, foi estimada uma vazão de pico desejada (Q_d) com redução de 30% em relação à vazão de projeto (Q_p). Ambas as vazões foram aplicadas na Equação 14.

$$V_s = (Q_p - Q_d) \times t_c \quad (14)$$

Sendo:

Q_p : vazão de projeto = 143,01m³/s;

Q_d : vazão desejada para redução de 30% da vazão de projeto = 100,11m³/s;

t_c : tempo de concentração = 416,18s.

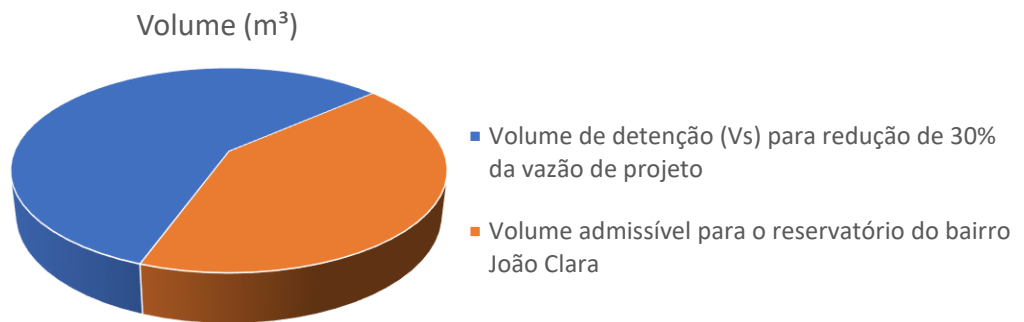
Substituindo os valores na Equação 14, obteve-se o resultado do volume de detenção necessário para redução do pico da vazão de projeto em 30%, sendo $V_s = 17.854,12 \text{ m}^3$.

O volume de detenção estimado para a área determinada para implantação do reservatório é de, aproximadamente, 7500 m^3 , podendo variar de acordo com a configuração do reservatório escolhido.

A estimativa foi feita através da delimitação da área de 2500 m^2 no Google Earth, considerando uma profundidade de até 3m, conforme citado por Tomaz (2016, *apud*, Melo, 2016).

Tal capacidade de armazenamento cumpre com 42% do objetivo inicial de redução da vazão de pico em 30% (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Volumes de detenção



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

5 DISCUSSÃO

De acordo com o objetivo destacado, este trabalho teve como prerrogativa inicial a utilização de métodos adequados para determinar a redução da vazão de projeto através da implantação de um reservatório de retenção para amortecimento de cheia no bairro João Clara, em Espera Feliz-MG, com base nas características e dados da área da bacia de estudo.

A aplicação de métodos expeditos de determinação de vazão de projeto e volume de retenção foi de fundamental importância no desenvolvimento metodológico desta pesquisa, uma vez que não foram encontrados dados reais estatísticos de vazão em função do tempo para a localidade, posto que não existe estação fluviométrica de monitoramento na área da bacia de estudo.

Outro fator relevante para esta pesquisa diz respeito aos dados algébricos, morfológicos e hidrológicos obtidos de outras bibliografias de pesquisas na mesma área de estudo, que possibilitaram resultados compatíveis e corroboráveis para a realidade local, além de terem viabilizado ponderações e conclusões a respeito dos resultados gerados nesse trabalho.

Todos os passos executados para o pleno desenvolvimento da metodologia deste trabalho foram aplicados com o amparo de levantamentos estritamente bibliográficos, os quais lançaram as bases conceituais e, dessa forma, foi possível desenvolver o trabalho correlacionando os dados.

Entretanto, é imprescindível destacar uma limitação metodológica imposta à pesquisa, no que tange à aplicação de métodos expeditos. A ausência de dados fluviométricos reais advindos de estações de monitoramento não permite a validação dos resultados obtidos. Ainda assim, nota-se que houve êxito em relação à proposta inicial, visto que o objetivo principal consistiu em reduzir a vazão de pico através da implantação do reservatório.

Os resultados obtidos através do processo metodológico para a implementação dos métodos expeditos, aplicados para promover a redução da vazão de pico e determinar o volume de retenção necessário, indicaram que, embora a área destinada à implantação do reservatório não comporte todo o volume necessário para uma redução de 30% da vazão de projeto, é possível alcançar uma redução de 42% em relação ao objetivo inicial (30%). Isso corresponde ao armazenamento de aproximadamente 7.500m³ no local escolhido.

A metodologia implementada oferece ao planejador uma estratégia de pré-dimensionamento, considerando as características da chuva local para abordar aspectos hidrológicos importantes no processo de gestão do uso e ocupação do solo. Dessa forma, ela estimula intervenções no manejo de águas pluviais, visando atenuar os impactos da urbanização na bacia hidrográfica por meio da implantação de medidas compensatórias baseadas no armazenamento temporário da água excedente.

A principal vantagem da formulação apresentada neste trabalho é sua aplicabilidade em diversas outras áreas da bacia de estudo, considerando as particularidades de cada região. É possível ajustar as taxas de ocupação e os períodos de retorno conforme o interesse do projetista ao dimensionar reservatórios de detenção para um local específico ou ao considerar futuras ampliações.

Ao comparar esta pesquisa com outras realizadas sobre o assunto, verifica-se que, mesmo com variações nos critérios de dimensionamento, os reservatórios de contenção de cheias mostram um impacto significativo na redução da vazão de pico em áreas impermeabilizadas.

Os reservatórios de detenção representam uma solução eficaz para mitigar inundações urbanas. A viabilidade de implementá-los em outras cidades brasileiras, conforme legislações vigentes, requer avaliação por parte das autoridades públicas. Adicionalmente, integrar reservatórios de contenção de cheias com outras medidas de controle pode oferecer uma estratégia complementar para lidar com os desafios provocados por precipitações intensas.

É evidente e, portanto, importante enfatizar, a necessidade de dimensionar dispositivos de atenuação de enchentes que abordem estratégias de técnicas compensatórias. É crucial realizar estudos prévios, especialmente na fase de planejamento do sistema de manejo de águas pluviais.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se, portanto, que a adoção de medidas para a atenuação da vazão de projeto e amortecimento de cheias, fundamentadas em princípios sustentáveis e integração adequada, possui um potencial significativo para aprimorar o sistema de drenagem.

Ao aumentar a capacidade de uma cidade para lidar com inundações, conseqüentemente, se gera impacto positivo na gestão das águas pluviais. Uma abordagem colaborativa, envolvendo tanto a comunidade quanto o poder público, desempenha um papel crucial nesse processo, proporcionando um ambiente mais resiliente e harmonioso.

No caso do município de Espera Feliz-MG, o volume de detenção do reservatório pré-dimensionado, 7.500m^3 , reduz em 12,6% a vazão de pico de $143,01\text{m}^3/\text{s}$. O volume ideal de detenção para atenuar a vazão de pico em 30% seria de, pelo menos, $17.854,12\text{m}^3$. Tal volume pode ser detido em um único reservatório ou através de outras medidas de detenção que possam ser adotadas, com o amparo de estudos de dimensionamento mais detalhados e aprofundados.

7 RECOMENDAÇÕES

Dada a crescente frequência de eventos climáticos que causam inundações na cidade de Espera Feliz, em paralelo à verificação das possibilidades de atenuar a vazão de pico apresentadas nesse trabalho, torna-se necessário incluir um tópico específico com recomendações para o desenvolvimento de estudos futuros.

É importante enfatizar que os valores apresentados neste estudo acerca da vazão de projeto e volumes de detenção, são valores obtidos através de métodos expeditos e simplificados, devendo ser utilizados, somente, a título de pré-dimensionamento.

Portanto, para um dimensionamento eficaz, é imprescindível que seja realizado um levantamento criterioso das características da bacia e do comportamento hidrológico nos pontos específicos onde se desejar implantar estruturas de detenção.

Recomenda-se a instalação de estações fluviométricas em pontos estratégicos da bacia para obter um melhor entendimento do comportamento hidrológico. Isso também incentivará o desenvolvimento de outros projetos destinados a mitigar os impactos das inundações na cidade e em toda a região de influência da bacia estudada.

No que tange ao amortecimento de cheias, diversas outras medidas estruturais e não estruturais podem ser implementadas no município. As obras de infraestrutura, por exemplo, que modificam o regime fluvial e minimizam a sobrecarga do sistema de drenagem urbana, a fim de mitigar os impactos das inundações.

Para isso, é fundamental levar em conta as limitações e susceptibilidades das áreas sujeitas a inundações ou outros eventos hidrológicos, adotando estratégias de planejamento territorial e gestão que priorizem a prevenção e a proteção das comunidades e do meio ambiente. Esse é o caminho mais eficaz para melhorar a qualidade de vida da população que vive em áreas vulneráveis aos riscos hidrológicos.

REFERÊNCIAS

ABCP. **Projeto Técnico: Reservatórios de Detenção**. São Paulo: Soluções Para Cidades, 2013. Disponível em: <http://solucoesparacidades.com.br/saneamento/reservatorios-de-detencao/>. Acesso em: 20 abr. 2024.

Amaral, C. (1997). **Landslides disasters management in Rio de Janeiro**. 2a Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (2a COBRAE), ABMS, ABGE e ISSMGE. Rio de Janeiro, 2009-2012.

AMARAL, R.; RIBEIRO, R.R. 2009. **Inundação e Enchentes**. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. 2009. Desastres Naturais: conhecer para prevenir. São Paulo, Instituto Geológico.

ARAÚJO, Ana Carolina da Silva; ANDRADE, Marcel Pereira; RIBEIRO, Celso Bandeira de Melo; CÂNDIDO, Vinicius Bignoto da Rocha; MENDES, George de Cassia; MELO, Thais Therezinha Rezende; GANTE, Luis Gustavo Abdo. **Aplicação do Método de Puls no Amortecimento de Cheias – Carangola (MG)**. XIV Encontro Nacional de Águas Urbanas e IV Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos. Brasília, 2022. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/189/XIV-ENAU_IV-SRRU0016-1-0-20220818-222205.pdf. Acesso em: 20 fev. 2024.

ASCE. Manuals and Reports on Engineering Practice. **Design of guyed electrical transmission structures**. New York, 1997.

Baptista, M.; Nascimento, N.; Barraud, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005.

BIDONE, Francisco R. A.; TUCCI, Carlos E. M. **Microdrenagem**. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org.); PORTO, Rubem La Laina (Org.); BARROS, Mário T. de (Org.). Drenagem Urbana. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Brasília, 2007.

Canholi, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CASTRO, L. M. A. **Proposição de indicadores para avaliação de sistemas de drenagem urbana**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.

COLLISHCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2a impressão, 2015.

COSTA, José Roberto de Campos Junior. **Como Calcular vazão de projeto com o Método Kokei Uehara**. 2022. Disponível em: <https://sobreasaguas.com/2022/02/23/como-calcular-vazao-de-projeto-com-o-metodo-kokei-uehara/>. Acesso em: 01 jul. 2024.

CURITIBA. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Manual de drenagem urbana da região metropolitana de Curitiba**. Curitiba: SUDERHSA, 2002. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf. Acesso em: 09 abr. 2024.

DAEE. **Manual de Cálculo de Vazões Máximas, Médias e Mínimas para as Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, 1994.

DAEE. **Manual de Cálculo de Vazões Máximas, Médias e Mínimas para as Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, 2005.

EISENHARDT, K. M. **Building Theories from Case Study Research**. Academy of Management Review, 1989.

ESPERA FELIZ. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. **Arquivo Interno**. Espera Feliz, 2020.

ESPERA FELIZ. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. **Plano de Contingência Municipal**. PLANCOM, 2021.

FERREIRA, Marcos Souza; COELHO, Márcia M. L. P.; MOURA, Priscilla Macedo; BAPTISTA, Márcio Benedito; MENEZES, Marcos Veloso de. **Custos de manutenção de bacias de retenção para controle de cheias na cidade de belo horizonte- mg**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2003, Bento Gonçalves. Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

FUNIBER. Fundação Universitária Iberoamericana. **Desigualdade de gênero no esporte**. 2022. Disponível em: <https://blogs.funiber.org/pt/esportes/2022/07/26/funiber-genero-esporte#:~:text=Uma%20das%20quest%C3%B5es%20mais%20controversas,e%20na%20cobertura%20da%20m%C3%ADdia>. Acesso em: 11 fev. 2024.

HORN, A. H., SOARES, A. C. P. **Geologia da folha Espera Feliz**. SF. 24-VA-IV. 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2024.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Revista Desafios do Desenvolvimento. **Mudanças Climáticas - Sociedade de risco**. 68. ed. Brasília, 2011. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2600:catid=28&Itemid=23. Acesso em: 11 fev. 2024.

LIMA, Herlander Mata; SILVA, Evaristo Santos; RAMINHOS, Cristina. **Bacias de retenção para gestão do escoamento: métodos de dimensionamento e instalação**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 1, n. 59, p. 97-109, mar. 2006.

MAIDMENT, David R. **Handbook of hydrology**. New York – USA: McGraw-Hill, Inc, 1992. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/448219042/Handbook-of-Hydrology-by-David-R-Maidment-www-CivilEnggForAll-com-1-pdf>. Acesso em 03 mar. 2024.

MATOSO, Ramon Octaviano de Castro. **Perspectiva Hidrológica E Morfológica No Contexto Das Inundações Urbanas Em Espera Feliz – Mg**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2023. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/ramonoctavianodecastromatoso.pdf>. Acesso em 01 jun. 2024.

MCCUEN, R.H. **Hydrologic analysis and design**. Prentice-hall, Inc. New Jersey, 1998.

MDR. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **GIRD+10: Caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres**. 1. ed. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec>. Acesso em: 8 fev. 2024.

MELO, Guilherme Matheus Inácio. **Dimensionamento de Reservatórios de Detenção como Controle do Escoamento Superficial na Zona de Expansão de Aracaju**. Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, SE, 2016. Disponível em: <https://deam.ufs.br/pagina/6244>. Acesso em: 22 fev. 2024.

MENESES, Anísio de Souza; TEIXEIRA, Lucas Florêncio da Cunha; LOPES, Gustavo Siebra. **Dimensionamento de Reservatório de Detenção partindo da Relação IDF regente no Município de Fortaleza (CE)**. Universidade Federal de Fortaleza. Fortaleza, 2020. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/jalmeida,+2.+Layout+Lucas+Teixeira.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2024.

MOURA, Priscilla Macedo. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana**. Tese (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG Belo Horizonte-MG, 2004.

ONU. Organização das Nações Unidas. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects, the 2011 Revision: Highlights**. New York, 2012. Disponível em: https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/WUP2011_Report.pdf. Acesso em: 5 fev. 2024.

ONU. Organização das Nações Unidas. United Nations Human Settlements Programme. **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf. Acesso em: 5 fev. 2024.

ONU BR. Nações Unidas no Brasil. **Esporte para o desenvolvimento e a paz**: informativo da ONU no Brasil. Basil, 2016. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000244329>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PINTO, F. R.; FRANÇA, R. A. B. **Dimensionamento de uma bacia de retenção e proposta para reutilização da água retida em um loteamento na cidade de São José dos Campos – SP**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Paulo, 2016.

POMPÊO, C. A. **Drenagem urbana sustentável**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n. 1. 2000.

PORTO ALEGRE. Prefeitura. **Detenção - as bacias que ficam secas**. Porto Alegre, RS, 2008. Disponível em: https://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?p_secao=69. Acesso em: 20. fev. 2024.

ReCESA. Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Águas pluviais: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3 / Ministério das Cidades**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte, 2007.

REZENDE, Rafaela de Freitas. **Dimensionamento do Sistema de Drenagem Tradicional e Sistema com Utilização de Microrreservatórios**: Estudo de caso no município de Itabirito-MG. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação). Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET. Belo Horizonte, 2018.

ROMERO, Gilberto; MASKREY, Andrew. **Como entender los desastres naturales**. In: MASKREY, Andrew (Org.). Los desastres no son naturales. Bogotá: Tercer Mundo Editores, 1993. Disponível em: <https://www.desenredando.org/public/libros/1993/ldnsn/LosDesastresNoSonNaturales-1.0.0.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2024.

SANTA CATARINA. Governo do Estado. **Gestão de Risco de Desastres**. Secretaria Estadual de Defesa Civil. Florianópolis, 2012. Disponível em: chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.defesacivil.sc.gov.br/imagens/doctos/seminarios/Gestao_de_RISCO_de_desastres_BAIXA.PDF. Acesso em: 23 jul. 2024.

SEDESE. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Social. Prefeitura Municipal. **Arquivo Interno**. Espera Feliz, 2024.

SINDPEC. Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil. Sistema Integrado de Informações sobre Desastres – S2iD. **Formulário de Informações do Desastre** –

FIDE. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/index.xhtml>. Acesso em 10 fev. 2024.

TAVANTI, D. R; BARBASSA, A. P. **Pluris Contribuições do Planejamento Urbano às Questões Hidrológicas e Ambientais**. 4º Congresso Luso-brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável – Pluris 2010. Universidade do Algarve. Faro, Portugal, 2010. Disponível em: <http://pluris2010.civil.uminho.pt/>. Acesso em: 14 fev. 2024.

THIOLLENT, M. **Metodologia de Pesquisa-ação**. Saraiva. São Paulo, 2009.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais: Piscinões, galerias, bueiros, canais, método SCS**, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55. Editora Navegar. São Paulo, SP, 2002.

TOMAZ, Plínio. **Plínio Tomaz Engenharia: Método Racional**. 2021. Disponível em: <https://www.pliniotomaz.com/post/dicas-de-hidrologia-e-hidraulica-dica-2-metodo-racional>. Acesso em 30 abr. 2024.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Coleção ABRH de recursos hídricos, v.4, Editora Universidade, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. 4.ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Coleção ABRH, volume 11. Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007.

TUCCI, C. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. [S.l.]: Editora da Universidade, UFRGS, 2007. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). ISBN 9788570259240.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. Estudos Avançados. v. 22, n. 63, 2008.

UFMG. Universidade Federal de Minas Gerais. **Entidades assinam manifesto que cobra novas ações para evitar enchentes**. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://ufmg.br/comunicacao/noticias/entidades-assinam-manifesto-que-cobra-novas-aco-es-para-evitar-enchentes>. Acesso em: 23 jul. 2024.