



**GUILHERME HENRIQUE SÁVIO SANTOS
GUILHERME RIBEIRO ANTUNES**

**ESTUDO HIDROLÓGICO E ESTIMATIVA DO VOLUME DE
RECARGA PARA AS BARRAGENS EM CASCATA DA UFLA**

**LAVRAS – MG
2023**

**GUILHERME HENRIQUE SÁVIO SANTOS
GUILHERME RIBEIRO ANTUNES**

**ESTUDO HIDROLÓGICO E ESTIMATIVA DO VOLUME DE RECARGA PARA AS
BARRAGENS EM CASCATA DA UFLA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Eduardo Souza Candido
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

**GUILHERME HENRIQUE SÁVIO SANTOS
GUILHERME RIBEIRO ANTUNES**

**ESTUDO HIDROLÓGICO E ESTIMATIVA DO VOLUME DE RECARGA PARA AS
BARRAGENS EM CASCATA DA UFLA**

**HYDROLOGICAL STUDY AND ESTIMATION OF RECHARGE VOLUME FOR
THE UFLA CASCADE DAMS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 15 de dezembro de 2023.

Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido – UFLA

Prof. Dr. Victor Buono da Silva Baptista – UFLA

Milena Cristina Paula de Carvalho - UFLA

Prof. Dr. Eduardo Souza Candido
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

SANTOS e ANTUNES, Guilherme e Guilherme HENRIQUE
SÁVIO, RIBEIRO.

Estudo hidrológico e estimativa do volume de recarga para as
barragens em cascata da Ufla / Guilherme e Guilherme HENRIQUE
SÁVIO, RIBEIRO SANTOS e ANTUNES. - 2023.

65 p.

Orientador(a): Eduardo Souza Candido.

Monografia (graduação) - Universidade Federal de Lavras,
2023.

Bibliografia.

1. Bacia hidrográfica. 2. Escoamento superficial. 3. Hidrologia.
I. Candido, Eduardo Souza. II. Título.

AGRADECIMENTOS

Chegamos ao final de mais uma etapa de nossas vidas, e gostaríamos de agradecer a todas as pessoas que foram fundamentais para tal acontecimento.

A Deus, pela oportunidade de superar todos os desafios e, com fé, saúde e esperança, conseguirmos concluir nosso curso.

Aos nossos amigos que sempre contribuíram positivamente para nossa vida nos dando apoio em todos os momentos.

Aos nossos familiares que nos encorajaram e torceram por mais essa conquista.

A todos os professores que estiveram presentes na nossa formação, e que nos ajudaram a desenvolver as habilidades técnicas necessárias para nossa profissão. Em especial, nosso orientador Eduardo que apesar da intensa rotina de sua vida acadêmica aceitou nos orientar nesta monografia. As suas valiosas indicações e conselhos fizeram toda a diferença.

A mestrandia Milena, que nos orientou por todo esse percurso com tranquilidade, sem medir esforços para nos instruir, sempre nos motivando a evoluir em todas as etapas realizadas

A vocês, deixamos nossa gratidão!

Aos meus pais Maria José e Emerson, que sempre acreditaram em mim e que juntamente com meus avós, apoiaram minhas decisões e não mediram esforços para que este sonho se tornasse realidade. Aos meus amigos e colegas de classe, por sempre estar presente durante os melhores e piores momentos da graduação, em especial Guilherme Ribeiro com sua força de vontade e companheirismo, em especial, neste trabalho a qual finalizamos mais uma etapa juntos. E ao pessoal da Geo Soluções que me acolheram para uma experiência de estágio que superou todas minhas expectativas, contribuindo muito para meu desenvolvimento como profissional.

Guilherme Henrique Sávio Santos

Aos meus pais, Luziane e Pedro, e minha irmã Daiane que sempre estiveram ao meu lado me dando suporte e incentivo para a concretização desse sonho. Sem a assistência de vocês eu não teria finalizado mais esta etapa. Aos meus amigos, Guilherme Henrique e Marcelo por todo companheirismo durante a faculdade e, em especial, neste período de trabalho que compartilhamos juntos, estando sempre presente em todos os momentos.

Guilherme Ribeiro Antunes

RESUMO

A utilização de reservatórios para o armazenamento de água precipitada vem se tornando uma solução cada vez mais aplicada à projetos de abastecimento de água, agropecuária e mineração. Diante disso, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelece diretrizes para o controle e fiscalização de reservatórios de água, com o intuito de gerar segurança e mitigação de riscos sociais e ambientais. Neste contexto, é de extrema importância que se possua um acervo de informações quanto as características das estruturas e da região para que possam ser verificadas as condições de segurança delas. Este estudo visa analisar as precipitações e avaliar a contribuição de escoamento direto para o volume em três barragens em cascata localizadas na região sul de Lavras-MG. Para o estudo foi realizada a delimitação da área das bacias, considerando as regiões de contribuição para o escoamento de água, utilizando o software ArcGis Pro 3.2. Além disso, também foram avaliados os dados históricos de precipitação dos últimos 24 anos, registrados pela estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e três estações pluviométricas locais e catalogados pela Agência Nacional de Águas (ANA). As estimativas do volume máximo de água precipitada foram realizadas considerando o tempo de retorno de cem, quinhentos e mil anos relatados na lei 12.334 de 2010 do CNRH. A região das bacias apresenta uma precipitação média anual de 1525,46 mm, com a bacia 02 demonstrando ser a menos sujeita a enchentes, conforme o fator de forma, índice de conformação e compacidade. Entre os anos de 1960 e 1985 a máxima precipitação anual observada foi de 2516,00 mm e mínima de 822,64 mm. A intensidade de precipitação para o tempo de retorno (TR) de 500, 1000 e 10000 anos, demonstram que a bacia de maior precipitação observada, para os tempos de retorno analisados, foi a bacia 03.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Escoamento superficial. Hidrologia.

ABSTRACT

The use of reservoirs for storing precipitated water has increasingly become a solution applied in water supply, agriculture, and mining projects. In response, the National Water Resources Council (CNRH) establishes guidelines for the control and supervision of water reservoirs, aiming to ensure safety and mitigate social and environmental risks. In this context, it is extremely important to have a collection of information regarding the characteristics of the structures and the region so that their safety conditions can be verified. This study aims to analyze precipitation patterns and evaluate the contribution of direct runoff to the volume in three cascading dams located in the southern region of Lavras-MG. The study involved delineating the watershed areas, considering the contributing regions for water runoff, utilizing ArcGis Pro 3.2 software. Additionally, historical precipitation data from the last 24 years, recorded by the meteorological station of the National Institute of Meteorology (INMET), and three local rain gauge stations cataloged by the National Water Agency (ANA) were evaluated. Estimates of the maximum volume of precipitated water were made considering return periods of one hundred, five hundred, and one thousand years, as stated in CNRH's Law 12.334 of 2010. The watershed region exhibits an average annual precipitation of 1525.46 mm, with basin 02 appearing to be the least prone to floods, as per the shape factor, conformation index, and compactness. Between 1960 and 1985, the maximum annual precipitation observed was 2516.00 mm, and the minimum was 822.64 mm. The precipitation intensity for return periods (TR) of 500, 1000, and 10000 years indicates that basin 03 experienced the highest observed precipitation among the analyzed return periods.

Keywords: Watershed. Surface runoff. Hydrology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	16
Figura 2 - Bacia hidrográfica	18
Figura 3 - Relação formato da bacia com tempo de concentração	20
Figura 4 - Representação de parâmetros para cálculo do fator de forma	21
Figura 5 - Comparação entre bacias com índices de conformação distintos	22
Figura 6 - Diferentes formas e seus índices	22
Figura 7 - Classificação Köppen para o estado de Minas Gerais	24
Figura 8 - Localização geográfica das três barragens na cidade de Lavras, MG	31
Figura 9 - Bacia hidrográfica 01	32
Figura 10 - Bacia hidrográfica 02	33
Figura 11 - Bacia hidrográfica 03	33
Figura 12 - Contorno das bacias e suas áreas construídas	35
Figura 13 - Estação meteorológica local	36
Figura 14 - Dados Pluviométricos e Quantificação de Falhas	37
Figura 15 - Regionalização homogênea no sul de Minas Gerais	37
Figura 16 - Dados Pluviométricos e quantificação de meses com presença de Falhas	38
Figura 17 - Parâmetros regionais no Plúvio 2.1	40
Figura 18 - Diagrama de dupla massa da estação meteorológica de Lavras - MG (OMM 83687)	43
Figura 19 - Comparativo entre as leituras anuais de precipitação entre as estações meteorológicas	44
Figura 20 - Declividade das áreas de influência	47
Figura 21 - Mapeamento de solos no município de Lavras	48
Figura 22 - Comparativo entre precipitações médias de todas as estações	50
Figura 23 - Comparativo de distribuição média de dias chuvosos no ano	51
Figura 24 - Distribuição da precipitação da bacia em função dos meses do ano	51
Figura 25 - Distribuição da quantidade média de dias chuvosos da bacia	52
Figura 26 - Precipitação anual da Bacia no Período Analisado	52
Figura 27 - Curva de Intensidade Duração e Frequência (IDF) - Estação OMM 83687	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de deflúvio (CN) quanto a ocupação do solo	28
Tabela 2 - Coordenadas geográficas do ponto de menor elevação das cristas das barragens	30
Tabela 3 – Localização e coordenadas das estações pluviométricas	38
Tabela 4 - Parâmetros regionais obtidos no Plúvio 2.1	41
Tabela 5 - Áreas de contribuição da bacia hidrográfica	44
Tabela 6 - Índices de compacidade para as três bacias estudadas	45
Tabela 7 - Índice de fator de forma para as três bacias estudadas	45
Tabela 8 - Índices de conformação para as três bacias estudadas	46
Tabela 9 - Ocupação superficial das áreas e parâmetros CN (Curve Number)	48
Tabela 10 - Distribuição de dias chuvosos no ano	49
Tabela 11 - Características e temo de concentração da bacia	53
Tabela 12 - Intensidade da chuva em função do Tempo de retorno - Estação OMM 83687	54
Tabela 13 - Precipitação estimada considerando em função do tempo de retorno	55
Tabela 14 - Parâmetros adimensionais das características da região	55
Tabela 15 - Precipitação efetiva em função do tempo de retorno	56
Tabela 16 - Vazão de contribuição em Função do tempo de Retorno	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 Ciclo da água	15
3.2 Bacia hidrográfica e suas características	17
3.3 Características climáticas e geográficas	23
3.4 Pluviometria	24
3.5 Precipitação máxima provável (PMP)	26
3.6 Escoamento superficial direto	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 Local de estudo	30
4.2 Características das bacias	31
4.2.1 Delimitação das bacias	31
4.2.2 Caracterização das bacias	32
4.2.3 Características morfométricas das bacias	34
4.2.4 Geologia, uso e ocupação do solo	35
4.3 Análise da precipitação	35
4.3.1 Coleta dos dados	35
4.3.2 Preenchimento de falhas	39
4.3.3 Tempo de concentração	39
4.3.4 Intensidade	39
4.3.5 Precipitações efetivas e vazões de projeto	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5.1 Preenchimento de falhas	43
5.2 Características morfométricas das bacias	44
5.3 Declividade dos talwegues principais das bacias	46
5.4 Geologia, uso e ocupação do solo das bacias	47
5.5 Análise das precipitações das estações	49
5.5.1 Precipitações na bacia	49
5.5.2 Precipitações na bacia hidrográfica	51

5.5.3 Análise de intensidade, duração e frequência das chuvas	53
5.5.4 Precipitação efetiva e escoamento principal	55
5.5.5 Vazão de projeto	56
6 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

A água está presente em grande parte das atividades cotidianas da população e diretamente ligada ao setor agrícola e industrial, sendo considerada um elemento natural. Historicamente, apresenta ligação direta no crescimento e desenvolvimento da sociedade (FERNANDES et al., 2021). No entanto, com o avanço do crescimento populacional, tornou-se necessário o aprimoramento das metodologias de armazenamento de água, para atender as demandas atuais e futuras por este recurso, especialmente, em época de escassez (RODRIGUES et al., 2022).

Nos últimos anos, os setores de infraestrutura urbana e agropecuária têm sido os principais responsáveis por impulsionar o crescimento no número de reservatórios destinados ao acúmulo de água precipitada, em todas as regiões do país, devido à sua demanda por água e à condição insalubre de água em muitas regiões (WISSER et al., 2010; DIAS; LASCHEFSKI, 2019). Isso é possível devido as condições climáticas, de relevo e solo do Brasil, levando à formação de bacias hidrográficas favorecendo a funcionalidade dos reservatórios para o manejo e armazenagem de água precipitada (PEIXOTO; SILVEIRA, 2017). Em geral, os reservatórios de água estão localizados em regiões próximas a bacias hidrográficas e cursos d'água, o que resulta em uma menor variação no volume de água dos reservatórios.

Considerando a importância de tais regiões e o grande potencial de danos ambientais com a construção de reservatórios (COSTA et al., 2022), é imprescindível que as diretrizes e normas estabelecidas no Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), para garantir manejo adequado, o gerenciamento dos recursos hídricos e segurança destas estruturas, sejam respeitadas e atendidas (SILVA et al., 2021). Para isso, é necessário obter informações sobre os fatores que influenciam na construção e manutenção de reservatórios de água.

Entre as regiões de Lavras-MG que possuem tais reservatórios, destaca-se a Universidade Federal de Lavras (UFLA), que possui 2 reservatórios executados em modelo cascata. A jusante existe um terceiro reservatório após a rodovia MG-335, externo à universidade. A proximidade das 2 primeiras barragens com as áreas residenciais é vista como um fator que aumenta o potencial de risco e danos causados em caso de falha das estruturas de contenção, sendo necessário o estudo e monitoramento dessas barragens e do seu entorno para verificar a necessidade de se adequar às normas descritas pelo CNRH.

Com base nestas informações, neste trabalho foi realizado um estudo hidrológico com o objetivo de estimar o volume de água recebido pelas bacias que abastecem as barragens alvo de estudo. Tais informações auxiliam na avaliação de segurança e risco das estruturas, sendo

base de referência na elaboração estudos posteriores de ações mitigadoras de risco, como o estudo de ruptura hipotética (Dam Break) e avaliação de risco hidrodinâmico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar a vazão de contribuição pela precipitação para três barragens em cascata, localizadas no perímetro urbano da cidade de Lavras, Minas Gerais.

2.2 Objetivos específicos

- Estimar a precipitação máxima por metro quadrado considerando os cenários do tempo de recorrência na área da bacia 500, 1.000 e 10.000 anos.
- Quantificar a vazão resultante do escoamento superficial direto da precipitação para cada barragem.
- Realizar a caracterização morfométrica das bacias estudadas, como forma, tamanho e declividade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Ciclo da água

A existência de água em nosso planeta é crucial para a vida humana e outras formas de vida que dependem dela. A maior parte dessa água está nos oceanos, que abrangem cerca de 350 milhões de quilômetros quadrados, representando dois terços da superfície terrestre (QUEIROZ, 2012). A água se dispersa continuamente por toda a superfície do planeta a partir dos oceanos, atravessando a atmosfera. O processo responsável por essa constante movimentação da água em suas fases (sólida, líquida e gasosa) na Terra é conhecido como ciclo hidrológico (TEIXEIRA et al., 2014).

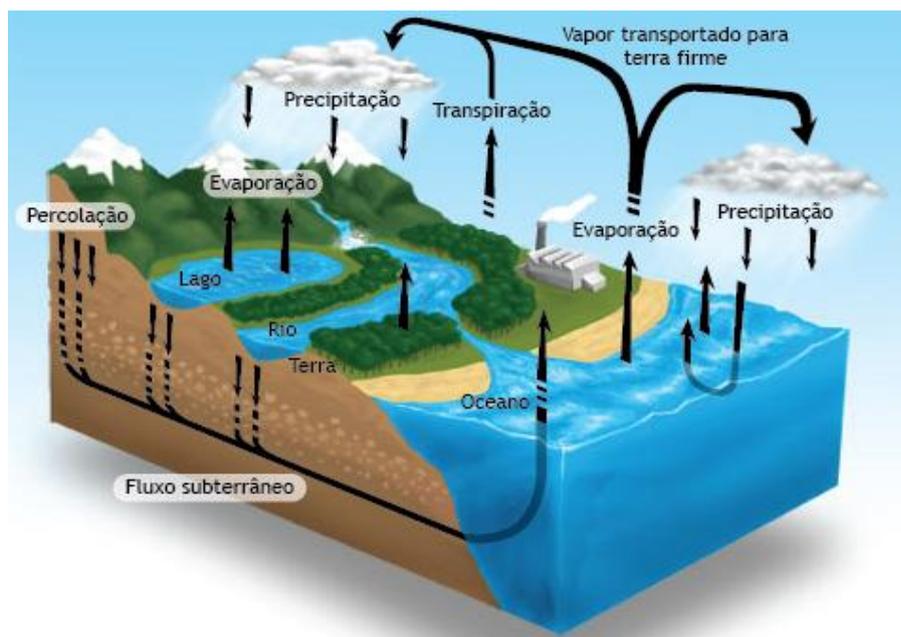
O ciclo hidrológico é um fenômeno global que compreende a transferência de água entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo predominantemente impulsionado pela energia solar em associação com os efeitos da gravidade e a rotação do planeta terra (TUCCI, 1993; SOLLACI; LIMA, 2021). Nesse ciclo, a entrada de água ocorre por meio da precipitação, que envolve a transferência de água da atmosfera para a superfície na forma de chuva, granizo, neve, orvalho e geada, enquanto o retorno da água da superfície para a atmosfera ocorre por meio da evapotranspiração (ET), um processo composto por evaporação e transpiração (VERGNE, 2020). Assim, o ciclo hidrológico é influenciado por vários fatores ambientais, tais como evaporação, transpiração, precipitação, interceptação, infiltração e escoamento (SOLLACI; LIMA, 2021).

Neste sistema, a evaporação consiste na transformação da água presente no solo, rios, lagos, oceanos e organismos vivos, em vapor d'água por intermédio da energia solar, estando diretamente ligada às condições climáticas e à ocupação da região, com os oceanos responsáveis por cerca de 70% da água evaporada (TUCCI, 2004; CHOKKAVARAPU; MANDLA, 2019). Com a evaporação, as microgotículas de vapor d'água presentes na atmosfera se agrupam com partículas de poeira e gelo suspensas no ar, que atuam como núcleos de condensação, originando o conjunto de nuvens (MELLO et al. 2012). Com o aumento do peso das partículas de água, ocorre uma maior ação da força gravitacional terrestre e como resultado a água cai em forma de gotas d'água ou cristais de gelo, sendo este processo denominado precipitação (JUNIOR, 2022). A precipitação é a variável meteorológica que mais se associa com o balanço hídrico, pois possibilita determinar o excesso de água ou a sua escassez em uma determinada região (WESTRA et al., 2014).

A água resultante da precipitação pode alcançar diretamente a superfície, seja terrestre ou aquática, ou ser interceptada por elementos como as copas das árvores ou qualquer tipo de cobertura, e escoar para o solo (LORENZON, DIAS; LEITE, 2013). A quantidade de água que chega ao solo pode ser influenciada por diferentes fatores, como a intensidade da chuva, presença de cobertura no solo, presença de floresta, densidade da floresta, formato da cobertura vegetal, área foliar e estrutura da casca (LORENZON, DIAS; LEITE, 2013). Parte dessa água que atinge o solo acaba infiltrando, movendo-se da superfície para o subsolo, onde frequentemente se acumula, formando reservas subterrâneas, conhecidas como aquíferos (SILVA; CAVALCANTI, 2019). Estes aquíferos funcionam como um reservatório natural do fluxo interno de água que ocorre em terrenos de menor elevação.

Nesse contexto, nota-se que o uso e ocupação do solo têm forte influência sobre o escoamento e infiltração da água na superfície, podendo alterar o volume de vazão máxima das bacias hidrográficas e resultar no aumento do escoamento de água para lagos e rios, conseqüentemente ocasionando enchentes nas grandes cidades ou áreas próximas dos corpos hídricos (WLASH, 2005; ARNDT, 2009). A topografia do terreno também influencia no escoamento, infiltração e direcionamento da água para os corpos hídricos. Na Figura 1, é apresentado o esquema ilustrativo dos principais elementos envolvidos no ciclo hidrológico.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico.



Fonte: Almeida (2012).

Diante do exposto, é possível perceber a importância do ciclo hidrológico para repor a água doce do planeta, especialmente, pela evaporação da água do oceano somada a precipitação (GARCIA; MORENO; FERNANDES, 2015). Contudo, vale destacar que o volume de água global varia de acordo com a região, sendo que em áreas de maior ocorrência de chuva há um maior volume de água, enquanto as regiões de maior incidência de secas possuem uma redução da quantidade de água que pode levar a conflitos sociais por ambientes abundantes desse elemento.

Logo, considerando que as condições climáticas podem interferir na evaporação, transpiração, precipitação e infiltração da água, esta tem sido objeto de análise na gestão de riscos ocasionados pelas condições adversas do clima em seu regime histórico (EASTERLING, 2000). Portanto, para garantir a segurança hidráulica, a estimativa da intensidade das chuvas é um fator condicionante para elaboração e adequação de um projeto de contenção de água, principalmente em obras de barragens (MELO, 2001).

3.2 Bacia hidrográfica e suas características

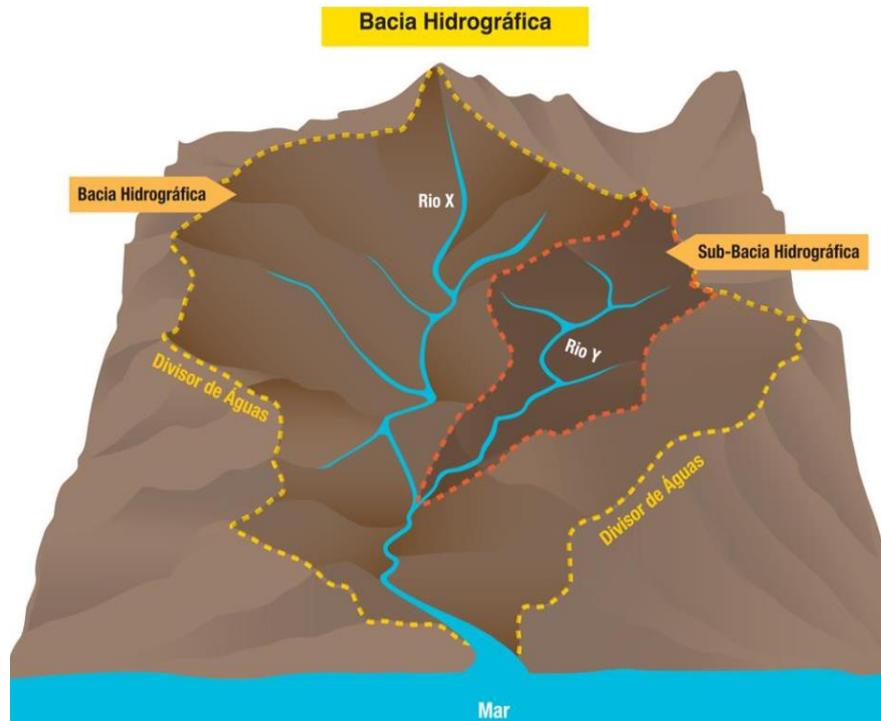
Uma bacia hidrográfica é uma área geográfica delimitada pelas elevações mais altas do relevo circundante, na qual as águas das chuvas, riachos, córregos e rios drenadas convergem para um único ponto de saída, como um rio principal, lago ou oceano, também conhecido como exultório (TUCCI, 1993). Essa área é definida pelas divisas naturais das montanhas ou elevações de terreno que direcionam o fluxo de água para um curso d'água comum.

Tais divisas podem formar subdivisões de grandes bacias em unidades menores, denominadas sub-bacias. O estudo e monitoramento de sub-bacias permite correlacionar as análises da qualidade da água com a dinâmica do uso e ocupação do solo, juntamente com outras variáveis relevantes para uma compreensão abrangente (MORAIS; LORANDI, 2016).

Neste contexto, a análise do uso da terra e da cobertura vegetal em bacias hidrográficas torna-se indispensável em estudos de avaliações ambientais. Sendo assim, a vegetação tem um impacto significativo na infiltração da água no solo, influenciando diretamente a condutividade hidráulica, um elemento crucial para a recarga de aquíferos, lagos e rios (CRUZ; LUIZ; NASCIMENTO, 2023). Contudo, com o avanço das atividades antrópicas, principalmente o desmatamento, a vegetação nativa vem perdendo espaço, e sua retirada tem influência no ciclo hidrológico e nas características dos solos, prejudicando corpos hídricos (PINHEIRO;

TEIXEIRA; KAUFMANN, 2009). A Figura 2 apresenta a ilustração de uma bacia hidrográfica e uma sub-bacia.

Figura 2 - Bacia hidrográfica.



Fonte: Bargos (2018).

Em bacias hidrográficas a vegetação é um elemento natural de grande importância que favorece a drenagem da água ao subsolo, suas raízes criam passagens que facilitam a infiltração da água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990). Nesse caso, sua retirada para a ocupação e uso do solo leva à exposição da superfície da terra, gerando impactos como redução da infiltração de água devido ao escoamento muito rápido, erosão e assoreamento de rios e cursos d'água (BATISTA; SOUSA, 2015).

Além dos aspectos ambientais envolvidos em uma bacia hidrográfica, também é importante conhecer os parâmetros físicos da área superficial, topografia, declividades e rede de drenagem, para analisar as interações entre seus componentes e as atividades humanas (JÚNIOR et al., 2007). Nesse caso, o uso de tecnologias, como a cartografia digital e o sistema de informações geográficas (SIG), são bastante usados na coleta e processamento fisiográficos, como declividade, cobertura do solo, área e comprimento da bacia (TUCCI, 2004). A seguir,

são apresentadas algumas características e índices usados para caracterizar uma bacia hidrográfica:

- **Área da Bacia:** é a área que canaliza a água proveniente das precipitações para alimentar o curso de água. A área de drenagem é compreendida como a superfície plana em projeção horizontal, delimitada pelos divisores de água, que, normalmente, é quantificada em quilômetros quadrados ou hectares (TEODORO et al., 2007).
- **Forma da Bacia:** a forma de uma bacia hidrográfica é frequentemente descrita em termos de sua relação comprimento/largura, que representa a relação entre a extensão do curso d'água principal e a largura média da bacia. Bacias hidrográficas podem ser classificadas como alongadas (formato mais comprido), arredondadas (formato mais equilibrado) ou ramificadas (com vários ramos e afluentes) (BORGES, 2019). A forma da bacia hidrográfica influencia o comportamento do fluxo de água, os padrões de drenagem e a distribuição espacial dos recursos hídricos na região.

A determinação da configuração física, como a forma da bacia e a área podem ser adquiridas ao sobrepor todas as camadas sobre a imagem de satélite, torna-se viável realizar o cálculo da área da microbacia, bem como determinar o fator de forma (Ff) e os índices de compacidade (Kc) e conformação (Fc) (PANTA; ALVES, 2015). Tais variáveis são usadas com o objetivo de estabelecer relações de configuração de uma bacia com formas geométricas reconhecíveis.

O índice de compacidade (Kc), representa a proporção entre o perímetro da bacia (P) e a circunferência de um círculo que possui a mesma área (A) que a bacia (OLIVEIRA; LIMA; LOLLO, 2022). O Kc pode ser calculado a partir das Equações 1, 2 e 3

$$A = \pi \cdot r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (1)$$

$$K_c = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (2)$$

$$K_c = 0,282 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Ou seja, à medida que o índice de Kc diminui, a bacia tende a ser mais circular, resultando em um tempo menor de concentração e uma propensão maior para a ocorrência de picos de cheias. Isso pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Relação formato da bacia com tempo de concentração.



Fonte: Nascimento et al. (2021).

O fator de forma (Ff), refere-se à relação entre a largura média da bacia e a medida do seu comprimento axial, estendendo-se ao longo do curso d'água desde a desembocadura até a cabeceira mais distante do divisor de águas, como apresentado na Figura 4, e pode ser determinado por:

$$F_f = \frac{\bar{L}}{L_{AX}} \quad (4)$$

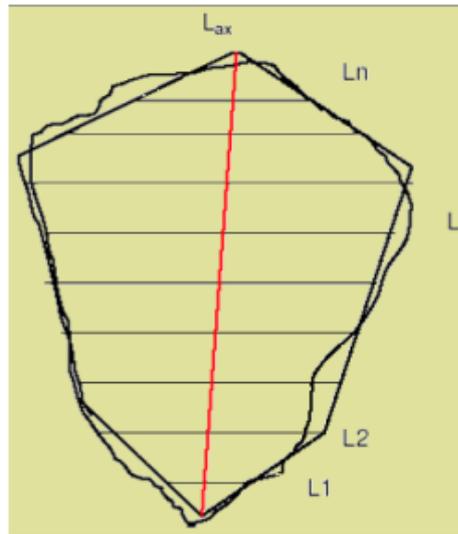
L_{ax} é o comprimento axial da bacia

Sendo \bar{L} a média dos comprimentos axiais obtido da seguinte forma:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_f}{n} \quad (5)$$

Onde, Ff próximo ou maior que 1 indica que a bacia é arredondada (ou circular) e $F_f < 1$, a bacia possui forma mais alongada

Figura 4 - Representação de parâmetros para cálculo do fator de forma.



Fonte: Bargos (2018).

Ou seja, à medida que o Fator de Forma (Ff) diminui, indica uma bacia mais alongada, ela tende a ser menos suscetível a picos de enchente, uma vez que o tempo de concentração (t_c) é maior. Nesse caso, valores entre 1,00 – 0,75 - sujeito a enchentes, 0,75 – 0,50 - tendência mediana e $< 0,50$ - não sujeito a enchentes (RODRIGUES et al., 2015).

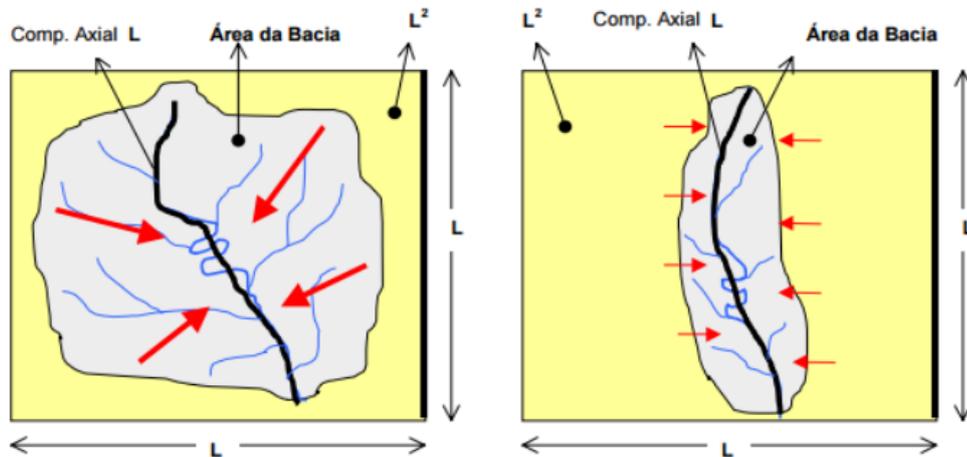
O Índice de Conformação (Fc), é usado para avaliar a extensão da bacia em relação ao lado de um quadrado com comprimento axial equivalente. Na ausência de outros fatores interferentes, à medida que o valor de Fc se aproxima de 1 (um) (indicando uma maior semelhança da forma da bacia com a do quadrado de comprimento axial correspondente) a potencialidade para a ocorrência de picos de cheia é ampliada (VILLELA; MATTOS, 1975; RODRIGUES et al., 2015). O Fc pode ser representado por:

$$F_c = \frac{A}{L_{ax}^2} \quad (6)$$

Onde “A” se refere a área da bacia.

As representações ilustradas na Figura 5 permitem observar a relação entre a área da bacia e a ocorrência de enchentes. Nesse caso, quanto mais próximo o índice de conformação estiver de 1, mais o escoamento convergirá para uma mesma região. Na Figura 6 estão detalhados os valores associados aos índices mencionados e a correlação deles com o formato da bacia.

Figura 5 - Comparação entre bacias com índices de conformação distintos.



Fonte: Bargas (2018).

Figura 6 - Diferentes formas e seus índices.

	FF	KC	FC
	0.79	1.00	0.79
	1.00	1.12	1.00
	0.25	1.40	0.25
	4.00	1.40	4.00

Fonte: Porto et al. (1999).

Além dos índices e fatores mencionados anteriormente, outros parâmetros podem ser analisados para caracterizar uma bacia hidrográfica, sendo eles:

- **Declividade:** A declividade de uma bacia hidrográfica refere-se à inclinação ou acentuação do terreno dentro dessa área específica e tem influência direta na velocidade do escoamento superficial da água e o tempo de chegada da água nos leitos fluviais (VILLELA; MATTOS, 1975; BORGES, 2019).
- **Tipo de solo:** O tipo predominante de solo desempenha um papel significativo nas características do escoamento superficial em uma bacia, sendo influenciado pela capacidade de

infiltração dos solos, que, por sua vez, é determinada pela granulometria das partículas. Solos com material coloidal podem contrair e expandir com mudanças de umidade, impactando a capacidade de infiltração. A porosidade, que varia entre diferentes solos, afeta a infiltração e a capacidade de armazenamento, independentemente do tamanho das partículas, dependendo do arranjo, variedade, forma e compactação do solo (PORTO et al., 1999).

Diante do exposto, nota-se que o entendimento das características fisiográficas de uma bacia possibilita a implementação de medidas preventivas para o controle de enchentes em uma determinada região, além de identificar se ela é propensa a esses eventos.

3.3 Características climáticas e geográficas

As condições climáticas exercem uma influência significativa nas bacias hidrográficas, desempenhando um papel fundamental na dinâmica hidrológica e nos padrões de recursos hídricos. Nesse caso, elas afetam o padrão de precipitação na bacia - incluindo tipo (orográfica, convectiva ou ciclônica), forma (neve, granizo ou chuva), intensidade, duração, frequência, distribuição temporal e espacial, além da direção predominante das tempestades (BORGES, 2019). Outros elementos considerados são evapotranspiração (influenciada por temperatura e tipo de vegetação), vento, radiação solar, umidade do solo e atmosfera.

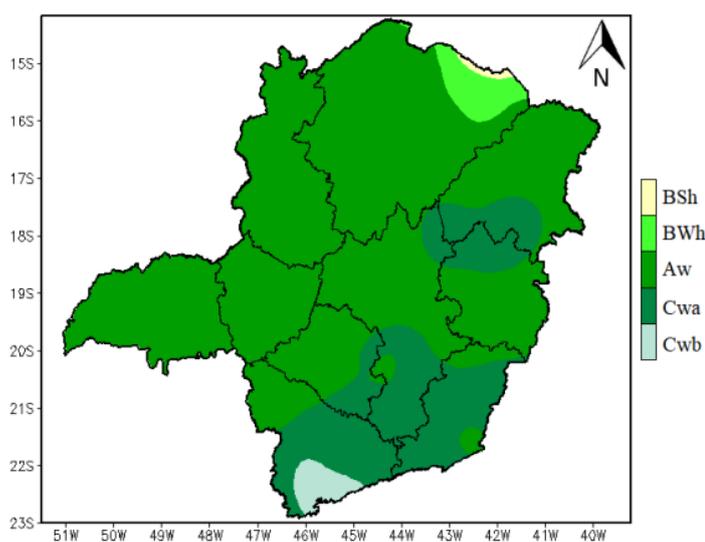
Com relação às características geográficas, estas descrevem uma bacia hidrográfica quanto ao tipo de relevo, como serras, morros, serras e chapadas. Tais características têm influência no direcionamento das águas (NOBRE et al., 2020).

Nesse contexto, o estado de Minas Gerais possui uma peculiaridade geográfica, apresentando diferentes complexos de formação geológica e ausência de regiões costeiras de divisa com os oceanos, resultando em uma maior variação da temperatura do ar durante os períodos da manhã (REBOITA et al., 2015). O relevo dessa região é predominantemente composto por planaltos, depressões e aberturas resultantes da alternância nos processos morfoclimáticos e do condicionamento geológico da região (HUMBERTO, 2000). Essas características topográficas exercem influência nas condições climáticas locais, afetando, por exemplo, a direção e a intensidade do vento, bem como as condições de umidade a barlavento de áreas montanhosas e a seco a sota-vento (ÁVILA et al., 2014; REBOITA et al., 2015). Além disso, regiões mais elevadas tendem a apresentar temperaturas mais baixas em comparação com aquelas mais próximas ao nível médio do mar.

O estado de Minas Gerais apresenta grande interferência climática pelo fato de estar inserido em um clima de monção. Nele ocorre uma reversão na circulação atmosférica por meio

do aquecimento diferencial entre os continentes e oceanos (VERA et al., 2006), o que proporciona uma incidência de precipitação durante o período chuvoso superior a 50% da registrada durante o ano (MARENGO et al., 2012). A região delimitada no estado de Minas Gerais conta com a presença de cinco tipos de clima de acordo com a classificação de Köppen (1936), sendo dois temperados quentes (Cwb e Cwa), um tropical (Aw) e dois áridos (BSh e BWh), com predominância do clima tropical e temperado quente (MARTINS et al., 2018), como pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Classificação Köppen para o estado de Minas Gerais.



Fonte: Martins et al. (2018).

Dentro do estado de Minas Gerais, está a cidade de Lavras-MG, alvo do estudo, que apresenta chuvas mal distribuídas ao longo do ano, com excesso no período entre novembro e março e estiagem entre abril e agosto apresentando o período de maiores precipitações entre dezembro e fevereiro (MARTINS et al 2018) (FIGURA 7). A média anual de temperatura é cerca de 19,3°C, com uma precipitação média anual de 1530 mm, umidade relativa em torno de 76% e classificação climática Cwa na escala Köppen (LILIAN et al., 2004).

3.4 Pluviometria

A quantidade precipitada é o principal parâmetro para a caracterização das chuvas em obras hidráulicas. Assim, a pluviometria de uma região pode ser classificada com base nos parâmetros de duração, altura pluviométrica, intensidade e tempo de recorrência. Nos casos em

que se considera que não ocorra infiltração e evaporação ou deslocamento superficial do volume precipitado, a altura pluviométrica é interpretada como sendo a espessura de lâmina d'água registrada em milímetros, correspondendo proporcionalmente ao volume de 1 litro de chuva para cada metro quadrado de área da região (TUCCI, 2001).

O tempo de recorrência é o número de anos estimados para que a precipitação máxima analisada seja igualada ou superada. Por meio da relação inversa é possível estabelecer a probabilidade de ocorrência daquela quantidade precipitada dentro do período analisado (TUCCI, 2001). A Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estabelece que no art. 7º da lei 12.334 as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores de acordo com a categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CRNH).

O tempo de concentração (t_c) é tido como o tempo demandado para que a água percorra do ponto mais distante da bacia até o ponto de análise (QUEIROZ; SOUZA, 2020). Este parâmetro é utilizado para estimativa das vazões de pico nos estudos hidrológicos através do método racional direto (BRUTSAERT, 2005). Devido à importância deste parâmetro, vários autores estabeleceram relações empíricas entre o tempo de concentração e as características fisiográficas. O método de Watt e Chow (1985) foi desenvolvido por meio do modelo de regressão linear com dados de bacias com área inferiores a 18,2 km² e pouca declividade (MOTA, 2012). Nele considera-se que as vazões máximas atribuídas a pequenas bacias urbanizadas são proporcionais à precipitação efetiva, considerando que o excedente é o principal responsável pelas vazões de cheia (NUNES, 2007).

Assim como é relevante obter o quantitativo do volume precipitado, a intensidade da chuva é um fator determinante no volume precipitado correspondente aos escoamentos superficiais. Em análise de projetos hidráulicos principalmente em redes de drenagem, a subestimação da importância deste parâmetro, pode resultar em regiões de alagamento, pois mesmo que o solo da região esteja com baixa saturação, em casos de grande volume precipitado, pode-se superar a taxa de infiltração (ADILSON et al., 2007). A determinação deste parâmetro é realizada por meio de ajustes nas curvas de intensidade das chuvas considerando os parâmetros adimensionais regionais e a relação entre altura pluviométrica e tempo de duração da chuva, sendo expressa normalmente em milímetro por hora (TUCCI, 2001). Embora a intensidade de precipitação apresente variação no tempo, para as análises de séries históricas de precipitação, são considerados os intervalos de tempo em que apresentam comportamentos constantes (MELLO et al., 2012).

3.5 Precipitação máxima provável (PMP)

Estudos sobre chuvas intensas são de extrema importância na gestão de recursos hídricos, sendo frequentemente utilizados para compreender o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, especialmente no que diz respeito ao controle de cheias e inundações (CALDEIRA et al., 2015). Além disso, esses estudos desempenham um papel crucial na estimativa de vazões de projeto necessárias para o dimensionamento de diversas estruturas hidráulicas.

A Precipitação Máxima Provável (PMP) é conceituada como a máxima quantidade de chuva meteorologicamente possível em uma bacia hidrográfica específica, para uma duração determinada, sem considerar tendências climáticas de longo prazo (WMO, 2009). O processo de definição da chuva de projeto envolve a utilização de dados pluviométricos e meteorológicos, enquanto as características particulares da bacia são interpretadas por meio de um modelo de transformação de precipitação em escoamento.

Nesse caso, a partir da PMP é possível, pela aplicação de modelos de transformação de chuva-vazão, obter a Chuva Máxima Provável (CMP), representando o hidrograma máximo teórico possível em uma bacia hidrográfica específica durante uma determinada época do ano, resultante da ocorrência da PMP (BURGER, 2014; SILVA NETO et al., 2022). Para isso, são usados dados pluviométricos e meteorológicos para definir a chuva e vazões de projeto, interpretando as características específicas da bacia por meio de um modelo de transformação de precipitação em escoamento.

A estimativa da PMP pode ser feita usando métodos categorizados, como hidrometeorológicos e estatísticos. O primeiro considera as condições meteorológicas mais severas das ocorrências observadas, com a premissa de que o total precipitado aumenta à medida que cresce o teor de umidade do fluxo de ar que alimenta as tempestades (FERNANDES, 2009). Este método é aplicável quando há dados pluviométricos de um número significativo de tormentas severas observadas na bacia. Os métodos estatísticos, baseiam-se unicamente em uma análise estatística das ocorrências anteriores de precipitação extrema (CHAVAN; SRINIVAS, 2015).

Os métodos hidrometeorológicos são considerados os mais tradicionais, contudo, frequentemente enfrentam o desafio da escassez de dados, uma vez que demandam informações meteorológicas complexas, muitas vezes indisponíveis em algumas regiões (SOARES, 2021). Esses métodos apresentam alto custo de implantação, o que inviabiliza seu uso. Já os métodos

estatísticos destacam-se por serem mais práticos em comparação aos hidrometeorológicos, apresentando custos reduzidos e requerendo apenas dados de precipitação (BURGUER, 2014).

3.6 Escoamento superficial direto

O escoamento superficial é o processo natural em que ocorre o transporte da água precipitada na superfície terrestre, sendo um dos parâmetros mais importantes em projetos hidráulicos. Este processo se inicia a partir do excesso de água precipitada na superfície que leva ao escoamento superficial e posterior abastecimento dos corpos d'água, cuja a “alimentação” é realizada pela precipitação e/ou águas subterrâneas (CARVALHO; SILVA, 2007).

O escoamento superficial em uma bacia pode ser caracterizado pela vazão escoada na região da bacia em uma unidade de tempo, sendo este parâmetro influenciado pelas condições de área, forma, permeabilidade, topografia e capacidade de infiltração (DURÃES, 2010). Em estudos hidrológicos, o escoamento superficial direto é frequentemente modelado usando equações como a Equação do Método Racional, que relaciona a precipitação, a área de drenagem e o coeficiente de escoamento superficial por meio de modelos empíricos estabelecidos para algumas regiões (SIQUEIRA et al., 2023).

Neste contexto, diversos pesquisadores buscam estabelecer relações entre as características fisiográficas da bacia e o escoamento direto. Uma forma de realizar tal relação é utilizando o método Soil Conservation Service (SCS), que consiste na adequação de variáveis regionais de ocupação e infiltração para avaliar a precipitação efetiva e vazões de projeto, atribuindo tempos de retorno em relação às características de riscos hidrológicos para o projeto considerando uma determinada chuva (SIQUEIRA et. al 2023).

Para calcular a vazão considerando fenômenos de perdas por evaporação, infiltração e absorção da superfície vegetal, pode ser usada a equação 7. Onde P é a precipitação média anual da região, D é a capacidade de armazenamento do solo e I_a a variável referente as perdas iniciais.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + D - I_a} \quad (7)$$

Com os resultados obtidos a partir desta equação, é possível fazer interpretações quanto a parcela de água precipitada correspondente à infiltração, evaporação e à interceptação pela vegetação representados através do parâmetro adimensional I_a . Nele, são consideradas as

parcelas de contribuição do escoamento em função dos parâmetros de características fisiográficas e ocupação do solo através do coeficiente de Runoff (CN) da região das bacias (BAUMGARTEN et al., 2003). As perdas iniciais da precipitação (I_a) é estimada como sendo 20 % do armazenamento comportado por aquele solo. A fórmula de I_a e para o cálculo da capacidade de armazenamento do solo (D) (Equações 8 e 9).

$$I_a = 0,2 \cdot D \quad (8)$$

$$D = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

Quanto ao parâmetro de deflúvio denominado de Coeficiente de Runoff (CN) da equação, este pode ser estimado por meio da equação que descreve as informações hidrológicas locais vinculadas às atividades realizadas no solo da região (CARVALHO; RODRIGUES, 2021). Este parâmetro está ligado às características de permeabilidade do solo, sendo dividido em quatro classes que variam de acordo com a classificação granulométrica do solo da região.

No método SCS (*Soil Conservation Service*) é considerado que a precipitação que cai na bacia pode seguir caminhos distintos do escoamento superficial, isso ocorre devido à parcela da precipitação que infiltra, evapora ou é interceptada pela vegetação. O parâmetro de deflúvio *Coeficiente de Runoff* (CN) é utilizado neste método como uma variável adimensional, que varia de 0 a 100, e refere-se aos ajustes na equação de precipitação quanto à característica de superfície da região, sendo 100, considerado totalmente impermeável (COLLISCHONN; DORNELES, 2013).

Assim, a precipitação efetiva do solo na região da bacia em estudo pode ser estimada por meio da relação com a capacidade de armazenamento do solo, que é o resultado direto da classificação da superfície da região (SARTORI, 2010). O coeficiente de Runoff utilizado é obtido por meio da média ponderada entre os coeficientes definidos na Tabela 1 de acordo com o tipo de solo, uso e ocupação da região e o somatório das respectivas áreas correspondentes da região.

Tabela 1 - Tabela de coeficiente de Runoff (CN) quanto a ocupação do solo.

Utilização ou cobertura do solo		A	B	C	D
Zonas Cultivadas	Sem conservação do Solo	72	81	88	91
	Com conservação do Solo	62	71	78	81
Pastagens ou Terrenos em Más as condições		68	79	86	89
Baldios	Boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou Zonas florestais	Cobertura Ruim	45	66	77	83
	Cobertura Boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados parques campos de golfe, cemitérios, boas condições com relva em 75% de área		39	61	74	80
	Com relva de 50 a 75% de área	49	69	79	84
Zonas comerciais de escritórios		89	92	94	95
Zonas Industriais		81	88	91	93
Zonas Residenciais					
Lotes de (m ²)	% média impermeável				
< 500		65	77	85	90
1000		38	61	75	83
1300		30	57	72	81
2000		25	54	70	80
4000		20	51	68	79
Parques de Estacionamento e viadutos		98	98	98	98
Arruamentos					
Asfalto com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedo		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Adaptado de Sartori (2010).

De acordo com o modelo racional, a vazão escoada pode ser obtida levando em consideração a precipitação efetiva (Q), a área (A) e o tempo de concentração (tc) determinado pelo tempo necessário para que a precipitação desde seu início percorra toda a bacia, conforme mostrado na equação 10.

$$Q_{esc} = \frac{Q \cdot A}{T_C} \quad (10)$$

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

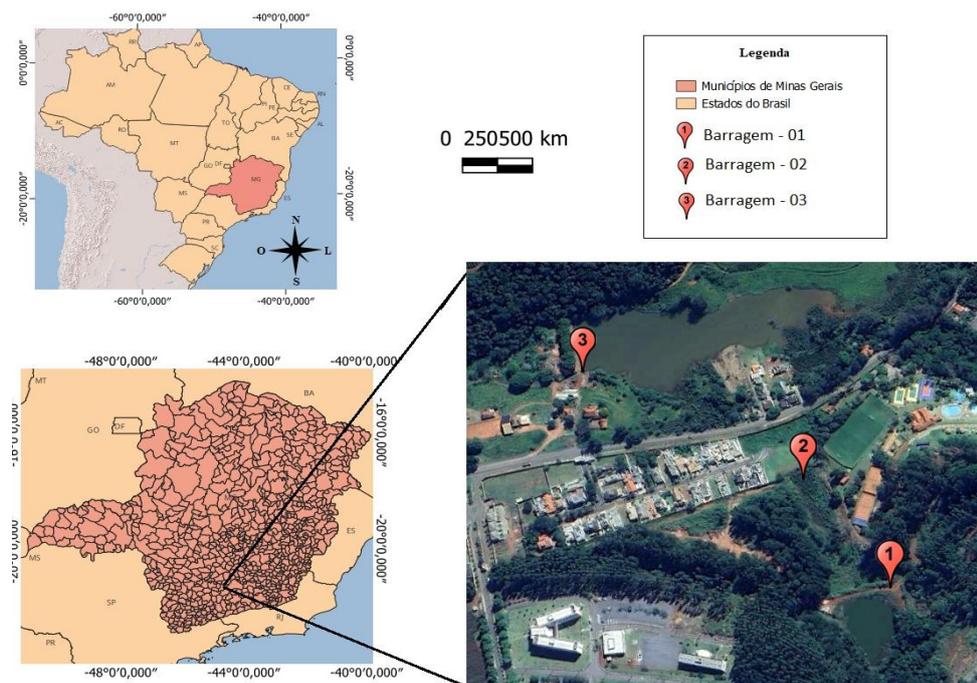
As barragens estudadas estão localizadas na cidade de Lavras, estado de Minas Gerais, sendo uma situada integralmente no campus da Universidade Federal de Lavras (barragem 01), uma apresentando aterro compartilhada com o empreendimento residencial Monte Belo (barragem 02) e outra integralmente na região externa ao campus (barragem 03), ambos situados no perímetro urbano de Lavras/MG. As coordenadas geográficas e altitude das barragens estudadas estão descritas na Tabela 2, e o mapa de localização apresentado na Figura 8.

Tabela 2 - Coordenadas geográficas do ponto de menor elevação das cristas das barragens.

Barragem	Coordenadas Geográficas (SIRGAS 2000)		Altitude (m)
	Sul	Oeste	
01	21°13'26''	44°58'34''	880
02	21°13'20''	44°58'37''	866
03	21°13'14''	44°58'45''	857

Fonte: Google Earth (2023).

Figura 8 - Localização geográfica das três barragens na cidade de Lavras, MG.



Fonte: dos autores (2023).

O terreno onde as barragens se encontram apresenta uma variação quanto a elevação e desnível entre as regiões resultando em uma diferença de cotas dos reservatórios. As vazões compreendidas por cada barragem seguem o fluxo preferencial estabelecido pela declividade da região saindo da Barragem 01 (ponto mais alto) em direção à Barragem 03 (ponto mais baixo) passando pela Barragem 02.

4.2 Características das bacias

4.2.1 Delimitação das bacias

Cada reservatório é abastecido por uma bacia hidrográfica, desta forma, buscou-se estimar as regiões de influência das barragens separadamente. As delimitações foram feitas utilizando o software de Geoprocessamento ArcGis®, para isso foi necessário fazer a coleta de dados altimétricos, utilizando a base de dados do satélite “ALOS PALSAR”. A escolha pelo satélite foi devido este desempenhar um papel importante na observação da Terra e na coleta de dados para uma variedade de aplicações, incluindo monitoramento ambiental, gerenciamento de desastres, planejamento urbano, agricultura e pesquisa científica.

O arquivo de dados obtido foi o DEM (*Digital Elevation Model* ou Modelo Digital de Elevação) que é amplamente utilizado em geoprocessamento para representar a elevação do terreno em uma área específica.

4.2.2 Caracterização das bacias

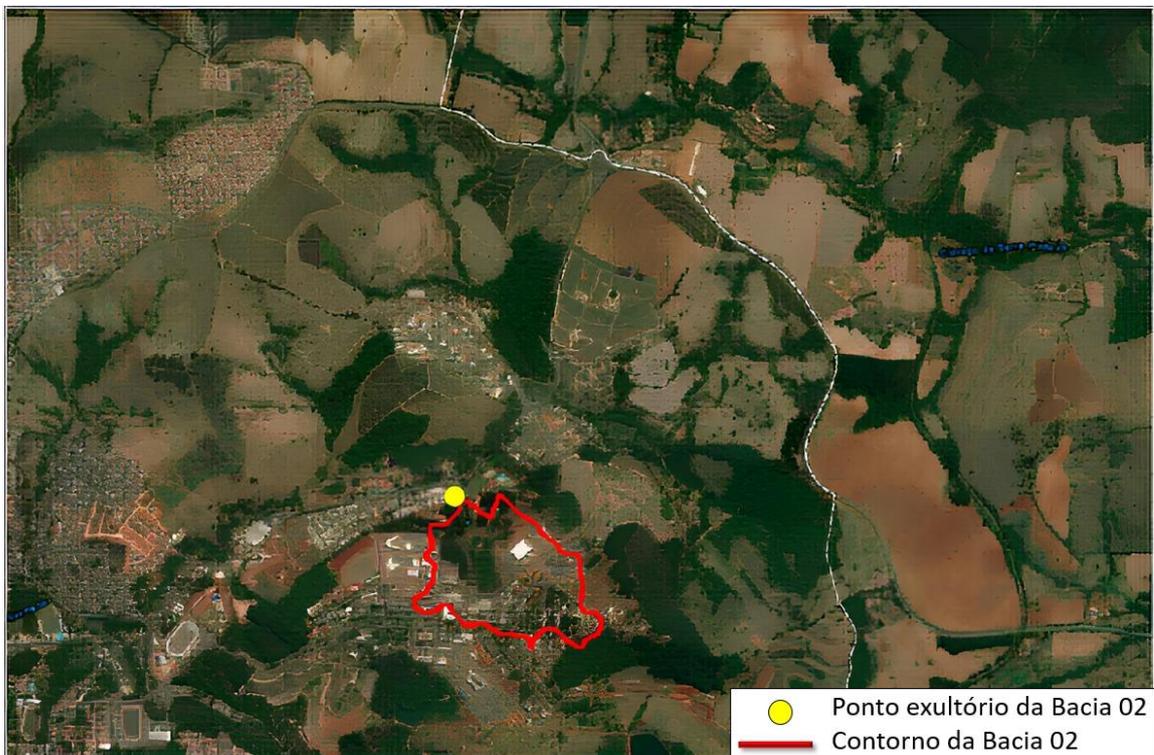
No ArcGis® a área de contribuição de cada bacia foi obtida a partir de pontos exultórios (B1, B2 e B3) posicionados no barramento das barragens. O software gerou uma tabela de atributos na qual informa o número de pixels de cada bacia, cada pixel da imagem gerada pelo arquivo “DEM” tem 12,5 metros de comprimento, ou seja, cada pixel representa 156,25 m² de área. Sendo assim foram obtidas as áreas das bacias, em metros quadrados, multiplicando o número de pixels por 156,25. A delimitação das bacias pode ser visualizada nas figuras 9, 10 e 11.

Figura 9 - Bacia hidrográfica 01.



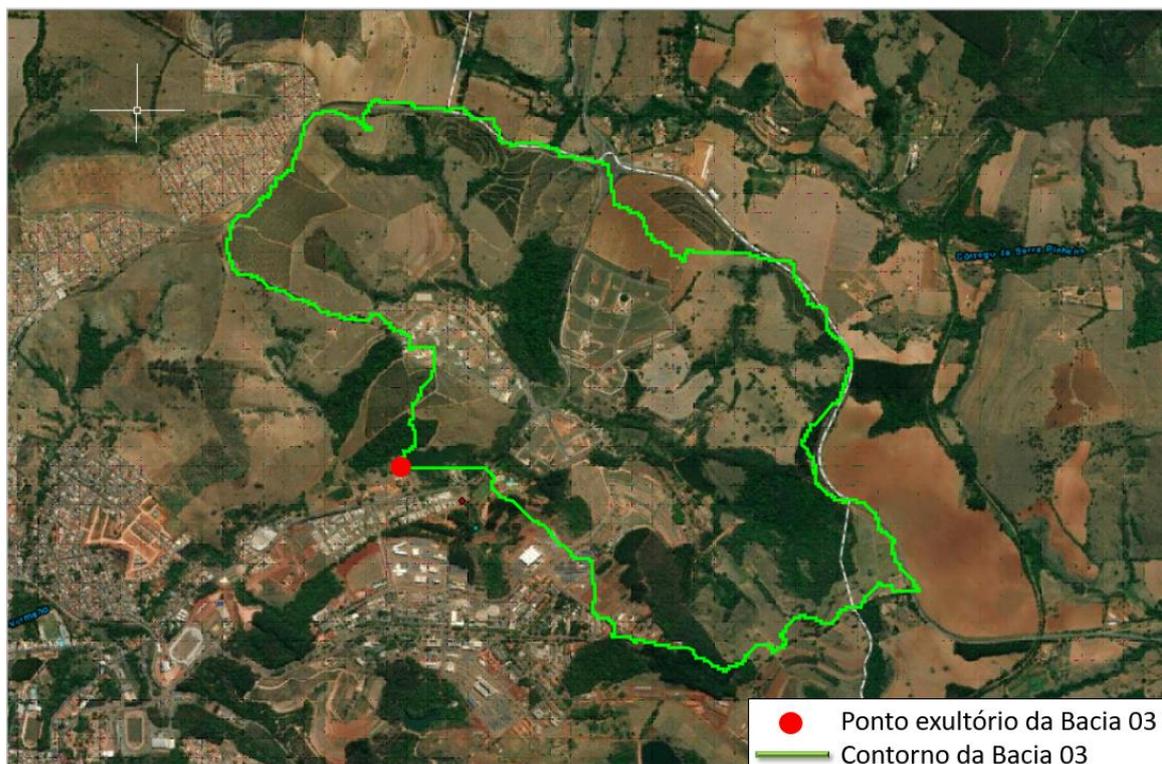
Fonte: Os autores (2023).

Figura 10 - Bacia hidrográfica 02.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 11 - Bacia hidrográfica 03.



Fonte: Os autores (2023).

4.2.3 Características morfométricas das bacias

Para calcular as dimensões das bacias hidrográficas, como perímetro, comprimento axial e largura média, foi traçado um polígono no contorno das áreas de influências geradas no ArcGis e posteriormente convertido para arquivo dwg (extensão do arquivo de desenho em 2D nativa do software AutoCAD). Para cálculo do escoamento é necessário estimar a declividade do terreno por onde o fluxo da água precipitada vai percorrer, já que quanto maior for a declividade, maior será a velocidade do fluxo. As classes de declividade podem ser separadas em seis intervalos segundo a Embrapa (1999), onde o intervalo de 0 a 3% é classificado como relevo plano; de 3 a 6% suave ondulado; de 6 a 12% ondulado; de 12 a 20% forte ondulado; de 20 a 40% montanhoso; e maior que 40% escarpado.

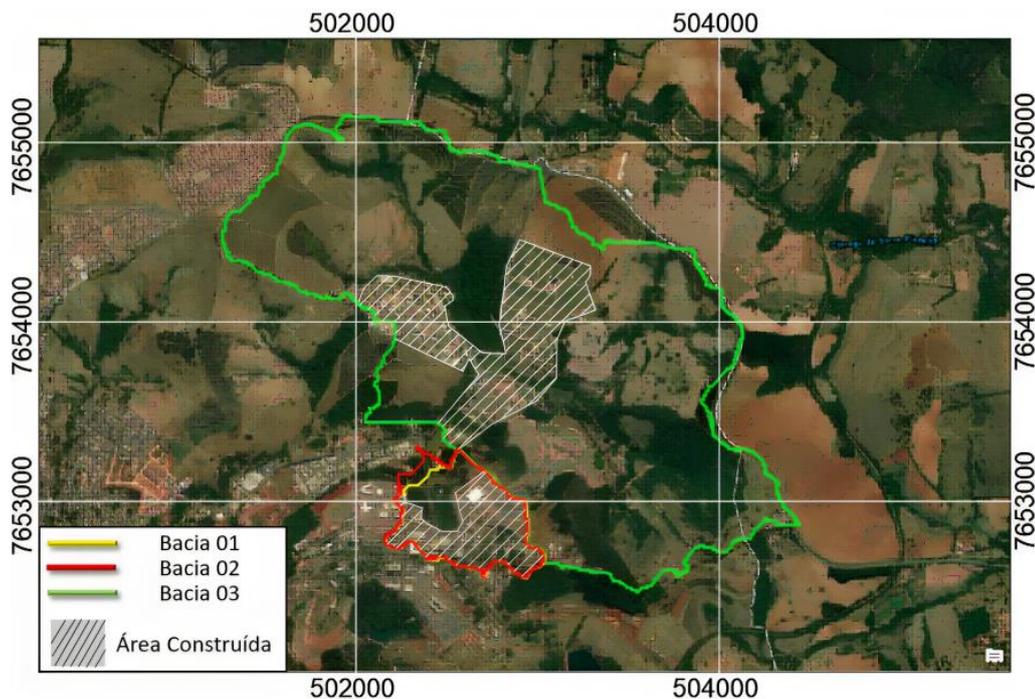
A partir da ferramenta “slope” do ArcGis®, foi possível gerar um gráfico que representa a declividade das bacias em porcentagem. O software usa os mesmos dados de elevação utilizados para delimitação das bacias e calcula a declividade a partir da taxa de alteração da elevação de uma célula (*pixel*) até a próxima no DEM. Para fins de cálculo dos escoamentos, foram utilizadas as declividades dos talwegues principais das áreas das bacias hidrográficas.

4.2.4 Geologia, uso e ocupação do solo

As informações sobre a geologia da região de Lavras - MG, onde encontram-se as bacias estudadas, foram adquiridas pelo trabalho de Silva (2018). No estudo, os autores descrevem o tipo de solo encontrado na região de interesse e a constituição mineral, como também a associação dessas características com as atividades promissoras para o uso do solo. Vale ressaltar que, diante da ausência de investigações geotécnicas e classificação do solo em cada região das bacias, por meio do estudo realizado, foi atribuída às características geológicas de solos argilosos e área de ocupação familiar na caracterização da região das bacias.

As características desta região foram consideradas para o cálculo do coeficiente de Runoff (CN), sendo divididas em regiões de concentração para os dois modelos de ocupação: residencial, familiar e terrenos em condições ruins de conservação. As áreas de ocupação foram delimitadas por meio da criação de polígonos nas bacias no ArcGis®, sobrepondo-se a imagem de satélite atual da região. Assim, foi possível realizar um traçado em volta das áreas observadas, caracterizando quanto a ocupação, para que posteriormente os traçados pudessem ser convertidos para DWG e as áreas verificadas através do software AutoCAD versão estudantil, como mostrado na Figura 12.

Figura 12 - Contorno das bacias e suas áreas construídas.



Fonte: Os autores (2023).

Considerando a divisão de áreas da bacia realizadas no Autocad, utilizou-se de médias ponderadas para atribuir o valor do coeficiente de escoamento (CN) que caracteriza o escoamento superficial de cada bacia em função da superfície do terreno para assim, estimar os valores de precipitação efetiva destas regiões.

4.3 Análise da precipitação

4.3.1 Coleta dos dados

Buscando oferecer uma maior representatividade do volume precipitado na região das bacias que compõem a região dos reservatórios, foram coletados os dados históricos entre período 1961 e 2015 da estação meteorológica de Lavras-MG (Código OMM: 89687) (Figura 13), situada nas coordenadas latitude: $21^{\circ}13'34''$ S e longitude $44^{\circ}58'46''$ e altitude aproximada de 918,00 m.

Figura 13 - Estação meteorológica local.



Fonte: Departamento de Engenharia Agrícola da UFLA (2020).

A estação em questão (Figura 13) encontra-se em operação desde 1911 e apresenta um histórico de leituras disponível no portal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Vale ressaltar que os dados coletados nesta estação apresentam falhas de períodos de leituras em seu histórico, sendo mais presente nos anos posteriores a 1984.

Foi utilizada a base correspondente a um período de 24 anos no intervalo entre 1961 a 1984, pelo fato de neste intervalo de tempo serem apresentadas uma menor quantidade de meses com ausência de dados quando comparada com os anos posteriores. A relação dos anos e quantidade de meses com falhas dos dados da estação meteorológica local, estão apresentados na Figura 14.

Para a correção dos meses de falhas no histórico da estação, foi utilizado o método da ponderação regional, que consiste em uma estimativa dos valores de precipitação dos meses de falha por intermédio da leitura de ao menos três estações próximas com períodos de falhas distintos entre elas. Assim, como apresentado neste trabalho, as condições climáticas e geológicas da região têm grande influência nas análises de precipitação.

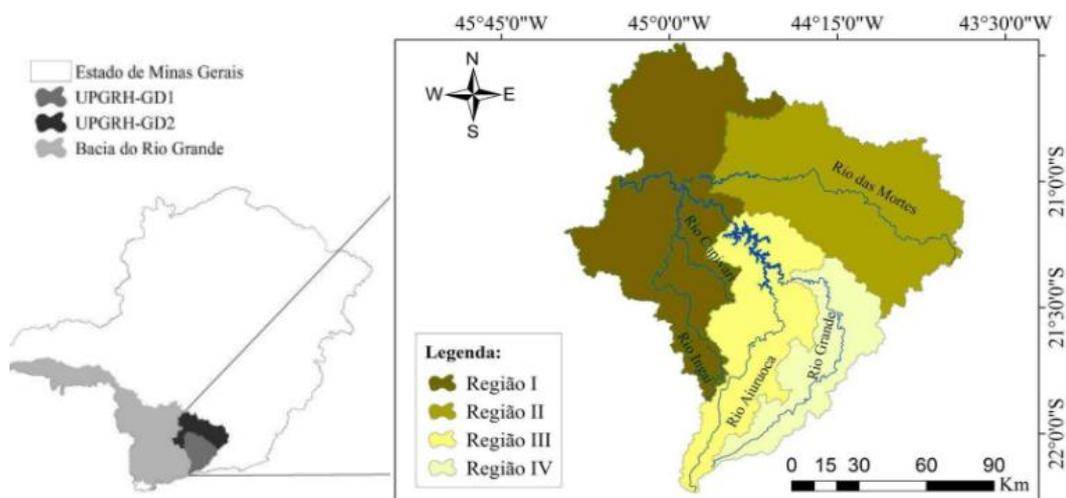
Figura 14 - Dados Pluviométricos e Quantificação de Falhas.

1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
1	10	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	12	12	12	0
1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
0	12	0	12	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12
Legenda													
Sem Falhas		■											
0 a 2 meses		■											
3 a 5 meses		■											
Maior que 5 meses		■											

Fonte: Os autores (2023).

Sendo assim, as estações pluviométricas utilizadas no preenchimento de falhas foram escolhidas seguindo os critérios de regionalização apresentados no estudo de Oliveira (2013), onde aponta a existência de regiões hidrologicamente homogêneas no sul de Minas (Figura 15) através da relação de precipitação, relevo e clima para a bacia do Rio Grande e suas vertentes.

Figura 15 - Regionalização homogênea no sul de Minas Gerais.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2013).

Dentro da região homogênea estabelecida, foram verificados os postos de pluviometria que apresentavam a maior quantidade de anos hidrológicos completos no intervalo entre 1961 a 1984 da região, sendo escolhidas as estações próximas apresentadas na (Tabela 3).

Tabela 3 – Localização e coordenadas das estações pluviométricas.

Código da Estação Pluviométrica	Coordenadas (Sirgas 2000)		Cidade
	Sul	Oeste	
2145040	- 21°13' 48''	- 45° 0' 0''	Lavras - MG
21444005	-21° 19' 16''	-44° 52' 23''	Luminárias - MG
2144006	-21° 30' 25''	-44° 55' 0''	Itumirim - MG

Fonte: dos autores (2023).

Os dados históricos, referentes aos três postos de pluviometria utilizados, foram coletados por meio do portal Hidroweb que fornece as informações históricas coletadas pela Rede de Hidrometeorologia Nacional (RHN) e faz parte do conjunto de ferramentas do Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SIRH). Foi observado que nas estações de Itumirim - MG (Cód.2144005) e Luminárias - MG (Cód.2144006) não houveram ausência de dados no período analisado, enquanto nas estações meteorológica (Cód. OMM 83687) e pluviométrica (Cód. 2145040) de Lavras- MG, apresentam falhas em alguns períodos do ano, tornando

necessário o preenchimento de falhas para análise da precipitação da região de estudo. A relação de falhas das estações utilizadas é apresentada na Figura 16.

Figura 16 - Dados Pluviométricos e quantificação de meses com presença de Falhas.

Relação de meses sem dados de precipitação das estações									
Ano/ Estação	OMM 83687 (Lavras-MG)	Cód. 2145040 (Lavras-MG)	Cód. 2144005 (Luminárias-MG)	Cód. 2144006 (Itumirim - MG)	Ano/ Estação	OMM 83687 (Lavras-MG)	Cód. 2145040 (Lavras-MG)	Cód. 2144005 (Luminárias-MG)	Cód. 2144006 (Itumirim - MG)
1961	1	0	0	0	1973	0	12	0	0
1962	10	0	0	0	1974	0	12	0	0
1963	1	0	0	0	1975	0	1	0	0
1964	1	0	0	0	1976	0	1	0	0
1965	1	0	0	0	1977	0	1	0	0
1966	1	0	0	0	1978	0	0	0	0
1967	1	0	0	0	1979	2	0	0	0
1968	0	1	0	0	1980	1	0	0	0
1969	0	1	0	0	1981	1	0	0	0
1970	0	1	0	0	1982	1	0	0	0
1971	0	12	0	0	1983	0	0	0	0
1972	0	12	0	0	1984	0	12	0	0

Legenda	
Sem Falhas	
0 a 2 meses	
3 a 5 meses	
Maior que 5 meses	

Fonte: dos autores (2023).

4.3.2 Preenchimento de falhas

No preenchimento de falha dos dados da estação meteorológica de Lavras - MG, foram utilizadas como referência as estações 2145040 - Lavras, 2144005 - Luminárias e 2144006 - Itumirim, por serem estações próximas e terem dados consistentes para o período analisado, resultando em uma maior precisão na estimativa da precipitação da estação.

A análise da consistência dos dados foi feita adotando o método da dupla massa desenvolvido pelo Geological Survey (USA). O gráfico de confiabilidade dos dados obtidos pela relação da precipitação acumulada nos anos analisados com a precipitação acumulada resultante da média dos postos utilizados como referência.

4.3.3 Tempo de concentração

Através de fórmulas empíricas desenvolvidas por diversos pesquisadores do mundo e as características como área e declividade da bacia, é possível estimar o tempo de concentração. Watt e Chow (1985) desenvolverem um método de estimativa do tempo de concentração para bacias que apresentam uma área inferior a 5480 km² e levam em consideração os parâmetros

de declividade e comprimento do talvegue. Visto que a cidade de Lavras - MG apresenta em sua totalidade uma área de 566,744 km², presume-se que a região estudada apresenta uma área menor ainda, sendo assim a equação proposta pelo método, adequada para estimativa dos tempos de concentração nas bacias analisadas. A fórmula de Watt e Chow (1985) é dada por:

$$t_c = 7,68 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79} \quad (11)$$

Onde “tc” é o Tempo de concentração (horas), "L" o Comprimento do Talvegue e “S” a Declividade longitudinal.

4.3.4 Intensidade de Precipitação

A análise de intensidade, duração e tempo de retorno para as chuvas na bacia foi estimada através da equação deduzida de chuvas intensas (eq.12). O método utiliza-se de parâmetros adimensionais dependentes da região, além da duração e dos tempos de retorno considerados para a estimativa de intensidade de precipitação no local.

$$i = \frac{K \cdot Tr^a}{(t + b)^c} \quad (12)$$

Sendo “i” a intensidade da precipitação em mm h⁻¹, “TR” o Tempo de retorno em anos, “t” a duração da chuva em minutos, “a” a constante adimensional da região, e “K”, “b” e “c” parâmetros adimensionais estabelecidos em função das características do local.

Os parâmetros K, a, b e c para a estação meteorológica utilizada como referência do estudo (Figura 17), foram obtidos através do software Pluvio 2.0 (UFV) que detém em sua base de dados das variáveis de intensidade em função das coordenadas geográficas da localização. Desta forma, foram obtidos os parâmetros de ajustes adimensionais de intensidade de precipitação apresentados na Tabela 4.

Figura 17 - Parâmetros regionais no Plúvio 2.1.

Plúvio 2.1 - Estado: Minas Gerais

Mapa do Brasil Relatório Ajuda

Estados : Minas Gerais

Estações :

- Ácaiaça
- Ácesita (Coronel Fabriciano)
- Aimorés
- Áiuuoca
- Alto da Boa Vista (Mateus Leme)
- Andrelândia
- Áraçuaí
- Áraguari
- Áraxá
- Árinos (ÁNFFI)

Localidades :

- Ábadia dos Dourados
- Ábaeté
- Ábaeté dos Mendes (Rio Paranaíba)
- Ábaíba (Leopoldina)
- Ábre Campo
- Ábreus (Alto Rio Doce)
- Ácaiaça
- Áçucena
- Ácuruí (Itabirito)
- Árdão Colares (Rohumirim)

Interpolação

Relatório Ajuda

Cancelar

Fechar

Latitude : 21°13'34'' Longitude : 44°58'46''

Parâmetros da Equação IDF

K: 10224,809 a: 0,187

b: 56,281 c: 1,149

Calcular

Fonte: Plúvio 2.1 (2023).

Tabela 4 - Parâmetros regionais obtidos no Plúvio 2.1.

Estação/ Coeficientes	K	a	b	c
OMM 83687	10.224,81	0,187	56,281	1,149

Fonte: Os autores (2023).

Desta forma foram obtidos os parâmetros de ajustes adimensionais de intensidade da Tabela 4, resultando na equação 13:

$$i = \frac{10224,81 \cdot TR^{0,187}}{(t + 56,281)^{1,149}} \quad (13)$$

4.3.5 Precipitações efetivas e vazões de projeto

Tendo sido estabelecidas as condições de análises das superfícies de contribuição das bacias, a estimativa das vazões de contribuição para as barragens do estudo foi realizada utilizando como referências as considerações do método SCS. Após a determinação do coeficiente de RunOff (CN) para as bacias por meio da média ponderada entre as áreas e os respectivos coeficientes de sua ocupação, foi estimada a capacidade de armazenamento característico do solo (D) resultante da infiltração por meio da Equação 14.

$$D = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (14)$$

A parcela da precipitação efetiva correspondente às perdas iniciais (I_a) da equação, equivale a 20 % do volume característico de armazenamento do solo da região (D), conforme apresentado na Equação 15:

$$I_a = 0,2 D \quad (15)$$

Em posse de todas as variáveis adimensionais dependentes da região, é possível estimar a proporção de chuva precipitada, convertida em escoamento superficial direto. A precipitação efetiva (Q) é obtida por meio da Equação 16:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P + D - I_a} \quad (16)$$

Por fim, a partir dos dados de precipitação e características das bacias definidas, foi estimada a vazão máxima de projeto resultante do escoamento direto da precipitação para os tempos de retorno de 500, 1.000 e 10.000 anos, que contribui na variação do volume das três barragens analisadas. Os valores de vazão de contribuição para as bacias foram obtidos por intermédio da equação 17:

$$Q_{Esc} = \frac{Q \cdot A}{T_c} \quad (17)$$

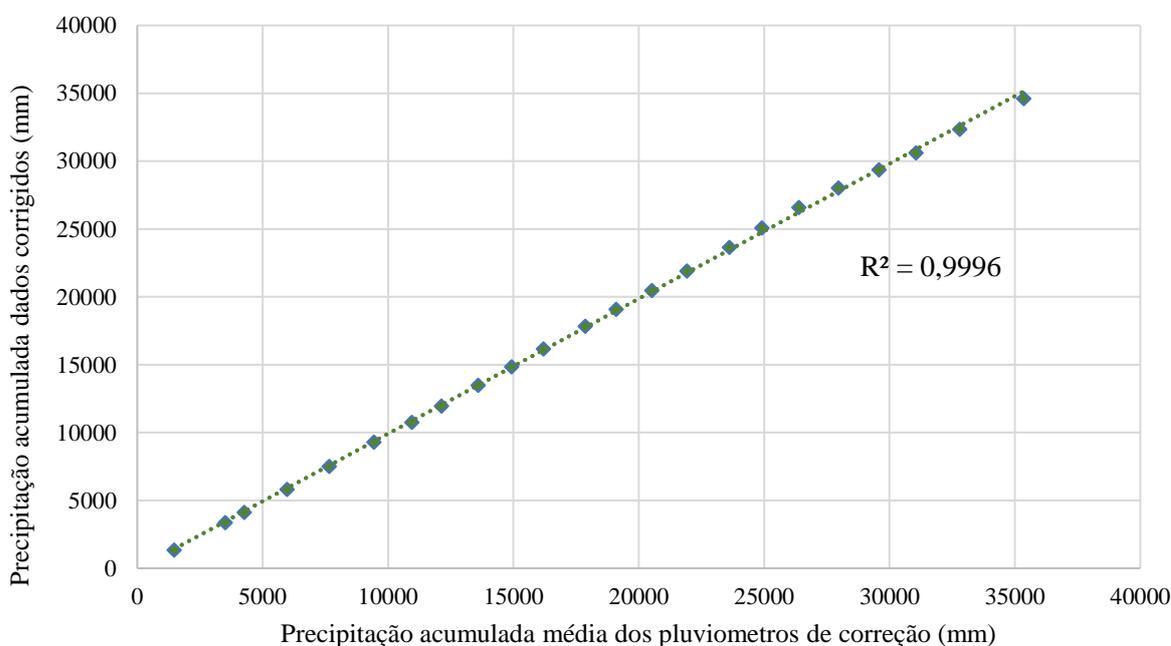
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Preenchimento de falhas

Para verificar o ajuste dos dados e a consistência dos mesmos, foi analisado o coeficiente de regressão linear ($R^2=0,9996$) (Figura 18) obtido após aplicar os métodos de dupla massa nos dados. A partir do R^2 foi possível observar boa precisão no ajuste do preenchimento das falhas, o que significa que os dados ajustados pelo modelo explicam a precipitação da região apresentando uma consistência de 99,96%, permitindo uma boa representatividade das precipitações nos períodos de falha.

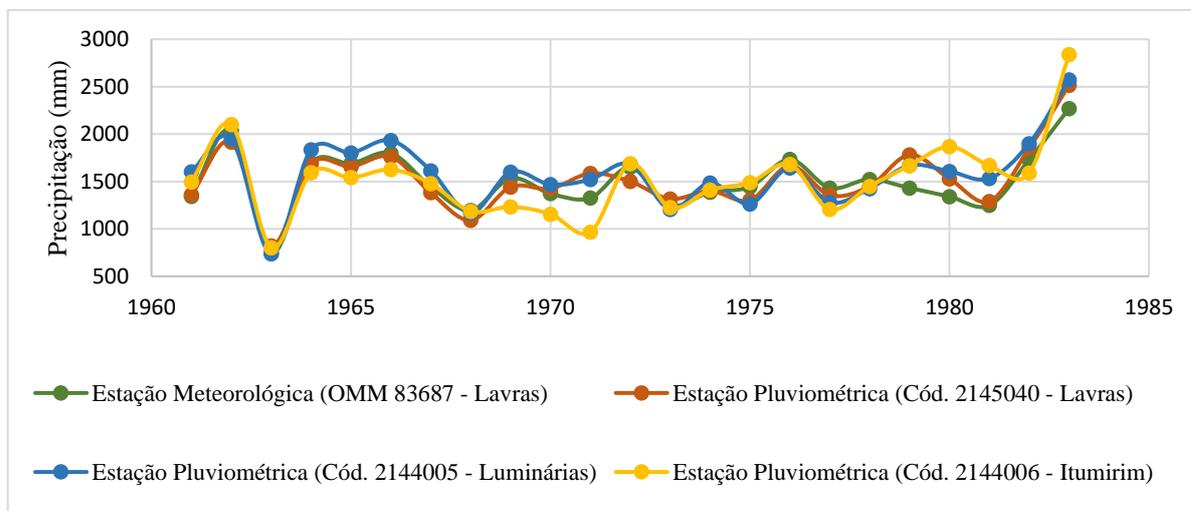
Na Figura 19 observou-se um comportamento histórico similar entre as leituras corrigidas de precipitação da estação meteorológica e as medidas de precipitações registradas pelas três estações pluviométricas de referência, sendo este fato atribuído pela proximidade das estações, resultando poucas alterações no relevo e nas condições climáticas locais nesta região.

Figura 18 - Diagrama de dupla massa da estação meteorológica de Lavras - MG (OMM 83687).



Fonte: Os autores (2023).

Figura 19 - Comparativo entre as leituras anuais de precipitação entre as estações meteorológicas.



Fonte: Os autores (2023).

5.2 Características morfométricas das bacias

A caracterização morfométrica das bacias envolve a mensuração de índices relacionados à forma da bacia e ao relevo, bem com a aplicação desses dados em equações disponíveis na literatura (NAGARAJU et al., 2017). Assim, a partir da Tabela 5 observou-se que a área de contribuição das bacias 01 e 02, que correspondem às barragens 1 e 2, respectivamente, apresentam número de pixels e áreas semelhantes por se tratarem praticamente da mesma área de influência, já que a Barragem 2 está bem próxima da Barragem 1 e é alimentada por ela. A bacia 03 foi a que apresentou maior área, o que demonstra ter a maior área de contribuição, com uma área de 4,16 km².

Tabela 5 - Áreas de contribuição da bacia hidrográfica.

Bacia Hidrográfica	Número de pixels	Área (m ²)	Área (km ²)
Bacia 01	2221	347.031,25	0,35
Bacia 02	2349	367.031,25	0,37
Bacia 03	26650	4.164.062,50	4,16

Fonte: Os autores (2023).

Com relação ao índice de compacidade, fator de forma e índice de conformação, os resultados podem ser verificados nas Tabelas 6, 7 e 8. Para o índice de compacidade foram

observados valores de Kc de 1,44 (bacia 01) a 1,76 (bacia 03), com a bacia 03 apresentando o maior valor de Kc.

Tabela 6 - Índices de compacidade para as três bacias estudadas.

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Perímetro (km)	Kc
Bacia 01	0,35	3,00	1,44
Bacia 02	0,37	3,68	1,71
Bacia 03	4,16	12,72	1,76

Fonte: Os autores (2023).

Para este índice Kc, valores próximos ou igual a unidade indica uma bacia com formato circular, e valores maiores que a unidade indica maior irregularidade no formato da bacia. Quanto a relação do valor de Kc com a ocorrência de enchentes, foi relatado que quanto mais próximo da unidade for o Kc, maior a propensão a enchentes, enquanto, valores superiores a 1,50 denotam menor propensão a enchentes (MELLO E SILVA, 2013; SERVIDONI et al., 2021).

Nesse contexto, verificou-se que as bacias estudadas, especialmente as bacias 02 e 03, não estão propensas a inundações, pois seus valores foram superiores a 1,50, enquanto a bacia 01 obteve valor de Kc igual a 1,44.

Os valores do índice fator de forma (Ff) obtidos variaram entre 0,43 (bacia 02) e 0,74 (bacia 03) (Tabela 7). Para este parâmetro, valores baixos indicaram uma menor propensão à ocorrência de enchentes, demonstrando ser uma bacia mais alongada. Assim, de acordo com a classificação de Villela e Matos (1975), os valores Ff estão entre 0,50 e 0,75, o que indicam uma tendência mediana para o evento de enchentes, inundações e formato ovalado. A única bacia que tem valor Ff menor que 0,50 foi a bacia 02, demonstrando pouca tendência a enchentes.

Tabela 7 - Índice de fator de forma para as três bacias estudadas.

Bacia Hidrográfica	Comprimento axial (km)	Largura média (km)	Ff
Bacia 01	0,80	0,43	0,53
Bacia 02	0,95	0,41	0,43
Bacia 03	2,07	1,54	0,74

Fonte: Os autores (2023).

Os valores obtidos para o índice de conformação (Fc) foi de 0,54 para a bacia 01, 0,41 na bacia 02 e 0,97 para a bacia 03. Analisando estes resultados pode-se dizer que a bacia 03 foi a que mais se aproximou de “um”, demonstrando ser mais vulnerável à ocorrência de picos de cheia e inundações. As bacias 01 e 02 com valores de Kc de 0,53 e 0,43, indicaram possuir menor risco de enchentes. A interpretação desses resultados foi feita com base na classificação de Villela e Matos (1975).

Tabela 8 - Índices de conformação para as três bacias estudadas.

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Comprimento Axial (km)	Fc
Bacia 01	0,35	0,80	0,54
Bacia 02	0,37	0,95	0,41
Bacia 03	4,16	2,07	0,97

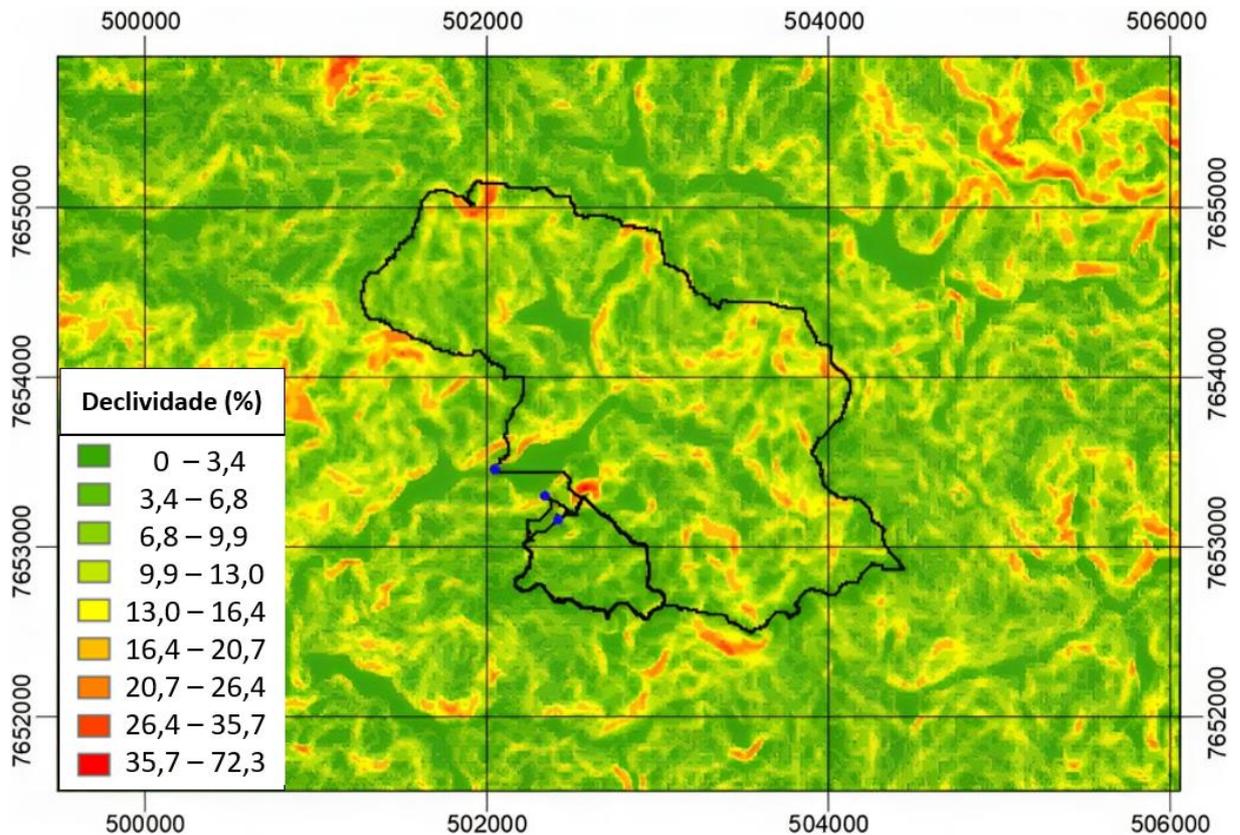
Fonte: Os autores (2023).

5.3 Declividade dos talwegues principais das bacias

Com objetivo de chegar em um valor crítico de escoamento foram utilizados valores de inclinação de seus talwegues principais, indicados pelas setas azuis na Figura 20.

A partir dos valores indicados na legenda, observa-se grande variação de declividades ao longo das áreas de influência, desta forma, estimou-se os valores de declividade máxima das regiões das bacias, definindo então declividade de **13%** para as bacias 1 e 2 e de **20,7%** para bacia 3. Sendo os talwegues principais das Bacias 1 e 2 classificados como relevo forte ondulado, e o da Bacia 3 como montanhoso, segundo Embrapa (1999). Dessa forma, espera-se um escoamento maior para Bacia 2 por ser a que possui maior declividade.

Figura 20 - Declividade das áreas de influência.



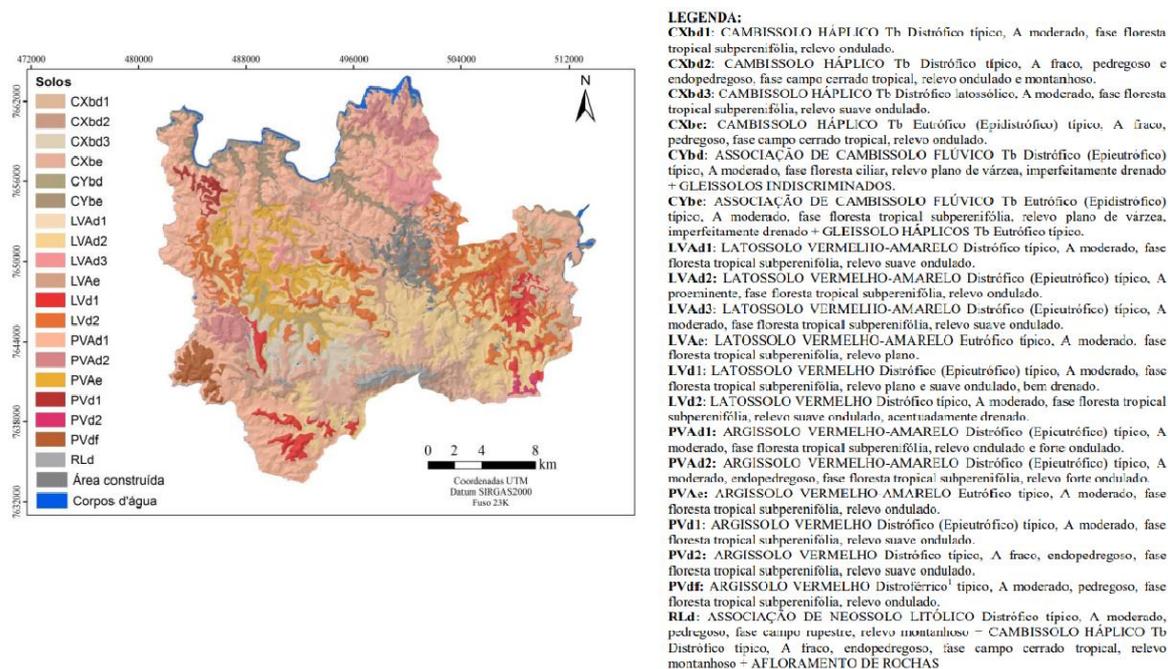
Fonte: Os autores (2023).

5.4 Geologia, uso e ocupação do solo das bacias

De acordo com estudo realizado por Mello (2013), a região de Lavras - MG é composta predominantemente por variações de cambissolo, latossolo e argissolo. Neste trabalho foram abordados a constituição mineral e a adequação do solo às atividades e assim verificou-se a predominância entre argissolos e latossolos correspondendo a aproximadamente 72% da área da região conforme observado na Figura 21.

As características dos solos presentes na região estudada são semelhantes ao apontado por Mello (2013) e assim se enquadram na classe de solo finos para caracterização do escoamento por meio do Coeficiente de Runoff, sendo atribuída a classe A de solos para a composição da região e, portanto, considerado o comportamento de um solo argiloso de baixa permeabilidade.

Figura 21 - Mapeamento de solos no município de Lavras.



Fonte: Adaptado de Mello (2013).

Na Tabela 9, estão apresentadas as informações de ocupação das áreas de referência das bacias e o coeficiente obtidos por meio da média ponderada para as 3 regiões.

Tabela 9 - Ocupação superficial das áreas e parâmetros CN (Coeficiente de Runoff).

BACIA 01			
Características	Área (km ²)	Área (m ²)	Coeficiente de Runoff (CN)
Área vegetação	0,10	100116,01	45
Área Urbana	0,25	246915,24	65
Área Total	0,35	347031,25	-
CN Médio		59,23	
BACIA 02			
Características	Área (km ²)	Área (m ²)	Coeficiente de Runoff (CN)
Área vegetação	0,12	120116,01	45
Área Urbana	0,25	246915,24	65
Área Total	0,37	367031,25	-
CN Médio		58,45	
BACIA 03			
Características	Área (km ²)	Área (m ²)	Coeficiente de Runoff (CN)
Área vegetação	3,56	3563303,21	45
Área Urbana	0,60	600759,29	65
Área Total	4,16	4164062,50	-
CN Médio		47,89	

Fonte: Os autores (2023).

Em função da distribuição de áreas ocupadas e optando pela segurança, foi estabelecido que as regiões das bacias são compostas por áreas distribuídas de edifícios familiares e bosques. Por meio da divisão de áreas realizado no Autocad foi possível estabelecer um coeficiente de escoamento para cada uma das bacias estudadas. As áreas correspondentes às divisões de ocupação realizadas e o coeficiente obtido por meio da média ponderada.

5.5 Análise das precipitações das estações

5.5.1 Precipitações das estações analisadas

A precipitação média anual para as quatro estações observadas está descrita na Tabela 10. Verificou-se que os valores de precipitação são bem próximos entre as estações, com a menor precipitação observada para o mês de julho (19,10 mm – OMM 83687- Lavras, 18,81 mm – Cód. 2145040 - Lavras, 19,46 mm – Cód. 2144005 - Luminárias e 21,21mm – Cód. 2144006 - Itumirim) e a maior no mês de janeiro (287,69 – OMM 83687, 295,03 – Cód. 2145040, 324,03 – Cód. 2144005 e 274,63 – Cód. 2144006). A precipitação média anual obtida pelas estações demonstra ser superior a 1500 mm/m², corroborando com Dantas, Carvalho e Ferreira (2007) que relatam que a precipitação média anual é de aproximadamente 1530 mm para o estado de Minas Gerais.

Tabela 10 - Precipitação média mensal das estações.

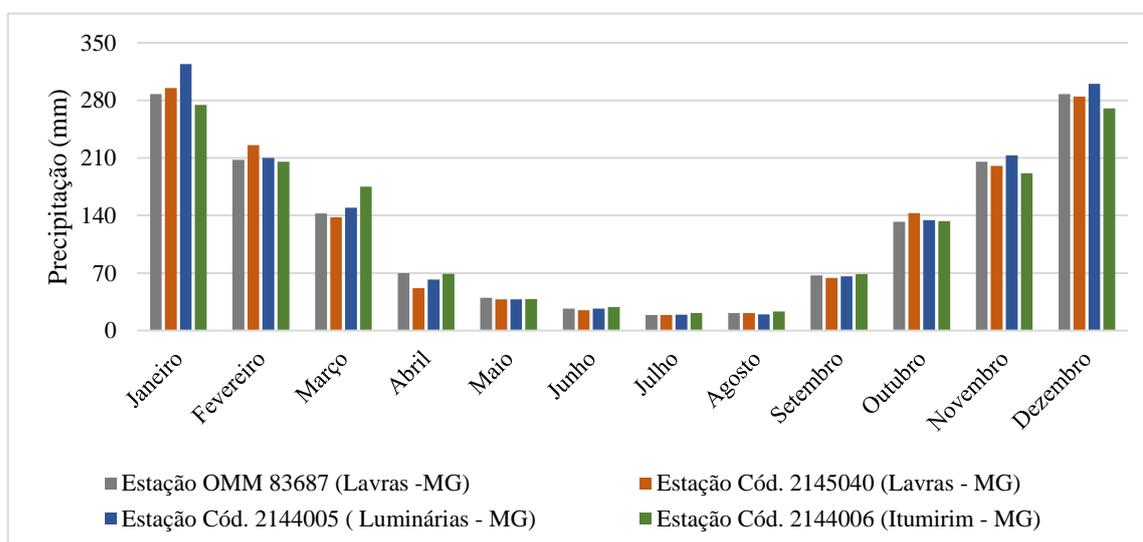
Mês	Estação Meteorológica OMM 83687 Lavras -MG	Estação Pluviométrica Cód. 2145040 Lavras - MG	Estação Pluviométrica Cód. 2144005 Luminárias -MG	Estação Pluviométrica Cód. 2144006 Itumirim - MG
Janeiro	287,69	295,03	324,03	274,63
Fevereiro	207,77	225,54	210,08	205,39
Março	142,40	137,93	149,61	174,93
Abril	69,92	51,79	61,99	68,98
Mai	40,06	37,86	37,90	38,25
Junho	26,93	24,73	26,69	28,68
Julho	19,10	18,81	19,46	21,21
Agosto	21,39	21,34	19,88	23,46
Setembro	67,10	64,10	66,06	68,78
Outubro	132,28	143,02	134,21	133,27
Novembro	205,31	200,37	213,19	191,39
Dezembro	287,82	284,76	300,30	270,38
Precipitação Média Anual (mm/m ²)	1525,46	1505,28	1587,20	1519,88

Fonte: Os autores (2023)

O período de maior escassez de chuva está entre os meses de abril a setembro, com precipitação média mensal menor que 100mm enquanto o período de maior disponibilidade de chuva encontra-se entre os meses de outubro a março, apresentando precipitação média superior a 100mm (Tabela 10). Estas informações podem ser mais claramente observadas no gráfico de barras da Figura 22.

A partir dos dados analisados foi possível notar que a quantidade média precipitada para as estações pluviométricas, se aproximando muito da média obtida na estação meteorológica utilizada como referência na classificação das chuvas, sendo apresentado um desvio padrão máximo de 20,90 mm quando comparados às médias históricas mensais.

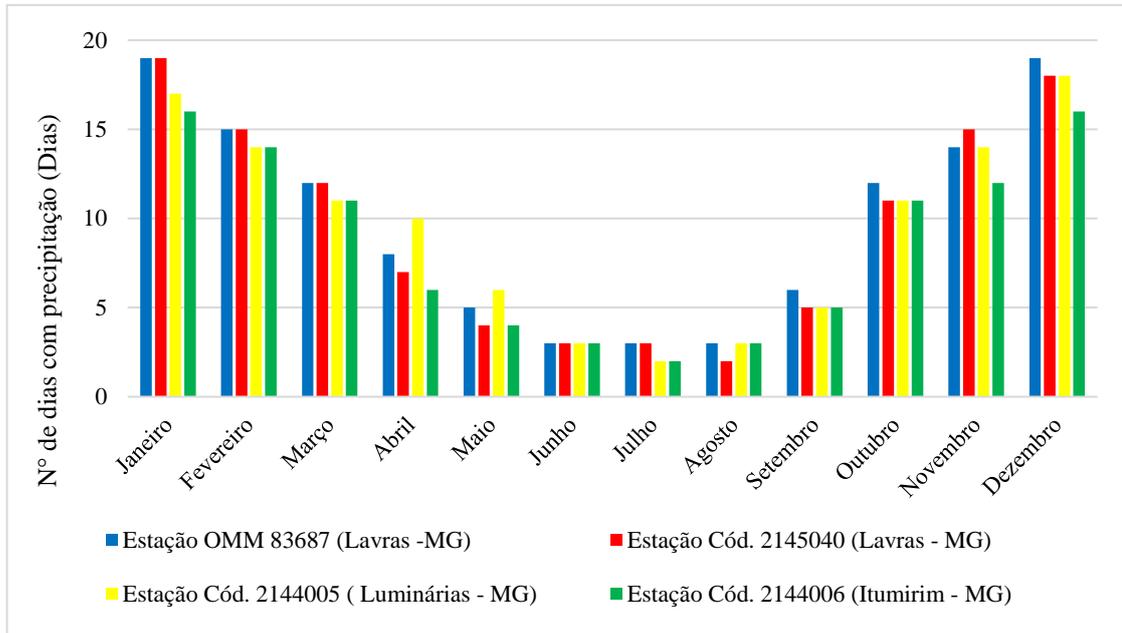
Figura 22 - Comparativo entre precipitações médias de todas as estações



Fonte: Os autores (2023).

A Figura 23 apresenta a distribuição da quantidade média de dias chuvosos registrados nos meses do ano pelas estações verificadas, nas quais apontaram poucas variações na quantidade de dias precipitados quando comparados aos dados de cada estação, sendo observada uma quantidade média de dias semelhante para os meses de dezembro e janeiro do ano.

Figura 23 - Comparativo de distribuição média de dias chuvosos no ano.

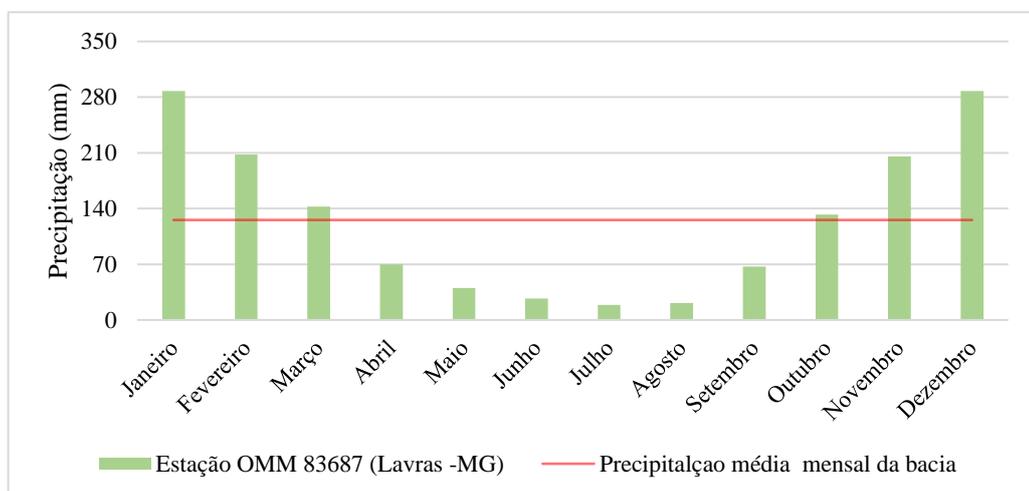


Fonte: Os autores (2023).

5.5.2 Precipitações na bacia hidrográfica

Para obtenção das informações de precipitação nas bacias hidrográficas, foram utilizados os dados de precipitação da estação meteorológica OMM 83687, tendo em vista a proximidade da estação com as barragens analisadas e sendo considerada a correção de falhas realizadas no período analisado. Na Figura 24 é apresentado o comportamento da precipitação considerado na bacia em comparativo com a precipitação média mensal de 125,65 mm.

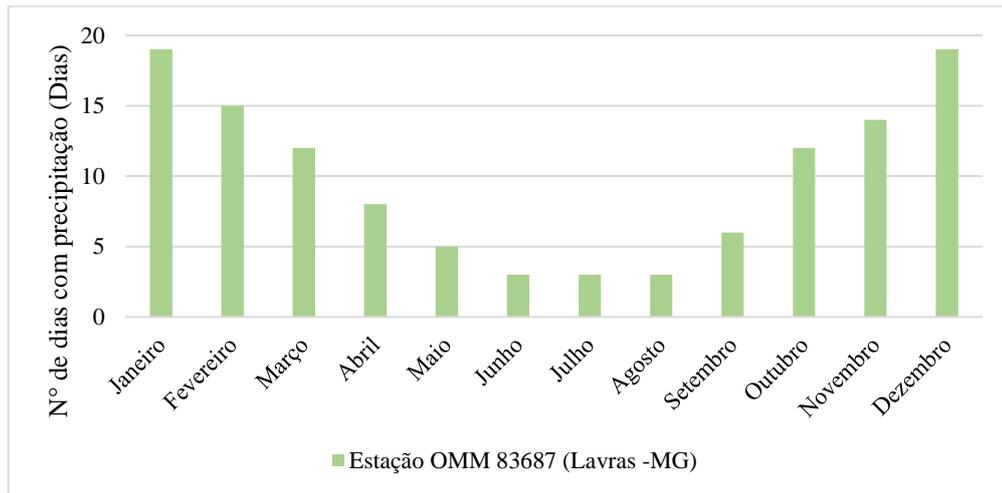
Figura 24 - Distribuição da precipitação da bacia em função dos meses do ano.



Fonte: Os autores (2023).

Na Figura 25 é apresentado a relação de dias chuvosos da bacia para cada mês, nela é possível observar que os meses de janeiro e dezembro, são considerados os mais chuvosos, apresentam poucas diferenças no número médio de dias precipitados.

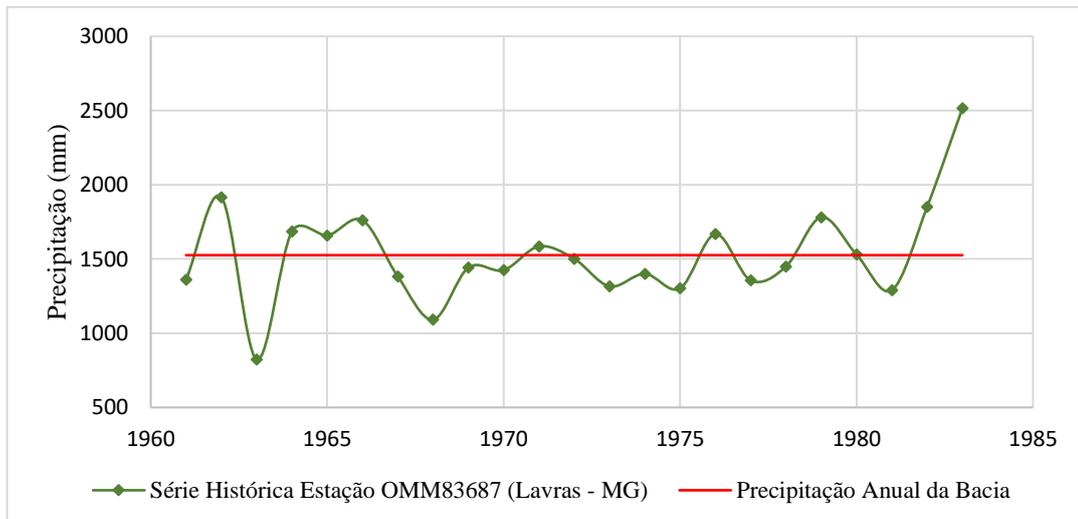
Figura 25 - Distribuição da quantidade média de dias chuvosos da bacia.



Fonte: Os autores (2023).

Para a área delimitada da bacia, a precipitação média da bacia observada foi de aproximadamente de 1525,46 mm, com a máxima precipitação anual verificada de 2516,00 mm e mínima de 822,64 mm no período analisado (Figura 26).

Figura 26 - Precipitação anual da Bacia no Período Analisado.



Fonte: Os autores (2023).

5.5.3 Análise de intensidade, duração e frequência das chuvas

O tempo de concentração considerado como tempo de duração no cálculo da Precipitação Máxima Provável de cada bacia, foi calculado a partir da equação de Watt e Chow (1998), levando em consideração as características de declividade e comprimento longitudinal obtidas na fase de caracterização das bacias estudadas. Na Tabela 11 são apresentadas as informações referentes a declividade, comprimento longitudinal e tempo de concentração determinado para cada bacia delimitada.

Tabela 11 - Características e tempo de concentração da bacia.

Área de Referência	Declividade da Bacia – S (m/m)	Comprimento Longitudinal - L (km)	Tempo de Concentração - tc (horas)
Bacia 01	13,04	0,80	14,40
Bacia 02	13,04	0,95	16,49
Bacia 03	20,69	2,07	25,42

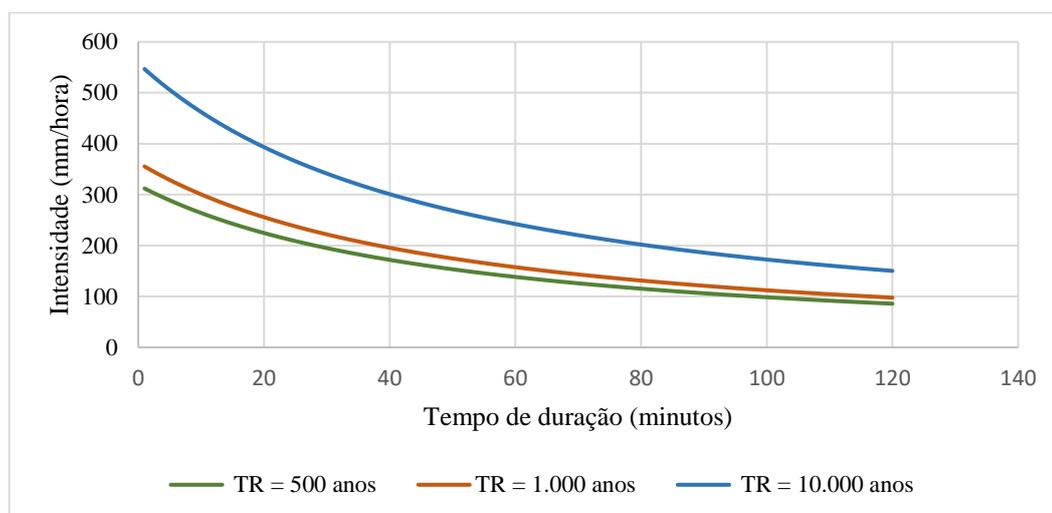
Fonte: Os autores (2023).

Como esperado, a bacia 03 possui uma maior área, consequentemente apresentando um tempo de concentração consideravelmente maior do que as demais, indicando que a água precipitada necessita de um período maior para percorrer a região até o ponto mais baixo.

A determinação do tempo de retorno para precipitação foi feita considerando a classificação de categoria de risco apontada na resolução no Art 4º da resolução nº 143 (BRASIL, 2012) do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que descreve o tempo de retorno para Cheia Máxima Provável (CMP) como sendo 10.000 anos. Ressalta-se que as barragens analisadas apresentam a presença de população fixa a jusante, o que de acordo com o Art. 7º da Lei nº 12.334 (BRASIL, 2010) redigida pela Legislação Nacional, oferece uma pontuação de 12 pontos na ficha de caracterização das estruturas e consequentemente, as enquadra em dano potencial associado médio.

Diante disso, foi adotado o tempo de retorno de 500, 1.000 e 10.000 anos, considerados como provedores de menores pontuações na categoria de risco da estrutura. As curvas IDF (Intensidade, Duração e Frequência) para os respectivos tempos de retorno estimados são apresentados na Figura 27.

Figura 27 - Curva de Intensidade Duração e Frequência (IDF) - Estação OMM 83687.



Fonte: Os autores (2023).

Por meio da equação 13 ajustada para as coordenadas da estação meteorológica, foram calculadas as intensidades de precipitação, levando em consideração os tempos de retorno estabelecidos neste trabalho para cada bacia. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Intensidade da chuva em função do Tempo de retorno - Estação OMM 83687.

Área de Referência	Intensidade TR = 500 anos (mm/h)	Intensidade TR = 1.000 anos (mm/h)	Intensidade TR = 10.000 anos (mm/h)
Bacia 01	4,09	4,65	7,16
Bacia 02	3,95	4,50	6,92
Bacia 03	3,46	3,94	6,06

Fonte: Os autores (2023).

Apesar dos dados das chuvas registradas pelas estações estudadas apresentarem um grande acervo histórico de leituras, ainda não correspondem aos períodos de precipitações considerados na pontuação da ficha de Caracterização Técnica da estrutura estabelecida na Política Nacional por meio do art 7º da lei 12;234 (BRASIL,2010), tornando-se necessário a aplicação do método estatístico para estimar estes volumes precipitados. Através da equação IDF ajustada para a região da estação meteorológica foi possível estimar a intensidade da chuva para os tempos de retorno de 500, 1000 e 10000 anos e assim calcular a precipitação máxima provável das três bacias multiplicando o tempo de concentração determinado pela intensidade

registrada na bacia para os diferentes tempos de retorno considerados. A estimativa da precipitação calculada para os tempos de retorno (TR) de 500, 1000 e 10000 anos, pode ser visualizado na Tabela 13.

Tabela 13 - Precipitação estimada considerando em função do tempo de retorno.

Área de Referência	Precipitação TR=500 anos (mm)	Precipitação TR=1.000 anos (mm)	Precipitação TR=10.000 anos (mm)
Bacia 01	58,84	65,17	87,96
Bacia 02	66,98	74,19	100,13
Bacia 03	103,03	114,11	154,02

Fonte: Os autores (2023).

Por intermédio dos resultados obtidos é possível observar que conforme esperado, à medida que o tempo de retorno aumenta, a intensidade da precipitação também aumenta. Isso é observado para as três bacias analisadas. A bacia com maior precipitação observada para os tempos de retorno, foi a bacia 03, que era um fato já esperado, devido à área de contribuição da bacia consideravelmente maior do que as demais. Neste contexto, foram mensuradas as precipitações da bacia 03 como sendo de 103,03 (mm) no TR de 500 anos, de 114,11 (mm) com TR de 1.000 anos e 154,02 para o TR de 10.000.

5.5.4 Precipitação efetiva e escoamento superficial

A partir das informações do uso e ocupação da área de contribuição das bacias é possível estabelecer o parâmetro adimensional Coeficiente de Runoff (CN), e posteriormente a estimativa da capacidade de armazenamento do solo (D), o qual é utilizado como referência na determinação da parcela correspondente a perda inicial da precipitação (Ia), convertida em infiltração, evaporação e retenção da cobertura da região.

Por meio da definição do parâmetro CN estabelecido, foi possível estimar os valores de capacidade de armazenamento (D) do solo da região e a perda inicial pelos processos anteriormente supracitados, sendo elas variáveis adimensionais. Na Tabela 14, são apresentados a relação de variáveis calculadas.

Tabela 14 - Parâmetros adimensionais das características da região. (Continua)

Área de Referência	Área da Bacia (km ²)	Coefficiente de Runoff (CN)	Capacidade de armazenamento do Solo (D)	Perda Inicial da precipitação (I _a)
Bacia 01	0,35	59	174,84	34,97
Bacia 02	0,37	58	180,52	36,10
Bacia 03	4,16	48	276,43	55,29

Fonte: Os autores (2023).

Por fim, tendo sido estabelecidos todos os parâmetros adimensionais dos processos hidrológicos ocorridos, foi possível estimar os valores de precipitação efetiva na região de contribuição considerada das bacias (Tabela 15).

Tabela 15 - Precipitação efetiva em função do tempo de retorno.

Área de Referência	Parâmetro Coeficiente de Runoff (CN)	Precipitação Efetiva TR = 500 anos (mm)	Precipitação Efetiva TR = 1.000 anos (mm)	Precipitação Efetiva TR = 10.000 anos (mm)
Bacia 01	59	2,87	15,30	65,31
Bacia 02	58	4,03	19,55	74,18
Bacia 03	48	3,45	20,09	95,40

Fonte: Os autores (2023).

Com base nos resultados de precipitações efetivas encontradas, foi possível observar que mesmo a maior diferença apresentada no coeficiente CN, observada entre as bacias 01 e 03, não corresponde a grandes influências nos valores obtidos. Tal resultado que difere quando comparado à alteração ocasionada pela variação do tempo de retorno da precipitação. Fato este que justifica a consideração feita pela Lei 12.334 (BRASIL, 2010) da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) em estabelecer uma melhor classificação na segurança hidráulica da estrutura quando considerados os estudos com um tempo de retorno deca milenar.

5.5.5 Vazão de projeto

Na Tabela 16, são apresentados os resultados das vazões resultantes das precipitações efetivas estimadas nos tempos de retorno considerado.

Tabela 16 - Vazão de contribuição em Função do tempo de Retorno.

Bacias	Barragem Alimentada	Vazão Máxima para Precipitação TR = 500 anos (m ³ /s)	Vazão Máxima para Precipitação TR = 1.000 anos (m ³ /s)	Vazão Máxima para Precipitação TR = 10.000 anos (m ³ /s)
Bacia 01	Barragem 01	0,02	0,10	0,44
Bacia 02	Barragem 02	0,02	0,12	0,46
Bacia 03	Barragem 03	0,16	0,91	4,34

Fonte: Os autores (2023).

Observou-se que perante os resultados obtidos para as vazões resultantes nas bacias, foi possível notar que a bacia 03 que alimenta a região da barragem 03, apresentou uma contribuição significativamente maior quando comparada com os volumes abastecidos nas barragens 01 e 02. Isto se dá pela maior proporção da área de contribuição resultando em uma maior captação da chuva precipitada. Em função das bacias 01 e 02 foi possível notar o compartilhamento entre áreas de contribuição das bacias, onde os valores de vazão considerados para a bacia 02, envolvem a totalidade da parcela da vazão encontrada para a bacia 01, o que pode ser ocasionado pela proximidade e condição construtiva das barragens.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados coletados e analisados nas bacias estudadas, é possível traçar um panorama abrangente da região delimitada por essas bacias. A precipitação média anual na área alcança 1525,46 mm, sendo mais concentrada entre os meses de outubro e março, especialmente em janeiro e dezembro, quando o volume precipitado ultrapassa duas vezes a média mensal de 125,65 mm.

Ao examinar a morfometria das bacias, identificou-se que as bacias 01 e 02 demonstram ser menos propensa a enchentes, indicado pelos valores de fator de forma, índice de conformação e compacidade distantes do valor unitário.

No que se refere à declividade, as bacias 01 e 02 apresentam relevo fortemente ondulado, enquanto a bacia 03 possui características montanhosas, o que sugere uma inclinação maior e, por conseguinte, uma influência gravitacional mais acentuada sobre a água precipitada, acelerando seu escoamento.

Os registros pluviométricos entre 1960 e 1985 exibiram uma máxima precipitação anual de 2516,00 mm e uma mínima de 822,64 mm.

Ao analisar a intensidade de precipitação para diferentes tempos de retorno (TR), observou-se que a bacia 03 teve a maior precipitação registrada, com valores de 103,03 mm (TR de 500 anos), 114,11 mm (TR de 1.000 anos) e 154,02 mm (TR de 10.000 anos).

Quanto à vazão, destaca-se que a bacia 03 contribui mais para o volume da barragem 03 em comparação com as bacias 01 e 02. Nota-se também que, devido ao método construtivo em cascata e à sobreposição das áreas de influência das bacias 01 e 02, o volume de precipitação é direcionado exclusivamente para a barragem 01.

Por fim, conclui-se que as Barragens 01 e 02 atuam em efeito cascata, sendo todo volume precipitado destinado a barragem 01 e apenas em condições de falhas da mesma que a barragem 02 irá comportar o volume de precipitação armazenado pela barragem 01. Ressalta-se ainda que a barragem 03 apresenta área de contribuição da bacia diferente das demais, entretanto por estar situada na região de menor elevação a jusante dos reservatórios, em caso de ruptura dos mesmos que a barragem 03 irá comportar o volume precipitado da região.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Newton. **Ciclo da Água ou Ciclo Hidrológico**. 2012. Disponível em: <https://geografianewtonalmeida.blogspot.com/2012/04/ciclo-da-agua-ciclo-hidrologico.html>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- ASTERLING, D.R.; EVAND, J.L.; GROISMAN, P.Y.; KARL, T.R.; KUNKEL, K.E.; AMBENJE, P. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.81, n.3, p.417-426, 2000.
- ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; SACRAMENTO NETO, O. B. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.4, p.247-256, 2014.
- BARGOS, Profa. Dra. Danúbia Caporusso. **Caracterização de Bacias Hidrográficas**. Lorena: USP, 2018. 64 slides, color. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4641489/mod_resource/content/1/aula%203_LOB1233.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.
- BARGOS, Profa. Dra. Danúbia Caporusso. **Caracterização de Bacias Hidrográficas**. Lorena: USP, 2018. 25 slides, color. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4641496/mod_resource/content/1/aula%204_LOB1233.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.
- BATISTA, D. F.; SOUSA, F. A. Avaliação da condutividade hidráulica do solo sobre condições de cobertura por cerrado e pastagem. **Geoambiente**, n.25, 2015.
- BAUNGARTEN, Ana Paula; FELIX, Daniele; MÜLLER, Mauricio. Determinação da precipitação efetiva na bacia do rio Chopim através do método da curva número do SCS. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento–LACTEC-CEHPAR. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Curitiba, Brasil, p. 23-27, 2003.
- BIELENKI JÚNIOR, Cláudio. Caracterização de bacias hidrográficas com uso de Geoprocessamento. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, nov. 2007. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/5d61d53ca1c89e40b7670ffc9b5ce49f_58dff6b2a488a2c4cdc93bd4d173c5db.pdf. Acesso em: 11 nov. 2023.
- BORGES, M. A. S. Estudo hidrológico para uma barragem no rio Pium. AELBRA, 2019.
- BRASIL. Lei Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 de set. 2010.
- BURGER, L. C. Adaptação e análise do método de Hershfield para estimativa da precipitação máxima provável (PMP). 2014. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 100 p.
- CALDEIRA, T. L.; BESKOW, S.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; SOUZA, M. R.; GUEDES, H. A. S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.3, p.197–203, 2015.

CECÍLIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. Modelo para estimativa da infiltração de água e perfil de umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 2, p. 411-421, fev. 2013.

CHAVAN, S. R.; SRINIVAS, V. V. Probable maximum precipitation estimation for catchments in Mahanadi river basin. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 892-899, 2015.

CHOKKAVARAPU, N.; MANDLA, V. R. Comparative study of GCMs, RCMs, downscaling and hydrological models: a review toward future climate change impact estimation. **SN Applied Sciences**, v. 1, n. 12, 2019.

COLIADO, P. H. S.; SOMINETTI, V. C.; SILVA, D. C. C. Avaliação das características físicas da bacia hidrográfica do rio pariquera-açu no baixo ribeira de iguape (SP). **Holos Environment**, v.20, n.3; p.320-334, 2020.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. 2013.

COSTA, P.; BARROSO, G. R.; OLIVEIRA, K. L.; Starling, M. C. V.; OLIVEIRA, S. Spatio-temporal dynamics of surface water quality of two large reservoirs of Brazilian hydroelectric plants. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.27, n.5, p.893-907, 2022.

CRUZ, V. P.; LUIZ, C.; NASCIMENTO, D. T. F. Análise morfométrica e dinâmica de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do ribeirão João Leite: insumos para avaliação da infiltração e escoamento superficial. **Revista Territorial**, Cidade de Goiás, v.12, n.01, p.19-51, 2023.

DANTAS, A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1862-1866, 2007.

DIAS, S. S.; LASCHEFSKI, K. Environmental conflicts and water management: problems of supply, urbanization and mining in Viçosa, MG. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 105-122, 2019.

DOS ANJOS GARCIA, É. N.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 6, 2015.

FERNANDES, A. S.; SANTOS, M. D.; NOGUEIRA, P. F. M.; SARAIVA, V. K.; OLIVEIRA, V. F. C.; ALMEIDA, K. C. B.; NACIF, W. F.; FONSECA, M. Análise do impacto na qualidade da água do rio paraopeba após 2 ciclos hidrológicos do rompimento das barragens de rejeitos da mineradora Vale S.A. **Revista Mineira de Recursos Hídricos**, v.2, e021008, 2021.

FONSECA DURÃES. Caracterização e avaliação do estresse hidrológico da bacia do rio paraopeba, por meio de simulação de cenários atuais e prospectivos de ocupação e uso do solo utilizando um modelo hidrológico distribuído. Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG: IFTO, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/REPA-8DMMHQ>. Acesso em: 24 nov. 2023.

GARCIA, E. N. A.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. **Periódico Eletrônico**, v. 11, n. 06, 2015.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 45-58, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v5n3.p45-58>.

JÚNIOR, Antenor Rodrigues Barbosa. Elementos de Hidrologia aplicada. Editora Blucher, 2022.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): Handbuch der Klimatologie. Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936. Banda 1, Parte C, p. 1-44.

LORENZON, ALEXANDRE SIMÕES; DIAS, HERLY CARLOS TEIXEIRA; LEITE, HÉLIO GARCIA. Precipitação efetiva e interceptação da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, v. 37, p. 619-627, 2013.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V.; SILVA DIAS, P. L.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Review recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1- 21, 2012.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Classificação climática de köppen e de thornthwaite para minas gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 14, 2018.

MELLO, C. R. et al. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 25, p. 693-698, 2001.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras, MG: Ed. UFLA, 2013. 455 p.

MORAIS, Maria Eugênia de; LORANDI, Reinaldo (org.). Métodos e técnicas de pesquisa em bacias hidrográficas. Online: Uesc, 2016. 283 p. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/4wbr2>. Acesso em: 10 nov. 2023.

NAGARAJU, S.K.; BHANUPRAKASH, D.; SHIVASWAMY, H.M.; BALASUBRAMANIAN, A. Morphometric Evaluation and Sub Basin Analysis in Hanur Watershed, Kollegal Taluk, Chamarajanagar District, Karnataka, India, using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, Gujarat, v. 6, p. 2178-2191, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.265>.

NARDINI, R. C.; GOMES, L. N.; CAMPOS, S.; SILVEIRA, G. R. Morphometric Characterization of the Watershed of Stream Santa Flora, City of Dracena (SP). **Geografia**, v. 25, n. 1, p. 5-22, 2016.

NASCIMENTO, F. I. C.; SILVA, D. L.; MESQUITA, A. A.; SANTOS, W. L.; SERRANO, R. O. P. Fisiografia fluvial da bacia hidrográfica do Rio Redenção no município de Rio Branco,

Acre. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 10, p. 614-624, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Formas-da-bacia-e-sua-influencia-na-vazao-Fonte-adaptado-de-Nascimento-et-al_fig2_361217145. Acesso em: 16 nov. 2023.

NOBRE, N. C.; SILVA, C. M.; SANTANA, J. S.; SILVA, W. A. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do rio Farinha-MA. **Acta Iguazu**, v. 9, n. 1, p. 11-34, 2020.

OLIVEIRA, A. C.; LIMA, C. G. R.; LOLLO, J. A. Uso e Ocupação do Solo e Caracterização Morfométrica da Microbacia do Ribeirão Pitangueiras no município de Barretos – SP. **Revista de Tecnologia & Gestão Sustentável**, v. 1, n. 3, 2022.

PANTA, D. A. S.; ALVES, J. M. Caracterização fisiográfica da microbacia do córrego Francisquinha. **Revista Geografia**, v. 2, n. 5, 2015.

PEIXOTO, F. S.; SILVEIRA, R. N. C. M. Bacia hidrográfica: tendências e perspectivas da aplicabilidade no meio urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, p. 840-853, 2017.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, K. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Ambi-Agua**, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.

PORTO, Rubem La Laina et al. PHD 307- Hidrologia Aplicada: bacias hidrográficas. São Paulo: Usp, 1999. 35 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/8537765-Escola-politecnica-da-usp-depto-de-engenharia-hidraulica-e-sanitaria-phd-307-hidrologia-aplicada.html>. Acesso em: 22 nov. 2023.

QUEIROZ, Arlei Teodoro et al. Análise e avaliação da demanda e da disponibilidade hídrica no alto e médio curso do Rio Uberabinha e o abastecimento público em Uberlândia (MG). 2012.

QUEIROZ, E. F. Sustentabilidade e impactos ambientais da agropecuária O caso do ciclo hidrológico. **Revista Política Agrícola**, v. 4, n. 147, 2012.

QUEIROZ, Matheus Silveira de; ALVES, Neliane de Sousa. Aplicação de diferentes fórmulas de tempo de concentração para uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Tocantinense de Geografia**, [S. l.], v. 9, n. 18, p. 219–231, 2020. DOI: 10.20873/rtg.v9n18p219-231. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/geografia/article/view/9526>. Acesso em: 28 nov. 2023. RODRIGUES, J. A. M.; ANDRADE, A. C. O.; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. Indicadores hidrológicos para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Revista Scientia Agraria**, v. 16, n. 4, p. 58-79, 2015.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO, A. M. N.; BASTOS, F. H. Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 01, p. 125-143, 2016.

SARTORI, Aderson. Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. 2004. Tese

de Doutorado. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

SERVIDONI, E. L.; AYER, J. E. B.; ESTELLA, P. V. M.; OLIVEIRA, G. H.; MINCAT, R. L. Atributos morfométricos e hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Alto Sapucaí, Minas Gerais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, e169817, 2021.

SILVA NETO, Virgílio Lourenço. Mapeamento da precipitação máxima provável na bacia do rio Manuel Alves da Natividade. Gurupi: Ifto, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Virgilio-Silva-Neto/publication/335592600_MAPEAMENTO_DA_PRECIPITACAO_MAXIMA_PROVAVEL_NA_BACIA_DO_RIO_MANUEL_ALVES_DA_NATIVIDADE/links/5e70fafa92851c4745929013/MAPEAMENTO-DA-PRECIPITACAO-MAXIMA-PROVAVEL-NA-BACIA-DO-RIO-MANUEL-ALVES-DA-NATIVIDADE.pdf. Acesso em: 24 nov. 2023.

SILVA, F. L.; FUSHITA, A. T.; CUNHA-SANTINO, M. B.; BIANCHINI JÚNIOR, I.; VENEZIANI JÚNIOR, J. C. T. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 3, p. 1626-1653, 2022.

SOLLACI, Catarina Balduino; LIMA, Pollyne Coutinho. Potencialidade dos dados WPM CBERS 4A para a identificação da interferência antrópica em elementos do ciclo hidrológico no Campus Darcy Ribeiro. 2021.

TEIXEIRA, Vanessa; LINDNER, Josiele; PRESTES, Angelina Martins. Relato da experiência da oficina pedagógica na escola: "O ciclo da água e a necessidade de preservá-la". **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 6, n. 17, 2014.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n. 20, 2007.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1993.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. 2. ed. Porto Alegre: ABRH – UFRGS, 2005.

TUCCI, Carlos EM. Recursos Hídricos e Conservação do Alto Paraguai. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004. VALLADARES SOARES, Paulo; YOSHINAGA PEREIRA, Sueli; COELHO SIMÕES, Silvio Jorge; DE PAULA BERNARDES, George; BARBOSA SÉRGIO AUGUSTO. Mapa de infiltração do alto e médio Vale do Paraíba do Sul com base em elementos do meio físico e na precipitação. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 1, p. 36-42, 2008.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia geral. Campina Grande: Editora Universitária, 2005. 449 p.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUES-

PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a unified view of the American monsoon systems. **Journal of Climate**, v. 19, n. 20, p. 4977-5000, 2006.

VERGNE, D. C. Efeito da espécie invasora *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae) na evapotranspiração e no lençol freático. Tese de Doutorado, programa de pós-graduação em ecologia e recursos naturais, departamento de hidrobiologia, São Carlos-SP, 2020.

VERGNE, Driéli de Carvalho. Efeito da espécie invasora *Hedychium coronarium* J. König (Zingiberaceae) na evapotranspiração e no lençol freático. 2020.

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

VILLELA, S.; FERNANDES, W. Método para a estimação de quantis de enchentes extremas com o emprego conjunto de análise bayesiana, de informações não sistemáticas e de distribuições limitadas superiormente. 2009. Tese (Doutorado - Curso de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

WATT, W. E.; CHOW, K. C. A. A general expression for basin lag time. *Can. J. Civil Eng.* 12, 294-300.1985.

WESTRA, S. et al. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. **Revista Geophysical**, v. 52, p. 522–555, 2014.

WESTRA, S.; FOWLER, H. J.; EVANS, J. P.; ALEXANDER, L. V.; BERG, P.; JOHNSON, F.; KENDON, E. J.; LENDERINK, G.; ROBERTS, N, M. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. **Rev. Geophys.**, v.52, p.522–555, 2014.

WISSER, D.; FROLKING, S.; DOUGLAS, E. M.; FEKETE, B. M.; SCHUMANN, A. H.; VÖRÖSMARTY, C. J. The significance of local water resources captured in small reservoirs for crop production – A global-scale analysis. **Journal of Hydrology**, v. 384, p. 64–275, 2010.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation - PMP. Geneva: 2009. 291 p.