



# **ESTUDO HIDROLOGICO**

TRÊS BARRAS DO PARANÁ  
2025

# INFORMAÇÕES GERAIS



Pretendente: Prefeitura Municipal de Três Barras do Paraná

Obra: Bacia de detenção

Localidade: Esquina entre a PR-471 e a Rua Minas Gerais, Três Barras do Paraná

Data: 21 de agosto de 2025

Descrição do estudo: O presente estudo tem por objetivo analisar as variáveis hidrológicas necessárias ao dimensionamento de uma bacia de detenção, visando o controle de cheias e a mitigação de alagamentos da região.

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este documento apresenta o método de cálculo e os critérios técnicos para o projeto de uma bacia de detenção urbana em Três Barras do Paraná - PR. O escopo do trabalho abrange desde a análise hidrológica para a definição das vazões de pico de projeto, até o dimensionamento final de todas as estruturas hidráulicas associadas, incluindo o canal adutor e os bueiros de saída, garantindo uma solução integrada.

A metodologia empregada segue rigorosamente as diretrizes de manuais consagrados, como os do DNIT (2006) e o Manual de Drenagem Urbana, do Estado do Paraná, garantindo a robustez técnica. Como embasamento conceitual, adota-se a obra "Hidrologia: Ciência e Aplicação" de Tucci (2007), assegurando que os resultados sejam não apenas práticos, mas também academicamente bem fundamentados.

## RESPONSÁVEL TÉCNICO

---

**JOSCENEI TEREINTO**

**ENG. CIVIL**

**CREA PR 210342/D**

# SUMÁRIO



1 INTRODUÇÃO .....	5
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	7
2.1 Delimitação da bacia de contribuição .....	7
2.2 Levantamento e análise de dados pluviométricos .....	8
2.3 Cálculo da precipitação de projeto .....	8
2.4 Escolha do tempo de retorno .....	10
2.5 Coeficiente de escoamento .....	11
2.6 Coeficiente de rugosidade de manning .....	12
2.7 Cálculo do tempo de concentração .....	14
2.8 Cálculo da vazão de projeto .....	15
2.8.1 Método racional .....	15
2.8.2 Método racional com coeficiente de retardo .....	16
2.8.3 Método do hidrograma unitário triangular .....	16
2.8.4 Escolha do método .....	17
2.9 Dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem .....	18
2.9.1 Bueiros à jusante .....	18
2.9.2 Dimensionamento do canal de condução .....	19
2.9.3 Bacia de retenção .....	19
3 METODOLOGIA .....	22
3.1 Delimitação e caracterização da bacia hidrográfica .....	22
3.1.1 Dados e ferramentas .....	22
3.1.2 Procedimentos metodológicos .....	23
3.1.3 Resultados da delimitação .....	24
3.2 Coleta de dados pluviométricos .....	25
3.2.1 Dados e ferramentas .....	25
3.2.2 Procedimentos metodológicos .....	26
3.2.3 Resultados da coleta .....	26
3.3 Cálculo da precipitação de projeto .....	31
3.3.1 Dados e ferramentas .....	32

3.3.2 Procedimentos metodológicos .....	32
3.3.3 Resultados do cálculo .....	33
3.4 Definição do tempo de retorno .....	36
3.5 Definição do coeficiente de escoamento.....	36
3.5.1 Dados e ferramentas .....	37
3.5.2 Procedimento metodológico .....	37
3.5.3 Resultado dos cálculos.....	38
3.6 Definição do coeficiente de manning .....	39
3.6.1 Dados e ferramentas .....	39
3.6.2 Procedimento metodológico .....	40
3.6.3 Resultados da definição .....	40
3.7 Definição do tempo de concentração .....	41
3.7.1 Dados e ferramentas .....	41
3.7.2 Procedimento metodológico .....	41
3.7.3 Resultado dos cálculos.....	43
3.8 Definição da vazão de projeto .....	43
3.8.1 Dados e ferramentas .....	44
3.8.2 Procedimento metodológico .....	44
3.8.3 Resultado dos cálculos.....	45
3.9 Dimensionamento hidráulico das estruturas .....	46
3.9.1 Dados e ferramentas .....	47
3.9.2 Procedimento metodológico .....	47
3.9.3 Resultados do dimensionamento .....	49
4 RESULTADOS .....	52
4.1 Resultados do estudo hidrológico .....	52
4.1.1 Parâmetros da bacia e vazão de projeto .....	52
4.1.2 Resultados do dimensionamento hidráulico.....	53
4.1.3 Discussão geral e implicações do projeto .....	54
5 CONCLUSÃO .....	55
REFERÊNCIAS .....	57

# 1 INTRODUÇÃO




O crescimento desordenado dos centros urbanos, aliado à intensificação dos eventos extremos de precipitação, tem agravado os problemas relacionados à drenagem urbana em diversas cidades brasileiras. A impermeabilização progressiva do solo, somada à insuficiência dos sistemas de macrodrenagem, contribui significativamente para o aumento das vazões de pico e dos volumes escoados durante eventos críticos, resultando em alagamentos, prejuízos à infraestrutura e riscos à segurança da população.

No município de Três Barras do Paraná – PR, o parque urbano localizado na região central desempenha, de forma informal e não projetada, a função de bacia de retenção durante os picos de chuva. Contudo, a ausência de um sistema estruturado e tecnicamente dimensionado tem comprometido sua eficiência, ocasionando frequentes extravasamentos e alagamentos nas vias adjacentes. Tal cenário evidencia a necessidade de intervenção com base em critérios técnicos rigorosos de engenharia hídrica, de modo a assegurar a segurança hidráulica da região, a funcionalidade do parque e a preservação da infraestrutura urbana.

Com o objetivo de resolver essa problemática, este estudo propõe a elaboração de um projeto de macrodrenagem que contempla a implantação de um canal de condução ao longo do parque, direcionando os volumes excedentes à jusante da bacia urbana, e a utilização controlada do lago existente como bacia de retenção auxiliar. Para tanto, será conduzido um estudo hidrológico completo, embasado na aplicação da Distribuição de Gumbel para valores extremos, conforme preconizado por Torrico (1974), complementado por análises estatísticas, caracterização da bacia de contribuição e dimensionamento hidráulico das estruturas.

Além disso, o estudo considera aspectos inovadores e sustentáveis, como a integração dos dispositivos de drenagem ao paisagismo urbano e a adoção de soluções baseadas na natureza (SbN), a exemplo de bacias vegetadas, áreas permeáveis e taludes estabilizados com vegetação, que favorecem o controle do escoamento superficial, a recarga do lençol freático e a valorização ambiental do espaço urbano.

Este trabalho está estruturado de modo a garantir a robustez técnica do diagnóstico e das soluções propostas, alinhando-se às diretrizes do Manual de Drenagem Urbana do IAT, às normas da ABNT e às boas práticas nacionais e internacionais em engenharia hídrica. A expectativa é que as intervenções resultantes deste estudo promovam não apenas a eficiência hidráulica, mas também a qualidade urbana e ambiental da região central de Três Barras do Paraná.



# 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA



O presente estudo hidrológico segue os princípios e métodos consolidados na engenharia hídrica para o dimensionamento de estruturas de macrodrenagem urbana, com ênfase na caracterização da bacia hidrográfica, levantamento e análise de dados pluviométricos, definição da precipitação de projeto e cálculo das vazões máximas. A seguir, são apresentados os fundamentos técnicos de cada etapa metodológica.

## 2.1 Delimitação da bacia de contribuição

A delimitação da bacia hidrográfica constitui a etapa inicial do estudo hidrológico e tem por objetivo identificar a área efetivamente contribuinte para o ponto de exutório. A bacia será delimitada a partir da topografia local, com uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE) disponibilizados pelo INPE e tratados no software QGIS, por meio da ferramenta r.watershed (GRASS GIS plugin). O MDE possibilita a extração automática de curvas de nível, linhas de fluxo, áreas de contribuição e cotas altimétricas, permitindo uma delimitação precisa da bacia urbana com base na direção do escoamento superficial.

A identificação do ponto de exutório (ponto de saída da água) e o traçado dos divisores topográficos são fundamentais para a determinação da área da bacia (A), bem como para a análise da declividade média e do comprimento do percurso principal de escoamento, parâmetros que serão utilizados nos cálculos subsequentes do tempo de concentração e da vazão de projeto (TUCCI, 2006; ANA, 2014).

## 2.2 Levantamento e análise de dados pluviométricos

Para a caracterização climática da bacia, será realizado o levantamento das precipitações históricas da estação pluviométrica mais próxima ao local do projeto. A série histórica mínima considerada será de 20 anos, conforme recomendação da literatura técnica (ANA, 2014). Os dados pluviométricos serão obtidos por meio das bases do INMET, SIMEPAR, ANA ou outras fontes oficiais, garantindo a confiabilidade da informação.

Serão calculados os seguintes parâmetros: média mensal de precipitação, total anual de precipitação e precipitação máxima diária anual. Esses dados serão analisados estatisticamente, permitindo a avaliação da variabilidade interanual da precipitação e a identificação de tendências, caso existam. A análise estatística dos extremos será conduzida por meio da Distribuição de Gumbel, conforme descrito por Torrico (1974), utilizando as precipitações máximas anuais para a estimativa da precipitação de projeto com diferentes tempos de retorno.

## 2.3 Cálculo da precipitação de projeto

Para a estimativa das precipitações de projeto neste estudo hidrológico, foi adotada a metodologia da Probabilidade Extrema de Gumbel, com a aplicação prática conforme desenvolvida pelo engenheiro José Jaime Toborga Torrico em sua obra *Práticas Hidrológicas* (1974). Esta abordagem se baseia na observação empírica de que, ao se plotar as alturas máximas de chuva para durações de 1 hora e 24 horas em papel de probabilidade conforme Hershfield e Wilson, os alinhamentos das retas-tendência interceptam aproximadamente um mesmo ponto no eixo das abcissas. Tal característica se mostrou recorrente em diversas estações pluviográficas do Brasil, o que permitiu ao autor propor a regionalização do país em isózonas – áreas homogêneas do ponto de vista do comportamento temporal da precipitação.

A aplicação do método envolve, em sua primeira etapa, a coleta dos dados pluviométricos anuais máximos (preferencialmente com no mínimo 20 anos de dados

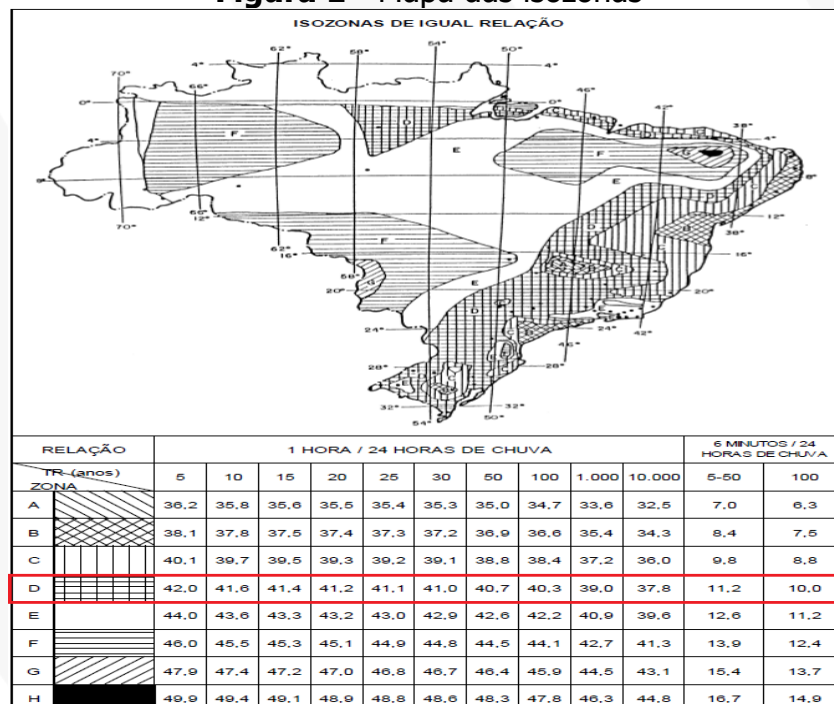


consistentes) da estação mais próxima ao local do projeto. Esses dados são então submetidos ao tratamento estatístico conforme a Distribuição de Gumbel para valores extremos, utilizando-se as maiores chuvas diárias (1 dia ou 24 horas) de cada ano. Quando necessário, ajusta-se a precipitação diária para exatamente 24 horas, aplicando o fator de correção 1,1, conforme indicado pelo autor.

Para estimativas de precipitações com durações inferiores a 24 horas (como 6 minutos ou 1 hora), recorre-se ao Método das Isozonas, também descrito por Torrico. A partir do mapa de isozonas do Brasil, identifica-se a zona correspondente ao local de estudo e aplica-se os coeficientes percentuais fornecidos para cada duração. Assim, é possível estimar, de forma simplificada, as precipitações máximas para diversos intervalos temporais, o que é essencial para o dimensionamento de estruturas de drenagem urbana.

Deste modo, a definição correta da isozona é etapa fundamental para aplicação dos coeficientes de ajuste temporal. A figura a seguir, apresenta-se o mapa de isozonas do Brasil, conforme proposto por Torrico (1974), que permite identificar a região pluviometricamente homogênea correspondente à área do estudo.

**Figura 1 - Mapa das isozonas**



Fonte: Adaptado TORRICO (1974)

Etapas do método aplicado:

- Coletar a série histórica de precipitações máximas anuais da estação mais próxima ao ponto de estudo;
- Realizar a análise estatística utilizando a Distribuição de Gumbel para calcular a chuva máxima diária (1 dia) para diferentes tempos de retorno (ex: 2, 5, 10, 25, 50, 100 anos);
- Converter o valor da chuva de 1 dia para 24 horas, multiplicando-se por 1,1;
- Determinar a isozona do local no mapa proposto por Torricco;
- Aplicar os coeficientes percentuais específicos da isozona para estimar as alturas de precipitação de 1 hora e 6 minutos;
- Plotar as alturas de precipitação de 6 min, 1 h e 24 h no papel de probabilidade de Hershfield e Wilson, traçando uma curva contínua;
- Interpolando nessa curva, obtêm-se as alturas de precipitação para qualquer duração entre 5 minutos e 24 horas, para cada tempo de retorno analisado;
- Com os dados de altura, calcula-se a intensidade de precipitação ( $i$ ) para uso no método racional ou em hidrogramas de projeto.

Esta metodologia oferece praticidade e boa aproximação quando se dispõe de dados limitados de curta duração, sendo particularmente útil em estudos de drenagem urbana preliminares ou complementares ao uso de equações IDF regionais.

## 2.4 Escolha do tempo de retorno

O tempo de retorno (ou tempo de recorrência) é um parâmetro estatístico fundamental na definição da precipitação de projeto, representando o intervalo médio esperado entre dois eventos de mesma magnitude ou superior. A sua seleção depende diretamente do tipo de estrutura a ser dimensionada, da criticidade da área protegida e da tolerância ao risco de falhas.

Para sistemas de drenagem urbana, como canais, sarjetas, bueiros e reservatórios de retenção, a escolha do tempo de retorno deve seguir diretrizes técnicas estabelecidas por normas e manuais de referência, como o Manual de

Drenagem Urbana do IPH/UFRGS (2009), o DNIT 135/2010-ES, bem como os parâmetros definidos no Plano Diretor de Drenagem do município, quando existente.

A tabela a seguir apresenta os valores de tempo de retorno comumente adotados para diferentes tipos de estruturas e áreas de influência:

**Tabela 1** - Valores indicativos de tempo de retorno conforme tipo de estrutura

<b>Tipo de Estrutura</b>	<b>Tempo de Retorno (anos)</b>
Sarjetas, bocas de lobo e microdrenagem local	2 a 5
Canais urbanos e galerias principais	10 a 25
Bacias de detenção e reservatórios de controle	25 a 50
Áreas críticas com proteção a edificações ou equipamentos sensíveis	$\geq 50$
Estruturas em áreas com risco à vida humana	$\geq 100$

Fonte: Adaptado de DNIT (2010)

## 2.5 Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento, ou runoff, (C) é um parâmetro empírico que expressa a relação entre o volume de chuva que escoar pela superfície e o volume total precipitado. Seus valores são adimensionais, variando de 0 (toda a chuva se infiltra) a 1 (toda a chuva escoar). Ele é influenciado por diversos fatores, como o tipo e a cobertura do solo, a declividade da bacia, o uso do solo e a densidade da urbanização (PORTO, 2006).

Para bacias heterogêneas, que possuem diferentes tipos de superfícies (como telhados, ruas e gramados), o coeficiente C deve representar a média das condições da bacia. A metodologia mais comum para essa determinação é o cálculo do coeficiente ponderado, obtido pela média dos coeficientes de cada superfície, ponderada por sua

respectiva área de contribuição (VILLELA; MATTOS, 1975). A equação para o cálculo do C ponderado é:

$$C_{ponderado} = \sum_{n=1}^N \frac{(C_n \cdot A_n)}{A_{total}}$$

Os valores de C para cada tipo de superfície são obtidos em tabelas consolidadas na literatura técnica, como a apresentada na tabela abaixo.

**Tabela 2** - Valores de referência para o Coeficiente de Escoamento (C)

Tipo de Superfície / Característica da Área	Coeficiente de Escoamento (C)
<b>Superfícies Impermeáveis</b>	
Coberturas e telhados	0,75 – 0,95
Ruas e avenidas de asfalto	0,70 – 0,95
Calçadas de concreto	0,70 – 0,85
<b>Zonas Urbanas (Caracterização Geral)</b>	
Áreas comerciais e industriais (alta densidade)	0,70 – 0,95
Bairros residenciais (densidade média, 30-50% de área impermeável)	0,50 – 0,70
Zonas residenciais com grandes lotes (baixa densidade)	0,30 – 0,50
<b>Superfícies Permeáveis</b>	
Gramados, parques e jardins (declividade < 2%)	0,05 – 0,10
Gramados, parques e jardins (declividade > 2%)	0,10 – 0,20
Áreas não desenvolvidas, sem vegetação	0,20 – 0,40

Fonte: Compilado de Tucci (2007), Porto (2006) e Manuais do DAEE.

## 2.6 Coeficiente de rugosidade de manning

O valor de n representa o efeito combinado da vegetação, da irregularidade do material e de outras obstruções ao fluxo. Conforme destacado por Chow, Maidment e Mays (1988), valores mais altos de n (como em um gramado denso) indicam maior atrito, resultando em menores velocidades de escoamento e, conseqüentemente, em um maior tempo de concentração. Inversamente, valores baixos de n (como em uma

galeria de concreto lisa) representam pouca resistência, velocidades mais altas e um menor tempo de concentração.

A escolha de um valor adequado de  $n$  é, portanto, um passo crucial para a precisão do cálculo do tempo de concentração. O quadro a seguir apresenta valores de referência do coeficiente de Manning para diversas superfícies e materiais comumente encontrados em estudos de drenagem urbana.

**Quadro 1** – Valores de referência para o Coeficiente de Rugosidade de Manning ( $n$ )

Tipo de Superfície ou Canal	Coeficiente de Rugosidade ( $n$ )
Escoamento Superficial (Percurso $t_e$ )	
Pavimento asfáltico liso	0,013 – 0,016
Concreto liso	0,011 – 0,013
Sarjeta de concreto	0,012 – 0,015
Solo nu e compacto	0,020 – 0,030
Gramma rala	0,15 – 0,25
Gramma densa	0,25 – 0,40
Canais e Galerias (Percurso $t_c$ )	
Galerias de concreto com bom acabamento	0,011 – 0,013
Galerias de concreto com acabamento regular	0,013 – 0,015
Tubos de PVC	0,009 – 0,011
Tubo de aço corrugado	0,021 – 0,025
Canal de terra retilíneo e limpo	0,020 – 0,025
Canal de concreto não revestido	0,016 – 0,020
Canal natural com vegetação leve	0,035 – 0,045
Canal natural com vegetação significativa	0,040 – 0,050

Fonte: Compilado de Chow, Maidment e Mays (1988), Porto (2006)

## 2.7 Cálculo do tempo de concentração

O Tempo de Concentração ( $T_c$ ) é um dos parâmetros mais influentes no cálculo da vazão de pico, pois ele define a duração da chuva de projeto. De forma precisa, ele representa o tempo que a água leva para se deslocar do ponto hidráulicamente mais distante da bacia hidrográfica até o seu exutório (ponto de saída).

Conforme destaca Tucci (2007), para bacias urbanas, que são heterogêneas por natureza, a aplicação de uma única fórmula empírica para todo o percurso pode levar a imprecisões significativas. A abordagem tecnicamente mais recomendada e realista é a composta, que divide o trajeto da água em duas fases distintas e as soma:

$$T_c = t_e + t_c$$

$t_e$  é o tempo de percurso superficial, correspondente ao escoamento sobre telhados, gramados e pavimentos até alcançar um sistema de drenagem definido (sarjeta ou galeria).

$t_c$  é o tempo de percurso em canal, correspondente ao escoamento já concentrado dentro das sarjetas, canais ou galerias pluviais.

A escolha do método de cálculo para cada trecho deve ser criteriosa e baseada na física do escoamento que ele representa.

As metodologias propostas por manuais de referência, como os do DNIT (2006), geralmente se alinham com a abordagem composta. Eles recomendam o uso da Equação de Manning para o cálculo do tempo de percurso em canais, bueiros e galerias, e fornecem orientações para o cálculo do tempo de percurso superficial que consideram as características do pavimento e dos taludes, sendo, portanto, mais adequadas para projetos de infraestrutura.

## 2.8 Cálculo da vazão de projeto

A estimativa da vazão de pico (Q) é etapa central no dimensionamento de sistemas de macrodrenagem urbana, sendo fortemente influenciada pelas características físicas da bacia, especialmente sua área, tempo de concentração, cobertura do solo e grau de urbanização. Para o cálculo da vazão de projeto, diversos métodos podem ser empregados, cuja escolha deve estar fundamentada na área da bacia contribuinte, finalidade do projeto e nível de detalhamento exigido. A seguir, são descritos os métodos aplicáveis, suas características e critérios de adoção, conforme orientações do Manual de Drenagem Urbana do IPH/UFRGS (2009) e do Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2010).

### 2.8.1 Método racional

O método racional é o mais tradicional em projetos de drenagem urbana para bacias de pequena dimensão. É recomendado para bacias com área de até 200 hectares (2,0 km<sup>2</sup>) e fornece uma estimativa da vazão de pico instantânea, sem considerar a variação temporal do hidrograma (IPH/UFRGS, 2009).

A fórmula geral do método é:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Onde:

- Q = vazão de pico (m<sup>3</sup>/s)
- C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional), obtido com base no uso e ocupação do solo
- i = intensidade da precipitação (mm/h), referente ao tempo de concentração e tempo de retorno adotado
- A = área da bacia (km<sup>2</sup>)

Esse método é recomendado quando se deseja uma abordagem simples e direta para o dimensionamento de canais, condutos ou bocas de lobo em microdrenagem urbana.

### 2.8.2 Método racional com coeficiente de retardo

Em áreas onde a capacidade de infiltração, rugosidade, presença de obstáculos ou intervenções de controle influenciam significativamente o comportamento do escoamento, é recomendada a aplicação de um coeficiente de retardo ( $k$ ) ao método racional, ajustando a vazão estimada. Esse coeficiente reduz a vazão de pico de forma empírica, simulando o efeito de retardamento no tempo de escoamento gerado por elementos como pavimentos permeáveis, bacias de retenção ou topografia suavizada (DNIT, 2010).

A equação ajustada se torna:

$$Q = C \cdot i \cdot A \cdot k$$

Onde  $k < 1$ , representando a capacidade de retardamento do sistema.

Este método é indicado quando se busca modelagem simplificada em áreas com elementos de controle difuso, mas sem a necessidade de gerar o hidrograma completo.

### 2.8.3 Método do hidrograma unitário triangular

Para bacias urbanas com áreas superiores a 400 ha (4,0 km<sup>2</sup>) ou em situações em que seja necessário calcular o volume de escoamento e a forma do hidrograma de cheia, recomenda-se a adoção do método do hidrograma unitário triangular, conforme preconizado pelo Soil Conservation Service – SCS (SCS-USDA, 1972) e amplamente difundido na literatura técnica brasileira (TUCCI, 2006).

Este método permite construir o hidrograma a partir da precipitação efetiva (calculada pelo método CN), tempo de concentração e área da bacia, sendo útil para:

- Dimensionamento de bacias de detenção;



- Avaliação do efeito de intervenções no controle do pico de vazão;
- Análise de cenários de escoamento urbano mais complexos.

A vazão de pico do hidrograma unitário é calculada por:

$$Q_p = (2,08 \cdot A) / T_p$$

Onde:

- $Q_p$  = vazão de pico ( $m^3/s$ )
- $A$  = área da bacia ( $km^2$ )
- $T_p$  = tempo de máxima vazão, contado do início da precipitação (em h)

Esse método fornece maior detalhamento, sendo aplicável quando há exigência de simulação hidrológica completa, ou quando o projeto envolve armazenamento e controle de volumes.

#### 2.8.4 Escolha do método

A escolha entre os métodos será feita com base na área da bacia e no objetivo do dimensionamento e a área da bacia, conforme síntese a seguir:

**Tabela 3** - Critérios de seleção do método de cálculo da vazão de projeto

<b>Método</b>	<b>Área recomendada</b>	<b>Aplicação típica</b>
Racional	até 200 ha	Canais, galerias, microdrenagem
Racional com coeficiente de retardo	até 200 ha (com controle)	Drenagem urbana com controle difuso
Hidrograma unitário triangular	acima de 400 ha	Bacias de detenção, simulação de volumes

Fonte: Adaptado de DNIT (2010)

## 2.9 Dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem

Com base na vazão de projeto estimada, serão dimensionadas as estruturas hidráulicas necessárias à condução e ao controle do escoamento superficial no trecho em estudo. O dimensionamento contempla três componentes principais: o canal a ser implantado no parque urbano, a bacia de retenção associada ao lago existente e os dispositivos de descarga situados a jusante.

### 2.9.1 Bueiros à jusante

Os bueiros serão verificados para conduzir a vazão excedente à jusante do sistema, sem provocar extravasamento ou subpressão no ponto de descarga. A análise considerará os regimes de escoamento livre e submerso, conforme as condições de entrada e carga hidráulica. O dimensionamento será feito pela Equação de Manning para condutos circulares em escoamento livre, demonstrada anteriormente:

$$Q = A \cdot V = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

- $Q$  = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $n$  = coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)
- $A$  = área da seção molhada ( $\text{m}^2$ )
- $R$  = raio hidráulico ( $A/P$ ) (m)
- $S$  = declividade da linha de energia (adimensional)
- $P$  = perímetro molhado (m)

### 2.9.2 Dimensionamento do canal de condução

O canal projetado terá a função de escoar a vazão de pico do trecho urbano central, transportando os volumes concentrados de água até o ponto de extravasamento controlado. O dimensionamento hidráulico será realizado com base na equação de Manning, assumindo regime de escoamento permanente uniforme:

$$Q = A \cdot V = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

- Q = vazão (m³/s)
- n = coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)
- A = área da seção molhada (m²)
- R = raio hidráulico (A/P) (m)
- S = declividade da linha de energia (adimensional)
- P = perímetro molhado (m)

A seção do canal poderá ser trapezoidal ou retangular, em solo compactado, grama ou revestimento rígido, conforme viabilidade técnica e geométrica. Serão verificadas as velocidades máximas admissíveis para evitar erosão, bem como as profundidades críticas e normais de escoamento (TUCCI, 2006; DNIT, 2010).

### 2.9.3 Bacia de retenção

As bacias de retenção são estruturas de engenharia projetadas para o controle de escoamento superficial em áreas urbanas. Diferentemente das bacias de *retenção* (que mantêm um volume de água permanente), as bacias de *detenção* são projetadas para ficarem secas na maior parte do tempo, atuando apenas durante e logo após os eventos de chuva.

Conforme ilustra Tucci (2007), este mecanismo de funcionamento altera o hidrograma de cheia: a bacia recebe um hidrograma de entrada, com um pico de vazão elevado e de curta duração, e o transforma em um hidrograma de saída, com um pico

de vazão significativamente menor e estendido por um período mais longo. Esta atenuação protege a rede de drenagem a jusante contra sobrecargas, minimiza processos erosivos e, fundamentalmente, reduz os riscos de inundação.

O parâmetro chave no projeto de uma bacia de detenção é o seu volume de armazenamento. Existem diversos métodos, com diferentes graus de complexidade, para estimar ou pré-dimensionar este volume na fase inicial do projeto. Dentre eles, destacam-se:

- **Método racional:** Trata-se de um método simples e de fácil aplicação, em comparação com os demais disponíveis. Sua fórmula leva em consideração o conceito de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

$$V = 0,5 \cdot (Q_{pós} - Q_{pré}) \cdot T_b$$

Onde

V é o volume de acumulação (m<sup>3</sup>);

Q<sub>pós</sub> é a vazão de pico no pós desenvolvimento (m<sup>3</sup>/s);

Q<sub>pré</sub> é a vazão de pico no prédesenvolvimento (m<sup>3</sup>/s);

t<sub>b</sub> é o tempo de base

- **Método do DEP-POA (Porto Alegre):** O antigo Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre (DEP) desenvolveu uma metodologia prática e simplificada para o pré-dimensionamento de reservatórios. Nesse método, a estimativa é feita em função da área total da bacia de contribuição ou em função da área da área impermeável da bacia contribuinte, conforme abaixo.

$$V = 0,02 \cdot A$$

$$V = 0,04 \cdot A_i$$

Ainda, posteriormente, foram estabelecidos critérios para o cálculo do volume de amortecimento e vazão máxima de saída para lotes com áreas inferiores a 100 ha. O volume é calculado pela equação abaixo.

$$V = 0,0425 \cdot A_i$$

Onde

V é o volume a ser armazenado (m<sup>3</sup>);

A é a área da bacia contribuinte (m<sup>2</sup>)

Ai é a área impermeável da bacia contribuinte (m<sup>2</sup>).

Após os cálculos dos três volumes, o menor volume encontrado pode ser adotado.

- **Método de Baker (1979):** O método proposto por Baker também é uma abordagem simplificada que visa estimar o volume máximo de armazenamento. Ele se baseia na relação entre os hidrogramas de entrada e saída, assumindo formas simplificadas para ambos (geralmente triangulares). O método calcula o tempo em que o armazenamento é máximo e, a partir daí, determina o volume necessário em função das vazões de pico de entrada e saída e do tempo de base do hidrograma de entrada.

$$V = V_{pós} \cdot \left( 1 - \frac{Q_{pré}}{Q_{pós}} \right)$$

Onde

V é o volume de detenção (m<sup>3</sup>);

V<sub>pós</sub> é o volume do escoamento no pós-desenvolvimento (m<sup>3</sup>);

Q<sub>pós</sub> é a vazão de pico no pós-desenvolvimento (m<sup>3</sup>/s)

Q<sub>pré</sub> é a vazão de pico no pré-desenvolvimento (m<sup>3</sup>/s).

## 3 METODOLOGIA



A presente seção descreve, de forma detalhada, os procedimentos metodológicos adotados na realização do estudo hidrológico aplicado ao município de Três Barras do Paraná, com ênfase na estimativa da vazão de projeto para fins de dimensionamento de estruturas de microdrenagem urbana. A metodologia foi delineada de modo a garantir a reprodutibilidade do estudo por outros profissionais da área, respeitando os critérios técnicos, normativos e científicos consolidados.

### 3.1 Delimitação e caracterização da bacia hidrográfica

A delimitação da bacia hidrográfica é a etapa que define a área geográfica específica que contribui com todo o escoamento superficial para um único ponto de saída, denominado exutório. Para este estudo, o exutório é o ponto exato onde se planeja implantar a bacia de retenção. A correta definição desta área de drenagem é fundamental, pois ela determina o volume de chuva que será convertido em escoamento e que deverá ser gerenciado pela estrutura projetada (TUCCI, 2007).

#### 3.1.1 Dados e ferramentas

Para a delimitação, foram utilizados um Modelo Digital de Elevação (MDE) e um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

- **Fonte de Dados:** Foi utilizado o Modelo Digital de Elevação proveniente do projeto TOPODATA, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que possui uma resolução espacial de 30 metros. Este MDE oferece uma representação detalhada do relevo da região de Francisco Beltrão e seu entorno.

- **Software:** Todo o geoprocessamento foi realizado no software de código aberto QGIS (Versão 3.34 'Prizren'), utilizando-se as ferramentas nativas de análise hidrológica.

### 3.1.2 Procedimentos metodológicos

A delimitação da bacia foi executada de forma semiautomática, seguindo as etapas padronizadas para análise hidrológica em ambiente SIG:

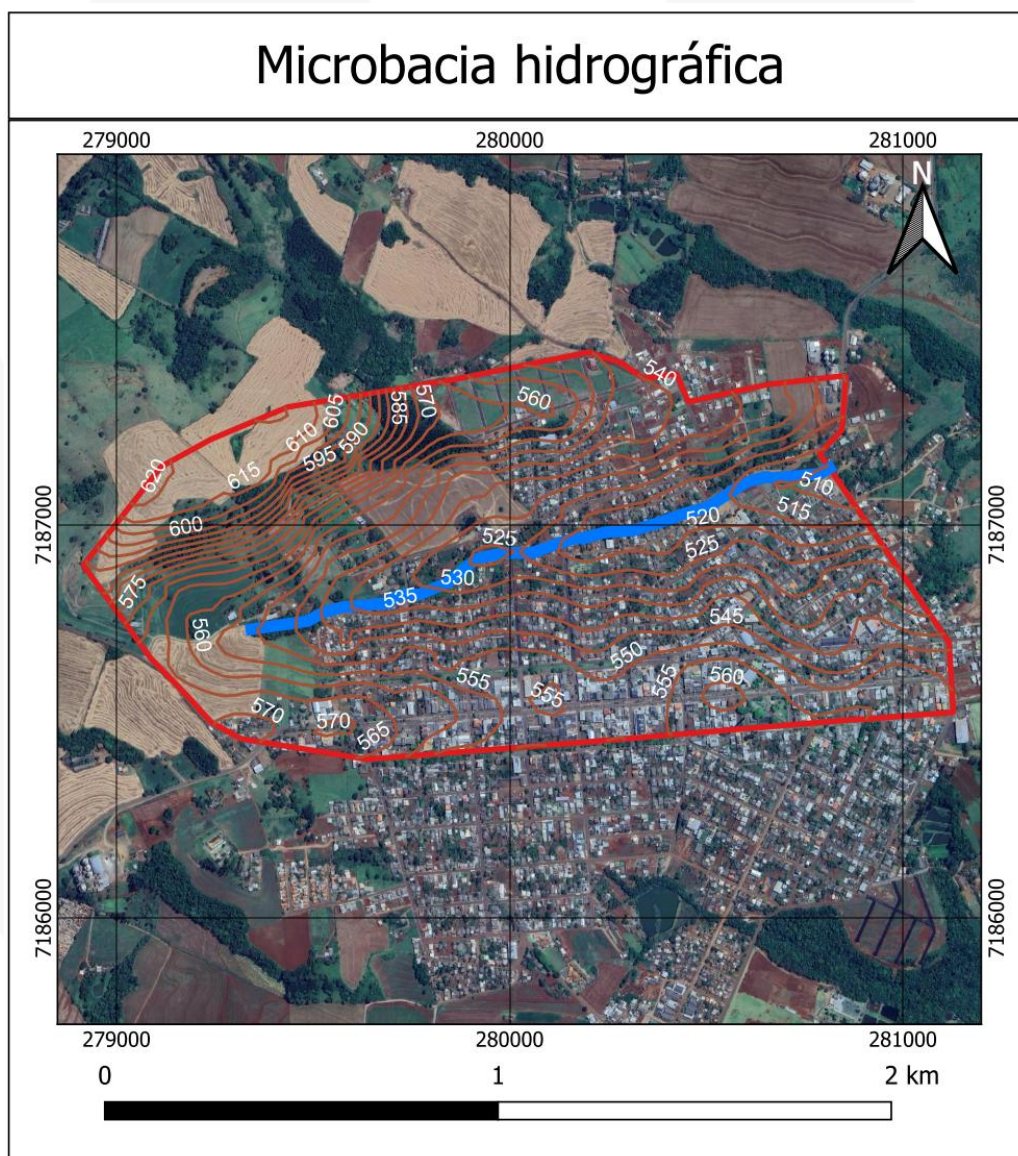
1. **Pré-processamento do MDE:** Realizou-se a correção do MDE original para a eliminação de depressões espúrias (conhecidas como *sinks*), que poderiam gerar discontinuidades no fluxo. Este passo garante que a rede de drenagem seja traçada de forma contínua.
2. **Direção de fluxo:** A partir do MDE corrigido, foi calculada a direção de fluxo para cada célula do modelo, determinando o caminho que a água seguiria sobre a superfície.
3. **Fluxo acumulado:** Com base na direção de fluxo, foi gerado um mapa de fluxo acumulado, que totaliza o número de células que drenam para cada ponto, realçando a localização dos canais fluviais e da rede de drenagem.
4. **Definição do exutório:** O ponto de interesse (local da futura bacia de retenção) foi precisamente posicionado sobre uma célula de alto fluxo acumulado no mapa, garantindo sua localização sobre o talvegue principal.
5. **Delimitação da bacia:** Utilizando o mapa de direção de fluxo e o exutório definido, a ferramenta do QGIS traçou automaticamente os limites da bacia hidrográfica contribuinte, identificando todas as células do MDE que drenam para o ponto de interesse.
6. **Tratamento dos resultados:** Após a finalização da análise em ambiente SIG, os dados vetoriais foram exportados em formato SHP para o Google Earth PRO. O objetivo desta fase foi a realização de uma edição geométrica para refinar a acurácia posicional das feições, corrigindo os deslocamentos planimétricos que são inerentes à resolução da matriz de pixels do Modelo Digital de Elevação (MDE) de origem.



### 3.1.3 Resultados da delimitação

A delimitação da bacia hidrográfica permitiu a extração de parâmetros morfométricos fundamentais para este estudo, sintetizados na tabela abaixo. Estes parâmetros, incluindo a área de drenagem, o comprimento e o desnível do talvegue principal, foram calculados com base na área de contribuição ilustrada na figura a seguir e Apêndice A. A figura apresenta a representação cartográfica final da bacia, com sua rede de drenagem e exutório, fornecendo o suporte geográfico para os valores calculados.

**Figura 2** – Delimitação da Bacia Hidrográfica contribuinte ao ponto de estudo



Fonte: Autor (2025)



**Tabela 4** - Parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica

Parâmetro	Valor	Unidade
Área de drenagem	1,687	Km <sup>2</sup>
Perímetro	5,584	km
Comprimento do talvegue	1,562	km
Declividade média	0,0275	m/m

Fonte: Autor (2025)

## 3.2 Coleta de dados pluviométricos

A caracterização do regime de chuvas, etapa essencial para o dimensionamento de obras hidráulicas, foi realizada a partir de dados secundários de uma estação pluviométrica representativa da região. A obtenção e seleção destes dados são detalhadas a seguir.

### 3.2.1 Dados e ferramentas

**Fonte de dados:** A série histórica de precipitação foi extraída do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (Hidroweb), a plataforma oficial de dados hidrometeorológicos mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

**Ferramentas:** A consulta, visualização e extração dos dados foram realizadas diretamente no portal online do Hidroweb. O tratamento inicial e a tabulação dos dados foram feitos utilizando o software Microsoft Excel.

### 3.2.2 Procedimentos metodológicos

O processo para obter uma série de dados confiável e representativa para o ponto de estudo em Três Barras do Paraná - PR, seguiu as seguintes etapas:

1. **Levantamento de estações:** Foi realizada uma busca espacial no portal Hidroweb para identificar todas as estações pluviométricas operantes em um raio de 50 km do exutório da bacia hidrográfica.
2. **Análise de consistência:** As estações candidatas foram avaliadas quanto à duração do período de observação e à porcentagem de falhas (dados faltantes) em suas séries históricas.
3. **Seleção da estação:** Com base na análise, a estação que apresentou a série histórica mais longa e consistente foi selecionada para representar o regime pluviométrico local.
4. **Extração dos dados:** Foram extraídos os dados brutos de precipitação diária da estação selecionada para todo o seu período de operação disponível na plataforma.

### 3.2.3 Resultados da coleta

A estação pluviométrica selecionada para este estudo foi a de TRÊS BARRAS DO PARANÁ, código 2.553.030, operada pelo IAT-PR. Esta estação possui uma série histórica de dados compreendendo o período de 1976 a 2024, totalizando 48 anos de observação.

A tabela abaixo consolida as informações da estação de referência, que servirá de base para as análises de frequência e para a determinação da chuva de projeto nas seções subsequentes.

**Tabela 5** - Dados da estação

Código	2.553.030
Nome	TRÊS BARRAS DO PARANÁ
Município	Três Barras do Paraná
Bacia	Rio Paraná
Sub-bacia	Rios Paraná, Iguaçu e outros
Estado	Paraná
Responsável / Operadora	IAT – PR
Latitude	-25.421
Longitude	-53.179

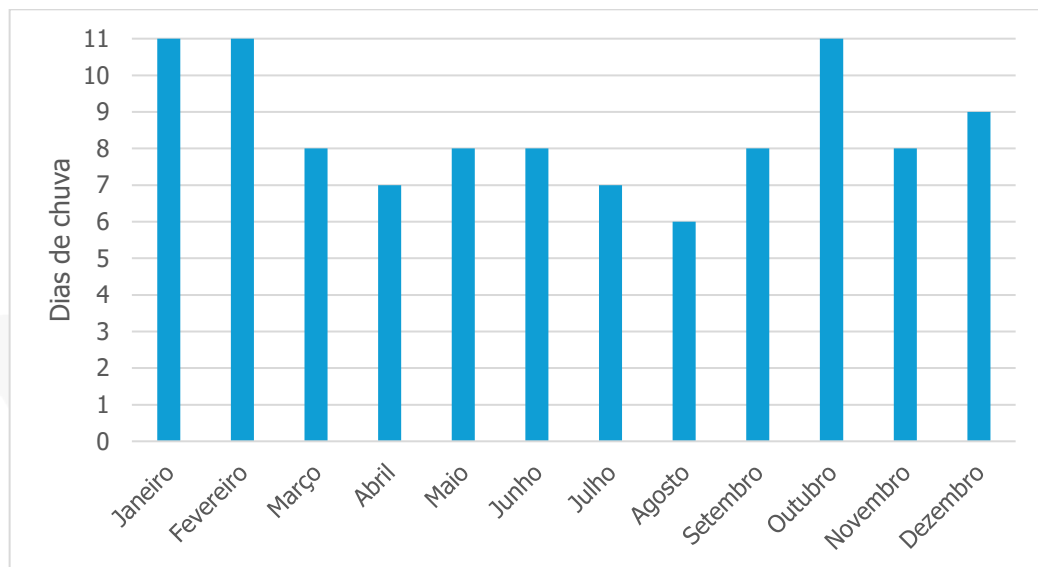
Fonte: Autor (2025)

#### *3.2.3.1 Caracterização pluviométrica da bacia*

A análise da frequência e da distribuição temporal das chuvas constitui uma etapa fundamental para a caracterização do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2007). Para visualizar este comportamento na região de estudo, foram elaborados histogramas a partir da série histórica de dados da estação pluviométrica de Três Barras do Paraná.

O gráfico logo abaixo apresenta a média mensal de dias com registro de chuva. Este gráfico permite identificar os períodos do ano com maior e menor frequência de eventos de precipitação, sendo uma informação valiosa para a análise de sazonalidade e para o planejamento de atividades que dependem das condições climáticas.

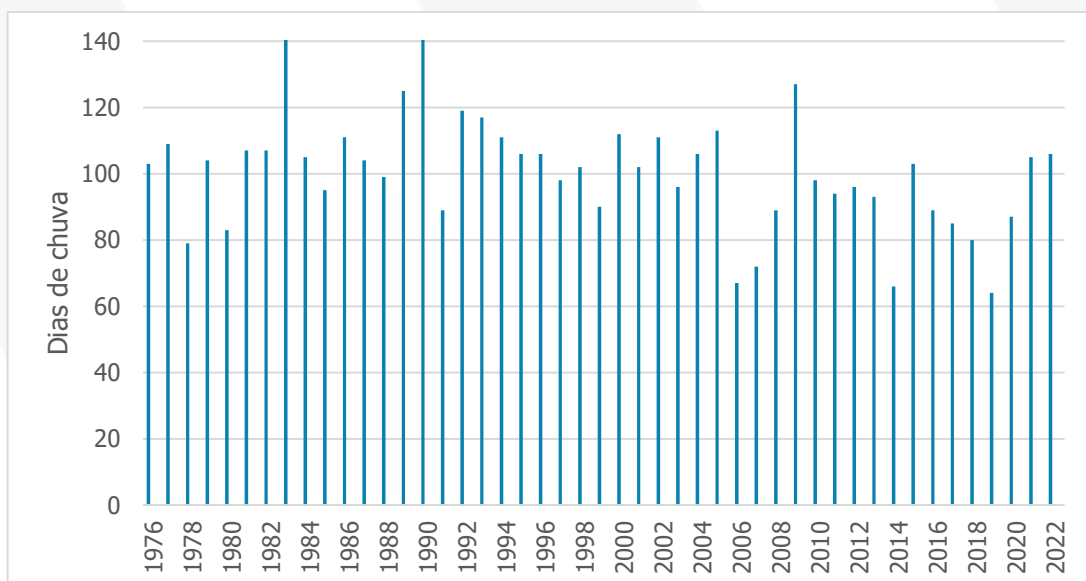
**Gráfico 1** - Média de dias de chuva mensal



Fonte: Autor (2025)

Complementarmente, o próximo gráfico ilustra a quantidade total de dias de chuva para cada ano da série histórica analisada. Conforme destaca a literatura especializada, a avaliação da variabilidade interanual é de suma importância para a determinação dos riscos associados a eventos extremos, que devem ser considerados no dimensionamento de obras hidráulicas (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

**Gráfico 2** - Dias de chuva anual



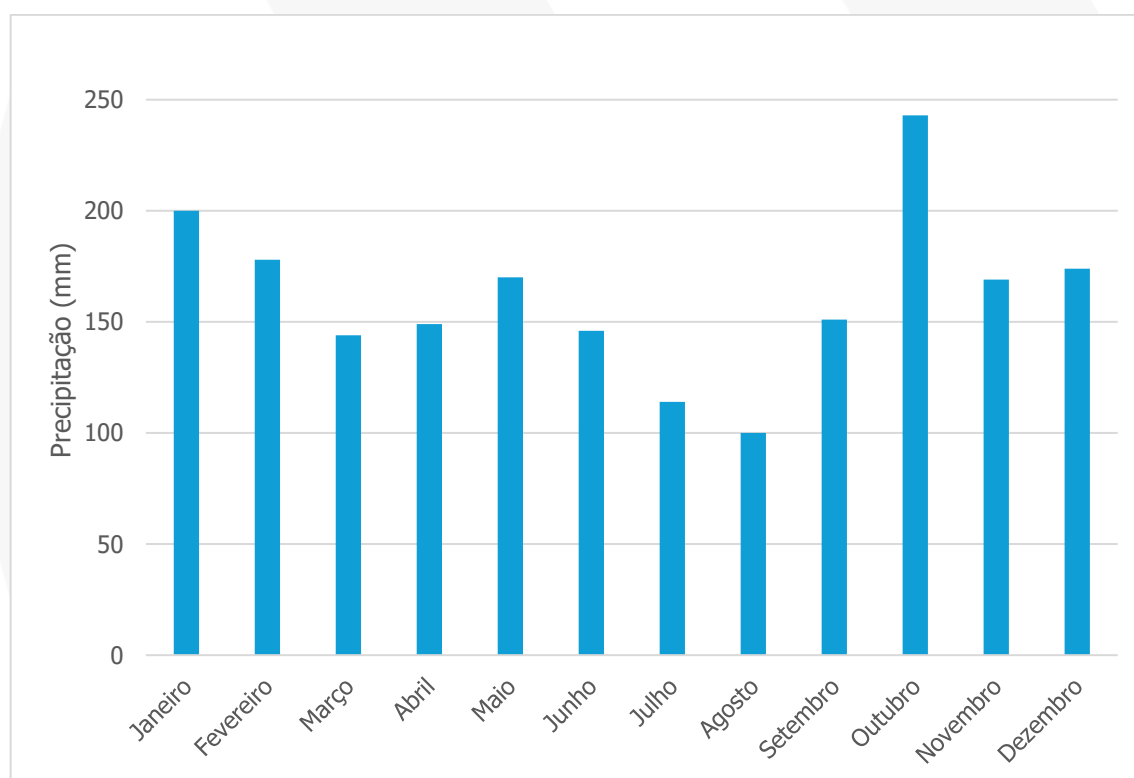
Fonte: Autor (2025)

### 3.2.3.2 Análise estatística das precipitações observadas

Enquanto a análise anterior focou na frequência dos dias de chuva, esta seção se aprofunda na quantificação dos volumes pluviométricos. A determinação do volume precipitado é a base para a estimativa do escoamento superficial e para o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica (VILLELA; MATTOS, 1975). A seguir, são apresentados os histogramas que caracterizam o regime de precipitação da área de estudo.

O gráfico a seguir exibe a precipitação média mensal, calculada a partir da série histórica da estação de referência. Esta análise evidencia a distribuição sazonal do volume de chuva ao longo do ano, permitindo identificar os meses críticos que concentram o maior aporte de água para o sistema.

**Gráfico 3** - Médias mensais de precipitação

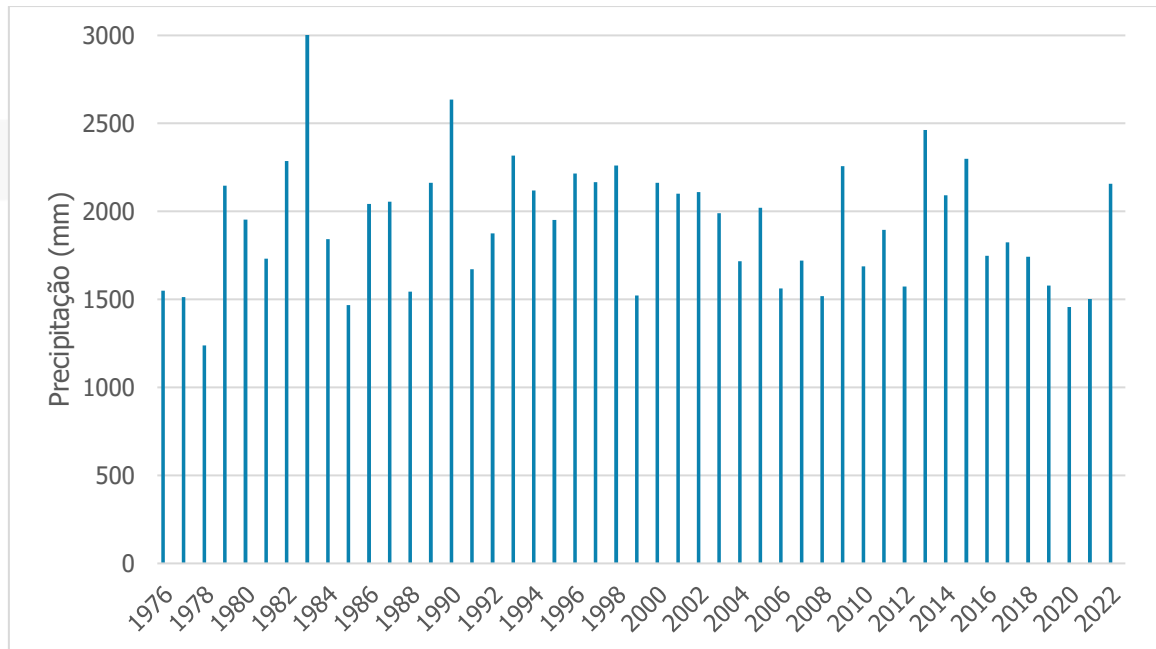


Fonte: Autor (2025)

A variabilidade do volume total de chuva entre os anos é apresentada no Gráfico 4. Este gráfico do total anual de precipitação é essencial para identificar a ocorrência

de ciclos, tendências de longo prazo e a ocorrência de anos atipicamente secos ou chuvosos, que impactam diretamente a magnitude das vazões a serem gerenciadas.

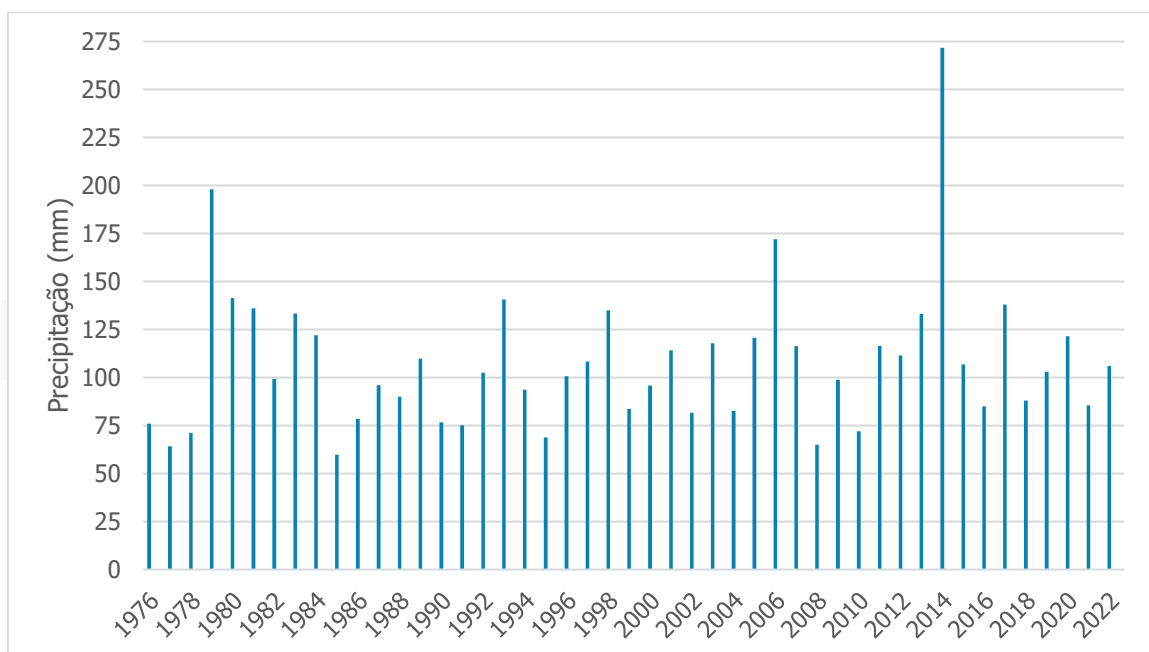
**Gráfico 4** - Total anual de precipitação



Fonte: Autor (2025)

De importância singular para o objetivo deste estudo, o Gráfico 5 detalha a precipitação máxima diária ( $P_{max24h}$ ) registrada para cada ano. Eventos de precipitação extrema em um curto intervalo de tempo são os principais responsáveis pela geração de picos de vazão e, portanto, constituem a variável de entrada fundamental para o dimensionamento de estruturas de controle de cheias, como a bacia de retenção em questão (TUCCI, 2007).

**Gráfico 5 – Precipitação máxima diária**



Fonte: Autor (2025)

Ao examinar a distribuição dos máximos anuais, um evento singular se sobressai como o valor máximo absoluto de toda a série histórica: **a precipitação de 271,8 mm**, ocorrida no ano de 2014. Este registro excepcional é um indicador crítico do potencial de geração de cheias na bacia hidrográfica. Eventos desta ordem de grandeza são frequentemente associados a longos tempos de retorno e são os principais responsáveis por gerar as vazões de pico que definem o dimensionamento de obras de drenagem, servindo como parâmetro crucial para o projeto da bacia de retenção.

### 3.3 Cálculo da precipitação de projeto

A precipitação de projeto, ou chuva de projeto, não é um evento histórico observado, mas sim uma magnitude de chuva associada a uma determinada probabilidade de ocorrência (ou tempo de retorno). Seu cálculo é a etapa que transforma a série de dados históricos em valores estatísticos de projeto, essenciais para o dimensionamento de obras hidráulicas seguras.

Para este estudo, a determinação da chuva de projeto foi realizada em duas etapas principais: (1) o ajuste da série de precipitações máximas anuais à distribuição de probabilidades de Gumbel para determinar a chuva de 24 horas; e (2) a utilização de parâmetros regionalizados baseados no estudo de Isozonas de Torrico (1976) para estabelecer a relação Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

### 3.3.1 Dados e ferramentas

- **Fonte de dados:** Foi utilizada a série de precipitações máximas diárias anuais ( $P_{max24h}$ ) da estação TRÊS BARRAS DO PARANÁ, obtida conforme descrito na seção 3.2.
- **Ferramentas:** Os cálculos da distribuição de Gumbel foram realizados com o auxílio do software Microsoft Excel. A localização do projeto nas isozonas foi realizada com base em análise visual.
- **Referência metodológica:** O estudo "Chuvas Intensas no Estado do Paraná" (TORRICO, 1976), que define parâmetros para a equação de chuvas intensas em diferentes zonas do estado.

### 3.3.2 Procedimentos metodológicos

1. **Ajuste pela distribuição de Gumbel:** A série de dados de  $P_{max24h}$  foi ajustada à distribuição de probabilidade de valores extremos de Gumbel. Este método permite estimar a magnitude da precipitação para diferentes Tempos de Retorno (TR), que representam o tempo médio, em anos, para que um evento de determinada intensidade seja igualado ou superado. Foram calculadas as precipitações de 24 horas para os TRs de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, comumente utilizados em projetos de drenagem urbana.
2. **Construção da equação IDF:** Para determinar a intensidade da chuva para durações inferiores a 24 horas (essenciais para o cálculo de vazão de pico em



bacias pequenas), utilizou-se a metodologia de regionalização de Torrico (1976). O procedimento consistiu em:

- Localizar a área do projeto no mapa de isozonas do Paraná para obter os parâmetros K, a, b e c da equação de chuvas intensas.
- Substituir os parâmetros na equação geral de IDF, estabelecendo assim a fórmula específica para o local de estudo.

### 3.3.3 Resultados do cálculo

A aplicação da metodologia descrita anteriormente, combinando a distribuição de Gumbel com os parâmetros regionalizados de Torrico (1976), permitiu a quantificação da precipitação de projeto para a área de estudo. A tabela abaixo apresenta os valores da precipitação total acumulada até a duração de 24 horas, associados aos principais tempos de retorno utilizados em engenharia. Subsequentemente, utilizando a equação IDF local, estes totais foram desdobrados nas intensidades de chuva (mm/h) para durações mais curtas, que são detalhadas na Tabela 6 e servem como entrada direta para a modelagem hidrológica.

**Tabela 6** - Dados da estação

TR (Anos)	Precipitação (mm)								
	6 min	15 min	30 min	1h	2h	4h	6h	12h	24h
<b>2</b>	11,18	20,12	32,42	45,94	61,48	78,25	87,79	100,60	111,78
<b>5</b>	15,67	28,20	45,44	64,40	86,18	109,68	122,22	141,02	156,69
<b>10</b>	18,09	32,55	52,45	74,33	99,47	126,59	141,06	162,76	180,85
<b>25</b>	21,14	38,06	61,31	86,90	116,29	148,00	164,92	190,29	211,43
<b>50</b>	23,09	41,56	66,96	94,90	127,00	161,63	180,10	207,81	230,90
<b>100</b>	24,77	44,58	71,82	101,78	136,21	173,35	193,17	222,89	247,65

Fonte: Autor (2025)

**Tabela 7** - Dados da estação

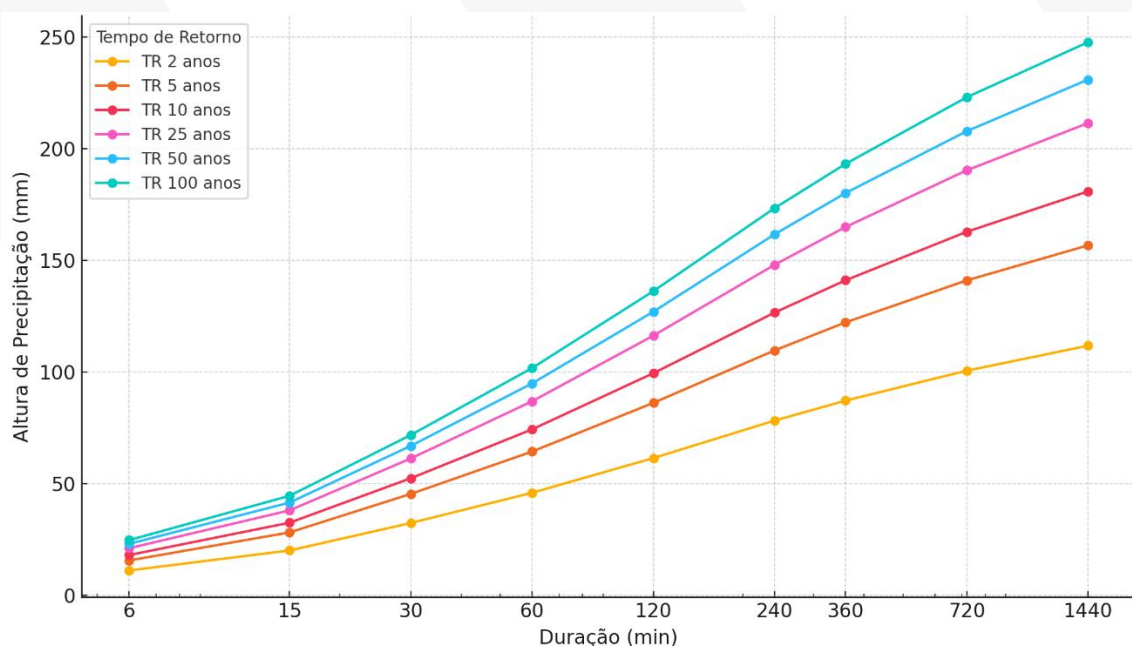
TR (Anos)	Intensidade (mm/h)								
	6 min	15 min	30 min	1h	2h	4h	6h	12h	24h
2	111,80	80,48	64,84	45,94	30,74	19,56	14,53	8,38	4,66
5	156,70	112,80	90,88	64,40	43,09	27,42	20,37	11,75	6,53
10	180,90	130,20	104,90	74,33	49,73	31,65	23,51	13,56	7,54
25	211,40	152,24	122,62	86,90	58,15	37,00	27,49	15,86	8,81
50	230,90	166,24	133,92	94,90	63,50	40,41	30,02	17,32	9,62
100	247,70	178,32	143,64	101,78	68,11	43,34	32,20	18,57	10,32

Fonte: Autor (2025)

#### 3.3.3.1 Curvas de projeto

Para a visualização e aplicação prática dos resultados, os dados da precipitação de projeto foram utilizados para construir as curvas Precipitação-Duração-Frequência (PDF), apresentadas na figura abaixo. Este gráfico sintetiza a análise e fornece a lâmina de chuva (mm) para durações que variam de 6 a 1440 minutos, servindo como uma ferramenta de consulta direta para a definição do evento de projeto.

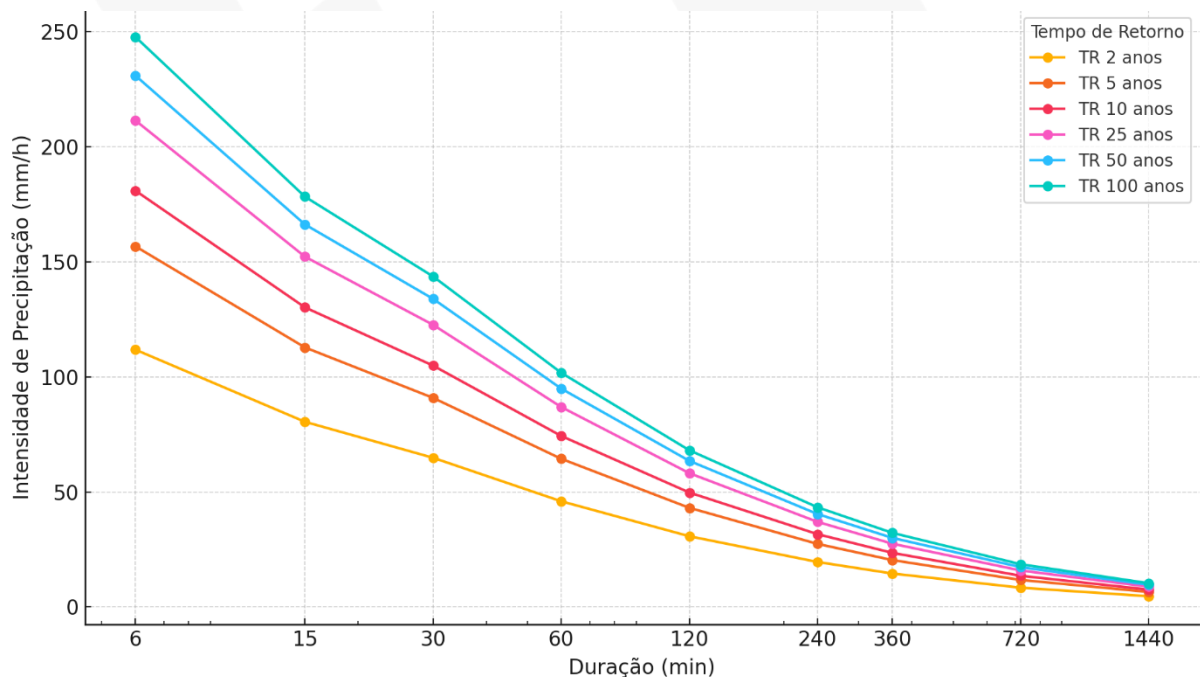
**Figura 3** - Gráfico PDF



Fonte: Autor (2025)

Derivado diretamente das curvas de Precipitação-Duração-Frequência (PDF), o gráfico da figura a seguir representa a mesma informação, porém sob a ótica da intensidade da chuva, calculada pela divisão da altura de precipitação (mm) pela duração (h). As curvas IDF são uma ferramenta clássica da hidrologia e são essenciais para a aplicação de métodos como o Racional, onde a intensidade da chuva ( $i$ ) é um parâmetro de entrada fundamental.

**Figura 4 - Gráfico IDF**



Fonte: Autor (2025)

A representação matemática explícita das curvas IDF é apresentada na tabela abaixo. Cada equação foi derivada da equação geral de chuvas intensas (apresentada na Metodologia), fixando-se o valor do Tempo de Retorno (TR) e simplificando-se os termos constantes. O resultado é um conjunto de fórmulas que descrevem com precisão a relação entre a intensidade da chuva ( $i$ ) e a sua duração ( $t$ ) para cada um dos cenários de frequência estudados.

**Tabela 8 - Equações IDF**

Tempo de Retorno (anos)	K	b	c	Equação IDF ajustada
2	722.38	11.73	0.6533	$i = \frac{722.38}{(t+11.73)^{0.6533}}$
5	1012.32	11.73	0.6533	$i = \frac{1012.32}{(t+11.73)^{0.6533}}$
10	1167.71	11.72	0.6531	$i = \frac{1167.71}{(t+11.72)^{0.6531}}$
25	1368.19	11.75	0.6536	$i = \frac{1368.19}{(t+11.75)^{0.6536}}$
50	1492.72	11.74	0.6534	$i = \frac{1492.72}{(t+11.74)^{0.6534}}$
100	1633.32	11.77	0.6532	$i = \frac{1633.32}{(t+11.77)^{0.6532}}$

Fonte: Autor (2025)

### 3.4 Definição do tempo de retorno

Considerando as características do município de Três Barras do Paraná e a finalidade do projeto — que visa a mitigação de alagamentos em área urbana central com ocupação consolidada — será adotado, para fins de dimensionamento, um tempo de retorno de 25 anos, garantindo equilíbrio entre segurança hidráulica e viabilidade técnica-econômica.

A escolha do tempo de retorno está associada à frequência com que se deseja que o sistema suporte eventos críticos de precipitação. Assim, o tempo de retorno de 25 anos significa que, em média, uma cheia com essa magnitude pode se repetir a cada 25 anos, ou ainda, que em qualquer ano há 4% de chance de ocorrência desse evento (IPH/UFRGS, 2009). Essa interpretação estatística é essencial para o entendimento do risco aceito no dimensionamento de estruturas de drenagem, sendo que tempos de retorno maiores representam maior segurança hidráulica, porém com custos de implantação mais elevados.

### 3.5 Definição do coeficiente de escoamento

Nesta seção, são detalhados os procedimentos práticos para a determinação do coeficiente de escoamento superficial (C) ponderado para a bacia hidrográfica em estudo. O método baseia-se na caracterização do uso e ocupação do solo, conforme os princípios apresentados na fundamentação teórica.

### 3.5.1 Dados e ferramentas

**1. Fonte de Dados:** Para a identificação e quantificação das diferentes superfícies, foram utilizadas imagens de satélite de alta resolução, obtidas através da plataforma Google Earth Pro, com data de referência de setembro/2023.

**2. Ferramentas:**

- **QGIS** (Versão 3.34 'prizren'): Software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizado para a digitalização (vetorização) das áreas e para o cálculo preciso de suas respectivas superfícies.
- **Microsoft Excel:** Utilizado para a montagem da planilha de cálculo da média ponderada do coeficiente C.
- **Tabelas de Referência:** Os valores de C para cada tipo de superfície foram adotados com base na tabela apresentada na fundamentação teórica, item 2.5, que compila valores de autores consagrados como Tucci (2007) e Porto (2006).

### 3.5.2 Procedimento metodológico

A determinação do C ponderado seguiu um roteiro de quatro etapas sequenciais:

1. **Mapeamento do uso do solo:** Utilizando a imagem de satélite como base no ambiente QGIS, foi realizado o mapeamento vetorial das diferentes classes de uso do solo dentro dos limites da bacia hidrográfica. As áreas foram classificadas nas seguintes categorias: áreas urbanas comerciais/industriais, áreas urbanas residenciais e áreas urbanas livres.
2. **Cálculo das áreas:** Com os polígonos de cada classe de uso do solo digitalizados, a ferramenta de cálculo de geometria do QGIS foi utilizada para extrair a área exata (em m<sup>2</sup>) de cada uma das categorias.
3. **Atribuição dos coeficientes C:** Para cada classe de uso do solo mapeada, foi atribuído um valor representativo do coeficiente C, conforme as referências bibliográficas. Os valores adotados foram:

- Áreas urbanas comerciais/industriais: **C = 0,90**
- Áreas urbanas residenciais: **C = 0,70**
- Áreas urbanas livres: **C = 0,30**

4. **Cálculo do C ponderado:** As áreas e os coeficientes atribuídos foram organizados em uma planilha para a aplicação da fórmula da média ponderada, conforme detalhado na seção seguinte.

### 3.5.3 Resultado dos cálculos

A aplicação dos procedimentos resultou na quantificação da contribuição de cada tipo de superfície para o coeficiente de escoamento total da bacia. A tabela abaixo consolida os dados e o cálculo realizado.

**Tabela 9** - Cálculo do Coeficiente de Escoamento (C) Ponderado para a Bacia

<b>Tipo de Uso do Solo</b>	<b>Coeficiente C Adotado</b>	<b>Área (m²)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Parcela Ponderada (C x Área)</b>
Áreas urbanas comerciais/industriais	0,90	524.038	31,22	471.634,20
Áreas urbanas residenciais	0,70	634.515	37,81	444.160,50
Áreas urbanas livres	0,30	519.766	30,97	155.929,80
<b>TOTAIS</b>	-	<b>1.678.319</b>	<b>100%</b>	<b>1.071.724,50</b>

Fonte: Autor (2025)

A partir da soma das parcelas ponderadas, dividida pela área total da bacia, obteve-se o coeficiente de escoamento superficial final para a área de estudo:

$$C_{ponderado} = \sum_{n=1}^N \frac{(C_n \cdot A_n)}{A_{total}} \rightarrow C_{ponderado} = \frac{1.071.724,50}{1.678.319,00} = 0,64$$

Este valor final de  $C$  é o parâmetro que representa as características hidrológicas da bacia e será utilizado na aplicação do Método Racional para a determinação da vazão de projeto.

## 3.6 Definição do coeficiente de manning

Esta seção detalha o processo de seleção e atribuição dos coeficientes de rugosidade de Manning ( $n$ ) para as diferentes superfícies e canais que compõem o caminho hidráulico da bacia em estudo. A escolha criteriosa destes valores, baseada na fundamentação teórica, é essencial para a precisão do cálculo do tempo de concentração.

### 3.6.1 Dados e ferramentas

#### Fonte de dados:

- **Mapa do percurso hidráulico:** Traçado do caminho da água mais longo, desde o divisor de águas até o exutório, previamente definido no ambiente SIG.
- **Imagens de satélite (Google Earth Pro):** Utilizadas para a identificação visual e caracterização das superfícies no trecho de escoamento superficial (tipo de pavimento, densidade da vegetação).
- **Tabelas de referência:** Os valores de  $n$  foram selecionados a partir do Quadro 1 (apresentada na Fundamentação Teórica), que compila valores de referências como Chow, Maidment e Mays (1988), Porto (2006) e manuais do DNIT.

#### Ferramentas:

- **QGIS:** Utilizado para a análise espacial e visualização do percurso sobre as imagens de satélite.

### 3.6.2 Procedimento metodológico

O processo de definição dos coeficientes de Manning foi realizado em três etapas:

1. **Segmentação do percurso:** O caminho hidráulico principal foi dividido em segmentos homogêneos de acordo com o tipo de superfície ou canal. Foram identificados dois trechos principais: um inicial sobre gramado e o trecho final no leito do corpo hídrico natural. Além disso, foi definido o coeficiente para os demais itens estudados.
2. **Caracterização de cada trecho:** Cada segmento foi analisado individualmente. O gramado foi classificado como "grama densa" com base na análise das imagens. As condições do corpo hídrico, como leito de terra com alguma vegetação e curvas suaves, foram confirmadas na visita a campo.
3. **Seleção e justificativa dos valores de n:** Com base na caracterização de cada trecho, um valor específico do coeficiente n foi selecionado da tabela de referência. A escolha buscou representar da forma mais fiel possível as condições reais de atrito ao escoamento observadas.

### 3.6.3 Resultados da definição

Os coeficientes de Manning (n) adotados para cada segmento do percurso hidráulico estão consolidados na tabela a seguir. Estes são os valores que serão empregados diretamente no cálculo do tempo de concentração na seção seguinte.

**Tabela 10** - Coeficientes de manning adotados

Trecho	Característica Observada	Coeficiente n
Escoamento superficial	Gramado denso e com boa cobertura vegetal.	0,20
Escoamento em canal	Corpo hídrico natural, leito de terra, com vegetação esparsa nas margens e algumas curvas.	0,04
Bueiros a justante	Tubulação de concreto.	0,013
Canal de condução	Muros de gabião	0,03

Fonte: Autor (2025)



## 3.7 Definição do tempo de concentração

Esta seção descreve a aplicação prática da metodologia composta para a determinação do tempo de concentração ( $T_c$ ) da bacia hidrográfica em estudo. O procedimento foi fundamentado nos conceitos apresentados no referencial teórico, que recomendam a divisão do percurso da água em trechos de escoamento superficial e em canal.

### 3.7.1 Dados e ferramentas

#### Fonte de Dados:

- **Modelo Digital de Elevação (MDE):** Utilizado para extrair as declividades dos trechos.
- **Mapa da Bacia e Imagens de Satélite (Google Earth Pro):** Usados para identificar e medir o comprimento do caminho hidráulico mais longo, desde o divisor de águas até o exutório.
- **Tabelas de Coeficientes de Manning ( $n$ ):** Valores de referência da literatura técnica foram usados para definir a rugosidade de cada superfície (grama, asfalto, concreto).

#### Ferramentas:

- **QGIS (Versão 3.34 'prizren'):** Utilizado para a delineação do percurso hidráulico, medição de comprimentos e cálculo de declividades.
- **Microsoft Excel:** Empregado para realizar o cálculo iterativo do tempo de percurso superficial e para aplicar a Equação de Manning.

### 3.7.2 Procedimento metodológico

A determinação do  $T_c$  foi realizada seguindo as quatro etapas descritas abaixo:

1. **Identificação do Percurso Hidráulico:** No ambiente SIG, foi identificado o caminho hidráulico mais longo da bacia. Este percurso foi então segmentado em trechos, de acordo com o tipo de fluxo: (1) um trecho inicial de escoamento superficial (sobre grama e lavoura) e (2) um trecho final de escoamento em canal.

2. **Cálculo do Tempo de Percurso Superficial (t<sub>s</sub>):** Para o trecho inicial, o tempo foi calculado utilizando uma formulação simplificada da equação da onda cinemática. Como esta equação depende da intensidade da chuva (i), que por sua vez depende do T<sub>c</sub>, foi adotado um **processo iterativo**:

- a. Estimou-se um T<sub>c</sub> inicial (ex: 15 minutos).
- b. Com este T<sub>c</sub>, obteve-se um valor de intensidade (i) na curva IDF do projeto.
- c. Com este i, calculou-se o t<sub>s</sub> e, consequentemente, um novo T<sub>c</sub>.
- d. O processo foi repetido até que o T<sub>c</sub> estimado e o T<sub>s</sub> calculado convergissem com uma tolerância inferior a 1%.

$$T_s = 7,35 \cdot n^{0,6} \cdot i^{-0,4} \cdot L^{0,6} \cdot S^{-0,3}$$

3. **Cálculo do Tempo de Percurso em Canal (t<sub>c</sub>):** Para o trecho final, correspondente ao corpo hídrico, a velocidade do fluxo (V) foi calculada pela Equação de Manning. O procedimento foi o seguinte:

- Geometria do Canal: A seção transversal do córrego foi levantada em campo, assumindo-se uma forma trapezoidal média para o cálculo do raio hidráulico (R<sub>h</sub>) na condição de margens plenas (*bankfull*).
- Rugosidade do Leito: Com base na inspeção visual do canal (presença de vegetação, sinuosidade, material do leito), foi adotado um coeficiente n de Manning compatível com a tipologia do córrego.
- Cálculo da Velocidade e Tempo: A velocidade (V) foi calculada com a Equação de Manning e, em seguida, o tempo de percurso (t<sub>c</sub>) foi obtido pela relação  $t_c = L / V$ .

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

**4. Cálculo do Tempo de Concentração Total:** O Tc final da bacia foi obtido pela soma dos tempos de percurso de cada segmento: Tc = t\_e + t\_c.

### 3.7.3 Resultado dos cálculos

A aplicação da metodologia composta resultou no detalhamento do tempo de percurso para cada segmento do caminho hidráulico mais longo, conforme consolidado na tabela abaixo.

**Tabela 11** - Detalhamento do Cálculo do Tempo de Concentração (Tc)

Trecho	Descrição do Fluxo	Comprimento (L) [m]	Declividade (S) [m/m]	Coeficiente 'n' de Manning	Tempo Parcial (min)
<b>1</b>	Percurso Superficial (Lavoura / grama)	553	0,116	0,20	33,98
<b>2</b>	Percurso em Canal (Corpo Hídrico)	1.562	0,0275	0,040	14,11
<b>TOTAL</b>	-	2.115	-	-	48,09

Fonte: Autor (2025)

A soma dos tempos de percurso parciais resultou em um Tempo de Concentração total para a bacia de 48,09 minutos. Este valor será o utilizado para a definição da intensidade da chuva de projeto (i) a partir das curvas IDF, sendo o parâmetro de entrada para a aplicação do Método Racional.

## 3.8 Definição da vazão de projeto

A vazão de projeto (Q) é o resultado final do estudo hidrológico e representa a máxima descarga que o sistema de drenagem deve ser capaz de conduzir para um

determinado evento de chuva. Este valor é o parâmetro de entrada fundamental para o dimensionamento hidráulico da bacia de retenção.

Conforme justificado na fundamentação teórica, a bacia em estudo possui uma área de 1,687 km<sup>2</sup>, sendo, portanto, inferior ao limite de 2 km<sup>2</sup> recomendado para a aplicação do Método Racional. Desta forma, este foi o método selecionado para o cálculo da vazão de pico.

### 3.8.1 Dados e ferramentas

**Fonte de Dados:** Os parâmetros de entrada para a aplicação do Método Racional foram obtidos nas seções anteriores deste estudo:

- **Área da Bacia (A):** 1,687 km<sup>2</sup>, calculada na seção 3.1.
- **Equação IDF:** Equação de Intensidade-Duração-Frequência definida para a localidade na seção 3.3.
- **Coefficiente de Escoamento (C):** 0,64, calculado na seção 3.5.
- **Tempo de Concentração (Tc):** 48,09 minutos, calculado na seção 3.6.

**Ferramentas:**

- **Microsoft Excel:** Utilizado para a aplicação final da fórmula e para a organização dos resultados.

### 3.8.2 Procedimento metodológico

O cálculo da vazão de projeto foi realizado para o tempo de retorno definido no item 3.4, seguindo as etapas abaixo:

1. **Definição da Intensidade da Chuva (i):** Foi calculada a intensidade da chuva (i) para o tempo de retorno desejado. A premissa fundamental do Método Racional é que a vazão máxima ocorre quando a duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia. Portanto, o valor de Tc (48,09 minutos) foi

substituído como a duração (t) na equação IDF de cada TR para se obter a intensidade de projeto correspondente.

2. **Aplicação da Fórmula do Método Racional:** Com todos os parâmetros definidos, a vazão de pico (Q) para o TR desejado foi calculada utilizando a fórmula clássica do Método Racional:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Onde:

- Q = vazão de pico (m<sup>3</sup>/s)
- C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional), obtido com base no uso e ocupação do solo
- i = intensidade da precipitação (mm/h), referente ao tempo de concentração e tempo de retorno adotado
- A = área da bacia (km<sup>2</sup>)

### 3.8.3 Resultado dos cálculos

A aplicação da metodologia resultou na determinação da vazão de pico para o tempo de retorno escolhido, conforme abaixo.

#### *3.8.3.1 Resultado da intensidade da chuva*

A determinação da intensidade de chuva (i) foi realizada em conformidade com a premissa do Método Racional, que estabelece uma duração de chuva crítica igual ao tempo de concentração (T<sub>c</sub>) da bacia. Sendo assim, o valor de t = 48,09 minutos foi inserido na equação IDF desenvolvida para a localidade, permitindo o cálculo da intensidade de projeto (i) para cada o Tempos de Retorno (TR) de interesse, conforme abaixo.

$$i = \frac{1.492,72}{(t + 11,74)^{0,6534}} = \frac{1.492,72}{(48,09 + 11,74)^{0,6534}} = 103,02 \text{ mm/h}$$

Portanto, para o Tempo de Retorno de 50 anos, adotado como referência para o dimensionamento, a intensidade de chuva crítica resultante é de **103,02 mm/h**.

### *3.8.3.2 Resultado da vazão de projeto*

Este item apresenta os resultados finais do estudo hidrológico, culminando no cálculo da vazão de projeto ( $Q$ ) para a bacia hidrográfica em estudo. Utilizando os parâmetros definidos na metodologia – o coeficiente de escoamento ( $C$ ), a intensidade da chuva e a área da bacia – foi aplicado o Método Racional para quantificar a resposta da bacia aos eventos de chuva, conforme cálculo abaixo.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \rightarrow Q = 0,278 \cdot 0,64 \cdot 103,02 \cdot 1,687 \rightarrow Q = 30,92 \text{ m}^3/\text{s}$$

A aplicação final do Método Racional, com os coeficientes e parâmetros previamente calculados, resulta em uma vazão de pico no exutório da bacia de 30,92 m<sup>3</sup>/s. Este valor representa a descarga máxima esperada para o evento de chuva de projeto adotado.

## **3.9 Dimensionamento hidráulico das estruturas**

Este capítulo apresenta a metodologia empregada para o dimensionamento hidráulico das estruturas propostas para o controle de cheias na bacia em estudo. Com base nas vazões de projeto definidas no capítulo anterior, serão determinadas as dimensões do canal de condução, do volume da bacia de retenção e de suas estruturas de saída (orifício de fundo e extravasor), bem como dos bueiros a jusante, garantindo o funcionamento seguro e eficaz do sistema.

### 3.9.1 Dados e ferramentas

#### Dados de Entrada:

- **Vazão de Projeto (Q):** Calculado para o tempo de retorno escolhido, conforme detalhes constantes na seção 3.7.
- **Dados Topográficos:** Levantamento planialtimétrico da área de implantação das estruturas, contendo curvas de nível e pontos cotados, para definição de declividades e volumes.
- **Parâmetros Hidráulicos:** Coeficientes de rugosidade de Manning ( $n$ ) para os materiais a serem empregados (concreto, gabião, grama, etc.). Coeficientes de descarga ( $C_d$ ) para orifícios e vertedouros.

#### Ferramentas:

- **Microsoft Excel:** Utilizado para a aplicação iterativa das equações hidráulicas de dimensionamento (Manning, Orifício, Vertedor).
- **AutoCAD / Civil 3D:** Software empregado para a elaboração das peças gráficas do projeto (plantas, perfis e seções transversais).

### 3.9.2 Procedimento metodológico

O dimensionamento foi dividido em três componentes principais, seguindo o caminho da água através do sistema.

#### 3.9.2.1 Bueiros tubulares de concreto

Os bueiros que conduzem a água à jusante devem ser capazes de conduzir a vazão controlada liberada pela bacia de retenção.

**Tubulação:** Adotou-se a tubulação existente no local.

#### Procedimento:

1. **Verificação da capacidade:** Foi verificada a capacidade de vazão dos bueiros utilizando as equações e nomogramas clássicos da hidráulica de bueiros, analisando as condições de controle por montante e por jusante.

#### *3.9.2.2 Canal de condução*

O canal de condução tem a função de transportar a vazão rotineira da bacia até a tubulação de concreto que desagua a jusante.

**Vazão de projeto:** Adotou-se a capacidade de vazão da tubulação existente.

**Procedimento:**

1. **Definição da seção:** Definiu-se uma seção transversal trapezoidal para o canal, revestida em gabião.
2. **Dimensionamento:** Utilizando a Equação de Manning, foram dimensionadas a largura da base (b) e a altura do canal (H) de forma iterativa, garantindo que a altura da lâmina d'água (y) para a vazão seja inferior à altura total do canal, respeitando uma borda livre mínima de 30 cm para segurança contra o transbordamento.

#### *3.9.2.3 Bacia de retenção*

A bacia de retenção é o elemento central do sistema, projetada para armazenar o excesso de volume e liberá-lo de forma controlada.

**Vazão de projeto:** Adotou-se a vazão calculada no item 3.7.

**Procedimento:**

1. **Cálculo do volume de armazenamento:** Foi realizada uma simulação de enchimento e esvaziamento da bacia (método Puls ou hidrograma simplificado). O hidrograma de entrada foi estimado a partir do Método Racional, e a vazão de saída foi definida pela capacidade do orifício de



fundo. O volume máximo acumulado durante a simulação definiu o volume útil necessário para a bacia.

### 3.9.3 Resultados do dimensionamento

A aplicação desta metodologia resultará na definição de todos os parâmetros geométricos e hidráulicos das estruturas. Os resultados serão apresentados em forma de tabelas-resumo e peças gráficas de projeto, contendo:

- **Bueiros:** Diâmetro e capacidade de vazão.
- **Canal:** Seção transversal, declividade, capacidade de vazão.
- **Bacia:** Volume de armazenamento.

#### 3.9.3.1 Bueiros tubulares de concreto

Em vistoria ao local de estudo, constatou-se a existência de um bueiro triplo, constituído por três linhas de tubos com seção transversal circular de 1,20 m de diâmetro, sendo esses elementos os responsáveis pelo escoamento da água do canal.

Para o dimensionamento da capacidade de escoamento destes elementos, utilizou-se a Equação de Manning, descrita na sequência. Os valores da vazão máxima calculada para cada conduto estão detalhados na sequência.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Aplicando a fórmula, temos o seguinte:

$$Q = 3 \cdot \left( \frac{1}{0,013} \cdot 1,131 \cdot 0,3^{\frac{2}{3}} \cdot 0,01^{\frac{1}{2}} \right) = 11,70 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.9.3.2 Canal de condução

O projeto do canal de condução a montante visa garantir a adução eficiente do escoamento superficial até a entrada dos bueiros tubulares de concreto. O dimensionamento fundamenta-se no princípio da compatibilidade hidráulica, assegurando que o canal comporte a vazão sem gerar velocidades erosivas e entregando o fluxo à estrutura de forma controlada. Esta abordagem previne a degradação do canal e otimiza as condições de entrada no bueiro, permitindo que este opere conforme sua capacidade de projeto.

A base do canal deverá possuir largura de, no mínimo, três metros para que seja possível a entrada de mini escavadeira para realização de limpeza.

Com base nesses parâmetros, foi calculada as dimensões necessárias para o canal, utilizando equação de manning.

Adotando-se uma altura de lâmina d'água de 1,50 metros, base de 4,00 metros de largura e talude de 2,00:0,50 tem-se o que segue:

- $N = 0,03$
- Área molhada =  $9,00 \text{ m}^2$
- Perímetro molhado =  $13,12 \text{ m}$
- Raio hidráulico =  $0,686 \text{ m}$
- Declividade =  $0,0222 \text{ m/m}$
- Portanto,

$$Q = \frac{1}{0,03} \cdot 9,00 \cdot 0,686^{\frac{2}{3}} \cdot 0,0222^{\frac{1}{2}} = 34,77 \text{ m}^3/\text{s}$$

O dimensionamento hidráulico do sistema indicou que, para conduzir a vazão de projeto efluente dos bueiros tubulares, é necessária uma lâmina d'água de 1,50 m. Visando garantir a segurança operacional e prevenir transbordamentos, adota-se uma borda livre de 0,50 m, que funciona como uma margem de segurança contra variações de fluxo e outros efeitos hidrodinâmicos. Portanto, a altura construtiva mínima do canal é estabelecida em 2,00 m, resultante da soma da profundidade de escoamento e da borda livre adotada.

### *3.9.3.3 Bacia de retenção*

O dimensionamento do volume de amortecimento da bacia de retenção foi realizado pelo Método Racional Modificado. A metodologia baseia-se na determinação do hidrograma de excedente, que corresponde à diferença entre as vazões de pico de projeto nos cenários pós e pré-urbanização. As vazões foram calculadas utilizando os respectivos coeficientes de escoamento superficial (runoff),  $C_{pós}$  e  $C_{pré}$ .

$$V = 0,5 \cdot (30,92 - 16,91) \cdot 5.212,40 = 36.512,86 \text{ m}^3$$

# 4 RESULTADOS



Este capítulo apresenta os resultados conclusivos do estudo, consolidando tanto a análise hidrológica da bacia quanto o dimensionamento hidráulico das estruturas de controle de cheias. Os valores aqui apresentados são a resposta técnica aos objetivos do projeto e servem como base para a elaboração dos projetos executivos e para a construção das obras em Três Barras do Paraná.

## 4.1 Resultados do estudo hidrológico

A aplicação da metodologia descrita no Capítulo 3 permitiu a caracterização completa da resposta da bacia hidrográfica aos eventos de chuva.

### 4.1.1 Parâmetros da bacia e vazão de projeto

Os parâmetros chave que definem o comportamento da bacia foram calculados como:

- **Coefficiente de escoamento ponderado (C):** 0,64. Este valor indica uma bacia moderadamente urbanizada, onde uma parcela significativa da chuva se converte em escoamento superficial.
- **Tempo de Concentração (Tc):** 48,09 minutos. Este é o tempo de resposta da bacia, utilizado para definir a duração crítica da chuva de projeto.
- **Vazão de projeto:** 30,92 m<sup>3</sup>/s. Calculada para o tempo de retorno adotado.

## 4.1.2 Resultados do dimensionamento hidráulico

Com base na vazão de projeto, as estruturas hidráulicas foram dimensionadas conforme a metodologia do Capítulo 4. Os resultados definem as geometrias e capacidades de cada componente do sistema.

### 4.1.2.1 Canal de condução

O canal projetado para levar a água da bacia até a estrutura de retenção possui as seguintes características:

- **Seção:** Trapezoidal, revestida em gabião ( $n=0,013$ ).
- **Dimensões:** Largura de base de 3,00 m, altura de 2,00 m e taludes 1,50:1.
- **Capacidade:** O canal foi dimensionado para conduzir a vazão, com uma borda livre de segurança de 50 cm.

### 4.1.2.2 Bacia de detenção e estruturas de controle

A análise do dimensionamento hidráulico para o controle de cheias resultou em um volume de amortecimento necessário de 36.512,86 m<sup>3</sup>. Esse volume exigiria uma profundidade de escavação excessiva, resultando em desafios técnicos e, principalmente, custos proibitivos. Os principais impedimentos são a instabilidade geotécnica dos taludes e a limitação da área superficial disponível.

### 4.1.2.3 Bueiros a jusante

Para conduzir a vazão liberada pelo canal, o sistema de bueiros existente a jusante foi verificada. O dimensionamento indica a necessidade de ampliação, de modo a ser capaz de atender a vazão total da bacia, recomenda-se a revisão de:

- **Estrutura:** Bueiros celulares

- **Dimensões:** 3 linhas de 1,50 x 1,50 m.
- **Capacidade:** A ampliação proposta para as estruturas de transposição elevará a capacidade hidráulica conjunta para 36,52 m<sup>3</sup>/s. Este valor supera a vazão de projeto de 30,92 m<sup>3</sup>/s, resultando em uma margem de segurança de 18% (ou 5,60 m<sup>3</sup>/s). Esta folga hidráulica assegura o escoamento livre do fluxo para o evento de dimensionamento, mitigando eficazmente a ocorrência de efeitos de remanso a montante e a formação de novos pontos de alagamento.
- **Sistema de dissipação de energia:** A estrutura de dissipação de energia localizada a jusante dos bueiros deverá ser redimensionada ou substituída. O novo sistema deverá ser projetado para as condições hidráulicas da capacidade ampliada (36,52 m<sup>3</sup>/s), assegurando que a velocidade final do fluxo seja reduzida a um valor não erosivo para as condições do canal de saída.

#### 4.1.3 Discussão geral e implicações do projeto

A análise de viabilidade técnica demonstrou que a implantação de uma bacia de detenção como solução única para o controle de cheias na microbacia em estudo é impraticável. Diante disso, a intervenção de engenharia definida como a mais eficaz e necessária consiste na ampliação do canal do córrego existente e sua rede de desagüe a jusante.

O dimensionamento proposto assegura a capacidade de conduzir a vazão de pico referente a um evento de precipitação com tempo de retorno de 25 anos (TR-25), mitigando os riscos de inundação e protegendo a infraestrutura urbana e as propriedades inseridas na área de influência. Esta medida é, portanto, fundamental para promover um desenvolvimento urbano local mais resiliente e seguro.

Adicionalmente, a integração da área remanescente em um projeto de requalificação urbana, agrega valor social, ambiental e recreativo à comunidade.

## 5 CONCLUSÃO



O presente estudo teve como objetivo principal realizar o diagnóstico hidrológico de uma microbacia urbana em Três Barras do Paraná - PR, e, com base nele, desenvolver o dimensionamento das estruturas hidráulicas necessárias para o controle de cheias. Através da aplicação de metodologias consagradas na engenharia, concluiu-se que os objetivos foram plenamente alcançados, resultando em uma solução técnica robusta e eficaz.

A análise hidrológica caracterizou a bacia com uma área de 1,687 km<sup>2</sup>, um coeficiente de escoamento de 0,64 e um tempo de concentração de 48,06 minutos resultando em uma vazão de pico afluente de 30,92 m<sup>3</sup>/s para um evento com 25 anos de tempo de retorno.


A análise de alternativas concluiu pela inviabilidade técnica da implantação de uma bacia de retenção como medida de controle, uma vez que o volume de armazenamento necessário demandaria uma movimentação de terra de grande magnitude, impraticável em um tecido urbano consolidado. Em contrapartida, a ampliação da condução da água foi validada como a solução de engenharia mais adequada. O dimensionamento proposto assegura uma capacidade hidráulica 18% superior à vazão de pico de projeto, estabelecendo, assim, uma robusta margem de segurança operacional.

Este resultado evidencia a importância fundamental do projeto como medida mitigadora dos riscos de inundação na área jusante à bacia. A implementação das estruturas dimensionadas – o canal de condução e os bueiros adequados – contribuirá diretamente para a segurança da população, para a proteção do patrimônio público e privado e para a promoção de um desenvolvimento urbano mais resiliente e sustentável. O estudo fornece, portanto, os subsídios técnicos essenciais para a tomada de decisão e para a execução de uma obra de grande relevância social e ambiental para o município.

Como recomendação para garantir a perenidade e o bom funcionamento do sistema, sugere-se a elaboração de um plano de operação e manutenção periódica,

que contemple a limpeza e o desassoreamento do canal e a inspeção das estruturas de entrada e saída.

Em suma, o estudo cumpre seu propósito ao transformar uma análise detalhada em uma solução de engenharia concreta e justificada, capaz de promover um avanço significativo na gestão das águas pluviais e na segurança hídrica da área urbana em questão.





# REFERÊNCIAS



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **HidroWeb**: Sistema de Informações Hidrológicas. Brasília, DF, 2025. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 22 jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Manual de hidrologia aplicada**. Brasília, DF: ANA, 2014.

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro: DNER, 1990.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de drenagem de rodovias**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

GUMBEL, Emil Julius. **Statistics of extremes**. New York: Columbia University Press, 1958.

HERSHFIELD, D. M. **Rainfall frequency atlas of the United States**: Weather Bureau Technical Paper n. 40. Washington, D.C.: U.S. Weather Bureau, 1961.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Topodata**: Modelo Digital de Elevação. São José dos Campos, SP, 2025. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 24 jul. 2025.

PINTO, Nelson L. de S. *et al.* **Hidrologia básica**. São Paulo: Blucher, 2013.

PORTO, Rodrigo de Melo *et al.* **Drenagem urbana**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2006.

TOMAZ, Plínio. Período de retorno. *In*: \_\_\_\_\_. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. cap. 3.

TORRICO, José Jaime Toborga. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: TRANSCON, 1974. 120 p.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

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

WILSON, E. M. **Engineering hydrology**. London: Macmillan, 1979.



A large, light gray background graphic. It features a stylized river with a dam. The river flows from the top right towards the bottom left. A dam structure is positioned across the river, with water behind it. The graphic is composed of several geometric shapes, including a large semi-circle at the top right, a trapezoid for the dam, and various rectangular and triangular shapes representing the riverbanks and water flow.

## **APRÊNDICE A – MAPA DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA**