



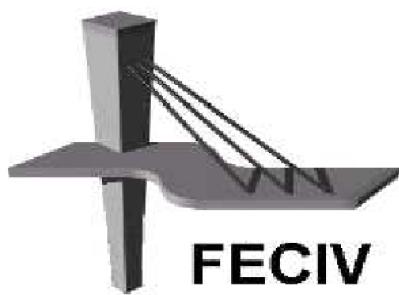
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIO OFF-LINE PARA  
REDUÇÃO DO IMPACTO DE ALAGAMENTOS NA AVENIDA  
GOVERNADOR RONDON PACHECO, UBERLÂNDIA-MG.**

**ALVARO LUIZ MARCOLINO MATEUS**

**UBERLÂNDIA - 2025.**

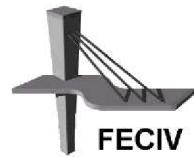


# FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

Graduação em Engenharia Civil



Alvaro Luiz Marcolino Mateus

## SIMULAÇÃO DE RESERVATÓRIO OFF-LINE PARA REDUÇÃO DO IMPACTO DE ALAGAMENTOS NA AVENIDA GOVERNADOR RONDON PACHECO, UBERLÂNDIA-MG.

Trabalho apresentado à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Graduando em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Alamy Filho

Uberlândia - MG  
2025

## RESUMO

A avenida Governador Rondon Pacheco, uma das principais vias de Uberlândia (MG), recebe água pluvial proveniente de uma grande parte da cidade e sofre constantemente com alagamentos decorrentes de chuvas intensas. Neste trabalho, foram realizadas simulações computacionais para previsão desses alagamentos, considerando um modelo de terreno original e outro contendo um reservatório de detenção próximo à avenida. O objetivo consiste na avaliação do impacto que a utilização de uma medida estrutural de combate aos alagamentos teria no local. Para realizar as simulações, foi necessário delimitar a bacia do córrego São Pedro e seus afluentes, corpo de água retificado e canalizado sob a referida via. A partir de mapa planialtimétrico e das galerias de água pluvial, foram delimitadas as microbacias de contribuição à avenida. O mapa planialtimétrico subsidiou a construção de um modelo numérico de terreno detalhado. Um modelo chuva-vazão foi aplicado para as microbacias contribuintes, com intuito de gerar hidrogramas que representam a introdução de vazão superficial na avenida. O *software* HEC-RAS, versão 2D, foi aplicado para simular a propagação de cheia sobre a avenida e ruas adjacentes. O hietograma de uma chuva real de 100 mm/h foi aplicado nas microbacias. Resumidamente, os resultados indicaram uma envoltória de alagamentos levemente menos profunda com a utilização do reservatório.

**PALAVRAS-CHAVE:** hidrologia urbana, alagamentos, hidráulica computacional, reservatório de detenção.

## ABSTRACT

The “Governador Rondon Pacheco Avenue”, one of the main thoroughfares in Uberlândia (MG), receives stormwater from a large portion of the city and is constantly affected by flooding caused by intense rainfall. In this study, computational simulations were carried out to predict these flood events, considering two scenarios: one with the original terrain model and another including a detention basin near the avenue. The objective is to evaluate the impact that the implementation of a structural flood control measure would have on the site.

To perform the simulations, it was necessary to delineate the São Pedro Creek basin and its tributaries, a watercourse that has been rectified and channeled beneath the avenue. Based on the topographic map and the stormwater drainage network, the contributing sub-basins to the avenue were defined. The topographic map supported the construction of a detailed digital terrain model. A rainfall–runoff model was applied to the contributing sub-basins in order to generate hydrographs representing the introduction of surface runoff into the avenue.

The HEC-RAS software, in its 2D version, was employed to simulate the flood wave propagation along the avenue and adjacent streets. The hyetograph of a real rainfall event with an intensity of 100 mm/h was applied to the sub-basins. Overall, the results indicated a flood extent with slightly reduced depths when the detention basin was considered.

**KEYWORDS:** urban hydrology, flooding, computational hydraulics, detention basin.

## INDICE DE ILUSRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração de alagamento na avenida Rondon Pacheco.....	9
Figura 2 - consequências após alagamento na avenida após chuva do dia 16/01/2022 .....	9
Figura 3 - Localização da avenida Rondon Pacheco na bacia hidrográfica do córrego São Pedro. .....	11
Figura 4 - Diferença de reservatórios em série e em paralelo.....	13
Figura 5 Piscinão Taboão, em São Paulo .....	13
Figura 6 - Possível área para instalação de reservatório de contenção.....	15
Figura 7 Imagem área do terreno escolhido.....	15
Figura 8 - Geometria proposta para o reservatório de detenção.....	17
Figura 9 - Curva cota-volume do reservatório proposto .....	17
Figura 10 - Bacia de contribuição do córrego São Pedro (divisor amarelo) com suas micro-bacias (divisores azuis) ao longo da Avenida Governador Rondon Pacheco .....	18
Figura 11 - Sub-divisão das bacias ao longo da Avenida Anselmo Alves dos Santos.....	19
Figura 12 - Sobreposição do mapa dos sistemas de galerias de drenagem pluvial com o mapa base subdividido.....	19
Figura 13 - Sobreposição das áreas permeáveis grandes com o mapa base subdividido.....	20
Figura 14 - Área de contribuição para o escoamento superficial. ....	21
Figura 15 - Modelo Numérico de Terreno gerado.....	22
Figura 16 - Digitalização de pontos ao longo do leito da Avenida. ....	23
Figura 17 - enchente que causou a morte de uma mulher na Avenida Governados Rondon Pacheco.....	24
Figura 18 - Sobreposição do mapa de galerias de drenagem com o mapa base de Uberlândia..	25
Figura 19 Delimitação da área de escoamento. ....	27
Figura 20 - Região delimitada para ser a zona em que ocorre a simulação.....	27
Figura 21 - Modelagem do reservatório no modelo numérico de terreno.....	28
Figura 22 - Delimitação da área do reservatório e estruturas de entrada e saída de vazão. ....	29
Figura 23 - Estruturas de entrada de vazão no reservatório.....	30
Figura 24 - Detalhamento das dimensões e posição das estruturas de entrada de vazão no reservatório.....	30
Figura 25 - Detalhamento da estrutura de saída de vazão do reservatório. ....	31
Figura 26 Microbacia número 9 relacionada a avenida Rondon Pacheco .....	32
Figura 27 Hietograma e Hidrograma referente a Avenida Benjamin Magalhães.....	33
Figura 28 Microbacia número 7 relacionada a Avenida Anselmo Alves dos Santos .....	33
Figura 29 Hietograma e Hidrograma gerado para a microbacia referente a avenida Suiça .....	34
Figura 30 - Variação da profundidade máxima do reservatório ao longo da simulação.....	34
Figura 31 - Profundidades de alagamento quando a onda de cheia chega ao exutório (instante 34 minutos após início da precipitação) – com reservatório .....	35
Figura 32 - Profundidades de alagamento quando a onda de cheia chega ao exutório (instante 32 minutos após início da precipitação) – sem reservatório. ....	36
Figura 33 - Indicação dos pontos de referência para comparar as simulações. ....	36
Figura 34 Gráficos comparativos da profundidade de alagamento nos pontos designados. ....	37

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	7
1.1	JUSTIFICATIVAS .....	7
1.2	OBJETIVOS .....	8
1.2.1	Objetivo Principal .....	8
1.2.2	Objetivos Específicos .....	8
2.1	HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES NO LOCAL .....	8
2.1.1	Localização da avenida .....	10
2.2	CONTENÇÃO DE INUNDAÇÕES .....	11
2.3	RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO .....	12
2.4	SIMULAÇÃO DE ALAGAMENTOS URBANOS .....	14
3.1	LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO RESERVATÓRIO .....	14
3.2	CONCEPÇÃO DO RESERVATÓRIO .....	16
3.3	DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA E MICROBACIAS .....	17
3.4	MODELAGEM DO TERRENO .....	21
3.5	CHUVA DE PROJETO .....	23
3.6	EFICIÊNCIA DAS GALERIAS .....	24
3.7	TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO .....	25
3.8	SIMULAÇÃO DOS ALAGAMENTOS .....	26
3.8.1	Condições de Contorno .....	26
3.8.2	Modelagem do Reservatório .....	28
3.8.3	Modelagem das Estruturas de Conexão .....	29
3.8.3.1	Estrutura de Entrada .....	29
3.8.3.2	Estrutura de Saída .....	31
3.8.4	Configuração de Tempo da Simulação .....	31
4.1	HİETOGRAMAS E HIDROGRAMAS .....	32
4.2	RESULTADOS GERAIS – COM RESERVATÓRIO .....	34
4.3	RESULTADOS GERAIS – SEM RESERVATÓRIO .....	35
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES .....	36
4.5	DISCUSSÕES .....	38

## 1 Introdução

Os alagamentos são um dos principais problemas causados pela urbanização quando não há o devido estudo e investimento em sistemas de drenagem pluvial adequados. Como é destacado por Canholi (2014), a drenagem urbana não foi um fator prioritário na expansão de grande parte das cidades do Brasil. Essa situação tende a se agravar, visto que as cidades continuam esse processo de urbanização e as chuvas torrenciais se tornarão mais constantes devido as mudanças climáticas.

A cidade de Uberlândia é atualmente a vigésima oitava mais populosa do Brasil, segundo dados do censo de 2022, que também indicaram um crescimento populacional de 18,08% em comparação com os dados de 2010. Esse aumento reflete no processo de urbanização da cidade, e consequentemente no agravamento dos problemas de drenagem urbana caso não sejam criadas soluções para essa situação. Desse modo, é importante estudar possíveis medidas com potencial para reduzir a magnitude dos efeitos gerados pelas chuvas intensas. A avenida Governador Rondon Pacheco é uma das mais importantes da cidade de Uberlândia, tanto para a locomoção como para o comércio. Contudo, os alagamentos são um problema recorrente nessa avenida, causando grandes prejuízos econômicos e riscos aos usuários da via.

Nesse contexto, proposta de utilizar um reservatório de detenção próximo a avenida Governador Rondo Pacheco, tem um grande potencial de ajudar a reduzir os impactos dos alagamentos na região, visto que essa solução é comumente utilizada em grandes cidades brasileiras.

### 1.1 JUSTIFICATIVAS

Neste trabalho será estudada a eficiência da utilização de uma estrutura de contenção de inundações instalada em uma das raras áreas verdes adjacentes à própria avenida Rondon Pacheco. Esses dispositivos, conhecidos como reservatórios off-line, podem armazenar temporariamente parte da água pluvial que escoaria sobre a avenida. Nesse sentido, os reservatórios off-line têm potencial para conter as ondas de cheia. A simulação da implantação de reservatórios off-line hipotéticos pode estimar se essas alternativas têm eficiência para o caso, podendo esse método ser mais eficiente que outras propostas em andamento.

Além disso, essa proposta traz uma solução para alguns terrenos vazios na avenida, que são prejudiciais do ponto de vista da segurança e saúde pública. A infraestrutura dos

reservatórios sugeridos pode ser integrada à avenida, podendo esses locais serem áreas de lazer abertas ao público nos períodos de seca.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Principal

Analisar, via simulação numérica, a eficiência da utilização de um reservatório off-line para conter os alagamentos que atingem a avenida Rondon Pacheco.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Estimar as vazões e altura da lâmina de água em situações de alagamentos na avenida por meio da modelagem hidráulica e hidrológica de toda a avenida, definindo quais são os locais mais críticos.
- b) Propor uma utilização mais funcional e integrada com a cidade para alguns terrenos sem construção ao longo da avenida Rondon Pacheco.
- c) Analisar as zonas de alagamentos em chuvas localizadas.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES NO LOCAL

A avenida Governador Rondon Pacheco, na cidade de Uberlândia, constantemente sofre com alagamentos nos dias de chuva. Isso se deve principalmente pelo fato de que a avenida se localiza no talvegue da bacia hidrográfica do córrego São Pedro, um dos principais afluentes urbanos do Rio Uberabinha.

De acordo com o estudo apresentado por Vergutz (2016), que realizou simulações de alagamentos na Avenida Rondon Pacheco, mesmo sem a influência ocupação urbana a bacia do córrego São Pedro não comportaria toda a vazão de uma chuva com tempo de retorno de 100 anos por exemplo. Outro trabalho, realizado por Justino, Paula e Paiva (2011), indicou que na Bacia hidrográfica do córrego Lagoinha, umas das sub-bacias do córrego São Pedro, o aumento de 54% da área impermeabilizada pode aumentar as vazões de pico em até 59,40%, quando comparando com um cenário pré-urbanização.

Além da localização da avenida, a urbanização da região favorece a formação de enchentes. Segundo Tucci (1999), a urbanização aumenta a capacidade de escoamento devido à impermeabilização das superfícies, gerando maiores vazões máximas e com mais frequência.

No ano de 2024, por exemplo, uma chuva com registros de precipitação de 27,4mm em 1 hora entre os dias 21/10/2024 e 22/10/2024, segundo o INMET (2025), foi suficiente para alagar a avenida, o que é ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Ilustração de alagamento na avenida Rondon Pacheco

Fonte: Diário de Uberlândia (2024)

Há registros de chuvas mais intensas nos anos anteriores. Como no dia 16/01/2022, quando choveu 73,3mm em aproximadamente 1:30h e a enchente arrastou veículos e invadiu estabelecimentos. Em entrevista coletiva, o então prefeito da cidade informou a estimativa de gastar entre R\$ 350 mil e R\$ 400 mil reais para reparos na pista da avenida. Dentre os prejuízos, esse evento levou ao destaque de placas asfálticas, ocorrência ilustrada na Figura 2.



Figura 2 - consequências após alagamento na avenida após chuva do dia 16/01/2022

Fonte: G1 (2022)

Segundo entrevista dada pelo capitão da Defesa Civil João Batista Afonso, em dezembro de 2024, chuvas de 40mm por hora são suficientes para exceder a capacidade dos sistemas de drenagem da avenida e causar enchentes, desse modo, essas enchentes tendem a continuar a acontecer com frequência caso nada seja feito. Além disso, o entrevistado destacou a localização da avenida como um dos fatores que motivam a ocorrência das enchentes (G1, 2024).

A Avenida Rondon Pacheco se localiza sobre o curso do córrego São Pedro, que tem ainda como afluentes os córregos Jataí, Lagoinha e Mogi, portanto, nos momentos de chuva esse local recebe as contribuições pluviais de uma grande área da cidade, que compreende toda a bacia hidrográfica do córrego São Pedro.

Em novembro de 2024 um alagamento na avenida Rondon Pacheco causou inclusive a morte de uma mulher, após o carro em que ela se apoiava ser arrastado pela água. Segundo a prefeitura, a precipitação no local foi de 50mm em menos de 30 minutos ( G1, 2024).

De acordo com o trabalho escrito por Mendes (2023), que realizou simulações de alagamentos em um trecho da avenida Rondon Pacheco, existem ao longo da avenida vários locais que estão sujeitos a enchentes com potencial risco de arraste de veículos e desplacamento do asfalto devido às altas tensões cisalhantes que a onda de cheia pode atingir na avenida Rondon Pacheco.

Portanto, é necessário buscar formas de aumentar a capacidade dos sistemas de drenagem urbanos na região, sejam elas focadas na microdrenagem ou com a utilização de estruturas de detenção. É nesse intuito que se apoia o presente trabalho.

### **2.1.1 Localização da avenida**

Uma das principais justificativas para a avenida Rondon Pacheco ser tão impactada pelas chuvas intensas é sua localização sobre o córrego canalizado São Pedro, visto que uma grande área integra a bacia hidrográfica desse córrego, fazendo com que ocorra um grande fluxo de água pluvial em direção à avenida. A Figura 3 ilustra a localização da avenida Rondon Pacheco dentro da bacia hidrográfica do córrego São Pedro e seus afluentes, que possui aproximadamente 48 km<sup>2</sup>.

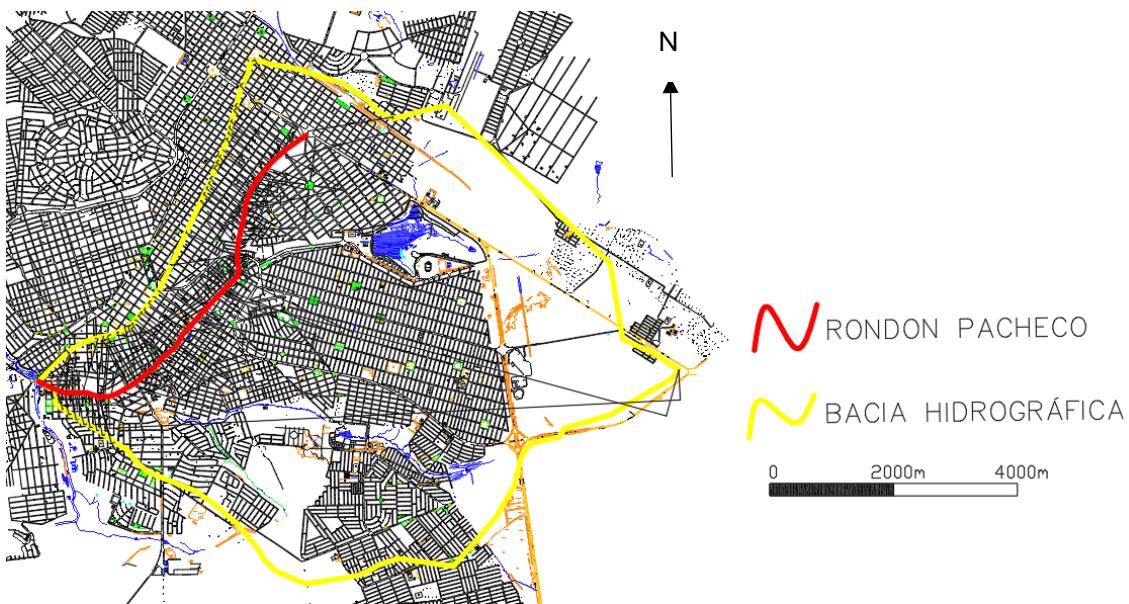


Figura 3 - Localização da avenida Rondon Pacheco na bacia hidrográfica do córrego São Pedro.

Fonte: Autor (2025)

## 2.2 CONTENÇÃO DE INUNDAÇÕES

A urbanização é um dos fatores agravantes das inundações em grandes cidades, de acordo com o Manual de Drenagem Urbana da região metropolitana de Curitiba (Paraná, 2002), a impermeabilização do solo gera o aumento das vazões máximas em uma bacia, visto que a água infiltra no solo em menor quantidade, além disso faz com que o escoamento superficial seja mais veloz. Ademais, segundo Canholi (2014), historicamente foram adotadas medidas de canalização para tentar combater as falhas da drenagem urbana, porém esse método aumenta ainda mais a velocidade de escoamento e aumenta as vazões de pico a jusante.

Diante desse cenário, a Avenida Rondon Pacheco, que está em uma região altamente urbanizada e tem um sistema de drenagem insuficiente, necessita da aplicação de métodos de contenção de alagamentos que sejam eficientes contra altas vazões. Conforme o manual de drenagem de São Paulo, São Paulo (2012), as possíveis soluções para o controle de cheias podem ser estruturais ou não estruturais.

As medidas não estruturais são ações de caráter legal, institucional, educativo ou de planejamento que visam reduzir os impactos das inundações sem modificar fisicamente o ambiente. Elas incluem, zoneamento de áreas de risco, sistemas de alerta, educação ambiental, seguros contra enchentes e normas técnicas para construção. Essas medidas buscam disciplinar a ocupação urbana e reduzir riscos à população.

No entanto, as medidas não estruturais nem sempre são suficientes, especialmente em áreas já muito urbanizadas, como é o caso da cidade de Uberlândia, com ocupações consolidadas. Nesses contextos, torna-se necessário o uso de medidas estruturais, que envolvem intervenções físicas no território, como a construção de reservatórios, canais, bacias de detenção e dispositivos de infiltração, para garantir o controle efetivo do escoamento e minimizar os danos causados pelas cheias.

### **2.3 RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO**

Os reservatórios de detenção se enquadram como medida de contenção estrutural e tem como princípio de funcionamento a retenção de parte da água pluvial durante a ocorrência da chuva e a liberação dessa água posteriormente, reduzindo assim a vazão de pico, e os possíveis estragos da enchente. Além disso, esses reservatórios auxiliam na limpeza urbana pós inundações, pois funcionam como uma barreira para resíduos sólidos que são carregados pela água.

Segundo o estudo realizado por Figueiredo (2017), na cidade de Recife -PE, a eficiência de 4 reservatórios de detenção analisados foi de entre 91,76% e 99,39% quando são operados corretamente e com a devida manutenção. Nesse estudo, a eficiência dos reservatórios é referente a capacidade de não transbordamento nos dias de chuva, o que implica que o reservatório foi capaz de cumprir sua função de armazenar a água pluvial. Esse resultado mostra que esse método de contenção de alagamentos pode contribuir muito na redução das ondas de cheias.

De acordo com o manual de reservatórios da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), reservatórios de contenção podem ser classificados quanto a sua cobertura e quanto a sua localização. Eles podem ser cobertos ou submersos quando a urbanização do local não possui locais disponíveis na superfície, ou podem ser a céu aberto quando há essa disponibilidade. Em relação à localização, os reservatórios são chamados de in-line (em série) quando são locados no eixo do curso de água e off-line (em paralelo) quando são instalados paralelamente ao curso de água, conforme indicado nos diagramas unifilares da Figura 4.



Figura 4 - Diferença de reservatórios em série e em paralelo.

Fonte: ABCP (2016)

Nesse trabalho, será proposta a implantação de reservatório de detenção aberto em terrenos vagos ao longo da avenida Rondon Pacheco, portanto, de acordo com o manual ABCP esse reservatório se classifica como de céu aberto e off-line.

O reservatório do Taboão em São Paulo – SP ilustrado na Figura 5, se assemelha a estrutura proposta nesse estudo, sendo construído em paralelo com a avenida Aricanduva e aberto.

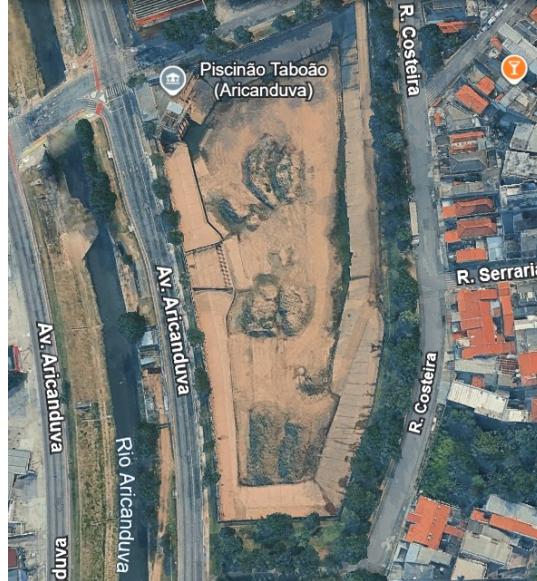


Figura 5 - Piscinão Taboão, em São Paulo

Fonte: Google Earth (2025)

Além de sua função no sistema de drenagem urbana, o entorno dos reservatórios de detenção, também conhecidos como piscinões, podem ser aproveitados como áreas

verdes dentro da cidade, com a criação de pequenos parques ou praças ao redor do reservatório.

Ainda de acordo com a ABCP, é importante que esse tipo de reservatório seja integrado à cidade de modo que a população possa usufruir do espaço no entorno, de modo que essa construção seja aceita pelos vizinhos do local. Também é necessário garantir que esse espaço não seja abandonado, para que ele tenha devida manutenção, evitando que se torne um espaço proliferador de animais transmissores de doenças.

## **2.4 SIMULAÇÃO DE ALAGAMENTOS URBANOS**

De acordo com Tucci (2008), a modelagem hidráulica é uma etapa essencial para o planejamento urbano, pois permite simular diferentes alternativas de intervenção e identificar seus efeitos antes da implantação.

Nesse trabalho, cujo objetivo principal é propor a construção de reservatórios de detenção, a possibilidade de simular a eficiência dessa medida por meio de um modelo computacional é de grande importância, pois permite avaliar por meio de dados o real impacto das medidas propostas.

O software utilizado para realizar as simulações nesse trabalho foi o HEC-RAS, versão 6.4, 2D, que tem sua eficiência e qualidade dos resultados comprovada pela comparação com dados analíticos (Estados Unidos da América, 2016). Esse software simula fluxos de água em duas dimensões, permitindo observar ondas de cheia que se alastram sobre terrenos inicialmente secos e a formação de zonas de alagamentos.

Dutra Júnior(2023) utilizou o software HEC-RAS, versão 2D, para simular manchas de alagamentos em vias urbanas na cidade de Uberlândia e concluiu que a metodologia utilizada é uma ferramenta eficaz a ser utilizada no planejamento dos sistemas de drenagem urbana.

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO RESERVATÓRIO**

Inicialmente, foi realizada uma análise da região para definir possíveis locais para a construção de reservatórios ao longo da avenida Rondon Pacheco. Foram priorizados locais de grande área e sem utilização aparente. Dada à intensa ocupação urbana adjacente à Avenida, as opções disponíveis são escassas.

Os terrenos entre as Ruas Coronel Antônio Alves Pereira e Tenente Virmondes, possuem uma vasta área não ocupada que poderia ser aproveitada, que é destacada na Figura 6 e Figura 7, em que a área disponível é aproximadamente 18.600m<sup>2</sup>. Esse local poderia armazenar a água proveniente de parte do centro de Uberlândia e da própria avenida Rondon Pacheco.

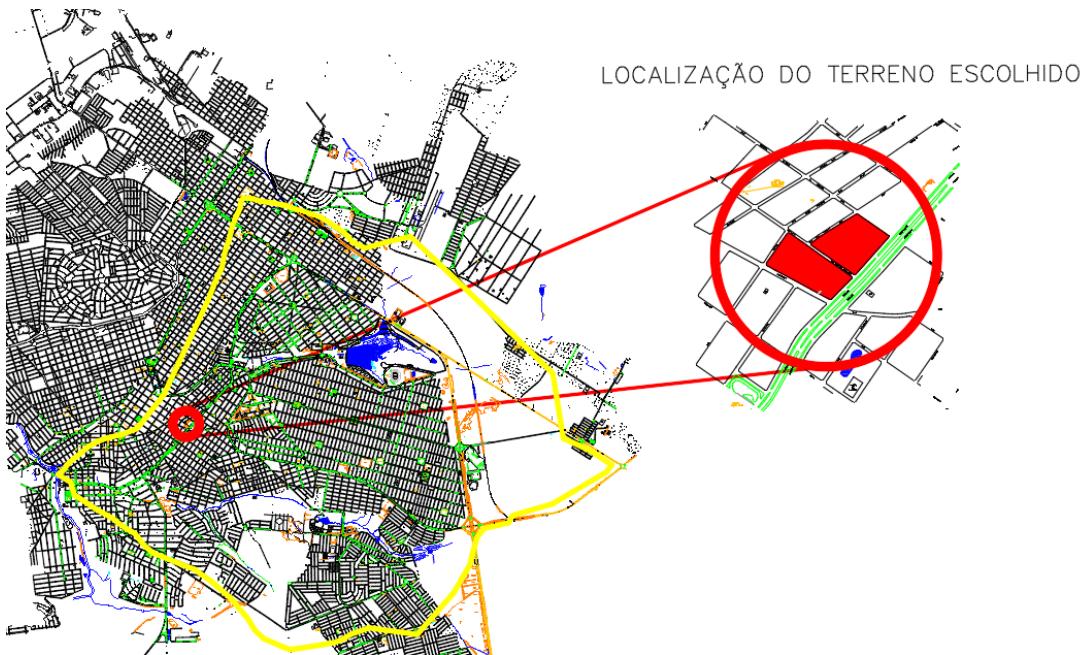


Figura 6 - Possível área para instalação de reservatório de contenção

Fonte: Autor (2025)



Figura 7 - Imagem área do terreno escolhido

Fonte: Google Earth (2025)

### 3.2 CONCEPÇÃO DO RESERVATÓRIO

Como foi descrito na seção de revisão bibliográfica, além de pensar na geometria do reservatório propriamente, é necessário pensar na utilidade do espaço no entorno, de modo que a população possa se aproveitar desse local. Assim, a dimensão do reservatório em planta não pode ocupar todo o terreno escolhido. Mesmo porque, à medida que se afasta da Avenida, o terreno se torna muito íngreme, fato que inviabiliza a locação do reservatório nesses setores.

Outra preocupação é a profundidade do reservatório, que é um fator diretamente proporcional ao volume útil armazenado, porém, a sua determinação precisa levar em conta o nível do lençol sob terreno e o custo de implantação do reservatório. Ademais, visando um melhor aproveitamento do reservatório, ele deverá permanecer vazio para que nos momentos de chuvas intensas todo seu volume seja aproveitado. Da mesma forma, se for formado espelho de água em decorrência do lençol freático, deve haver um desnível suficiente entre o nível de água e as cotas das soleiras vertedoras. Somente assim o volume disponível entre essas cotas permitirá acumulação parcial de água proveniente de avenida, funcionando como uma espécie de volume de espera. Como não há medidas locais do nível freático, mas o local encontra-se contíguo ao canal do córrego São Pedro, supõe-se que não adiantaria propor um reservatório profundo. Isso porque a formação de espelho de água perene, há poucos metros de profundidade, é uma hipótese factível.

A Figura 8 ilustra o formato definido para o reservatório, de modo que o terreno escolhido de aproximadamente 18.600m<sup>2</sup> terá 7220m<sup>2</sup> ocupados com a estrutura. O volume estimado que será contido no local é 19.454m<sup>3</sup>, considerando uma profundidade de 4 metros e a proporção de declividade dos taludes de 1:3. A cota de topo do reservatório escolhida foi de 816,0 metros, que é próxima a cota mais baixa da avenida ao lado do terreno escolhido.

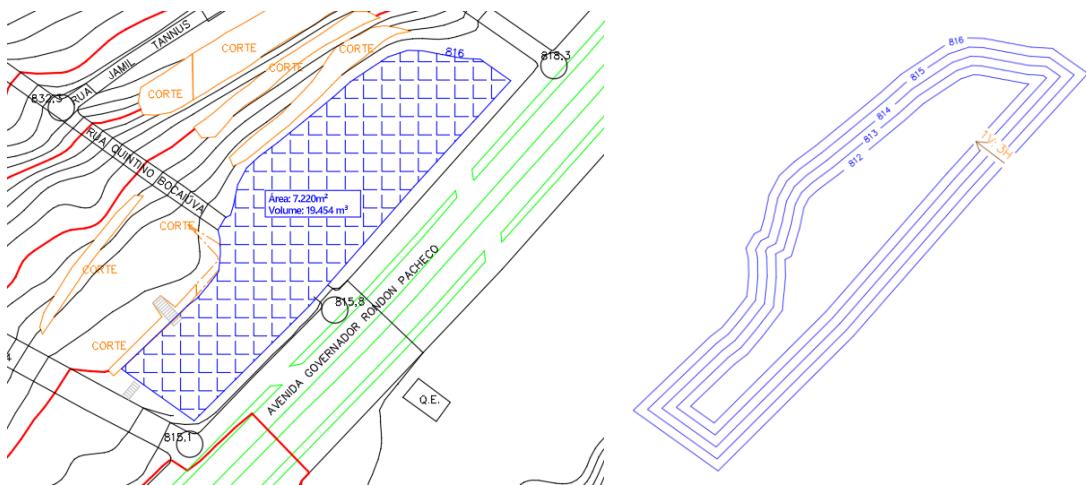


Figura 8 - Geometria proposta para o reservatório de detenção

Fonte: Autor (2025)

O gráfico presente na Figura 9 demonstra a variação do volume armazenado de acordo com a cota do nível de água. Trata-se de um reservatório de pequeno porte, cujo volume máximo *maximorum* seria equivalente ao de 8 piscinas olímpicas padrão (50m x 25m x 2m).

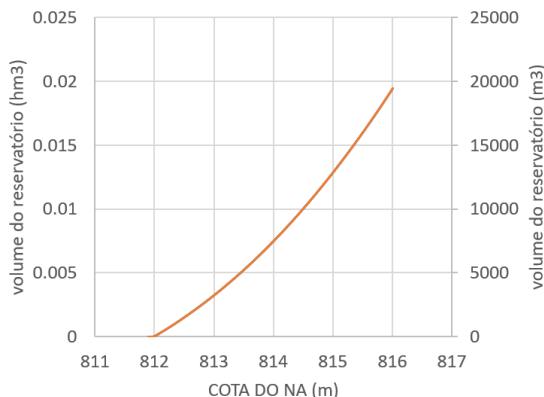


Figura 9 - Curva cota-volume do reservatório proposto

Fonte: Autor (2025)

### 3.3 DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA E MICROBACIAS

Para analisar a ocorrência de enchentes em um local é necessário definir de que forma a água pluvial chega até os locais com maior potencial de ocorrência de inundações ou de alagamentos. No caso deste estudo, a avenida Governador Rondon Pacheco atua como corpo de água principal, e as vias afluentes a ela como corpos secundários, que conduzem a água pluvial até o corpo principal. A ideia é que a Avenida se comporta como um rio efêmero, durante eventos de chuvas intensas.

Desse modo, cada rua afluente representa uma microbacia hidrográfica que deságua na Avenida Rondon Pacheco no ponto de cruzamento entre elas. Além disso, na área entre duas ruas pode haver outras microbacias que não têm um ponto em que a vazão se concentra, havendo uma contribuição distribuída ao longo da avenida. A Figura 10 ilustra essa divisão de microbacias ao longo da avenida.

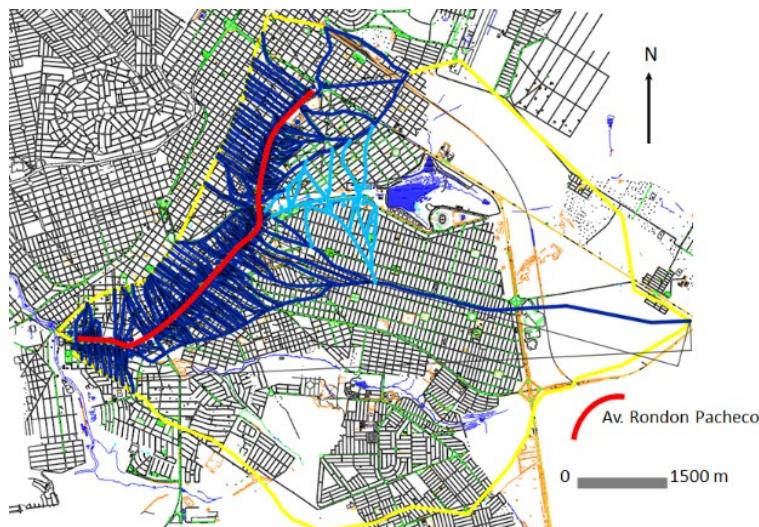


Figura 10 - Bacia de contribuição do córrego São Pedro (divisor amarelo) com suas micro-bacias (divisores azuis) ao longo da Avenida Governador Rondon Pacheco

Fonte: Autor (2025)

Cada microbacia foi identificada, com a numeração iniciando nos locais de maior altitude a montante e indo até a bacia mais a jusante da avenida, já próximo ao rio Uberabinha. Também cada bacia foi identificada com o nome da rua principal ou ruas adjacentes e se ela se localiza a direita ou esquerda da avenida, com a referência sendo do sentido do exutório do córrego São Pedro. Além disso, na figura 10 é possível notar uma grande sub-bacia na parte inferior do mapa, que representa a bacia hidrográfica do córrego Lagoinha e seu afluente córrego Mogi, que desaguam no trecho final do córrego São Pedro

Também foi subdividida a área no entorno da Avenida Anselmo Alves dos Santos, que representa a sub-bacia do córrego Jataí, um dos afluentes do córrego São Pedro. Essa divisão é indicada na Figura 11 e resultou em 15 microbacias.



Figura 11 - Subdivisão das bacias ao longo da Avenida Anselmo Alves dos Santos

Fonte: Autor (2025)

No total, foram definidas 194 áreas ao longo da Avenida Rondon Pacheco e 15 ao longo da Avenida Anselmo Alves dos Santos.

Foram extraídos dessas microbacias dados de comprimento axial, área, ponto mais alto, ponto mais baixo, dimensão da rede de drenagem, caso existente, e áreas permeáveis.

A obtenção dos dados de dimensão da rede de drenagem ocorreu por meio da sobreposição do mapa contendo as microbacias com o mapa de redes de drenagem pluvial de Uberlândia. Por exemplo, a Figura 12 ilustra para a microbacia de número 118, a posição das galerias de água pluvial sob a rua que encontra com a Avenida. Foram coletados o diâmetro do trecho final de cada galeria de rua ou avenida convergentes à Avenida Rondon Pacheco.

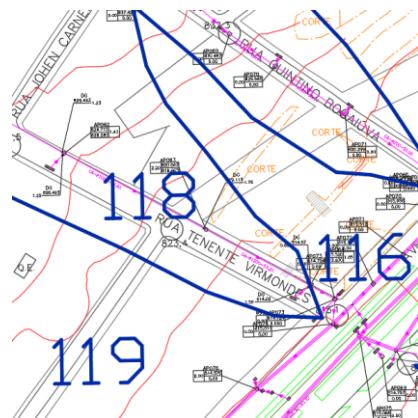


Figura 12 - Sobreposição do mapa dos sistemas de galerias de drenagem pluvial com o mapa base subdividido.

Fonte: Autor (2025)

As áreas permeáveis foram estimadas utilizando o software google Earth, onde os locais sem construções foram delimitados e posteriormente sobrepostos ao mapa com a divisão de microbacias, conforme a Figura 13. Além dessas áreas, foi considerado um mínimo de 10% de área permeável em todas as bacias, visto que de acordo com o manual de uso e ocupação do solo em Uberlândia (Prefeitura de Uberlândia, 2011), na maior parte da região analisada é requerido uma taxa de área permeável mínima em cada terreno.



Figura 13 - Sobreposição das áreas permeáveis grandes com o mapa base subdividido.

Fonte: Autor (2025)

Os dados de altitude mais alta e mais baixa, comprimento, área e declividade foram obtidos diretamente pelo arquivo .dwg, e organizados em planilha eletrônica junto com todas as informações necessárias.

Visando avaliar com mais precisão o impacto do reservatório proposto, nesse trabalho foram consideradas, para gerar vazões, as microbacias localizadas a montante do reservatório e que efetivamente podem causar impacto nele. Assim, as simulações partem da imposição de um hietograma de precipitação nessas microbacias de montante. Considerando isso, também serão desconsideradas as vazões das regiões que desaguam no lago do Parque do Sábia. Isso porque o reservatório do parque do Sábia amortece cheias provindas dessas áreas, introduzindo a vazão de saída diretamente no canal subterrâneo da Av. Anselmo Alves dos Santos. Então, essa parcela de água, amortecida pelo reservatório do Parque do Sábia, não escoa superficialmente pela referida Avenida e, consequentemente, será veiculada pelo canal subterrâneo da Avenida Rondon Pacheco. Não causará alagamentos no local. A Figura 14 ilustra a região que irá contribuir com vazões de escoamento superficial para o alagamento. Essa área possui aproximadamente 11km<sup>2</sup>.

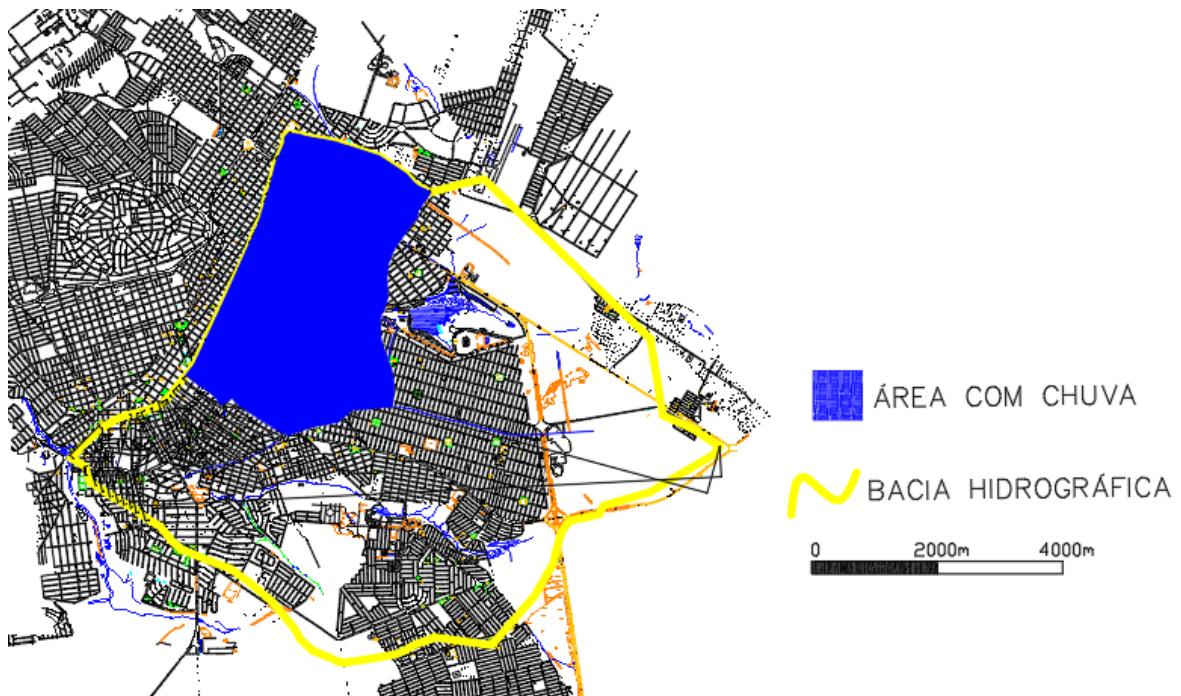


Figura 14 - Área de contribuição para o escoamento superficial.

Fonte: Autor (2025)

### 3.4 MODELAGEM DO TERRENO

Para realizar esse estudo, inicialmente foi necessário gerar um modelo numérico do terreno (MNT) que representasse toda a área da bacia de contribuição do córrego São Pedro, que está localizado sob a Avenida Governador Rondon Pacheco. Esse modelo foi feito a partir de um mapa planialtimétrico da cidade de Uberlândia no formato DWG, em que foram extraídas informações de localização e altitude dos pontos sobre as curvas de nível espaçadas em 1 metro cada e essas informações foram armazenadas em uma planilha eletrônica.

Os dados dos pontos representativos do relevo da região foram transformados em um modelo 3D do terreno por meio de interpolação realizada no software “SURFER 10”. Essa interpolação utilizou o método de Kriging geral aplicado de 5 em 5 metros, e tem o resultado apresentado na Figura 15.

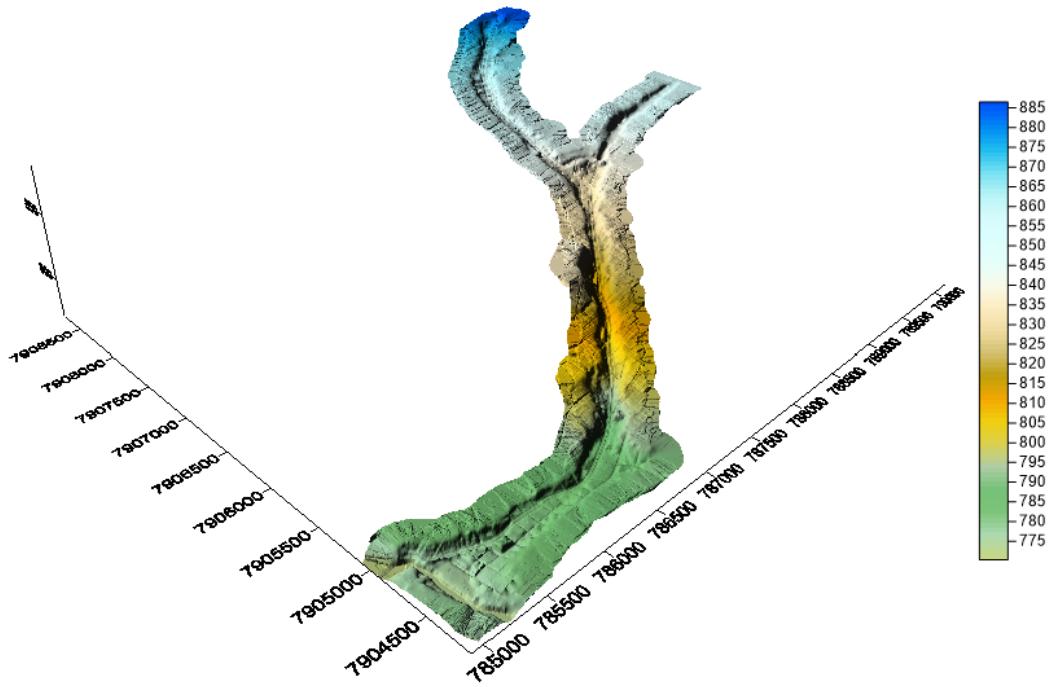


Figura 15 - Modelo Numérico de Terreno gerado.

Fonte: Autor (2025)

Nota-se que o modelo representa com considerável precisão o terreno do local de estudo, sendo de fácil reconhecimento locais como a própria avenida Rondon Pacheco e a avenida Anselmo Alves dos Santos. Percebe-se que a Rondon Pacheco apresenta um desnível total de aproximadamente 110 m entre o ponto mais alto (entre o Teatro Municipal e a BR-365) e o ponto mais baixo (confluência com o rio Uberabinha, próxima do Praia Clube). Na vizinhança dos pontos de cotas baixas, nota-se visual espraiamento do relevo. Esse aspecto morfológico, somado com o acúmulo de vazões, tornam esse setor um dos mais vulneráveis aos alagamentos. Essa conjectura, constatada na prática, também será confirmada pelos resultados da simulação, conforme se verá no capítulo seguinte.

O MNT gerado nesse momento representa apenas o relevo natural da região, não contendo singularidades que interferem consideravelmente no escoamento superficial de água pluvial nas cidades urbanizadas, portanto foi necessário modelar o terreno para buscar torná-lo mais semelhante à realidade, incluindo no MNT as calhas das avenidas principais e os trechos a jusante das avenidas e ruas que desaguam na avenida Rondon Pacheco. Isso

é necessário para que o HEC-RAS enxergue a conformação das calhas da avenida Rondon Pacheco e das ruas confluentes.

Sobrepondo um mapa contendo informações planialtimétricas a um mapa de base com as avenidas e estruturas urbanas como canteiros centrais, foram coletadas as coordenadas dos pontos no leito carroçável em toda a extensão da avenida Rondon Pacheco e Anselmo Alves dos Santos, para que esses pontos fossem modelados de forma que fosse criada a calha das ruas. A Figura 16 mostra como foram demarcados esses pontos, que são representados pela região vermelha.



Figura 16 - Digitalização de pontos ao longo do leito da Avenida.

Fonte: Autor (2025)

O procedimento de correção do MNT inicial foi realizado por uma macro que retira os pontos do MNT original, que estão na zona dos pontos vermelhos. Esses pontos são retirados e substituídos por pontos vermelhos, rebaixados em 20 cm para representar o desnível entre o meio fio e o leito carroçável. Com isso, um novo MNT é gerado, de forma que as calhas das vias são reconhecidas.

### 3.5 CHUVA DE PROJETO

Nos últimos anos frequentemente ocorrem chuvas intensas na cidade de Uberlândia e que causam enchentes na avenida Governador Rondon Pacheco. No dia 24/11/2024 houve uma enchente que resultou na morte de uma mulher, que é ilustrada na Figura 17. De acordo com a reportagem G1 (2024), a prefeitura informou que a chuva teve um volume de 50mm em apenas 30 minutos. Devido à alta intensidade e pela repercussão que essa precipitação obteve, será considerada como a chuva de projeto para realizar as simulações.



Figura 17 - enchente que causou a morte de uma mulher na Avenida Governador Rondon Pacheco

Fonte: G1 (2024)

O tempo de retorno de uma chuva pode ser definido por uma equação I-D-F (intensidade, duração e frequência). Utilizando equações definidas para a cidade de Uberlândia, é possível estimar o tempo de retorno da Chuva ocorrida no dia 24/11/2024. Francischet (2011) propõe a Equação 1 para esse cálculo, em que  $t$  é o tempo de duração da chuva em minutos,  $T$  o tempo de retorno em anos e  $I$  a intensidade em mm/min.

$$I = \frac{35,576 * T^{0,179}}{(t+16)^{0,879}} \quad (1)$$

Considerando a intensidade adotada de 50mm em 30 minutos, tem-se que  $I = 1,667$  mm/min e  $t = 30$  minutos, substituído na equação tem-se que o tempo de retorno estimado para a chuva de projeto considerada é de aproximadamente 5,48 anos.

Justino (2003) propôs a Equação 2, que utilizando os mesmos valores definidos anteriormente indica um tempo de retorno de 5,35 anos.

$$I = \frac{28,97 * T^{0,159}}{(t+14)^{0,825}} \quad (2)$$

Ambas as equações utilizadas indicam um tempo de retorno de 5 anos e alguns meses, demonstrando que a chuva escolhida para esse estudo não é tão rara, apesar do grande impacto que ela pode causar.

### 3.6 EFICIÊNCIA DAS GALERIAS

A vazão escoada em cada via contribuinte à avenida Rondon Pacheco eventualmente pode ser direcionada para galerias que compõem o sistema de drenagem urbana caso existente no local, desse modo, é importante definir a eficiência desse sistema de galerias em cada microbacia, para determinar se o escoamento ocorre superficialmente ou dentro das galerias de água pluvial.

Parte-se do princípio de que o escoamento capturado por bocas de lobo será integralmente conduzido pelas galerias até o córrego São Pedro, canalizado sob a avenida Rondon Pacheco. Assim, a outra parcela não capturada é o escoamento superficial que atingirá o leito carroçável da avenida Rondon Pacheco, impulsionando os eventos de alagamentos que se deseja simular.

A partir da sobreposição de um mapa com a localização do sistema de drenagem de Uberlândia com o mapa base da cidade, indicado parcialmente na Figura 18, é possível perceber quais ruas e avenidas possuem sistema de drenagem de bocas de lobo e galerias em seu trecho final. A eficiência dessas galerias foi estimada de acordo com dados da galeria (diâmetro e declividade) no trecho final de cada rua ou avenida, próximo da interseção com a avenida Rondon Pacheco. Essa estimativa foi feita pelo programa STORMFLOWZ, que foi utilizado para transformação chuva-vazão.

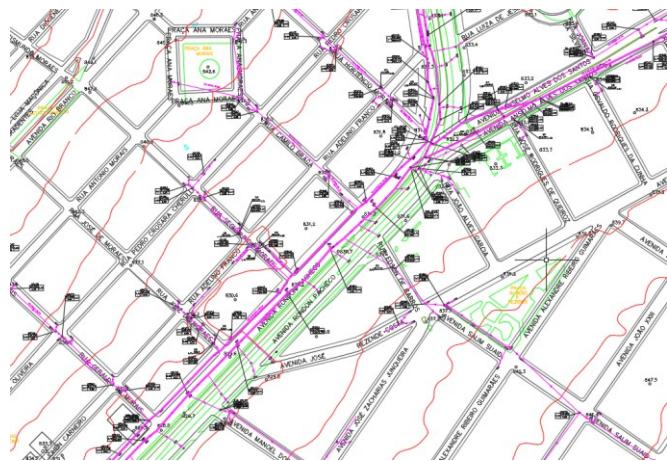


Figura 18 - Sobreposição do mapa de galerias de drenagem com o mapa base de Uberlândia.

Fonte: Autor (2025)

### 3.7 TRANSFORMAÇÃO CHUVA-VAZÃO

Para analisar o impacto de chuvas concentradas, foram gerados os hidrogramas para cada microbacia delimitada com a utilização de uma planilha eletrônica desenvolvida por Alamy Filho. Trata-se do modelo STORMFLOWZ, com planilhas e formulários comunicantes com macros do Excel.

Inicialmente foi calculado o hietograma para a chuva de projeto determinada de 50 milímetros em 30 minutos e considerando a distribuição temporal HUFF 1, que supõe que o momento de maior precipitação é nos primeiros 25% do tempo total de chuva. Além disso foi considerado uma discretização temporal de 1 minuto e tempo total de alagamento de 120 minutos.

Após definir o hietrograma é calculado o hidrograma, que tem como dados de entrada a área, porcentagem de área impermeável, comprimento axial, declividade média, CN, diâmetro do trecho final de galeria, coeficiente de Manning e fator de redução das bocas de lobo. Calcula-se a vazão de pico gerada na microbacia e a capacidade de condução da eventual galeria. Nesse caso, a capacidade da galeria foi fixada com lâmina de 90% do diâmetro. A relação entre essa vazão (calculada pela equação de Manning) e a vazão da microbacia (calculada pelo modelo hidrológico Santa Bárbara) foi considerada a fração de água capturada pelas galerias (eficiência das galerias). A outra fração é de escoamento superficial. Esta última será introduzida na superfície da avenida Rondon Pacheco.

As variáveis de área, comprimento e declividade foram obtidas através de medições do mapa base da cidade. O CN adotado foi de 90, visto que no geral a área total analisada é densamente urbanizada. O coeficiente de Manning adotado foi de 0,013, considerando que o material utilizado nas galerias de água pluvial é concreto.

Com esses dados, a planilha calcula o tempo de concentração por 5 métodos (Kirpich adaptado para áreas urbanas, SCS lag, Schaake, FAA e Desbordes) e a média entre eles. Para a geração dos hidrogramas foi considerado o tempo de concentração mais coerente entre os 5 métodos, considerando o comprimento e declividade de cada área dividida.

Definido o tempo de concentração é possível gerar os hidrogramas contendo as descargas de volume total gerado, infiltrado, captado pelas bocas de lobo e escoado superficialmente. A descarga volumétrica escoada superficialmente pela microbacia é o que irá contribuir diretamente com a formação das enchentes, sendo esse dado utilizado como entrada nas simulações dos alagamentos.

### **3.8 SIMULAÇÃO DOS ALAGAMENTOS**

#### **3.8.1 Condições de Contorno**

Após gerar o modelo de terreno e os hidrogramas de entrada é possível programar os parâmetros da simulação no software HEC-RAS 2D. Com o modelo de terreno carregado no programa é necessário ajustar dados geométricos, como definir a área em que será calculado as informações da onda de cheia e as condições de contorno dessa área.

A “flow area” ou área de escoamento representa a região em que o software realizará os cálculos para definir os parâmetros do alagamento. Nesse trabalho essa área foi delimitada ao longo da avenida Rondon Pacheco e parte da avenida Anselmo Alves dos Santos, incluindo as regiões próximas que são sabidamente mais afetadas pelos alagamentos,

como é ilustrado pela Figura 19 pelo contorno em azul. Ademais, foi realizada a digitalização dessa área, utilizando uma malha quadriculada de 2x2 metros, de modo que cada quadrículo representa uma célula que terá os dados do alagamento calculados individualmente pelo programa.

Também foram definidas as condições de contorno da simulação, que abrangem as entradas de vazão e as saídas de vazão. As entradas foram introduzidas em cada microbacia de acordo com a vazão calculada e a saída foi definida como sendo no rio Uberabinha. Na Figura 20, uma parcial dessas condições de contorno são representadas pelos números em vermelho e a área de escoamento pela malha quadriculada.



Figura 19 Delimitação da área de escoamento.

Fonte: Autor (2025)

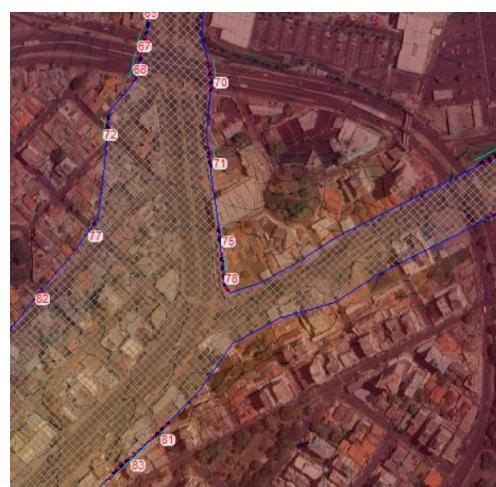


Figura 20 - Região delimitada para ser a zona em que ocorre a simulação.

Fonte: Autor (2025)

### 3.8.2 Modelagem do Reservatório

Para representar o reservatório de contenção proposto de maneira mais fidedigna, o modelo numérico de terreno desenvolvido anteriormente foi modificado, na região próxima das ruas Cel. Antônio Alves, Quintino Bocaiúva e Tenente Virmondes, para considerar o relevo do reservatório, conforme ilustrado na Figura 21. Essa estrutura fica contígua à avenida Rondon Pacheco, funcionando como um reservatório off-line.

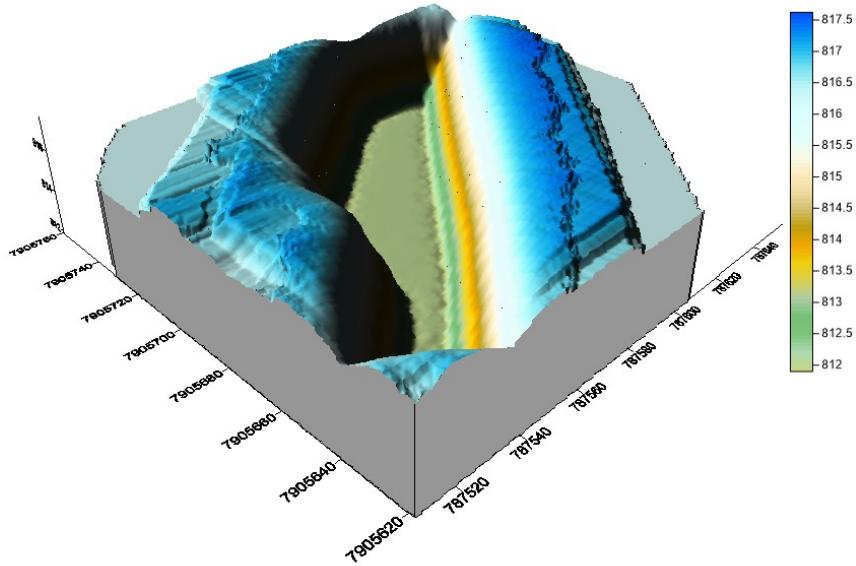


Figura 21 - Modelagem do reservatório no modelo numérico de terreno.

Fonte: Autor (2025)

No programa utilizado para as simulações, assim como foi contornada a área de alagamento, a área do reservatório deve ser contornada, conforme a Figura 22, sendo a área em azul o reservatório. Essa é a “storage area”, área de armazenamento utilizada pelo HEC-RAS.



Figura 22 - Delimitação da área do reservatório e estruturas de entrada e saída de vazão.

Fonte: Autor (2025)

Além do contorno foram introduzidos dados de cota-volume do reservatório, alguns desses dados estão presentes na tabela 1.

Tabela 1: Informações de cota-volume do reservatório introduzidos no software HEC-RAS.

Cota (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
811,9	0
813,018	3.315
814,012	7.552
815,007	12.918
816,001	19.454

Fonte: Autor (2025)

### 3.8.3 Modelagem das Estruturas de Conexão

Para os fins deste estudo, as estruturas de conexão que permitirão os fluxos de entrada e saída de água do reservatório serão simplificadas, visando estabelecer simplesmente o impacto da retenção de um determinado volume de água nos impactos de um alagamento nos trechos a jusante do reservatório.

#### 3.8.3.1 Estrutura de Entrada

Para permitir o fluxo de água da avenida até o reservatório de contenção foi modelada uma estrutura de conexão do tipo “gate” no software HEC-RAS. Inicialmente, foi traçado o eixo central da estrutura, entre o reservatório e a área de alagamento, de modo que esse eixo central ficasse na mesma distância do leito carroçável da avenida e da borda superior do reservatório, conforme é possível perceber na vista superior da Figura 23.



Figura 23 - Estruturas de entrada de vazão no reservatório.

Fonte: Autor (2025)

As estruturas que conduzirão a água de um ponto até o outro propriamente, foram estabelecidas no formato retangular, com largura de 5 metros e altura de 0,15 metros e cota de acordo com o nível das células da área de alagamento, de modo que a estrutura de conexão ficasse o mais próximo possível da base da célula e possa captar a água do alagamento mesmo que as profundidades do fluxo superficial sejam baixas. Na Figura 24, é possível notar 7 dessas estruturas descritas e as linhas que representam a base das células citadas.

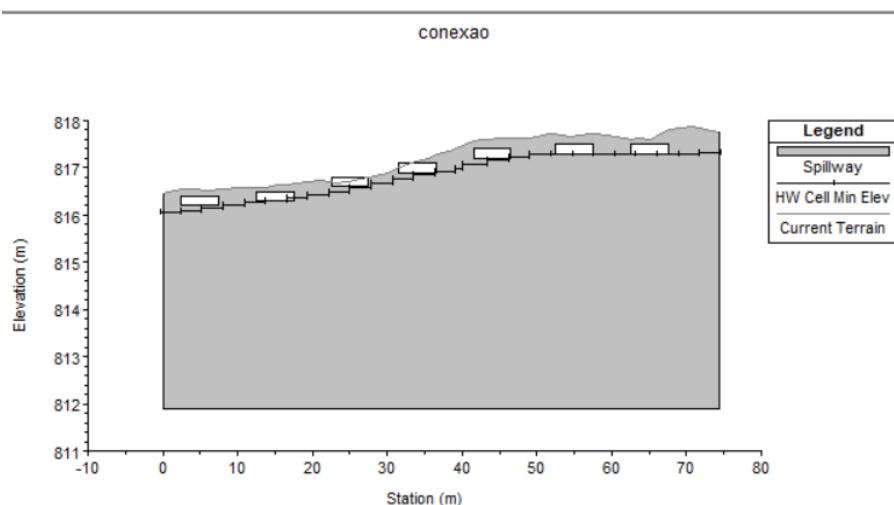


Figura 24 - Detalhamento das dimensões e posição das estruturas de entrada de vazão no reservatório.

Fonte: Autor (2025)

Além disso, foram introduzidas diretamente no reservatório a vazão de microbacias dos bairros Centro e Lídice, relacionadas com as ruas próximas do terreno em que foi instalado o reservatório: Cel. Antônio Alves, Quintino Bocaiúva e Tenente Virmondes.

### 3.8.3.2 Estrutura de Saída

A estrutura de saída foi implementada com uma conexão do tipo “gate”, porém com largura de 3 metros e altura de 0.5 metros, conforme ilustrado na Figura 25. A cota de base dessa conexão foi de 815,5 metros, pois o programa não permite que essas estruturas fiquem abaixo da base das células a que estão conectadas.

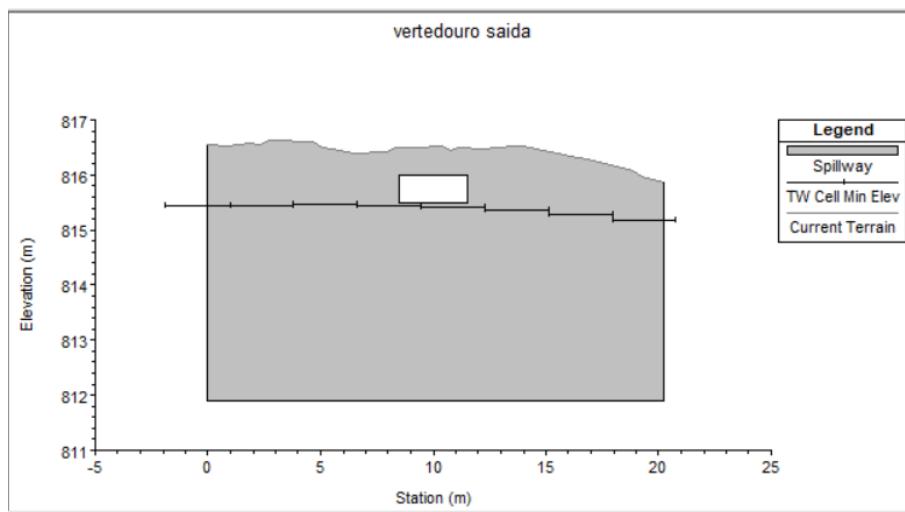


Figura 25 - Detalhamento da estrutura de saída de vazão do reservatório.

Fonte: Autor (2025)

Supõe-se que essa estrutura de descarga conecta o reservatório diretamente com o canal subjacente à avenida Rondon Pacheco. Dessa forma, o hidrograma de saída, amortecido, não é descarregado superficialmente, não sendo introduzido sobre o leito carroçável da avenida Rondon Pacheco.

### 3.8.4 Configuração de Tempo da Simulação

O software HEC-RAS 2D permite realizar simulações com uma grande variedade de intervalos de tempos entre os cálculos, variando de 0,1 segundos até 1 dia, sendo quanto menor esse intervalo, teoricamente mais minuciosa e precisa a simulação. Porém, ao estabelecer um intervalo muito pequeno o tempo total da simulação se torna muito extenso e há um maior gasto computacional. Nessa simulação, foi considerado um intervalo de 1 segundo entre os cálculos, que é um intervalo que proporciona precisão

para uma simulação de alagamento de grande proporção e é viável de ser realizado considerando o tempo total gasto em uma simulação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas duas simulações que terão seus resultados analisados, uma com o reservatório de detenção e outra sem, com todas as outras condições iguais. Para comparar as duas situações, serão considerados os dados de profundidade em tempos iguais de simulação nos mesmos locais definidos, além de comparar o momento de máximas profundidades de acordo com o software.

### 4.1 HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS

Antes de analisar os resultados das simulações de alagamento, é importante verificar os hidrogramas gerados para as microbacias delimitadas. A microbacia número 9 que deságua na avenida Rondon Pacheco, referente a avenida Benjamin Magalhães é ilustrada na Figura 26.

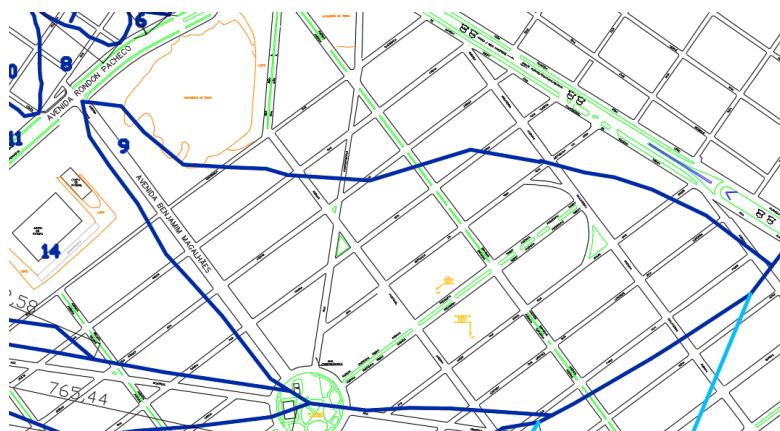


Figura 26 Microbacia número 9 relacionada a avenida Rondon Pacheco

Fonte: Autor (2025)

Essa microbacia possui área de 0,38 km<sup>2</sup>, comprimento axial de 1012,55 metros, declividade de 0,051 metro/metro, taxa de impermeabilidade de 90% e não possui rede de galerias para água pluvial. O hidrograma e hietograma referente a microbacia 9 são representados na Figura 27. No gráfico, são indicadas a altura pluviométrica (P) a cada minuto de precipitação e as vazões (Q) geradas por essa chuva. Para a microbacia analisada, a vazão gerada se transforma majoritariamente em fluxo superficial.

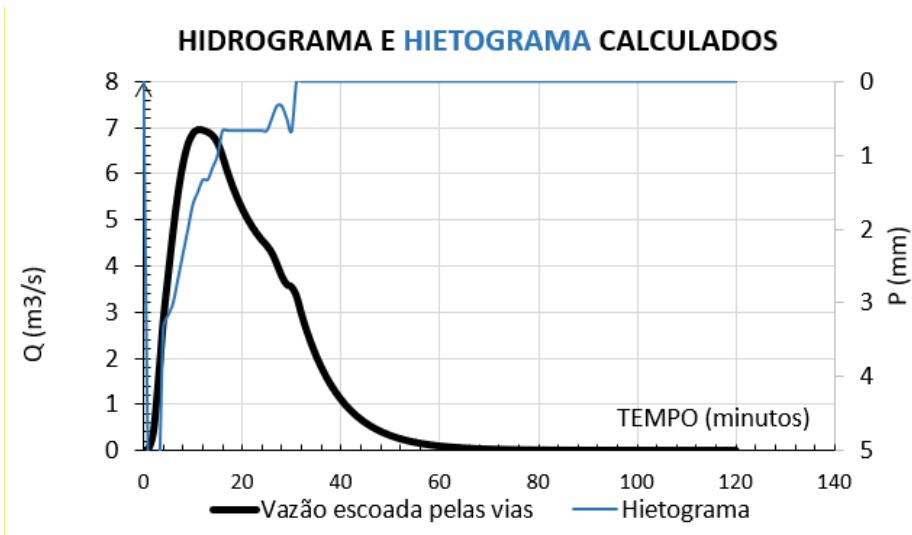


Figura 27 Hietograma e Hidrograma referente a Avenida Benjamin Magalhães

Fonte: Autor (2025)

Já a microbacia número 7 que deságua na Avenida Anselmo Alves dos Santos, referente a Avenida Suiça é representada na Figura 28. Essa microbacia possui área de 0,22 km<sup>2</sup>, comprimento de 798,51 metros, declividade de 0,058 metro/metro, taxa de impermeabilidade de 90% e sistema de galerias para água pluvial de 1000 milímetros de diâmetro.



Figura 28 Microbacia número 7 relacionada a Avenida Anselmo Alves dos Santos

Fonte: Autor (2025)

O hietograma e hidrograma gerado para a microbacia 7, referente a Avenida Suiça, são representados na Figura 29. No gráfico, é possível notar como a presença da rede de

drenagem nessa microbacia afetou os resultados quando comparado com uma microbacia sem esse sistema. A vazão escoada pelas vias é apenas uma pequena parcela da vazão total gerada na bacia, e a maior parte da vazão gerada foi destinada a galeria de água pluvial segundo o modelo utilizado para gerar o hidrograma.

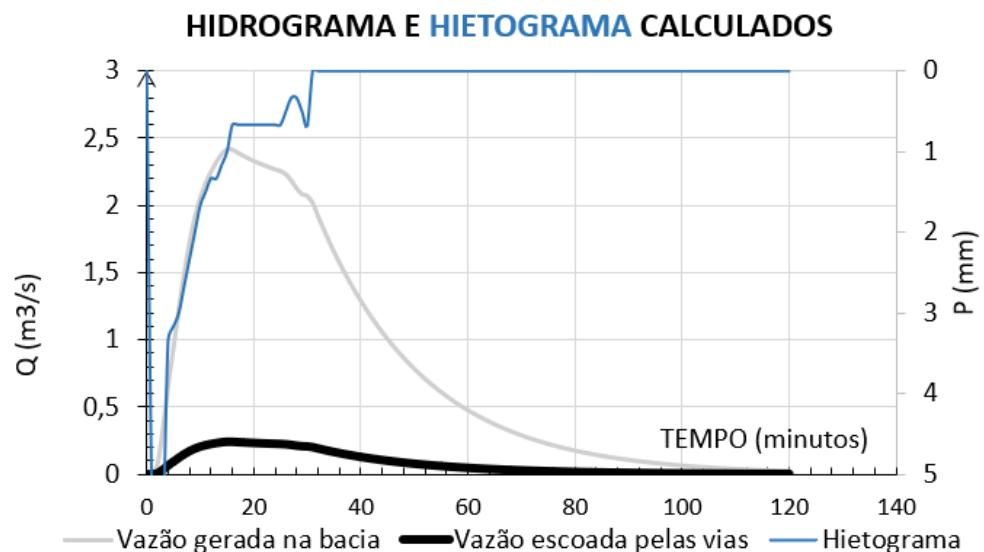


Figura 29 Hietograma e Hidrograma gerado para a microbacia referente a avenida Suiça

Fonte: Autor (2025)

#### 4.2 RESULTADOS GERAIS – COM RESERVATÓRIO

Inicialmente, destaca-se o gráfico da variação da cota do nível de água do reservatório, que indica um enchimento muito rápido no momento de maiores vazões da onda de cheia, demonstrando que efetivamente foi retirado um grande volume de água da avenida na simulação, conforme indica a Figura 30. O reservatório atingiu seu nível máximo no minuto 41, com 4,6m de profundidade e após isso teve uma queda até o minuto 75.

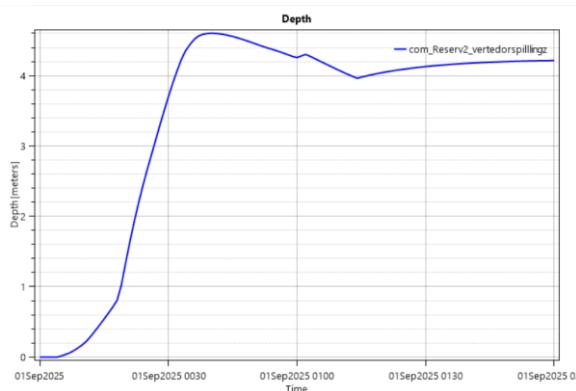


Figura 30 - Variação da profundidade máxima do reservatório ao longo da simulação.

Fonte: Autor (2025)

A onda de cheia chegou ao exutório da bacia do córrego São Pedro, junto ao rio Uberabinha, em aproximadamente 33 minutos de simulação. As profundidades instantâneas nesse minuto são representadas na Figura 31. É possível notar que há alguns pontos já bastante afetados pelo alagamento, com profundidades superando 1 metro de profundidade.



Figura 31 - Profundidades de alagamento quando a onda de cheia chega ao exutório (instante 33 minutos após início da precipitação) – com reservatório

Fonte: Autor (2025)

#### 4.3 RESULTADOS GERAIS – SEM RESERVATÓRIO

A simulação sem o reservatório apresentou uma onda de cheia levemente mais veloz, atingindo o exutório em 32 minutos de simulação, nesse instante conforme ilustra a Figura 32, a avenida e os locais adjacentes também tendem a apresentar consideráveis profundidades de alagamento. Visualmente, a área impactada pela mancha de alagamento é ligeiramente maior quando comparada com a simulação com reservatório.



Figura 32 - Profundidades de alagamento quando a onda de cheia chega ao exútorio (instante 32 minutos após início da precipitação) – sem reservatório.

Fonte: autor (2025)

Uma triste evidência pode ser sentida: o reservatório de detenção é insuficiente para conter alagamentos nas adjacências do baixo curso do São Pedro, obviamente considerando chuvas muito intensas, como a de 100 mm/h utilizada como a de projeto (verificação).

#### 4.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES

Para comparar mais precisamente as duas situações, serão utilizados gráficos gerados pelo software que indicam a profundidade instantânea de pontos específicos. Na Figura 33, são demarcados 3 pontos que serão analisados e abaixo na Figura 34 os gráficos gerados para cada um deles em ambas as situações.



Figura 33 - Indicação dos pontos de referência para comparar as simulações.

Fonte: Autor (2025)

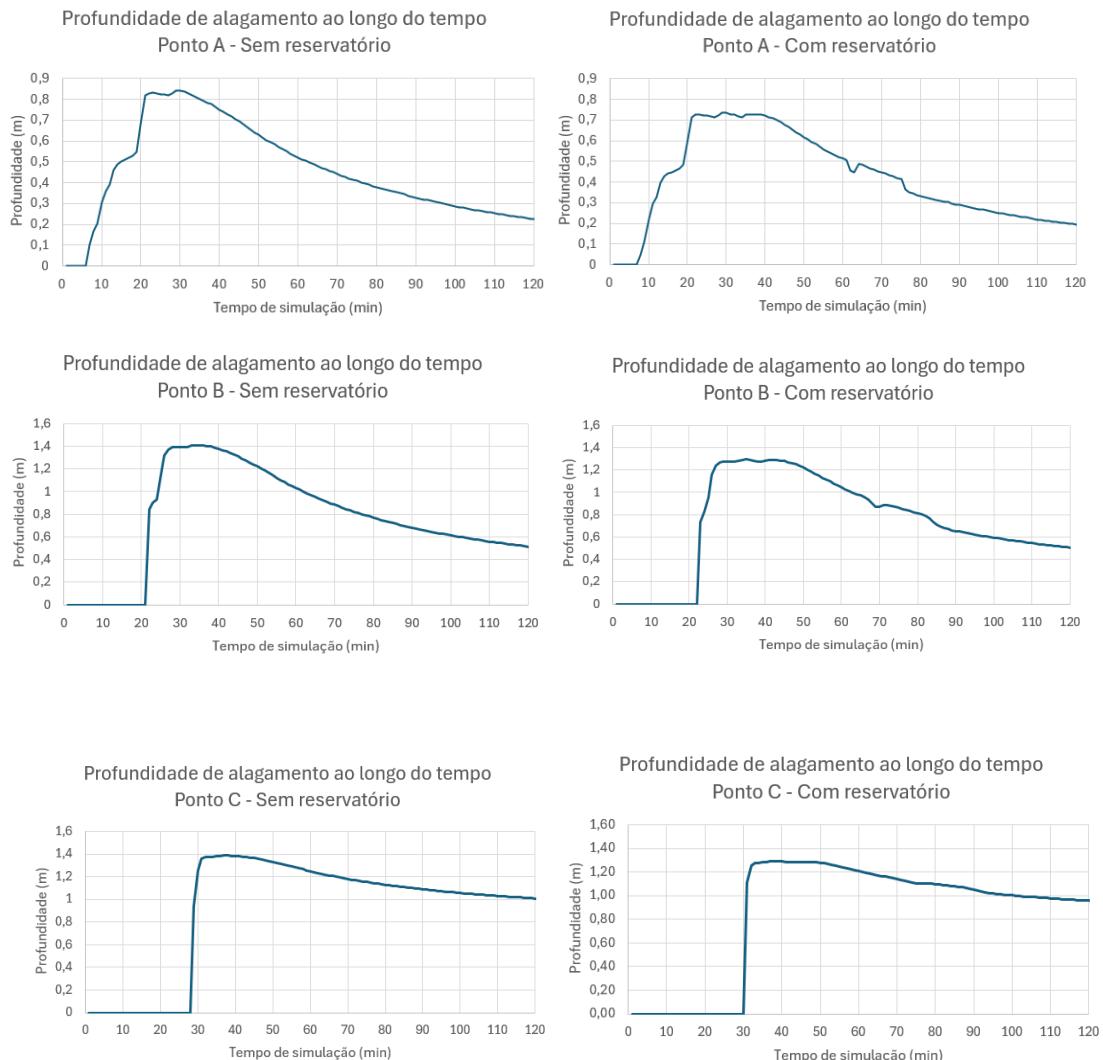


Figura 34 Gráficos comparativos da profundidade de alagamento nos pontos designados.

Fonte: Autor (2025)

Os gráficos indicam que as profundidades máximas foram atingidas rapidamente na passagem da onda de cheia e na simulação sem reservatórios elas foram sutilmente maiores. Para a simulação sem reservatórios, as profundidades máximas indicadas são 0,84 metros; 1,41 metros e 1,39 metros nos pontos A,B e C respectivamente. Já na simulação com reservatórios, as máximas profundidades indicadas foram 0,74 metros; 1,29 metros e 1,29 metros.

Comparando os valores, no ponto A a profundidade máxima teve uma redução de 12,0%, no ponto B uma redução de 8,5% e no ponto C uma redução 7,2%

Além disso, no momento de queda de vazão da onda de cheia, é possível notar que os gráficos da simulação com reservatório acusam variações de profundidade em

decorrência da interferência do reservatório no sistema, porém essas variações são mínimas.

Ainda sobre os momentos posteriores ao de maior vazão, a simulação com reservatório se manteve com profundidades levemente menores em comparação com a simulação sem reservatórios nos pontos A e B, mas no ponto C ambas as simulações finalizaram o período de 2:00 horas com uma profundidade de 1,00 metro aproximadamente.

#### **4.5 DISCUSSÕES**

Tendo em vista os resultados obtidos, seria necessário a retenção de um volume consideravelmente maior de água pluvial para se ter uma redução efetiva nos impactos dos alagamentos na avenida Rondon Pacheco, sendo necessário aumentar consideravelmente as dimensões do reservatório proposto nesse trabalho ou ainda definir outros reservatórios.

Portanto, apesar de a simulação com o reservatório ter indicado uma redução das profundidades de alagamento, essa solução se mostra ineficiente considerando os altos custos de implantação e o baixo impacto que ela demonstrou, não sendo suficiente para reduzir os danos dos alagamentos causados por chuvas muito intensas, como a simulada.

Além disso, ficou evidente que o relevo da avenida Rondon Pacheco e regiões próximas favorece a formação de alagamentos, com a água escoada superficialmente se acumulando em certos locais por muito tempo. No ponto C por exemplo, na simulação sem reservatório, a água atingiu 1,39 metros de profundidade no momento mais crítico da onda de cheia entre 30 e 40 minutos de simulação e no final do tempo de estudo, no minuto 120, a profundidade nesse ponto ainda era de mais de 1,00 metro.

### **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO**

Ao analisar os resultados obtidos, verifica-se que o reservatório proposto não tem impactos suficientes na redução das profundidades dos alagamentos na avenida Rondon Pacheco para justificar a sua adoção como medida de combate aos problemas de drenagem urbana da região. Ele é insuficiente para abrandar as envoltórias de alagamento a jusante, considerando chuvas de intensidade muito alta (100 mm/h). Outras alternativas de controle de cheia na fonte deveriam ser implantadas em conjunto, como zonas de infiltração em praças, por exemplo, mas todas passíveis de testes.

Infelizmente apenas as sub bacias do córrego Lagoinha e Mogi são as que ainda dispõem de maiores áreas permeáveis remanescentes. E estas deságuam somente no baixo curso do córrego São Pedro. Por outro lado, as simulações indicaram que chuvas de elevada intensidade podem causar alagamentos mesmo não incidindo nessas duas sub bacias. Isso sugere que, diante do intenso nível de impermeabilização da bacia do córrego São Pedro, a alternativa mais tangível passa pela remediação do problema, atuando na microdrenagem dos bairros. Dessa forma, o aumento da capacidade de captação das bocas de lobo e o aumento da eficiência das galerias pode ser o caminho para desaguar mais água na galeria retificada do córrego São Pedro, aliviando as vazões de escoamento superficial, causadoras dos alagamentos. Obviamente, o funcionamento hidráulico dessa galeria também deve ser simulado previamente, de maneira a detectar sua real capacidade de condução.

A solução de usar reservatórios de detenção para reduzir os alagamentos na avenida estudada, necessitaria de ser capaz de reter um volume de água pluvial consideravelmente maior do que o considerado neste trabalho, o que traz desafios para a utilização dessas estruturas no contexto da cidade de Uberlândia, visto que há pouca disponibilidade de grandes áreas verdes inutilizadas ao longo da avenida Rondon Pacheco e a profundidade dos reservatórios é limitada pelo custo de implantação e pelo nível de água subterrâneo.

Portanto, se mostra necessário o desenvolvimento de outros métodos para reduzir os impactos dos desastres relacionados as chuvas torrenciais na cidade de Uberlândia. O desenvolvimento de um plano diretor de drenagem pluvial seria ideal para que sejam desenvolvidas medidas que a longo prazo iriam tornar a região mais preparada para resistir as chuvas intensas e medidas que a curto prazo reduzam os danos dos alagamentos.

## REFERÊNCIAS

G1. Censo do IBGE: com crescimento de quase 20%, Uberlândia é a cidade com maior aumento populacional em MG. *G1, Triângulo Mineiro*. 28 jun. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2023/06/28/censo-do-ibge-com-crescimento-de-quase-20-uberlandia-e-a-cidade-com-maior-aumento-populacional-em-mg.ghtml>. Acesso em: 23 jul. 2025.

G1. *Forte chuva atinge Uberlândia e causa alagamento em diversas ruas da cidade*. *G1 Triângulo Mineiro*. 16 jan. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2022/01/16/forte-chuva-atinge-uberlandia-e-causa-alagamento-em-diversas-ruas-da-cidade.ghtml>. Acesso em: 23 jul. 2025.

DIÁRIO DE UBERLÂNDIA. *Avenida Rondon Pacheco volta a ficar alagada após chuva em Uberlândia*. *Diário de Uberlândia*, Uberlândia, 28 set. 2024. Disponível em: <https://diariodeuberlandia.com.br/noticia/36743/avenida-rondon-pacheco-volta-a-ficar-alagada-apos-chuva-em-uberlandia>. Acesso em: 17 jun. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP*. Brasília, DF: INMET, 2025. Dados da estação automática de Uberlândia (Uberlândia A507). Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 15 set. 2025.

G1. *Avenida Rondon Pacheco: entenda por que é perigoso estar em uma das principais vias de Uberlândia quando há chuva intensa*. *G1 Triângulo Mineiro*, 1 dez. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2024/12/01/avenida-rondon-pacheco-entenda-por-que-e-perigoso-estar-em-uma-das-principais-vias-de-uberlandia-quando-ha-chuva-intensa.ghtml>. Acesso em: 23 jul. 2025.

G1. *Vídeo: mulher morre arrastada por enchente após forte chuva em Uberlândia*. *G1 Triângulo Mineiro*, 24 nov. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2024/11/24/video-mulher-morre-arrastada-por-enchente-apos-forte-chuva-em-uberlandia.ghtml>. Acesso em: 17 jun. 2025.

Uberlândia (MG). Lei Complementar nº 525, de 14 de abril de 2011. Lei de uso e ocupação do solo do Município de Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://www.uberlandia.mg.gov.br/prefeitura/secretarias/planejamento-urbano/documentacao-requerimentos/legislacao-e-modelos/>. Acesso em: 17 de jun. 2025.

ABREU, F. G. *Análise da influência da distribuição temporal das chuvas intensas e de cenários de uso e ocupação do solo na quantificação dos prejuízos econômicos diretos provocados pelas inundações urbanas*. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2013.

São Paulo (SP). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana*. Volume 1. São Paulo: SMDU, 2012. 168 p.

Associação Brasileira de Cimento Portland(ABCP). *Projeto técnico: Reservatórios de Detenção.* Coordenação Geral: Erika Mota. São Paulo: ABCP, s.d. Disponível em: [https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Proj\\_tec\\_reservatorios\\_det.pdf](https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Proj_tec_reservatorios_det.pdf). Acesso em: 23 jul. 2025.

Paraná. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA). *Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba - PR.* Versão 1.0. Curitiba: SUDERHSA, 2002.

Estados Unidos da América. Army Corps of Engineers. HEC-RAS River Analysis System: Verification and Validation Document (RD-52). Davis, CA: Hydrologic Engineering Center, 2016. Disponível em: [https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/RD-52\\_HEC-RAS%20Verification%20and%20Validation.pdf](https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/RD-52_HEC-RAS%20Verification%20and%20Validation.pdf). Acesso em: 3 jun. 2025.

MENDES, Rafaella da Silva Vieira. *Modelagem hidrológica e hidráulica de inundações na Avenida Governador Rondon Pacheco, Uberlândia-MG.* 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

JÚNIOR, Samuel Almeida Dutra. *Análise bidimensional de alagamentos em vias públicas utilizando modelagem hidrológica e hidráulica.* 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

VERGÜTZ, Laila Atyna Alves. *Análise da implantação de reservatórios de detenção na bacia São Pedro e modelagem hidrodinâmica da Avenida Rondon Pacheco.* 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

FRANCISCHET, Marcelo Martinelli; ALAMY FILHO, José Eduardo. *Equação de intensidade-duração-freqüência e distribuição temporal das chuvas intensas para o município de Uberlândia aplicadas na estimativa de vazões críticas geradas em lotes.* XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

JUSTINO, E. A. Estudo do controle do Escoamento superficial com o uso de Reservatório de Retenção na Bacia do Córrego Lagoinha, município de Uberlândia-MG. 183 p. Dissertação (Mestrado) –Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFU. Uberlândia, 2003.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, Aldo C.; BRAGA, Benedito P. F.; TUNDISI, José Galizia (org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.* São Paulo: Escrituras, 1999. cap. 14, p. 475–508.

FIGUEIREDO, Wanderley de Carvalho. Análise da eficiência de reservatórios de detenção na contenção de alagamentos na cidade de Natal. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

Serviço Geológico do Brasil. *Atlas Pluviométrico do Brasil: equações intensidade-duração-freqüência (desagregação de precipitações diárias).* Salvador: CPRM, 2019. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/20263>. Acesso em: 07 jul. 2025.

JUSTINO, Eliane Aparecida; PAULA, Heber Martins de; PAIVA, Ed Carlo Rosa. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. *Espaço em Revista*, Uberlândia, v. 13, n. 2, p. 16-38, jul./dez. 2011. ISSN 1519-7816.

CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem urbana e controle de enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.