

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS CAMPUS GOIÂNIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

EVELLYN MARTINS TELES

**DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE DETENÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS COM
BASE NO MÉTODO RACIONAL EM CONDOMÍNIO URBANO**

Goiânia, GO

2025

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Evellyn Martins Teles

Matrícula: 20191011050143

Título do Trabalho: Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional em condomínio urbano.

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

EVELLYN MARTINS TELES

**DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE DETENÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS COM
BASE NO MÉTODO RACIONAL EM CONDOMÍNIO URBANO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia/IFG,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Dálcio Ricardo Botelho
Alves

Goiânia, GO

2025

T269d Teles, Evellyn Martins.

Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional em condomínio urbano / Evellyn Martins Teles. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2025.

61 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Dálcio Ricardo Botelho Alves.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Drenagem urbana. 2. Águas pluviais - reservatório de retenção - Goiânia (GO). 3. Método racional. I. Alves, Dálcio Ricardo Botelho (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. III. Título.

CDD 628.14

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/ 2.266
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Na presente data realizou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulada **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional em condomínio urbano.**, sob orientação de Dalcio Ricardo Botelho Alves, apresentada pela aluna **Evellyn Martins Teles (20191011050143)** do Curso **Bacharelado em Engenharia Civil (Câmpus Goiânia)**. Os trabalhos foram iniciados às **13:30** do dia **29/08/2025** pelo Professor presidente da banca examinadora, constituída pelos seguintes membros:

- **Dalcio Ricardo Botelho Alves** (Presidente)
- **Gabriela Cristina Ribeiro Pacheco** (Examinadora Interna)
- **Matilde Batista Melo** (Examinadora Interna)

A banca examinadora, tendo terminado a apresentação do conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso, passou à arguição da candidata. Em seguida, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre o trabalho apresentado pelo aluno, tendo sido atribuído o seguinte resultado:

☒ [X] Aprovado

☐ [] Reprovado

Nota : 10,0

Observação / Apreciações:

A aluna foi aprovada com mérito.

Proclamados os resultados pelo presidente da banca examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu **Dalcio Ricardo Botelho Alves** lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

Documento assinado eletronicamente por:

- **Gabriela Cristina Ribeiro Pacheco** (032.465.281-01), em **02/09/2025 10:31:08** com chave **159fe1f2880111f0b334005056a537a4**.
- **Matilde Batista Melo** (711.721.141-53), em **02/09/2025 10:35:10** com chave **a5d0243a880111f0a71f005056a537a4**.
- **Dalcio Ricardo Botelho Alves** (574.303.576-87), em **02/09/2025 10:30:41** com chave **0579e80e880111f0b334005056a537a4**.

Este documento foi emitido pelo SUAP. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifg.edu.br/comum/autenticar_documento/ e informe os dados a seguir.

Tipo de Documento: Ata de Projeto Final

Data da Emissão: 02/09/2025

Código de Autenticação: cf1d48



DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, que foram meu
primeiro abrigo e meu maior alicerce,
e que me ensinaram que lar é muito
mais que paredes, é amor.*

RESUMO

O crescimento urbano tem intensificado os impactos ambientais, sobretudo devido ao aumento das áreas impermeáveis, o que agrava a ocorrência de enchentes e acelera o escoamento superficial. Este trabalho teve como objetivo dimensionar um reservatório de retenção para águas pluviais em um condomínio urbano hipotético localizado em Goiânia (GO), utilizando o Método Racional. O estudo considerou variáveis hidrológicas como período de retorno, tempo de concentração, intensidade pluviométrica e coeficiente de runoff, além de dados climáticos regionais e características do solo. Foram projetadas duas alternativas de reservatórios, um fechado e outro aberto, com volume estimado em 2.995,20 m³. Com base na Tabela SINAPI de junho de 2025, foi realizada uma análise comparativa dos custos de implantação e manutenção de ambas as soluções. O reservatório aberto apresentou menor custo de execução e maior viabilidade de aproveitamento multifuncional do espaço, enquanto o fechado demonstrou maior durabilidade e menor frequência de manutenção. Concluiu-se que ambas as opções são tecnicamente viáveis, sendo o reservatório aberto mais indicado para contextos urbanos com disponibilidade de área. O estudo também evidenciou que a adoção de soluções de retenção contribui para a mitigação de danos materiais decorrentes de inundações, promovendo uma gestão mais eficiente e sustentável das águas pluviais em áreas urbanizadas.

Palavras-chave: drenagem urbana; reservatório de retenção; Goiânia; impermeabilização; método racional.

ABSTRACT

Urban growth has intensified environmental impacts, especially due to the expansion of impervious areas, which increases the occurrence of floods and accelerates surface runoff. This study aimed to design a detention reservoir for stormwater management in a hypothetical urban condominium located in Goiânia (GO), using the Rational Method. The analysis considered hydrological variables such as return period, time of concentration, rainfall intensity, and runoff coefficient, along with local climatic and soil data. Two reservoir models were proposed—closed and open—with an estimated volume of 2,995.20 m³. Based on the SINAPI cost database (April 2025), a comparative analysis was conducted on construction and maintenance costs for both alternatives. The open reservoir showed lower implementation costs and greater potential for multifunctional land use, while the closed option demonstrated longer durability and reduced maintenance frequency. The study concluded that both alternatives are technically feasible, with the open reservoir being more suitable for urban areas with available space. Additionally, the adoption of detention solutions proved to be effective in mitigating flood-related damages, contributing to more efficient and sustainable stormwater management in urban settings.

Keywords: urban drainage; detention reservoir; Goiânia; impervious areas; rational method.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico do crescimento populacional em Goiânia	17
Figura 2 - Delimitação da Área de Estudo	34
Figura 3 - Áreas não ocupadas do residencial.....	35
Figura 4 – Comprimento da Talvegue	36
Figura 5 – Posicionamento típico de bocas de lobo (BL) e poços de visita (PV) na rede de drenagem	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Precipitação Média Anual do Município de Goiânia (1979-2023) .	25
Quadro 2 - Valores de CN para bacias urbanas.	28
Quadro 3 - Valores do Coeficiente c (ASCE, Manual nº37).....	32
Quadro 4 - Delimitação de áreas desocupadas.....	35
Quadro 5 – Tabela de áreas.do estudo	36

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Justificativa	13
1.2	Objetivos.....	14
1.2.1	Objetivo Geral.....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Drenagem Urbana: Desenvolvimento e Desafios	16
2.2	Diretrizes Nacionais e Legislações sobre Drenagem Urbana.....	18
2.3	Gestão de Drenagem Urbana no Centro-Oeste Brasileiro.....	19
2.4	Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e Técnicas Compensatórias.....	20
2.5	O Método Racional: Origem, Benefícios e Metodologia	21
2.6	Reservatórios de Contenção de Cheias: Classificação, Tipos e Viabilidade Técnica e Econômica	22
2.7	Conceitos Preliminares Importantes no Dimensionamento de Bacias de Detenção.....	23
3	METODOLOGIA	25
3.1	Classificação climática.....	25
3.2	Caracterização do solo da região	27
3.3	Definição de variáveis preliminares	29
3.3.1	Período de Retorno	29
3.3.2	Tempo de Concentração	29
3.3.3	Intensidade pluviométrica	30
3.3.4	Coeficiente de runoff.....	31
3.3.5	Vazão de Pré e Pós Desenvolvimento	32
3.3.6	Volume do Reservatório pelo método racional	33
4	RESULTADOS	33
4.1	Caracterização da área de estudo.....	33
4.1.1	Área impermeável.....	34
4.2	Determinação das variáveis preliminares	36
4.2.1	Período de Retorno	36
4.2.2	Tempo de Concentração	36
4.2.3	Intensidade pluviométrica	37
4.2.4	Coeficiente de runoff.....	37
4.2.5	Vazão de Pré e Pós Desenvolvimento	37
4.3	Volume do Reservatório pelo método racional	38

4.4	ANALISE DA VIABILIDADE ECONOMICA.....	38
4.4.1	Orçamentos	38
4.4.2	Orçamento para execução do reservatório enterrado	39
4.4.3	Orçamento para execução do reservatório aberto.....	40
4.4.4	Orçamento para execução do sistema de drenagem	41
4.4.5	Orçamento dos Danos Evitáveis com Solução de Drenagem	42
4.5	Análise dos resultados.....	44
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS.....	47
	ANEXOS	54
	ANEXO A – BOCA DE LOBO PADRÃO DNIT	54
	APÊNDICES.....	55
	APÊNDICE A – ORÇAMENTO RESERVATÓRIO ENTERRADO.....	55
	APÊNDICE B – ORÇAMENTO RESERVATÓRIO ABERTO	57
	APÊNDICE C – PROJETOS DE APOIO	59

1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades brasileiras, aliado a processos de urbanização pouco planejados, tem provocado alterações significativas no ciclo hidrológico natural. A ampliação das áreas impermeáveis, consequência direta da pavimentação e da ocupação intensiva do solo, reduz a infiltração da água e aumenta o volume e a velocidade do escoamento superficial, intensificando a ocorrência de inundações e alagamentos urbanos. Segundo Lopes et al. (2020), a impermeabilização em áreas urbanas de expansão pode crescer até 26% em pouco mais de uma década, ampliando a vulnerabilidade a eventos pluviométricos extremos.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS-AP, 2019), aproximadamente 15,1% das vias urbanas brasileiras contam com redes ou canais pluviais subterrâneos, enquanto cerca de 62,8% possuem dispositivos de condução superficial, como sarjetas e meio-fio. Mendes (2022) ressalta que esses números evidenciam que grande parte da infraestrutura de drenagem urbana no país ainda é composta por soluções simples e tradicionais, que buscam apenas o afastamento das águas.

A drenagem urbana é reconhecida como serviço público de saneamento básico pela Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2020), atualizada pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), que estabelece diretrizes para o planejamento e a gestão do manejo de águas pluviais, incluindo a possibilidade de cobrança tarifária. Tradicionalmente, segundo Tucci (2012), o manejo das águas pluviais pode ser realizado por meio de medidas estruturais, como galerias, canais e reservatórios, e não estruturais, como o ordenamento do uso do solo, a legislação urbanística e os programas de conscientização ambiental, configurando o conjunto das soluções convencionais.

O modelo tradicional de drenagem, baseado na rápida coleta e transporte das águas a jusante, tem se mostrado insuficiente para atender às necessidades das cidades atuais, como evidencia Mendes (2022). Diante das limitações desse modelo clássico, observa-se crescente valorização dos Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS), que buscam integrar eficiência hidráulica, preservação ambiental e benefícios paisagísticos (Agostinho; Poletto, 2012). Nesse contexto, destacam-se soluções como pavimentos permeáveis, dispositivos de infiltração e reservatórios de retenção, que compõem as estratégias dos SUDS.

Entre as soluções estruturais, os reservatórios de retenção ocupam papel central: no sistema convencional, pela capacidade de armazenar temporariamente o excesso de águas pluviais e liberá-lo gradualmente; e, no âmbito dos SUDS, pela possibilidade de assumirem funções múltiplas, como parques inundáveis e wetlands artificiais, conciliando o controle de cheias com benefícios sociais e ambientais (Agostinho; Poletto, 2012).

Diante desse cenário, o presente trabalho teve como objetivo dimensionar um reservatório de retenção de águas pluviais, utilizando o Método Racional, buscando avaliar a viabilidade técnica e econômica.

1.1 Justificativa

O processo de urbanização acelerada, aliado à insuficiência de planejamento urbano, provocou alterações significativas no ciclo hidrológico das cidades brasileiras, e Goiânia não é exceção. Conforme estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), entre 2010 e 2022 a população da capital cresceu de 1.302.001 habitantes para 1.437.237, representando assim um aumento de 10,4% no período. Embora seja um indicativo de expansão econômica, também resultou em ocupação intensiva e desordenada do território, especialmente nas regiões periféricas e de maior adensamento populacional.

A impermeabilização das superfícies urbanas, causada pela substituição de áreas verdes por edificações e pavimentação, reduziu a capacidade de infiltração da água no solo, acelerando o escoamento superficial e elevando significativamente as vazões de pico. Em Goiânia, o Plano Diretor de Drenagem Urbana (Goiânia, 2024) identificou que 25,18% da área da bacia do ribeirão João Leite já se encontra impermeabilizada, o que corresponde a aproximadamente 26 km² de um total de 104,38 km². Essa realidade sobrecarrega os sistemas de micro e macrodrenagem, projetados para condições menos críticas.

O modelo tradicional de drenagem urbana é focado na coleta e no transporte rápido das águas pluviais até pontos a jusante, conforme observado por Tucci (2001), tem se mostrado limitado para enfrentar as demandas atuais. Esse tipo de abordagem, ao invés de resolver integralmente o problema, apenas transfere o excesso de água para outras áreas da bacia, ocasionando inundações, erosões e

assoreamento de cursos d'água. Além disso, esse modelo também negligencia a possibilidade de reaproveitamento e a reintegração da água ao ciclo natural.

Nesse contexto, a adoção de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) – que integram soluções descentralizadas, como bacias de retenção, jardins de chuva, pavimentos permeáveis e valas de infiltração – apresenta-se como alternativa promissora. Essas técnicas visam não apenas reduzir picos de vazão e controlar alagamentos, mas também melhorar a qualidade da água pluvial, aumentar a infiltração e reduzir a poluição difusa. Agostinho e Poletto (2012) destacam que tais soluções promovem maior compatibilidade entre o ambiente construído e o funcionamento natural do ciclo hidrológico.

Dentro desse conjunto de técnicas, os reservatórios ou bacias de retenção se destacam por sua capacidade de armazenar temporariamente o excesso de água, liberando-o de forma controlada e mitigando o risco de sobrecarga nas redes de drenagem. O presente estudo justifica-se pela necessidade de dimensionar um reservatório de retenção de águas pluviais especificamente adaptado à realidade urbana de Goiânia, utilizando o Método Racional, ferramenta amplamente empregada no dimensionamento hidrológico, por considerar variáveis como intensidade pluviométrica, tempo de concentração e coeficiente de escoamento.

Além de sua contribuição técnica, este trabalho também se justifica pela relevância social e ambiental. A implementação de soluções como a proposta contribui, reduzindo a vulnerabilidade de áreas críticas, evitando prejuízos materiais e salvaguardando vidas. Do ponto de vista legal, o estudo está alinhado às diretrizes da Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007), alterada pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), que define o manejo de águas pluviais como parte integrante do saneamento básico, e ao Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia (Goiânia, 2024), que recomenda a adoção de soluções estruturais e não estruturais para o controle de cheias.

Por fim, será avaliada a viabilidade econômica das alternativas de reservatório aberto e fechado, fornecendo subsídios para tomadas de decisão por gestores públicos e privados. Assim, o estudo se apresenta como uma contribuição efetiva para a engenharia civil, o planejamento urbano e a sustentabilidade ambiental, respondendo a um problema real e crescente enfrentado por Goiânia e por diversas cidades brasileiras.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho apresentou como propósito o dimensionamento de um reservatório de retenção das águas pluviais, utilizando o método racional. Além disso, buscou-se analisar os efeitos decorrentes da implantação desse mecanismo de retenção em um condomínio fictício na região metropolitana de Goiânia, considerando fatores como viabilidade técnica e econômica.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a Lei nº 9.511/2014 (Goiânia, 2014), que estabelece regras de controle de águas pluviais e drenagem urbana para o município de Goiânia;
- b) Verificar o impacto da implantação do reservatório sobre o amortecimento das águas pluviais;
- c) Consultar preços unitários de materiais e serviços para a elaboração dos orçamentos dos projetos de reservatório fechado e aberto;
- d) Verificar a viabilidade técnica e financeira da implantação do reservatório para o condomínio específico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica e normativa que embasou o desenvolvimento do trabalho, com base em artigos científicos, livros, normas técnicas e legislações. As referências selecionadas abordam temas como drenagem urbana, saneamento básico, Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) e o dimensionamento de bacias de retenção. Destacam-se as contribuições de Tucci (2008) sobre gestão de águas pluviais, a NBR 15527:2007 (ABNT, 2007), que trata do aproveitamento de água de chuva, e a Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007), alterada pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. O levantamento bibliográfico orientou a metodologia adotada e sustentou a análise técnica e econômica da solução proposta.

2.1 Drenagem Urbana: Desenvolvimento e Desafios

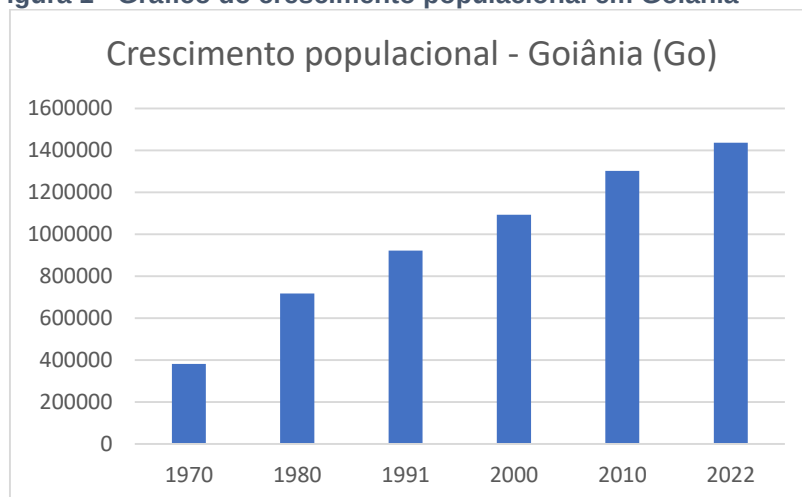
A drenagem urbana é o processo de controle e manejo das águas pluviais em áreas urbanizadas, com o objetivo de mitigar os efeitos do escoamento superficial, como enchentes, erosão e inundações. Segundo Tucci (2008, p. 15), "a drenagem urbana visa essencialmente controlar o escoamento superficial das águas pluviais para minimizar os impactos negativos, como inundações e erosão, em áreas urbanas". Conforme evidenciado por Silveira (2002), o fenômeno da urbanização gera a impermeabilização do solo, a qual impede a infiltração das águas pluviais no solo, produzindo mais água para drenagem, desta forma sobrecarregando os sistemas de drenagem existentes.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de sistemas de drenagem urbana passou por uma evolução significativa, de métodos simples e localizados para soluções mais complexas e integradas, como redes de drenagem subterrâneas, galerias pluviais, bacias de retenção e retenção. Mendes e Santos (2022) destacam que a transição dos sistemas de drenagem urbana no Brasil exige a integração de soluções que considerem o contexto urbano como um todo, incorporando tanto tecnologias convencionais quanto sustentáveis para melhorar a gestão das águas pluviais e reduzir os impactos ambientais associados ao desenvolvimento urbano.

Com o crescimento acelerado das cidades, a drenagem urbana se tornou um grande desafio, especialmente em áreas de expansão recente e sem planejamento

adequado. Goiânia, a capital de Goiás, é um exemplo emblemático. Desde sua fundação na década de 1930, a cidade experimentou um crescimento populacional intenso, com um aumento expressivo na urbanização. O impacto disso sobre o sistema de drenagem urbana foi considerável, levando a uma série de problemas recorrentes, como alagamentos em áreas centrais e periféricas, além de erosões e assoreamentos nos corpos d'água (IDB, 2021). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que Goiânia teve um aumento populacional de aproximadamente 40% nas últimas três décadas, pressionando ainda mais a infraestrutura da cidade.

Figura 1 - Gráfico do crescimento populacional em Goiânia



Fonte: IBGE (2024)

A literatura aponta que, historicamente, a drenagem urbana em cidades em desenvolvimento recebeu pouca atenção em termos de pesquisa acadêmica e política pública, resultando em infraestruturas inadequadas ou subdimensionadas. Mendes e Santos (2022) destacam que muitos assentamentos informais no Brasil carecem de sistemas de drenagem adequados, o que agrava os problemas de gestão urbana, especialmente em regiões com infraestrutura deficiente. Essa falta de sistemas eficientes contribui significativamente para a vulnerabilidade dessas áreas a inundações e outros problemas relacionados à má gestão das águas pluviais.

As águas receptoras do meio urbano sofrem impactos decorrentes da ausência de planejamento ambiental adequado na ocupação do espaço (Pizella & Sousa, 2007 apud Kemerich et al., 2014). Segundo Kemerich et al. (2014), o escoamento superficial manifesta-se de forma mais intensa nos ambientes urbanos em razão do alto grau de impermeabilização de suas superfícies, por meio das ruas, avenidas, telhados e

construções. O aumento da frequência de chuvas intensas, associado à incapacidade da infraestrutura de drenagem urbana em manejar adequadamente as águas pluviais, tem contribuído significativamente para a ocorrência de alagamentos e enchentes em diversas cidades. Conforme evidenciam Lopes et al. (2020), os problemas de inundações são comumente observados durante os meses de maior precipitação em cidades brasileiras, estando diretamente relacionados aos elevados índices de impermeabilização do solo.

Em Goiânia, a intensificação de chuvas sazonais, especialmente no período entre novembro e março, contribuiu para a frequente ocorrência de alagamentos e enchentes. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024) indicam uma precipitação média anual de cerca de 1.500 mm na cidade, sendo que grande parte dessa precipitação ocorre em um curto espaço de tempo, sobrecarregando o sistema de drenagem existente.

2.2 Diretrizes Nacionais e Legislações sobre Drenagem Urbana

No Brasil, a drenagem urbana está inserida no contexto do saneamento básico e é regida por diretrizes estabelecidas pela Lei nº 11.445/2007 (Brasil, 2007), alterada pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), que institui a Política Nacional de Saneamento Básico. Essa legislação determina que o manejo das águas pluviais deve ser tratado de forma integrada com os demais serviços de saneamento, como o abastecimento de água, esgotamento sanitário e gestão de resíduos sólidos, visando à promoção da saúde pública e da sustentabilidade ambiental. O Plano Nacional de Saneamento Básico – PLAN SAB (Brasil, 2013) constitui outro instrumento essencial que orienta as ações governamentais relacionadas à infraestrutura de saneamento, incluindo a drenagem urbana.

O Código de Águas, de 1934 (Brasil, 1934), permanece parcialmente vigente, mas sua estrutura de governança foi amplamente reformulada pela Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Complementarmente, a Lei nº 12.651/2012 (Brasil, 2012), que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, regulamenta as Áreas de Preservação Permanente (APPs), como margens de rios e nascentes, fundamentais para a manutenção do ciclo hidrológico natural e a absorção do escoamento superficial. Mais recentemente, a Norma de Referência nº 12/2025 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

– ANA (Brasil, 2025) passou a orientar a estruturação dos serviços municipais de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, estabelecendo parâmetros técnicos e de gestão.

No âmbito local, destacam-se a Lei Complementar nº 349/2022 (Goiânia, 2022), que institui o atual Plano Diretor do Município de Goiânia, e a Lei Complementar nº 364/2023 (Goiânia, 2023), que estabeleceu o novo Código de Obras e Edificações do município, revogando a legislação anterior a Lei Complementar nº 177/2008 (Goiânia, 2008). Esses instrumentos definem diretrizes específicas para o controle das águas pluviais em novos empreendimentos urbanos, incluindo a exigência de projetos de drenagem que contemplem soluções como bacias de retenção, reservatórios subterrâneos e pavimentação permeável. Apesar disso, a fiscalização e a efetiva implementação dessas medidas ainda representam desafios, sobretudo em áreas de expansão urbana e ocupações irregulares, onde a infraestrutura de drenagem frequentemente é subdimensionada ou inexistente.

2.3 Gestão de Drenagem Urbana no Centro-Oeste Brasileiro

A gestão da drenagem urbana no Centro-Oeste brasileiro apresenta desafios particulares, sobretudo em função das características climáticas e geográficas da região. Goiânia, por exemplo, possui clima tropical com estação chuvosa intensa, fator que potencializa os problemas de escoamento superficial e a sobrecarga dos sistemas de micro e macrodrenagem. Segundo mapeamento recente da Defesa Civil de Goiânia, foram identificados 126 pontos de alagamento em diferentes regiões da cidade, indicando a persistência dos problemas típicos em estrutura urbana inadequada (O Popular, 2024).

As mudanças climáticas têm intensificado a ocorrência de eventos extremos de precipitação, o que reforça a necessidade de revisão contínua e adaptação das políticas públicas locais. Nesse sentido, o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia (PDDU-GYN) em elaboração recomenda a integração de soluções estruturais e não estruturais, como reservatórios de retenção, corredores de infiltração, proteção das APPs e uso de infraestrutura verde como forma de mitigar o impacto da impermeabilização crescente (Goiânia, 2025).

A literatura técnica também aponta caminhos complementares. Um estudo apresentado analisou técnicas de controle de águas pluviais em áreas de ocupação

espontânea e concluiu que “a combinação de bacias de retenção com técnicas de pavimentação permeável pode reduzir significativamente o volume de escoamento superficial em áreas urbanas densas” (Ribeiro et al., 2017, p. 58).

Em Goiânia, alguns exemplos práticos começam a corroborar essa tendência. Ensaios com pavimentos permeáveis demonstraram redução de volumes de escoamento em testes locais, conforme estudo de Bolina et al. (2019), que avaliou pavers com juntas alargadas no contexto urbano da capital. Outro trabalho de TCC desenvolvido no Instituto Federal de Goiás (IFG) por Samara Lima Santos (2021) também analisou o uso de pavimentos permeáveis como estratégia de drenagem complementar em áreas urbanas, reforçando a aplicabilidade dessas soluções em escala local (Santos, 2021). Além disso, o PDDU-GYN apresenta propostas de implantação de jardins de chuva e bacias de retenção em sub-bacias críticas, como a do ribeirão João Leite, com objetivo de reduzir picos de vazão e aumentar a infiltração (Goiânia, 2025).

Portanto, embora os SUDS ainda estejam em fase inicial de implementação em Goiânia, os estudos acadêmicos locais e as iniciativas previstas no novo Plano Diretor de Drenagem Urbana indicam que soluções como pavimentação permeável, retenção temporária e infraestrutura verde podem se consolidar como ferramentas eficazes para mitigar os impactos da impermeabilização nas próximas décadas.

2.4 Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável e Técnicas Compensatórias

Os sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS) representam uma abordagem contemporânea para o manejo das águas pluviais, buscando reduzir os impactos ambientais das práticas convencionais de drenagem. Diferentemente dos métodos tradicionais, voltados apenas para a rápida condução da água, os SUDS procuram restabelecer processos naturais do ciclo hidrológico, promovendo a infiltração, a evapotranspiração e o armazenamento temporário da água da chuva.

Segundo Agostinho e Poleto (2012), as técnicas compensatórias incluem pavimentos permeáveis, jardins de chuva, telhados verdes e reservatórios, que têm como finalidade mitigar os efeitos da impermeabilização urbana e recuperar funções hidrológicas perdidas no processo de urbanização. Entre essas técnicas, destacam-se as reservatório de retenção e as reservatório de retenção, que, embora semelhantes, apresentam funções distintas. As primeiras são projetadas para

acumular permanentemente um volume de água, funcionando como lagos artificiais capazes de receber o escoamento superficial e liberar lentamente o excedente, além de permitir usos paisagísticos e ecológicos. Já as reservatório de retenção atuam como reservatórios temporários, que armazenam a água durante eventos de chuva intensa e a liberam gradualmente após o pico de precipitação, reduzindo a sobrecarga imediata dos sistemas de micro e macrodrenagem.

Outro exemplo relevante são os pavimentos permeáveis, que possibilitam a infiltração direta da água no solo, diminuindo o volume a ser conduzido pelas redes convencionais. Essa técnica contribui não apenas para a recarga do lençol freático, mas também para a melhoria da qualidade da água, uma vez que auxilia na redução da carga de poluentes transportados pelo escoamento superficial (Agostinho; Poletto, 2012)

2.5 O Método Racional: Origem, Benefícios e Metodologia

O Método Racional é uma das ferramentas mais antigas e amplamente utilizadas para o dimensionamento de sistemas de drenagem e bacias de retenção, especialmente em áreas urbanas. Segundo Tomaz (2012, p. 2-3) o método racional foi “apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado nos Estados Unidos por Emil Kuichiling em 1889 e estabelece relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio)”. O Método Racional oferece uma fórmula direta e de fácil aplicação, o que o torna uma escolha popular para projetos de infraestrutura urbana, particularmente em contextos onde os dados hidrológicos detalhados são escassos (Tomaz, 2012).

A principal vantagem do método é a simplicidade e ampla aplicação em bacias pequenas, sendo prática corrente em projetos de microdrenagem (Paraná, 2002; Adasa, 2023).

A metodologia do Método Racional baseia-se na equação fundamental:

$$Q=C \cdot I \cdot A/360$$

Onde:

- Q é a vazão máxima de escoamento (em m³/s),
- C é o coeficiente de escoamento, que varia conforme o tipo de solo e cobertura do terreno,

- I é a intensidade pluviométrica (em mm/h), calculada com base na duração da chuva e no período de retorno,
- A é a área da bacia de drenagem (em hectares).

No entanto, a simplicidade do Método Racional também representa uma limitação significativa. O método assume a homogeneidade da área de drenagem, desconsiderando a variabilidade temporal e espacial das precipitações. Isso pode levar a erros na estimativa da vazão de pico, especialmente em bacias complexas ou extensas. O Manual do DF/ADASA recomenda sua aplicação até 100 ha e demonstra, por comparação com o método do SCS (Soil Conservation Service), que o Racional tende a superestimar vazões conforme aumenta a área da bacia; por isso, para áreas maiores devem ser usados métodos que gerem hidrogramas (Adasa, 2023). Método Racional pode subestimar ou superestimar a vazão de pico, particularmente em cenários onde a distribuição da chuva é irregular ou onde há grandes variações na topografia.

Portanto, o método racional é a que só deve ser aplicado em pequenas bacias. Embora o conceito de pequenas, médias e grandes bacias é um conceito variável entre os hidrólogos, conforme salientado por Tomaz (2012) o método racional deve ser aplicado somente em pequenas bacias ou seja com área de drenagem inferior a 3 km² ou quando o tempo de concentração seja inferior a uma hora.

Apesar dessas limitações, estudos demonstram que para áreas pequenas e medianas, como condomínios urbanos, o Método Racional continua sendo uma ferramenta eficiente, especialmente quando combinado com outras técnicas de compensação (Tucci, 2001). Essa eficiência é atribuída à sua facilidade de uso e à precisão aceitável que oferece em contextos menos complexos, tornando-o uma escolha prática para muitos projetos urbanos.

2.6 Reservatórios de Contenção de Cheias: Classificação, Tipos e Viabilidade Técnica e Econômica

Reservatórios de contenção de cheias são estruturas projetadas para armazenar temporariamente grandes volumes de água durante eventos de precipitação intensa, liberando-a de maneira controlada para reduzir o risco de inundações em áreas urbanas. Esses reservatórios podem ser classificados em duas

categorias principais: reservatórios de retenção e reservatórios de detenção. Os reservatórios de retenção são projetados para armazenar permanentemente um volume de água, funcionando como uma solução a longo prazo para regularizar o fluxo hídrico, enquanto os reservatórios de detenção são temporários e destinam-se a liberar gradualmente as águas acumuladas após eventos de chuva.

Entre as vantagens dos reservatórios de contenção está a redução da sobrecarga sobre o sistema de drenagem, mitigando o risco de enchentes em áreas críticas e, ao mesmo tempo, ajudando na preservação da qualidade da água ao filtrar sedimentos e poluentes. No entanto, a implantação de tais estruturas envolve desafios significativos, como a necessidade de grandes áreas para sua construção, o custo elevado de implementação e manutenção, além da complexidade de integrar esses reservatórios ao tecido urbano já consolidado.

Em termos de viabilidade técnica e econômica, os reservatórios de detenção se destacam em áreas urbanas planejadas, como condomínios fechados, onde há espaço para destinar parte do terreno à infraestrutura de drenagem. Já em grandes metrópoles, como o Rio de Janeiro, o Piscinão de Ramos funciona como uma grande estrutura de contenção: com profundidade máxima de cerca de 1,40 m e capacidade de armazenar dezenas de milhões de litros de água, essa obra tem contribuído para mitigar enchentes nos bairros periféricos da Zona Norte da cidade (Prefeitura do Rio de Janeiro, 2023; SBARRA, 2025).

No contexto de Brasília, o sistema Drenar-DF incorporou recentemente uma bacia de detenção com área de 37.000 m², projetada para comportar até 96.000 m³ de água, desempenhando papel central na mitigação de sobrecargas pluviais e redução do risco de inundação para áreas residenciais próximas ao Lago Paranoá (Governo do Distrito Federal, 2025; TERRACAP; NOVACAP, 2025).

Comparativamente, implementar reservatórios semelhantes em áreas densamente urbanizadas, como o centro de Goiânia, enfrenta obstáculos maiores, especialmente pela carência de terrenos livres ou desapropriáveis e pelos elevados custos associados. A densidade construtiva limita a disponibilidade de espaço e exige soluções mais integradas, combinando equipamentos subterrâneos, infraestrutura verde e dispositivos complementares de retenção e promoção de infiltração.

2.7 Conceitos Preliminares Importantes no Dimensionamento de Bacias de Detenção

O dimensionamento adequado de bacias de retenção das águas pluviais depende de uma série de parâmetros hidrológicos e hidráulicos. Entre os conceitos fundamentais estão o período de retorno, o tempo de concentração, a intensidade pluviométrica e o coeficiente de escoamento (runoff), todos essenciais para a correta aplicação do Método Racional e para garantir que o sistema de drenagem seja eficiente e seguro.

- Período de retorno: Refere-se à frequência com que um determinado evento de precipitação, com uma certa intensidade e duração, é esperado ocorrer. Para o dimensionamento de bacias de retenção, o período de retorno escolhido é diretamente proporcional ao nível de proteção desejado. Em áreas urbanas, períodos de retorno de 10 a 50 anos são comumente utilizados, dependendo da criticidade da área e do custo envolvido.
- Tempo de concentração: Define o tempo necessário para que a água da chuva percorra a maior distância da área de drenagem até o ponto de saída. É um parâmetro crucial no cálculo da vazão de pico, pois influencia diretamente na intensidade da chuva considerada. Em termos práticos, o tempo de concentração (T_c) representa o intervalo em que toda a área da bacia contribui simultaneamente para o fluxo no ponto de saída, após o início de um evento de precipitação uniforme. Um T_c menor indica uma bacia que responde rapidamente à precipitação, o que pode resultar em escoamento superficial intenso e potencial risco de inundações.
- Intensidade pluviométrica: Calculada com base na equação de intensidade-duração-frequência (IDF), a intensidade pluviométrica representa a quantidade de chuva que cai sobre uma área em um determinado intervalo de tempo. Em Goiânia, por exemplo, a equação IDF para eventos de 10 anos de retorno, com duração de 30 minutos, resulta em uma intensidade de 140 mm/h (INMET, 2020). Esse índice estabelece a relação entre a intensidade máxima da chuva (em mm/h), sua duração (em minutos) e a sua frequência de ocorrência, representada pela probabilidade ou tempo de retorno (em anos ou

percentual). Portanto, observa-se que a intensidade das chuvas tende a aumentar com o acréscimo do período de retorno, o que se justifica pelo fato de que, quanto maior o intervalo de análise, maior é a chance de ocorrência de eventos pluviométricos extremos.

- Coeficiente de runoff: O coeficiente de escoamento superficial é um parâmetro adimensional que representa a fração da precipitação que escoam superficialmente. Terrenos mais urbanizados, com alto grau de impermeabilização, possuem coeficientes elevados (próximos de 0,85), enquanto áreas vegetadas possuem coeficientes mais baixos (em torno de 0,2). Esse coeficiente é fundamental para determinar a quantidade de água que realmente contribui para o escoamento superficial e, conseqüentemente, para o dimensionamento da bacia de retenção.

3 METODOLOGIA

3.1 Classificação climática

A cidade de Goiânia está localizada na região Centro-Oeste do Brasil e é caracterizada por um clima tropical de savana (classificação climática de Köppen-Geiger, Aw). Esse tipo de clima é marcado por uma estação chuvosa bem definida que ocorre, majoritariamente, entre os meses de outubro e abril, e uma estação seca que prevalece nos meses de maio a setembro. A precipitação média anual na região varia em torno de 1.500 mm, com maiores concentrações de chuvas nos meses de verão, especialmente entre novembro e março.

Historicamente, o comportamento pluviométrico de Goiânia é um fator crucial para o planejamento urbano e o dimensionamento de sistemas de drenagem, incluindo as bacias de retenção. O aumento populacional e a expansão urbana têm agravado a problemática de escoamento superficial, tornando necessária a implementação de soluções mais eficazes para mitigar alagamentos e enchentes.

Quadro 1 - Precipitação Média Anual do Município de Goiânia (1979-2023)

Ano	Precipitação Anual (mm)	Ano	Precipitação Anual (mm)	Ano	Precipitação Anual (mm)
1979	781,50	1994	1610,40	2009	1767,90

1980	1667,70	1995	1694,30	2010	1555,90
1981	709,20	1996	1763,10	2011	1812,60
1982	2049,40	1997	1596,10	2012	1894,10
1983	1771,20	1998	1574,40	2013	1782,10
1984	1473,70	1999	1347,50	2014	1662,00
1985	1749,70	2000	1833,50	2015	1503,40
1986	1269,00	2001	1766,90	2016	1362,00
1987	1663,90	2002	1536,40	2017	1389,00
1988	1551,10	2003	1541,00	2018	1540,00
1989	1656,60	2004	1555,90	2019	1276,30
1990	1364,50	2005	1906,90	2020	1576,20
1991	1534,00	2006	1705,10	2021	2125,40
1992	1924,30	2007	1095,20	2022	1609,30
1993	1498,10	2008	1809,30	2023	1408,08
Média Período	1510,93	Média Período	1622,40	Média Período	1617,62
Média Total:	1583,65				

Fonte: Adaptado INMET (2024)

A análise dos dados pluviométricos corrobora a necessidade de projetar infraestruturas de drenagem que sejam adaptáveis às variações climáticas. As bacias de retenção, dimensionadas pelo Método Racional, devem considerar o aumento das intensidades de chuvas concentradas, especialmente nos meses mais chuvosos, para garantir que o sistema seja capaz de armazenar e controlar o escoamento excessivo, minimizando o impacto das inundações em áreas urbanas densamente ocupadas.

O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), órgão federal vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), desempenha papel estratégico no acompanhamento de riscos associados a processos hidrológicos (inundações, enxurradas e alagamentos) e geológicos (deslizamentos e movimentos de massa), por meio da emissão de alertas preventivos e do registro de ocorrências efetivamente observadas. Os indicadores mais recentes evidenciam a intensificação dos eventos extremos no país: em 2023 foram emitidos 3.425 alertas de desastres e registradas 1.161 ocorrências, enquanto em 2024 esses números cresceram para 3.620 alertas e 1.690 ocorrências, configurando os maiores valores da série histórica desde o início do monitoramento (CEMADEN, 2025).

Diante desse cenário de maior frequência e intensidade das chuvas intensas, torna-se ainda mais relevante a aplicação de metodologias consolidadas de dimensionamento hidráulico. Entre elas, destaca-se o Método Racional, que

possibilita estimar de forma direta a vazão de pico a partir da intensidade da precipitação, da área de contribuição e do coeficiente de escoamento. Essa abordagem fornece subsídios técnicos adequados para o pré-dimensionamento de bacias de retenção em condomínios urbanos, permitindo projetar estruturas mais resilientes frente ao aumento dos riscos hidrológicos.

3.2 Caracterização do solo da região

De acordo com a divisão realizada por SEPLAM, FMDU e ITCO (2008), a região é segmentada em quatro compartimentos geomorfológicos principais: o Planalto Central Goiano, o Planalto Rebaixado de Goiânia, as Depressões e Morrarias do Rio dos Bois, e as Planícies Aluviais.

O Planalto Central Goiano, que inclui as Macrozonas Rurais do Lajeado, João Leite, Capivara, São Domingos e Alto Anicuns, observou-se que:

"[...] tem como características relevos de topos tabulares e/ou planos rampeados, de topo convexo e, às vezes, aguçado. Estes relevos estão esculpidos em terrenos granulíticos, parcialmente recobertos por latossolos vermelhos, profundos e de textura argilosa, desenvolvidos, principalmente, nas áreas com declividades entre 0% e 5%."

A classificação hidrológica dos solos, conforme proposta por Tucci (2001), é essencial para a compreensão dos padrões de infiltração e escoamento superficial. Tucci define os solos em quatro grupos, com base em sua capacidade de infiltração:

- Grupo A: Solos altamente permeáveis, que promovem baixa escorrência superficial e elevada infiltração, geralmente constituídos por solos arenosos profundos com baixa quantidade de silte e argila.
- Grupo B: Solos com permeabilidade inferior à do Grupo A, menos profundos, mas ainda com uma infiltração superior à média.
- Grupo C: Solos que tendem a gerar escoamento superficial maior, com infiltração abaixo da média, caracterizados por uma alta proporção de argila e pouca profundidade.
- Grupo D: Solos com alta presença de argilas expansivas, de pouca profundidade e com baixíssima capacidade de infiltração, resultando em altos índices de escoamento superficial.

Com base na caracterização apresentada pelo Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) de Goiânia, observa-se que o solo da região possui um teor considerável de argila. Assim, esses solos podem ser classificados nos grupos C ou D. Contudo, para fins de análise e considerando o cenário mais extremo e desfavorável, optou-se por classificar o solo como pertencente ao Grupo D. Esse grupo é o mais propenso a gerar escoamento superficial elevado, sendo, portanto, crítico em termos de planejamento urbano e controle de inundações. O valor da curva de runoff (CN) para a área em estudo foi destacado no Quadro 02.

Quadro 2 - Valores de CN para bacias urbanas.

Tipos de uso do solo/Tratamento/Condições Hidrológicas		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho Médio do Lote	% Impermeável				
até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (70% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
Pasto					
condições ruins					
médias		68	79	86	89
boas		49	69	79	84
curva de nível					
condições ruins		39	61	74	80
médias		47	67	81	88
boas		25	59	75	83
Campos	condições boas	6	35	70	79
Florestas					
condições ruins		30	58	71	78
médias		45	66	77	83
boas		36	60	73	79
		25	55	70	77

Fonte: Tucci (2001).

Este tipo de análise é crucial para o planejamento urbano sustentável, pois permite antecipar os impactos das atividades humanas sobre o ciclo hidrológico. Conforme destacado por Setti et al. (2000), a avaliação dos impactos ambientais em bacias hidrográficas é essencial para o desenvolvimento de estratégias de gestão

sustentável, permitindo prever as consequências das atividades humanas sobre o ciclo hidrológico. De maneira semelhante, os autores também ressaltam que a gestão de recursos hídricos e o planejamento urbano devem levar em consideração as características hidrológicas e geomorfológicas específicas de cada região, especialmente em áreas com solos que apresentam alta capacidade de escoamento superficial, para mitigar os riscos de inundações e erosão.

Dessa forma, a classificação do solo como pertencente ao Grupo D não apenas reflete um cenário de alto risco, mas também sublinha a necessidade de uma gestão urbana e ambiental integrada e baseada em dados robustos.

3.3 Definição de variáveis preliminares

3.3.1 Período de Retorno

O tempo de retorno para eventos hidrológicos na área de estudo foi determinado utilizando o Índice de Gravelius (K_c), que quantifica a forma da bacia hidrográfica ao comparar o perímetro da bacia com o perímetro de um círculo de área equivalente. Este índice é uma medida importante na hidrologia, pois permite avaliar a concentração de fluxo dentro da bacia e, conseqüentemente, a sua resposta a eventos pluviométricos intensos.

O Índice de Gravelius é calculado pela seguinte fórmula:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

- P é o perímetro da bacia,
- A é a área da bacia.

3.3.2 Tempo de Concentração

Várias fórmulas empíricas são utilizadas para calcular o tempo de concentração, incluindo a fórmula de Kirpich (1940), a fórmula do USDA-NRCS (anteriormente conhecida como SCS), e a fórmula de Giandotti. A escolha da fórmula adequada depende das características físicas da bacia, como tamanho, declividade e comprimento do percurso de escoamento.

A fórmula de Kirpich (1940) é uma das mais utilizadas para calcular o tempo de concentração em pequenas bacias hidrográficas, especialmente em áreas urbanas ou rurais com características semelhantes às do estudo em questão. Kirpich desenvolveu sua fórmula a partir de dados observacionais em bacias agrícolas, mas sua simplicidade e eficácia garantiram sua ampla aplicação em diversos contextos.

A fórmula de Kirpich é expressa da seguinte maneira:

$$T_c = 0,0195xL^{0,77}xS^{-0,385} \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

- T_c = Tempo de concentração (em minutos)
- L = Comprimento máximo do percurso de escoamento da água na bacia (em metros)
- S = Declividade média da bacia (razão entre a diferença de elevação e o comprimento do percurso, adimensional)

Conforme Kirpich (1940) observou que a declividade e o comprimento do percurso de escoamento são os fatores mais críticos na determinação da velocidade com que a água se move pela bacia. A fórmula reflete essa observação, enfatizando a importância desses parâmetros no cálculo do tempo de concentração.

3.3.3 Intensidade pluviométrica

A intensidade pluviométrica é uma grandeza fundamental na hidrologia urbana, definida como a relação entre a quantidade de chuva acumulada e o intervalo de tempo em que essa precipitação ocorre. Em termos técnicos, a intensidade pluviométrica é expressa em milímetros por hora (mm/h) e é crucial para o dimensionamento de sistemas de drenagem e para a previsão de eventos de enchentes em áreas urbanas.

A intensidade pluviométrica é um parâmetro chave no cálculo das vazões de pico, sendo diretamente utilizada em fórmulas como o Método Racional. A precisão na determinação da intensidade pluviométrica permite uma melhor previsão dos volumes de escoamento superficial, o que é essencial para o planejamento urbano sustentável e a mitigação de riscos ambientais.

As diretrizes de drenagem da cidade de Goiânia, conforme estabelecido pela Lei nº 9511/2014 (Goiânia, 2014), determinam que a intensidade pluviométrica deve ser calculada com base em equações específicas que consideram o período de retorno e outros parâmetros regionais. As diretrizes de drenagem de Goiânia, prevê que para esse período de retorno (maior que 8 anos), essa variável seja calculada da seguinte maneira:

$$i = \frac{64,3044 \times T^{0,1471}}{(t+24,8)^{0,97471}} \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

- i : intensidade pluviométrica em mm/min;
- T : período de retorno em anos;
- t : tempo de concentração em min.

Para períodos de retorno superiores a 8 anos a intensidade pluviométrica deve ser calculada da seguinte maneira:

$$i = \frac{56,7928 \times (T^{0,1471 + \frac{0,22}{T^{0,09}}})^{0,6274}}{(t+24,8)^{0,97471}} \quad \text{Equação 04}$$

3.3.4 Coeficiente de runoff

O coeficiente de runoff, também conhecido como coeficiente de deflúvio, é uma variável hidrológica fundamental que representa a razão entre o volume total de escoamento superficial gerado durante um evento de precipitação e o volume total de água precipitada. Conforme descrito por Tomaz (2013, p. 2-7). "o coeficiente de runoff caracteriza a eficiência com que uma bacia hidrográfica converte a precipitação em escoamento superficial". Esse coeficiente é crucial para a estimativa de vazões de pico e para o dimensionamento de sistemas de drenagem.

O valor do coeficiente de runoff pode ser obtido a partir de tabelas empíricas, que correlacionam diferentes tipos de uso do solo e condições de cobertura vegetal com valores típicos de runoff, como mostrado no Quadro 05. No entanto, para maior precisão, recomenda-se calcular esse coeficiente utilizando a equação de Schueler, que leva em consideração as características específicas da área de estudo:

$$C = 0,05 + 0,9I_{imp} \quad \text{Equação 05}$$

Onde:

- C = Coeficiente de runoff
- I_{imp} = Porcentagem de área impermeável na bacia

Quadro 3 - Valores do Coeficiente c (ASCE, Manual nº37).

TIPO DE SUPERFÍCIE	C	
	Intervalo	Valor esperado
Pavimento		
Asfalto	0,70 – 0,95	0,83
Concreto	0,80 – 0,95	0,88
Calçadas	0,75 – 0,85	0,80
Telhados	0,75 – 0,95	0,85
Gramados; solos arenosos:		
Plano, (2%)	0,05 – 0,10	0,08
Médio, (2 a 7%)	0,10 – 0,15	0,13
Alta, (7%)	0,15 – 0,20	0,18
Gramados; solo compactado		
Plano (2%)	0,13 – 0,17	0,15
Médio (2 a 7%)	0,18 – 0,22	0,20
Declividade alta (7%)	0,25 – 0,35	0,30

Fonte: ASCE (1969), DNIT (2005) e TUCCI (2013) apud Junior, Lariucci e Sousa (2017, p.4)..

A equação de Schueler permite estimar o coeficiente de runoff com maior precisão, considerando diretamente a proporção de superfícies impermeáveis na bacia, que é um dos principais fatores que influenciam o escoamento superficial. Essa abordagem é particularmente útil em áreas urbanas, onde a impermeabilização do solo é significativa e tem um impacto direto na resposta hidrológica da bacia.

3.3.5 Vazão de Pré e Pós Desenvolvimento

A vazão será calculada a partir de:

$$Q = \frac{C.I.A}{360} \quad \text{Equação 06}$$

Onde:

- Q = vazão em m³/s;
- C = coeficiente de Run off;
- I = intensidade pluviométrica (mm/h);
- A = área do lote em hectares.

3.3.6 Volume do Reservatório pelo método racional

A fórmula proposta pelo método racional para dimensionamento de reservatórios é descrita a seguir:

$$Vs = 0,5x(Q_{pós} - Q_{pré})xt_bx60 \quad \text{Equação 07}$$

Onde:

- Vs = volume necessário para deter enchentes (m³);
- Q_{pós} = vazão de pico (m³/s) no pós-desenvolvimento para determinado período de retorno (20 anos);
- t_b = tempo base no pós-desenvolvimento (min);
- t_c = tempo de concentração (14 minutos);
- Q_{pré} = vazão de pico (m³/s) no pré-desenvolvimento para determinado período de retorno.

O valor de t_b pode variar, porém optou-se por adotar:

$$t_b = 3t_c \quad \text{Equação 08}$$

4 RESULTADOS

4.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo selecionada para este trabalho é um conjunto residencial, conforme as definições estabelecidas pelo Código de Edificações do município de Goiânia. De acordo com esse código, um conjunto residencial é uma área que abrange 50 ou mais unidades habitacionais e possui uma extensão mínima de 10.000 m², ou 0,01 km². Para assegurar o cumprimento das normas locais e regulamentações ambientais, consideraremos que 15% da área total do terreno deve ser mantida como área permeável, conforme exigido pelo Plano Diretor de Goiânia. Este valor mínimo é essencial para garantir uma infiltração adequada das águas pluviais, contribuindo para o equilíbrio ambiental da região.

O terreno em questão está situado no município de Goiânia, nas proximidades da rodovia GO-060. A escolha desta área foi estrategicamente motivada por diversos fatores. Primeiramente, o tamanho do terreno é compatível com as diretrizes para diferentes tipos de empreendimentos urbanos na cidade. Além disso, a área respeita

o limite máximo de 3 km² estabelecido pelo Método Racional para cálculos de escoamento superficial, e sua extensão superior a 10.000 m² qualifica-a como um conjunto residencial conforme o Código de Edificações de Goiânia.

Outro fator determinante na seleção deste local foi o rápido crescimento e desenvolvimento urbano observado na região nos últimos anos, o que reflete uma tendência significativa de urbanização. Através da ferramenta de medição do Google Earth, verificou-se que o perímetro da área é de 1,73 km, enquanto sua extensão total é de aproximadamente 150.950 m². Para simplificar os cálculos e facilitar o planejamento, este valor foi arredondado para 151,00 m², ou 0,151 km².

Figura 2 - Delimitação da Área de Estudo



Fonte: Google Earth (08 de julho de 2025)

4.1.1 Área impermeável

No contexto de planejamento urbano, uma área impermeável refere-se a superfícies onde a infiltração de água é limitada ou inexistente, como pavimentos de concreto, asfalto e telhados de edificações.

A região destacada na Figura 03 foi selecionada para este estudo por constar como área reservada para construção de parques, caracterizando-se como uma área totalmente permeável. Essa condição é fundamental para análises preliminares, pois

uma área vazia permite maior infiltração das águas pluviais, minimizando o escoamento superficial

Figura 3 - Áreas não ocupadas do residencial



Fonte: Portal mapa Goiânia (08 de julho de 2025).

Quadro 4 - Delimitação de áreas desocupadas.

Delimitação da área desocupada	
Item	Área (m ²)
Região 01	9.685,00
Região 02	7.003,00
Região 03	6.678,00
Região 04	9.842,00
Total	33.208,00

Fonte: Autoria Própria.

. Para as áreas ocupadas, foi aplicado um índice de ocupação do terreno de 70%, indicando que essa proporção da área é impermeabilizada por construções e pavimentos. Conforme detalhado no Quadro 2, a área impermeável totaliza aproximadamente 82.454,4 m² dos 151.000 m² disponíveis no conjunto residencial, representando 54,61% da área delimitada.

Quadro 5 – Tabela de áreas do estudo

Tabela de áreas		
Item	Área (m ²)	Porcentagem
Área total	151.000,00	100%
Área impermeável	82.454,40	54,61%
Área permeável	68.545,60	45,39%

Fonte: Autoria Própria.

4.2 Determinação das variáveis preliminares

4.2.1 Período de Retorno

Utilizando a Equação 01 e substituindo os valores do perímetro (1,73 km) e da área (0,15 km²), obtemos que o valor de K_c é igual a 1,25.

De acordo com as regulamentações vigentes, um Índice de Gravelius superior a 1,2 sugere que a bacia tem uma forma menos circular, o que implica em uma maior concentração de escoamento superficial. Com base no inciso V do art. 15 da Lei nº 9511/2014 (Goiânia, 2014) no qual prevê a adoção de um período de retorno de 10 anos quando K_c é maior que 1,2.

4.2.2 Tempo de Concentração

Figura 4 – Comprimento da Talvegue



Fonte: Portal mapa Goiânia (08 de julho de 2025).

A diagonal representada na Figura 04 foi obtida através da escolha de dois pontos extremos do terreno. Foi possível verificar que a distância entre esses dois pontos era de aproximadamente 644 m e que suas respectivas cotas eram de 819 e 805, contabilizando uma diferença de nível de 14 m. Portando a declividade da área é a razão entre a diferença de nível e a distância entre eles, que neste caso equivale a 0,02 m/m. Assim, substituindo esses valores na equação 2 tem-se que o tempo de concentração é de aproximadamente 13 minutos.

4.2.3 Intensidade pluviométrica

Substituindo os valores de T e t , respectivamente 10 anos e 13 minutos, na Equação 3, obtém-se uma intensidade de precipitação de 2,62 mm/min, equivalente a 157,2 mm/h. Com base nesse resultado, e variando os períodos de retorno, foi possível traçar a curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para o município de Goiânia — uma ferramenta amplamente utilizada em estudos hidrológicos para estimar as chuvas máximas em uma determinada bacia hidrográfica.

4.2.4 Coeficiente de runoff

Na situação de pós desenvolvimento a área impermeável será de 54,61% tal qual estabelecido anteriormente. Enquanto, que para simular a situação de pré desenvolvimento, Tomaz (2013) recomenda adotar entre 5 e 10% de área impermeável. Optou-se, portanto, por adotar uma área impermeável de 10%. Assim, os coeficientes de pré e pós desenvolvimento são, respectivamente, 0,14 e 0,54.

A Lei nº 9511 / 2014 (Goiânia, 2014) do município de Goiânia, não faz nenhuma consideração visando a determinação do coeficiente de runoff, porém estabelece que para bacias de retenção com tempo de concentração superior a 5 minutos deve-se considerar o coeficiente de pré- desenvolvimento igual a 0,15. A fim de seguir ao máximo o padrão da legislação local e visando uma redução, mesmo que pequena, do volume do reservatório serão efetuados cálculos considerando $C_{pré}$ igual a 0,15.

4.2.5 Vazão de Pré e Pós Desenvolvimento

Substituindo a área do condomínio que é de 0,15 Km² ou 15 ha, a intensidade pluviométrica igual a 157,2 mm/h, já calculada anteriormente, e considerando os coeficientes de pré e pós desenvolvimento iguais a, respectivamente, 0,15 e 0,54; tem-se que as vazões de pré e pós desenvolvimento equivalem a, respectivamente, 0,98 m³/s e 3,54 m³/s.

4.3 Volume do Reservatório pelo método racional

Substituindo o valor do período de concentração (13 minutos), os coeficientes de runoff para as etapas de pré e pós desenvolvimento, respectivamente 0,15 e 0,54, e a intensidade pluviométrica (2,62 mm/min) verificou-se que o volume do reservatório é de aproximadamente 2995,20 m³.

4.4 ANALISE DA VIABILIDADE ECONOMICA

4.4.1 Orçamentos

Para a estimativa dos custos desta obra, foi utilizada a Tabela SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, referente ao mês de junho de 2025, adotando-se os valores desonerados. A escolha por utilizar a tabela desonerada se deu por ser o formato mais empregado em estudos acadêmicos e orçamentos comparativos, uma vez que apresenta valores livres da incidência de encargos sociais e trabalhistas integrais, permitindo uma análise mais próxima dos custos diretos de execução. Além disso, a SINAPI é a base de referência oficial utilizada por órgãos públicos e empresas de engenharia para orçamentação e planejamento de obras, garantindo maior confiabilidade e padronização dos valores.

Os projetos utilizados foram elaborados com caráter genérico, servindo como base arquitetônica e construtiva para a estimativa de custos, sem detalhamento de fabricantes específicos ou métodos construtivos singulares. As especificações técnicas foram definidas de forma geral, considerando as práticas mais comuns em obras desse porte e tipologia.

O orçamento desenvolvido contemplou apenas a implantação e estrutura do reservatório de retenção, englobando serviços de movimento de terra, execução de base, paredes e impermeabilização. Não foram considerados, neste levantamento, os

custos referentes a tubulações, válvulas, grelhas, comportas e demais acessórios de manobra, visto que estes dependem de especificações hidráulicas e operacionais que fogem ao escopo arquitetônico adotado.

4.4.2 Orçamento para execução do reservatório enterrado

O projeto adotado como base para a estimativa orçamentária consiste em um reservatório retangular em concreto armado, com dimensões de 40 × 25 × 3 metros, totalizando um volume de 3.000 m³. Trata-se de uma solução enterrada, projetada para a detenção temporária de águas pluviais, equipada com tampas de inspeção e extravasor, sendo o escoamento final direcionado à rede pública de drenagem pluvial.

A elaboração do orçamento preliminar foi realizada com base na Tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), referente ao mês de junho de 2025, utilizando-se composições de custos unitários atualizados. Para fins dessa estimativa, foram consideradas premissas técnicas aproximadas em relação às características estruturais e arquitetônicas, as quais serão detalhadas com maior precisão nas etapas subsequentes do projeto executivo do reservatório e do sistema de drenagem. O custo estimado para a implantação do reservatório fechado é de R\$ 1.462.774,60.

Reservatórios de detenção pluvial, especialmente os do tipo enterrado e fechado, demandam manutenção periódica para assegurar o desempenho hidráulico, prevenir processos de assoreamento e garantir a durabilidade da estrutura ao longo do tempo. Entre as ações de manutenção destacam-se a remoção de sedimentos, inspeções estruturais, desobstrução das tubulações e verificação de dispositivos como extravasores e tampas de acesso.

Com base nas diretrizes da CETESB (2020) e da Agência Nacional de Águas – ANA (2018), recomenda-se que a manutenção preventiva desses reservatórios ocorra, no mínimo, duas vezes ao ano, especialmente em empreendimentos residenciais. Para o reservatório projetado, estima-se um custo anual aproximado de R\$ 10.700,00, valor obtido a partir do preço médio praticado no mercado para a execução de uma limpeza completa, considerando o uso de caminhão hidrojato/vácuo, equipe técnica especializada, transporte e descarte dos resíduos.

É importante destacar que esse valor pode variar conforme fatores como a complexidade de acesso ao reservatório, o volume de sedimentos acumulados, a localização geográfica e as condições contratuais dos prestadores de serviço.

4.4.3 Orçamento para execução do reservatório aberto

Para efeito de comparação, foi considerado um reservatório aberto com volume útil de 3.000 m³, destinado à detenção temporária de águas pluviais. A solução adotada consiste em um reservatório aberto com taludes revestidos por sistema geossintético composto por geotêxtil não tecido e geomembrana em PEAD (polietileno de alta densidade), complementado por camada de proteção mecânica em solo. Essa configuração foi escolhida por apresentar baixo custo de implantação, elevada estanqueidade e rapidez construtiva, sendo amplamente empregada em obras de controle de cheias e armazenamento temporário.

Embora, neste modelo, não seja viável sua utilização como área de recreação ou quadra esportiva. O escoamento final da água armazenada é direcionado à rede pública de drenagem pluvial por meio de dispositivos de descarga e by-pass.

A elaboração do orçamento preliminar foi realizada com base na Tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), referente ao mês de junho de 2025, utilizando composições de custos unitários atualizados prioritariamente do estado de Goiás. Nos casos em que não houve disponibilidade da composição para Goiás, adotou-se a composição equivalente do estado de São Paulo.

Para essa estimativa, foram consideradas premissas técnicas aproximadas quanto às características geométricas, estruturais e de revestimento, que poderão ser refinadas nas etapas subsequentes do projeto executivo do reservatório e do sistema de drenagem. O custo estimado para a implantação do reservatório aberto com geomembrana é de R\$ 309.998,04.

De acordo com as diretrizes da CETESB (2020) e da ANA (2018), recomenda-se que a manutenção preventiva ocorra, no mínimo, duas vezes ao ano, podendo haver necessidade de intervenções adicionais conforme a intensidade de chuvas e a quantidade de resíduos carreados.

Para estimar o custo de manutenção anual do reservatório aberto revestido com geomembrana, adotou-se como referência metodologias indicadas em

publicações internacionais e nacionais sobre operação de dispositivos de retenção de águas pluviais. Estudos internacionais, como os apresentados pela US Environmental Protection Agency (EPA), recomendam que os custos anuais de operação e manutenção (O&M) de bacias de retenção situem-se entre 3% e 5% do custo total de implantação. Esse intervalo também é citado em trabalhos técnicos brasileiros sobre sistemas de drenagem urbana, ajustado às condições locais de operação.

Considerando que o custo estimado para implantação do reservatório proposto é de R\$ 309.998,04, obtemos:

- 3% → aproximadamente R\$ 9.300,00/ano
- 5% → aproximadamente R\$ 15.500,00/ano

Dessa forma, para fins de análise neste trabalho, adota-se o valor médio de R\$ 12.400,00/ano como estimativa preliminar de manutenção. Esse montante contempla atividades como limpeza de resíduos sólidos, remoção de sedimentos superficiais, inspeções visuais periódicas da geomembrana, pequenos reparos localizados, desobstrução de estruturas de entrada e saída, e transporte/destinação adequada de resíduos.

4.4.4 Orçamento para execução do sistema de drenagem

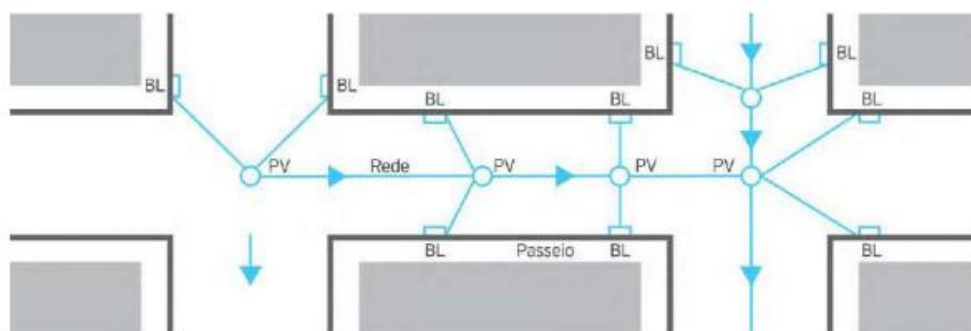
Cabe destacar que o dimensionamento de bocas de lobo em projetos de drenagem pluvial deve, em rigor, ser realizado com base nos cálculos hidrológicos das vazões afluentes, considerando a área de contribuição, a intensidade da precipitação de projeto e os parâmetros técnicos estabelecidos em norma. Contudo, optou-se por utilizar uma estimativa simplificada, adotando o volume médio de armazenamento de 1,5 m³ por unidade de boca de lobo simples, conforme detalhamento técnico do DNIT (ver Anexo A). Essa abordagem foi escolhida devido ao escopo do presente trabalho, que tem como foco principal a comparação entre soluções convencionais e alternativas de drenagem, e não o detalhamento executivo do sistema de microdrenagem. Tal simplificação permite obter uma ordem de grandeza dos custos envolvidos, preservando a coerência da análise sem demandar cálculos pormenorizados.

Com base nessa premissa, e considerando a composição de uma caixa para boca de lobo simples retangular em concreto pré-moldado (código 97935 da Tabela

SINAPI, junho de 2025), cujo custo unitário estimado é de R\$ 981,66, estimou-se que, para o volume total de amortecimento de 2.995,20 m³, seriam necessárias aproximadamente 1.997 bocas de lobo, resultando em um custo direto de cerca de R\$ 1.960.375,00.

É importante destacar, contudo, que esse valor representa apenas uma estimativa parcial, uma vez que não contempla os dispositivos complementares indispensáveis, como os poços de visita. Estes são essenciais para viabilizar a inspeção e a manutenção das galerias pluviais, conforme ilustrado na Figura 5, e representam um acréscimo considerável ao custo total do sistema convencional.

Figura 5 – Posicionamento típico de bocas de lobo (BL) e poços de visita (PV) na rede de drenagem



Fonte: Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do distrito federal (08 de julho de 2025).

4.4.5 Orçamento dos Danos Evitáveis com Solução de Drenagem

A adoção de soluções estruturais de drenagem urbana, como reservatórios de retenção de águas pluviais, além de mitigar alagamentos e inundações, contribui significativamente para a redução de prejuízos materiais e operacionais em áreas urbanizadas. Para estimar os danos potencialmente evitáveis com a implantação de um sistema desse tipo, considerou-se como base de comparação os dados consolidados das enchentes ocorridas no estado do Rio Grande do Sul em 2024, combinando área efetivamente atingida e estimativas oficiais de prejuízos.

A Nota Técnica do MapBiomias mapeou a extensão impactada (inundações, enxurradas, deslizamentos) em 5,6% do território estadual. A área oficial do Rio Grande do Sul é 281.707,151 km² segundo IBGE (2024). Desta forma temos que a área impactada foi de aproximadamente 1.577.560 ha.

A análise dos impactos econômicos das enchentes de maio de 2024 no Rio Grande do Sul apresenta diferenças significativas entre as estimativas de diferentes instituições, o que reforça a necessidade de considerar múltiplas fontes para embasar decisões de planejamento. Segundo levantamento da Confederação Nacional dos Municípios (CNM), os prejuízos totais informados por 94 municípios somaram aproximadamente R\$ 10,4 bilhões, distribuídos entre o setor habitacional (R\$ 4,6 bilhões), o setor privado (R\$ 3,4 bilhões) e danos à infraestrutura pública (R\$ 2,4 bilhões). Essa abordagem, contabiliza os prejuízos diretos e imediatos declarados por alguns municípios afetados, sem considerar impactos econômicos indiretos ou projeções de médio e longo prazo.

Por outro lado, uma análise conduzida em conjunto pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), a Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) e o Banco Mundial estimou um impacto econômico total muito mais abrangente, atingindo cerca de R\$ 88,9 bilhões. Esse cálculo incluiu não apenas os danos materiais diretos, mas também as perdas econômicas decorrentes da interrupção de atividades produtivas, dos custos adicionais com saúde pública e assistência social, e dos efeitos prolongados sobre a infraestrutura regional e a recuperação econômica.

Com base nesse cenário, adotou-se uma estimativa proporcional para o condomínio residencial em estudo, cuja área total corresponde a 151.000 m² (ou 15,1 hectares). Obteve-se um parâmetro de dano 'por hectare' entre R\$ 6.340/ha (estimativa consolidada da CNM) e R\$ 56.350/ha (avaliação abrangente de BID/CEPAL/Grupo Banco Mundial). Aplicando-se esses coeficientes à área do condomínio (15,1 ha), o dano potencial de referência por evento extremo situa-se entre R\$ 95,7 mil e R\$ 850,9 mil.

Considerando-se uma faixa de mitigação entre 30% e 60% com reservatórios de retenção (a ser confirmada na modelagem executiva), o dano evitável por evento varia aproximadamente de R\$ 28,7 mil a R\$ 510,5 mil. Esse resultado demonstra a relevância econômica da solução, mesmo antes da calibração hidrológica-hidráulica fina.

Estudos nacionais confirmam a elevada eficiência de reservatórios de retenção no retardo de picos de vazão. Em simulações aplicadas a sub-bacias no Distrito Federal, observou-se uma redução de 96% no pico de vazão em uma das sub-bacias e de 83% em outra, mesmo em cenários de sobrecarga operacional (SILVA, 2021).

Esses resultados justificam a adoção de um intervalo conservador de 30% a 60% de mitigação de danos em análises econômicas preliminares, até que modelagens hidráulicas locais permitam calibrar a taxa de redução com maior precisão.

Tais números demonstram que o retorno socioeconômico decorrente da implantação de sistemas de drenagem urbana pode superar o custo inicial, especialmente em empreendimentos residenciais de grande porte, como o analisado neste estudo, sujeitos a riscos recorrentes de alagamentos.

4.5 Análise dos resultados

O reservatório fechado, construído em concreto armado e enterrado, apresenta um custo inicial significativo, estimado em R\$ 1.462.774,60, refletindo a complexidade construtiva e os materiais utilizados. Sua manutenção anual, especializada e técnica, é estimada em R\$ 10.700,00, totalizando aproximadamente R\$ 107.000,00 em um horizonte de 10 anos. Assim, o custo total de implantação e manutenção ao longo de uma década alcança cerca de R\$ 1.569.774,60.

Em contraste, o reservatório aberto, com o mesmo volume útil, requer um investimento inicial menor, de R\$ 309.998,04, e apresenta uma manutenção anual estimada em R\$ 12.400,00, acumulando cerca de R\$ 124.000,00 em 10 anos. Assim, o custo total aproximado é de R\$ 433.998,04 no mesmo período, evidenciando uma redução significativa no desembolso financeiro.

Quando se compara o custo total de implantação e manutenção dos reservatórios com os benefícios econômicos advindos da redução dos danos evitáveis, observa-se que:

- Reservatório Fechado: Apesar do alto custo inicial, sua maior durabilidade, menor exposição a agentes externos e menor custo de manutenção tornam-no uma solução robusta e confiável para longo prazo. O investimento representa uma fração reduzida dos danos evitáveis estimados, indicando alta viabilidade econômica e técnica.
- Reservatório Aberto: Embora apresente menor custo inicial, a maior demanda por manutenção e o risco potencial de contaminação ou obstrução devido à exposição ambiental podem comprometer sua eficiência ao longo do tempo. Ainda assim, seu custo total permanece inferior ao montante dos danos evitáveis, tornando-o uma alternativa

viável, especialmente em locais onde o uso multifuncional do espaço é valorizado.

A decisão entre reservatório fechado ou aberto deve considerar não apenas o custo direto, mas também a frequência e complexidade da manutenção, além do potencial de redução dos danos socioeconômicos causados por enchentes. O retorno financeiro e social obtido pela mitigação de alagamentos justifica o investimento em ambos os sistemas, sendo fundamental a análise detalhada das condições locais, incluindo aspectos técnicos, ambientais e de uso urbano, para garantir a solução mais eficaz, sustentável e economicamente viável a médio e longo prazo.

5 CONCLUSÃO

A drenagem urbana é um tema de grande relevância para as cidades que enfrentam crescimento acelerado e aumento da impermeabilização do solo, como é o caso de Goiânia. Este trabalho demonstrou a importância do dimensionamento adequado de bacias de retenção para o manejo das águas pluviais, com o objetivo de minimizar os impactos causados por eventos de chuva intensa.

Ao comparar as soluções de reservatório fechado e aberto, observou-se que cada uma apresenta características próprias que influenciam diretamente na escolha mais adequada para cada situação. O reservatório fechado, embora demande um investimento inicial mais elevado, oferece maior resistência, durabilidade e menores custos de manutenção ao longo do tempo. Já o reservatório aberto, com custo inicial mais baixo, necessita de intervenções de manutenção mais frequentes devido à sua exposição, mas apresenta a vantagem de permitir usos múltiplos do espaço, agregando valor social ao empreendimento.

A análise dos custos totais, considerando implantação e manutenção, em conjunto com os benefícios econômicos decorrentes da redução de danos por enchentes, reforça a viabilidade da adoção de sistemas de retenção de águas pluviais. Os prejuízos evitados superam os custos dos investimentos realizados, o que evidencia a importância de se implementar medidas que promovam a gestão eficiente das águas pluviais.

Além disso, fica claro que a gestão da drenagem urbana precisa ser pensada de forma integrada, conciliando soluções técnicas tradicionais com práticas sustentáveis, como preconizado pelos Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável

(SUDS). Essas soluções auxiliam a tornar as cidades mais preparadas para enfrentar os desafios impostos pela urbanização e pelas mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que promovem a recuperação dos processos naturais do ciclo hidrológico.

Por fim, destaca-se a necessidade de planejamento cuidadoso e análise criteriosa das condições locais na escolha e implantação dos reservatórios, considerando fatores como frequência das chuvas, características do solo, facilidade de acesso para manutenção e a possibilidade de usos múltiplos do espaço. Assim, será possível garantir sistemas duráveis, eficientes e economicamente viáveis, capazes de reduzir os impactos negativos das águas pluviais e contribuir para um desenvolvimento urbano sustentável.

Este estudo contribui para a compreensão dos desafios e soluções relacionadas à drenagem urbana, fornecendo fundamentos técnicos e econômicos para orientar futuras decisões em projetos semelhantes, especialmente em contextos urbanos em expansão.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – **ABNT. NBR 15527:2007** – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 14p

ADASA – Agência reguladora de águas, energia e saneamento básico do DF. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal. 2. ed. Brasília, DF: ADASA; **UNESCO**, 2023. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/drenagem_urbana/regula%C3%A7%C3%A3o/Manual_de_drenagem_e_manejo_de_aguas_urbanas/Manual%20Drenagem%20Adasa_Digital_rev_compactado-2_compressed.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

AGOSTINHO, M. S. P.; POLETO, C. Sistemas sustentáveis de drenagem urbana: dispositivos. **Holos Environment** [S. l.], v. 12, n. 2, p. 121–131, 2012. DOI: 10.14295/holos.v12i2.3054. Disponível em: <https://www.cea-unesp.org.br/holos/article/view/3054>. Acesso em: 22 ago. 2025.

AGÊNCIA Bauru / “Extremos de precipitação e desastres hidro-geo-meteorológicos no Brasil” (artigo). Disponível em: https://www.agbbauru.org.br/publicacoes/DLAG2025/DLAG_1ed-2025-38.pdf. Acesso em: 26 ago. 2025

BOLINA, C. C. et al. Contribuição ao estudo de pavimento permeável: avaliação da capacidade drenante do paver com juntas alargadas. **Revista UniAraguaia**, v. 14, n. 2, p. 15-26, 2019. Disponível em: <https://sipe.uniaraquaiia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/download/748/Vol14-art-2/3287>. Acesso em: 22 ago. 2025.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID); COMISSÃO ECONÔMICA PARA A AMÉRICA LATINA E O CARIBE (CEPAL); BANCO MUNDIAL. Estudo conjunto sobre os efeitos das cheias no Rio Grande do Sul em 2024. Brasília, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/press-release/2024/11/28/relatorio-banco-mundial-bid-cepal-impacto-enchentes-pib-rio-grande-sul>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – **Diagnóstico dos Serviços de Águas Pluviais** (SNIS-AP 2019). Brasília, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/aguas-pluviais/2019/Diagnostico_AP2019.pdf. Acesso em: 6 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2007/lei-11445-5-janeiro-2007-549031-publicacaooriginal-64311-pl.html>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 28 mai. 2012. Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 26 set. 2025.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza a Lei nº 11.445/2007. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=LEI&numero=14026&ano=2020&ato=cfaATWE9EMZpWT417>. Acesso em: 6 jun. 2025.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934. Código de Águas. **Diário Oficial da União**: seção 1, 20 jul. 1934, p. 14738.

CNM - Confederação Nacional de Municípios. Prejuízos com as chuvas no Rio Grande do Sul passam de R\$ 10 bilhões. **CNM**, 17 maio 2024. Disponível em: <https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/prejuizos-com-as-chuvas-no-rio-grande-do-sul-passam-de-r-10-bilhoes>. Acesso em: 6 jun. 2025.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). SINAPI — Relatórios mensais: junho/2025 [planilha “SINAPI Referência”, aba CCD — Composições com desoneração]. Brasília: CAIXA, 2025. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-relatorios-mensais/SINAPI-2025-06-formato-xlsx.zip>. Acesso em: 08 ago. 2025.

CEMADEN / MCTI. Cemaden registra recorde de alertas e mais de 1,6 mil ocorrências de desastre no Brasil em 2024. Brasília, 10 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2025/01/cemaden-registra-recorde-de-alertas-e-mais-de-1-6-mil-ocorrencias-de-desastre-no-brasil-em-2024>. Acesso em: 08 ago. 2025.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT); INSTITUTO DE PESQUISAS EM TRANSPORTES (IPR). **Álbum de projetos-tipo de dispositivos de drenagem**. 5. ed. Rio de Janeiro: DNIT/IPR, 2018. Atualizado pela Emenda 2 (04 mar. 2024), Emenda 3 (28 nov. 2024) e Emenda 4 (26 jun. 2025). Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr-736-album-de-projetos-tipo-de-dispositivos-de-drenagem>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FERREIRA, Bárbara. Goiânia supera média nacional em índice de drenagem urbana enquanto Goiás obtém melhora. **Jornal Opção**, 17 abr. 2025. Disponível em: <https://www.jornalopcao.com.br/ultimas-noticias/indice-de-drenagem-urbana-em-goias-fica-abaixo-da-media-nacional-698774/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

GOIÂNIA (GO). **Lei Complementar nº 177, de 09 de janeiro de 2008**. Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de Goiânia e dá outras providências. Goiânia, GO, 2008. 76 p. Disponível em: <http://www.goiania.go.gov.br/download/legislacao/codigodeobras.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2024.

GOIÂNIA (GO). **Lei Complementar nº 349, de 4 de março de 2022**. Institui o Plano Diretor do Município de Goiânia e dá outras providências. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia, 2022. Disponível em: https://www.goiania.go.gov.br/html/gabinete_civil/sileg/dados/legis/2022/lc_20220304_000000349.html. Acesso em: 20 ago. 2024.

GOIÂNIA (GO). **Lei Complementar nº 364, de 13 de janeiro de 2023**. Institui o Código de Obras e Edificações do Município de Goiânia. Goiânia: Prefeitura Municipal de Goiânia, 2023. Disponível em: https://www.goiania.go.gov.br/html/gabinete_civil/sileg/dados/legis/2023/lc_20230113_000000364.html. Acesso em: 20 ago. 2024.

GOIÂNIA (GO). **Lei nº 9.511, de 15 de dezembro de 2014**. Estabelece regras de controle de águas pluviais e drenagem urbana e dá outras providências. Goiânia: Câmara Municipal / Prefeitura Municipal, 2014. Disponível em: https://www.goiania.go.gov.br/html/gabinete_civil/sileg/dados/legis/2014/lo_20141215_000009511.pdf. Acesso em: 22 ago. 2025.

GOIÂNIA (GO). Prefeitura. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Diagnóstico Geral. Goiânia, 2024**. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/arg/wp-content/uploads/sites/19/2024/06/00_Diagnostico_Relatorio_Geral.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. Drenar-DF: inaugurado o maior sistema de drenagem de Brasília. Agência Brasília, Brasília, 29 mar. 2025. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/w/drenar-df-inaugurado-o-maior-sistema-de-drenagem-de-brasilia>. Acesso em: 6 jun. 2025.

INMET - Instituto nacional de meteorologia (Brasil). Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – **BDMEP**. Brasília: INMET, 2024. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 25 ago. 2025

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades – Goiânia: perfil demográfico. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>>. Acesso em: 22 dez. 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas populacionais 2010-2022: Goiânia. Disponível em: <https://ciberjornal.com.br/goias/censo-2022-do-ibge-mostra-que-goias-e-goiania-tiveram-grande-aumento-populacional-confira/64000/>. Acesso em: 6 ago. 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE. Panorama: Brasil/Goiás/Goiânia. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>. Acesso em: 21 ago. 2024.

LOPES, W.; et al. Impactos do crescimento de áreas impermeáveis e o uso de medidas alternativas para a drenagem urbana. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e213997102, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.7102. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343872430_Impactos_do_crescimento_de_areas_impermeaveis_e_o_uso_de_medidas_alternativas_para_a_drenagem_urban>. Acesso em: 22 ago. 2025.

LOPES, W. G. R. et al. Alternativas compensatórias de drenagem urbana em cidades brasileiras: estudo de caso em Teresina (PI). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e213997102, 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/7102/6349/105819>>. Acesso em: 6 jun. 2025

MAPBIOMAS. Nota Técnica: Os impactos do evento climático de maio de 2024 sobre a cobertura e o uso da terra no Rio Grande do Sul. UFRGS, IPAM, UFG, Geokarten, Ecode, Imazon, Remap Geotecnologias, MapBiomass, 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/06/NT_Evento_climatico_extremo_RS_maio_2024_Final.pptx.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

MENDES, A. T.; SANTOS, G. R. dos. Drenagem e manejo sustentável de águas pluviais urbanas: o que falta para o Brasil adotar? Texto para Discussão, n. 2791, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/284855/1/TD2791.pdf>>. Acesso em: 6 jun. 2025.

O POPULAR. Defesa Civil tem 126 pontos de alagamento mapeados em Goiânia. O Popular, Goiânia, 16 fev. 2024. Disponível em: <https://opopular.com.br/cidades/defesa-civil-tem-126-pontos-de-alagamento-mapeados-em-goiania-1.3220503>. Acesso em: 25 ago. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA (IPCC). Relatório Síntese do Sexto Relatório de Avaliação (AR6). 2023. Disponível em: <https://educacao.cemaden.gov.br/midioteca/relatorio-sintese-do-sexto-relatorio-de-avaliacao-do-ipcc/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos; SUDERHSA; CH2M HILL. Manual de Drenagem Urbana – Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba, 2002 (versão digital IAT/PR, 2020). Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mdu_versao01.pdf Acesso em: 22 ago. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Goiânia – PDDU-GYN: Prognóstico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. Goiânia: Prefeitura Municipal, 2025 p. 164. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/arg/wp-content/uploads/sites/19/2025/03/Prognostico-JOAO-LEITE-sem-apendice-MINUTA.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2025

PREFEITURA DE GOIÂNIA. Plano Diretor de Drenagem Urbana – Diagnóstico Geral. Goiânia, 2024. Disponível em: https://www.goiania.go.gov.br/arg/wp-content/uploads/sites/19/2024/06/00_Diagnostico_Relatorio_Geral.pdf. Acesso em: 6 jun. 2025.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Prefeitura do Rio entrega Piscinão de Ramos renovado. Rio de Janeiro, 20 jan. 2023. Disponível em: <https://prefeitura.rio/parques-e-jardins/prefeitura-do-rio-entrega-piscinao-de-ramos-renovado/>. Acesso em: 03 set. 2025.

RIBEIRO, L. F. et al. Técnicas compensatórias em drenagem urbana aplicadas em áreas de ocupação espontânea. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 15., 2017. Anais [...]. [S. l.]: ENEEAMB, 2017. p. 55-62. RIBEIRO, E. et al. Verificação da eficiência do sistema de drenagem urbana de águas pluviais em área de ocupação espontânea. XV ENEEAMB, 2017.

SANTOS, S. L. **Estudo de pavimento permeável como estratégia de drenagem complementar em áreas urbanas**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Instituto Federal de Goiás, Goiânia, 2021. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1055/1/TCC_Samara%20Lima.pdf. Acesso em: 6 jun. 2025.

SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO (SEPLAM); FUNDO MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO (FMDU); INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO DO CENTRO-OESTE (ITCO). Zoneamento Ecológico Econômico do Município de Goiânia. Goiânia: SEPLAM/FMDU/ITCO, 2008. Disponível em: http://www.goiania.go.gov.br/download/aprovnet/zee/zee_Relatorio_tecnico.pdf. Acesso em: 6 ago. 2025.

SETTI, Arnaldo Augusto; et al. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000. 207 p. Disponível em: <https://lamorh.ufes.br/sites/lamorh.ufes.br/files/field/anexo/introducao_ao_gerenciamento_de_recursos_hidricos.pdf>. Acesso em: 6 ago. 2025.

SILVA, T. J. B. Avaliação da eficiência de reservatórios de retenção no amortecimento do pico de vazão em sub-bacias do Distrito Federal. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2021, Brasília. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2021. p. 1-8. Disponível em: <<https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP023116.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SILVEIRA, A. L. L. Drenagem urbana: aspectos de gestão. Apostila. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; CNPq, 2002. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/311995773/Apostila-de-Drenagem-Urbana-Do-Prof-Silveira>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SBARRA, M. A implantação do Piscinão de Ramos e suas consequências nas dinâmicas urbanas e sociais dos moradores do Complexo da Maré – uma abordagem sociotécnica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, ano 10, ed. 01, p. 05-35, 2025. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/arquitetura/piscinao-de-ramos>. Acesso em: 10 jun. 2025.

TERRACAP; NOVACAP. Bacia de retenção do Drenar-DF enche pela primeira vez. Correio Braziliense, Brasília, 24 jan. 2025. Disponível em: <https://www.correiobraziliense.com.br/cidades-df/2025/01/7042965-bacia-de-detencao-do-drenar-df-enche-pela-primeira-vez.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK (IDB). IDB approves US\$56.7 million for urban environmental program in Brazil. 2021. Disponível em: <https://www.iadb.org/en/news>. Acesso em: 20 ago. 2024.

KEMERICH, P. D. C et al. Infiltração e escoamento superficial sob diferentes usos e Ocupação em uma bacia hidrográfica. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 37, n. 2, p. 75-88, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.11137/2014_2_75_88. Acesso em: 20 ago. 2024.

VASCONCELOS, Beatriz Campos. Dimensionamento de bacias de retenção de águas pluviais em condomínio urbano. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, Goiânia, 2019. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/373/1/tcc_Beatriz%20Campos%20Vasconcelos.pdf. Acesso em: 23 ago. 2024.

KIRPICH, Z. P. Time of concentration of small agricultural watersheds. Civil Engineering, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

TOMAZ, Plínio. Curso de Manejo de Águas Pluviais – Cap. 2: Método Racional. 2012. Disponível em: <https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf> . Acesso em: 20 ago. 2025.

TOMAZ, Plínio. Curso de Manejo de Águas Pluviais - Cap 3: Tempo de Concentração. 2013. Disponível em: <https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf> . Acesso em: 20 ago. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário Thadeu Leme de (orgs.). Drenagem urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 1995. 428 p. ISBN 8570253648. Disponível em: <<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?LIVRO=152&PUB=4>>. Acesso em: 20 ago. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão de águas pluviais urbanas. Brasília: Ministério das Cidades, 2008. 197 p. (Saneamento para Todos; 4). ISBN 978-85-60133-35-2. Disponível em: <<https://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/06906898a257ceb3ec8687675e9e36c8.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2025.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2001. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4). ISBN 85-7025-298-6. Disponível em: <<https://uesb.pergamum.com.br/acervo/74517/reserva>> . Acesso em: 20 ago. 2025.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ORÇAMENTO RESERVATÓRIO ENTERRADO

Optou-se por um reservatório enterrado com dimensões aproximadas às de uma quadra poliesportiva (40,00 m de comprimento, 25,00 m de largura e 4,00 m de altura útil), possibilitando que, em períodos de estiagem, sua área superior possa ser utilizada como espaço de lazer. As espessuras adotadas para efeito de cálculo foram de 0,20 m para as paredes, laje de cobertura e radier (laje inferior), compatíveis com soluções construtivas correntes para reservatórios de concreto armado.

O orçamento elaborado contempla exclusivamente a estrutura do reservatório, não incluindo tubulações de entrada e saída, conexões, válvulas, bombas ou qualquer outro componente hidráulico necessário ao funcionamento pleno. A exclusão desses itens justifica-se pela necessidade de um projeto hidráulico detalhado e cálculo específico, que não fazem parte do escopo deste trabalho.

Quantitativos de aço (método paramétrico, com controle de fissuração nas duas faces):

- Paredes: $150 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 15,6 \text{ t}$
- Laje de cobertura: $120 \text{ kg/m}^3 \rightarrow 24,0 \text{ t}$

As taxas adotadas seguem faixas recomendadas em literatura técnica (Helene & Terzian, 1992; PINTO, 2011; GIONGO, 2015), no TCPO e no SINAPI:

- Lajes: $100\text{--}140 \text{ kg/m}^3$
- Paredes: $130\text{--}180 \text{ kg/m}^3$

Os preços unitários foram extraídos da Tabela SINAPI – junho/2025, priorizando Goiás e, na ausência, São Paulo. Após o custo direto, aplicou-se BDI de 30% para contemplar despesas indiretas e lucro.

Planilha Orçamentária

Contratante: IFG - Instituto Federal de Goiás

Obra: Reservatório de detenção enterrado volume 3000m^3

Data: **8-jul-25**

Item	Planilha Origem	Código de origem	Descrição	un	Quant.	Preço (R\$)	Preço Total (R\$)
01			Serviços Preliminares				
1.1	SINAPI 06/2025	98524	LIMPEZA MANUAL DE VEGETAÇÃO EM TERRENO COM ENXADA. AF_03/2024	m ²	1.134,00	4,46	R\$ 5.057,64

1.2	SINAPI 06/2025	105009	LOCAÇÃO CONVENCIONAL DE OBRA, UTILIZANDO GABARITO DE TÁBUAS CORRIDAS PONTALETADAS A CADA 1,50M - 2 UTILIZAÇÕES. AF_03/2024	m	134,00	76,05	R\$	10.190,70
Total do Sub-Item 01							R\$	15.248,34
02			Serviços em Terra					
2.1	SINAPI 06/2025	101207	ESCAVAÇÃO VERTICAL PARA EDIFICAÇÃO, COM CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE DE SOLO DE 1ª CATEGORIA, COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA: 0,8 M³ / 111 HP), FROTA DE 2 CAMINHÕES BASCULANTES DE 18 M³, DMT ATÉ 1 KM E VELOCIDADE MÉDIA 14 KM/H. AF_05/2020	m³	4.536,00	10,90	R\$	49.442,40
2.2	SINAPI 06/2025	97084	COMPACTAÇÃO MECÂNICA DE SOLO PARA EXECUÇÃO DE RADIER, PISO DE CONCRETO OU LAJÉ SOBRE SOLO, COM COMPACTADOR DE SOLOS TIPO PLACA VIBRATÓRIA. AF_09/2021	m²	1.026,16	0,70	R\$	718,31
Total do Sub-Item 02							R\$	50.160,71
03			Fundações, Sondagens e Contenção					
3.1	SINAPI 06/2025	97103	EXECUÇÃO DE RADIER, ESPESSURA DE 20 CM, FCK = 30 MPA, COM USO DE FORMAS EM MADEIRA SERRADA. AF_09/2021	m²	1.026,16	281,28	R\$	288.638,28
							R\$	288.638,28
04			Estrutura					
4.1	SINAPI 06/2025	92763	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	Kg	15.600,00	8,70	R\$	135.720,00
4.2	SINAPI 06/2026	92774	ARMAÇÃO DE LAJE DE ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_06/2022	Kg	24.000,00	8,28	R\$	198.720,00
4.3	SINAPI 06/2025	92443	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE PILARES RETANGULARES E ESTRUTURAS SIMILARES, PÉ-DIREITO SIMPLES, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 18 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	520,00	58,40	R\$	30.368,00
4.4	SINAPI 06/2025	92536	MONTAGEM E DESMONTAGEM DE FÔRMA DE LAJE MACIÇA, PÉ-DIREITO DUPLO, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, 18 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020	m²	1.000,00	73,23	R\$	73.230,00
4.5	SINAPI 06/2025	103684	CONCRETAGEM DE RESERVATÓRIOS, FCK=25 MPA, COM USO DE BOMBA - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_02/2022_PS	m³	309,23	771,14	R\$	238.461,16
4.6	SINAPI 06/2025	43440	CONJUNTO PRE-MOLDADO COMPOSTO POR GRELHA (0,99 X 0,45 M), QUADRO (1,10 X 0,52 M) E CANTONEIRA (1,10 X 0,35 M), EM CONCRETO ARMADO, COM FCK DE 21 MPA	pç	1,00	334,85	R\$	334,85
4.7	SINAPI 06/2025	98557	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM EMULSÃO ASFÁLTICA, 2 DEMÃOS. AF_09/2023	m²	2.520,00	37,33	R\$	94.071,60
Total do Sub-Item 04							R\$	770.905,61
06			Hidraulico					
6.1	SINAPI 06/2025		TAMPAO FOFO SIMPLES COM BASE / REQUADRO, CLASSE A15 CARGA MAX. 1,5 T, 300 X 300 MM (COM INSCRICAO EM RELEVO DO TIPO DE REDE)	um	2,00	129,14	R\$	258,28
Total do Sub-Item 06							R\$	258,28
				Total Parcial			R\$	1.125.211,23
				BDI		30,00%	R\$	337.563,37
				TOTAL GERAL			R\$	1.462.774,60

APÊNDICE B – ORÇAMENTO RESERVATÓRIO ABERTO

O levantamento de quantitativos do presente projeto foi realizado a partir das dimensões e características construtivas definidas no projeto arquitetônico e nos critérios técnicos adotados para a solução escolhida. A estimativa contemplou exclusivamente os serviços e insumos referentes à execução da estrutura do reservatório de detenção em si, não incluindo a estrutura de chegada, dispositivos de descarga ou materiais hidráulicos necessários para a plena funcionalidade do sistema. Essa exclusão se justifica pelo fato de que tais elementos demandariam um detalhamento e um cálculo hidráulico específicos, o que não se enquadra no escopo do presente trabalho.

Para a elaboração do orçamento, adotou-se como base a Tabela SINAPI – junho de 2025, priorizando as composições e preços de referência do estado de Goiás. Nos casos em que o insumo ou serviço não estava disponível na base de Goiás, recorreu-se à composição equivalente disponível no estado de São Paulo, mantendo a compatibilidade técnica e construtiva.

Optou-se pelo dimensionamento e orçamento de um reservatório aberto revestido com geomembrana em polietileno de alta densidade (PEAD), solução amplamente utilizada em obras de detenção e armazenamento de águas pluviais. Essa escolha se justifica por diversos fatores:

- Baixo custo de execução em comparação a reservatórios em concreto armado;
- Rapidez de instalação, já que a execução envolve majoritariamente serviços de movimentação de terra e implantação do geossistema (geotêxtil + geomembrana + proteção mecânica);
- Flexibilidade de adaptação ao terreno, permitindo acomodação a diferentes formatos e dimensões;
- Alta estanqueidade, devido às propriedades da geomembrana e à execução com soldas termo-fundidas.

Como limitação, ressalta-se que, no modelo adotado, a superfície do reservatório não pode ser utilizada como área funcional (como quadra ou estacionamento) quando vazio, uma vez que a estrutura é aberta e possui taludes,

não sendo projetada para tráfego ou uso recreativo. Ainda assim, o custo-benefício e a viabilidade construtiva o tornam uma alternativa eficiente para o objetivo proposto.

Planilha Orçamentária

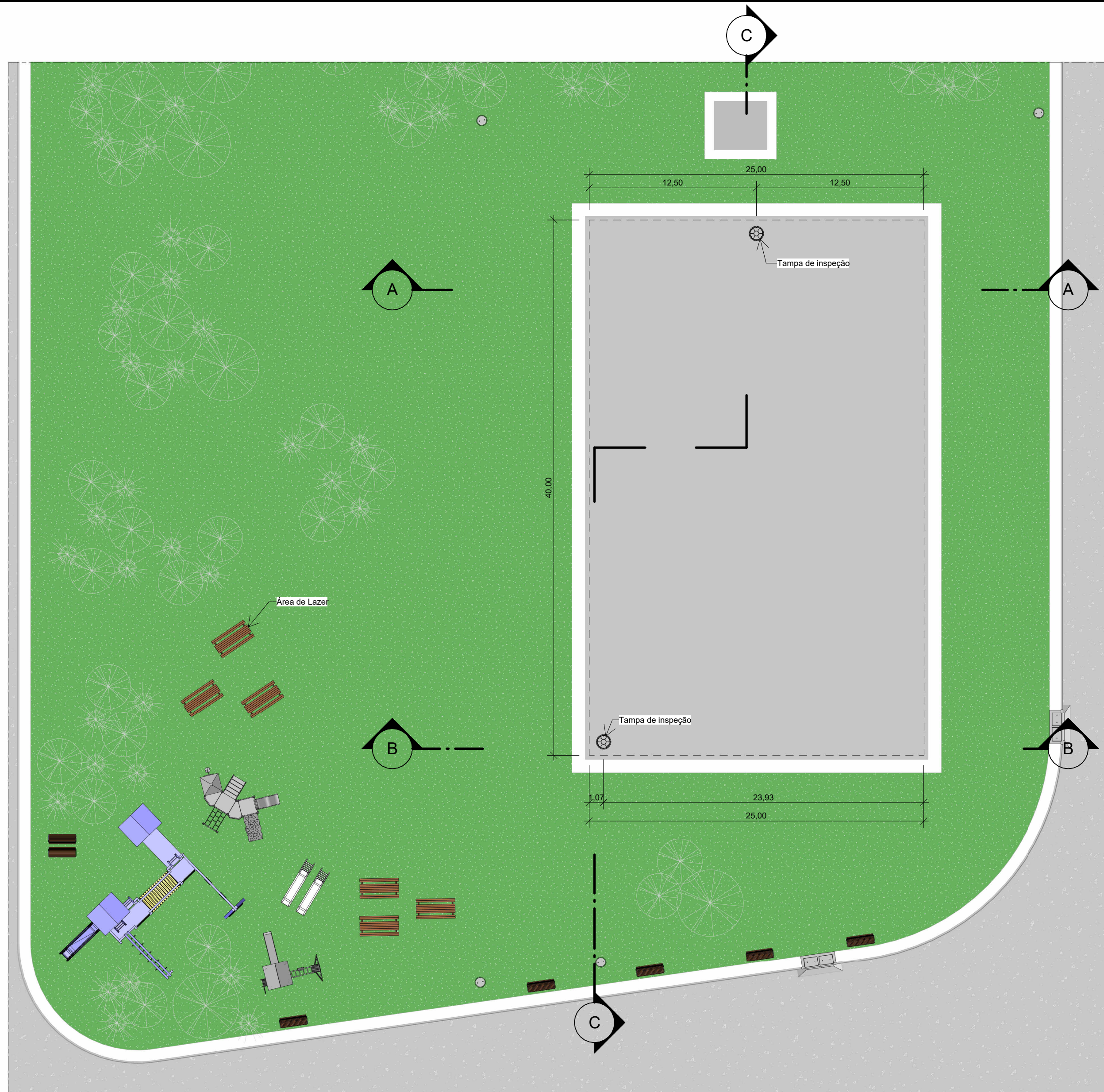
Contratante: IFG - Instituto Federal de Goiás

Obra: Reservatório de detenção aberto volume 3000m³

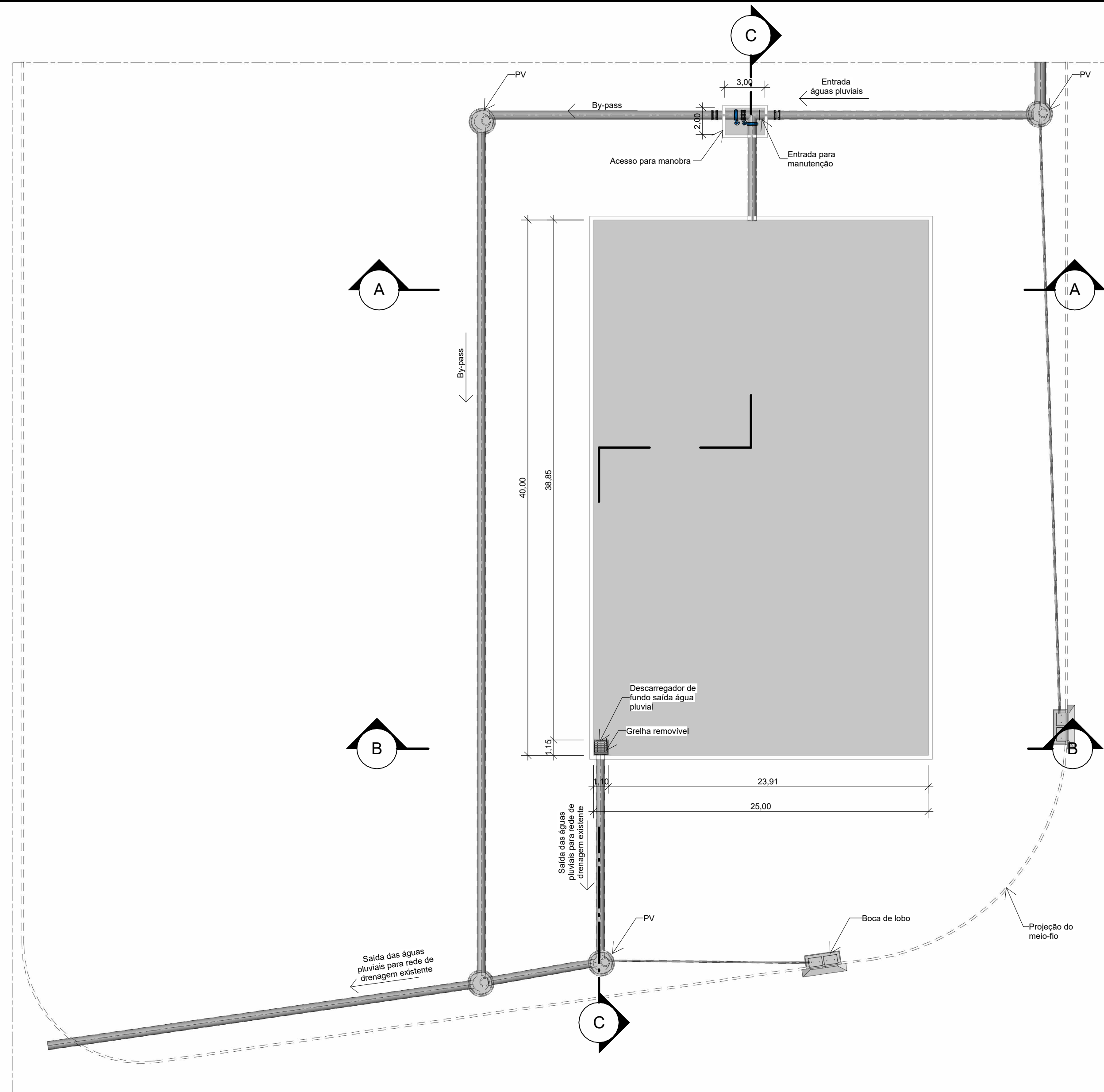
Data: 8-jul-25

Item	Planilha Origem	Código de origem	Descrição	un	Quant.	Preço (R\$)	Preço Total (R\$)
01			Serviços Preliminares				
1.1	SINAPI 06/2025	98524	LIMPEZA MANUAL DE VEGETAÇÃO EM TERRENO COM ENXADA. AF_03/2024	m²	1.840,00	4,46	R\$ 8.206,40
1.2	SINAPI 06/2025	105009	LOCAÇÃO CONVENCIONAL DE OBRA, UTILIZANDO GABARITO DE TÁBUAS CORRIDAS PONTALETADAS A CADA 1,50M - 2 UTILIZAÇÕES. AF_03/2024	m	184,80	76,05	R\$ 14.054,04
			Total do Sub-Item 01				R\$ 22.260,44
02			Serviços em Terra				
2.1	SINAPI 06/2025	101207	ESCAVAÇÃO VERTICAL PARA EDIFICAÇÃO, COM CARGA, DESCARGA E TRANSPORTE DE SOLO DE 1ª CATEGORIA, COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAÇAMBA: 0,8 M³ / 111 HP), FROTA DE 2 CAMINHÕES BASCULANTES DE 18 M³, DMT ATÉ 1 KM E VELOCIDADE MÉDIA 14 KM/H. AF_05/2020	m³	4.367,88	10,90	R\$ 47.609,89
2.2	SINAPI 06/2025	100577	REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO DE SUBLEITO DE SOLO PREDOMINANTEMENTE ARENOSO, PARA OBRAS DE CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS. AF_09/2024	m²	1.848,32	1,38	R\$ 2.550,68
			Total do Sub-Item 02				R\$ 50.160,57
03			Estrutura				
3.1	SINAPI 06/2025	102713	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 14 KN/M (RT - 14), INSTALADO EM DRENO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_07/2021	m²	4.215,04	10,60	R\$ 44.679,42
3.2	SINAPI 06/2025	44509	MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 2,00 MM (NBR 15352)	m²	2.107,52	57,34	R\$ 120.845,20
							R\$ 165.524,62
04			Estrutura				
4.2	SINAPI 06/2025	102991	CANALETA MEIA CANA PRÉ-MOLDADA DE CONCRETO (D = 40 CM) - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_05/2025	m	5,00	102,88	R\$ 514,40
4.4	SINAPI 06/2025	43440	CONJUNTO PRÉ-MOLDADO COMPOSTO POR GRELHA (0,99 X 0,45 M), QUADRO (1,10 X 0,52 M) E CANTONEIRA (1,10 X 0,35 M), EM CONCRETO ARMADO, COM FCK DE 21 MPA	pç	1,00	334,85	R\$ 334,85
			Total do Sub-Item 04				R\$ 514,40
				Total Parcial			R\$ 238.460,03
				BDI		30,00%	R\$ 71.538,01
				TOTAL GERAL			R\$ 309.998,04

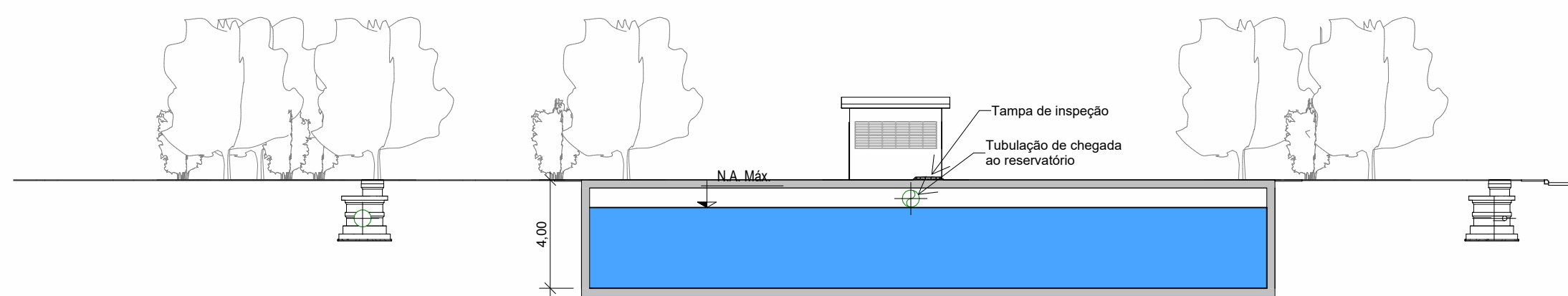
APÊNDICE C – PROJETOS DE APOIO



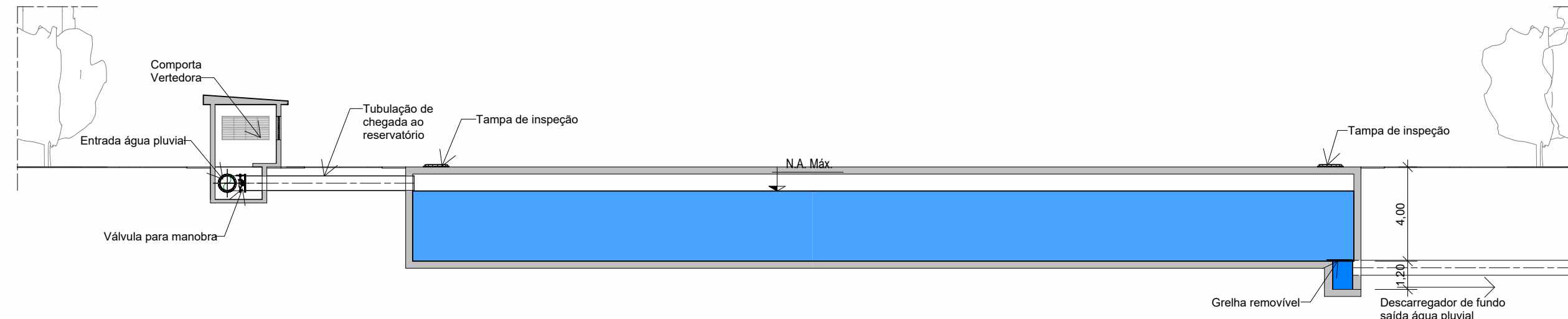
2 PLANTA DE COBERTURA
ESCALA 1:250



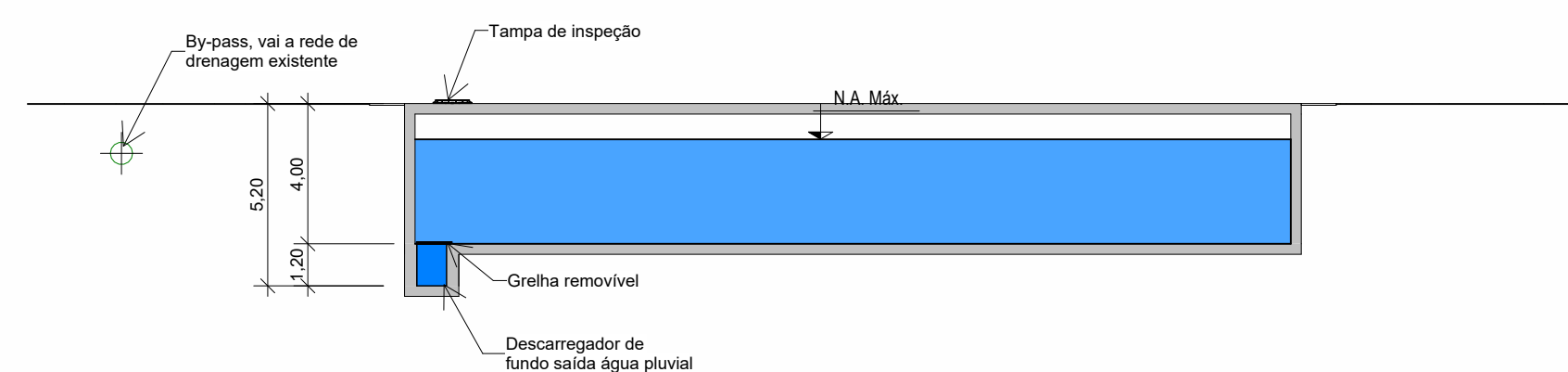
5 PLANTA BAIXA
ESCALA 1:250



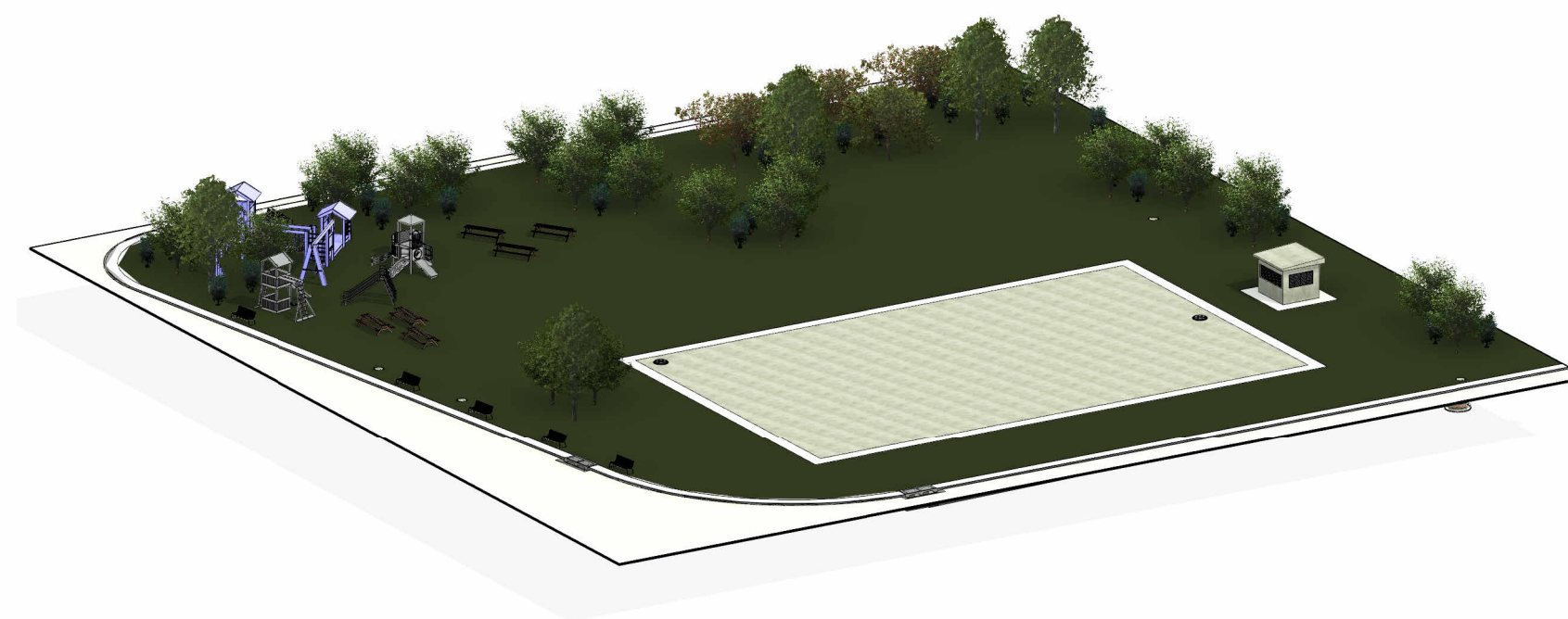
3 CORTE A-A
ESCALA 1:200



7 CORTE C-C
ESCALA 1:200



4 CORTE BB
ESCALA 1:200

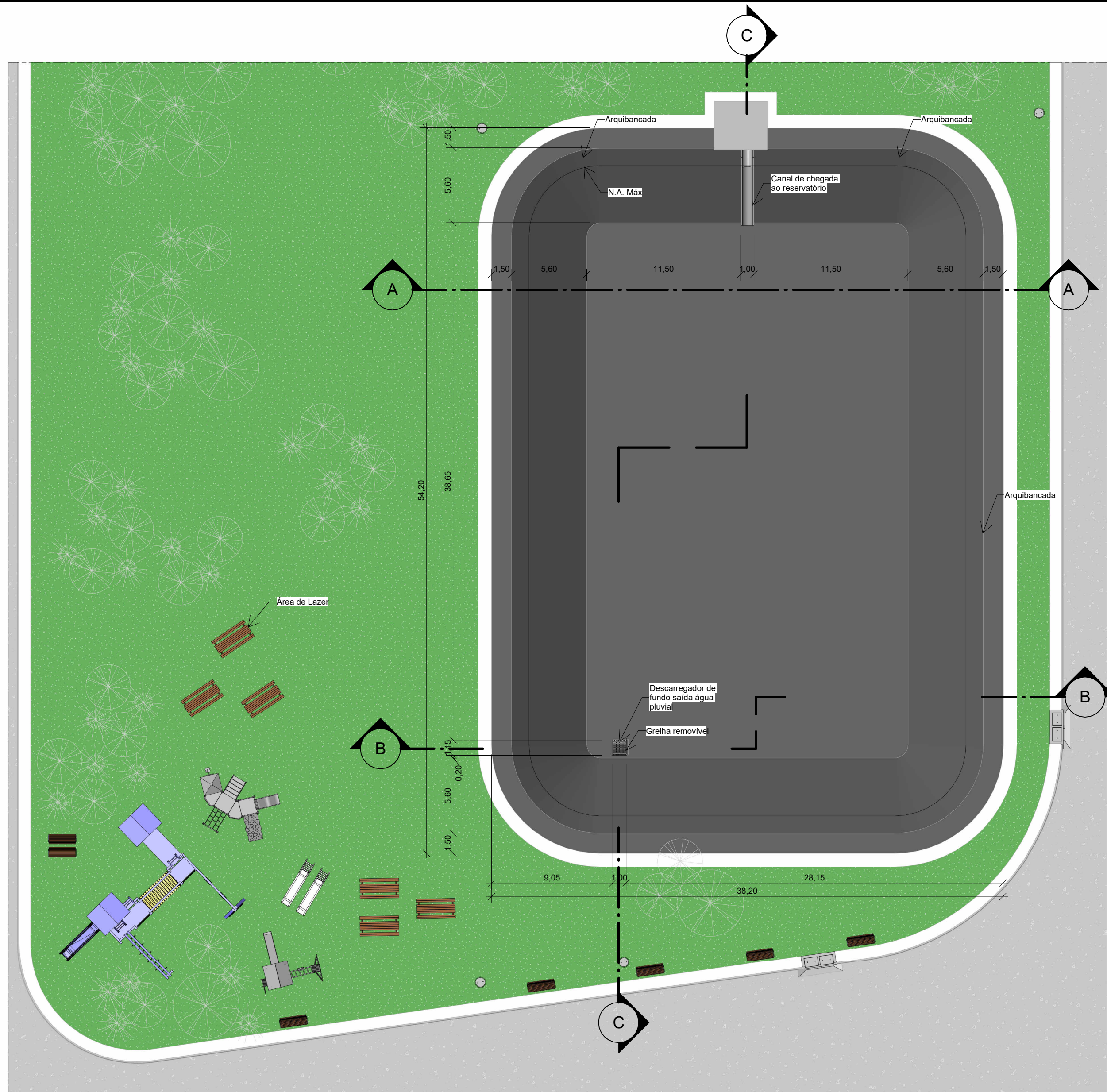


6 PERSPECTIVA
ESCALA

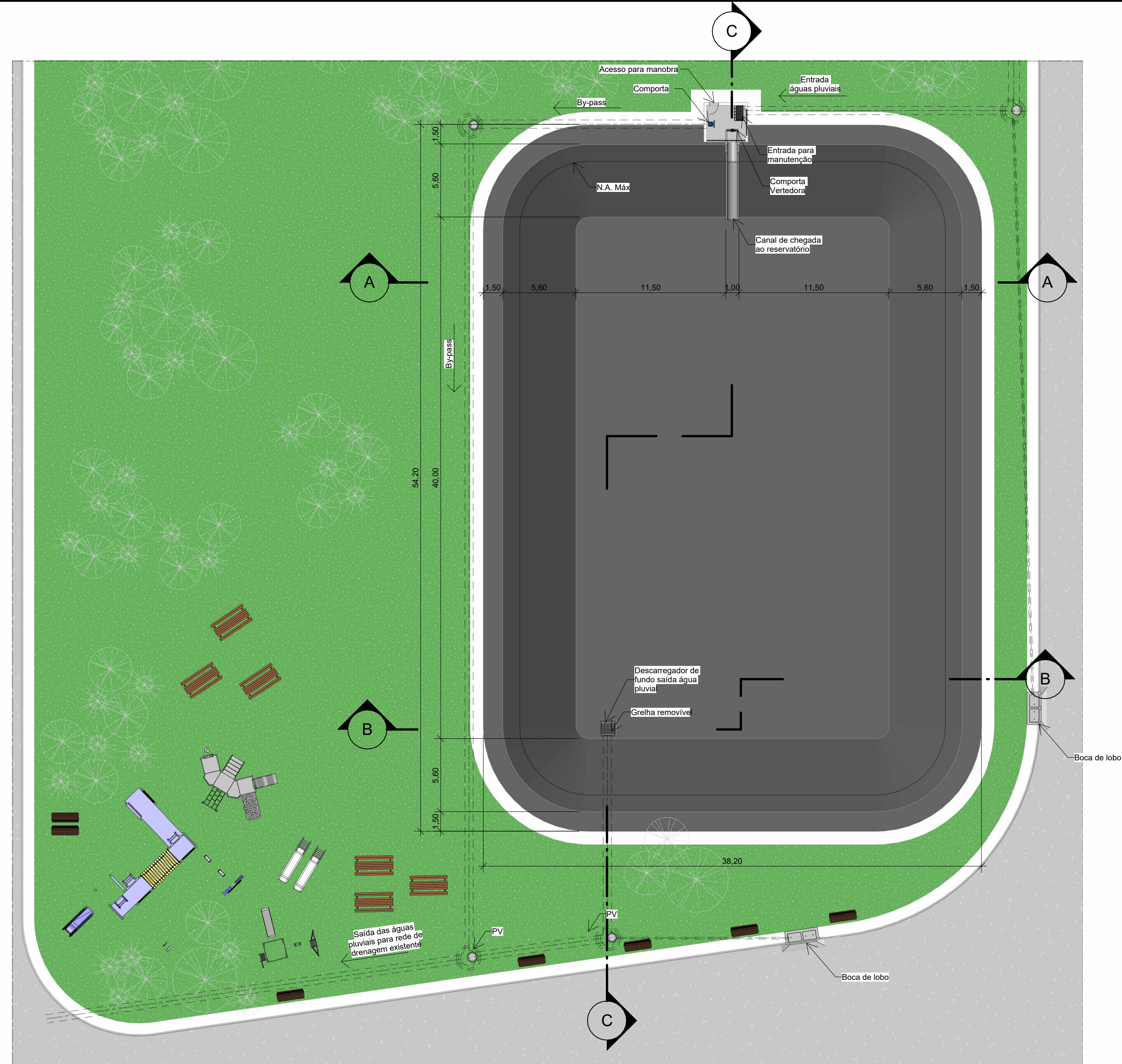


1 PLANTA DE LOCAÇÃO
ESCALA 1:5000

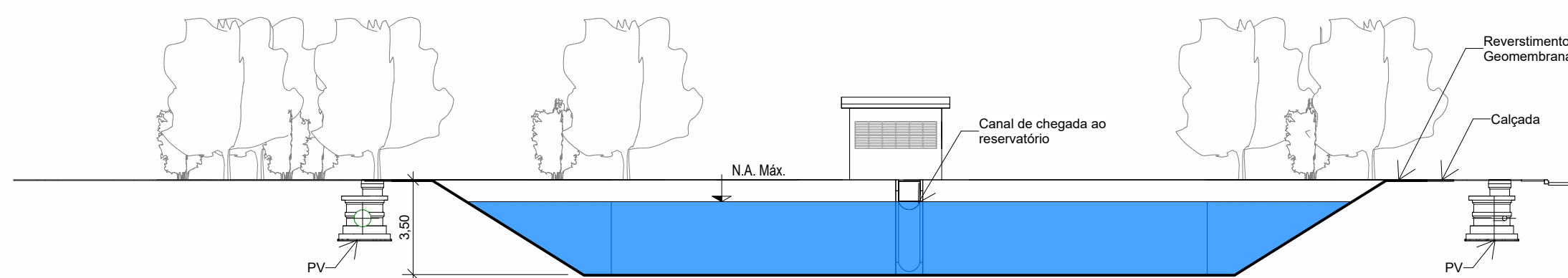
LEGENDA
ESTRUTURA CIVIL
TERRENO NATURAL



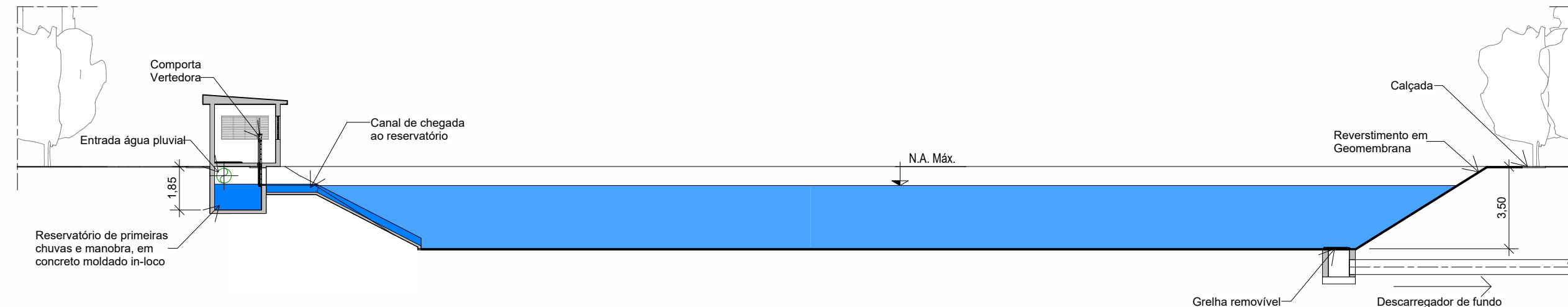
2 PLANTA DE COBERTURA
ESCALA 1 : 250



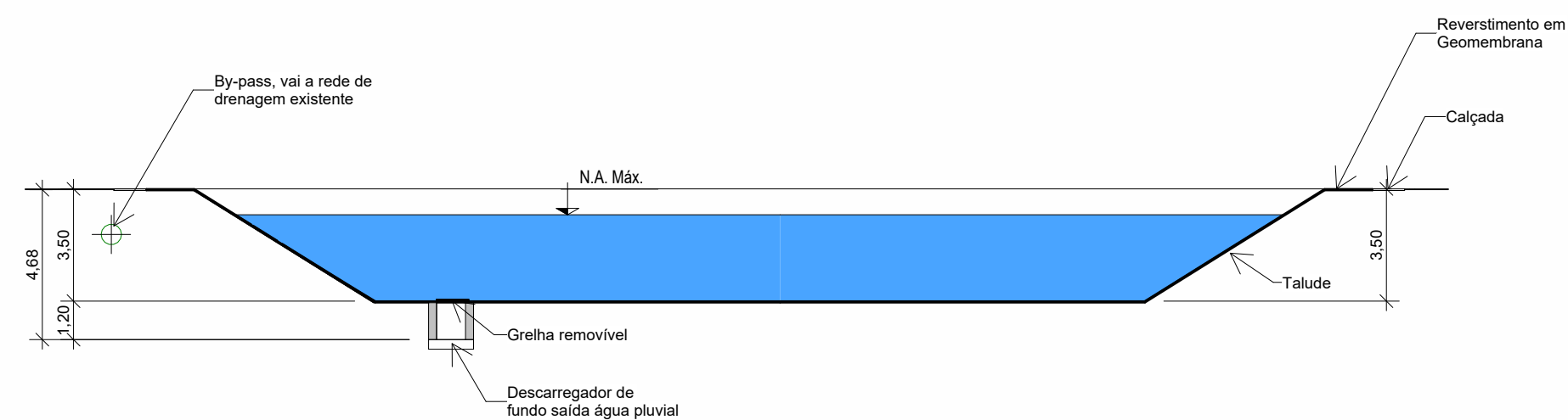
5 PLANTA BAIXA
ESCALA 1 : 250



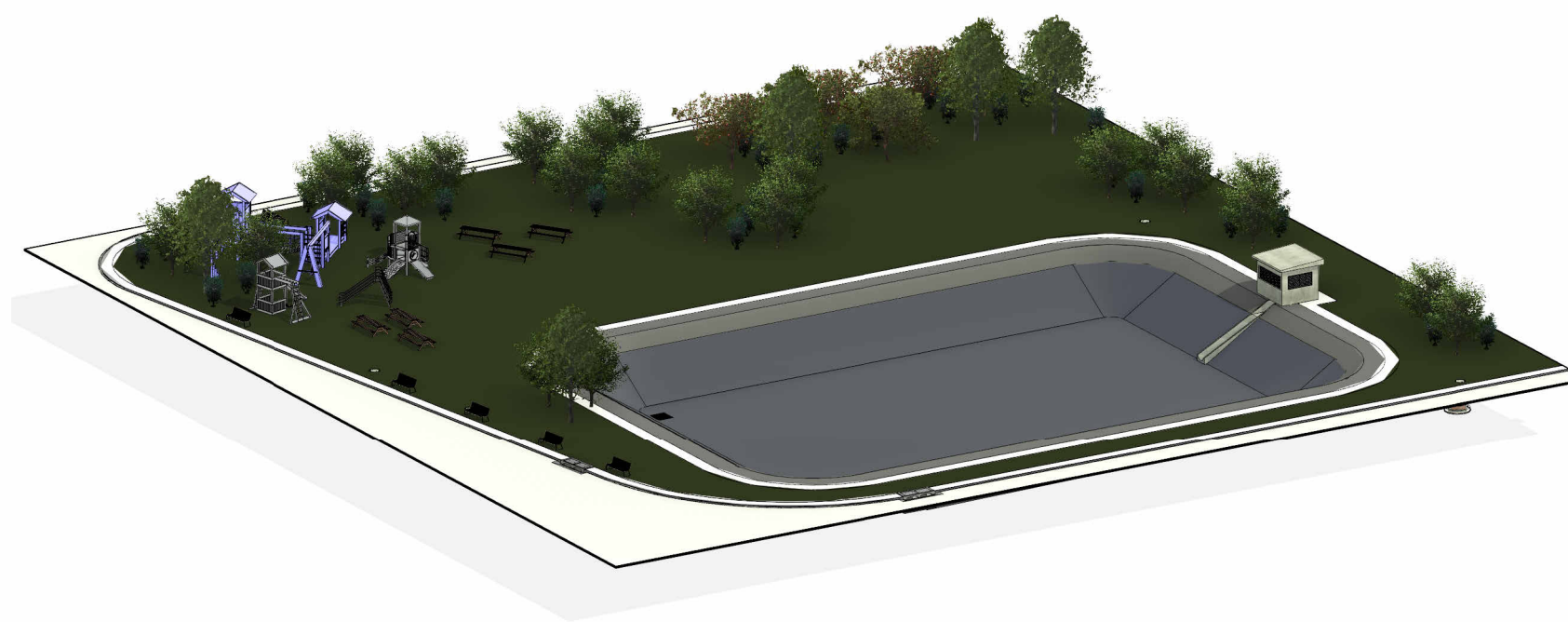
3 CORTE A-A
ESCALA 1 : 200



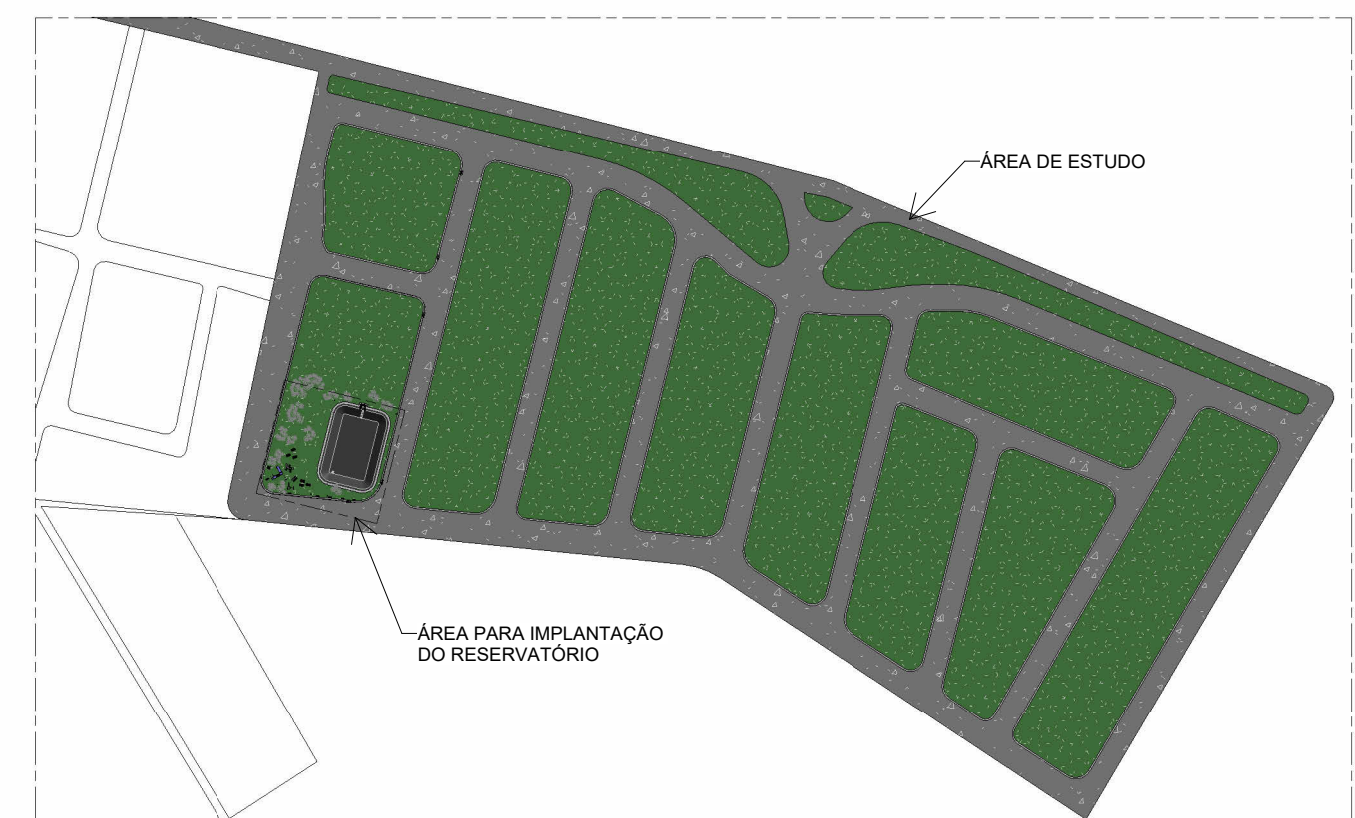
7 CORTE C-C
ESCALA 1 : 200



4 CORTE BB
ESCALA 1 : 200



6 PERSPECTIVA
ESCALA



1 PLANTA DE LOCAÇÃO
ESCALA 1 : 5000

 INSTITUTO FEDERAL Campus Goiânia		CURSO ENGENHARIA CIVIL RESERVATÓRIO DETENÇÃO - ABERTO		CONTEÚDO: PLANTA DE LOCAÇÃO PLANTAS CORTES PERSPECTIVA ESCALA: Como indicado PRONTO: P01
DISCIPLINA: PROJETO CONCLUSÃO DE CURSO		PERÍODO: 10º PERÍODO	PROFESSOR: DÁLCIO RICARDO BOTELHO ALVES	
ACADÊMICO: EVELLYN MARTINS TELES				