

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO
LOTEAMENTO SANTA CLARA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

Por

DANILO RIBEIRO DA SILVA
JOÃO PAULO BELLAN OLIVEIRA

Campos dos Goytacazes – RJ

Junho/2025

INSTITUTOS SUPERIORES DE ENSINO DO CENSA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS E DA SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO
LOTEAMENTO SANTA CLARA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

Por

DANILO RIBEIRO DA SILVA
JOÃO PAULO BELLAN OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
em cumprimento às exigências para a
obtenção do grau no Curso de Graduação em
Engenharia Civil nos Institutos Superiores de
Ensino do CENSA.

Orientador: Prof.^a Dr^a: Zélia Maria Peixoto Chrispim

Campos dos Goytacazes – RJ
Junho/2025

Ficha Catalográfica

Silva, Danilo Ribeiro da; Oliveira, João Paulo Bellan

Estudo de caso: Dimensionamento do sistema de drenagem do loteamento Santa Clara em Campos dos Goytacazes /RJ / Danilo Ribeiro da Silva; João Paulo Bellan Oliveira. - Campos dos Goytacazes (RJ), 2025.

76 f.: il.

Orientador: Zélia Maria Peixoto Chrispim
Graduação em (Engenharia Civil) - Institutos Superiores de
Ensino do CENSA, 2025.

1. Engenharia Civil. 2. Dimensionamento. 3. Drenagem.
4. Enchentes 5. Hidrologia I. Título. II. Oliveira, João Paulo Bellan.

CDD 627.5

Bibliotecária responsável Glauce Virgínia M. Régis CRB7 - 5799.
Biblioteca Dom Bosco.

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO
LOTEAMENTO SANTA CLARA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

Por

DANILO RIBEIRO DA SILVA
JOÃO PAULO BELLAN OLIVEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
em cumprimento às exigências para a
obtenção do grau no Curso de Graduação em
Engenharia Civil nos Institutos Superiores de
Ensino do CENSA.

Aprovado em 30 de junho de 2025

BANCA EXAMINADORA

Zélia Maria Peixoto Chrispim

Drª. Zélia Maria Peixoto Chrispim - UENF

Adriana Meireles Macedo Abreu

Me. Adriana Meireles Macedo Abreu - UENF

Me. Felipe Chebabe - FGV

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho, primeiramente, às nossas famílias, que sempre estiveram ao nosso lado com amor, paciência e apoio incondicional em cada etapa da nossa formação. Aos nossos amigos, pelo incentivo, pelas palavras de motivação nos momentos difíceis e por compreenderem nossas ausências ao longo da jornada.

E dedicamos também a nós mesmos, pela parceria, empenho e comprometimento ao longo de todo este percurso. Este trabalho é fruto de esforço mútuo, superação de desafios e da certeza de que o conhecimento construído em equipe tem ainda mais valor.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em primeiro lugar, às nossas famílias, por todo o amor, paciência e apoio durante nossa trajetória acadêmica. Cada palavra de incentivo e cada gesto de compreensão foram fundamentais para que chegássemos até aqui; Aos nossos amigos, que sempre estiveram por perto, oferecendo força, escuta e companheirismo, mesmo nos momentos mais difíceis; Aos colegas do curso de Engenharia Civil, com quem compartilhamos aprendizados, desafios, noites de estudo e tantas conquistas ao longo desses anos; Aos professores, por transmitirem não apenas conhecimento técnico, mas também valores éticos e profissionais que levaremos para a vida; À nossa orientadora, Prof.^a Zélia Maria Peixoto Chrispim, por sua dedicação, paciência e contribuições valiosas que enriqueceram este trabalho e ampliaram nossa visão sobre a prática da engenharia. E, por fim, aos Institutos Superiores de Ensino do CENSA, por proporcionarem uma formação sólida e um ambiente de crescimento acadêmico e pessoal.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CDD – Classificação Decimal de Dewey

CEPED – Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DUS – Drenagem Urbana Sustentável

FGV – Fundação Getulio Vargas

GIRH – Gestão Integrada dos Recursos Hídricos

HEC-HMS – Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDF – Intensidade-Duração-Frequência (curvas)

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

LID – Low Impact Development

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PNPDEC – Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

PV – Poço de Visita

SbN – Soluções baseadas na Natureza

SISCCOH – Sistema de Captação de Contribuições Hidrológicas

SWMM – Storm Water Management Model

UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

WSUD – Water Sensitive Urban Design

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo Hidrológico.....	22
Figura 2 – Inundação	26
Figura 3 – Enchente urbana	27
Figura 4 – Enchente no Rio Grande do Sul em 2024	28
Figura 5 – Solo impermeabilizado como causa de enchente	29
Figura 6 – Cheia do Rio Guaíba – RS em 2024	30
Figura 7 – Sarjeta simples	34
Figura 8 – Tipos de bocas de lobo	34
Figura 9 – Redes de galerias pluviais.....	35
Figura 10 – Canal de drenagem	35
Figura 11 – Macrodrrenagem e Microdrrenagem.....	37
Figura 12 – Sarjeta	38
Figura 13 – Bocas de lobo.....	39
Figura 14 – Poços de Visita	39
Figura 15 – Canal aberto	40
Figura 16 – Reservatórios de retenção	41
Figura 17 – Bacia de retenção.....	41
Figura 18 – Barragem de contenção no Rio Paraná	42
Figura 19 – Território de Campos dos Goytacazes	43
Figura 20 – Tela do Pluvio 2.1	46
Figura 21 – Ábaco	48
Figura 22 – Print tela Excel	58
Figura 24 – Tubos de utilização subterrânea	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Impactos gerais das enchentes no RS (2024)	30
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diretrizes do DAEE/CETESB-SP (1980)	47
Tabela 2 – Coeficiente de Runnof	47
Tabela 3 – Coeficientes para majoração de acordo com a declividade	55

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Declividade	45
Equação 2 – Vazão pelo Método Racional.....	45
Equação 3 – Cálculo da Intensidade de Chuvas	46
Equação 4 – Altura da Lâmina d`água	49
Equação 5 – Largura da Lâmina d`água	49
Equação 6 – Área molhada para sarjetas triangulares	49
Equação 7 – Velocidade de Escoamento da água	50
Equação 8 – Área molhada para sarjetas Meia-Cana	50
Equação 9 – Perímetro molhado para sarjetas Meia-Cana	51
Equação 10 – Raio hidráulico	51
Equação 11 – Velocidade de Escoamento Para Sarjetas Meia-Cana.....	51
Equação 12 – Comprimento da Boca de Lobo	52
Equação 13 – Tempo de Deslocamento na Sarjeta	53
Equação 14 – Tempo de concentração total.....	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Objetivo Geral	21
1.2 Objetivos específicos	21
1.3 Justificativa	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 O ciclo hidrológico	23
2.2 Fundamentos hidrológicos	24
2.3 Planejamento e problemas urbanos	25
2.4 Fundamentos hidrológicos, drenagem urbana e enchentes no RS.....	25
2.5 Urbanismo: Planejamento de sistemas de drenagem pluvial e combate a enchentes	32
2.6 Estudos de caso e referenciais contemporâneos na drenagem urbana	33
2.7 Dispositivos de micro e macrodrenagem.....	37
3 METODOLOGIA	44
3.1 Área de estudo	44
3.2 Materiais	45
3.3 Método	45
3.3.1 Coleta de dados	45
3.3.2 Determinação da declividade do curso d'água	45
3.3.3 Determinação da vazão pelo Método Racional.....	46
3.3.4 Determinação da intensidade da chuva de projeto.....	46
3.3.5 Período de retorno adotado.....	45

3.3.6 Tempo de concentração.....	48
3.3.7 Divisão em sub-bacias e análise das áreas de contribuição	49
3.3.8 Sarjetas.....	49
3.3.8.1 Triangular	49
3.3.8.1.1 Altura da lâmina d'água	49
3.3.8.1.2 Largura da lâmina d'água	50
3.3.8.1.3 Área molhada	50
3.3.8.1.4 Velocidade	50
3.3.8.2 Meia-cana	51
3.3.8.2.1 Altura da lâmina d'água	51
3.3.8.2.2 Área molhada	51
3.3.8.2.3 Perímetro molhado	51
3.3.8.2.4 Raio hidráulico.....	52
3.3.8.2.5 Velocidade	52
3.3.9 Boca de lobo.....	52
3.3.10 Galerias.....	53
3.3.11 Cobrimento.....	54
4 RESULTADOS.....	55
4.1 Análise dos resultados	55
4.1.1 Sarjetas	55
4.1.2 Meia-cana	58
4.2 Bocas de lobo	61
4.3 Galerias	61
5 DISCUSSÃO.....	64
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65

REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A - CÁLCULO DAS SARJETAS TRIANGULARES.....	71
APÊNDICE B - CÁLCULO DAS SARJETAS MEIA-CANA.....	72
APÊNDICE C – CÁLCULO DAS BOCAS DE LOBO.....	73
APÊNDICE D - CÁLCULO DAS GALERIAS E RAMAL.....	74
APÊNDICE E - ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO.....	75
APÊNDICE F - REDE DE DRENAGEM.....	76
APÊNDICE G – PLANTA TOPOGRÁFICA.....	77

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO LOTEAMENTO SANTA CLARA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

***Danilo Ribeiro da Silva^{1*} e João Paulo Bellan Oliveira^{1*}, Zélia
Maria Peixoto Chrispim²***

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre o dimensionamento do sistema de drenagem pluvial do Loteamento Residencial Santa Clara, localizado no município de Campos dos Goytacazes/RJ. A pesquisa parte da identificação dos desafios urbanos relacionados ao escoamento superficial e à ocorrência de alagamentos, que se intensificam em decorrência da crescente impermeabilização do solo e da ausência de infraestrutura adequada. O estudo fundamenta-se nos princípios hidrológicos e no ciclo da água, articulando-os ao planejamento urbano. Foram utilizados dados topográficos, hidrológicos e pluviométricos da região, aplicando-se o Método Racional para o cálculo da vazão de projeto, com suporte de softwares como AutoCAD, Excel, Google Earth e Pluvio. A metodologia incluiu a análise da área de contribuição, a subdivisão em sub-bacias e o dimensionamento de dispositivos de microdrenagem como sarjetas, bocas de lobo e galerias. A proposta visa garantir a eficiência do escoamento pluvial e mitigar os impactos das chuvas intensas, promovendo melhorias na qualidade urbana, na segurança hídrica e na prevenção de desastres naturais.

Palavras-chave: Engenharia Civil. Dimensionamento. Drenagem. Enchentes. Hidrologia

ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DO LOTEAMENTO SANTA CLARA EM CAMPOS DOS GOYTACAZES/RJ

***Danilo Ribeiro da Silva^{1*} e João Paulo Bellan Oliveira^{1*}, Zélia
Maria Peixoto Chrispim²***

ABSTRACT

This study presents a case analysis of the stormwater drainage system design for the Santa Clara Residential Subdivision, located in the municipality of Campos dos Goytacazes/RJ, Brazil. The research identifies urban challenges related to surface runoff and frequent flooding, which are intensified by increasing soil impermeabilization and the lack of adequate infrastructure. The study is grounded in hydrological principles and the water cycle, integrating them with urban planning strategies. Topographic, hydrological, and rainfall data from the region were used, applying the Rational Method to calculate the design flow, supported by software tools such as AutoCAD, Excel, Google Earth, and Pluvio. The methodology involved analyzing the contributing area, subdividing it into sub-basins, and designing micro-drainage components such as gutters, catch basins, and stormwater pipes. The proposal aims to ensure efficient runoff management and mitigate the impacts of heavy rainfall, thereby improving urban quality, water security, and natural disaster prevention.

Keywords: Civil Engineering. Hydraulic Design. Drainage. Flooding. Hydrology.

¹Aluno Orientado – Curso de Engenharia Civil -Instituto Superior de Ensino do CENSA - ISECENSA Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil; e-mail: danilosilva@isecensa.edu.br e joaoboliveira@isecensa.edu.br.

²Professora Orientadora – Curso de Engenharia Civil - Instituto Superior de Ensino do CENSA - ISECENSA Rua Salvador Correa, 139, Centro, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP: 28035-310, Brasil; e-mail: zeliachrispim@isecensa.edu.br

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de drenagem são fundamentais nas obras de engenharia civil, tendo como principal função o escoamento controlado das águas pluviais e subterrâneas para evitar alagamentos, erosões e instabilidade de solos. A drenagem eficiente garante a durabilidade de pavimentos, edificações e infraestruturas urbanas (Santos; Medeiros, 2020). Segundo Mendonça e Freitas (2019), a drenagem urbana é um conjunto de técnicas e estruturas que visam coletar, transportar e dispor adequadamente a água da chuva, protegendo áreas urbanas contra enchentes e contribuindo para a sustentabilidade ambiental e urbana.

Segundo Silva *et al.* (2021), a drenagem pode ser classificada em duas categorias principais, drenagem superficial, que refere-se ao escoamento das águas de chuva pelas superfícies, utilizando sarjetas, canais, bocas de lobo e galerias pluviais e drenagem subterrânea, que envolve sistemas enterrados que captam e conduzem águas infiltradas, comumente por meio de drenos, tubulações perfuradas e caixas de inspeção. O dimensionamento de sistemas de drenagem exige o conhecimento de precipitações locais, coeficientes de escoamento, declividade do terreno e materiais utilizados nas obras. Para isso, são aplicados métodos como o Racional e o de Manutenção de Vazões (Porto; Tucci, 2009).

Atualmente, com a crescente urbanização e os impactos das mudanças climáticas, ganha destaque o conceito de Drenagem Urbana Sustentável (DUS). Essa abordagem propõe o uso de soluções baseadas na natureza, como pavimentos permeáveis, telhados verdes e jardins de chuva (Oliveira; Montenegro, 2021). Essas estratégias não apenas controlam o escoamento, mas também promovem a recarga do lençol freático e reduzem a poluição hídrica. Como defendem França e Silva (2022), a adoção de práticas sustentáveis na drenagem é essencial para o planejamento urbano resiliente. O projeto de sistemas de drenagem deve estar de acordo com diversas normas técnicas. Atualmente também são enfrentados desafios nos projetos de drenagem, que incluem a obstrução de redes, impermeabilização do solo urbano, má gestão dos resíduos sólidos e falta de manutenção. Nesse contexto, estudos recentes apontam para a necessidade de requalificação dos sistemas existentes e maior integração com políticas de gestão hídrica (Ferreira *et al.*, 2023).

O processo de urbanização, quando não acompanhado de um planejamento territorial adequado, tende a provocar profundas alterações nas características naturais das cidades. Entre essas mudanças, destaca-se o aumento da impermeabilização do solo, que eleva significativamente o escoamento superficial das águas pluviais. Esse cenário impõe a necessidade de implantação de sistemas de drenagem urbana eficientes, capazes de garantir o escoamento seguro da água da chuva, minimizando riscos de alagamentos e danos à infraestrutura urbana (Castro, 2007; Tucci, 2009).

A drenagem urbana é uma das principais vertentes do saneamento ambiental, sendo indispensável para a salubridade e o bem-estar da população. De acordo com Miguez, Veról e Rezende (2015), os sistemas de drenagem são compostos por um conjunto de estruturas projetadas para captar, conduzir e lançar adequadamente as águas pluviais em corpos receptores. Quando mal dimensionadas ou mal executadas, essas redes geram impactos socioambientais, como enchentes, erosões, degradação do solo e contaminação hídrica.

O município de Campos dos Goytacazes, banhado pelo Rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro, tem enfrentado recorrentes episódios de alagamentos, especialmente nas áreas urbanas mais adensadas. A verticalização crescente, aliada à ausência de soluções adequadas para o escoamento pluvial, contribui para a intensificação desses problemas, exigindo a adoção de medidas técnicas baseadas em estudos hidrológicos consistentes.

O Rio Paraíba do Sul é um dos mais importantes cursos d'água da Região Sudeste do Brasil. Com aproximadamente 1.150 km de extensão, ele nasce na Serra da Bocaina (SP), atravessa Minas Gerais e Rio de Janeiro, desaguando no Oceano Atlântico, próximo ao município de São João da Barra. Em Campos dos Goytacazes, esse rio possui papel vital na paisagem natural e na organização do espaço urbano, sendo fonte de abastecimento, irrigação, controle de cheias e paisagem cultural. O trecho do rio que atravessa o município pertence à chamada Sub-bacia do Baixo Paraíba do Sul, com relevo predominantemente plano e alta suscetibilidade a alagamentos. Campos dos Goytacazes pertence à região hidrográfica IX (Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana).

Neste contexto, este trabalho propõe um estudo de caso sobre o dimensionamento e a proposta de implementação de um sistema de microdrenagem no loteamento Residencial Santa Clara, localizado no bairro Parque Aurora. A

proposta visa oferecer uma solução técnica eficaz para o controle do escoamento superficial na área, com base em critérios normativos e nas particularidades hidrológicas e urbanas do local.

Além disso, o estudo e a aplicação de dispositivos de microdrenagem são de grande relevância para a engenharia civil, uma vez que envolvem a análise de elementos fundamentais como precipitação, escoamento superficial, vazão de projeto e escolha de materiais adequados. A elaboração de um projeto de drenagem funcional contribui não apenas para a prevenção de alagamentos, mas também para a valorização imobiliária, a proteção ambiental e a qualidade de vida da população. Portanto, este trabalho busca contribuir tecnicamente para o enfrentamento de uma problemática urbana real, promovendo a integração entre conhecimento acadêmico e aplicação prática, com base em manuais técnicos e princípios de hidrologia.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver o dimensionamento técnico do sistema de drenagem pluvial do Loteamento Residencial Santa Clara, no município de Campos dos Goytacazes/RJ, com base em fundamentos hidrológicos, normas técnicas e boas práticas de engenharia civil, visando a eficiência no escoamento das águas pluviais e a mitigação de impactos urbanos causados por chuvas intensas.

1.2 Objetivos específicos

Levantar e analisar dados topográficos, pluviométricos e hidrológicos da área de estudo para caracterizar a bacia de contribuição do loteamento;

Aplicar o Método Racional para o cálculo da vazão de projeto, considerando as características físicas da região e os parâmetros técnicos exigidos pelas normas vigentes;

Dimensionar os dispositivos de microdrenagem, como sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e galerias pluviais, compatíveis com o volume de escoamento estimado;

Contribuir para a prevenção de alagamentos, a segurança hídrica local e o aprimoramento do planejamento urbano de novos empreendimentos habitacionais.

1.3 Justificativa

A escolha do tema drenagem urbana justifica-se pela crescente demanda por soluções técnicas eficientes para o controle das águas pluviais nas cidades brasileiras. A rápida urbanização, frequentemente marcada pela ocupação desordenada e pela ausência de planejamento, contribui para a impermeabilização do solo e para o comprometimento do ciclo hidrológico natural. Essa realidade tem causado impactos severos, como inundações, erosões, prejuízos econômicos e degradação ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo da água, é o processo contínuo de movimentação da água sobre, acima e abaixo da superfície terrestre. Ele constitui a base de compreensão dos fenômenos hidrológicos que impactam diretamente os projetos de drenagem urbana, planejamento territorial, controle de enchentes e gestão de bacias hidrográficas (Tucci, 2008; ANA, 2022). De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022), o ciclo hidrológico envolve a transferência de água entre os principais compartimentos ambientais: atmosfera, superfície terrestre, subsuperfície (aquéferos) e oceanos.

As etapas fundamentais incluem evaporação, processo em que a água líquida é transformada em vapor, ocorrendo predominantemente em oceanos, rios e lagos; transpiração, liberação de vapor d'água pelas plantas durante a fotossíntese; evapotranspiração, soma da evaporação e da transpiração; condensação, transformação do vapor em água líquida, formando nuvens; precipitação, queda da água condensada na forma de chuva, neve ou granizo; infiltração, penetração da água no solo, alimentando aquíferos e lençóis freáticos; escoamento superficial, movimentação da água sobre a superfície até rios e oceanos; percolação, movimento descendente da água infiltrada em direção às camadas mais profundas do solo. A figura 1 ilustra o ciclo hidrológico na natureza.



Figura 1: Ciclo Hidrológico

Fonte: Os autores (2025)

Esse ciclo é fechado e dinâmico, porém, seus componentes variam temporal e espacialmente, influenciando diretamente o planejamento de obras de engenharia civil, sobretudo em contextos urbanos e em áreas sujeitas a enchentes (Guerra *et al.*, 2012). A compreensão detalhada do ciclo hidrológico é essencial para a concepção e dimensionamento de projetos de infraestrutura hídrica.

Em especial, os sistemas de drenagem pluvial, para considerar a precipitação e o escoamento superficial, adotando coeficientes de escoamento compatíveis com o tipo de solo e cobertura do terreno; reservatórios de retenção e infiltração são dimensionados com base em taxas de infiltração e recarga do aquífero; estudos de bacia hidrográfica avaliam o comportamento do ciclo hidrológico em escalas regionais, projetando a disponibilidade hídrica e os impactos de usos do solo; modelos hidrológicos computacionais (ex: SWMM, HEC-HMS) simulam o comportamento do ciclo da água em diferentes cenários climáticos e urbanísticos.

A alteração antrópica do ciclo, como a impermeabilização do solo, desmatamento e urbanização acelerada, tem causado aumento do escoamento superficial, elevação dos picos de vazão e maior frequência de enchentes urbanas (Tucci, 2008; CEMADEN, 2023). Portanto, a integração do ciclo hidrológico ao planejamento urbano é fundamental para a resiliência das cidades. Dentro das abordagens mais recentes da engenharia civil, destaca-se a infraestrutura verde e azul, que visa restaurar e aproveitar os processos naturais do ciclo hidrológico como parte da solução urbana. Técnicas como jardins de chuva, valas de infiltração, telhados verdes e zonas de amortecimento permitem maior infiltração, recarga do lençol freático e redução dos picos de escoamento (Nassar *et al.*, 2020). Além disso, o conhecimento do ciclo hidrológico é imprescindível para a gestão integrada dos recursos hídricos (GIRH), preconizada pela Lei nº 9.433/1997, a qual reconhece a água como bem público, de valor econômico e com gestão descentralizada.

2.2 Fundamentos Hidrológicos

O ciclo hidrológico representa o movimento contínuo da água na natureza, englobando os estados sólido, líquido e gasoso. A fase líquida, por ser diretamente acessível ao uso humano, é a mais relevante para a engenharia (Tundisi, 2003). Esse processo natural inclui as etapas de precipitação, infiltração, escoamento superficial e subterrâneo, evaporação e transpiração, compondo um ciclo fechado,

mas dinâmico. A compreensão de suas fases é essencial para o planejamento de obras de drenagem pluvial, pois permite avaliar a quantidade e a velocidade da água que será escoada em superfície.

Dentro desse contexto, destaca-se o escoamento superficial, definido como a parte da precipitação que não se infiltra no solo nem evapora, sendo essencial para o dimensionamento de sistemas de drenagem (Santos; Lollo, 2016). O volume e a velocidade do escoamento estão diretamente relacionados à permeabilidade do solo, à declividade do terreno, à intensidade da chuva e à cobertura da superfície.

Em zonas urbanizadas, a substituição de superfícies naturais por pavimentos impermeáveis como asfalto e concreto reduz drasticamente a infiltração da água e aumenta o volume de água que escoa rapidamente para as redes de drenagem. Esse aumento pode sobrecarregar os sistemas existentes e provocar inundações. Portanto, a leitura precisa do ciclo hidrológico, adaptada às condições urbanas, é uma etapa imprescindível nos estudos hidrológicos que antecedem qualquer projeto de infraestrutura urbana.

Ademais, a avaliação de chuvas recorrentes – baseada em séries históricas de precipitação e curvas intensidade-duração-frequência (IDF) – permite estimar vazões de projeto e estabelecer parâmetros seguros para o dimensionamento de dispositivos de coleta e transporte de águas pluviais. O uso de ferramentas de modelagem computacional, como o SWMM (Storm Water Management Model), tem se tornado cada vez mais comum, pois possibilita simular cenários e avaliar o desempenho dos sistemas propostos.

2.3 Planejamento e problemas urbanos

O planejamento dos sistemas de drenagem urbana deve integrar diferentes esferas do ordenamento territorial, considerando aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos. O crescimento acelerado e desorganizado das cidades brasileiras tem resultado em áreas densamente impermeabilizadas, nas quais a infraestrutura de drenagem frequentemente é insuficiente ou inexistente (Tasca; Pompêo; Finotti, 2015).

Esse cenário é agravado pela ausência de políticas públicas eficazes, pela ocupação irregular de áreas de risco e pela escassez de investimentos em manutenção e modernização dos sistemas. Como consequência, há maior

incidência de enchentes, degradação ambiental e prejuízos econômicos, afetando especialmente populações mais vulneráveis.

Além disso, Tucci (2016) ressalta a importância de estabelecer limites para a vazão de saída de empreendimentos para as redes públicas, evitando a sobrecarga da infraestrutura existente. Para empreendimentos de pequeno e médio porte, recomenda-se a utilização de metodologias simplificadas e padronizadas, enquanto áreas maiores exigem estudos hidrológicos detalhados. Portanto, um planejamento eficiente deve integrar o conhecimento técnico à análise da realidade local, buscando promover a segurança hídrica, a sustentabilidade ambiental e a qualidade de vida nas cidades. O envolvimento da comunidade, o fortalecimento institucional e o uso de ferramentas geotecnológicas também são fundamentais para o êxito das ações de drenagem urbana.

2.4 Fundamentos hidrológicos, drenagem urbana e enchentes no Rio Grande do Sul no contexto dos desastres naturais

Os desastres naturais são fenômenos que resultam da interação entre processos naturais e vulnerabilidades humanas, podendo ocasionar perdas significativas de vidas, infraestrutura e recursos socioeconômicos. Dentre os tipos de desastres, as enchentes urbanas e inundações têm ganhado destaque nas últimas décadas, tanto pela sua recorrência quanto pelos danos amplificados pela urbanização desordenada, impermeabilização do solo e falhas em sistemas de drenagem (CRED, 2022; CEPED UFSC, 2021).

A compreensão teórica e técnica dos desastres relacionados à água é fundamental para engenheiros civis, gestores públicos e planejadores urbanos, pois envolve aspectos interdisciplinares como hidrologia, climatologia, urbanismo, infraestrutura, planejamento territorial e justiça ambiental. De acordo com a Estratégia Internacional para Redução de Desastres das Nações Unidas (UNDRR, 2015), desastres naturais são definidos como “uma séria interrupção no funcionamento de uma comunidade ou sociedade, envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas e ambientais, que excedem a capacidade local de resposta”. No Brasil, a Lei nº 12.608/2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), classifica os desastres como naturais, tecnológicos ou mistos. No contexto hidrológico, as enchentes e inundações figuram como os desastres naturais

mais frequentes no país, sendo responsáveis por mais de 60% das ocorrências registradas nos sistemas federais de monitoramento e resposta (CEPED UFSC, 2021). Embora os termos sejam frequentemente usados como sinônimos, há distinções técnicas importantes, em que a inundação é a ocorrência natural de transbordamento de rios e corpos hídricos para áreas adjacentes, geralmente em zonas de várzea. A figura 2 traz uma ilustração de inundação. Ressalta-se que a inundação pode ser sazonal e parte do ciclo natural do ecossistema (Tucci, 2008).



Figura 2: Inundação

Fonte: Observatório do 3º Setor (2020) / Disponível em:

<https://observatorio3setor.org.br/brasil-esta-entre-os-15-paises-com-maior-risco-de-inundacoes-no-mundo/> Acesso em: 20 jun. 2025

Já a enchente urbana, conforme demonstrado na figura 3, caracteriza-se pelo transbordamento de vias e terrenos causado pela incapacidade do sistema de drenagem em escoar o volume de água da chuva, agravado por impermeabilização, lixo urbano e ocupações irregulares.



Figura 3: Enchente urbana

Fonte: Observatório das Metrópoles (2025) / Disponível em:

observatoriodasmetropoles.net.br/ Acesso em: 20 jun 2025.

Ambos os fenômenos podem causar prejuízos significativos quando atingem áreas densamente urbanizadas sem infraestrutura adequada. As causas das enchentes são múltiplas e interligadas, combinando fatores naturais e antrópicos, tais como chuvas intensas e concentradas (evento extremo meteorológico); impermeabilização do solo urbano, que impede a infiltração natural; obstrução de

bocas de lobo e galerias por resíduos sólidos; ocupações em áreas de risco, como margens de rios e fundos de vale; supressão de vegetação ciliar e áreas verdes; ausência ou falha no planejamento urbano e nos sistemas de drenagem.

Segundo a ANA (2022), o déficit histórico de investimento em infraestrutura de drenagem urbana contribui significativamente para a recorrência de enchentes em áreas urbanas brasileiras. Além disso, os impactos de enchentes vão além dos danos físicos e econômicos e envolvem o desabrigamento e deslocamento populacional; perdas de vidas humanas; colapso de serviços essenciais (água, esgoto, energia, transporte); contaminação da água e aumento de doenças de veiculação hídrica; danos ambientais em áreas ribeirinhas e de preservação; desigualdades sociais acentuadas, atingindo de forma desproporcional populações mais vulneráveis (Brasil, 2023; IPCC, 2022).

Estudos recentes sobre o Rio Grande do Sul (CEMADEN, 2024) apontam que mesmo regiões com alto IDH estão sujeitas a colapsos quando a infraestrutura não é projetada para eventos extremos, cuja frequência tende a aumentar com as mudanças climáticas. A abordagem atual mais eficaz é a gestão de riscos de desastres (GRD), que envolve ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação. O relatório do IPCC (2022) aponta que a América do Sul já observa o aumento da frequência e intensidade de eventos extremos, incluindo tempestades, inundações e deslizamentos. Em cidades como Porto Alegre, Canoas e Lajeado (RS), os episódios de 2023 e 2024, conforme figura 4, revelaram a urgência da adaptação climática e da revisão de padrões de infraestrutura urbana e regional.



Figura 4: Enchente no Rio Grande do Sul em 2024

Fonte: CNN Brasil (2024) / Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/enchentes-no-rio-grande-do-sul-veja-destruicao-em-cidade-do-interior-gaúcho/> Acesso em: 20 jun 2025.

As enchentes são desastres naturais cuja magnitude e impacto são amplificados por fatores antrópicos. O enfrentamento exige uma abordagem sistêmica que une engenharia, gestão pública, urbanismo e participação comunitária. A integração entre o conhecimento técnico (hidrologia, drenagem,

topografia) e políticas públicas efetivas é o caminho para reduzir a vulnerabilidade urbana e proteger a vida humana.

As enchentes recorrentes que atingiram o estado do Rio Grande do Sul em 2024 expuseram não apenas a força dos fenômenos hidrológicos extremos, mas também as falhas estruturais e institucionais no planejamento urbano e nos sistemas de drenagem das cidades. Para compreender a magnitude desses eventos, torna-se fundamental discutir os fundamentos hidrológicos aplicados à engenharia civil e sua articulação com o urbanismo e a infraestrutura verde, com vistas à mitigação de desastres e à adaptação às mudanças climáticas.

A hidrologia, ciência que estuda a ocorrência, circulação e distribuição da água na superfície terrestre é uma disciplina fundamental no campo da engenharia civil, especialmente no que tange à gestão de recursos hídricos, drenagem urbana e prevenção de desastres. O ciclo hidrológico compreende processos como precipitação, infiltração, escoamento superficial e evapotranspiração, conforme já elucidado (Tucci, 2008). Na prática urbana, a impermeabilização do solo, conforme demonstrado na figura 5, altera esse ciclo, intensificando o escoamento superficial e elevando o risco de inundações (CETESB, 2022).



Figura 5: Solo impermeabilizado como causa de enchente

Fonte: GRNews (2020) / Disponível em: <https://grnews.com.br/23012020/para-diminas/impermeabilizacao-do-solo-e-a-principal-causa-de-inundacoes-e-enchentes-affirma-especialista-em-meio-ambiente/> Acesso em: 20 jun 2025.

Os sistemas de drenagem urbana têm como função principal coletar, transportar e dispor de forma adequada as águas pluviais, reduzindo riscos de alagamentos e enchentes. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022), a drenagem deve ser planejada de forma integrada, considerando aspectos ambientais, sociais e técnicos. Porém,

infraestrutura tradicional (tubulações, canais, bocas de lobo) tem se mostrado insuficiente diante da intensificação dos eventos climáticos extremos, sendo necessário incorporar soluções baseadas na natureza e infraestrutura verde.

As enchentes que assolaram o estado em abril e maio de 2024 configuraram-se como o maior desastre climático da história do Rio Grande do Sul. Segundo a ANA (2024), os níveis dos rios ultrapassaram recordes históricos, como o Rio Guaíba, que atingiu 5,37 metros, conforme figura 6, — superando o marco de 1941 em mais de 60 cm.



Figura 6: Cheia do Rio Guaíba – RS em 2024

Fonte: ICL Notícias (2024) / Disponível em: <https://iclnoticias.com.br/guaiba-se-aproxima-dos-5-metros-pela-1a-vez/> Acesso em: 20 jun 2025.

Estudos do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2024a) apontam que mais de 876 mil pessoas foram diretamente atingidas, com danos em 420 mil domicílios e mais de 334 mil empregos formais afetados. Em termos territoriais, o evento abrangeu 484 municípios e cerca de 16.126 km². O quadro 1 traz os impactos do desastre para o estado do Rio Grande do Sul.

Quadro 1 – Impactos gerais das enchentes no RS (2024)

Indicador	Quantidade estimada
Municípios afetados	484
População diretamente atingida	876.200 pessoas
Domicílios impactados	420.100
Estabelecimentos privados	23.300

Indicador	Quantidade estimada
afetados	
Empregos formais comprometidos	334.600

Fonte: IPEA (2024a); ANA (2024a).

Esses dados foram acompanhados por diagnósticos técnicos detalhados. A UFSM (2024) indicou que há uma correlação histórica entre eventos de cheia e a ocupação irregular de áreas de várzea, ressaltando que 78% das áreas urbanas atingidas já constavam como zonas de risco em mapeamentos anteriores. Estudo da UFRGS (2024) avaliou 342 municípios com mais de 20 mil habitantes e identificou que apenas 23% possuíam Plano Diretor contemplando prevenção de desastres naturais e somente 6,8% dispunham de plano de obras para mitigação. Isso demonstra a ausência de planejamento territorial preventivo e o despreparo institucional diante de eventos extremos. Além disso, cerca de 40% das estruturas de contenção urbana (barragens, diques e comportas) falharam total ou parcialmente (ANA, 2024b). O resultado foi um cenário de colapso urbano, em que as falhas do sistema de drenagem agravaram as inundações e os prejuízos humanos e econômicos.

O IPEA (2024b) enfatiza que os impactos foram agravados por um modelo de urbanização desarticulado do saneamento básico e das soluções baseadas na natureza. A adoção de infraestrutura verde — como jardins de chuva, telhados verdes, zonas de retenção e preservação de margens de rios — é apontada como caminho promissor para esses problemas. Esse tipo de solução é essencial para municípios como Canoas e Eldorado do Sul, onde até 80% da população urbana foi afetada por inundações em 2024 (UFRGS, 2024).

O cenário de enchentes no Rio Grande do Sul em 2024 ilustra, com clareza, a necessidade de revisão estrutural no planejamento urbano e na gestão hidrológica. A engenharia civil, ao integrar os princípios hidrológicos com estratégias de infraestrutura resiliente, tem um papel importante na prevenção de desastres e na

adaptação climática. A transição para soluções baseadas na natureza, combinada a uma governança integrada e fortalecida é não apenas desejável, mas urgente.

2.5 Urbanismo: Planejamento de sistemas de drenagem pluvial e combate a enchentes

No contexto urbano, o aumento da impermeabilização do solo, aliado ao crescimento desordenado das cidades e à ocupação de áreas de risco, intensifica os desafios relacionados ao escoamento superficial das águas pluviais. A drenagem urbana é, portanto, um dos principais campos de aplicação da hidrologia na engenharia civil, sendo essencial para o planejamento e a execução de obras públicas sustentáveis e resilientes (ANA, 2022).

O sistema de drenagem pluvial urbana consiste em um conjunto de técnicas e infraestruturas voltadas à captação, transporte, armazenamento, infiltração e disposição final das águas de chuva, com o objetivo de minimizar riscos como alagamentos, inundações, erosões, danos estruturais e prejuízos sociais. Entre os principais dispositivos utilizados, destacam-se as bocas de lobo, poços de visita, canaletas, sarjetas, bueiros, galerias pluviais e reservatórios de detenção (ABNT, 1986).

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) tem promovido a atualização de diretrizes técnicas por meio de publicações como o Manual de Drenagem Urbana Sustentável, com foco na adaptação climática e nas chamadas Soluções Baseadas na Natureza (SbN) (ANA, 2022).

2.6 Estudos de Caso e referenciais contemporâneos na Drenagem Urbana Sustentável e Drenagem Urbana na Engenharia Civil

Com vistas a trazer casos de aplicação das SbN à drenagem urbana, tem-se um exemplo prático relevante, que é o do Centro de Pesquisa & Inovação da L'Oréal, no Rio de Janeiro, onde foram implantados jardins filtrantes e biovaletas como parte da estratégia de drenagem sustentável. O estudo realizado por Mendes e Pina (2023) concluiu que essas estruturas reduziram significativamente o escoamento superficial e contribuíram para a melhora da qualidade da água, além de agregar valor estético e funcional ao ambiente urbano.

Na cidade de São Paulo, estudos conduzidos por Pinheiro (2017) analisaram a implementação de jardins de chuva em bairros como Vila Ipojuca e Grajaú. Os resultados apontam que, quando há compatibilidade entre o projeto técnico e o envolvimento das comunidades locais, as estruturas verdes são altamente eficientes, especialmente em regiões com alta densidade populacional e baixa permeabilidade do solo.

Outro caso notável é o de Tupã/SP, onde foi desenvolvido um plano municipal de drenagem urbana baseado em infraestrutura verde, conforme pesquisa apresentada por Carvalho (2018). O estudo destaca que a abordagem sistêmica e integrada permitiu não apenas o controle de cheias, mas também a requalificação de espaços públicos e a melhoria do microclima urbano.

Além disso, autores como Miguez *et al.* (2016) e Fletcher *et al.* (2015) têm contribuído para a difusão, no Brasil, de conceitos globais como BMP (Best Management Practices), LID (Low Impact Development), SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) e WSUD (Water Sensitive Urban Design), ampliando o horizonte da drenagem urbana para um modelo mais resiliente e ecológico. Essas experiências e produções acadêmicas sinalizam que a engenharia civil, quando aliada ao planejamento urbano e à sustentabilidade, pode enfrentar de forma inovadora os desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela expansão urbana acelerada.

O crescimento desordenado das cidades e o consequente aumento da impermeabilização do solo urbano vêm agravando problemas relacionados ao escoamento superficial, como alagamentos, enchentes, erosão e poluição hídrica. Nesse cenário, o planejamento e a execução de sistemas de drenagem pluvial assumem papel fundamental no desenvolvimento urbano sustentável. A engenharia civil, por meio da hidrologia aplicada e do uso de tecnologias sustentáveis, desempenha função estratégica na prevenção e mitigação desses impactos.

A drenagem urbana compreende o conjunto de obras e técnicas destinadas a captar, conduzir, armazenar e/ou infiltrar as águas pluviais, evitando que seu acúmulo cause prejuízos à população e ao meio ambiente. Tradicionalmente, sistemas de drenagem são compostos por sarjetas, bocas de lobo, redes de galerias pluviais e canais, conforme figuras 7, 8, 9 e 10.



Figura 7: Sarjeta simples

Fonte: Registro feito pelos autores (2025).

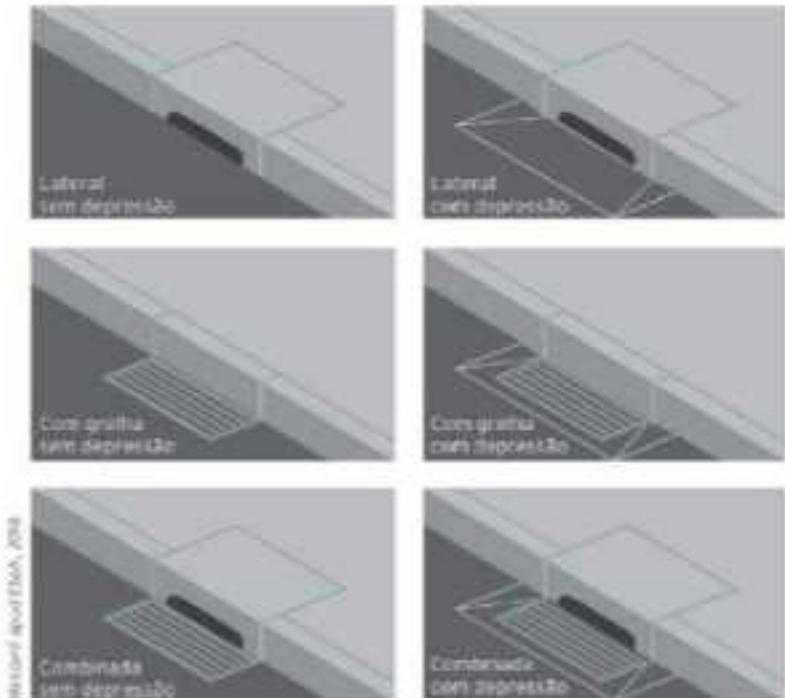


Figura 18: Tipos de bocas de lobo.

Figura 8: Tipos de bocas de lobo

Fonte: Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal (2023)



Figura 9: Redes de galerias pluviais

Fonte: BenV (2019) / Disponível em: <https://www.benv360.com/post/drenagem-pluvial-saneamento-basico/> Acesso em: 20 jun 2025.



Figura 10: Canal de drenagem

Fonte: Engenharia Civil Hoje (2014) / Disponível em: <https://engenhariacivilhoje.blogspot.com/2014/07/drenagem-de-aguas-pluviais.html> Acesso em: 20 jun 2025.

A drenagem urbana, no entanto, é um dos principais desafios enfrentados pela engenharia civil no contexto da urbanização acelerada e das mudanças climáticas. O crescimento desordenado das cidades, associado à crescente impermeabilização do solo, intensifica o escoamento superficial, contribuindo para alagamentos, enchentes, processos erosivos e contaminação hídrica. Nesse cenário, o papel da engenharia civil é estratégico, ao planejar e implementar soluções técnicas que garantam o escoamento eficiente das águas pluviais,

mitigando impactos socioambientais e promovendo a sustentabilidade urbana (Santos; Medeiros, 2020; Tucci, 2017).

Tradicionalmente, os sistemas de drenagem pluvial urbana, conforme já mencionado, são compostos por dispositivos como sarjetas, bocas de lobo, redes de galerias e canais de macrodrenagem. Esses elementos têm como objetivo principal captar e conduzir as águas da chuva de forma segura até os corpos receptores, evitando seu acúmulo nas vias públicas e áreas edificadas.

Contudo, a abordagem tradicional, centrada exclusivamente na rápida remoção das águas pluviais, tem se mostrado insuficiente frente aos eventos extremos e à necessidade de resiliência urbana. Como apontam Oliveira e Montenegro (2021), é fundamental que a engenharia civil incorpore também estratégias de drenagem urbana sustentável (DUS), que conciliem desempenho técnico, recuperação ambiental e adaptação climática. Entre essas estratégias, destacam-se os pavimentos permeáveis, jardins de chuva, biovaletas e reservatórios de detenção, que permitem a infiltração local da água, reduzem os picos de vazão e promovem a recarga do lençol freático.

Além disso, o uso de ferramentas de modelagem hidrológica, como o SWMM (Storm Water Management Model) e o HEC-HMS, tem ampliado a capacidade de simulação de cenários e o dimensionamento preciso dos sistemas de drenagem, especialmente em áreas com alta densidade populacional. Essas tecnologias permitem à engenharia civil realizar análises complexas sobre o comportamento do escoamento em diferentes condições de uso e ocupação do solo, contribuindo para decisões mais assertivas em projetos urbanos.

Portanto, a drenagem urbana na engenharia civil ultrapassa a simples aplicação de técnicas convencionais, exigindo uma abordagem integrada que envolva normas técnicas, simulação computacional, práticas sustentáveis e leitura crítica do território. A adoção dessa visão sistêmica é essencial para que os sistemas de drenagem acompanhem os desafios contemporâneos e se tornem instrumentos de promoção da qualidade de vida nas cidades brasileiras.

2.7 Dispositivos de micro e macrodrenagem urbana

A drenagem urbana é o conjunto de medidas técnicas, naturais e estruturais voltadas à coleta, transporte, armazenamento e disposição final das águas pluviais,

com o objetivo de reduzir impactos negativos ao ambiente urbano, como alagamentos, erosões e enchentes (ANA, 2022; Tucci, 2008). Ela se subdivide em dois sistemas complementares: microdrenagem, que compreende os dispositivos responsáveis pela coleta inicial e condução das águas pluviais em áreas urbanas; macrodrenagem, que envolve estruturas de maior porte destinadas ao transporte e controle do escoamento superficial em bacias hidrográficas urbanas, conforme ilustra a figura 11.



Figura 11: Macrodrenagem e Microdrenagem

Fonte: Blog Ambiental (2016) / Disponível em:

<https://blogambiental2016.wixsite.com/conjuntofelicidade/single-post/2016/05/03/FUNDAMENTOS-DE-UM-SISTEMA-DE-DRENAGEM-URBANA> Acesso em: 20 jun 2025.

A microdrenagem é composta por estruturas de menor escala localizadas no meio urbano, com a função de captar e conduzir a água da chuva desde os locais de precipitação até sistemas maiores de transporte (Tucci, 2008). Dentre os principais dispositivos de microdrenagem, destacam-se as sarrafias e sarjetas, conforme figura 12, que canalizam o escoamento superficial nas vias públicas



Figura 12: Sarjeta

Fonte: Blog Ambiental (2016) / Disponível em: <http://interterra.com.br/servicos/3/guias-e-sarjetas/> Acesso em: 20 jun 2025.

Existem ainda as bocas de lobo, conforme figura 13, que são estruturas coletores responsáveis pela entrada da água nas galerias subterrâneas.



Figura 13: Bocas de lobo

Fonte: Portal do Projetista (2016) / Disponível em:
<https://portaldoprojetista.com.br/dimensionamento-de-boca-de-lobo-para-drenagem-urbana/> Acesso em: 20 jun 2025.

Já os poços de visita (PVs), conforme figura 14, permitem o acesso ao sistema para inspeção e manutenção

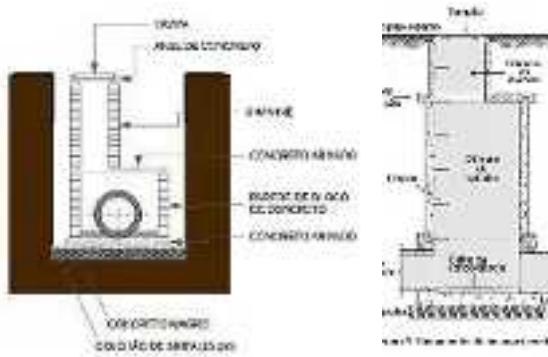


Figura 14: Poços de Visita

Fonte: Brava Equipamentos (2023) / Disponível em: <https://bravaequipamentos.com.br/voce-sabe-o-que-e-um-poco-de-visitas-pv/> Acesso em: 20 jun 2025.

As tubulações subterrâneas conduzem a água captada até pontos de lançamento ou reservatórios intermediários

Já as caixas ou reservatórios de retenção ou detenção são dispositivos que armazenam temporariamente o excesso de água, reduzindo picos de vazão. Podem ser subterrâneos ou a céu aberto. A eficiência da microdrenagem está diretamente associada à manutenção periódica e ao correto dimensionamento.

A macrodrenagem atua em escala de bacia hidrográfica, sendo responsável pelo transporte de grandes volumes de água pluvial provenientes dos sistemas de microdrenagem. São exemplos de dispositivos de macrodrenagem (Tucci, 2012; CETESB, 2020) os canais abertos (naturais ou artificiais), conforme figura 15, que conduzem o escoamento superficial em áreas urbanizadas.



Figura 15: Canal aberto

Fonte: Sinergia Engenharia (2016) / Disponível em:

<https://sinergiaengenharia.com.br/noticias/o-desafio-da-drenagem-urbana/> Acesso em: 20 jun 2025.

Outro exemplo são as galerias de grande porte que são redes subterrâneas com capacidade elevada de vazão. Os reservatórios de detenção (piscinões), conforme figura 16, são estruturas temporárias de armazenamento para contenção de cheias.



Figura 16: Reservatórios de retenção

Fonte: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland Programa Soluções para Cidades

(2013) / Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf Acesso em: 20 jun 2025.

Já as bacias de retenção, conforme figura 17, acumulam o excesso de água e liberam gradualmente para o corpo hídrico.



Figura 17: Bacia de retenção

Fonte: EMAZE Blog (s.d)/ Disponível em: <https://app.emaze.com/@AOLZCRFLR#/7/> Acesso em: 20 jun 2025.

As barragens de contenção, conforme figura 18, são utilizadas para controle de cheias em rios urbanos.



Figura 18: Barragem de contenção no Rio Paraná

Fonte: ANA (2023) / Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ons-revisa-volumes-de-espera-para-controle-de-cheias-em-reservatorios-da-bacia-do-rio-parana-e-de-afluentes-ate-3-de-marco/> Acesso em: 20 jun 2025.

Já os diques e comportas evitam a invasão de água de corpos d'água adjacentes em áreas urbanas vulneráveis. A eficiência da drenagem urbana depende diretamente da articulação entre os sistemas de micro e macrodrenagem,

do planejamento técnico adequado e do uso de tecnologias sustentáveis. Em um contexto de mudanças climáticas e eventos extremos, como enchentes urbanas cada vez mais frequentes, a atuação técnica da engenharia civil na concepção e manutenção desses dispositivos é determinante para a segurança das cidades e a qualidade de vida da população.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O município de Campos dos Goytacazes, localizado no norte do estado do Rio de Janeiro, conforme marcado na figura 19, destaca-se por sua grande extensão territorial e diversidade de paisagens naturais, o que o torna particularmente relevante nos estudos de engenharia civil com ênfase em hidrologia, drenagem e ocupação urbana. De acordo com os dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), o município possui uma área total de 4.032,487 km², sendo considerado o maior município em extensão territorial do estado do Rio de Janeiro e um dos maiores do Brasil em área contínua.

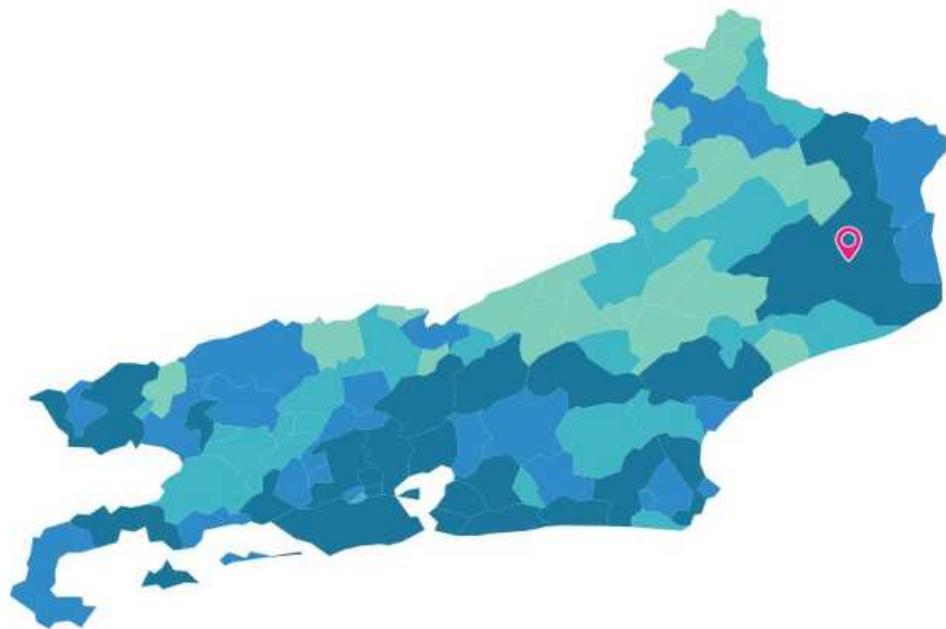


Figura 19: Território de Campos dos Goytacazes

Fonte: IBGE (2025) / Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/campos-dos-goytacazes/panorama/> Acesso em: 20 jun 2025.

A área urbana estimada de Campos dos Goytacazes é de aproximadamente 95,17 km² (IBGE, 2019), o que indica que grande parte do território ainda se encontra em áreas rurais, de preservação ou de baixa densidade demográfica. Tal configuração espacial influencia diretamente o planejamento dos sistemas de drenagem e a gestão de recursos hídricos, exigindo estratégias diferenciadas para áreas urbanas densamente povoadas e regiões com características naturais preservadas.

Com uma população estimada em cerca de 483.540 habitantes (IBGE, 2022), o município apresenta uma densidade demográfica média de 119,91 habitantes por km², o que reflete uma ocupação urbana moderada e espacialmente concentrada. Esses dados são fundamentais para dimensionamento de sistemas de drenagem pluvial, análise de risco hidrológico e planejamento de infraestrutura verde e azul, considerando os impactos do crescimento urbano sobre o ciclo hidrológico e a ocorrência de enchentes.

Dessa forma, a caracterização territorial de Campos dos Goytacazes oferece subsídios para embasar propostas técnicas de controle de escoamento superficial, manejo de bacias hidrográficas e mitigação de desastres naturais relacionados às chuvas intensas, cada vez mais frequentes devido às mudanças climáticas.

3.2 Materiais

No desenvolvimento da pesquisa foram utilizados os softwares AutoCad 2022, Excel, Word, SISCCOH, Pluvio e Google Earth para a confecção dos projetos, dimensionamento e memorial de cálculo. Inicialmente, foi feito o levantamento de dados referente à localidade do projeto, buscando analisar a topografia do terreno. Em seguida, foram realizados os cálculos do projeto de chuva, sarjetas, bocas de lobo e redes tubulares que o projeto em questão observou.

3.3 Método

3.3.1 Coleta de dados

Primeiramente, foi dado início à coleta de dados do terreno, assim como o projeto topográfico do mesmo e sua localização, com a intenção de identificar sua geografia e determinar o sentido do fluxo de escoamento superficial do terreno e consequentemente determinar a área de estudo. O fornecimento do projeto topográfico foi feito por uma empresa parceira, que não permite a divulgação de seu nome para fins acadêmicos.

3.3.2 Determinação da declividade do curso d'água

Utilizou-se a equação 1 para calcular a declividade:

$$S = \frac{\Delta h}{L}$$

Sendo:

S = Declividade do curso d'água principal (m/m)

Δh = Diferença de cota entre os pontos extremos (m)

L = Distância entre as cotas (m)

3.3.3 Determinação da vazão pelo Método Racional

A aplicação do Método Racional é considerada válida para bacias urbanas ou rurais de pequeno porte, com áreas de até 50 hectares. Nesse método, adota-se que o tempo de duração da chuva é numericamente igual ao tempo de concentração, conforme mencionado pelos pesquisadores Wilken (1978) e Debo *et al.* (2003). Utilizou-se a equação 2:

$$Qt = \frac{C i A}{3,6}$$

Sendo:

Q = Vazão em m³/s

C = Coeficiente de deflúvio (Runoff)

i = Intensidade de chuva em mm/h

A = Área de contribuição em hectares

3.3.4 Determinação da intensidade da chuva de projeto

A intensidade da chuva de projeto foi calculada com base em equações de chuvas intensas (IDF) específicas para a região de Campos dos Goytacazes. Utilizou-se a equação 3:

$$I = \left(\frac{K \times TR^a}{(t + b)^c} \right)$$

Sendo:

I = Intensidade pluviométrica

TR = Tempo de recorrência em anos

t = Tempo de duração da chuva em minutos

K, a, b, c = Valores obtidos através do Pluvio 2.1

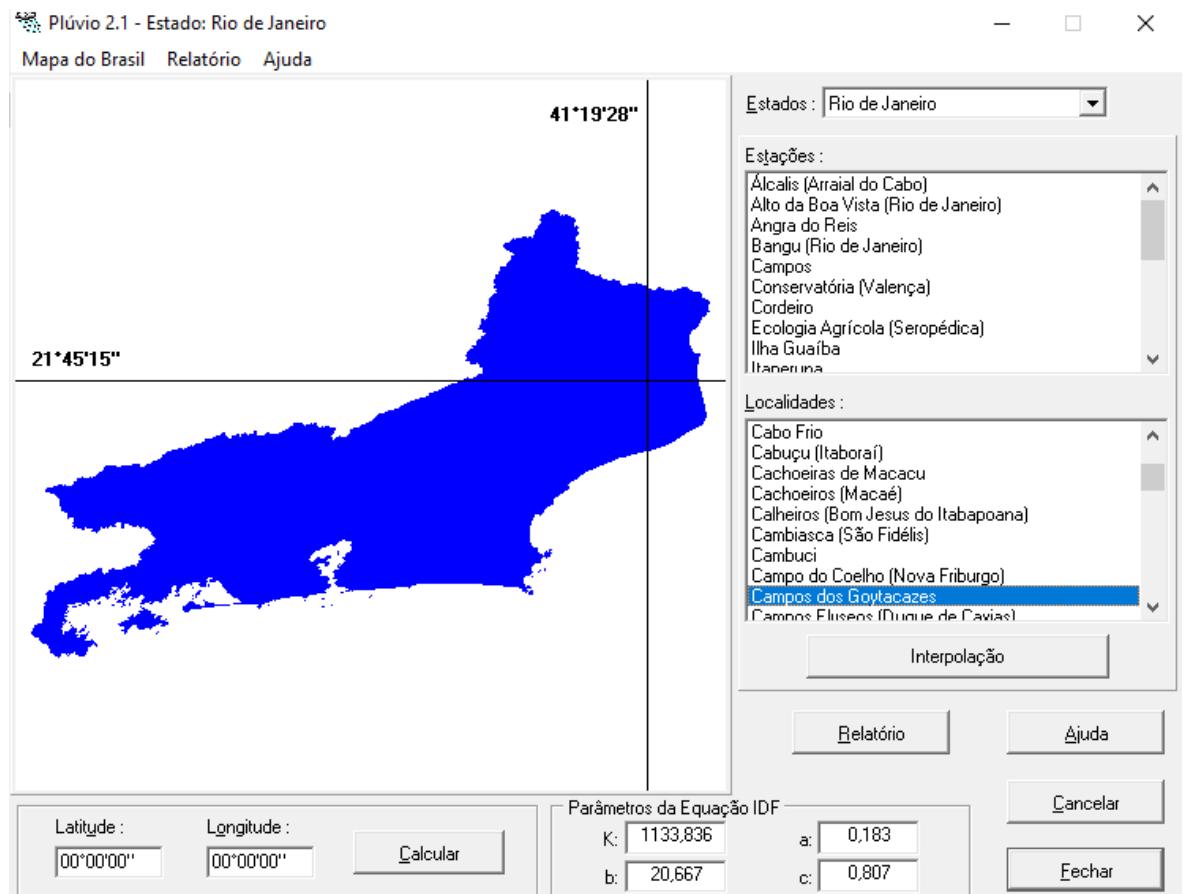


Figura 20: Tela do Pluvio 2.1

Fonte: Pluvio 2.1 (2025)

3.3.5 Período de retorno adotado

O período de retorno é um parâmetro fundamental no dimensionamento do sistema de drenagem, indicando o intervalo médio de tempo entre eventos climáticos extremos, como chuvas intensas. No contexto do projeto do sistema de

drenagem, foi adotado um período de retorno de 10 anos, considerando as obras associadas às redes de microdrenagem. Isso significa que o projeto foi concebido para lidar com eventos que, estatisticamente, têm maior probabilidade de ocorrer. Essa abordagem alinha-se às diretrizes do DAEE/CETESB-SP (1980), conforme evidenciado na Tabela 1:

Características do sistema	TR
Microdrenagem	2 a 10
Macrodrenagem	25 a 50
Grandes corredores de tráfego e áreas vitais para a cidade	100
Hospitais, bombeiros, polícia, emergências	500
Risco de perda de vida humana	100

Tabela 1: Diretrizes do DAEE/CETESB-SP (1980)

Para o Coeficiente de Runnof, que é a capacidade de escoamento do solo, foi adotado o valor de 0,6 que corresponde à transição de edificações não muito densas para densas, conforme tabela 2.

Ocupação de solo	C
EDIFICAÇÃO DENSA: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com rua e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSA: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
EDIFICAÇÃO COM POCAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
EDIFICAÇÃO COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes	0,25 a 0,50
SUBÚRBIOS COM ALGUMA EDIFICAÇÃO: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques	0,05 a 0,20

ajardinados e campos de esporte sem pavimentação	
--	--

Tabela 2: Coeficiente de Runnof

3.3.6 Tempo de concentração

O tempo de concentração para o cálculo das sarjetas foi obtido através do ábaco. (Setas indicam exemplo para terreno com 20m de comprimento e 0,5% de inclinação.)

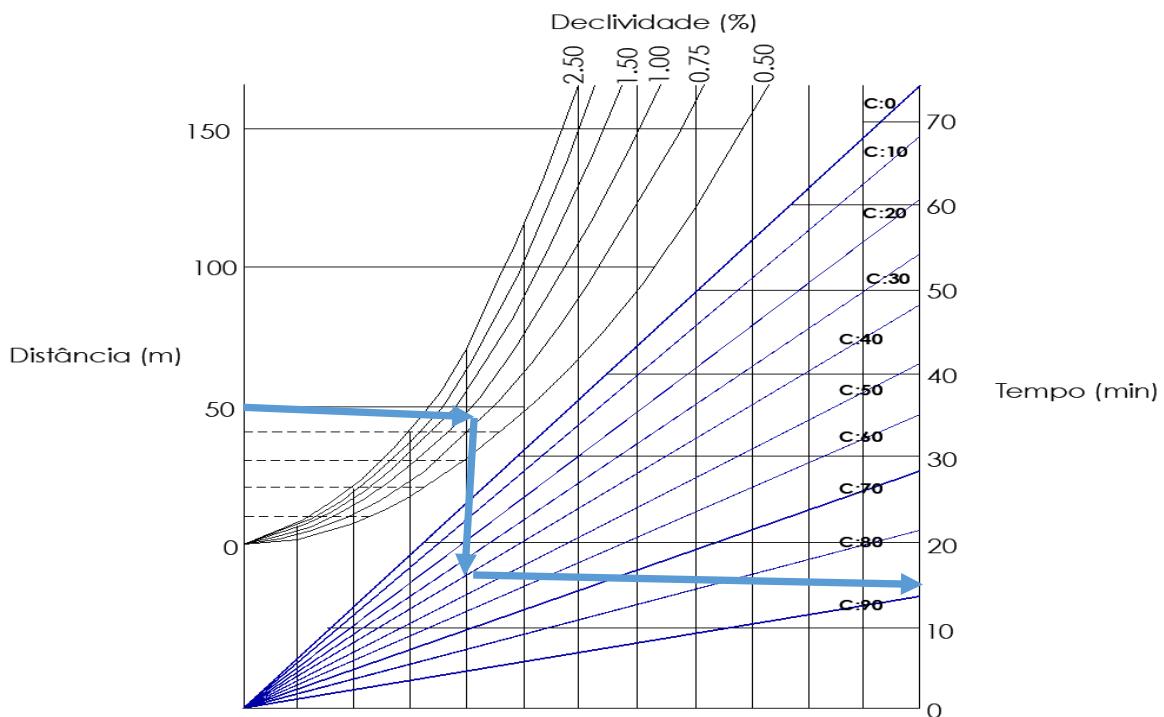


Figura 21: Ábaco

Fonte: Os autores (2025)

3.3.7 Divisão em sub-bacias e análise de áreas de contribuição

As áreas de contribuição foram subdivididas em partes de acordo com cada área de captação de cada boca de lobo. Foi utilizado o software AutoCad 2023 para identificar e calcular as áreas de 1 à 52. As subdivisões das áreas e seus respectivos valores pode ser visualizada no apêndice E.

3.3.8 Sarjetas

3.3.8.1 Triangular

3.3.8.1.1 Altura da lâmina d'água

Inicialmente foram feitos os cálculos para um sistema com sarjetas de formato triangular, cuja fórmula da equação 4 para altura da lâmina d'água é:

$$yo = \left(\frac{Qm}{(0,375 \cdot \sqrt{S} \cdot \frac{Z}{N})} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Sendo:

Qm = Vazão majorada (m³/s)

S = Declividade (m/m)

Z = Inclinação

N = Coeficiente de Manning (adimensional)

3.3.8.1.2 Largura da lâmina d'água

A fórmula da equação 5 utilizada para o cálculo da largura da lâmina d'água é:

$$Wo = yo \times Z$$

Sendo:

Wo = Largura da lâmina d'água (m)

Yo = Altura da lâmina d'água (m)

Z = Inclinação

3.3.8.1.3 Área Molhada

A fórmula da equação 6 utilizada para o cálculo da Área molhada é:

$$A = \frac{yo \times wo}{2}$$

Sendo:

Wo = Largura da lâmina d'água (m)

Yo = Altura da lâmina d'água (m)

A = Área (m²)

3.3.8.1.4 Velocidade

A fórmula da equação 7 utilizada para o cálculo da Velocidade de escoamento da água na sarjeta é:

$$V = \frac{Qm}{A}$$

Sendo:

V = Velocidade (m/s)

Qm = Vazão (m³/s)

A = Área (m²)

3.3.8.2 Meia-Cana

3.3.8.2.1 Altura da lâmina d'água

Para determinar a altura da lâmina d'água que gere uma vazão previamente estabelecida em uma calha circular, é necessário adotar um processo iterativo, já que não há uma fórmula direta para isolar a profundidade na equação de vazão. O caminho consiste em assumir valores para a altura da lâmina e, para cada valor, calcular a área molhada e o perímetro molhado, determinando assim o raio hidráulico. O processo é repetido até que a vazão calculada se aproxime do valor desejado.

3.3.8.2.2 Área Molhada

Para sarjetas de formato Semicircular, a fórmula da equação 8 para determinar a área é:

$$A = \frac{r^2}{2} \cdot \left(2 \cdot \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - \sin\left(2 \cdot \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right)\right) \right)$$

Sendo:

r = Raio da Calha (m)

h = Altura da Lâmina d'água (m)

A = Área (m²)

3.3.8.2.3 Perímetro molhado

Para sarjetas de formato Semicircular, a fórmula da equação 9 para determinar o perímetro molhado é:

$$P = r \cdot 2 \cdot \arccos\left(\frac{r - h}{r}\right)$$

Sendo:

r = Raio da Calha (m)

h = Altura da Lâmina d'água (m)

P = Perímetro molhado (m)

3.3.8.2.4 Raio hidráulico

Para sarjetas de formato Semicircular, a fórmula da equação 10 para determinar o raio hidráulico é:

$$R = \frac{A}{P}$$

Sendo:

A = Área molhada (m²)

R = Raio hidráulico

P = Perímetro molhado (m)

3.3.8.2.5 Velocidade

A Fórmula da velocidade de Manning (equação 11), para essas situações é:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}$$

Sendo:

V = velocidade da água (m/s)

n = coeficiente de rugosidade de Manning

R = raio hidráulico (m)

i = declividade da calha (m/m)

3.3.9 Boca de lobo

A fórmula para dimensionamento da Largura (L) da boca de Lobo (equação 12) selecionada é:

$$L = \frac{Q}{\left(1,7 \times y^{\frac{3}{2}}\right)}$$

Sendo:

L= Largura de abertura da boca coletora (m)

Q= Vazão da sarjeta (m³/s)

y= Altura da lâmina d'água (m)

3.3.10 Galerias



Figura 20: Tubos de utilização subterrânea

Fonte: Arquivo Próprio de Joao Paulo Bellan Oliveira (2025)

As dimensões das galerias foram dimensionadas visando atender as necessidades de vazão para cada área de contribuição, adotaram-se um tempo de

retorno de $T = 10$ anos e um coeficiente de runoff (escoamento superficial) igual a 0,7. Inicialmente, calcula-se o tempo de concentração da água escoada desde a sarjeta até a boca de lobo, conforme expresso na equação 13:

$$tsarjeta = \frac{L}{V}$$

Sendo:

L = Comprimento da sarjeta

V = Velocidade de escoamento da sarjeta

$tsarjeta$ = Tempo de escoamento até a sarjeta

Depois de calculado o tempo de escoamento da sarjeta até a boca de lobo, utiliza-se a equação 14 para calcular o tempo de concentração (tc).

$$tc = tterreno + tsarjeta$$

Sendo:

tc = Tempo de concentração em minutos

$tterreno$ = tempo de duração do escoamento da chuva do terreno até a sarjeta, varia de acordo com o tamanho de cada terreno a ser analisado.

Para galerias a duração (D) da chuva de projeto deve igualar-se ao tempo de concentração (tc).

3.3.11 Cobrimento

Segundo o Manual de Drenagem do Paraná *apud* Rangel; Nogueira (2023):

O cobrimento em sistemas de drenagem é a distância entre a superfície superior de um tubo ou galeria e o solo que o cobre, sendo vital para garantir durabilidade e eficiência. De acordo o Manual de Drenagem do Paraná, para rede com tubos de concreto, o cobrimento mínimo sobre a geratriz externa superior será de 1 m (Rangel; Nogueira, 2023, p. 30).

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base nos resultados obtidos, a área em estudo foi classificada como uma bacia hidrográfica de pequeno porte, com extensão de aproximadamente 2,313128 hectares (equivalente a 0,02313128 km²). Diante dessa característica, verifica-se a viabilidade da aplicação do Método Racional, indicado para áreas de drenagem inferiores a 2,0 km², conforme os critérios estabelecidos por Tucci *et al.* (2003), e, em alguns casos, admitido para áreas de até 3,0 km² (300 ha), segundo Festi (2005).

Considerando-se o uso predominantemente residencial da região, adotou-se um tempo de retorno de 10 anos, valor comumente utilizado em áreas urbanizadas com essas características. O tempo de concentração foi assumido igual ao tempo de duração da precipitação, conforme a metodologia proposta por Tucci (1995).

A análise do levantamento topográfico (Anexo I) revelou que a área apresenta uma topografia relativamente plana, com variações altimétricas pouco expressivas, o que influencia diretamente no comportamento hidrológico da bacia e no dimensionamento dos dispositivos de drenagem.

4.1.1 SARJETAS

Para a obtenção dos resultados referentes às sarjetas, foram utilizadas as equações e os parâmetros definidos na metodologia, em especial a fórmula de Manning para o cálculo da velocidade e da vazão, devido a baixa declividade do terreno foi necessário fazer uma majoração no valor da vazão seguindo a tabela 3 indicada abaixo, a topografia do terreno pode ser observada no apêndice G.

S (m/m)	F.R.	F.M.
0,004	0,5	1,5
0,01 a 0,03	0,8	1,2
0,05	0,5	1,5
0,06	0,4	1,6
0,08	0,27	1,73
0,1	0,2	1,8

Tabela 3: Coeficientes para majoração de acordo com a declividade
Fonte: Costa, 2023

Primeiramente, calculou-se a vazão teórica da Sarjeta 1. Para isso, foi aplicada a equação da intensidade de chuva (Equação 3), a qual considera parâmetros como o tempo de retorno e o tempo de concentração, e parâmetros pluviométricos do software pluvio, resultando na intensidade de precipitação para o evento projetado.

$$i = \frac{1133,836 \times 10^{0,183}}{(13 + 20,667)^{0,807}}$$

$$i \cong 101,18 \text{ mm/h}$$

Com esse valor, foi possível determinar a vazão de projeto por meio da equação racional (Equação 2), que relaciona a intensidade da chuva, a área de contribuição e o coeficiente de Runoff.

$$Q = \frac{0,6 \times 101,18 \times (977,44 \times 1000000)}{3,6}$$

$$Q \cong 0,0164 \text{ m}^3/\text{s}$$

Obtendo-se, assim, a vazão teórica que será utilizada nas etapas seguintes do dimensionamento hidráulico da sarjeta, valor este que será majorado, pelas condições do terreno serem muito planas.

$$Qm = 0,0164 \times 1,5$$

$$Qm \cong 0,0247 \text{ m}^3/\text{s}$$

Com os resultados de vazão majorada em mãos, puderam ser feitos os cálculos para dimensionamento das sarjetas, inicialmente foi proposto um formato triangular de sarjeta por ser o mais comum e de fácil instalação. Adotando uma inclinação de 1/12 no formato das sarjetas e um coeficiente de mennig de 0,015 pois se trata de estruturas de concreto.

Seguiu-se com os cálculos para altura da lâmina d'água na sarjeta utilizando a equação 4,

$$yo = \left(\frac{0,0247}{(0,375 \cdot \sqrt{0,002} \cdot \frac{12}{0,015})} \right)^{\frac{3}{8}}$$

$$yo \cong 0,093 \text{ m}$$

Sendo:

Yo = altura da lâmina d'água (m)

Com o valor da altura da lâmina d'água calculado, podemos descobrir a largura da mesma através da equação 5.

$$Wo = 0,093 \times 12$$

$$Wo \cong 1,118 \text{ m}$$

Sendo:

Wo = Largura da lâmina d'água (m)

Com estes valores é possível encontrar a área total molhada na sarjeta referente a vazão na mesma, com a fórmula da equação 6.

$$A = \frac{0,093 \times 1,118}{2}$$

$$A \cong 0,052 \text{ m}^2$$

Sendo:

A = área molhada (m²)

Conforme a equação 7, a velocidade de escoamento da água está diretamente ligada ao valor de vazão encontrado e a área molhada que esta vazão forma na sarjeta.

$$V = \frac{0,0247}{0,052}$$

$$V = 0,47 \text{ m/s}$$

Sendo:

V = velocidade da água (m/s)

O restante dos cálculos das sarjetas pode ser observado no apêndice A

Após conclusão dos cálculos das sarjetas e suas respectivas velocidades de escoamento, percebemos que devido a planicidade do terreno, as velocidades encontradas são muito baixas e podem causar acúmulo de sedimentos nas sarjetas, foi proposto então que fossem refeitos os cálculos com as vazões encontradas porém utilizando um formato de sarjeta conhecido como "Meia-Cana", pois seu formato semicircular poderia, diminuir a área molhada para a mesma vazão, aumentando assim a velocidade de escoamento.

4.1.2 MEIA CANA

Com isso foram feitos os cálculos para o formato semicircular, como foi dito na metodologia, o cálculo para encontrar a altura da lâmina d'água em uma seção circular é um pouco mais complexo e só pode ser determinado através de um método iterativo, onde só considera um valor inicial e confere se o resultado está próximo ao valor desejado, como são infinitos valores que podem ser considerados, foi utilizado o software Excel e sua função de atingir metas, que possibilita testar infinitos valores em uma velocidade muito alta afim de determinar o valor mais próximo possível, com auxílio do Excel foi possível executar o melhor valor possível de lâmina d'água para calha de 0,40 m tendo como resultado 0,15 m de lâmina.

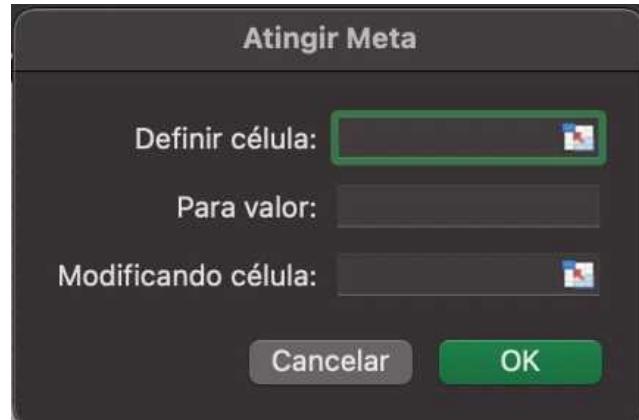


Figura 22: Print tela Excel

Fonte: Excel (2025)

Utilizou-se as equações:

- Equação 8

$$A = \frac{0,2^2}{2} \cdot \left(2 \cdot \arccos\left(\frac{0,2 - 0,15}{0,2}\right) - \sin\left(2 \cdot \arccos\left(\frac{0,2 - 0,15}{0,2}\right)\right) \right)$$

$$A \cong 0,04 \text{ m}^2$$

- Equação 9

$$P = 0,2 \cdot 2 \cdot \arccos\left(\frac{0,2 - 0,15}{0,2}\right)$$

$$P \cong 0,53 \text{ m}$$

- Equação 10

$$R = \frac{0,04}{0,53}$$

$$R \cong 0,08 \text{ m}$$

Sendo:

$$A = \text{Área Molhada (m}^2\text{)}$$

$$P = \text{Perímetro molhado (m)}$$

$$R = \text{Raio Hidráulico (m)}$$

Analizando as equações podemos observar que os valores de Área molhada e Perímetro molhado, dependem diretamente dos valores de altura de lâmina d'água (h) e raio da calha (r), o software do Excel consegue propor valores para estas fórmulas, até chegar em um valor de raio hidráulico. Com a equação 11, podemos encontrar a velocidade de escoamento da água na sarjeta semicircular, utilizando os valores já calculados de Perímetro hidráulico.

$$V = \frac{1}{0,015} \cdot 0,08^{\frac{2}{3}} \cdot 0,002^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 0,58 \text{ m/s}$$

Sendo:

$$V = \text{velocidade (m/s)}$$

$$R = \text{Raio hidráulico (m)}$$

$$I = \text{inclinação da calha (m/m)}$$

Com o valor de velocidade definido para aquela lâmina d'água proposta, o Excel confere se a vazão inicial foi atendida, utilizando a equação 7.

$$Qm = V \times A$$

$$Qm = 0,58 \times 0,04$$

$$Qm \cong 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sendo:

$$Qm = \text{Vazão majorada (m}^3/\text{s)}$$

Caso não tenha atingido a meta o cálculo é refeito com outro valor de lâmina d'água, isso é feito infinitas vezes até se constatar o valor mais próximo. O valor encontrado de $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$ é o extremamente próximo ao valor solicitado, atendendo assim a demanda necessária. O restante dos cálculos das sarjetas Meia-Cana pode ser observado no apêndice B.

4.2 Bocas de Lobo

Definidos as vazões e as respectivas alturas de amina d'água nas sarjetas, pode se iniciar o cálculo das larguras de boca de lobo, a equação 12, determina a Largura mínima para a boca de lobo, na sarjeta 1 temos:

$$L = \frac{0,0247}{(1,7 \times 0,15_2^3)}$$

$$L = 0,24 \text{ m} \cong 1 \text{ m}$$

Sendo:

L = Largura da Boca de Lobo (m)

Caso o valor encontrado seja inferior a 1m, utilizamos um uma boca de lobo de 1m por padronização e recomendação dos manuais. O restante dos cálculos das Bocas de Lobo pode ser observado no apêndice C.

4.3 Galerias

Para os cálculos das galerias primeiro foi analisada toda estrutura topográfica do loteamento e foram alocados tubos a fim de serem parâmetros para avaliação, inicialmente toda a rede foi constituída de tubos de concreto com 60cm de diâmetro, os cálculos mostraram que este diâmetro seria eficaz no início da rede, porém, não seria capaz de suportar toda vazão acumulada ao final da rede. Com isso iniciamos uma série de cálculos separando a rede em 24 trechos conforme apêndice 6, o cálculo do trecho um é descrito abaixo, sendo o primeiro trecho o qual foi adotado um diâmetro de 0,60 m na tubulação e os cálculos dirão se este tubo suportara a vazão necessária. Para uma tubulação de 0,60 m o tubo possui um diâmetro externo de 0,70 m pois sua parede tem em média 5cm de espessura, tendo em vista que é

necessário ao menos 1 metro de recobrimento acima da parte mais alta do tubo, adotamos uma escavação de 1,7 metros no local inicial da tubulação e para os próximos tubos foi seguido uma inclinação de 0,005 m/m e em alguns trechos a inclinação diminui para 0,003 m/m, todas as cotas de montante e jusante dos tubos podem ser observadas no apêndice 6. A equação 3, foi utilizada para determinar a intensidade de chuva no trecho 1.

$$I = \left(\frac{1133,836 \times 10^{0,813}}{(10 + 20,667)^{0,807}} \right)$$

$$I \cong 109,09 \text{ mm/h}$$

Sendo:

I = Intensidade de chuva (mm/h)

Com isso foi determinado a vazão no trecho utilizando a equação X. (multiplicamos a área por 100000 para converter de m² para hectares)

$$Qt = \frac{0,7 \times 109,09 \times (2570,67 \times 100000)}{3,6}$$

$$Qt = 0,0545 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sendo:

Qt = Vazão teórica (m³/s)

Com isso, foi definida a vazão teórica, que servirá de base para as próximas etapas do dimensionamento hidráulico das galerias. Esse valor será aumentado depois, já que o terreno é bem plano.

$$Qm = 0,0545 \times 1,5$$

$$Qm \cong 0,0818 \text{ m}^3/\text{s}$$

Após o cálculos dos parâmetros de vazão e intensidade de chuva, utilizamos o software Siscooh, para determinar se o diâmetro da tubulação é suficiente para suportar a vazão solicitada.

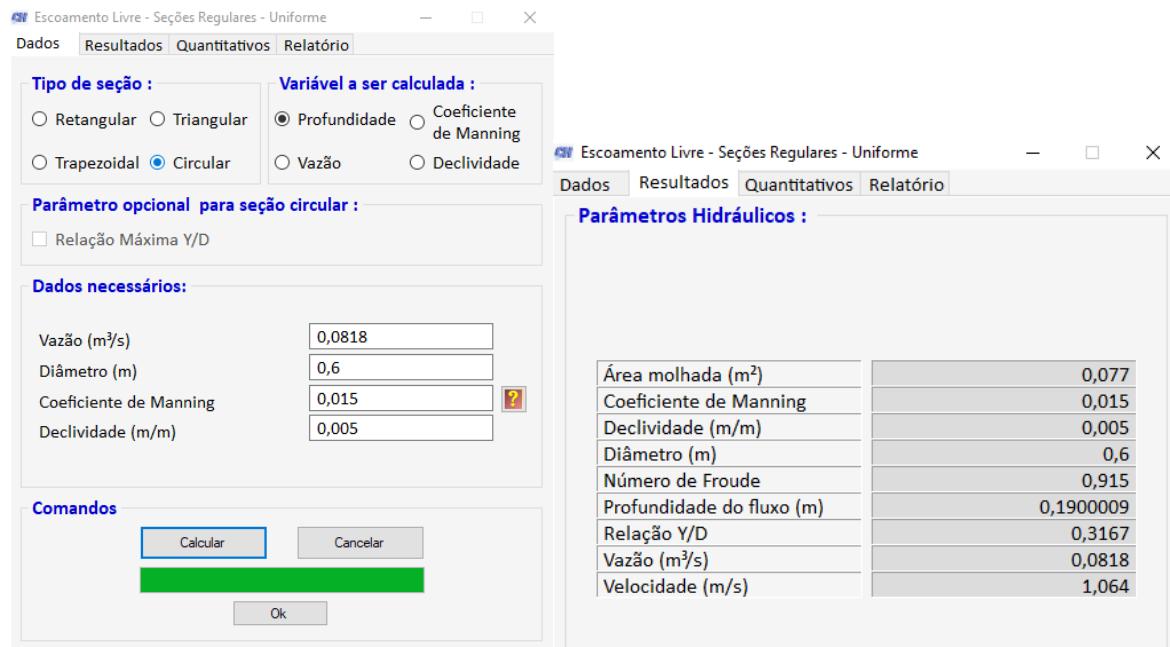


Figura 22: Print tela Siscooh

Fonte: Siscooh (2025)

Conforme as imagens acima, a tubulação de 0,6m gerou uma lâmina d'água de 0,19m e uma velocidade de escoamento de 1,064 m/s, atendendo as recomendações dos manuais de drenagem que foram consultados. O restante dos cálculos das galerias e ramais pode ser observado no apêndice D.

5. DISCUSSÃO

A análise do dimensionamento do sistema de drenagem do Loteamento Santa Clara, em Campos dos Goytacazes/RJ, evidenciou a importância de uma abordagem técnica criteriosa para mitigar os impactos das chuvas intensas em áreas urbanas com baixa declividade e crescente impermeabilização do solo. A aplicação do Método Racional demonstrou-se adequada à escala do projeto, cujas características da bacia de contribuição são compatíveis com os parâmetros definidos por Tucci *et al.* (2003).

Os resultados obtidos no dimensionamento das sarjetas mostraram que, devido à baixa declividade do terreno, as velocidades de escoamento apresentaram valores inferiores aos recomendados, exigindo a majoração da vazão e a reavaliação do tipo de seção adotada. A substituição do modelo triangular pelo semicircular (meia-cana) proporcionou melhores condições hidráulicas, aumentando a velocidade do fluxo e reduzindo o risco de deposição de sedimentos – condizente com o que apontam Tucci (2008) e Santos e Medeiros (2020) sobre a necessidade de compatibilização entre geometria do canal e características topográficas locais.

Outro ponto relevante foi a adoção de práticas de verificação cruzada por meio de softwares como AutoCAD, Pluvio e Excel, que não apenas facilitaram o cálculo iterativo de lâmina d'água em seções semicirculares, mas também reforçaram a precisão dos resultados. Essa integração tecnológica está alinhada com os avanços metodológicos apontados por Fletcher *et al.* (2015) no contexto da drenagem urbana sustentável (DUS).

Ao considerar os eventos climáticos extremos e as recentes enchentes ocorridas no Rio Grande do Sul em 2024, o estudo corrobora a urgência de investimentos em infraestrutura resiliente. A drenagem urbana, quando bem planejada, como neste caso, é capaz de reduzir significativamente os riscos de alagamento e contribuir para a segurança hídrica e ambiental das cidades, como enfatizam IPCC (2022) e CEMADEN (2024).

Portanto, os resultados obtidos neste estudo de caso não apenas atendem aos objetivos propostos, mas também reforçam a importância de uma engenharia civil comprometida com o planejamento urbano sustentável, a gestão integrada das águas e a mitigação de desastres naturais em face das mudanças climáticas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados e cálculos apresentados, conclui-se que a análise e o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana são etapas essenciais para prevenir e mitigar alagamentos, especialmente em áreas com adensamento populacional. A coleta de informações como topografia do terreno, localização, e declividade dos cursos d'água fornece subsídios importantes para determinar o sentido do escoamento e definir soluções técnicas adequadas.

No dimensionamento, foram aplicadas ferramentas clássicas da engenharia hidráulica, como a equação de Manning para cálculo da velocidade de escoamento e o Método Racional para estimativa da vazão de projeto. A intensidade de chuva foi determinada com base em equações do tipo IDF (Intensidade-Duração-Frequência), considerando os parâmetros específicos da região. A vazão máxima foi calculada com base na área de contribuição, na intensidade pluviométrica local e no coeficiente de deflúvio, que representa a capacidade de escoamento superficial de acordo com o tipo de cobertura do solo.

Para o projeto de drenagem do Loteamento Santa Clara, localizado em Campos dos Goytacazes – RJ, adotou-se um período de retorno de 10 anos, o que significa que o sistema foi dimensionado para suportar eventos de chuva com essa frequência estatística. Esse critério visa equilibrar segurança hidráulica e viabilidade econômica.

Inicialmente foram feitos os cálculos, para dimensionar as sarjetas utilizando uma seção triangular, por ser o padrão comercial e de maior utilização na região, porém, após a execução dos cálculos foi observado que a velocidade de escoamento ficou muito baixa, podendo causar assoreamento e prejudicar o funcionamento de todo o sistema de drenagem. A solução encontrada para o problema foi substituir a sarjeta de seção triangular para uma de seção semicircular “Meia-Cana”, pois com uma área molhada menor para a mesma vazão em comparação com a seção triangular, a velocidade de escoamento média teve um aumento de 22,8%, além disso, o formato circular da sarjeta facilita a limpeza e a manutenção.

Esses resultados evidenciam a importância do planejamento hidráulico no contexto urbano, destacando que o simples aumento da infraestrutura sem embasamento técnico pode ser ineficaz. Ressalta-se ainda que um sistema de

drenagem eficiente deve ser parte de uma abordagem integrada, articulando-se com projetos de saneamento, ocupação do solo e infraestrutura urbana. Somente com essa visão sistêmica é possível garantir o funcionamento adequado da drenagem e reduzir os impactos negativos provocados pelas alterações no ciclo hidrológico decorrentes do crescimento urbano.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de Drenagem Urbana Sustentável**. Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Nota Técnica – Enchentes 2024 no Rio Grande do Sul**. Brasília: ANA, 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Saneamento e drenagem urbana no Brasil: diagnóstico e perspectivas**. Brasília: ANA, 2022.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Área da unidade territorial por situação urbana do território, segundo os municípios: 2019**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 17 jun. 2025.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Cidades@ – Campos dos Goytacazes (RJ)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/campos-dos-goytacazes/panorama>. Acesso em: 17 jun. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.433/1997**. Política Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – Lei nº 12.608/2012**.

CÁCERES, M. A. C.; TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

CAMPOS (RJ). Prefeitura Municipal. **Notícia: “Nível do rio Paraíba do Sul atinge 9,64 m em Campos”**, 14 fev. 2020.

CARNEIRO, A. R. *et al.* Contaminação e impactos socioambientais do rio Paraíba do Sul: o caso Cataguases de Papel. SeEco – **Revista de Ecologia e Meio Ambiente**, 2022.

CARVALHO, Daniela Junqueira. **Aplicação do modelo SWMM em área urbana com práticas de baixo impacto (LID)**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília, 2018.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). **Relatório sobre as enchentes no Rio Grande do Sul: análise de riscos e vulnerabilidades**. São José dos Campos, 2024.

CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991–2021**. Florianópolis: UFSC, 2021.

CRED – Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. **Disaster Year in Review: 2022**. Brussels: Université Catholique de Louvain, 2022.

CUÉLLAR, A. H.; CHAGAS, A. C. Soluções baseadas na natureza para drenagem urbana sustentável. **Revista Ambiente Construído**, v. 21, n. 3, 2021.

FERREIRA, T. R. *et al.* Gestão de drenagem urbana e infraestrutura resiliente no Brasil. **Revista Engenharia Civil em Debate**, v. 9, n. 2, 2023.

FLETCHER, T. D. *et al.* *SUDS, LID, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage*. **Urban Water Journal**, v. 12, n. 7, 2015.

FRANÇA, D. F.; SILVA, L. M. Drenagem urbana sustentável e sua contribuição para cidades resilientes. **Revista Ambiente Construído**, v. 22, n. 1, 2022.

IFFLUMINENSE. **Programa Rio Paraíba do Sul – Polo de Inovação Campos dos Goytacazes**, portal IFF, 2024.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Sixth Assessment Report**. Genebra, 2022.

IPEA. Nota Técnica: Empresas e postos de trabalho afetados pelas enchentes no RS. Brasília: IPEA, 2024b.

IPEA. Nota Técnica: População Atingida pelas Enchentes no RS. Brasília: IPEA, 2024a.

MENDES, Maria Estela R.; PINA, Silvia. Drenagem urbana sustentável no Rio de Janeiro: avaliação de jardins filtrantes e biovaletas em área corporativa. **Revista Brasileira de Cidades Verdes**, v. 9, n. 2, 2023.

MENDONÇA, A. M.; FREITAS, H. R. Drenagem Urbana: princípios, práticas e gestão. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MIGUEZ, M. G. et al. Soluções sustentáveis para drenagem urbana no Brasil: evolução e desafios. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 3, 2016.

OLIVEIRA, C. P.; MONTENEGRO, A. A. A. Infraestrutura verde e drenagem urbana sustentável. Recife: UFPE, 2021.

PINHEIRO, Thais de Oliveira. Critérios para seleção de espécies vegetais para infraestrutura verde urbana em São Paulo. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, 2017.

PORTE, R. L. L.; TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. São Paulo: ABES, 2009.

RANGEL, Amanda da Silveira; NOGUEIRA, Paulo Victor da Silva. Estudo de caso: dimensionamento do sistema de drenagem do Loteamento Vista Verde. 2023. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Institutos Superiores de Ensino do CENSA, Campos dos Goytacazes, 2023. Orientadora: Zélia Maria Peixoto Chrispim.

SANTOS, M. L.; MEDEIROS, G. M. Sistemas de drenagem pluvial em áreas urbanas: uma revisão técnica. Revista Científica da Engenharia, v. 5, n. 1, 2020.

SARRAF, L. *et al.* **Controle de cheias urbanas: rede de canais e dragagem na Baixada Campista.** Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, 2008.

SILVA, T. V. *et al.* Drenagem urbana: conceitos e aplicações. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 9, n. 3, 2021.

SOFFIATI, A. “**Por que as enchentes em Campos e como evitá-las**”. Folha1 Opiniões, 28 mar. 2018.

TUCCI, Carlos E. M. **Drenagem urbana: conceitos, planejamento e projetos.** Porto Alegre: ABRH, 2008.

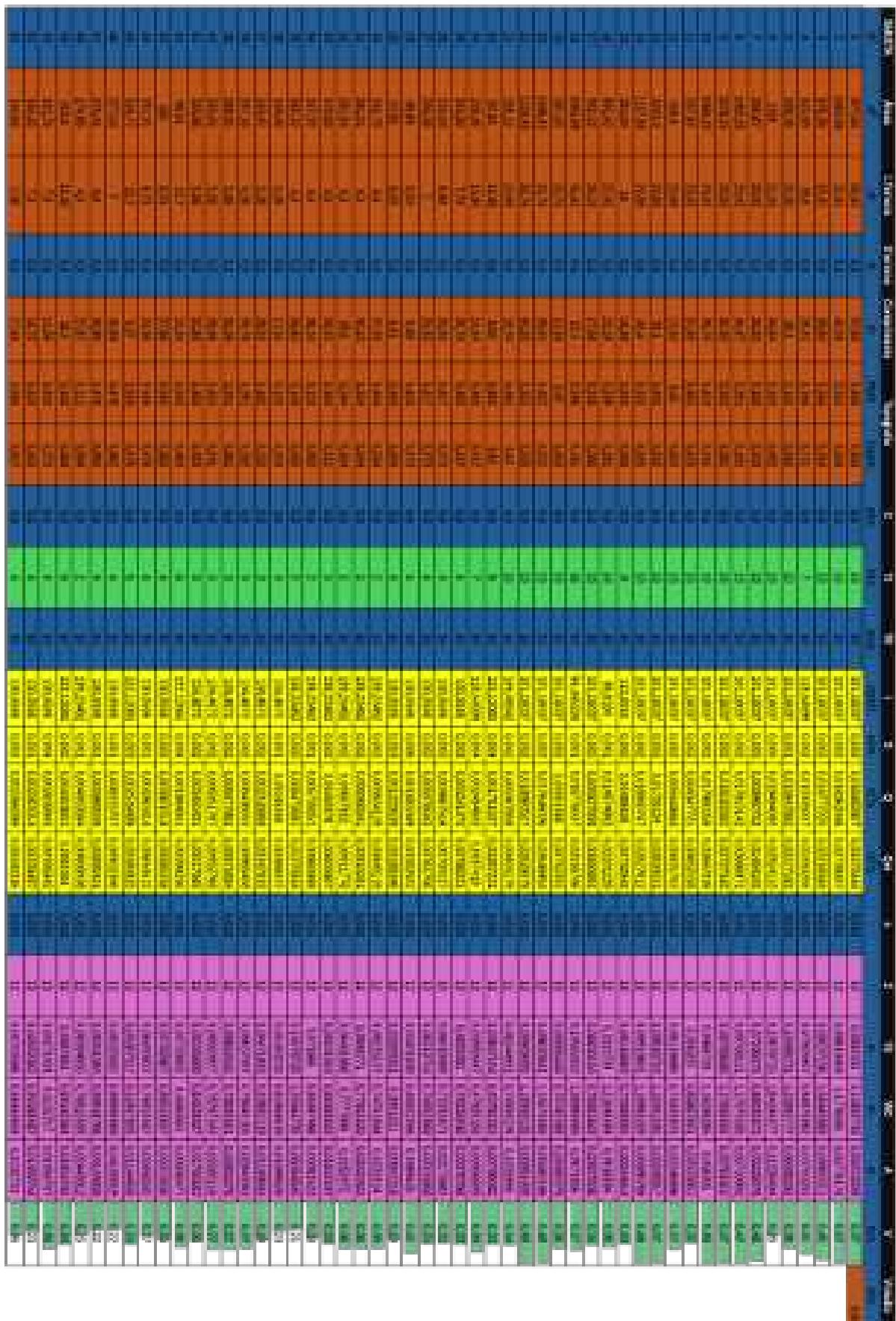
TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana.** 4. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA (UFSM). **E-book: Desastres Hidrológicos no RS.** Santa Maria: LAGEOLAM, 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Capacidade Municipal de Resposta às Enchentes de 2024.** Porto Alegre: UFRGS, 2024.

UNDRR. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030.** United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015.

APENDICE A – CÁLCULO DAS SARJETAS TRIANGULARES



APENDICE B – CÁLCULO DAS SARJETAS MEIA-CANA

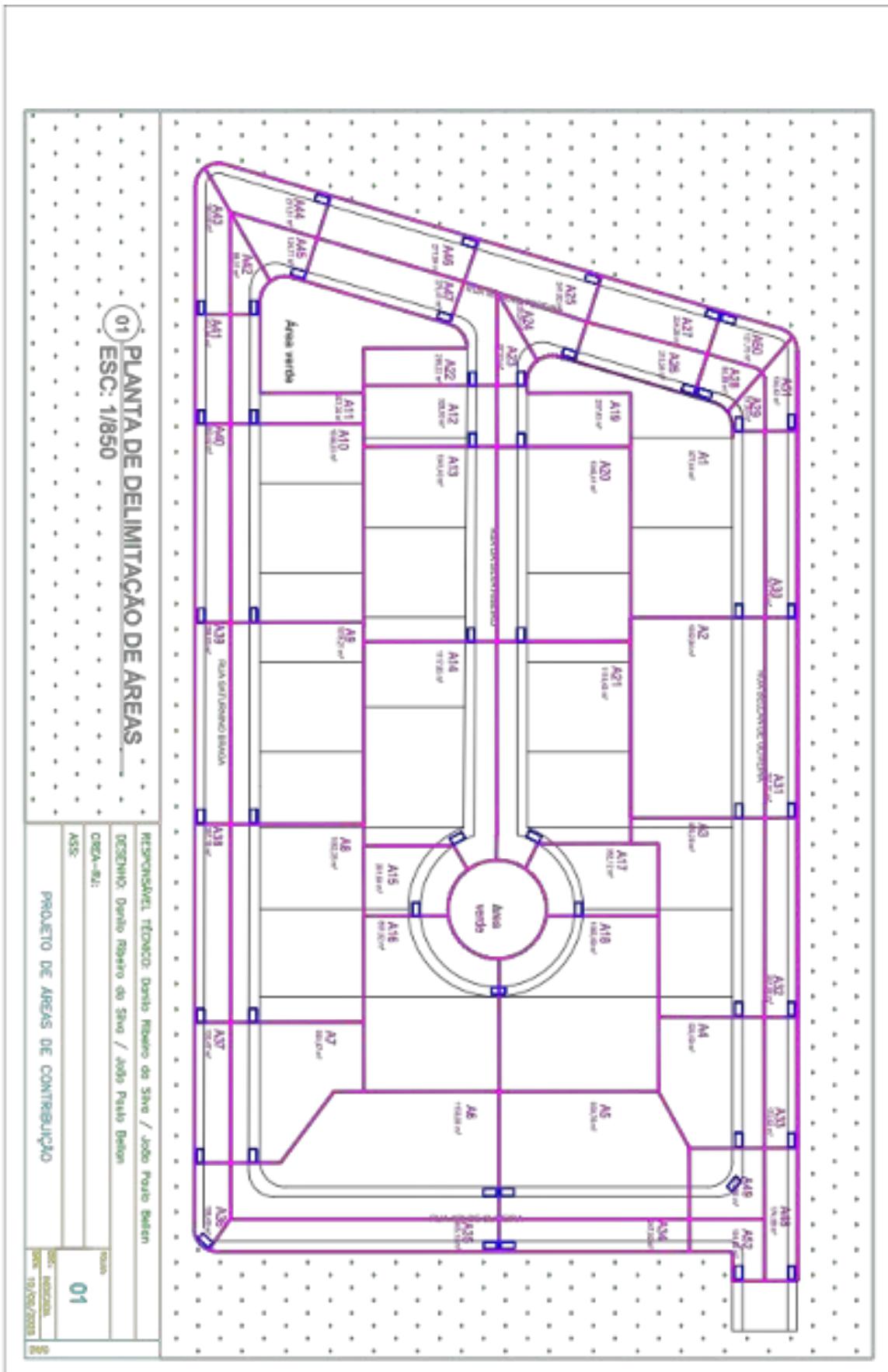
Nº	Q	S	Amplitude P/Molhado	W	Laminaragem	Rolo da Cetina	z	Q estimado	V	% media
00047	0,03	0,34	0,31	0,08	0,15	0,20	0,00	0,0001	0,0001	0,00
00074	0,03	0,31	0,31	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0001	0,0001	0,00
00222	0,03	0,34	0,32	0,08	0,15	0,20	0,00	0,0001	0,0001	0,00
00255	0,03	0,33	0,37	0,07	0,13	0,20	0,00	0,0001	0,0001	0,00
00288	0,03	0,31	0,38	0,08	0,18	0,20	0,00	0,0001	0,0001	0,00
00321	0,03	0,33	0,37	0,12	0,24	0,25	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00353	0,03	0,33	0,43	0,08	0,13	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00386	0,03	0,33	0,39	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00419	0,03	0,35	0,31	0,29	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00452	0,03	0,36	0,34	0,08	0,18	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00485	0,03	0,32	0,38	0,09	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00518	0,03	0,33	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00551	0,03	0,35	0,34	0,08	0,18	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00584	0,03	0,33	0,36	0,09	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00617	0,03	0,32	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00650	0,03	0,31	0,39	0,09	0,18	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00683	0,03	0,32	0,41	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00716	0,03	0,34	0,38	0,08	0,18	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00749	0,03	0,32	0,38	0,09	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00782	0,03	0,31	0,34	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00815	0,03	0,31	0,35	0,08	0,19	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00848	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00881	0,03	0,31	0,38	0,08	0,18	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00914	0,03	0,32	0,38	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00947	0,03	0,32	0,38	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
00980	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01013	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01046	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01079	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01112	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01145	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01178	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01211	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01244	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01277	0,03	0,31	0,37	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01310	0,03	0,31	0,34	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01343	0,03	0,31	0,32	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01376	0,03	0,32	0,41	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01409	0,03	0,32	0,41	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01442	0,03	0,32	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01475	0,03	0,32	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01508	0,03	0,33	0,44	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01541	0,03	0,31	0,39	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01574	0,03	0,32	0,37	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01607	0,03	0,31	0,33	0,08	0,20	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01640	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01673	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01706	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01739	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01772	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01805	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01838	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01871	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01904	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01937	0,03	0,31	0,33	0,08	0,16	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
01970	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02003	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02036	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02069	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02102	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02135	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02168	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02201	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00
02234	0,03	0,31	0,34	0,08	0,17	0,20	0,00	0,0000	0,0000	0,00

APENDICE C – CÁLCULO DAS BOCAS DE LOBO

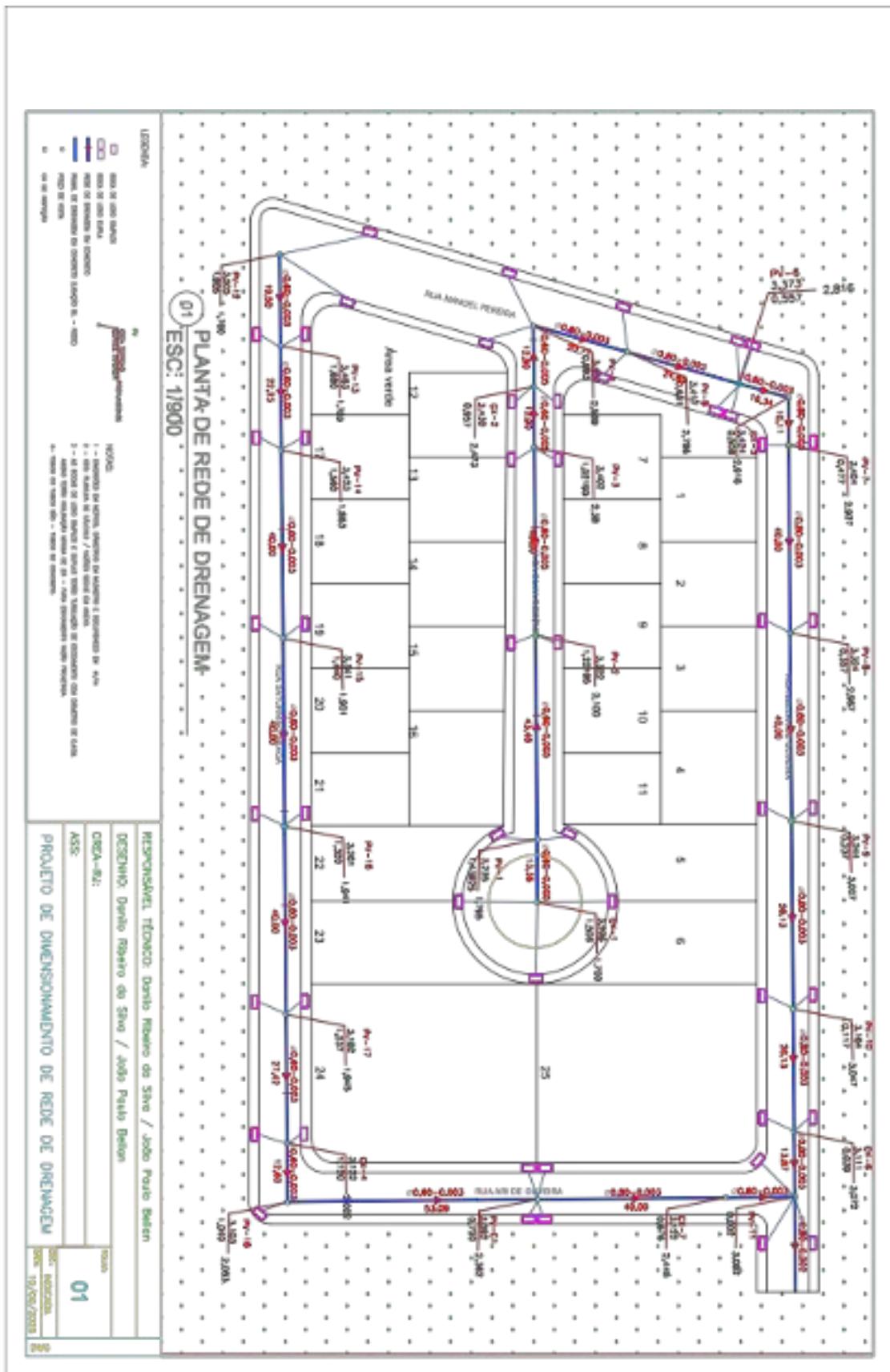
BL	Q(m^3/s)	y(m)	L(m)	L MAJORADO
1	0.02472444	0,15	0.248044485	1
2	0.03739367	0,16	0.24457634	1
3	0.02216664	0,15	0.23344511	1
4	0.01560285	0,12	0.216344029	1
5	0.02377182	0,18	0.18468062	1
6	0.02324113	0,24	0.14589306	1
7	0.01494105	0,11	0.22997748	1
8	0.02686971	0,16	0.24668417	1
9	0.02727342	0,16	0.24715407	1
10	0.02687039	0,16	0.2533769	1
11	0.00662158	0,08	0.15739393	1
12	0.00891703	0,08	0.18767759	1
13	0.02694231	0,16	0.245652468	1
14	0.00927612	0,17	0.24580356	1
15	0.00732942	0,09	0.18669307	1
16	0.00201239	0,16	0.21011003	1
17	0.002890691	0,10	0.17793002	1
18	0.02615706	0,18	0.19273814	1
19	0.00752352	0,09	0.1766603	1
20	0.00546904	0,16	0.23041015	1
21	0.02829079	0,16	0.25366259	1
22	0.00605179	0,09	0.17683682	1
23	0.00267231	0,04	0.16651148	1
24	0.0037419	0,05	0.20148043	1
25	0.00786221	0,09	0.17080391	1
26	0.00700127	0,09	0.165332913	1
27	0.00761706	0,09	0.16810901	1
28	0.00282502	0,04	0.18074514	1
29	0.00188345	0,04	0.1453871	1
30	0.00845119	0,09	0.18649324	1
31	0.00910261	0,10	0.17900361	1
32	0.00911175	0,10	0.17975021	1
33	0.00600867	0,08	0.17134878	1
34	0.006603855	0,11	0.14008878	1
35	0.01270904	0,17	0.10972651	1
36	0.00368027	0,07	0.11900826	1
37	0.00047633	0,06	0.14003361	1
38	0.00965405	0,10	0.18962593	1
39	0.00971684	0,10	0.19089318	1
40	0.00952766	0,10	0.18903449	1
41	0.00517565	0,07	0.15093041	1
42	0.00299236	0,05	0.14113364	1
43	0.00585228	0,08	0.14318491	1
44	0.00654512	0,09	0.13834886	1
45	0.00380925	0,06	0.154009366	1
46	0.00902358	0,13	0.167068086	1
47	0.00295431	0,13	0.10624439	1
48	0.00608035	0,09	0.1247306	1
49	0.00685304	0,09	0.17689825	1
50	0.00095842	0,06	0.158938066	1
51	0.00335497	0,07	0.13649495	1
52	0.00040245	0,06	0.12680724	1

APENDICE D – CÁLCULO DAS GALERIAS E RAMAL

APÊNDICE E – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO



APENDICE F – REDE DE DRENAGEM



APENDICE G – PLANTA TOPOGRAFICA

