

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ISMAEL DO NASCIMENTO LINO
JEICIELY MARIA LEMOS**

**DRENAGEM URBANA: DESAFIOS E ATUALIDADE
ESTUDO DE CASO EM ANÁPOLIS-GO**

ANÁPOLIS / GO

2021

ISAMEL DO NASCIMENTO LINO

JEICIELY MARIA LEMOS

DRENAGEM URBANA: DESAFIOS E ATUALIDADE

ESTUDO DE CASO EM ANÁPOLIS-GO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA

ORIENTADOR: CARLOS EDUARDO FERNADES

ANÁPOLIS / GO: 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

LINO, ISMAEL DO NASCIMENTO/ LEMOS, JEICIELY MARIA

Drenagem Urbana: Desafios e Atualidade-Estudo de Caso em Anápolis-GO

70P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|---------------------|-------------------------|
| 1. Drenagem Urbana | 2. Impactos |
| 3. Galerias Pluvias | 4. Sistemas de Drenagem |
| I. ENC/UNI | II. Bacharel |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LINO, Ismael do Nascimento; LEMOS, Jeiciely Maria. Drenagem Urbana: Desafios e Atualidade - Estudo de caso em Anápolis-GO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, 70p. 2021.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ismael do Nascimento Lino

Jeiciely Maria Lemos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Drenagem Urbana: Desafios e Atualidade - Estudo de caso em Anápolis-GO.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

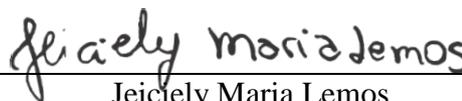
ANO: 2021

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.



Ismael do Nascimento Lino

E-mail: ismael.lino@hotmail.com



Jeiciely Maria Lemos

E-mail: engjeiciely@gmail.com

ISMAEL DO NASCIMENTO LINO
JEICIELY MARIA LEMOS

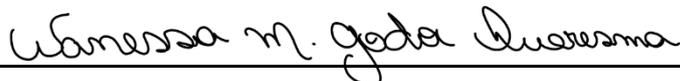
DRENAGEM URBANA: DESAFIOS E ATUALIDADE
ESTUDO DE CASO EM ANÁPOLIS-GO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE
CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA
UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

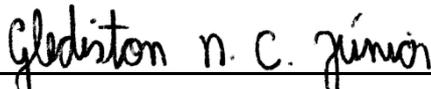
APROVADO POR:



CARLOS EDUARDO FERNANDES, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)



WANESSA MESQUITA GODOI QUARESMA, Mestra (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)



GLEDISTON NEPOMUCENO COSTA JÚNIOR, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, 01 de junho de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Deus Eterno pela vida, pelo constante amparo e pela direção em todas as circunstâncias. Sem Ele, nada seria possível.

Agradeço à minha família por saberem dividir-me com os livros, com as aulas, com os amigos, suportando os períodos de ausência, embora, em muitos momentos, estivéssemos debaixo do mesmo teto. Agradeço, em especial, à minha esposa Sueli por ter ficado ao meu lado durante todo esse tempo, sendo sempre paciente e amorosa, incentivando-me a ir até o fim. Não poderia deixar de citar minhas filhas, Gabriella, Mariah e Amanda, que sempre torceram pelo meu sucesso e vibraram comigo em cada etapa.

Agradeço aos amigos, João Pedro e João Pedro, dupla inseparável, dos quais tive o prazer da amizade, pelos muitos trabalhos feitos em grupo. Vocês fazem parte disso.

Agradeço a todos os professores do Curso que, durante esses cinco anos, se empenharam em transmitir conhecimento com vistas a formar em cada um de nós a mentalidade de engenheiro. Cada um de vocês, à sua maneira, contribuiu muito em todo esse processo.

Agradeço, em particular, ao Professor Carlos Eduardo, por ter aceitado a proposta em orientar-nos. Seus esclarecimentos foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a todos os funcionários e colaboradores da Unievangélica que, embora no anonimato, cumpriram seus papéis com denodo, para que tudo funcionasse quando fosse preciso.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente participaram dessa história.

Ismael do Nascimento Lino

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado o dom da vida que em sua infinita bondade me permitiu sonhar e ter saúde para que eu pudesse ir em busca da realização dos sonhos, por ter me acompanhado na batalha e por esta conquista que hoje se concretiza.

Agradeço aos meus pais que me amparam em meio as dificuldades e por não me terem permitido desistir quando as forças se esvaíram. Aos meus irmãos que sonharam e me acompanharam nesta longa caminhada, que me suportaram e me auxiliaram.

Enfim agradeço imensamente aos professores que me deram todo conhecimento que lhes foram permitidos, pelos sorrisos e gestos simples, mas de grande motivação, pelo auxílio nas horas de necessidade dentro e fora do ambiente acadêmico, pelas palavras de confiança e encorajamento.

Jeiciely Maria Lemos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema Separador Absoluto	16
Figura 2 – “Produção” de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica	18
Figura 3 – Rede de Drenagem Pluvial e seus componentes	19
Figura 4 – Estrutura do plano de águas pluviais	21
Figura 5 – Vista plana de uma típica bacia de drenagem	24
Figura 6 – Bacia não urbanizada	25
Figura 7 – Bacia urbanizada	25
Figura 8 – O ciclo da água	26
Figura 9 – Funcionamento do sistema de escoamento superficial	31
Figura 10 – Representação de um sistema de drenagem pluvial urbano	32
Figura 11 – Sarjeta	32
Figura 12 – Rasgo e Sarjetão	33
Figura 13 – Boca coletora	34
Figura 14 – Elementos de uma galeria pluvial	35
Figura 15 – Representação de galeria circular	36
Figura 16 – Atrito de partículas sólidas em suspensão contra a superfície de concreto ...	39
Figura 17 – Erosão por cavitação em galeria pluvial em Belo Horizonte/MG	39
Figura 18 – Galeria pluvial assoreada	41
Figura 19 – Galeria de águas pluviais – circular	42
Figura 20 – Galeria de águas pluviais – retangular	42
Figura 21 – Apoio direto - assentamento, apoio, envolvimento e reenchimento	44
Figura 22 – Assentamento com base condenável	44
Figura 23 – Assentamento com base aceitável (comum)	45
Figura 24 – Assentamento com base de 1ª classe – ideal	45
Figura 25 – Assentamento com base de concreto – ideal (mais caro)	46
Figura 26 – Tubo corrugado em PEAD	46
Figura 27 – Instalação de tubo PEAD	48
Figura 28 – Deformação do tubo PEAD sob carga vertical	49
Figura 29 – Robô para inspeção de dutos	50
Figura 30 – Vídeo-inspeção de tubulações	50
Figura 31 – Distribuição da velocidade em um tubo parcialmente cheio	52
Figura 32 – Tubo com escoamento a seção plena	52

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Parâmetros locais das Equações de Chuva	28
Tabela 2 – Tempo de recorrência para as chuvas de projeto em sistemas de drenagem .	29
Tabela 3 – Características do PEAD	48
Tabela 4 – Dados catalogados da inspeção	51
Tabela 5 – Valores de n de Manning para diversos tipos de canais	53
Tabela 6 – Parâmetros utilizados em canais e/ou seção circular das galerias pluviais	54
Tabela 7 – Resumo do aspecto de conservação da galeria	56
Tabela 8 – Relatório da inspeção da galeria	57

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABTC	Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente/MG
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
NuReCO	Núcleo Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental
PEAD	Polietileno de Alta Densidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA	13
1.2 OBJETIVOS	13
1.2.1 Objetivo geral	13
1.2.2 Objetivos específicos	13
1.3 METODOLOGIA	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 DRENAGEM URBANA	15
2.1.1 História da Drenagem	15
2.1.2 Drenagem Urbana no Brasil	16
2.1.3 Importância da Drenagem	17
2.2 SISTEMAS DE DRENAGEM	17
2.2.1 Águas Pluviais Urbanas	18
2.2.2 Sistemas Clássicos	18
2.2.3 Sistemas Compensatórios	19
2.3 GESTÃO DE ÁGUAS URBANAS	19
2.3.1 Importância da Gestão	19
2.3.2 Estrutura da Gestão	20
2.3.2.1 Plano Diretor de Drenagem Urbana	20
3 SISTEMA PLUVIAL URBANO	23
3.1 BACIA HIDROGRÁFICA	23
3.2 CICLO HIDROLÓGICO	25
3.2.1 Equações de chuva	26
3.3 CRITÉRIOS PARA PROJETOS DE DRENAGEM	28
3.3.1 Período de Retorno (T)	28
3.3.2 Tempo de concentração (t_c)	29
3.3.3 Coeficiente de deflúvio (C)	29
3.3.4 Vazão de Projeto (Q)	30
3.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	30
3.5 ELEMENTOS DA MICRODRENAGEM	31

3.5.1	Sarjetas	32
3.5.2	Sarjetões	33
3.5.3	Bocas coletoras (Boca de lobo)	33
3.5.4	Tubos de ligação	34
3.5.5	Poços de visita	34
3.5.6	Galerias	35
4	PATOLOGIAS COMUNS EM GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS	37
4.1	DESGASTE BIOLÓGICO	37
4.2	DESGASTE QUÍMICO	37
4.3	DESGASTE FÍSICO	38
4.3.1	Desgaste Superficial	38
4.3.1.1	Abrasão	38
4.3.1.2	Cavitação	39
4.3.2	Desgaste por Fissuras	40
4.3.3	Desgaste por Assoreamento	40
5	TUBULAÇÃO DE CONCRETO X PEAD	42
5.1	TUBULAÇÃO EM CONCRETO	42
5.2	TUBULAÇÃO EM PEAD	46
5.2.1	Vantagens da utilização de PEAD	47
6	ESTUDO DE CASO	50
6.1	DADOS DA INSPEÇÃO	51
6.2	VAZÃO DA GALERIA	52
6.2.1	Cálculo da vazão da galeria	52
6.2.2	Velocidades Admissíveis	53
6.3	RESUMO FOTOGRÁFICO DA INSPEÇÃO	55
6.4	PATOLOGIAS OBSERVADAS NO TRECHO INSPECIONADO	57
6.4.1	Relatório do Trecho Inspecionado	57
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
8	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

As civilizações, desde as primeiras aglomerações urbanas, têm preferencialmente se fixado próximo aos cursos d'água, devido a profunda interação histórica com os mananciais, obviamente em função da disponibilidade de água para o suprimento de consumo e higiene das populações bem como o descarte de dejetos (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2001).

Ocorre que, com o aumento da população urbana ao longo dos tempos, a ocorrência de inundações nas áreas urbanas e ribeirinhas tem sido uma constante que, segundo Tucci (2003), deve-se à ocupação desordenada do solo. O que, até então era uma necessidade de sobrevivência – residir próximo aos mananciais – tornou-se um problema devido à combinação da ocupação desordenada com a impermeabilização excessiva do solo e também, em muitos casos, a falta de planejamento do poder público.

Essa somatória de causas tem provocado vários prejuízos às cidades obrigando aos órgãos públicos a olhar o problema das enchentes com outros olhos. Há uma gama de estudiosos do assunto que têm discutido as relações entre a impermeabilização do solo e o aumento das inundações, bem como os riscos a que a população está sujeita em razão disso (SOUZA, 2013).

Uma vez que a tendência natural das cidades é o incremento da urbanização de jusante a montante, o que se pode esperar é o aumento gradual e contínuo do volume do escoamento superficial com a consequente sobrecarga do sistema urbano de drenagem de águas pluviais. Essa constatação obrigará aos setores responsáveis a implementar medidas preventivas e corretivas com a finalidade de manter a rede de drenagem das áreas urbanas totalmente operacional e capaz de escoar todo o volume precipitado no menor tempo possível para que sejam minimizados os danos à população.

Desta forma, este trabalho tem como foco apresentar o tema da drenagem urbana, conceituando seus elementos essenciais e correlacionando-a com as normas que padronizam sua execução, conforme pesquisa bibliográfica. O presente trabalho apresenta um estudo de caso baseado em vídeo-monitoramento robótico de uma galeria pluvial da cidade de Anápolis – GO, propondo medidas que poderiam ser tomadas pelo governo municipal para melhorar o escoamento do acúmulo de águas provenientes de grandes precipitações no município.

1.1 JUSTIFICATIVA

As cidades brasileiras têm sofrido sérios alagamentos em suas áreas urbanas em períodos chuvosos e a cidade de Anápolis – GO está entre elas. É comum na época das chuvas a imprensa noticiar sobre inundações em vários trechos do município. Na maioria das cidades os sistemas de drenagem são precários, obedecendo ao que parece um “padrão” de má execução e manutenção. Esse fato, por si só, já é uma justificativa plausível para que engenheiros se debrucem sobre livros e artigos com o propósito de compreender o que ocorre e propor soluções que beneficiem a todos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

A pesquisa teve como objetivo geral apresentar um referencial teórico sobre sistemas de drenagem e fazer um estudo de caso por meio de vídeo-monitoramento de galerias pluviais de drenagem urbana na cidade de Anápolis – GO.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os componentes de um sistema de drenagem urbana.
- Relacionar um sistema de drenagem e seu impacto no dimensionamento de galerias de águas pluviais e manutenções preventivas e corretivas.
- Realizar um estudo de caso em galerias por meio de vídeo-monitoramento.

1.3 METODOLOGIA

Pesquisa em artigos, revistas e livros que tratam da temática, relacionando os principais autores que trabalham na área. Utilizar um material de estudo com vídeo-monitoramento através de imagens produzidas por um robô que mostra a filmagem do interior das galerias, para identificar suas características funcionais e respectivas patologias.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em sete capítulos.

O primeiro capítulo aborda a estrutura do trabalho e apresenta os objetivos do estudo, especificando também a metodologia empregada para atingir os objetivos propostos.

O capítulo dois traz o embasamento bibliográfico sobre a definição dos conceitos de drenagem e seus tipos e os impactos produzidos pelas chuvas.

O capítulo três apresenta os componentes de um sistema pluvial urbano, passando pelas definições de bacia hidrográfica, ciclo hidrológico e como os picos das precipitações tem relação direta com o dimensionamento dos sistemas de drenagem de águas pluviais.

No capítulo quatro são abordadas as patologias mais comuns nas galerias pluviais apontando as causas principais de suas ocorrências, fruto em grande parte da falta de manutenção do sistema e por erros durante a fase de construção.

Na sequência, no capítulo cinco, é feito um comparativo entre tubos de concreto armado, material amplamente utilizado na construção de galerias pluviais, e tubos PEAD – Polietileno de Alta Densidade, material que também vem sendo utilizado em galerias pluviais com boa aceitação devido às vantagens que oferece.

Por fim, no capítulo seis, é apresentado o relatório do estudo de caso realizado por meio de vídeo-monitoramento em um trecho da galeria pluvial da Rua Quintino Bocaiúva, no Centro de Anápolis, onde foi possível identificar algumas patologias existentes no trecho que merecem atenção do poder público com certa brevidade.

No capítulo sete estão dispostas as considerações finais sobre o estudo, apontando as intervenções julgadas necessárias para sanar os danos observados, bem como sugestões para melhoria do sistema de captação e escoamento das chuvas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DRENAGEM URBANA

2.1.1 História da Drenagem

Segundo Dayane (2016), a drenagem desenvolveu-se como um complemento da irrigação, passando posteriormente a ser utilizada para recuperar terrenos inundados, tais como charcos e pântanos, e regular a umidade do solo em pequenas áreas de cultivo agrícola.

As comunidades desde as primeiras aglomerações urbanas, conforme acentuam Baptista e Nascimento (2001), tiveram como preferência de localização a proximidade dos cursos d'água devido a profunda interação histórica com os mananciais já que a disponibilidade de água fornecia o suprimento para consumo, a higiene e para evacuação de dejetos.

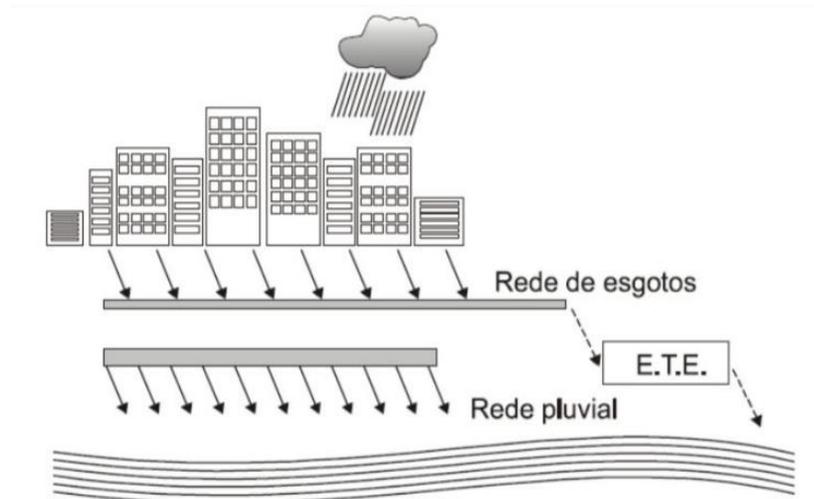
Durante o império romano, o sistema de drenagem passou a fazer parte do sistema de esgoto, inclusive atribui-se a construção da “cloaca máxima” – o grande esgoto de Roma – ao rei Tarquínio Prisco (580-514 a.C.). A cloaca máxima ainda é parte do sistema de drenagem da Roma atual (DAYANE, 2016). No entanto, como a forma dos sistemas de evacuação construídos pelos romanos mantiveram-se inalterados, sem receberem a devida manutenção, o despejo dos dejetos das cidades se fazia pelas vias de circulação. Embora esse fosse um meio fácil das sobras serem eliminadas, havia o incômodo gerado pelo mau odor, além do que as provisões de água se tornavam perigosamente poluídas, acarretando condições insalubres (BAPTISTA & NASCIMENTO, 2001).

Entre o início do século XVI e meados do século XVIII a pavimentação das ruas e construção de obras de canais de drenagem onde escoavam os refugos indesejáveis das ruas em direção aos rios e lagos se generalizou (DAYANE, 2016). Contudo, a visão sobre as águas nas cidades sofreu uma mudança considerável no século XIX em função das epidemias de cólera que assolaram a Europa, surgindo assim os princípios do higienismo, baseados nas técnicas “tout a l'égout”, no qual as águas pluviais e as águas residuais e de infiltração são conduzidas para uma mesma canalização ou galeria, cuja finalidade é destinar a evacuação para o mais distante e o mais rápido possível (ALMEIDA & SANTOS, 2019).

No Brasil, a partir da Proclamação da República, em 1889, foram adotadas as ideias do “tout a l'égout”. Atualmente, o sistema adotado no país é conhecido como Sistema Separador Absoluto (Figura 1), no qual há duas redes públicas inteiramente independentes: uma para águas

pluviais e outra somente para águas residuais e de infiltração, devido às vantagens que apresenta (ALMEIDA & SANTOS, 2019).

Figura 1 – Sistema Separador Absoluto.



Fonte: TSUTUVA E BUENO, 2004, p. 04.

Tucci e Genz (1995), nos idos da década de noventa, reforçavam que a predisposição é considerar a bacia de drenagem como um todo, de modo que o controle dos excedentes não deve ser visto como uma ação isolada, mas como um sistema global, onde o controle das águas urbanas de origem pluvial deve ser um processo permanente.

2.1.2 Drenagem Urbana no Brasil

Institucionalmente, no Brasil, a infraestrutura básica de microdrenagem é de competência dos municípios, incluídos os serviços de terraplenagem, construção de guias, sarjetas, galerias de águas pluviais, pavimentações e obras de contenção de encostas, com a finalidade de minimizar os riscos à ocupação urbana. À medida que crescem em relevância, essa competência passa ser dos governos estaduais (GIANSANTE, 2007).

São conhecidas, em relação à macrodrenagem, as situações críticas ocasionadas por cheias urbanas, agravadas pelo crescimento desordenando das cidades, em especial, a ocupação de várzeas e fundo de vales, uma vez que, na maioria das cidades do país, a infraestrutura pública em relação a drenagem é insuficiente, como em outros serviços básicos (GIANSANTE, 2007).

2.1.3 Importância da Drenagem

A drenagem é um instrumento importantíssimo no controle do balanço hidrológico, na aplicabilidade dos sistemas de coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais como medida corretiva e amenizadora do impacto causado pelo ciclo das águas nas áreas urbanas das bacias hidrográficas, cada vez com taxas crescentes de impermeabilização do solo (FENDRICH, 2002).

Fernandes (2016) ressalta que, se no início do planejamento urbano o sistema de drenagem não for devidamente considerado, é razoável admitir que o tal sistema venha ser de alto custo e deficiente. Dessa forma, é recomendado que a área urbana seja planejada de forma integrada de tal modo que, se existirem planos regionais, estaduais ou federais, deve-se buscar a perfeita compatibilidade entre todos os planos. Assim, segundo a autora, todo plano urbanístico deve conter um plano de drenagem urbana, com o fim de viabilizar ou não a ocupação de áreas mais baixas devido à potencialidade de inundação.

De acordo com Giansante (2007), um sistema de drenagem adequado, proporcionará uma sequência de benefícios, tais como:

- a) Desenvolvimento do sistema viário;
- b) Eliminação de águas estacionárias e lamaçais;
- c) Redução de gastos com manutenção das vias públicas;
- d) Segurança e conforto para a população habitante na área de projeto;
- e) Rebaixamento do lençol freático;
- f) Valorização das propriedades existentes na área contemplada;
- g) Recuperação de áreas alagadas ou alagáveis; e
- h) escoamento rápido das águas superficiais, facilitando o tráfego por ocasião das precipitações.

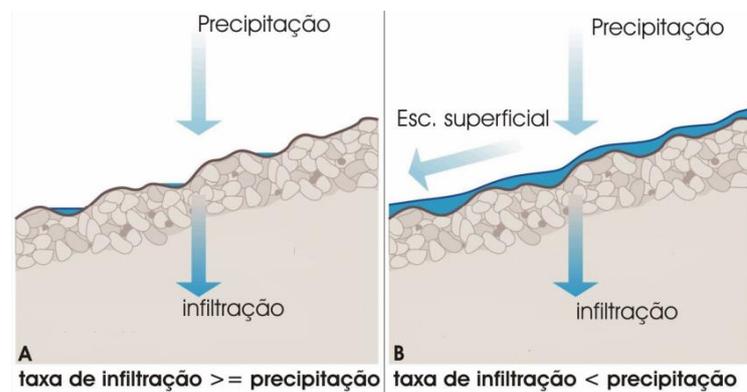
Em termos gerais, um sistema de microdrenagem é responsável por criar condições ideais para a circulação de veículos e pedestres numa área urbana, durante as precipitações, ocasião em que é oportuno verificar o funcionamento do sistema para chuvas mais intensas, levando-se em conta os possíveis danos às propriedades e os riscos para a população em caso de enchentes (FERNANDES, 2016).

2.2 SISTEMAS DE DRENAGEM

2.2.1 Águas Pluviais Urbanas

Pela infiltração ou escoamento, dependendo das características particulares do solo e das condições do relevo, a água percorre um amplo caminho desde o topo do solo até a profundidades maiores, Figura 2. A água poderá percolar até grandes profundidades ao infiltrar o solo, atingindo e alimentando lençóis freáticos e aquíferos. Poderá também escoar lateralmente em função de variações nas condições de drenabilidade interna ou condutividade hidráulica das matérias ou ser absorvida pelas raízes dos vegetais, entrando assim no processo de ciclagem natural dos nutrientes nos ecossistemas. Nas áreas urbanas, contudo, esse processo sofre alterações marcantes (NASCIMENTO, 2011).

Figura 2 – “Produção” de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica.



Fonte: HIDROLOGIA APLICADA, 2004, p. 18.

Segundo Botelho (2011), toda essa diversidade de caminhos do sistema natural é reduzida ao binômio escoamento e infiltração, com maior participação do primeiro.

As águas pluviais urbanas são drenadas pelo pavimento, canais naturais e sistema constituído de condutos e canais. Quando o escoamento sai do seu leito e atinge as áreas laterais, produz inundações, que é o principal impacto sobre a sociedade (TUCCI, 2012).

2.2.2 Sistema Clássico

É um sistema caracterizado pela implantação de condutores que proporcionam uma maior eficiência hidráulica do escoamento, ocorrendo com maior velocidade. As águas pluviais são captadas e levadas por condutos artificiais subterrâneos por meio da gravidade. A evacuação ocorre de zonas urbanas e são lançadas em corpos d'água. Esses sistemas são dotados de mecanismos de captação de água superficial, estruturados em forma de canais abertos ou

condutos enterrados, com obras complementares, como bueiros e dissipadores de energia, conforme representado na Figura 3. Porém, o sistema clássico de drenagem apresenta inconveniências tais como o aumento da velocidade do escoamento, cheias propagadas para jusante mais rapidamente, pois as áreas urbanas a montante causam inundações nas áreas de jusante. Além do mais, esses sistemas não consideram a qualidade das águas. A ocupação das áreas de drenagem provoca inundações (MOURA, 2004).

Figura 3 – Rede de Drenagem Pluvial e seus componentes



Fonte: Adaptado de ASSEMAE, 2015.

2.2.3 Sistemas Compensatórios

Os sistemas compensatórios ou alternativos de drenagem urbana contradizem o conceito de rápida evacuação das águas pluviais, pois apoia-se na infiltração e retenção das águas precipitadas, acarretando uma diminuição no volume de escoamento superficial, bem como o reparo temporal das vazões. Quando planejado adequadamente, o sistema compensatório pode exercer um papel importante na melhoria da qualidade das águas pluviais, podendo ser utilizados desde pequenas parcelas, até a drenagem de cidades inteiras, além de ter potencial de ser integrado facilmente ao meio ambiente (MOURA, 2004).

2.3 GESTÃO DE ÁGUAS URBANAS

2.3.1 Importância da Gestão

Tucci (2005) ressalta que o desenvolvimento urbano modificou a maioria dos conceitos em uso na engenharia para a infraestrutura de água nas cidades. Segundo o autor, o desenvolvimento do tema tem sido baseado na partição disciplinar do conhecimento sem uma

solução integrada, de modo que o planejador urbano desenvolve a ocupação na certeza de que o engenheiro de transportes, de saneamento e de outras infraestruturas encontrará uma solução para o uso do solo. O mesmo autor sustenta, porém, que a ocupação das áreas precisa estar atrelada à sustentabilidade do espaço e isto só pode ser atingido quando definidas regras de uso e ocupação do solo por meio de uma gestão que leva em conta todas as variantes (TUCCI, 2005).

2.3.2 Estrutura da Gestão

O plano diretor de drenagem urbana contém medidas institucionais, tendo como finalidade monitorar os futuros impactos na drenagem urbana e gerenciar a realização do plano diretor de drenagem urbana (TUCCI, 2012).

Segundo Tucci (2012), são medidas designadas não estruturais, principalmente:

- a) Legislação para controle dos impactos devido ao desenvolvimento sobre o sistema de rios urbanos.
 - A legislação introduz o sistema legal de controle e incentivos para a sustentabilidade da drenagem urbana da cidade existente e elaborada para o futuro.
- b) Gerenciamento municipal para drenagem urbana e controle dos impactos.
 - A gestão introduz estratégias a serem adotados para viabilizar a implementação da legislação preventiva de inspecionar as águas pluviais na cidade.

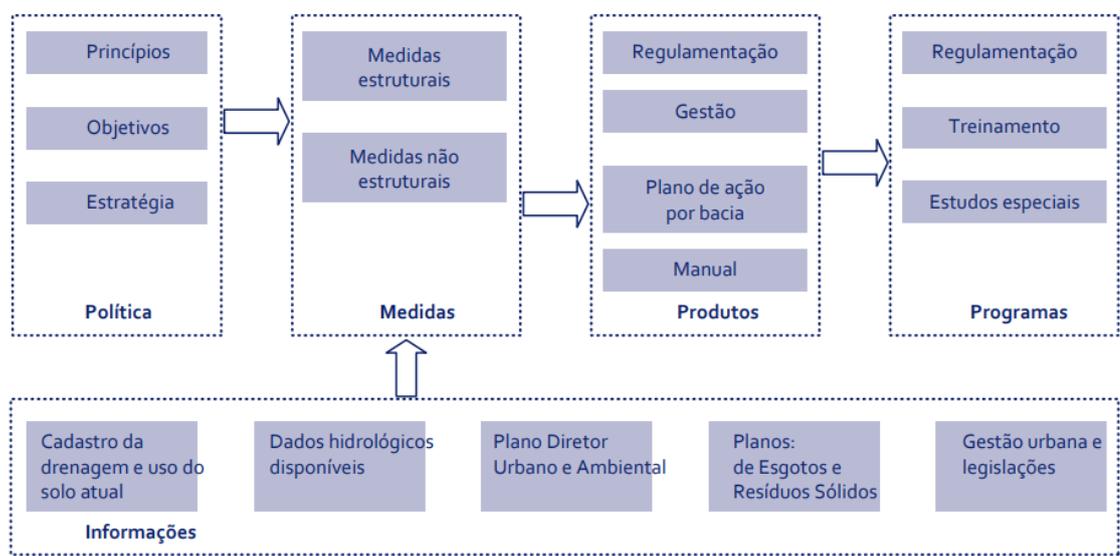
2.3.2.1 Plano Diretor de Drenagem Urbana

É o instrumento de gestão das águas pluviais na cidade, este plano deve ser elaborado com interfaces com os outros planos da cidade tanto no saneamento quanto no plano diretor urbano. E está prevista a elaboração deste plano na lei de Saneamento - Lei Federal nº 445/2007 (TUCCI, 2012).

A estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana, esboçado na Figura 4, compreende:

- a) Política de águas pluviais - define o conjunto de objetivos, princípios, metas e estratégias que são estabelecidas para o plano da cidade.
- b) Medidas:
 - (1) As medidas não estruturais utilizam os mecanismos legais, a prevenção por meio de alerta, seguros e capacitação da população e profissionais. Estas medidas tratam de prevenir ou conviver com as inundações.

Figura 4 - Estrutura do plano de águas pluviais



Fonte: adaptado de TUCCI (2007).

- (2) As medidas estruturais utilizam-se de obras que permitam evitar que as inundações ocorram, como diques, barragens, canalizações, entre outras. Estas medidas exigem maior investimento e geralmente não são viáveis economicamente.
- c) **Produtos** - são os resultados obtidos das medidas citadas (não estruturais e estruturais) voltadas à sustentabilidade das águas pluviais na cidade. Estes produtos geralmente são:
- (1) a legislação;
 - (2) os planos de bacias;
 - (3) a definição dos programas; e
 - (4) o manual de drenagem urbana que orienta os planejadores e os projetistas na cidade.
- d) **Programas** - são ações de longo prazo associadas às águas pluviais que visam a dar permanências e complementar as medidas.
- e) **Informações** - É a base de conhecimento que permite o desenvolvimento das atividades anteriores. Esta base de informações se fundamenta principalmente no seguinte:
- (1) **Dados hidrológicos:** caracterizam o comportamento dos eventos chuvosos na cidade, erosão sedimentação e da qualidade da água.
 - (2) **Dados físicos:** caracterizam o sistema natural como relevo, geometria dos rios naturais, geologia, vegetação, capacidade de infiltração e tipo de solo; o sistema

urbano definido pela ocupação do espaço pela população, sua impermeabilização e os condutos pluviais. Este último aspecto é denominado aqui de cadastro da rede pluvial natural e construída.

- (3) Legislação relacionada com os sistemas de infraestrutura e seu gerenciamento, onde envolvem: sistema de abastecimento de água: coleta, tratamento e distribuição; sistema de esgoto sanitário: coleta, tratamento e disposição; sistema de coleta e limpeza de resíduos; controle de saúde e vetores; uso do solo urbano; sistema de transporte urbano.

3 SISTEMA PLUVIAL URBANO

Dentro de um projeto de drenagem, as galerias de águas pluviais são partes essenciais do sistema de microdrenagem. Elas são as artérias subterrâneas encarregadas de transportar a água coletada na superfície do terreno até o local de lançamento, geralmente cursos d'água, lagos, rios e oceano (WURBS; JAMES, 2002, *apud* ALMEIDA *et al.*, 2017).

Segundo Botelho (2017), a experiência mostra que é difícil manter adequadamente um sistema pluvial. No entanto, adotando medidas preventivas, a saber, bons projetos e boas construções e medidas corretivas, como boa operação e boa manutenção, é possível mitigar o problema. Assim, o correto dimensionamento e a manutenção constante é o que garantirá que o sistema não entre em colapso a cada chuva, provocando empoçamentos duradouros e recorrentes.

O sistema de drenagem compõe-se de dispositivos hidráulicos com uma terminologia própria. Tucci (2001) elenca os principais termos utilizados no dimensionamento de um sistema pluvial:

- a) Galeria;
- b) Poço de visita;
- c) Trecho;
- d) Bocas de lobo;
- e) Tubos de ligação;
- f) Meio-fio;
- g) Sarjetas;
- h) Sarjetões;
- i) Conduitos forçados; e
- j) Estações de bombeamento.

No entanto, para se compreender perfeitamente o funcionamento das galerias pluviais, faz-se necessário passar por todos os elementos que interferem na drenagem urbana, a começar pela bacia hidrográfica.

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

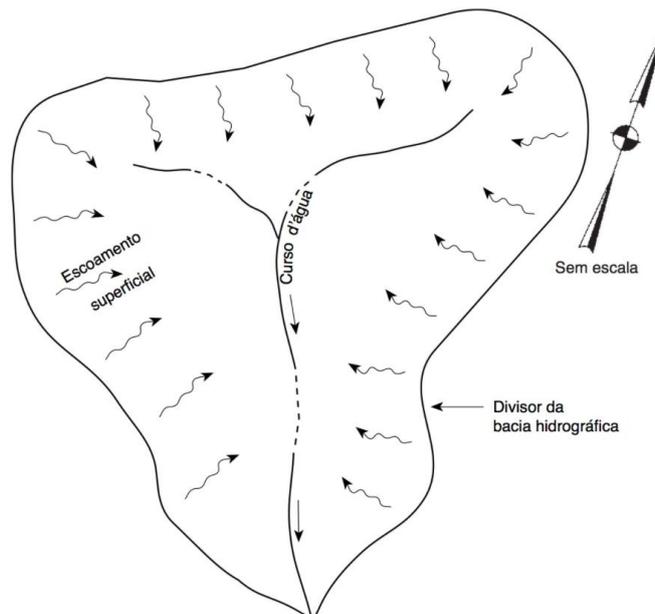
Netto e Fernández (2015) define bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de drenagem como sendo uma área geográfica constituída pelas vertentes que coletam a

água precipitada que, escoando superficialmente, atingirá a seção de drenagem. Gribbin (2014) destaca que, para todos os cursos d'água, existe uma área bem definida que intercepta a chuva e a transporta até o curso d'água. Nessa área ocorrem o *escoamento de base*, que decorre do fornecimento de água do subsolo e o *escoamento superficial* decorrente do escoamento sobre o solo. É justamente o escoamento superficial a fonte das maiores preocupações quando se projeta estruturas hidráulicas, uma vez que representa o maior volume de água que a estrutura deve conduzir.

A Figura 5 traz a vista em planta de uma bacia hidrográfica que, segundo Tucci *et al*, (2001, p. 40) é definida como:

“... uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se de basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar um leito único no exutório.”

Figura 5 - Vista plana de uma típica bacia de drenagem.



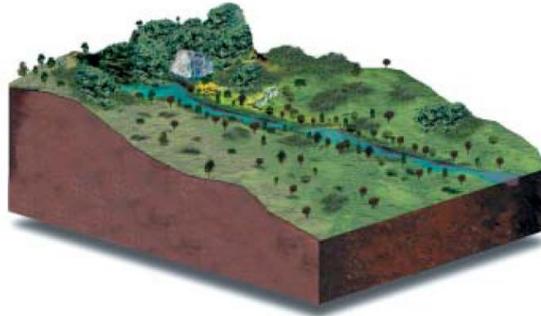
Fonte: GRIBBIN, 2014, p. 161.

Dessa forma, em áreas urbanas, conforme Botelho (2017), podemos ter a macrodrenagem, a microdrenagem e a drenagem subsuperficial.

A urbanização e o loteamento de uma área, de acordo com Botelho (2017) significam, na prática, retirar parte considerável de sua vegetação que a protegia da ação erosiva das águas pluviais, como demonstrado na Figura 6. Essas intervenções interferem no equilíbrio natural que havia entre a precipitação e o solo, criando uma nova condição de escoamento que precisará ser controlado como ilustrado na Figura 7. Ainda, segundo o mesmo autor, fenômenos como

erosões, desbarrancamentos e altas velocidades das águas nas ruas, só para citar alguns, são agravados pela impermeabilização, uma vez que as vazões superficiais passam a ser maiores, pois, antes, parte significativa das águas, ao cair, infiltrava-se no terreno que agora impermeabilizado faz com que a maior parte das águas corra pela superfície.

Figura 6 - Bacia não urbanizada.



Fonte: FEAM (2006)

Figura 7 - Bacia urbanizada.



Fonte: FEAM (2006)

Em nosso foco de estudo, a microdrenagem aplica-se à drenagem de um bairro, de uma rua, de um trecho, e aí existe a drenagem superficial (escoamento pelas sarjetas das ruas) e a drenagem profunda da água superficial captada por bueiros e bocas de lobo, usando tubos enterrados (BOTELHO, 2017).

3.2 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico, exemplificado na Figura 8, como um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera (TUCCI, *et all*, 2001),

possui um funcionamento complexo. Esse ciclo é, na verdade, um sistema reciclador de águas que, conforme Gribbin (2014), pode ser explicado resumidamente nas seguintes etapas:

- a) A água evapora dos oceanos e lagos da terra;
- b) A água evaporada forma nuvens;
- c) As nuvens deslocam-se pela atmosfera em padrões climáticos globais;
- d) O vapor da água se condensa e se precipita na forma de chuva, neve ou granizo;
- e) A chuva chega ao solo e escoam por terra até os pequenos córregos; e
- f) Os córregos escoam para os rios e, finalmente, para os oceanos e os lagos.

A figura seguinte é um esquema representativo do ciclo da água.

Figura 8 - O ciclo da água.



Fonte: ALMEIDA, 2017, p. 24.

Tendo em mente o ciclo natural da água, faz-se necessário o levantamento de dados da ocorrência das precipitações na região onde pretende-se construir redes de captação de águas pluviais. Essas informações são essenciais para o correto dimensionamento de todo o sistema pluvial urbano do local.

3.2.1 Equações de chuva

As grandezas que caracterizam uma chuva são a altura pluviométrica, a duração, a intensidade e a frequência (TUCCI *et al*, 2001) e, conforme sejam as necessidades, serão medidas por minutos, horas, dias ou anos de ocorrência (BOTELHO, 2017). Para o caso da drenagem urbana, conhecer o comportamento dos picos das precipitações é de fundamental importância. Por meio da coleta de dados sobre a intensidade, duração e frequência das chuvas,

é possível obter equações de chuvas, denominadas de equações IDF, de cada região. Essa informação fornecerá os subsídios necessários para dimensionar adequadamente um sistema de drenagem pluvial suficiente para escoar os volumes estimados. A intensidade pluviométrica pode ser estimada pela equação (TUCCI *et al*, 2001):

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{a \times T_r^b}{(t + c)^d} \quad (1)$$

Onde:

$I_{m\acute{a}x}$ – intensidade pluviométrica em mm/h

T_r – período de retorno (anos)

t – tempo de duração da precipitação em minutos

a, b, c, d – parâmetros determinados para cada local

Uma equipe de pesquisadores do Núcleo Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – NuReCO, citado por Costa *et al* (2007), elaborou uma tabela na qual consta 126 pontos de Goiás, sul do Tocantins e Alto Garças, no Mato Grosso, cujas equações foram especializadas com base nas interpretações de pluviogramas.

Costa *et al.* (2007) reforça que essas equações de chuva representam um recurso apoiado em registros pluviográficos para estimar intensidades e alturas de chuva numa faixa de 5min a 1.440min (duração) e na faixa de 1 ano a 100 anos (período de retorno). A equação de chuva para essas localidades foi composta com os seguintes parâmetros:

$$i = \frac{B1 \times (T^{\alpha + \frac{\beta}{T^\gamma}})^\delta}{(t + c)^b} \quad \rightarrow \quad \text{válida para } 1 \text{ ano} \leq T \leq 8 \text{ anos} \quad (2)$$

$$i = \frac{B2 \times T^\alpha}{(t + c)^b} \quad \rightarrow \quad \text{válida para } 8 \text{ anos} < T \leq 100 \text{ anos} \quad (3)$$

Onde:

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – parâmetros regionais constantes (dependem apenas do período de retorno)

B, b, c – parâmetros que descrevem características locais

i – intensidade máxima de chuva (mm/min)

t – a duração (min)

T – o período de retorno (ano)

$\alpha = 0,14710$

$\beta = 0,22$

$$\gamma = 0,09$$

$$\delta = 0,62740$$

A Tabela 1 apresenta os parâmetros levantados para a cidade de Anápolis:

Tabela 1 - Parâmetros locais das Equações de Chuva.

Estação	UF	Coordenadas		Parâmetros locais			
		Latitude	Longitude	B	C	B1	B2
Anápolis	GO	16° 19'	48° 57'	0,92278	20,91	42,4964	48,1167

Fonte: Núcleo Regional Centro-Oeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (2007)

Assim, a equação de chuva para a cidade de Anápolis pode ser definida como descrita abaixo. A duração (t) e o período de retorno (T) devem ser definidos ou escolhidos de acordo com o projeto de modo a evitar o subdimensionamento ou o superdimensionamento do sistema (COSTA *et al.*, 2007).

$$i = \frac{42,4964 \times (T^{0,14710 + \frac{0,22}{T^{0,09}}})^{0,62740}}{(t + 20,91)^{0,92278}} \rightarrow \text{válida para } 1 \text{ ano} \leq T \leq 8 \text{ anos} \quad (4)$$

$$i = \frac{48,1167 \times T^{0,14710}}{(t + 20,91)^{0,92278}} \rightarrow \text{válida para } 8 \text{ anos} < T \leq 100 \text{ anos} \quad (5)$$

3.3 CRITÉRIOS PARA PROJETOS DE DRENAGEM

3.3.1 Período de Retorno (T)

O período de retorno, segundo TUCCI (2003), refere-se ao tempo para que um evento de chuva se repita e é definido pela fórmula:

$$T = \frac{1}{p} \quad (6)$$

De modo que, se a probabilidade de ocorrência de determinada precipitação é “p”, o tempo de retorno “T” dessa precipitação será definido como o inverso de “p”, conforme a equação acima. A Tabela 2 apresenta a estimativa do tempo de retorno utilizadas em projetos

de drenagem. A título de exemplo, uma chuva que é igualada ou excedida, em média, a cada 25 anos, terá um período de retorno igual a 25 anos, ou 4% de probabilidade de ser igualada ou excedida em um ano qualquer (MIGUEZ *et al*, 2015).

Tabela 2 - Tempo de recorrência para as chuvas de projeto em sistemas de drenagem

Características do Sistema	T (anos)
Microdrenagem	2 a 10
Macro drenagem	25 a 50
Grandes corredores de tráfego e áreas vitais para as cidades	100
Áreas onde se localizam instalações e edificações de uso estratégico	500
Risco de perdas de vidas humanas	100 (mínimo)

Fonte: MIGUEZ *et al*, 2015, p. 186

3.3.2 Tempo de concentração (t_c)

Refere-se ao tempo de percurso da água desde o ponto mais afastado da bacia até à área de interesse, contado a partir do início da precipitação. Esse tempo é a soma dos tempos de entrada (t_e) – tempo do percurso gasto pela água da chuva ao atingir o terreno nos pontos mais distantes até chegar à primeira boca de lobo, e o tempo de percurso (t_p) – definido como o tempo de escoamento no interior das galerias (CANHOLI, 2014).

$$t_c = t_e + t_p \quad (7)$$

3.3.3 Coeficiente de deflúvio (C)

Segundo Almeida *et al* (2017) o coeficiente de deflúvio é a parcela da precipitação que efetivamente chega ao sistema de drenagem, dependendo da permeabilidade do solo, da cobertura vegetal, da umidade antecedente do solo, da textura superficial do solo e da dimensão da bacia.

Ainda, segundo o mesmo autor, geralmente os valores adotados são tabelados conforme o tipo de terreno, especialmente seu revestimento. Utiliza-se médias ponderadas para terrenos mistos. Em áreas cobertas, os valores variam de 0,8 a 0,95; já em áreas descobertas, os valores são da ordem de 0,3.

3.3.4 Vazão de projeto (Q)

Para pequenas bacias, com áreas inferiores a 50 ha, tamanho normalmente utilizado em estudos de microdrenagem, é utilizado o método racional de cálculo de vazões (ALMEIDA *et al*, 2017).

$$Q = \frac{C \times i \times A}{3,6} \quad (8)$$

Onde:

Q = vazão de projeto (m³/s).

A = área drenada (km²).

i = intensidade de chuva (mm/h).

C = coeficiente de deflúvio.

3.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Definindo os tipos de escoamento pluvial, Tucci (2005) observa que o escoamento pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados, quais sejam:

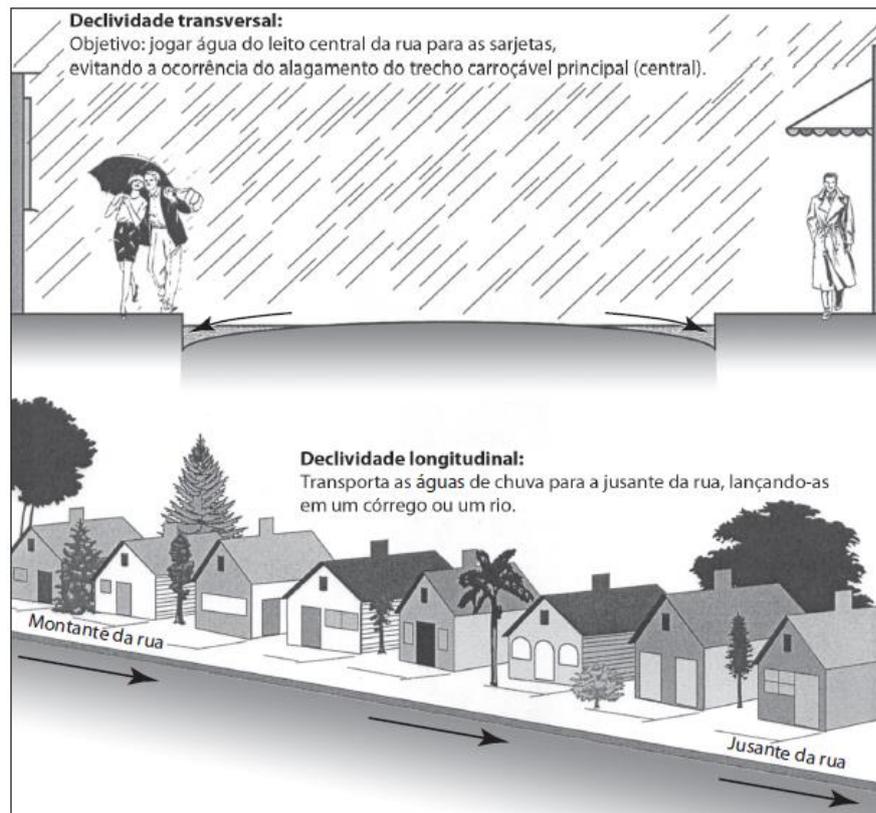
- a) *Inundações de áreas ribeirinhas*, que são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios devido a variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica; e
- b) *Inundações devido à urbanização*, que são as inundações que ocorrem na drenagem urbana devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento. “[...] as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido a impermeabilização do solo e a construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento” (TUCCI, 2005).

Tucci (2005) acrescenta que, à medida que a cidade se urbaniza, as vazões máximas aumentam em até sete vezes bem como sua frequência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e à impermeabilização das superfícies. Obviamente, esse fator, entre outros, demandará maior cuidado no planejamento, execução e na manutenção do sistema de drenagem de maneira que ele seja suficiente para captar todo o escoamento superficial produzido durante as chuvas e destiná-lo aos pontos de descarga. Tucci (2001) reforça que o impacto da urbanização tem como resultado a necessidade de ampliar a

capacidade dos condutos e que, uma vez que a ocupação da bacia hidrográfica, normalmente, ocorre de jusante a montante, a consequência natural é o aumento de inundações a jusante.

Na Figura 9, pode ser observado como deve funcionar o sistema de escoamento superficial nas ruas para a parcela de águas pluviais que efetivamente escoam pelo terreno.

Figura 9 - Funcionamento do sistema de escoamento superficial



Fonte: BOTELHO, 2017 – p. 26

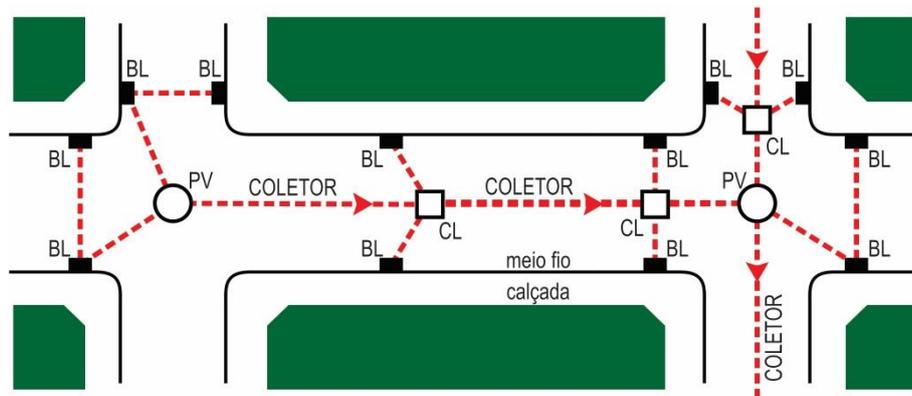
Conforme Netto e Fernández (2015), a proporção entre a parcela que escoam superficialmente e a que fica retida no solo ou evapora depende das condições físicas do solo. Para o cálculo do escoamento superficial, deve-se levar em conta o *coeficiente de deflúvio* (C), a composição da *bacia hidrográfica* e o *tempo de concentração* (t_c) da chuva na bacia hidrográfica considerada.

3.5 ELEMENTOS DA MICRODRENAGEM

Como já definido, a microdrenagem é composta por uma série de elementos estruturais estrategicamente posicionados ao longo das vias, representados na Figura 10, com a finalidade de captar o escoamento superficial produzido pelas precipitações e conduzi-lo ao seu destino

final com vistas à proteção de vias e edificações. Netto e Fernández (2015), define esses elementos como resumido a seguir.

Figura 10 - Representação de um sistema de drenagem pluvial urbano



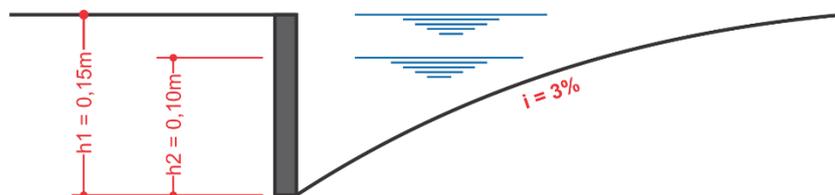
Fonte: Adaptado de TUCCI (2005)

3.5.1 Sarjetas

Trata-se de um canal, geralmente de seção triangular, posicionado entre o leito da rua e o passeio para pedestres com a finalidade de coletar as águas do escoamento superficial e transportá-las até as bocas coletoras.

Segundo Tucci (2001), o cálculo da capacidade de condução da rua ou da sarjeta é considerado levando-se em conta duas situações, primeira se a água escoar por toda a calha da rua e, segunda, se a água escoar só pela sarjeta. Para essas hipóteses, conforme ilustrado na Figura 11, admite-se a declividade igual a 3%, sendo que, no primeiro caso, a altura da água na rua seria $h_1 = 0,15\text{m}$ e no segundo, $h_2 = 0,10\text{m}$.

Figura 11 - Sarjeta.



Fonte: Adaptado de TUCCI, 2001.

O dimensionamento hidráulico pode ser feito por meio da expressão de Strickler-Manning (TUCCI, 2001):

$$V = K \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (9)$$

Onde:

V = velocidade na sarjeta (m/s)

K = coeficiente de rugosidade (60 – para pavimento comum)

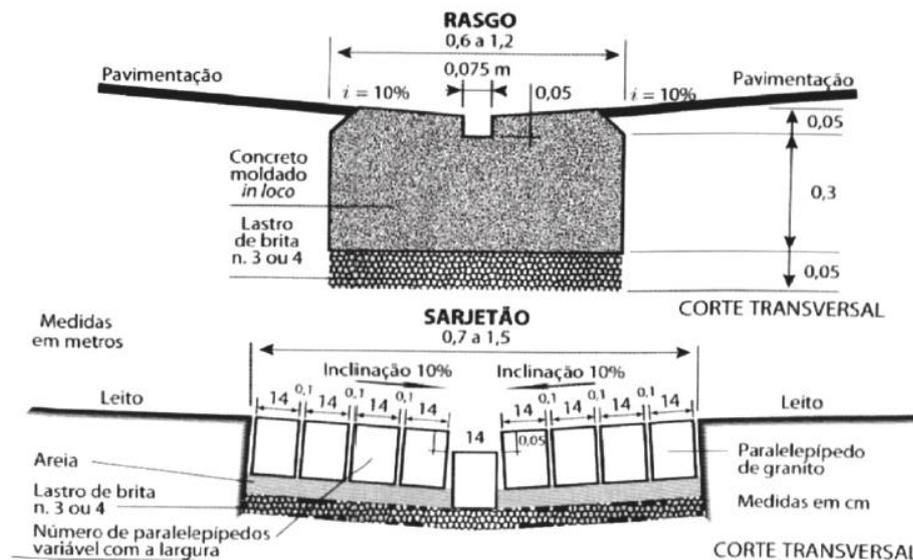
R = raio hidráulico: área dividida pelo perímetro molhado (m)

S = declividade da rua (m/m)

3.5.2 Sarjetões

Estruturas utilizadas nos cruzamentos das vias formadas pela própria pavimentação para transportar o escoamento superficial no momento em que atravessa uma via, possuindo o formato de um canal, interligando pontos baixos próximos e contínuos. (NETTO & FERNÁNDEZ, 2015). Conforme a Figura 12, Almeida (2017), propõe duas possibilidades para a execução do sarjetão.

Figura 12 - Rasgo e Sarjetão.



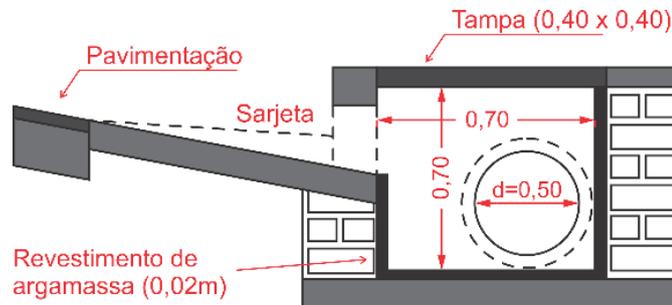
Fonte: ALMEIDA, 2017.

3.5.3 Bocas coletoras (Boca de lobo)

São dispositivos localizados em pontos estratégicos para captação das águas que escoam pelas sarjetas quando se esgotam sua capacidade hidráulica. Geralmente são

posicionadas em ambos os lados da rua e também nos pontos baixos das quadras. Em geral, sua construção obedece ao modelo proposto na Figura 13 (NETTO & FERNÁNDEZ, 2015).

Figura 13 - Boca coletora.



Fonte: Adaptado de NETTO & FERNÁNDEZ (2015)

A capacidade de engolimento de projeto de uma boca de lobo, segundo Botelho (2017) é, normalmente, fixada em 40 a 60 L/s por unidade. Netto e Fernández (2015) define que a capacidade hidráulica das bocas de lobo pode ser considerada como um vertedor de parede espessa, cuja expressão é dada por:

$$Q = 1,71 \times L \times H^{3/2} \quad (10)$$

Onde:

Q = Vazão

L = comprimento da abertura (m)

H = altura da água nas proximidades (m)

3.5.4 Tubos de ligação

Tubos subterrâneos responsáveis por interligar as bocas de lobo e os poços de visitas.

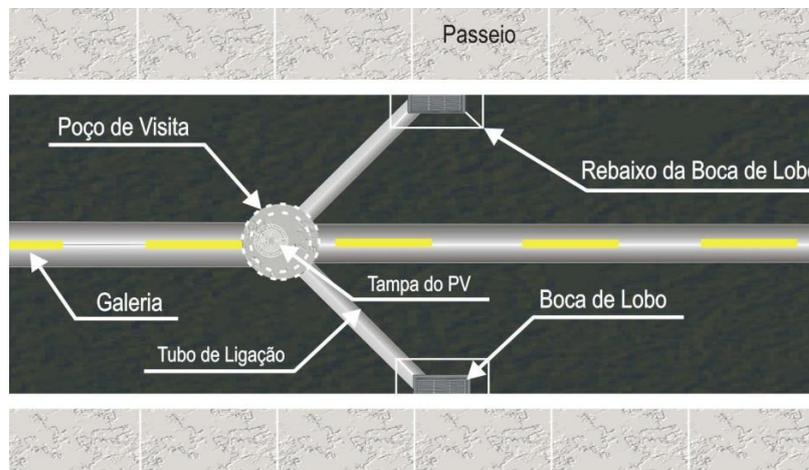
3.5.5 Poços de visita

Estruturas no formato de câmeras visitáveis com a finalidade principal de permitir o acesso às galerias para inspeção e desobstrução. Geralmente localizados nos cruzamentos de ruas, onde encontram-se os pontos de reunião dos condutos, mudanças de seção, de declividade ou de direção.

3.5.6 Galerias

Os condutos destinados a captar as águas pluviais por meio das bocas de lobo e ligações privadas são chamados de galerias de águas pluviais. As galerias têm como propósito conduzir as águas pluviais a um desaguadouro natural que pode ser um córrego, um rio ou um sistema de disposição provisória ou permanente e são compostas de tubos de ligação e poços de visita. A tubulação entre dois poços de visita é denominada trecho (FILHO & COSTA, 2012). A Figura 14 apresenta um esquema geral desses elementos.

Figura 14 – Elementos de uma galeria pluvial



Fonte: wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=drenagem-urbana-microdrenagem

As galerias têm como função o transporte das águas de escoamento superficial coletadas pelas sarjetas, sarjetões e bocas de coletoras. Seu dimensionamento é calculado com base na equação de Manning, utilizada para qualquer seção de canal ou tubulação (TOMAZ, 2002):

$$V = Ku \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (11)$$

Onde:

V = velocidade média na seção (m/s);

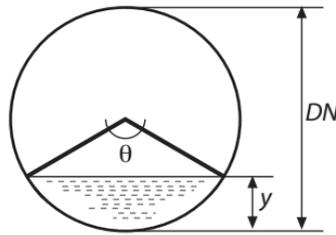
n = coeficiente de Manning tem as dimensões [tL^{-1/3}];

R = raio hidráulico - quociente entre a área molhada e o perímetro molhado (m);

S = declividade (m/m);

Ku = coeficiente das unidades: Ku=1,00 para unidades do Sistema Internacional (SI) e Ku=1,40 para unidades inglesas, sendo velocidade em ft/s, raio hidráulico em ft (pés) e S em ft/ft.

Figura 15 - Representação de galeria circular



Fonte: NETTO & FERNÁNDEZ (2015)

As relações trigonométricas e geométricas de uma seção de um canal fechado (Figura 15) associadas à equação de Manning, de acordo com Netto e Fernández (2015), auxilia no dimensionamento de galerias:

$$\frac{y}{d} = \frac{1}{2} \times \left(1 - \frac{\cos\theta}{2} \right) \quad (12)$$

$$\frac{R}{d} = \frac{(\theta - \text{sen}\theta)}{4\theta} \quad (13)$$

$$\theta = 2 \times \text{arc cos} \left(1 - \frac{2y}{d} \right) \text{ (em radianos)} \quad (14)$$

$$\frac{A}{d^2} = \frac{(\theta - \text{sen}\theta)}{8} \quad (15)$$

Onde:

R = Raio hidráulico

A = Área molhada

No entanto, Tomaz (2002) relembra alerta feito por David Chin a respeito do cuidado necessário ao utilizar a equação de Manning, uma vez que só deverá ser aplicada para regime turbulento, respeitando o seguinte limite:

$$n^6 \times (R \times S)^{0,5} \geq 1,9 \times 10^{-13} \quad (16)$$

Onde:

n = coeficiente de Manning;

R = raio hidráulico;

S = declividade (m/m).

4 PATOLOGIAS COMUNS EM GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS

No intuito de melhor compreender as patologias encontradas na galeria inspecionada, faz-se necessário antes apresentar, ainda que resumidamente, os tipos de patologias normalmente encontradas nas galerias de águas pluviais.

Em geral, as redes de águas pluviais estão expostas a agentes que, se não forem controlados, são capazes de causar danos consideráveis à estrutura do sistema. Esses danos podem ser por desgastes biológicos, químicos ou físicos, podendo, inclusive ocorrerem concomitantemente.

4.1 DESGASTE BIOLÓGICO

O desgaste biológico ocorre quando há presença de esgoto na rede de água pluvial. Essa é uma condição indesejada e quando ocorre é fruto do lançamento clandestino de esgoto residencial ou industrial na rede.

O esgoto, seja da indústria ou residencial, por conta das bactérias presentes, produz ácido sulfídrico em condições anaeróbicas, que em contato com o ar fica ao alcance de bactérias aeróbicas transformando-se em ácido sulfúrico biogênico, que é altamente agressivo em contato com o concreto. A formação do gás sulfídrico é causada pela ação redutora de bactérias anaeróbicas sobre compostos orgânicos ou inorgânicos de enxofre presente no esgoto, produzindo mau cheiro. O ácido sulfúrico biogênico ataca a matriz do concreto e sua presença é percebida por meio de uma massa branca e pastosa depositada acima da linha d'água (VAUGHN, 2007).

4.2 DESGASTE QUÍMICO

As galerias pluviais constituídas de tubulação de concreto estão suscetíveis a desgastes químicos, pois os produtos resultantes da hidratação do cimento são susceptíveis às reações que podem ser provocadas pela presença de água e por elementos nela contidos, resultando em alterações na composição de sua massa (NEVILLE, 1997).

Um tipo de ataque químico muito observado é o provocado pela corrosão biogênica, devido à presença de esgotos residenciais ou industriais lançados clandestinamente nas galerias, contribuindo para sua degradação. A presença desses detritos tem a propriedade de tornar o meio mais ácido e, uma vez que o pH da água também é responsável pela agressividade às

estruturas de concreto, um pH abaixo de 12,5 pode ser agressivo à pasta de cimento endurecida (MEHTA & MONTEIRO, 2008). Nessas condições, toda água seria nociva ao concreto dependendo de sua permeabilidade, pois a água age como solvente dos diversos compostos do cimento Portland endurecido e de agentes agressivos do meio. Dessa forma, se a água contiver ácidos e sais reagentes dissolvidos em seu meio, os efeitos erosivos podem ser ainda piores, sendo muito agressiva às superfícies do concreto (ANDRADE, 2005).

4.3 DESGASTE FÍSICO

O desgaste físico de uma galeria pluvial de concreto pode ser provocado por desgaste superficial, por fissuras ou por assoreamento.

4.3.1 Desgaste Superficial

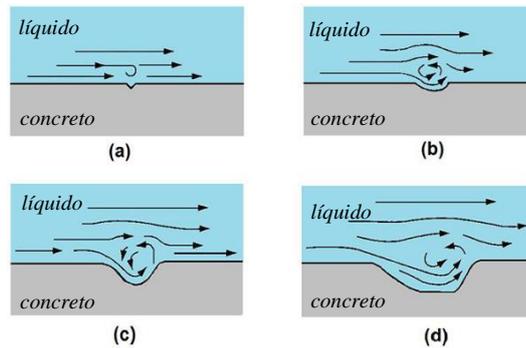
As principais causas do desgaste superficial estão relacionadas à abrasão e cavitação, que provocam a perda lenta de parte da superfície a elas expostas, podendo comprometer gradativamente toda a estrutura da galeria.

4.3.1.1 Abrasão

Segundo as Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana do município de São Paulo, mesmo que se tomem todos os cuidados na fase construtiva, no decorrer da vida útil da canalização de drenagem ocorrem naturalmente desgastes na superfície do concreto devido à abrasão natural, principalmente no período de cheias. Nestas ocasiões as solicitações hidrodinâmicas são mais intensas e as velocidades são mais elevadas com um conseqüente transporte de grande quantidade de material detrítico pesado, capaz de agredir a superfície de concreto.

Conforme ilustrado na Figura 16, a parte inferior das galerias são as partes estruturais mais afetadas pela erosão, por causa do constante carreamento de partículas sólidas em suspensão, degradando lenta e gradativamente a estrutura de concreto.

Figura 16 - Atrito de partículas sólidas em suspensão contra a superfície de concreto



Fonte: www.dcc.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2020/08/TC-031-Durabilidade-2020.pdf

Em geral, as águas que escoam pelas tubulações das galerias pluviais estão sujeitas ao regime turbulento de escoamento. E, quanto mais turbulentos forem os fluidos, associado à força de impacto dos detritos transportados pelo fluxo de água (areias, pedras, escombros, cascalhos, restos vegetais, etc.), mais intensa e abrangente será a abrasão. A proporção do desgaste dependerá do tamanho, forma, dureza e quantidade de partículas transportadas pelo fluxo e da velocidade da água, bem como da qualidade do concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

4.3.1.2 Cavitação

Comparada à abrasão, a cavitação causa danos mais severos às tubulações. Esse tipo de desgaste pode ocorrer na junta ponta e bolsa dos tubos se houver desalinhamentos nas junções, provocando o aparecimento de pequenos degraus ou depressões (Figura 17). Tão logo o processo de desgaste se inicie, ele torna-se progressivo.

Figura 17 – Erosão por cavitação em galeria pluvial em Belo Horizonte/MG



Fonte: IBRACON

A solução mais eficaz compreende a utilização de concreto mais resistente na fabricação dos tubos e tratamentos superficiais mais adequados. O problema também pode ser evitado com a ausência de curvas abruptas e rebaixos bruscos no projeto hidráulico e desde que o acabamento da superfície de concreto seja muito resistente, liso, alinhado, sem defeitos como saliências e depressões (NEVILLE, 1997).

4.3.2 Desgaste por Fissuras

Fissuras em galerias podem estar relacionadas a causas internas e externas. Internamente, o aparecimento de fissuras nas galerias de águas pluviais pode ser causado pelo aumento de temperatura e umidade, pois estes provocam tensões de tração superiores às tensões de tração admissíveis. A cristalização de sais nos poros também pode ser responsável por aparecimentos de fissuras devido a reações químicas do fluxo de água com o concreto.

Como causas externas, as fissuras podem ocorrer nos tubos de concreto devido a solicitações de carregamento acima das admissíveis. Geralmente, as galerias ocupam o subleito das vias públicas e quando ocorre o excesso do carregamento, que pode ser acidental ou permanente, as reações dessa carga serão absorvidas pelo solo e sentidas na estrutura das galerias. Se o dimensionamento do projeto ficou aquém das cargas permanentes e acidentais, a geratriz superior iniciará um processo de fissuração pelo excesso de carga até romper por completo.

4.3.3 Desgaste por Assoreamento

O assoreamento de uma galeria pluvial ocorre pela obstrução do duto por sedimentos, areia ou detritos, que pode ser causada por embalagens plásticas, metálicas ou de papel, produtos orgânicos e inorgânicos, etc (Figura 18). A consequência direta dessas obstruções são as inundações das vias públicas já que ocorre o retardamento ou total impedimento do escoamento das águas pluviais.

Figura 18 – Galeria pluvial assoreada.



Fonte: www.obemdito.com.br/noticias-umarama/prefeitura-desobstrui-galerias-pluviais-para-reduzir-alagamentos/12630/

É inevitável o carreamento de terra e areia para dentro das galerias o que demanda a manutenção constante do sistema por parte dos órgãos públicos. Por serem fechadas, as galerias sempre apresentam condições de manutenção mais difíceis que os canais abertos, sendo relativamente grande a probabilidade de ocorrência de problemas de assoreamento e deposição de detritos, que resultam sempre em perda de eficiência hidráulica.

5 TUBULAÇÃO DE CONCRETO X PEAD

A esta altura, é interessante fazer uma comparação entre os materiais mais utilizados na construção de galerias pluviais atualmente. Dois materiais se destacam: Tubos em concreto, que são os mais utilizados e Tubos em PEAD (Polietileno de Alta Densidade).

5.1 TUBULAÇÃO EM CONCRETO

As galerias pluviais nas áreas urbanas, normalmente ficam localizadas no eixo das vias públicas, sujeitas a cargas permanentes e a altas cargas acidentais ao longo do tempo. Para garantir maior resistência aos esforços aplicados, comumente utiliza-se o concreto armado na construção das galerias, que podem ser com tubos circulares (Figura 19) ou aduelas retangulares (Figura 20).

Figura 19 – Galeria de águas pluviais - circular.



Fonte: www.aecweb.com.br/revista/materias/rede-de-drenagem-pluvial-eficiente-pode-evitar-enchentes/10832

Figura 20 – Galeria de águas pluviais - retangular.



Fonte: www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/noticias/?p=38295

Conforme Botelho (2017), para a construção de galerias pluviais podem ser utilizados tubos de concreto simples ou de concreto armado. O critério básico para a escolha é a

capacidade de os tubos resistirem aos esforços causados pelo peso do terreno e pelas cargas móveis.

Ainda, segundo o mesmo autor, atendendo às prescrições da NBR 8890/2008, os tubos de concreto simples ou de concreto armado podem ser de junta elástica (anel de borracha) ou de junta rígida (argamassa de cimento e areia), sendo que a tendência futura é de se concentrar o uso de tubos de concreto armado com ponta e bolsa e junta flexível. A ABTC frisa que o tipo de encaixe influencia na estanqueidade do sistema e também define a junta que será empregada nas peças. As juntas rígidas são executadas com argamassa estrutural e as elásticas se referem à colocação de anéis ou fitas elastoméricas no encaixe dos tubos, sendo que essas últimas são empregadas apenas nos tubos com encaixe ponta e bolsa.

A NBR 8890/2008 define dois parâmetros importantes para tubos de concreto: *os diâmetros mais comercializados* e as *classes de resistência*. A classe de resistência indica a quantidade de carga suportada pela peça, ou seja, sua resistência estrutural. Quanto maior for a resistência, maior será o número de sua classificação, que se refere à quantidade de carga suportada e não à quantidade ou tipo de armadura de aço contida no interior do tubo.

As nomenclaturas usadas para tubos de concreto são definidas de acordo com sua finalidade, classe de resistência e a presença de reforço estrutural, que indica se o tubo de concreto possui armadura de aço em seu interior. A NBR 8890 apresenta 3 possibilidades de reforços possíveis:

1. Tubo simples, sem reforço estrutural;
2. Tubo armado com barras, telas de aço soldadas ou fibras de aço;
3. Tubo armado com barras ou telas de aço soldadas e com reforço secundário de fibras de aço.

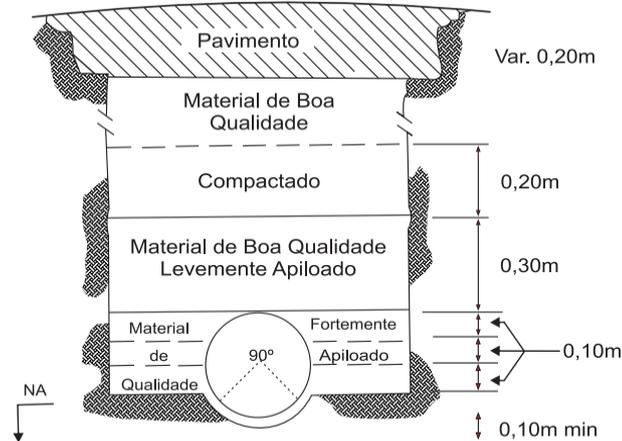
Além desses fatores, os tubos de concreto também são diferenciados pelo comprimento útil, pelo tipo de encaixe (ponta-bolsa ou macho-fêmea) e pelo tipo de junta (elástica ou rígida). A mesma norma ainda prescreve que nos tubos de concreto para condução de água pluvial o uso de juntas elásticas é facultativo, considerando que a sua utilização garante uma maior estanqueidade do fluido conduzido no seu interior.

Botelho (2017) aponta que o maior diâmetro de tubos para uso em galerias pluviais é normalmente limitado a 1,50m e que, havendo necessidade de se transportar vazões que ultrapassem esse diâmetro, a solução seria a construção de galerias de concreto armado moldadas *in loco*, com seções retangulares (aduelas).

Segundo a NBR 15645/2008, as tubulações destinadas a galerias pluviais, em concreto armado, devem ser assentadas de acordo com o esquema detalhado na Figura 21, depois de

inspecionadas visualmente e recebidos os laudos de inspeção dos lotes fornecidos, conforme a NBR 8890 e NBR 15396.

Figura 21 – Apoio direto - assentamento, apoio, envolvimento e reenchimento

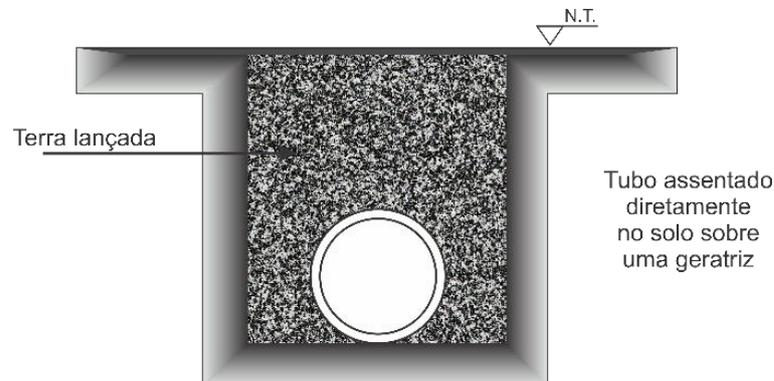


Fonte: NBR 15645/2008 - Anexo A

De acordo com a ABTC, em função das condições de assentamento é aplicado um Fator de equivalência (f_e) para tubos na condição de vala. Para a construção das galerias de tubos de concreto, Botelho (2017) define quatro tipos de assentamentos, dos quais um é definido como assentamento com base condenável, um segundo tipo com base aceitável, um terceiro com base de 1ª classe e um quarto com base de concreto.

O assentamento com bases condenáveis (Figura 22) possui um Fator de equivalência ($f_e = 1,1$), em que os tubos são assentados sem cuidados suficientes, não se tendo preparado o solo para que a geratriz inferior do tubo repouse convenientemente, e deixando de encher os vazios do seu redor, ao menos parcialmente, com material granular.

Figura 22 – Assentamento com base condenável

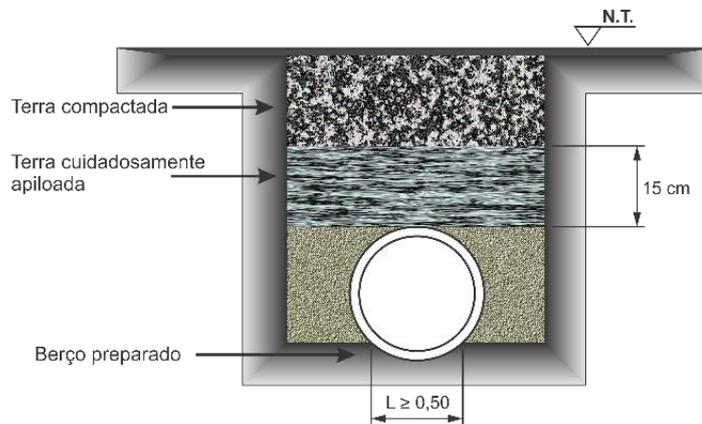


Fonte: Adaptado de Botelho, 2017 – pág 45

O assentamento com bases comuns (Figura 23) possui um Fator de equivalência ($f_e = 1,5$), em que os tubos são colocados no fundo das valas, sobre fundação de terra conformada

para adaptar-se, perfeitamente, à parte inferior dos tubos, numa largura no mínimo igual a $0,5D$; sendo a parte restante envolvida, até uma altura de, pelo menos, 15 cm acima da geratriz superior dos mesmos, por material granular, colocado e socado a pá, de modo a preencher os vazios.

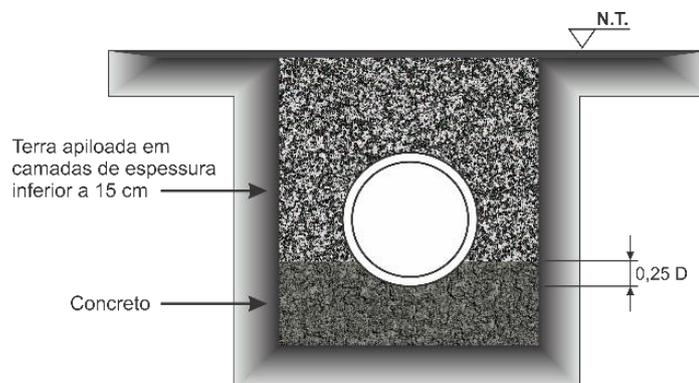
Figura 23 – Assentamento com base aceitável (comum)



Fonte: Adaptado de Botelho, 2017 – pág 46

O assentamento com bases de 1ª classe (Figura 24) possui um Fator de equivalência ($f_e = 1,9$), em que os tubos são completamente enterrados em vala e cuidadosamente assentes sobre materiais de granulação fina, propiciando uma fundação, convenientemente conformada à parte inferior do tubo, numa largura de, pelo menos, $0,6D$. A superfície restante dos tubos é envolvida, inteiramente, até a altura mínima de 30 cm acima da sua geratriz superior, com materiais granulares colocados a mão, de modo a preencher todo o espaço periférico. O material de enchimento é bem apiloado, em camadas de espessura não superior a 15 cm.

Figura 24 – Assentamento com base de 1ª classe - ideal

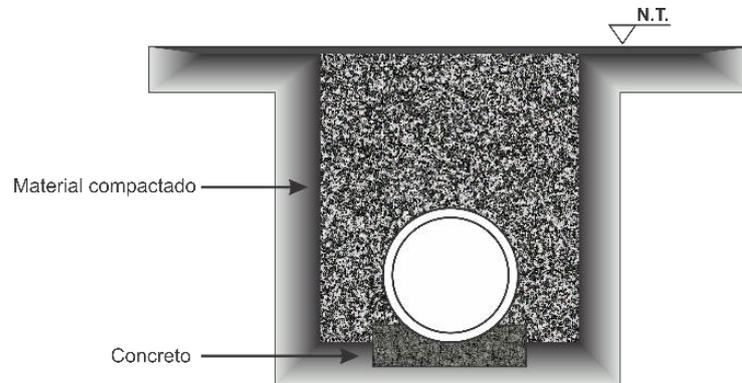


Fonte: Adaptado de Botelho, 2017 – pág 46

O assentamento com bases de concreto (Figura 25) possui um Fator de equivalência $f_e = 2,25$ para concreto simples e $f_e = 3,40$ para concreto armado – em que a face inferior dos

tubos é assente num berço de concreto, com $f_{ck} \geq 15$ MPa e cuja espessura, sob o tubo, deve ser no mínimo $0,25D_i$, e estendendo-se, verticalmente, até $0,25D$.

Figura 25 – Assentamento com base de concreto – ideal (mais caro)



Fonte: Adaptado de Botelho, 2017 – pág 46

5.2 TUBULAÇÃO EM PEAD

Embora o concreto armado seja amplamente utilizado, de acordo com o catálogo da Tigre-ADS® (Abril/2013), também têm sido utilizados tubos fabricados em PEAD (Polietileno de Alta Densidade), Figura 26, um material que, submetido a rigorosos testes de resistência, segurança, estanqueidade e qualidade, obteve recordes de rendimento e eficiência.

Figura 26 – Tubo corrugado em PEAD



Fonte: www.braskem.com.br/polietileno-garante-maior-durabilidade-e-resistencia-a-tubos-corrugados

Os tubos em PEAD utilizados para drenagem pluvial devem atender às recomendações da norma DNIT 094/2014 que estabelece os requisitos para os tubos de polietileno com

diâmetros nominais entre 300 e 3.600 mm e seus tipos de união para uso em redes enterradas de sistemas de drenagem de águas pluviais em rodovia.

Segundo Nunes e Santos (2015), na década de 1930, Carl Shipp Marvel, um químico norte-americano que trabalhava na DuPont, descobriu um polietileno de alta densidade (PEAD). No início dos anos 1950, porém, coube a Karl Ziegler, um químico alemão, o crédito pela invenção do PEAD utilizando baixas pressões na polimerização.

O Polietileno é um plástico obtido pela união de inúmeras moléculas de etileno (monômeros), através da reação de polimerização, gerando uma grande macromolécula, a qual, por sua vez, confere a este material as características próprias de um polímero. Polímeros que são constituídos unicamente de carbono e hidrogênio (hidrocarbonetos) são classificados como poliolefinas. O Polietileno é a poliolefina que possui a mais simples estrutura molecular e é o plástico mais utilizado atualmente no mundo (Manual Técnico KNTS-Super® - Junho/2020).

O uso de polietileno tem ganhado mercado na área de extrusão para a produção de tubos para redes de saneamento, entre outros usos, pois são aplicações que exigem durabilidade, facilidade de instalação, flexibilidade, elevada resistência ao crescimento lento da fissura, alta resistência à abrasão, inércia química, baixo coeficiente de rugosidade e estanqueidade (NUNES & SANTOS, 2015).

5.2.1 Vantagens da utilização de PEAD

No estudo comparativo entre a utilização de PEAD ou concreto em uma obra de drenagem, Zamith (2014) concluiu que, na utilização de tubos de até 1500mm, o PEAD mostrou-se economicamente mais vantajoso levando-se em conta os seguintes fatores:

- Devido à menor rugosidade para uma mesma vazão útil, o diâmetro equivalente em PEAD será menor;
- Redução média de 22% no custo do insumo quando considerada a rugosidade na conversão direta de diâmetros da tubulação em concreto para PEAD;
- O PEAD se mostrou mais competitivo para todos os diâmetros, variando de 11% a 54% de redução no custo do insumo, quando comparado ao concreto ambiental;
- O PEAD é mais competitivo devido à maior velocidade de execução em escavações de até 2,5 m; e
- No PEAD, a montagem é mais rápida por conta do maior comprimento das barras e do menor peso por metro, facilitando a movimentação.

Figura 27 – Instalação de tubo PEAD

Fonte: www.aecweb.com.br/emp/cont/m/tubos-pead-possuem-uniao-pontabolsa_20306_15221

Os tubos em PEAD têm sido empregados na construção de galerias pluviais haja vista uma série de vantagens que apresentam em relação à utilização de tubulações em concreto armado, como as que seguem na Tabela 3, conforme catálogo da Tigre-ADS® e da Kana-flex®.

Tabela 3 – Características do PEAD

VIDA ÚTIL:	75 anos (tubos de concreto estão limitados a 20 anos).
FAIXA DE pH:	Utilização segura em solos com pH, variando entre 1,5 a 14, possibilitando a instalação em solos com salinidade elevada; imunidade a passagem acidental de líquidos agressivos ou efluentes industriais (tubos de concreto estão na faixa de pH entre 5 a 12).
RESISTÊNCIA:	Perda de material por abrasão é de 15% a 25% menor que o concreto.
DESEMPENHO:	Rigidez nominal (ISO 9969): SN4/SN8 e *SN4 *SN - Rigidez Anelar dos tubos, também referida como Classe de Rigidez (CR).
LEVEZA:	Reduz significativamente os riscos de acidentes pessoais e a necessidade de maquinário pesado nas etapas de transporte, manuseio e assentamento em vala, pois são 50% a 75% mais leves em comparação aos tubos de aço e representa 1/10 de peso dos tubos de concreto.
RUGOSIDADE:	Coefficiente de Manning igual a 0,010 possibilita a redução da declividade de instalação.
JUNÇÃO:	Tubo de dupla parede com união ponta e bolsa (união mecânica que não necessita de luva, eletrofusão ou solda).

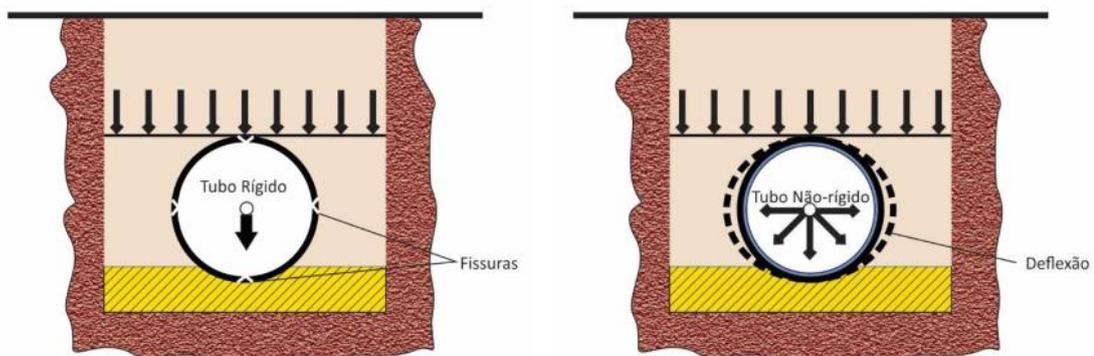
Fonte: Manuais técnicos da Tigre-ADS® e da Kana-flex®

Os tubos PEAD, conforme o Manual Técnico KNTS-Super®, são fabricados em barras de 6 metros com bolsa integrada e anel de vedação, sendo que a junção do tipo junta elástica apresenta facilidade de montagem face às simples operações requeridas, além de utilizar um único acessório, o anel de borracha. Permite ainda dilatações e deflexões angulares

que facilitam as adaptações da tubulação ao traçado do projeto, reduzindo o emprego de conexões.

O material se enquadra na categoria de tubo flexível (Figura 28), que diferentemente dos tubos rígidos que não aceitam qualquer desvio sem uma intervenção estrutural, o PEAD aceita no mínimo 2% (dois por cento) de desvio sem intervenção estrutural (Tigre-ADS®, Abril/2013). Devido à capacidade de se deformar ou modificar sob a ação de cargas, o tubo PEAD sofre deflexão sem apresentar danos estruturais, permitindo ao tubo se adaptar à forma do invólucro exterior, transferindo a maior parte da carga vertical recebida para a envoltória.

Figura 28 – Deformação do tubo PEAD sob carga vertical



Fonte: Manual Técnico KNTS-Super® - Junho/2020

No Manual Técnico KNTS-Super ainda é observado que tubos rígidos e flexíveis requerem um solo apropriado, embora a interação do tubo com o solo seja diferente em cada um dos casos. No caso de tubos rígidos a carga de topo é transferida para o fundo da vala (base de assentamento ou berço). Já nos tubos não-rígidos, a carga é distribuída pelo solo circundante, ocorrendo por assim dizer uma interação dinâmica com o solo, aumentando a resistência.

6 ESTUDO DE CASO

Com base no levantamento bibliográfico, procedeu-se a um estudo detalhado de um trecho da galeria pluvial localizada na Rua Quintino Bocaiúva, na região central de Anápolis, conforme dados catalogados na Tabela 4.

O trecho foi inspecionado por meio de um robô (Figura 29) com uma câmera de vídeo acoplada para inspeção de redes de galeria pluvial e de saneamento em geral.

As imagens gravadas forneceram informações precisas e detalhadas de cada problema encontrado pela máquina e, de posse desse relatório, foi possível identificar as patologias existentes no trecho analisado correlacionando-as com a pesquisa bibliográfica realizada.

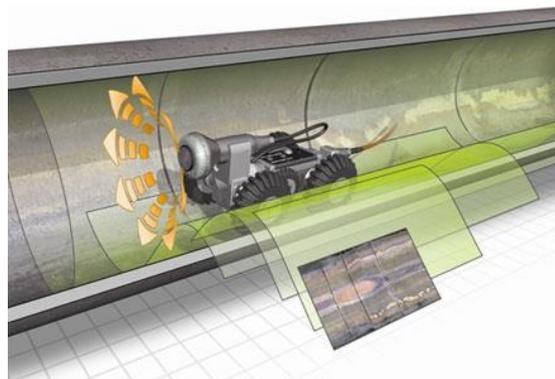
Figura 29 – Robô para inspeção de dutos



Fonte: goldmansaneamento.com.br/video-inspecao-robotizada/

Por meio dessa tecnologia (Figura 30) é possível realizar a manutenção em Estações de Tratamento de Esgotos – ETE, constatar a contaminação de efluentes em rede de drenagem, rastrear ligações irregulares, avaliar e certificar o pós-obra nas redes de infraestrutura, atualizar plantas e mapeamento das redes hidrossanitárias, bem como identificar os pontos de infiltração de água pluvial, efluente industrial ou rede coletora de esgoto.

Figura 30 – Vídeo-inspeção de tubulações



Fonte: desentop.com.br/2019/08/29/video-inspecao-de-tubulacoes-rj/

6.1 DADOS DA INSPEÇÃO

Tabela 4 – Dados catalogados da inspeção

LOCAL DE INSPEÇÃO			
Logradouro:	Rua Quintino Bocaiúva		
Setor:	Centro		
Cidade:	Anápolis	UF:	GO



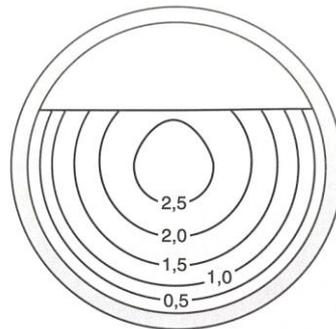
Fonte: <https://www.google.com/maps/@-16.3281307,-48.9596675,723a,35y,270h>

TRECHO INSPECIONADO		
Início:	Tipo:	Profundidade:
PV 0008	Poço de Visita	1,60 m
Final:	Tipo:	Profundidade:
PV 0007	Poço de Visita	1,75 m
Sentido das águas:	De PV 0007 para PV 0008	
CARACTERÍSTICAS		
Tubulação:	Diâmetro:	Águas:
Concreto	600 mm	Águas Pluviais
Extensão medida:	Extensão inspecionada:	Clima:
61,00 m	61,00 m	Bom

6.2 VAZÃO DA GALERIA

Para o cálculo da vazão da galeria em estudo, é importante ter em mente alguns conceitos. Essa galeria se enquadra nas definições de um canal uniforme e de escoamento livre. Conforme Gribbin (2014), um *canal uniforme*, ou *prismático*, mantém constantes a forma e a declividade e quando a água flui por gravidade em um tubo parcialmente cheio com a superfície exposta à atmosfera, ela está submetida a um *escoamento livre*. A velocidade do escoamento será influenciada pela forma da seção transversal. A Figura 31, mostra distribuição da velocidade em um tubo circular parcialmente cheio, cujos valores são múltiplos da velocidade média.

Figura 31 – Distribuição da velocidade em um tubo parcialmente cheio

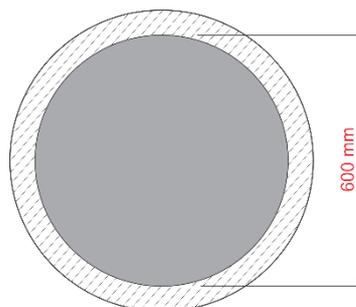


Fonte: Gribbin, 2014, pág. 113

6.2.1 Cálculo da vazão da galeria

O cálculo da Vazão da galeria foi realizado na hipótese de um escoamento a seção plena do tubo, considerando a declividade na ordem de 1,00%, conforme a Figura 32.

Figura 32 – Tubo com escoamento a seção plena



Fonte: Autores, 2021.

A vazão Q da galeria analisada foi calculada com base na Equação de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

Onde,

Q - Vazão (m³/s);

A - Área da seção (m²);

R - Raio hidráulico (m);

S - Declividade da galeria (m/m);

n - Coeficiente de Manning (utilizado: coeficiente 0,013 conforme a Tabela 5)

Tabela 5 – Valores de n de Manning para diversos tipos de canais

A	Condutos parcialmente cheios	“n” de Manning		
		Mínimo	Médio	Máximo
A1	Concreto			
	Galeria reta e livre de detritos	0,010	0,011	0,013
	Galeria com curvas, conexões e poucos detritos	0,011	0,013	0,014
	Tubos de concreto com poços de visita, juntas, etc.	0,013	0,015	0,017
	Sem acabamento, fôrma rugosa (madeira)	0,015	0,017	0,020
	Sem acabamento, fôrma lisa (aço)	0,012	0,013	0,014
A2	Metal corrugado	0,021	0,024	0,030
A3	Tubos cerâmicos	0,011	0,013	0,017

Fonte: Adaptado de Canholi, 2014, pág. 153

6.2.2 Velocidades Admissíveis

Conforme os estudos de Filho e Costa (2012), Tabela 6, os valores de velocidade para galerias fechadas deverão estar dentro do seguinte intervalo:

- Velocidade máxima = 5,0 m/s
- Velocidade mínima = 0,75 m/s

Segundo os autores, velocidades menores que 0,75 m/s dificultariam a autolimpeza das tubulações enquanto velocidades superiores a 5,0 m/s exporiam demais as tubulações ao processo de abrasão, acrescentando a necessidade de os sistemas de drenagem urbana serem projetados como condutos livres para minimizar os possíveis transtornos relacionados à sobrepressão nas tubulações.

Tabela 6 - Parâmetros utilizados em canais e/ou seção circular das galerias pluviais

Autor/Instituição	V _{mín} (m/s)	V _{máx} (m/s)	T _{ci} (min)	R _m (m)	Seção plena ou h/D	Tipo de escoamento
Tucci <i>et al.</i> (2004)	0,60	5,00	10 ^a	1,00	Plena	Unif.
Azevedo Netto e Araújo (1998)	0,75	5,00	5	1,00	Plena ou 0,90	Unif.
Wilken (1978)	0,75	3,50 ^e	5 a 15	-	Plena	Unif.
Alcântara apud Azevedo Netto (1969)	1,00	4,00	7 a 15	-	0,70	Grad. Variado
Porto (1999)	V _{méd} = 4 a 6 ^b		-	-	0,75	Unif.
Cirilo (2003)	0,60	4,50	-	-	h/D ^c	Unif.
Methods e Durrans ^d (2003)	0,60 a 0,90	4,50	-	0,90	0,85	Unif. e Grad. Variado
DAEE-CETESB (1980)	-	-	-	-	0,82	Unif.
Prefeitura Municipal de Goiânia	0,75	5,00	-	-	0,85 a 0,90	Unif.
Filho e Costa (2012)	0,75	5,00	5	1,00	0,85	Unif.

^a Valor citado, porém, segundo o autor pode estar superestimado, necessitando ser calculado em caso de dúvida

^b Fonte: Curso de Canais, EE-UFG, Dep. Engenharia Hidráulica, Edições Engenharia 58/72

^c valor não fixado

^d valores adotados pela ASCE (1992) – American Society of Civil Engineers

^e Pode-se adotar até 6m/s se for previsto revestimento adequado para o conduto

V_{mín} – velocidade mínima

V_{máx} – velocidade máxima

V_{méd} – velocidade média

t_{ci} – tempo de concentração inicial

r_m – recobrimento mínimo

h/D – relação altura-diâmetro

Fonte: Filho e Costa, 2012, p. 5 e 6 (Revista Eletrônica de Engenharia Civil, N° 4, Volume 1 – 2012)

Com base nesses parâmetros, foi calculado a área da seção transversal (A), considerando o escoamento à seção plena:

$$A = \pi r^2 \quad (18)$$

$$A = \pi \times 0,30^2$$

$$A = \mathbf{0,28\ m^2}$$

Em seguida, calculou-se o perímetro molhado (p), também considerando o escoamento à seção plena:

$$p = 2\pi r \quad (19)$$

$$p = 2\pi \times 0,30$$

$$p = \mathbf{1,88\ m}$$

O passo seguinte foi o cálculo do raio hidráulico (R) que é obtido entre a razão da área da seção transversal (A) pelo perímetro molhado (p):

$$R = \frac{a}{p} \quad (20)$$

$$R = \frac{0,28 \text{ m}^2}{1,88 \text{ m}}$$

$$\mathbf{R = 0,149 \text{ m}}$$

De posse desses dados, foi possível calcular a vazão da galeria (Q):

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

$$Q = \frac{1}{0,013} \times 0,28 \times (0,149)^{\frac{2}{3}} \times (0,01)^{\frac{1}{2}}$$

$$\mathbf{Q = 0,605 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Aplicando a fórmula de Chézy com coeficiente de Manning, obtém-se a velocidade (V) em m/s:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

$$V = \frac{1}{0,013} \times (0,149)^{\frac{2}{3}} \times (0,01)^{\frac{1}{2}}$$

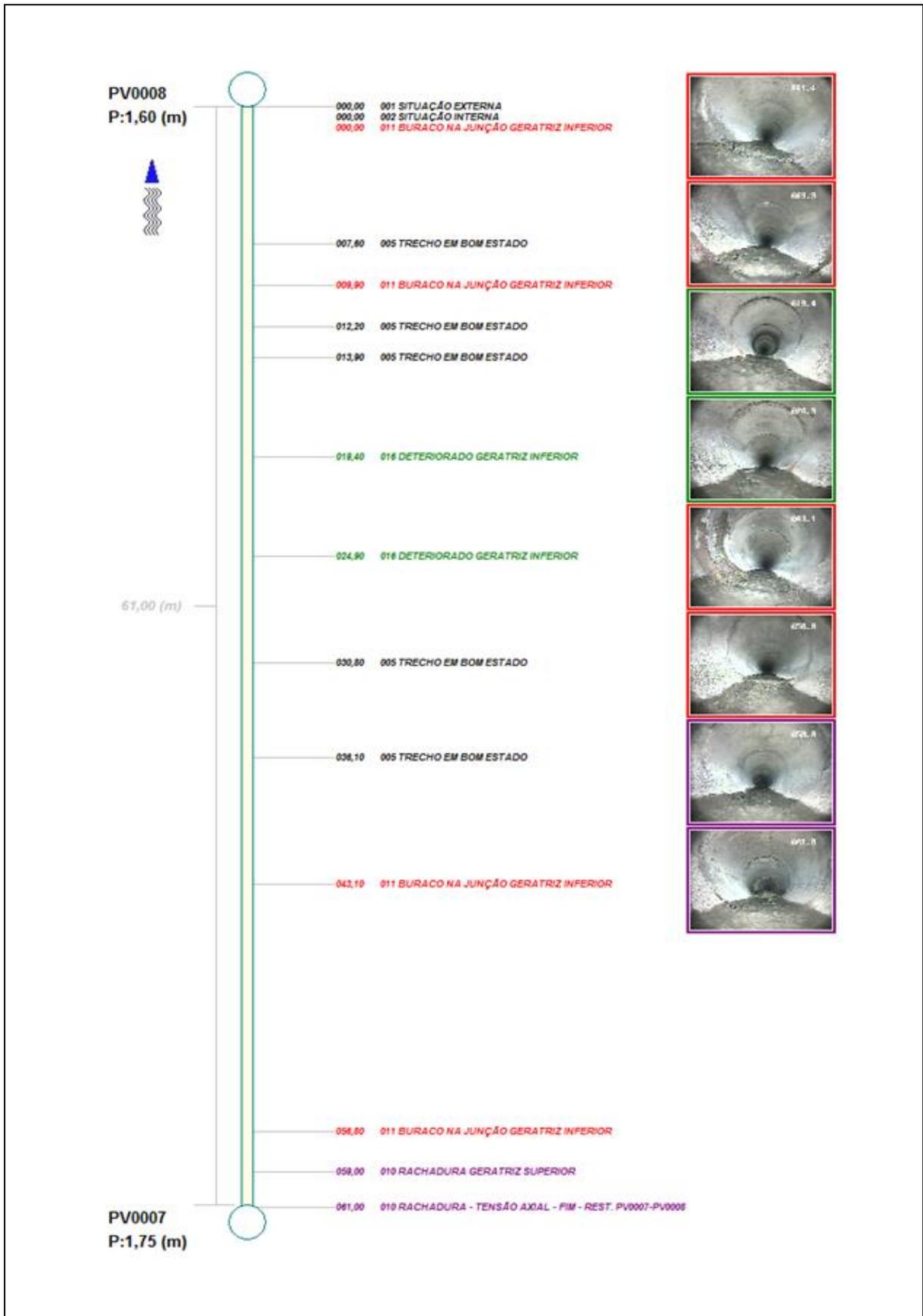
$$\mathbf{V = 2,16 \text{ m/s}}$$

A velocidade está dentro dos limites estabelecidos.

6.3 RESUMO FOTOGRÁFICO DA INSPEÇÃO

Na sequência, é apresentada um resumo do aspecto de conservação da galeria na Tabela 7, onde são apresentadas algumas imagens do interior da galeria associadas às patologias observadas, que serão detalhadas no tópico seguinte.

Tabela 7 – Resumo do aspecto de conservação da galeria



6.4 PATOLOGIAS OBSERVADAS NO TRECHO INSPECIONADO

A inspeção foi realizada entre o poço de visita nº 07 e 08, com desnível de 0,15m. No trecho foi observado que partes da tubulação se encontram comprometidas, sendo necessárias intervenções corretivas e preventivas em vários pontos, as imagens mostradas na Tabela 8, resumem o aspecto de conservação da galeria.

6.4.1 Relatório do Trecho Inspeccionado

Tabela 8 – Relatório da inspeção da galeria

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
0,00	01/07/2020 16:01:39	Imagem 1 SITUAÇÃO EXTERNA (INÍCIO)	

Obs: A Imagem 1 apresenta o PV 0008, considerado para efeito de medição como ponto “0,00”. O aspecto externo do PV 0008 encontra-se em bom estado de conservação sem a presença de trincas ou desmoronamentos.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
0,00	01/07/2020 16:01:48	Imagem 2 SITUAÇÃO INTERNA	

Obs: A Imagem 2 mostra o fundo do PV 0008, na qual é possível observar a presença de líquido escoando de forma constante, embora o clima estivesse bom e sem o registro recente de chuvas, o que levanta a suspeita de que esteja havendo o lançamento clandestino de algum tipo de esgoto no sistema.

1,40m	01/07/2020 16:03:24	Imagem 3 BURACO NA JUNÇÃO GERATRIZ INFERIOR	
-------	------------------------	--	--

Obs: A Imagem 3 apresenta a existência de um buraco na junção da geratriz inferior. O processo erosivo é característico de uma erosão por abrasão que, se não for sanado, poderá provocar também um processo erosivo por cavitação. Como visto no levantamento bibliográfico, esse tipo de desgaste ocorre devido à presença de detritos e sedimentos abrasivos no escoamento das águas pluviais. A presença da abrasão nesse ponto está ocorrendo na junção ponta e bolsa da tubulação e pode estar sendo acentuada pela baixa resistência do concreto, acabamento deficiente com muita rugosidade ou mesmo a utilização de agregados inadequados na composição do concreto.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
7,60m	01/07/2020 16:03:52	Imagem 4 TRECHO EM BOM ESTADO	

Obs: A Imagem 4 apresenta o trecho de 7,60 m percorridos, sem a presença de patologias visíveis.

9,90m	01/07/2020 16:04:06	Imagem 5 BURACO NA JUNÇÃO GERATRIZ INFERIOR	
-------	------------------------	--	---

Obs: Na Imagem 5, a 9,90 m do ponto inicial, é possível observar outro buraco na junção da geratriz inferior, também característico de uma erosão abrasiva. Nota-se que esta erosão possui uma área bem maior que a anterior o que denota que seu aparecimento se deu em tempo mais remoto, deixando claro que a rede não tem recebido manutenções preventivas. Como já observado acima, esse desgaste também está ocorrendo na junção das manilhas o que acende um alerta no sentido de que essas junções precisam ser melhor trabalhadas quando na construção de galerias no intuito de minimizar a ocorrência de desgaste por abrasão.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
12,20m	01/07/2020 16:04:16	Imagem 6 TRECHO EM BOM ESTADO	

Obs: A Imagem 6, apresenta o trecho sem a presença de patologias visíveis.

13,90m	01/07/2020 16:04:27	Imagem 7 TRECHO EM BOM ESTADO	
--------	------------------------	--	---

Obs: A Imagem 7, apresenta o trecho sem a presença de patologias visíveis.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
19,40m	01/07/2020 16:04:47	<p align="center">Imagem 8 DETERIORADO GERATRIZ INFERIOR</p>	

Obs: A Imagem 8, a 19,40m do ponto inicial, mostra a geratriz inferior do tubo com acentuada turbulência no leito do fluxo por conta da presença de erosão abrasiva. A consequência natural desse tipo de desgaste, que é lento e constante, é a perda da camada superficial do concreto da geratriz inferior, diminuindo a espessura do concreto e, na sequência, expondo a armadura inferior que, além de interferir no comportamento hidráulico da galeria, diminui sua resistência às cargas solicitantes, podendo ocasionar o colapso da rede. Outro dano consequente é a infiltração do escoamento no solo, à medida que a parede de concreto do tubo, na geratriz inferior, for desgastada de tal modo a permitir a passagem de líquido, iniciando um processo erosivo silencioso, comprometendo toda a estrutura da galeria e da rua acima.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
24,90m	01/07/2020 16:05:11	Imagem 9 DETERIORADO GERATRIZ INFERIOR	

Obs: A Imagem 9, a 24,90m do ponto inicial, também mostra a geratriz inferior do tubo com uma acentuada turbulência no fluxo por causa da presença de erosão abrasiva. Como já observado anteriormente, a consequência desse tipo de desgaste, que é lento e constante, é a perda da camada superficial do concreto da geratriz inferior, diminuindo a espessura do concreto e, na sequência, expondo a armadura inferior que, além de interferir no comportamento hidráulico da galeria, diminui sua resistência às cargas solicitantes, podendo ocasionar o colapso da rede.

30,80m	01/07/2020 16:05:32	Imagem 10 TRECHO EM BOM ESTADO	
--------	------------------------	---	--

Obs: A Imagem 10, a 30,80m do ponto inicial, também não apresenta patologias visíveis.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
36,10m	01/07/2020 16:05:51	Imagem 11 TRECHO EM BOM ESTADO	

Obs: A Imagem 11, a 30,80m do ponto inicial, também não apresenta patologias visíveis. Ressalta-se, porém, que, na imagem, é possível notar que o acabamento na junção dos tubos apresenta saliências capazes de criar turbulência se o duto trabalhar com volume de escoamento já à meia seção do diâmetro. Isso reforça a necessidade de que, durante a construção das galerias, o acabamento das junções deve receber uma atenção redobrada.

43,10m	01/07/2020 16:06:16	Imagem 12 BURACO NA JUNÇÃO GERATRIZ INFERIOR	
--------	------------------------	---	--

Obs: Na Imagem 12, a 43,10m do ponto inicial, também é possível verificar que, na geratriz inferior do tubo, há a presença de erosão por abrasão, podendo ocasionar o colapso da rede, uma vez que os problemas apontados acima como, a diminuição da espessura do concreto e a conseqüente exposição da armadura inferior também poderá ocorrer nesse trecho.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
56,80m	01/07/2020 16:07:01	Imagem 13 BURACO NA JUNÇÃO GERATRIZ INFERIOR	

Obs: Na Imagem 13, a 56,10m do ponto inicial, também há a presença de erosão por abrasão na junção dos tubos, na geratriz inferior, podendo, de igual modo, ocasionar o colapso da rede, por conta da diminuição da espessura do concreto e a consequente exposição da armadura inferior.

59,00m	01/07/2020 16:07:16	Imagem 14 TRINCA NA GERATRIZ SUPERIOR	
--------	------------------------	--	--

Obs: Na Imagem 14, a 59,00m do ponto inicial, os tubos apresentam uma trinca na geratriz superior. As causas desse desgaste podem estar ligadas ao excesso de carregamento permanente ou acidental sobre a galeria ou devido a falhas ocorridas durante a construção da galeria. Por tratar-se de uma via localizada na região central da cidade, o tráfego de veículos é intenso e variável o que provoca o aumento excessivo de cargas acidentais no local. Também podem ocorrer devido aos gradientes de temperatura e umidade, ou se o concreto não possui a resistência recomendada.

Metros	Data/Hora	Ocorrência	Imagem
61,00m	01/07/2020 16:07:48	Imagem 15 TRINCA NA GERTARIZ SUPERIOR	

Obs: Na Imagem 15, a 61,00m do ponto inicial, é possível ver a extensão da trinca na geratriz superior. Um desgaste dessa natureza pode levar a um rompimento abrupto da galeria, provocando danos consideráveis, pois as rachaduras possibilitam o desgaste químico do concreto acelerando a corrosão da armadura.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A drenagem pluvial existe para captar e direcionar a água presente no solo e provenientes das chuvas para que sua ocorrência interfira o mínimo possível na vida das pessoas. Por meio da revisão bibliográfica, foi possível constatar que a drenagem pluvial é um instrumento importantíssimo no controle do balanço hidrológico e na aplicabilidade dos sistemas de coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais nas áreas urbanas que estão cada vez impermeabilizadas devido ao crescimento das cidades.

Esse crescimento deve ser planejado e regulamentado pelos governos municipais, e integrado aos planos regionais, estaduais ou federais, para que todo plano urbanístico contenha um plano de drenagem eficiente a fim de evitar ao máximo a ocorrência danosa das inundações cada vez mais presente nas áreas urbanas.

A pesquisa sobre o tema, associada ao estudo de caso, mostrou que as galerias pluviais estão sujeitas a diversas patologias de ordem física, química e biológica, demandando ações preventivas e corretivas nas tubulações.

Com relação à presença de esgoto nas galerias pluviais, é necessário um maior acompanhamento por parte dos órgãos municipais a fim de executar vistorias periódicas nas galerias, principalmente no período da seca, no intuito de identificar os responsáveis e coibir a prática. Por meio de inspeção robotizada, por exemplo, é possível seguir o curso do fluxo d'água até seu local de origem para sanar o problema. Esse é um tipo de investimento que vale a pena ser feito. A indiferença quanto a esse tópico tende a custar muito mais caro, haja vista que, nessas condições, as galerias pluviais tornam-se ambientes propícios à produção de ácido sulfídrico com alta taxa de agressividade às estruturas de concreto das redes, podendo levar à sua completa deterioração com o passar do tempo.

Como forma de reparar os danos já existentes, deve-se planejar a substituição dos dutos danificados por tubulações executadas com cimento resistente a sulfatos, por exemplo, e implementar uma fiscalização mais eficiente durante a execução das obras.

Outro fator presente nas galerias é a obstrução pelo assoreamento dos dutos. A utilização de hidrojateamento nas galerias é um método eficaz para a desobstrução da rede. Deve-se também melhorar o sistema de separação de sólidos nos bueiros com a finalidade de evitar que o lixo e entulho depositado sobre as vias entrem na rede pluvial. Não menos importante é a veiculação de campanhas educativas para a população fazer o correto descarte do lixo doméstico e industrial.

Quanto à ocorrência de abrasão e cavitação nas galerias pluviais, uma medida essencial seria a fiscalização detalhada e intensa durante a execução das obras de construção de galerias pluviais principalmente quanto ao acabamento nas junções das tubulações, onde normalmente esses desgastes mais ocorrem. A manutenção preventiva e corretiva também é de capital importância para evitar e corrigir os danos.

As tubulações que estão com rachaduras na geratriz superior devem ser substituídas ou envelopadas o quanto antes, pois a tendência natural do desgaste é o colapso total da estrutura, uma vez que as cargas permanentes e acidentais no local continuarão a contribuir para o agravamento da situação.

Uma excelente alternativa é a utilização de tubos PEAD que, por suas características, mostrou-se mais econômico e eficiente com ampla vantagem, por exemplo, devido a uma maior vida útil quando comparado aos tubos de concreto. Essa é uma tecnologia que não pode ser ignorada, pois sua utilização traz inúmeros benefícios.

Por meio do estudo de caso, ficou claro que o poder público municipal deve investir em sistemas tecnológicos, como a inspeção robotizada das galerias pluviais a fim de levantar a real situação das redes e assim poder planejar melhor a conservação e manutenção das estruturas. Infelizmente, o que se observa é que a maioria das manutenções são apenas corretivas, devido ao fato de estruturas severamente comprometidas colapsarem em função do alto grau de desgaste em determinados pontos.

Este trabalho acende um alerta sobre a necessidade de que as redes antigas da cidade de Anápolis sejam estudadas, principalmente no centro da cidade, haja vista a frequente ocorrência de alagamentos na região durante os picos de chuva. Pelo estudo realizado, ficou claro de que há grande probabilidade de que vários outros trechos estejam igualmente comprometidos, possivelmente por causa das mesmas patologias observadas no trecho estudado. Essa situação demanda que sejam feitos estudos futuros com a mesma finalidade.

Sugere-se que, baseado neste estudo, os órgãos municipais implementem medidas assertivas na construção, verificação e manutenção das galerias pluviais com o propósito de se antecipar à ocorrência de danos às vias públicas, ao tráfego de veículos e, principalmente, à vida humana haja vista a alta probabilidade do desabamento de uma galeria pluvial provocar acidentes e os mais variados tipos de danos.

8 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Danilo de Carvalho Botelho; SANTOS, Roberto Eustáquio dos. **A Doutrina Higienista e as Canalizações de Cursos D'água: O Caso de Belo Horizonte**. 2019. Anais do XVII ENANPUR - 27 a 31/05/2019. Disponível em: <http://anpur.org.br/xviienanpur/anaisadmin/capapdf.php?reqid=760>. Acesso em: 20 nov. 2020
- ALMEIDA, Gustavo Henrique Tonelli Dutra de. **Hidrologia e drenagem**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.
- ANDRADE, T. (2005). **Tópicos Sobre Durabilidade do Concreto**, IBRACON, Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações, Vol. I, Capítulo 25
- ARAUJO, Eliete de Pinho. **Apostila de Esgoto Sanitário e Águas Pluviais**. 2012. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS – Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/8360/1/Apostila%20de%20esgoto%20sanit%C3%A1rio%20e%20%C3%A1guas%20pluviais.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2017.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2014. 384 p. ISBN 978-85-7975-160-8
- **CICLO HIDROLÓGICO – Saiba como a água se movimenta no planeta**. 2014. Opersan Soluções Ambientais. Disponível em: <http://info.opersan.com.br/bid/202033/ciclo-hidrol-gico-saiba-como-a-gua-se-movimenta-no-planeta>. Acesso em: 30 out. 2020.
- COSTA, Alfredo Ribeiro da; SIQUEIRA, Eduardo Queija de; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de. **Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3**. Brasília: ReCESA, 2007. 130p. il.
- ELETROBRAS, "**Manual de Pequenas Centrais Hidrelétricas**", Ministério de Minas e Energia, 2000.
- FENDRICH, Roberto. **Aplicabilidade do Armazenamento – Utilização e Infiltração das Águas Pluviais na Drenagem Urbana**. 2002. Boletim Paranaense de Geociências, n. 52, p. 97-114, 2003. Editora UFPR - ISSN: 0067-964X. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/4216>. Acesso em: 05 nov. 2020.

FERNANDES, Dayane Cristina da Cunha. **Inovação em Sistema de Drenagem de Águas Pluviais Trazem Durabilidade e Economia a Novos Projetos**. 2016. Revista TAE. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/137/inovacao-em-sistema-de-drenagem-de-aguas-pluviais-trazem-durabilidade-e-economia-a-novos-projetos>. Acesso em: 28 nov. 2020.

FILHO, F. C. M. M. & COSTA, A. R. **Sistemática de Cálculo para o Dimensionamento de Galerias de Águas Pluviais: Uma Abordagem Alternativa**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, nº 4, Volume 1, p. 12-22, 2012.

GIANSANTE, Antonio Eduardo. **Drenagem Urbana**. 2007. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/mackenzista2/drenagem-urbana2007>. Acesso em: 28 nov. 2020.

GRIBBIN, John E.. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. Andrea Pisan Soares Aguiar.

LINSLEY, R. K. & FRANZINI, J. B., **Engenharia de Recursos Hídricos**. Editora Universidade de São Paulo - McGraw - Hill, São Paulo - SP, 1978.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO P. J. M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3ª Edição. São Paulo: Editora Pini, 2008.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 384 p.

MOURA, Priscilla Macedo. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. 2004. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/110M.PDF>. Acesso em: 05 dez. 2020.

NETTO, José Martiniano de Azevedo; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández y. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2ª Edição. Tradução de Salvador Giamusso. São Paulo: Editora Pini, 2008.

- NUNES, E. C. D.; SANTOS, L. J. - **Termoplásticos: estruturas, propriedades e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/>. Acesso em: 01 abr. 2021
- **Orientações básicas para drenagem urbana**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2006. 32p.
- PINTO, N. S. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976.
- RAMOS, F. Et al. **Engenharia Hidrológica**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ - ABRH, 1989.
- SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. **Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade**. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, Gesta, v.1, n.1 – Souza, p. 057-072, 2013 – ISSN: 2317-563X
- TOMAZ, Plínio. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos**. Guarulhos, 2002. Disponível em: <https://www.pliniotomaz.com/>. Acesso em 15 out. 2020. ISBN 85-87678-0
- TUCCI, C.E.M.; GENZ, F. **Controle do impacto da urbanização**. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. *Drenagem Urbana*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.
- TUCCI, Carlos E. M.. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, 13 dez. 2001. Trimestral
- TUCCI, Carlos E. M.. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades. Global Water Partnership. World Bank. Unesco 2005.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, p. 823-824, 2001a.
- VILLELA, S.M. e MATTOS, A.. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
- WURBS, Ralph Allen; JAMES, Wesley P. **Water resources engineering**. New Jersey: Prentice Hall, 2002 *apud* ALMEIDA, Gustavo Henrique Tonelli Dutra de. **Hidrologia e drenagem**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., p. 102, 2017.
- ZAMITH, C. **Comparativo Tubos PEAD x Concreto**. Apresentação Seminário Braskem, em 02 dez. 2014. Disponível em: http://www.abpebrasil.com.br/aspnet_client/CI%20A1udio%20Zamith%20-%20Tubos%20PEADxConcreto_Semin%20A1rio_Tubos_Braskem_Valinhos_021214.pdf > Acesso em: 01 abr. 2021