



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA ZONA SUL
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

KAUANE GABRIELLA SOUSA COELHO

**ANÁLISE ECONÔMICA DE REDES DE DRENAGEM URBANA COM BASE NO
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE TUBULAÇÕES DE CONCRETO E PEAD**

TERESINA

2025

KAUANE GABRIELLA SOUSA COELHO

ANÁLISE ECONÔMICA DE REDES DE DRENAGEM URBANA COM BASE NO
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE TUBULAÇÕES DE CONCRETO E PEAD

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí, Campus Teresina Zona Sul.

Orientador: Prof. Dr. Mauro César de Brito Sousa.

TERESINA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Coelho, Kauane Gabriella Sousa

C672a Análise econômica de redes de drenagem urbana com base no dimensionamento hidráulico de tubulações de concreto e PEAD / Kauane Gabriella Sousa Coelho. - 2025.
117 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Zona Sul, 2025.

Orientador : Prof Dr. Mauro César de Brito Sousa.

1. drenagem pluvial. 2. tubos de concreto. 3. polietileno de alta densidade (PEAD). 4. análise econômica. I. Título.

CDD - 624

Elaborado por Rudney do Carmo Paz CRB 3/1117

KAUANE GABRIELLA SOUSA COELHO

ANÁLISE COMPARATIVA ACONÔMICA DE TUBULAÇÕES DE CONCRETO E
PEAD EM REDES DE DRENAGEM URBANA

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção
do diploma do Curso de Engenharia Civil do
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí, Campus Teresina Zona Sul.

Aprovada em: 23 / 01 / 2026 .

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Mauro César de Brito Sousa (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Ailton Soares Freire
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Esp. Ellayne Cristine Barroso de Araújo Costa
Especialista em Saneamento Básico e Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha mãe, Izabel, que, com zelo, dedicação e amor, sempre abriu caminho para todos os meus sonhos; e ao meu pai, Smaylly, pelo apoio e incentivo ao longo desta caminhada acadêmica. O suporte constante de ambos foi essencial para que eu tivesse forças para seguir em frente, mesmo nos momentos mais desafiadores.

Com carinho especial, agradeço à minha tia, Slayne, pelo apoio, cuidado e incentivo ao longo dessa trajetória, sempre com palavras e cuidados que fizeram toda a diferença.

À minha família, como um todo, pela compreensão e por acreditarem em mim em cada etapa desta formação. A todos os meus amigos, em especial Clarelina, Delaila, Iago, Mirian e Thiago, por cada momento compartilhado, pelo apoio e por tornarem essa jornada mais leve e humana. Que a vida lhes retribua com muitas conquistas e caminhos felizes.

Aos meus colegas de trabalho, agradeço pela convivência e pelas experiências compartilhadas, que contribuíram significativamente para meu crescimento profissional, tornando esta jornada mais enriquecedora e possível.

Ao Prof. Mauro César, meu orientador, agradeço imensamente pela paciência, pela orientação e pela confiança em mim ao longo de todo este percurso. Além de um orientador exemplar, você se tornou uma referência fundamental e uma inspiração constante em minha formação acadêmica e profissional.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização desta graduação e para o meu crescimento durante todo este processo.

“Se eu parecer divagar, se parecer me perder,
lembre-se de que as histórias verdadeiras
raramente seguem em linha reta”
(ROTHFUSS, 2009).

RESUMO

Diante da ocorrência cada vez mais frequente de eventos hidrológicos intensos, torna-se fundamental o planejamento adequado das infraestruturas de saneamento, especialmente das redes de drenagem pluvial urbana, essenciais para a mitigação de alagamentos e para a segurança da população. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma análise técnico-econômica entre tubulações de concreto e de polietileno de alta densidade (PEAD) aplicadas em redes de drenagem urbana. A metodologia adotada consistiu no dimensionamento e na estimativa de custos de uma rede de drenagem projetada para um loteamento fictício, elaborado com base em parâmetros técnicos compatíveis com as diretrizes do município de Teresina. A análise considerou os custos de implantação e a avaliação do comportamento econômico das alternativas ao longo do tempo. Os resultados indicaram que a rede executada com tubos de concreto apresenta custo inicial ligeiramente inferior ao da alternativa em PEAD, enquanto esta se mostrou mais vantajosa em diversas etapas construtivas, em função de características executivas e construtivas do material. A análise de longo prazo evidenciou que a viabilidade econômica depende do horizonte temporal adotado, uma vez que, em períodos mais extensos, o PEAD tende a apresentar melhor desempenho econômico. Conclui-se que a escolha do material deve considerar não apenas o custo inicial, mas também o comportamento econômico ao longo do ciclo de vida da rede de drenagem.

Palavras-chave: drenagem pluvial; tubos de concreto; polietileno de alta densidade (PEAD); análise econômica;

ABSTRACT

In view of the increasingly frequent occurrence of intense hydrological events, proper planning of sanitation infrastructure becomes essential, especially of urban stormwater drainage systems, which are crucial for flood mitigation and public safety. In this context, this study presents a technical–economic analysis comparing concrete pipes and high-density polyethylene (HDPE) pipes applied in urban drainage networks. The adopted methodology consisted of the design and cost estimation of a drainage network designed for a fictitious subdivision, developed based on technical parameters consistent with the guidelines of the municipality of Teresina. The analysis considered both implementation costs and the evaluation of the economic performance of the alternatives over time. The results indicated that the network executed with concrete pipes presents a slightly lower initial cost compared to the HDPE alternative, while the latter proved to be more advantageous in several construction stages due to the material's installation and constructive characteristics. The long-term analysis showed that economic feasibility depends on the adopted time horizon, since over longer periods HDPE tends to present better economic performance. It is concluded that the choice of material should consider not only the initial cost but also the economic behavior throughout the drainage network's life cycle.

Keywords: stormwater drainage; concrete pipes; high-density polyethylene (HDPE); economic analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Representação da cloaca máxima da Roma antiga	23
Figura 02 - Índice de risco para eventos hidrológicos (cenário pessimista)	25
Figura 03 - Representação da macrodrenagem e microdrenagem	27
Figura 04 - Representação do meio-fio	27
Figura 05 - Seção transversal de uma sarjeta	28
Figura 06 - Esquema de um sarjetão	28
Figura 07 - Representação da boca de lobo	29
Figura 08 - Tipos de boca de lobo	29
Figura 09 - Esquema de um poço de visita	30
Figura 10 - Traçado de uma rede de drenagem	30
Figura 11 - Ramificação dos diferentes tipos de PE	44
Figura 12 - Tubos de PEAD	45
Figura 13 - Resistência a abrasão dos tubos	47
Figura 14 - Acomodação da tubulação de PEAD sobre caibros de madeira	49
Figura 15 - Cuidados no transporte e descarregamento	49
Figura 16 - Tubo enterrado – separação das partes integrantes em uma instalação típica	50
Figura 17 - Carregamento e movimentação de tubos PEAD	51
Figura 18 - Conexão do tipo abraçadeira	52
Figura 19 - Conexão hermética à água WT	52
Figura 20 - Representação da introdução da ponta na bolsa	53
Figura 21 - 1º teste de compressão diametral	54

Figura 22 - Modelo de encaixe para tubos de concreto	55
Figura 23 - Ensaio de resistência à compressão diametral	57
Figura 24 - Fabricação de tubo de concreto	59
Figura 25 - Apoio dos tubos de encaixe ponta e bolsa quando estocados na horizontal	61
Figura 26 - Instalação de rede de drenagem	63
Figura 27 - Planta situação do loteamento	64
Figura 28 - Delimitação das áreas de contribuição	65
Figura 29 - Detalhamento da seção hidráulica da sarjeta	69
Figura 30 - Largura total para tubos com DN de 30 e 40 cm	72
Figura 31 - Largura total para tubos com DN de 50 e 60 cm	73
Figura 32 - Largura total para tubos com DN superior a 60 cm	74
Figura 33 - Largura mínima de vala recomendada para tubos de PEAD	74
Figura 34 - Estimativo de vida útil para cada tipo de tubulação	94

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Comparativo dos Serviços de Tubulação	88
Gráfico 02 - Comparativo dos Serviços de Movimento de Terra	89
Gráfico 03 - Comparativo dos Serviços de Escoramento	90
Gráfico 04 - Comparativo dos Serviços de Fundações	91
Gráfico 05 - Comparativo dos Serviços de Pavimentação	92
Gráfico 06 - Composição de Custos para Redes com Tubos de Concreto e PEAD	93
Gráfico 07 - Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 75 anos – IPCA)	96
Gráfico 08 - Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 75 anos – IGP-M)	97
Gráfico 09 - Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 75 anos – INCC-M)	97
Gráfico 10 - Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 80 anos – IPCA)	98
Gráfico 11 - Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 80 anos – IGP-M)	99
Gráfico 12 - Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 80 anos – INCC-M)	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas	24
Quadro 02 - Elementos geométricos das seções dos canais	40
Quadro 03 - Tipos de polietilenos e suas aplicações	44
Quadro 04 - Detalhamento do dimensionamento hidráulico da sarjeta	69
Quadro 05 - Critérios para o uso do radier	76
Quadro 06 - Resumo do dimensionamento da rede de concreto (continua)	80
Quadro 07 - Resumo do dimensionamento da rede de concreto	81
Quadro 08 - Resumo do dimensionamento da rede de PEAD (continua)	83
Quadro 09 - Resumo do dimensionamento da rede de PEAD	84
Quadro 10 - Quantitativos calculados para a rede de drenagem com tubos de concreto	85
Quadro 11 - Quantitativos calculados para a rede de drenagem com tubos de PEAD	86
Quadro 12 - Custos dos serviços de tubulação	88
Quadro 13 - Custos dos serviços de movimento de terra	89
Quadro 14 - Custos dos serviços de escoramento	90
Quadro 15 - Custos dos serviços de fundações	91
Quadro 16 - Custos dos serviços de pavimento	92
Quadro 17 - Resumo de custos totais para implementação da rede de drenagem	93
Quadro 18 - Custo acumulado das redes pluviais (75 e 80 anos)	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	- Valor de C por tipo de ocupação	33
Tabela 02	- Valor de C para diferentes superfícies	34
Tabela 03	- Tempos de retorno em função da ocupação da área	36
Tabela 04	- Fatores de redução de escoamentos das sarjetas	37
Tabela 05	- Coeficientes de rugosidade de Manning	38
Tabela 06	- Tabela de relações para fator hidráulico de seções circulares	42
Tabela 07	- Dimensões dos tubos com encaixe ponta e bolsa	55
Tabela 08	- Dimensões dos tubos com encaixe macho e fêmea	56
Tabela 09	- Compressão diametral de tubos de concreto armado, reforçados com fibra ou armados com reforço secundário de fibras	57
Tabela 10	- Compressão diametral de tubos simples	58
Tabela 11	- Empilhamento máximo recomendado dos tubos de concreto	62
Tabela 12	- Quantidade de tubos necessários para a Rede de Drenagem	87
Tabela 13	- Indicadores econômicos adotados	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABTC	Associação Brasileira de Tubo de Concreto
ACPA	American Concrete Pipe Association
BL	Boca de Lobo
DE	Diâmetro Externo
DEP/POA	Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre
DN	Diâmetro Nominal
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
FGV	Fundação Getúlio Vargas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP-M	Índice Geral de Preços – Mercado
INCC-M	Índice Nacional de Custo da Construção – Mercado
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
NBR	Norma Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
ORSE	Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe
PDDrU/THE	Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina/PI
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PEBDL	Polietileno de Baixa Densidade Linear

PEMD	Polietileno de Média Densidade
PP	Polipropileno
PRFV	Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro
PV	Poço de Visita
PVC-U	Policloreto de Vinila não Plastificado
RF	Tubo de concreto com Reforço em Fibras
RSF	Tubo de concreto com Reforço Secundário de Fibras
SEINFRA	Secretaria de Infraestrutura
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obras
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TR	Tempo de Retorno
WT	Water-Tight

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
C	Coeficiente de escoamento superficial
Q	Vazão
A	Área
I	Intensidade de precipitação
t_c	Tempo de concentração
L	Comprimento
p	Probabilidade
S	Declividade
Rh	Raio hidráulico
n	Coeficiente de Manning
y	Lâmina d'água
D	Diâmetro
π	Pi
v	Velocidade
L_{vala}	Largura da vala
P	Profundidade
R	Recobrimento
E	Espessura
C	Comprimento da vala
S_n	Valor obtido ao final
j	Juros

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
2. JUSTIFICATIVA	21
3. OBJETIVOS	22
3.1. OBJETIVO GERAL	22
3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4. REFERENCIAL TEÓRICO	22
4.1. DRENAGEM PLUVIAL	22
4.1.1. Contexto Histórico.....	22
4.1.2. Terminologia Básica da Drenagem Urbana	26
4.2. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM	31
4.2.1. Parâmetros Hidrológicos	31
4.2.1.1. Determinação da Vazão de Projeto: Método Racional	31
4.2.1.2. Tempo de Concentração (t_c)	32
4.2.1.3. Coeficiente de Escoamento Superficial (C).....	32
4.2.1.4. Intensidade Máxima de Precipitação (i)	34
4.2.1.5. Tempo de Retorno (TR).....	35
4.2.2. Parâmetros Hidráulicos.....	36
4.2.2.1. Capacidade de Escoamento de Vias e Sarjetas	36
4.2.2.2. Bocas de Lobo (BL).....	38
4.2.2.3. Galerias	40
4.2.2.4. Velocidade de Escoamento (v)	42
4.3. TUBULAÇÕES	43
4.3.1. PEAD	43
4.3.1.1. Evolução do Uso do PEAD em Tubulações	45
4.3.1.2. Características.....	46
4.3.1.3. Normas.....	47
4.3.1.4. Estocagem	48
4.3.1.5. Instalação	50
4.3.1.6. Conexões e Encaixes	51
4.3.2. Concreto.....	53
4.3.2.1. Características.....	54
4.3.2.2. Fabricação.....	58
4.3.2.3. Estocagem	60
4.3.2.4. Instalação	62
5. METODOLOGIA.....	63
5.1. ÁREA DE ESTUDO.....	63
5.2. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM	65

5.2.1.	Área de Contribuição	65
5.2.2.	Vazão de Projeto (Qp)	66
5.2.3.	Tempo de Concentração (t _c)	66
5.2.4.	Coeficiente de Escoamento Superficial (C)	67
5.2.5.	Intensidade de Chuva de Projeto (i)	67
5.2.6.	Tempo de Retorno (TR).....	68
5.2.7.	Sarjetas	68
5.2.8.	Bocas de lobo	69
5.2.9.	Galerias	70
5.2.10.	Velocidade de Escoamento (v)	71
5.3.	LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS.....	71
5.3.1.	Metodologia para o Cálculo de Quantitativos	72
5.3.1.1.	Largura Total da Vala.....	72
5.3.1.2.	Profundidade da Vala	74
5.3.1.3.	Escavação.....	75
5.3.1.4.	Fundações para Assentamento dos Tubos	75
5.3.1.4.1.	Lastro de brita ou areia	75
5.3.1.4.2.	Radier	76
5.3.1.5.	Escoramento	77
5.3.1.6.	Reaterro	77
5.3.1.7.	Bota-fora.....	78
5.3.1.8.	Pavimento	78
5.3.2.	Orçamento	79
6.	RESULTADOS E ANÁLISES.....	79
6.1.	DIMENSIONAMENTO COM TUBULAÇÃO DE CONCRETO	79
6.2.	DIMENSIONAMENTO COM TUBULAÇÃO DE PEAD.....	70
6.4.	COMPARATIVO DE CUSTOS	86
6.4.1.	Tubulação	86
6.4.2.	Movimento de Terra.....	88
6.4.3.	Escoramento.....	89
6.4.4.	Fundações	91
6.4.5.	Pavimento	92
6.4.6.	Comparativo Geral.....	92
6.5.	ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DAS REDES EM LONGO PRAZO	94
7.	CONCLUSÃO	101
	REFERÊNCIAS	103
	APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA REDE DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE CONCRETO.....	107

APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA REDE DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE PEAD	109
APÊNDICE C – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DA REDE DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE CONCRETO	111
APÊNDICE D – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DA REDE DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE PEAD.....	114
APÊNDICE E – PLANTAS DA REDE DE DRENAGEM	117

1. INTRODUÇÃO

A drenagem urbana constitui um componente essencial do planejamento e da infraestrutura das cidades, sendo desenvolvida pelo poder público municipal com a finalidade de coletar e direcionar as águas pluviais para cursos d'água apropriados, de modo a assegurar o adequado manejo dos recursos hídricos e a mitigação de impactos urbanos.

Nesse contexto, é importante destacar que o aumento da população urbana trouxe uma série de impactos para as cidades, como a impermeabilização da superfície do solo, por meio dos telhados das edificações, ruas com pavimentos asfálticos, calçadas e pátios concretados e pouca vegetação. O volume que escoava lentamente pela superfície, infiltrava no solo e ficava retido pelas plantas, em decorrência do processo de urbanização passa a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais (Tucci, 2006).

O panorama da drenagem urbana no Brasil apresenta inúmeras limitações e uma parcela da população enfrenta, de forma recorrente, problemas relacionados a enxurradas, inundações e alagamentos. Conforme os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) de 2023 (ano base 2022), cerca de 522,4 mil pessoas foram desabrigadas ou desalojadas devido a eventos hidrológicos impactantes.

Diante desse cenário, observa-se que a implementação de redes de drenagem pluvial eficientes e bem gerenciadas proporciona benefícios significativos, além de visar uma redução de custos (Tucci *et al.*, 1995). Entretanto, a gestão da drenagem urbana na maioria dos municípios brasileiros ainda não é adequadamente valorizada pelos gestores, uma vez que, em muitos casos, não existe um planejamento específico para o setor. Assim, o correto planejamento e execução dos sistemas de drenagem torna-se essencial para assegurar a segurança, a saúde e o bem-estar da população.

Na atualidade, a utilização de tubos de concreto é amplamente difundida na execução de redes de drenagem, sendo essa preferência atribuída à ampla variedade de diâmetros disponíveis, aos custos acessíveis, bem como à sua durabilidade e resistência. Contudo, nos últimos anos, os tubos de Polietileno de Alta Densidade

(PEAD) têm ganhado destaque como uma alternativa viável aos tubos de concreto, em razão de sua versatilidade na implantação, manejo, durabilidade e eficiência.

Partindo dessa premissa, este trabalho tem como principal intuito avaliar a viabilidade técnico-econômica da adoção de tubos de PEAD em sistemas de drenagem urbana, como alternativa aos tradicionais tubos de concreto. Para isso, a análise contempla as características dos materiais, sendo complementada por uma comparação econômica entre eles.

2. JUSTIFICATIVA

A urbanização desordenada no Brasil, desde o século XX, causou ocupações irregulares e impermeabilização do solo, elevando os riscos de inundações e alagamentos urbanos. Somado a isso, os impactos das mudanças climáticas agravam os desafios da drenagem urbana, tornando essencial a busca por soluções mais eficientes e resilientes.

De acordo com o 6º relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas (ONU), publicado em 2021, a intensificação do aquecimento global e da urbanização contribui para o aumento da precipitação média e intensa, o que pode agravar eventos de chuvas extremas e enchentes fluviais, aumentando a probabilidade de inundações. Dessa forma, é necessário que os sistemas de drenagem sejam projetados para lidar com esses eventos, prevenindo enchentes, alagamentos e danos à infraestrutura urbana e ao meio ambiente.

Nesse contexto, torna-se essencial a concepção de projetos mais eficientes e compatíveis com as condições urbanas e climáticas, para que as infraestruturas de drenagem sejam capazes de reduzir riscos de inundações e mitigar os impactos socioambientais. Para tal, a escolha dos materiais é um fator estratégico, sendo indispensável a realização de análises econômicas que conciliem viabilidade financeira, durabilidade e desempenho esperado das infraestruturas.

Por fim, no viés teórico, é de extrema importância o estudo proposto, haja vista, a relação direta com a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento das infraestruturas urbanas. Além disso, pode servir como fundamento para que governantes e empresas invistam em infraestrutura e tecnologias adequadas para

garantir o planejamento correto das redes de drenagem urbana, visando o bem-estar e a segurança de todos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade técnico-econômica da adoção de condutos de PEAD, em comparação às tubulações de concreto, considerando a adequação ao dimensionamento hidráulico normativo e os custos de implantação e de longo prazo.

3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar a rede de drenagem urbana para ambos materiais, em um mesmo loteamento.
- Estimar os custos associados à implantação da rede de drenagem para cada material analisado.
- Comparar os custos de tubulações de concreto e PEAD.
- Analisar os custos de implantação da rede a longo prazo.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. DRENAGEM PLUVIAL

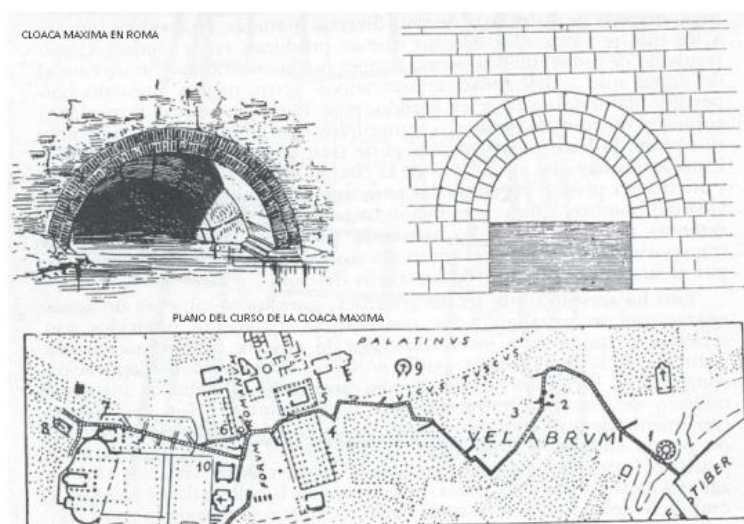
4.1.1. Contexto Histórico

Segundo Matos (2003), “Ao longo dos tempos, e até a Idade Moderna, as obras de drenagem não foram consideradas, em regra, como infraestruturas necessárias e condicionantes ao desenvolvimento e ordenamentos dos núcleos urbanos”. Ainda assim, há registros históricos de civilizações que incorporaram sistemas de drenagem em suas construções, como a Civilização Mesopotâmica, por volta de 2500 a.C., que

implantou em suas principais cidades sistemas de drenagem e saneamento, incluindo estruturas semelhantes a sarjetas e sumidouros (Maner, 1966).

Em Roma, a construção da Cloaca Máxima é considerada um marco inicial da drenagem urbana como política pública, tendo sido implantada com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população. E para garantir seu funcionamento, manutenção e inspeção, instituiu-se a cobrança do *cloacarium*, imposto destinado à conservação da obra, além da atuação dos *curatores cloacarum*, agentes responsáveis pela fiscalização e manutenção do sistema (Matos, 2003).

Figura 01 – Representação da cloaca máxima da Roma antiga



Fonte: Cruz; Nascimento (2017)

A partir do século XIX, a drenagem pluvial teve o seu desenvolvimento mais acentuado devido a ameaças de epidemias, como a de cólera que assolou as principais cidades do mundo na época. Com o objetivo de conter esses problemas, adotou-se a estratégia de despejar os resíduos a jusante, evitando impactos locais, mas transferindo-os para outras comunidades. Esse período, focado somente no afastamento rápido das águas, ficou conhecido como fase higienista (Tucci, 2012).

Após a Segunda Guerra Mundial, o rápido crescimento populacional e a urbanização intensificaram a poluição hídrica e atmosférica, criando um ciclo de contaminação. Em resposta, na década de 1970, o *Clean Water Act* (Lei de Água Limpa), nos Estados Unidos da América, determinou o tratamento obrigatório dos

efluentes, melhorando a qualidade da água e reduzindo doenças. Paralelamente, percebeu-se a necessidade de substituir a canalização de rios por sistemas de drenagem sustentáveis, iniciando a fase corretiva das águas urbanas (Tucci, 2012).

Nos anos 1990, a poluição difusa causada por inundações ainda era um problema. Assim, iniciou-se a fase de desenvolvimento sustentável, que busca equilibrar a urbanização e a preservação ambiental e é baseada na conservação dos cursos d'água naturais, infiltração do escoamento e tratamento avançado dos efluentes (Tucci, 2012). No quadro 01, pode-se observar as fases da evolução das águas urbanas.

Quadro 01 – Fases do desenvolvimento das águas urbanas

Fase	Período	Características	Consequências
Pré-higienista	Até o início do século XX	Esgotos em fossas ou diretamente na drenagem, sem coleta ou tratamento e água na fonte mais próxima, poço ou rio	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações
Higienista	Antes da década de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento	Redução das doenças, mas rios contaminados, impacto nas fontes de água e inundações
Corretiva	Entre as décadas de 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento	Recuperação dos rios, restando poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental
Desenvolvimento Sustentável	A partir da década de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida

Fonte: Adaptado de Tucci (2012)

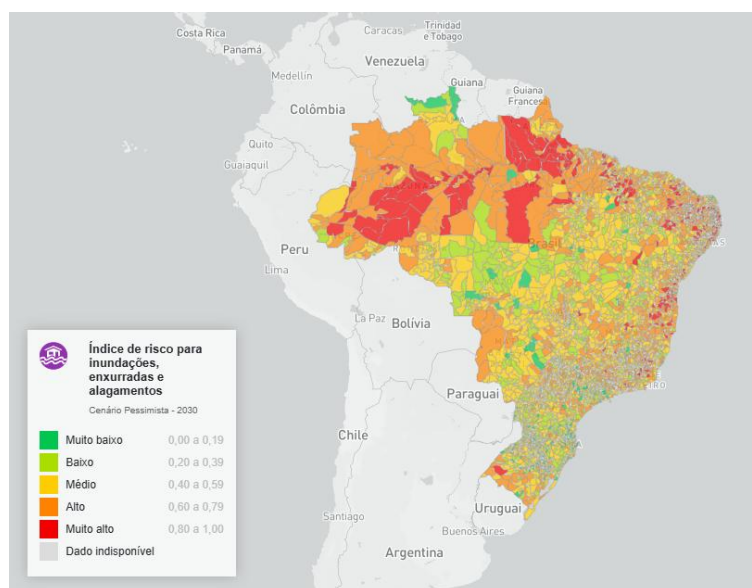
Embora a classificação das fases da drenagem urbana seja relevante, seu desenvolvimento não ocorreu de maneira rígida ou linear. Em razão das especificidades locais, essas fases podem ter se desenvolvido de forma simultânea ou apresentado variações dentro de uma mesma cidade, dependendo dos diferentes projetos aplicados a setores ou bairros específicos (Miguez *et al.*, 2016)

No Brasil, observa-se que grande parte do território nacional ainda permanece sob a fase higienista da drenagem urbana, enquanto centros como São Paulo e Brasília vivenciam uma transição para a fase corretiva (Tucci, 2012). Como

consequência dessa defasagem, os centros urbanos brasileiros sofrem com falhas sistêmicas, diretamente ligadas à ocorrência de alagamentos, que resultam em prejuízos materiais e riscos à saúde pública. Esse cenário impõe a necessidade não apenas de ampliação das galerias existentes e execução de canalizações, mas de uma revisão das estratégias de projeto (Souza *et al.*, 2013).

Apesar de a história da drenagem urbana demonstrar uma evolução significativa, esses sistemas foram, em grande parte, concebidos com base em padrões climáticos históricos, sem considerar as intensas variações que vêm sendo observadas nas últimas décadas. De acordo com o Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima, instituído pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), aproximadamente 50% dos municípios brasileiros apresentam níveis de risco classificados como alto ou muito alto para a ocorrência de eventos hidrológicos extremos, considerando o cenário projetado até o ano de 2030.

Figura 02 – Índice de risco para eventos hidrológicos (cenário pessimista)



Fonte: AdaptaBrasil (2025)

Com o avanço das mudanças climáticas, os eventos hidrológicos extremos tornaram-se mais frequentes e imprevisíveis, colocando em evidência as limitações dos sistemas de drenagem urbana. Esse cenário exige a adoção de soluções técnicas mais eficientes e adaptadas às novas condições urbanas e climáticas, de modo que

as infraestruturas de drenagem sejam capazes de reduzir os riscos de inundações e mitigar os impactos socioambientais associados.

Assim, torna-se fundamental a realização de análises de caráter técnico-econômico que permitam avaliar a viabilidade de diferentes soluções construtivas. Sob essa perspectiva, o presente estudo propõe uma análise comparativa dos custos associados à utilização de tubulações de concreto e de PEAD em redes de drenagem urbana, visando fundamentar a tomada de decisão no planejamento dessas infraestruturas.

4.1.2. Terminologia Básica da Drenagem Urbana

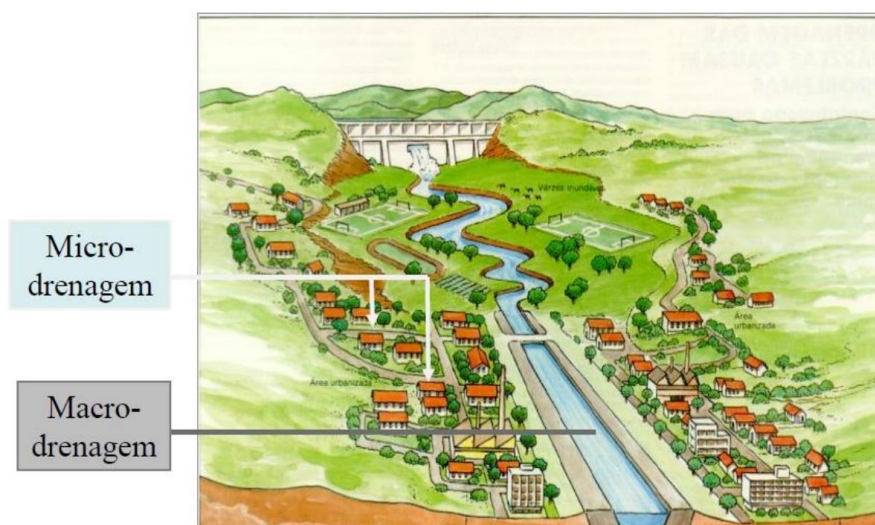
Inicialmente, faz-se necessária a apresentação das principais terminologias relacionadas aos sistemas de drenagem urbana, com destaque para a distinção entre macrodrenagem e microdrenagem.

A macrodrenagem corresponde ao sistema responsável pelo escoamento final das águas pluviais provenientes tanto de áreas urbanizadas quanto de não urbanizadas, abrangendo, em geral, bacias com área superior a 2 km². Esse sistema está associado aos principais talwegues, fundos de vale e cursos d'água, que atuam como escoadouros naturais das águas pluviais, independentemente da existência de obras específicas ou da presença de extensas áreas urbanizadas (Pinheiro; Pinto, 2006).

O planejamento da macrodrenagem envolve a definição de cenários, a análise de alternativas de projeto e a adoção de medidas voltadas ao controle do escoamento em escala regional, sendo essas estruturas, em geral, dimensionadas para vazões associadas a tempos de retorno entre 25 e 100 anos (Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre - DEP/POA, 2005).

Já a microdrenagem compreende o sistema de condutos pluviais responsáveis pelo escoamento superficial em nível de loteamento ou rede primária urbana. O dimensionamento de uma rede de drenagem pluvial envolve as seguintes etapas: subdivisão da área e traçado; determinação das vazões que afluem à rede de condutos; dimensionamento da rede de condutos (Tucci, 1995).

Figura 03 – Representação da macrodrenagem e microdrenagem

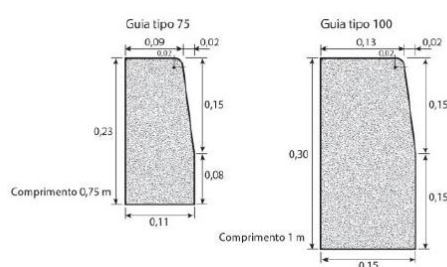


Fonte: Ministério Público do Rio Grande do Sul (2022)

Esse sistema é constituído por um conjunto de elementos que garantem o manejo das águas pluviais, destacando-se estruturas como meios-fios, sarjetas, sarjetões, bocas de lobo, poços de visita e galerias. Complementam a rede os condutos forçados e as estações elevatórias, responsáveis pelo bombeamento quando o escoamento por gravidade não é viável. Na sequência, apresentam-se as definições de cada um desses elementos.

Segundo Tucci (1995), “os meios-fios são elementos de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo rua com sua face superior no mesmo nível do passeio.” Eles também podem ser denominados como “Guias”.

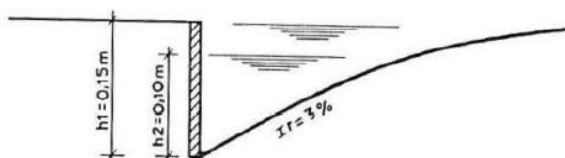
Figura 04 – Representação do meio-fio



Fonte: Botelho (2017)

Segundo Botelho (2017), “as sarjetas são usadas para fixar as guias e para formar o piso de escoamento da água. Devido ao abaulamento da rua (declividade transversal), as águas correm, principalmente, pelas sarjetas.”

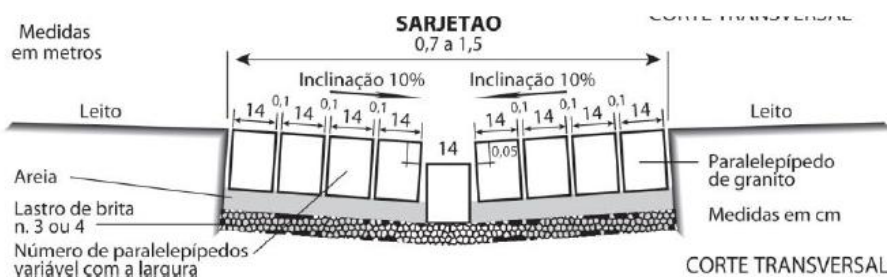
Figura 05 – Seção transversal de uma sarjeta



Fonte: Tucci (1995)

Os sarjetões são calhas formadas pela própria pavimentação, localizadas nos cruzamentos de vias públicas. Sua função é direcionar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas (Tucci, 1995).

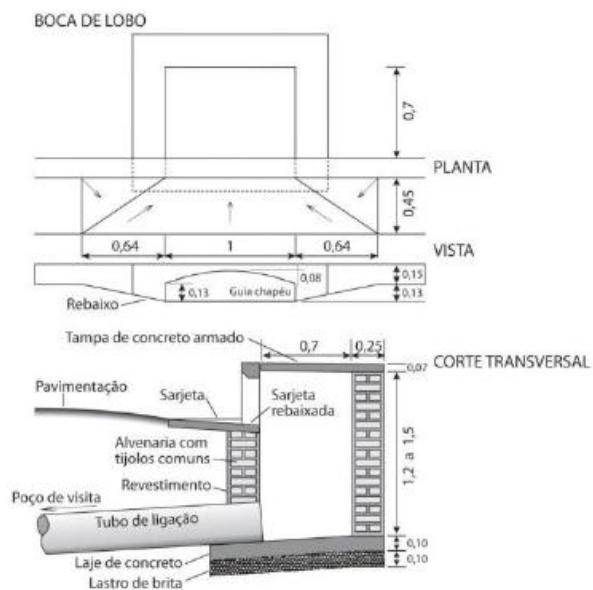
Figura 06 – Esquema de um sarjetão



Fonte: Botelho (2017)

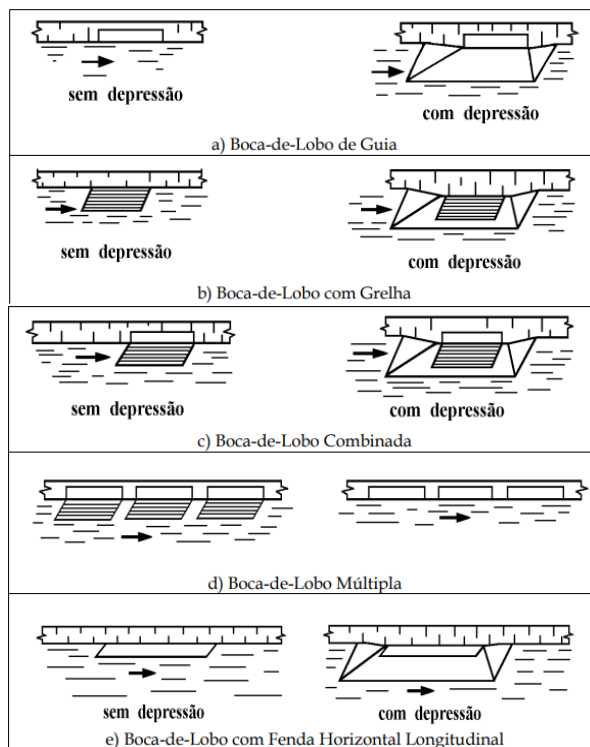
De acordo com Tucci (1995), “as bocas de lobo são dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação de águas pluviais.” São conectadas com poços de visita, através de tubos de ligação, para direcionar o fluxo da água às galerias.

Figura 07 – Representação da boca de lobo



Fonte: Botelho (2017)

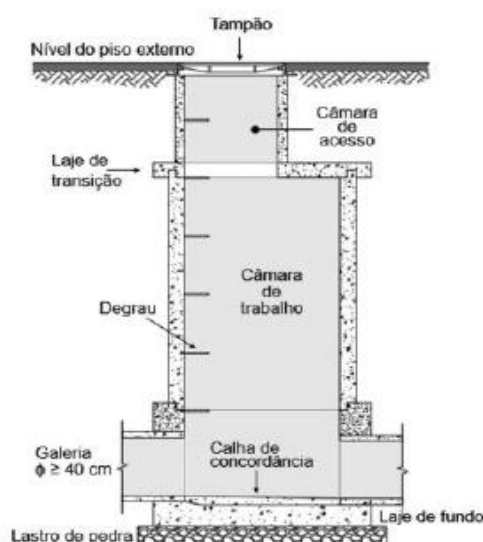
Figura 08 – Tipos de boca de lobo



Fonte: DEP/POA (2005)

Os poços de visita (PV) são dispositivos posicionados em locais estratégicos do sistema de galerias para possibilitar mudança de direção, declividade e diâmetro, além de viabilizar a inspeção e limpeza das canalizações (Tucci, 1995).

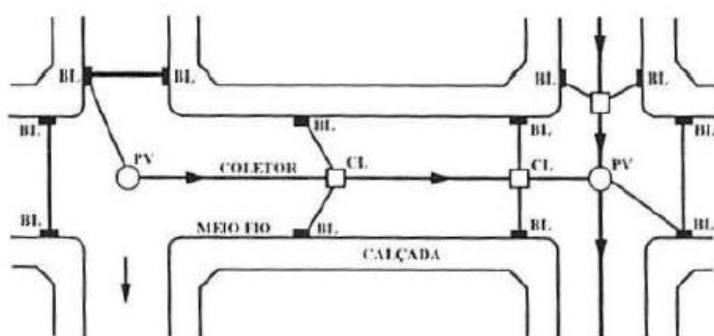
Figura 09 – Esquema de um poço de visita



Fonte: Brava equipamentos (2023)

Segundo Tucci (1995), “as galerias são canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações privadas.”

Figura 10 – Traçado de uma rede de drenagem



Fonte: Tucci (1995)

Conduitos forçados são estruturas projetadas para conduzir de forma segura e

eficiente as águas superficiais coletadas, sem preencher completamente a seção transversal dos condutos (Tucci, 1995).

As estações elevatórias se definem como um conjunto de estruturas e equipamentos projetados para remover a água de um canal de drenagem quando o escoamento por gravidade não for mais viável, transferindo-a para um canal em nível mais elevado ou para o receptor final da drenagem (Tucci, 1995).

4.2. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM

4.2.1. Parâmetros Hidrológicos

4.2.1.1. Determinação da Vazão de Projeto: Método Racional

Podem ser encontradas, tanto na literatura nacional quanto na internacional, diversas metodologias para o cálculo das vazões de bacias de contribuição. Entre os métodos de avaliação de vazões de projeto para sistemas de drenagem, o método racional se destaca como o mais utilizado, devido à simplicidade de sua fórmula de cálculo (DNIT, 2005). Por ser um método simplificado, ele é limitado a bacias de áreas pequenas, a literatura apresenta divergências quanto ao limite máximo de área, variando entre 0,8 km² e 20 km². Entretanto, Tucci (2006) recomenda a utilização do método para bacias com área de até 2 km².

Segundo o plano diretor de Drenagem Urbana - Manual de Drenagem Urbana, desenvolvido para a cidade de Teresina/PI (2011), os princípios básicos desse método são:

- Como a bacia hidrográfica possui uma área considerada pequena, admite-se que a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia;
- Utiliza um coeficiente único de perdas, denominado “C”, determinado com base nas características das bacias (esse coeficiente também é conhecido como run-off ou coeficiente de deflúvio);
- Não é avaliado o volume da cheia ou a distribuição temporal das vazões;

Dessa forma, a vazão máxima de projeto é calculada utilizando a seguinte

equação:

$$Q = 2,78 \times C \times I \times A \quad (1)$$

Onde:

Q – Vazão máxima do escoamento superficial (m³/s);

C – Coeficiente de escoamento superficial;

I – Intensidade da precipitação (mm/h);

A – Área da bacia (ha);

4.2.1.2. Tempo de Concentração (t_c)

O Plano Diretor de Drenagem Urbana do município de Teresina considerou que a equação apresentada por Schaake et al. (1967) ofereceria as estimativas mais precisas do tempo de concentração para condições similares às observadas no município. A equação do tempo de concentração é dada por:

$$t_c = \frac{4,968 \times L^{0,24}}{S^{0,16} \times A_{imp}^{0,26}} \quad (2)$$

Onde:

t_c – Tempo de concentração (min);

L – Comprimento do talvegue (km);

S – Declividade (m/m);

A_{imp} – Fração da área impermeável;

4.2.1.3. Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

O coeficiente de escoamento superficial pode ser também denominado como

coeficiente de deflúvio ou coeficiente de run-off. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT (2005):

"o coeficiente de deflúvio representa essencialmente a relação entre a vazão e a precipitação que lhe deu origem, o que envolve além do volume da precipitação vertida, a avaliação do efeito da variação da intensidade da chuva e das perdas por retenção e infiltração do solo durante a tempestade de projeto."

A tabela 01 exibe os valores correspondentes a descrição das áreas das bacias, à medida que a tabela 02 fornece os coeficientes para algumas superfícies típicas.

Tabela 01 – Valor de C por tipo de ocupação

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "C"
Comércio:	
Áreas centrais	0,70 a 0,95
Áreas da periferia do centro	0,50 a 0,70
Residencial:	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multi-unidades, isoladas	0,40 a 0,50
Multi-unidades, ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Áreas de apartamentos	0,50 a 0,70
Industrial:	
Áreas leves	0,50 a 0,80
Áreas densas	0,60 a 0,90
Outros:	
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

Fonte: Adaptado de DNIT (2005)

Tabela 02 – Valor de C para diferentes superfícies

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "C"
Ruas:	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajeto de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Gramados; solos arenosos:	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compactado:	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: Adaptado de DNIT (2005)

Quando a bacia hidrográfica apresenta uma ocupação heterogênea, resultando em múltiplos coeficientes de escoamento, é recomendável determinar o valor de C por meio da média ponderada, considerando seus respectivos valores.

$$C_m = \frac{A_1 \times C_1 + A_2 \times C_2 + \dots + A_n \times C_n}{\sum A} \quad (3)$$

Onde:

C_m – Coeficiente médio;

A – Área da bacia;

4.2.1.4. Intensidade Máxima de Precipitação (i)

As curvas de Intensidade-Duração-Frequência são uma ferramenta essencial para determinar a chuva de projeto ou a vazão máxima em sistemas de drenagem

urbana. Derivadas da análise estatística de eventos pluviométricos passados, essas relações permitem estimar a intensidade máxima de uma chuva para uma determinada duração e um tempo de retorno específico (PDDrU/THE, 2012).

De acordo com o Plano Diretor de Drenagem de Teresina (2012), a equação genérica mais utilizada para definir a relação intensidade-duração-frequência da chuva é expressa da seguinte maneira:

$$i = \frac{a \times TR^b}{(t+c)^d} \quad (4)$$

Onde:

i – Intensidade máxima média de chuva (mm/h);

TR – Tempo de retorno (anos);

t – Duração da chuva (min);

a, b, c e d – Constantes que variam para cada local;

A equação geral definida para o município de Teresina é a seguinte:

$$i = \frac{1194,273 \times TR^{0,1738}}{(t+10)^{0,7457}} \quad (5)$$

4.2.1.5. Tempo de Retorno (TR)

Segundo Tucci (2006), “O risco de uma vazão ou precipitação é entendido nesse texto como a probabilidade (p) de ocorrência de um valor igual ou superior a Qp (vazão ou nível) num ano qualquer”. Nesse sentido, o tempo de retorno (TR) é definido como o inverso dessa probabilidade, representando o intervalo médio em que um determinado evento tem chance de ocorrer novamente.

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

No entanto, a forma mais comum de se determinar o TR é pela tabela a seguir:

Tabela 03 – Tempos de retorno em função da ocupação da área

Tipo de Obra	Tipo de Ocupação	Período de Retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5
	Comercial	2 - 5
	Áreas de prédios públicos	2 - 5
	Aeroporto	5 - 10
	Áreas comerciais e Avenidas	5 - 10
Macro-drenagem		10 - 25
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100

Fonte: Adaptado de DEP/POA (2005)

4.2.2. Parâmetros Hidráulicos

4.2.2.1. Capacidade de Escoamento de Vias e Sarjetas

O escoamento das águas pluviais inicia-se em terrenos e calhas, seguindo para as ruas e sarjetas. As ruas são projetadas com declividade transversal para direcionar o fluxo até as sarjetas, além de apresentarem inclinação longitudinal, que garante o deslocamento das águas a jusante. O dimensionamento hidráulico das sarjetas é realizado por meio da equação de Manning transformada (PDDrU/THE, 2011).

$$Q = \frac{A \times R h^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (7)$$

Onde:

Q – Vazão (m^3/s);

A – Área da seção transversal (m^2);

R_h – Raio hidráulico (m);

S – Declividade (m/m);

n – Coeficiente de rugosidade de Manning;

Sendo o raio hidráulico calculado da seguinte maneira:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (8)$$

Onde:

R_h – Raio hidráulico (m);

A_m – Área molhada (m^2);

P_m – Perímetro molhado (m);

No entanto, essa capacidade de escoamento pode sofrer uma redução em relação ao valor teórico, devido às limitações presentes nas condições reais (DEP/POA, 2005). O valor teórico calculado é multiplicado pelo fator de redução, resultando num valor mais próximo do cenário real. A tabela a seguir apresenta valores recomendados de fatores de redução.

Tabela 04 – Fatores de redução de escoamentos das sarjetas

Declividade da Sarjeta (%)	Fator de Redução
0,4	0,50
1 a 3	0,80
5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10,0	0,20

Fonte: Adaptado de DEP/POA (2005).

Tabela 05 – Coeficientes de rugosidade de Manning

Coeficientes de rugosidade de Manning	
Características	n
Canais revestidos:	
Canais retilíneos com grama de até 15 cm de altura	0,30 - 0,40
Canais retilíneos com capim de até 30 cm de altura	0,30 - 0,060
Galerias de concreto:	
Pré-moldado com bom acabamento	0,011 - 0,014
Moldado no local com formas metálicas simples	0,012 - 0,014
Moldado no local com formas de madeira	0,015 - 0,020
Sarjetas:	
Asfalto suave	0,013
Asfalto rugoso	0,016
Concreto suave com pavimento de asfalto	0,014
Concreto rugoso com pavimento de asfalto	0,015
Pavimento de concreto	0,014 - 0,017
Pedras	0,017

Fonte: Adaptado de DEP/POA (2005).

4.2.2.2. Bocas de Lobo (BL)

Segundo o Manual de Drenagem do DNIT (2006), as bocas de lobo simples funcionam basicamente sob duas condições de escoamento:

1. Escoamento com superfície livre, onde a BL funciona como um vertedor
– $y/h \leq 1$;
2. Escoamento afogado, onde a BL funciona como um orifício - $y/h \geq 2$;

No primeiro caso, se calcula a capacidade de engolimento da BL da seguinte maneira:

$$Q = 1,7 \times L \times y^{3/2} \quad (9)$$

Onde:

Q – Vazão de engolimento (m³/s);

L – Comprimento da abertura (m);

y – Altura da água na entrada (m);

h – Altura da abertura do meio-fio (m);

No segundo caso, por ser considerado um orifício, a vazão se calcula utilizando a seguinte equação:

$$Q = 3,01 \times L \times h^{3/2} \times (y_1/h)^{1/2} \quad (10)$$

Onde:

Q – Vazão de engolimento (m^3/s);

L – Comprimento da abertura (m);

h – Altura da abertura do meio-fio (m);

y_1 – Carga da abertura da guia – $y_1 = y \times h/2$;

Para bocas de lobo com grelha, quando a altura da lâmina d'água é de até 12 cm, ela se comporta como em um vertedor. Quando a lâmina ultrapassa 42 cm, o funcionamento passa a ser semelhante ao de um orifício. Já para alturas entre 12 cm e 42 cm, o regime é considerado indefinido (DNIT, 2006).

No caso $y > 42 \text{ cm}$, o cálculo da vazão sofre uma alteração e se utiliza a fórmula:

$$Q = 2,91 \times A \times y^{1/2} \quad (11)$$

Onde:

Q – Vazão de engolimento (m^3/s);

A – Área da grelha, excluída as áreas ocupadas pelas barras (m^2);

y – Altura de água na sarjeta sobre a grelha (m);

Para bocas de lobo combinada, a capacidade de escoamento é, aproximadamente, igual a somatória das vazões pela grelha e abertura de guia, calculadas de forma isolada (PDDrU/THE, 2011).

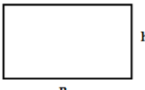
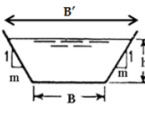
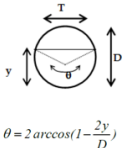
4.2.2.3. Galerias

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Teresina/PI (2011), “O dimensionamento das canalizações que compõem o sistema de redes de microdrenagem é realizado com base nas equações hidráulicas de movimento uniforme, como a de Manning, Chezy e outras.” Esse cálculo depende de dois parâmetros, sendo esses:

- Coeficiente de rugosidade (n) do material da canalização;
- Tipo de canalização adotada;

A tabela a seguir apresenta os elementos geométricos das principais seções transversais usadas em redes de drenagem urbana.

Quadro 02 – Elementos geométricos das seções dos canais

	Retangular	Trapezoidal	Circular
Geometria			

Fonte: Adaptado de PDDrU/THE (2011).

Utilizando a equação da continuidade e considerando a seção plena ($R = D/4$), obtém-se a equação que define o diâmetro da tubulação:

$$Q = \frac{\pi \times D^2}{4 \times n} \times \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \times S^{1/2} \rightarrow D = 1,55 \times \left(\frac{Q \times n}{S^{1/2}}\right)^{3/8} \quad (12)$$

Onde:

Q – Vazão máxima (m³/s);

D – Diâmetro da tubulação (m);

n – Coeficiente de rugosidade (adimensional);

S – Declividade (m/m);

Caso o diâmetro calculado resulte em um valor fracionado, é recomendado que se arredonde para o diâmetro comercial de valor superior. Assim, ao escolher um diâmetro maior, é preciso recalculer a lâmina d'água, pois é ela que vai indicar o raio hidráulico real e a velocidade do escoamento na tubulação (DEP/POA, 2005).

Para obter o valor da lâmina (y/D), calcula-se primeiro o fator hidráulico (Fh) da galeria. Em seguida, consulta-se a Tabela 06 para encontrar os valores correspondentes de y/D e Rh/D. Para determinar o Fh se utiliza a seguinte equação:

$$Fh = \frac{Q \times n}{D^{3/8} \times S^{1/2}} \quad (13)$$

Onde:

Fh – Fator Hidráulico (adimensional);

Q – Vazão máxima (m³/s);

D – Diâmetro adotado (m);

S – Declividade (m/m);

Tabela 06 – Tabela de relações para fator hidráulico de seções circulares

FH de 0,001 a 0,080			FH de 0,081 a 0,250			FH de 0,251 a 0,333		
FH	RH/D	h/D	FH	RH/D	h/D	FH	RH/D	h/D
0,0001	0,0066	0,01	0,0820	0,1935	0,35	0,2511	0,2933	0,68
0,0002	0,0132	0,02	0,0864	0,1978	0,36	0,2560	0,2948	0,69
0,0005	0,0197	0,03	0,0910	0,2020	0,37	0,2610	0,2962	0,70
0,0009	0,0262	0,04	0,0956	0,2062	0,38	0,2658	0,2975	0,71
0,0015	0,0326	0,05	0,1003	0,2102	0,39	0,2705	0,2988	0,72
0,0022	0,0389	0,06	0,1050	0,2142	0,40	0,2752	0,2998	0,73
0,0031	0,0451	0,07	0,1099	0,2182	0,41	0,2798	0,3008	0,74
0,0041	0,0513	0,08	0,1148	0,2220	0,42	0,2842	0,3017	0,75
0,0052	0,0575	0,09	0,1197	0,2258	0,43	0,2886	0,3040	0,76
0,0065	0,0635	0,10	0,1248	0,2295	0,44	0,2928	0,3038	0,77
0,0080	0,0695	0,11	0,1298	0,2331	0,45	0,2969	0,3036	0,78
0,0095	0,0755	0,12	0,1350	0,2366	0,46	0,3009	0,3040	0,79
0,0113	0,0813	0,13	0,1401	0,2401	0,47	0,3047	0,3042	0,80
0,0131	0,0870	0,14	0,1453	0,2435	0,48	0,3084	0,3043	0,81
0,0152	0,0929	0,15	0,1506	0,2468	0,49	0,3118	0,3043	0,82
0,0173	0,0986	0,16	0,1558	0,2500	0,50	0,3151	0,3040	0,83
0,0196	0,1042	0,17	0,1612	0,2531	0,51	0,3183	0,3038	0,84
0,0220	0,1097	0,18	0,1665	0,2562	0,52	0,3212	0,3033	0,85
0,0246	0,1152	0,19	0,1718	0,2592	0,53	0,3239	0,3026	0,86
0,0273	0,1206	0,20	0,1772	0,2621	0,54	0,3264	0,3018	0,87
0,0301	0,1259	0,21	0,1826	0,2649	0,55	0,3286	0,3007	0,88
0,0331	0,1312	0,22	0,1879	0,2676	0,56	0,3305	0,2995	0,89
0,0362	0,1364	0,23	0,1933	0,2703	0,57	0,3322	0,2980	0,90
0,0294	0,1416	0,24	0,1987	0,2728	0,58	0,3335	0,2963	0,91
0,0427	0,1466	0,25	0,2041	0,2753	0,59	0,3345	0,2944	0,92
0,0461	0,1516	0,26	0,2040	0,2776	0,60	0,3351	0,2921	0,93
0,0497	0,1566	0,27	0,2147	0,2799	0,61	0,3353	0,2895	0,94
0,0543	0,1614	0,28	0,2200	0,2821	0,62	0,3349	0,2865	0,95
0,0572	0,1662	0,29	0,2253	0,2842	0,63	0,3339	0,2829	0,96
0,0610	0,1709	0,30	0,2306	0,2862	0,64	0,3222	0,2787	0,97
0,0650	0,1756	0,31	0,2388	0,2882	0,65	0,3294	0,2735	0,98
0,0691	0,1802	0,32	0,2409	0,2899	0,66	0,3248	0,2666	0,99
0,0733	0,1847	0,33	0,2460	0,2917	0,67	0,3117	0,2500	1,00

Fonte: Adaptado de DEP/POA (2005)

Após o dimensionamento hidráulico da tubulação, recomenda-se verificar se a lâmina d'água não ultrapassa 81,3% do diâmetro interno do tubo. Essa verificação é importante porque essa condição garante a avaliação adequada da velocidade máxima do escoamento, tanto no interior quanto na saída da rede (Kanaflex, 2023).

4.2.2.4. Velocidade de Escoamento (v)

Para determinar a velocidade de escoamento, utiliza-se a fórmula de Manning. Nesse cálculo, admite-se fluxo como uniforme, o que permite estabelecer uma relação entre os parâmetros de definição do escoamento e a declividade do canal (DNIT, 2006).

$$v = \frac{Rh^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (14)$$

Onde:

v – Velocidade de escoamento (m/s);

Rh – Raio hidráulico (adimensional);

S – Declividade (m/m);

n – Coeficiente de rugosidade (adimensional);

Com o objetivo de proteger as estruturas contra a abrasão e garantir a autolimpeza dos condutos, as velocidades médias devem ser mantidas dentro de limites. Segundo o Caderno de Encargos (2005) do DEP/POA, as velocidades máximas e mínimas permitidas são, respectivamente, 5,0 e 0,8 m/s.

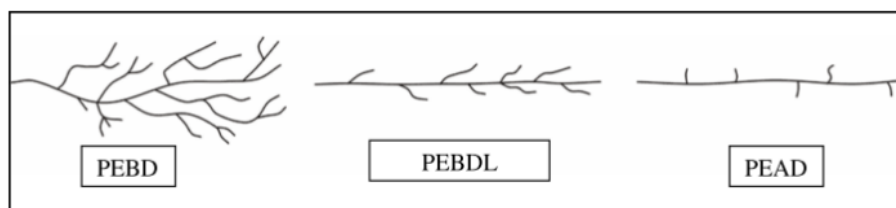
4.3. TUBULAÇÕES

4.3.1. PEAD

Segundo Mesquita (2010), “Polímeros são compostos químicos obtidos a partir da ligação de unidades elementares ou monômeros, os quais se repetem sucessivamente.” Dentre os diversos tipos de polímeros, o polietileno (PE) é um dos mais conhecidos, descrito como um composto plástico produzido através de reações de polimerização do etileno ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) sob a presença de catalisadores.

Existem diferentes tipos de polietileno, os mais comuns são: PEBD (Polietileno de Baixa Densidade), PEBDL (Polietileno de Baixa Densidade Linear), PEMD (Polietileno de Média Densidade) e o PEAD. Essa separação ocorre principalmente por causa da variação entre as estruturas das cadeias e suas densidades (Mesquita, 2010).

Figura 11 – Ramificação dos diferentes tipos de PE



Fonte: Adaptado de Mesquita (2010)

De acordo com a Norma ASTM-D4976, os polietilenos podem ser classificados quanto à sua densidade da seguinte forma:

- Classe 1 (0,910 a 0,925) – PEBD
- Classe 2 (>0,925 a 0,940) – PEMD
- Classe 3 (>0,940 a 0,960) – PEAD
- Classe 4 (>0,960) - PEAD

No quadro abaixo é destacado os tipos de polietileno e suas aplicações:

Quadro 03 – Tipos de polietilenos e suas aplicações

Tipo	Características	Aplicações Comuns
PEBD (Polietileno de Baixa Densidade)	Alta flexibilidade, fácil processabilidade, boa resistência química e excelentes propriedades isolantes.	Extrusão de filmes, fios e cabos;
PEBDL (Polietileno de Baixa Densidade Linear)	É um termoplástico com elevada resistência de solda a quente.	Filmes para embalagens, sacaria industrial, filmes stretch.
PEMD (Polietileno de Média Densidade)	Rigidez intermediária;	Embalagens, filmes gofrados (fraldas e absorventes), caixas d'água, brinquedos, reservatórios, tanques químicos e peças agrícolas.
PEAD (Polietileno de Alta Densidade)	Estrutura linear, poucas ramificações, alta cristalinidade. Elevada rigidez, resistência à abrasão, impacto, fluência e fissuramento sob tensão	Tubulações, embalagens rígidas, tanques, componentes industriais e aplicações que exigem alta resistência.

Fonte: Adaptado de Mesquita (2010)

Dentre os polietilenos, o PEAD é o de maior produção mundial e possui ampla aplicação na indústria de transformação de plástico. Ele é empregado em processos de extrusão, para a fabricação de tubos para rede de saneamento e distribuição de gás; na moldagem por sopro, para a produção de tanques de combustível e frascos para sucos; e na moldagem por injeção, utilizado na fabricação baldes e brinquedos (Mesquita, 2010).

No âmbito do saneamento e infraestrutura urbana, o PEAD é utilizado como material para tubulações e condutos, como: ramais, captação de água, redes, adutoras, redes coletoras de esgoto, águas pluviais e drenagem, irrigação e outros (Marcondes, 2016).

Figura 12 – Tubos de PEAD



Fonte: Marotta (2022)

4.3.1.1. Evolução do Uso do PEAD em Tubulações

As tubulações de polietileno podem ser divididas em três gerações: A primeira geração ocorreu por volta de 1950, quando começou a ser utilizada no transporte de fluidos de baixa/média pressão, principalmente em sistemas de irrigação. O material era produzido pela empresa alemã Hoechst AG, por meio do processo Ziegler de baixa pressão, resultando em diferentes tipos de resinas, como PE 32, 40 e 50, sendo a maioria de baixa densidade. Na década de 1960, passou a ser utilizado em redes de drenagem pluvial de cidades e rodovias (Marcondes, 2016).

Já a segunda geração tem início por volta de 1980, marcada por um aprimoramento no balanço geral das propriedades, o que levou o surgimento do PE 63 e 80. Fabricados pelos métodos Ziegler e Phillips e em alta e média densidades. Nessa geração, já surgem as primeiras normas e padrões mais rigorosos para a

regulamentação das tubulações de PE (Marcondes, 2016).

Por fim, a terceira geração ocorre na década de 1990. Com a evolução do processo de fabricação, por meio de introdução seletiva de comonômeros em cadeias moleculares mais longas, surge o PE 100, que tornou as tubulações mais resistentes e permitiu seu uso para transporte de fluidos sob altas pressões (Marcondes, 2016).

Por volta do ano de 1974, as tubulações de PEAD chegaram ao Brasil por meio de uma parceria entre empresas brasileiras e a indústria alemã Hoechst AG, para um projeto de uma adutora de água da Companhia de Saneamento do Amazonas. Em 1976, a empresa Transpavi Codrasa S/A adquiriu a primeira extrusora de polietileno do país, da marca Grainger. Em 1980, surge a Dutoflex, a primeira fábrica de tubos e conexões de PEAD de grandes diâmetros no Brasil. Por anos, foi a única fabricante atuante no país, até que outras empresas passaram a produzir tubulações em PEAD, como a Tigre S/A, a Polierg Ltda. e a Vulcan S/A (Marcondes, 2016).

4.3.1.2. Características

Os tubos de PEAD utilizados em redes drenagem pluvial são fabricados com seção circular e possuem uma dupla parede, sendo a interna lisa e a externa lisa ou corrugada. Há uma preferência pela a parede externa corrugada, pois há um aumento da rigidez estrutural do tubo e, conseqüentemente, de sua resistência mecânica (Metálica, 2018, *apud*. Marotta, 2022). Além disso, os tubos se destacam por suas propriedades, como a alta resistência a cargas externas e à abrasão, capacidade de suportar temperaturas elevadas, e uma instalação simples e rápida, permitindo sua adaptação a uma variabilidade de projetos. Essas características fazem deles uma solução inovadora e eficiente para sistemas de drenagem pluvial (KNTS Drain, 2023).

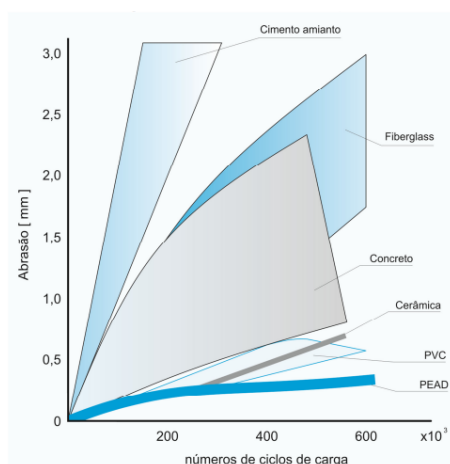
Ademais, os tubos são comercializados em barras de 6 metros, com bolsa integrada e anel de vedação, o que agiliza a instalação em comparação com outros tipos de tubos. Suas paredes internas lisas garantem baixa rugosidade, resultando em um coeficiente de Manning de 0,010. Essa característica indica sua eficiência hidráulica em conduzir os fluidos, e também permite a redução da declividade de instalação ou a diminuição do diâmetro interno (KNTS DRAIN, 2023).

Segundo a Kanaflex (2023), “Os limites de temperatura de operação podem variar entre 0 e 40 °C, sendo admitido o trabalho em temperatura máxima de até 60 °C

em regime esporádico. A referência à temperatura deve ser sempre considerada para o fluido e não para o tubo”.

A mesma fabricante destaca que os tubos de PEAD apresentam uma resistência elevada à abrasão quando comparado a materiais convencionais que também podem ser empregados em obras de infraestrutura. Para avaliar essa propriedade, foi desenvolvido na Alemanha o Teste de Abrasão de Darmstadt, que é um método de ensaio utilizado para medir a resistência à abrasão de tubos fabricados em diferentes materiais, sendo padronizado pela norma DIN 19534. Os resultados desse ensaio estão ilustrados no gráfico da figura 13.

Figura 13 – Resistência a abrasão dos tubos



Fonte: ABPE (2013)

4.3.1.3. Normas

De acordo com as fabricantes TIGRE-ADS (2024) e Kanaflex (NTS Drain - manual técnico, 2023), os tubos de PEAD atendem aos requisitos das seguintes normas:

- ABNT NBR ISO 21138-1: Sistemas de tubulações plásticas para drenagem e esgoto subterrâneos não pressurizados — Sistemas de tubos com paredes estruturadas de Policloreto de Vinila não Plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) e polietileno (PE) - Parte 1: Especificação de materiais e critérios de desempenho para tubos, conexões e sistemas;
- ABNT NBR ISO 21138-3: Sistemas de tubulações plásticas para

drenagem e esgoto subterrâneos não pressurizados — Sistemas de tubos com paredes estruturadas de Policloreto de Vinila não Plastificado (PVC-U), Polipropileno (PP) e Polietileno (PE) - Parte 3: Tubos e conexões com a superfície externa não lisa, Tipo B;

- DNIT 094/2014-EM: Tubos de Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) e poliolefínicos (PE e PP) para drenagem em rodovia – Especificação de material.
- ASTM F2306: Especificação Padrão para Tubos e Conexões de Polietileno (PE) com Parede Perfilada Corrugada Anelar, de 300 mm a 1500 mm (12 pol. a 60 pol.), para Aplicações de Drenagem Pluvial e Drenagem Subsuperficial por Gravidade e sem Pressão

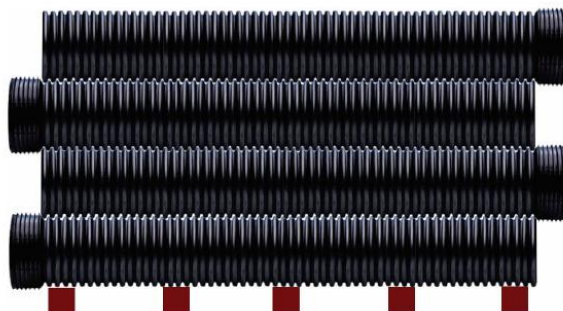
4.3.1.4. Estocagem

A estocagem é uma etapa fundamental para a preservação dos tubos, pois assegura que mantenham sua qualidade e eficácia até a instalação. Conforme apresentado no manual técnico “KNTS Drain – 2023”, a fabricante Kanaflex cita uma série de orientações a serem seguidas durante a estocagem, com o objetivo de evitar danos aos produtos. Abaixo serão listadas as principais orientações:

- Os tubos não devem ser posicionados diretamente no solo, para evitar deformações a parede externa corrugada. A primeira camada deve ser apoiada, de forma horizontal, sobre peças transversais de madeira com uma largura mínima de 10 cm e espaçadas a cada, no máximo, 50 cm.
- Não os armazenar próximos a fontes de calor, evitar o contato com compostos químicos agressivos e manter em locais isentos de elementos que possam danificar os tubos, como entulhos ou objetos cortantes.
- Definir uma altura máxima de 3 metros, a fim de facilitar a retirada e o carregamento dos tubos.
- Não deixar os tubos exposto a céu aberto por um período superior a 12 meses. Mas, caso haja necessidade de um período fora do recomendado, cobrir os tubos com uma lona ou mantê-los em ambiente

coberto e ventilado, para evitar o desgaste dos tubos pela incidência de raios solares.

Figura 14 – Acomodação da tubulação de PEAD sobre caibros de madeira



Fonte: Kanaflex (2023)

Já no Manual de Bolso da fabricante Tigre-ADS (2018), foram acrescentadas as seguintes orientações:

- Se possível, estocar as tubulações próximo do local de instalação, mantendo distante do tráfego e atividades de construção.
- A tubulação empilhada deve ser disposta com as bolsas alternadas entre as camadas, garantindo que a bolsa da camada superior avance em relação à camada inferior, de modo a evitar danos ao produto (Conforme ilustra a figura acima).
- Não se deve arrastar ou bater as extremidades dos tubos no chão ou em outras superfícies, de modo a evitar danos às pontas ou bolsas.

Figura 15 – Cuidados no transporte e descarregamento



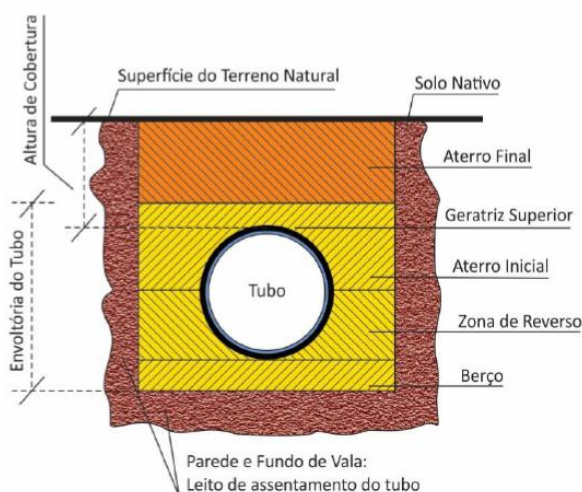
Fonte: Kanaflex (2023)

4.3.1.5. Instalação

As tubulações em PEAD, por se tratar de um material não-rígido, utilizam o sistema tubo-solo para garantir melhor suporte para a instalação. Nesse sistema, a instalação dos tubos enterrados é projetada levando em conta o leito (natural ou aterro) e o envoltório (KNTS DRAIN, 2023).

Dessa forma, o material utilizado no envoltório deve evitar solos de alta plasticidade, com elevado teor de matéria orgânica ou contendo fragmentos de rocha. Também se recomenda não empregar solos suscetíveis à erosão, uma vez que podem gerar vazios ao redor da tubulação e comprometer a estabilidade do sistema (KNTS DRAIN, 2023).

Figura 16 – Tubo enterrado – separação das partes integrantes em uma instalação típica



Fonte: Kanaflex (2023)

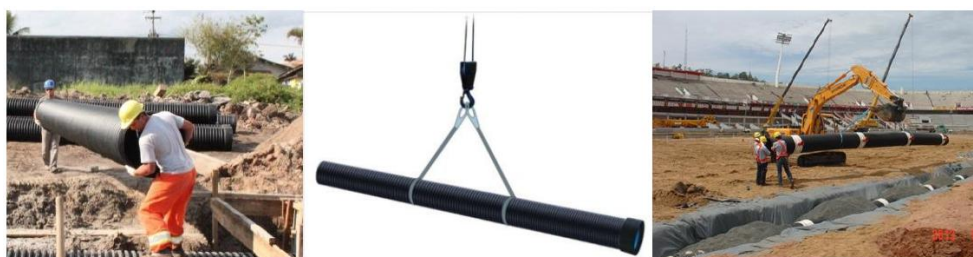
Além disso, o Manual Técnico “KNTS Drain – 2023”, da fabricante Kanaflex, apresenta os procedimentos adequados para a instalação de tubulações em PEAD:

1. **Escavação da Vala:** Na instalação de tubulações enterradas, a abertura da vala deve considerar fatores como o tipo de solo, o material previsto para o envoltório, a presença ou não de água no local e o diâmetro da tubulação. A largura da vala deve ser dimensionada de forma a permitir a execução dos serviços de assentamento e a compactação do solo

adjacente. Quanto à profundidade, deve-se prever os 15 cm destinados à camada de berço, garantindo apoio uniforme ao tubo.

2. **Alinhamento e Declividade:** Como redes de drenagem operam por gravidade, o controle da declividade do trecho e do alinhamento da vala deve ser rigoroso, garantindo que estejam em conformidade com o projeto.
3. **Assentamento e Posicionamento do Tubo:** Essa parte deve ser realizada de forma cuidadosa, garantindo a qualidade do material e a execução correta do projeto. Tubos com o diâmetro nominal de até 400 mm podem ser carregados e posicionados manualmente, já os com diâmetro superior devem ter o auxílio de equipamentos mecânicos com o uso de cintas de nylon fixadas em dois pontos do tubo.

Figura 17 – Carregamento e movimentação de tubos PEAD



Fonte: Kanaflex (2023)

4.3.1.6. Conexões e Encaixes

Segundo a Tigre-ADS (2018), as opções de conexões e sistemas de encaixe disponíveis atendem aos requisitos específicos de projetos para sua aplicação em tubulações de PEAD destinadas à drenagem e condução de fluidos.

A conexão do tipo “abraçadeira” (split couplers/bipartida) pode ser utilizada em tubos de até 1200 mm de diâmetro e é indicada para projetos em que se deseja apenas um sistema simples, destinado a garantir a contenção de aglomerados grossos. Para facilitar o encaixe, os lados dessa junta são articulados, permitindo que se abram e encaixem nas extremidades dos tubos adjacentes, “abraçando-os”. Após

o posicionamento, a fixação é realizada por meio de amarras de nylon inseridas nos orifícios da abraçadeira, garantindo a união dos tubos (Tigre-ADS, 2018).

Figura 18 – Conexão do tipo abraçadeira

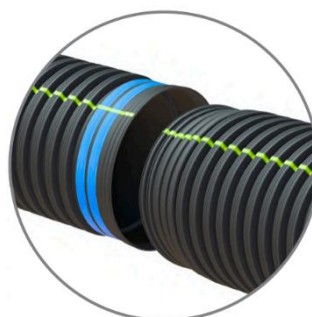


Fonte: Tigre-ADS (2024)

As conexões herméticas à água do tipo Water-Tight (WT) foram desenvolvidas para impedir tanto a entrada de água e materiais externos à rede quanto a saída do fluxo conduzido internamente. Para isso, possuem configuração ponta-e-bolsa ou bocal-bocal, além de anéis de vedação em borracha. Para serem classificadas como herméticas, essas conexões devem suportar pressão de até 10,8 psi (Tigre-ADS, 2018).

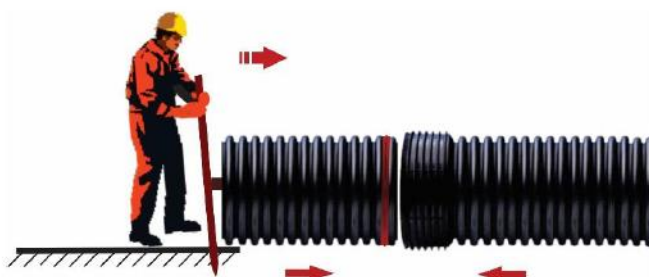
Esse tipo de junta possui encaixe facilitado, devendo seguir os seguintes procedimentos de instalação: com a tubulação já posicionada na vala, realizar a limpeza das extremidades e remover a proteção da borracha de vedação; em seguida, aplicar lubrificante na bolsa e na vedação com o auxílio de um pano ou brocha, favorecendo o deslizamento e o acoplamento; por fim, inserir a ponta na bolsa, mantendo o alinhamento entre os tubos (Tigre-ADS, 2018).

Figura 19 - Conexão hermética à água WT



Fonte: Tigre-ADS (2024)

Figura 20 – Representação da introdução da ponta na bolsa



Fonte: Kanaflex (2023)

4.3.2. Concreto

A Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubo de Concreto (ABTC), por meio do Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário (2008), afirma que o surgimento da indústria de tubos de concreto aconteceu em função de três áreas de expansão ao longo do século XIX:

- A crescente demanda da saúde pública relacionada a água e ao tratamento de despejos.
- A expansão do sistema de transporte.
- Necessidade agrícola por irrigação e drenagem.

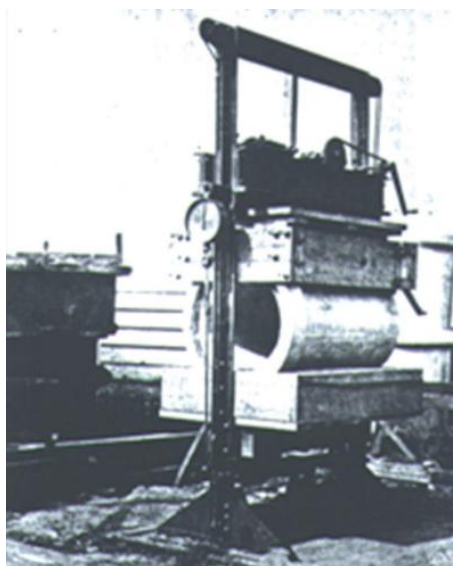
Destaca-se que uma das primeiras galerias de águas pluviais construídas com tubos de concreto foi implantada em 1854, em uma ferrovia no estado de Illinois (Estados Unidos), permanecendo em operação por mais de um século (American Concrete Pipe Association – ACPA, 1980).

A segunda metade do século XIX e o século XX foram marcados por importantes avanços na indústria de tubos de concreto. Esse progresso ocorreu devido à crescente demanda do mercado, que impulsionou o desenvolvimento de pesquisas envolvendo o material, como teorias hidráulicas — principalmente relacionadas à perda de carga e a qualidade do concreto — e a elaboração de normas

específicas, além de melhorias nos projetos e nas técnicas construtivas (ACPA, 1980).

Como parte do avanço na qualidade das tubulações de concreto, foi realizado o primeiro teste de resistência à compressão em 1924, na fábrica da Companhia Americana de Produtos de Concreto em um tubo de 700 mm de diâmetro e 1,50 m de comprimento (ACPA, 1980).

Figura 21 – 1º teste de compressão diametral



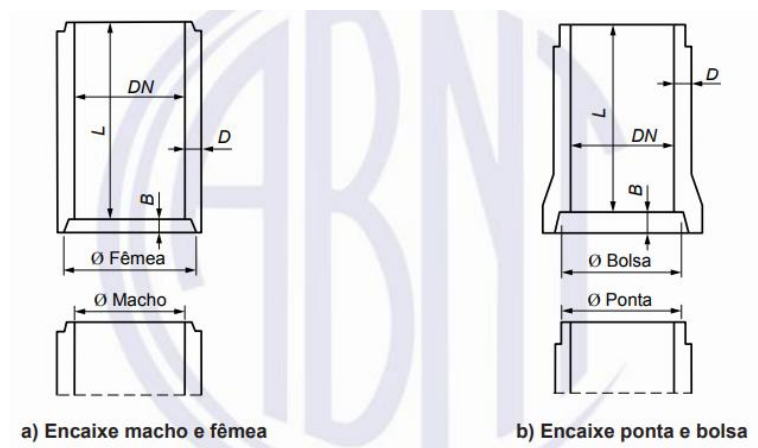
Fonte: ABTC (2008)

Em 2001, foi criada no Brasil a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto, com o objetivo de organizar o setor, dar maior transparência ao mercado e promover a busca contínua pela melhoria da qualidade dos tubos (ABTC, 2008).

4.3.2.1. Características

Conforme a NBR 8890 (ABNT, 2020), os tubos de concreto disponíveis para rede de drenagem possuem a seção circular e são pré-fabricados ou pré-moldados. Podem ser produzidos em concreto simples ou armado, com juntas rígidas ou elásticas. Esses tubos podem possuir apenas dois tipos de encaixe: ponta e bolsa, ou macho e fêmea. As dimensões calculadas devem seguir o tipo de encaixe adotado, conforme apresentado nas tabelas 08 e 09.

Figura 22 – Modelos de encaixe para tubos de concreto



Fonte: NBR 8890 (2020)

Tabela 07 – Dimensões dos tubos com encaixe ponta e bolsa

Dimensões em milímetros

Diâmetro nominal	Comprimento útil mínimo do tubo	Comprimento mínimo da bolsa	Folga máxima do encaixe	Espessura mínima de parede					
				D					
DN	L	B	C ^a	PS1	PS2	PA1	PA2	PA3	PA4
200	1000	50	30	30	30	-	-	-	-
300	1000	60	30	30	30	45	45	45	45
400	1000	65	30	40	40	45	45	45	45
500	1000	70	40	50	50	50	50	50	60
600	1000	75	40	55	55	60	60	60	70
700	1000	80	40	-	-	66	66	75	80
800	1000	80	40	-	-	72	72	80	95
900	1000	80	40	-	-	75	75	90	100
1000	1000	80	40	-	-	80	80	100	115
1100	1000	80	50	-	-	90	90	112	125
1200	1000	90	50	-	-	96	96	125	140
1300	1000	90	50	-	-	105	105	130	155
1500	1000	90	60	-	-	120	120	155	160
1750	1000	100	60	-	-	140	140	165	175
2000	1000	100	60	-	-	160	160	170	180

^a C é a diferença entre o diâmetro interno mínimo da bolsa e o diâmetro externo da ponta do tubo

NOTA O atendimento às dimensões estabelecidas nesta Tabela não elimina a necessidade de verificação dos requisitos de resistências à compressão diametral e os demais requisitos estabelecidos nesta Norma.

Fonte: Adaptado de NBR 8890 (2020)

Tabela 08 – Dimensões dos tubos com encaixe macho e fêmea

Diâmetro nominal	Comprimento útil mínimo do tubo	Comprimento mínimo da bolsa	Folga máxima do encaixe	Dimensões em milímetros					
				Espessura mínima de parede					
				D					
DN	L	B	C ^a	PS1	PS2	PA1	PA2	PA3	PA4
500	950	20	40	50	50	50	50	50	60
600	950	20	40	55	55	60	60	60	70
700	950	35	40	-	-	66	66	75	80
800	950	35	40	-	-	72	72	80	95
900	950	35	40	-	-	75	75	90	100
1000	950	35	40	-	-	80	80	100	115
1100	950	35	50	-	-	90	90	112	125
1200	950	35	50	-	-	96	96	125	140
1300	950	35	50	-	-	105	105	130	155
1500	950	35	60	-	-	120	120	155	160
1750	950	35	60	-	-	140	140	165	175
2000	950	35	60	-	-	160	160	170	180
α C é a diferença entre o diâmetro interno mínimo da bolsa e o diâmetro externo da ponta do tubo									
NOTA 1 O atendimento às dimensões estabelecidas nesta Tabela não elimina a necessidade de verificação dos requisitos de resistências à compressão diametral e os demais requisitos estabelecidos nesta Norma.									
NOTA 2 Tubos com sistema macho e fêmea só podem ser fabricados com diâmetro nominal a partir de 500 mm.									

Fonte: Adaptado de NBR 8890 (2020)

De acordo com a NBR 8890 (ABNT, 2020), os tubos de concreto simples não possuem reforço estrutural, já os de concreto armado podem apresentar até três tipos de reforço:

- **Tubo de concreto armado:** reforçado estruturalmente com barras de aço ou telas de aço soldadas.
- **Tubo de concreto armado com Reforço Secundário de Fibras (RSF):** além dos materiais utilizados no tubo de concreto armado, conta com reforço secundário de fibras de aço.
- **Tubo de concreto com Reforço em Fibras (RF):** estruturado exclusivamente com fibra de aço como reforço.

É necessário verificar a classe de resistência do tubo para garantir que ele atenda aos requisitos de projeto. Esse parâmetro é definido por meio do ensaio de resistência à compressão diametral e os resultados devem atender aos valores especificados nas tabelas 09 e 10 (ABNT NBR 8890, 2020).

Figura 23 – Ensaio de resistência à compressão diametral



Fonte: ABTC (2008)

Tabela 09 – Compressão diametral de tubos de concreto armado, reforçados com fibra ou armados com reforço secundário de fibras

DN	Água pluvial								Esgoto sanitário					
	Força mínima isenta de fissura kN/m				Força mínima de ruptura ^b kN/m				Força mínima isenta de fissura kN/m			Força mínima de ruptura ^b kN/m		
Classe ^a	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4	EA2	EA3	EA4	EA2	EA3	EA4
300	12	18	27	36	18	27	41	54	18	27	36	27	41	54
400	16	24	36	48	24	36	54	72	24	36	48	36	54	72
500	20	30	45	60	30	45	68	90	30	45	60	45	68	90
600	24	36	54	72	36	54	81	108	36	54	72	54	81	108
700	28	42	63	84	42	63	95	126	42	63	84	63	95	126
800	32	48	72	96	48	72	108	144	48	72	96	72	108	144
900	36	54	81	108	54	81	122	162	54	81	108	81	122	162
1000 ^c	40	60	90	120	60	90	135	180	60	90	120	90	135	180
1100	44	66	99	132	66	99	149	198	66	99	132	99	149	198
1200	48	72	108	144	72	108	162	216	72	108	144	108	162	216
1500	60	90	135	180	90	135	203	270	90	135	180	135	203	270
1750	70	105	158	210	105	158	237	315	105	158	210	158	237	315
2000	80	120	180	240	120	180	270	360	120	180	240	180	270	360
Força diametral isenta de fissura/ruptura														
kN/m														
Qd	40	60	90	120	60	90	135	180	60	90	120	90	135	180
^a Para classes superiores a PA4 e EA4 devem ser utilizadas galerias celulares de seção retangular de acordo com a ABNT NBR 15396. ^b Para tubos armados, reforçados com fibra e armados com reforço secundário de fibras, a força de ruptura mínima deve corresponder a 1,5 da força mínima isenta de fissura. ^c Tubos reforçados exclusivamente com fibras de aço podem ser fabricados com diâmetro nominal de até 1000 mm. Os tubos com diâmetro nominal maior que 1000 mm devem ser armados ou armados com reforço secundário em fibras de aço. Força diametral isenta de fissura ou ruptura é a relação entre a força isenta de fissura ou ruptura e o diâmetro nominal do tubo.														

Fonte: Adaptado de NBR 8890 (2020)

Tabela 10 – Compressão diametral de tubos simples

DN	Água pluvial		Esgoto sanitário
	Força mínima de ruptura <i>kN/m</i>		Força mínima de ruptura <i>kN/m</i>
Classe	PS1	PS2	ES
200	16	24	36
300	16	24	36
400 ^a	16	24	36
500	20	30	45
600 ^b	24	36	54
Força diametral de ruptura <i>kN/m</i>			
Qd	40	60	90
^a Para tubos simples com diâmetro igual ou menor que 400 mm, a força mínima de ruptura é correspondente a este valor. ^b Tubos com diâmetro nominal acima de 600 mm devem ser armados, reforçados com fibras de aço ou armados com reforço secundário de fibras de aço.			

Fonte: Adaptado de NBR 8890 (2020)

As nomenclaturas dos tubos de concreto são definidas com base em sua aplicação, na presença ou ausência de reforço estrutural e na classe de resistência (ABTC - Tubos e Aduelas, 2024). Dessa forma, os tubos utilizados para drenagem são classificados da seguinte maneira:

- **Tubo de concreto simples:** PS1 e PS2;
- **Tubo de concreto armado:** PA1, PA2, PA3 e PA4;

4.3.2.2. Fabricação

Por muitos anos, os tubos de concreto eram produzidos diretamente no local da obra, utilizando moldes fixos e sem o auxílio de maquinário. Essa forma de fabricação, somada às variações climáticas (como correntes de ar e chuvas), resultava em produtos de baixa qualidade. Esse cenário começou a mudar na década de 1960, com a introdução de equipamentos de produção por vibro-compactação e compressão radial, que elevaram o padrão dos tubos fabricados. Nas décadas seguintes, o processo evoluiu ainda mais, passando a ocorrer em indústrias com alto grau de automatização (ABTC, 2008).

Figura 24 – Fabricação de tubo de concreto



Fonte: ABTC (2008)

A NBR 8890 (ABNT, 2020) estabelece alguns requisitos em relação a fabricação dos tubos de concreto destinados à drenagem:

- A relação água/cimento deve ser no máximo de 0,50 (em litros de água por quilogramas de cimento), com consumos de cimento definidos conforme a ABNT NBR 12655.
- Pode ser utilizado qualquer tipo de cimento Portland, conforme a ABNT NBR 16697. Entretanto, em casos de comprovada agressividade do meio externo, a definição dos parâmetros de preparação do concreto e seleção do tipo de cimento devem ser realizadas de acordo com a avaliação prevista nas ABNT NBR 6118 e ABNT NBR 12655.
- Para atender os requisitos da ABNT NBR 15900-1, a água deve ser límpida, desprovida de teores prejudiciais de sais, óleos, ácidos, álcalis e substâncias orgânicas, e não alterar a reologia do concreto.
- Para atender aos requisitos da ABNT NBR 7211, a dimensão máxima dos agregados deve ser limitada ao menor valor entre um terço da espessura da parede do tubo e o cobrimento mínimo da armadura. No caso de tubos reforçados exclusivamente com fibras de aço, a dimensão

máxima dos agregados deve ser limitada apenas a um terço da espessura da parede do tubo.

- Os aditivos utilizados no concreto devem atender ao disposto na ABNT NBR 11768, e o teor de íon cloro no concreto não pode ultrapassar 0,15%, conforme determinado pela ABNT NBR 10908. Além disso, os aditivos devem ser armazenados em local protegido de intempéries, umidade e calor, respeitando-se o prazo de validade estabelecido pelo fabricante.
- Após a moldagem, os tubos devem ser submetidos a um método de cura adequado e por tempo suficiente, garantindo a resistência necessária e evitando a formação de fissuras que possam comprometer o desempenho do produto.

Ademais, todos os tubos devem apresentar, em caracteres legíveis e gravados em baixo-relevo no concreto ainda fresco, o nome ou a marca do fabricante, o diâmetro nominal, a classe ou resistência do tubo, a data de fabricação e um número que permita o rastreamento completo de suas características de produção. No caso de tubos reforçados exclusivamente com fibras de aço e dos tubos armados com reforço secundário de fibra devem ser identificados com suas respectivas siglas: “RF” e “RSF” (ABNT NBR 8890, 2020).

4.3.2.3. Estocagem

A NBR 8890 (ABNT, 2020) determina que os tubos devem ser estocados, seja na fábrica ou na obra, conforme as orientações do fabricante e com proteção adequada contra a contaminação dos mesmos.

O Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário (ABTC, 2008) estabelece os seguintes pontos para a correta estocagem dos tubos de concreto:

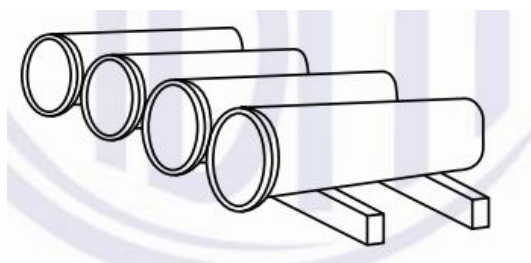
- Devem ser designado locais apropriados para a estocagem dos tubos, preferencialmente nivelados, limpos e livre de empecilhos, como pedras ou objetos salientes.
- Os tubos não devem permanecer em condições expostas por um longo

período. Caso não seja possível, os tubos devem ser protegidos do contato com sol e solo.

- Os tubos devem ser estocados preferencialmente na posição vertical. Quando for necessária a estocagem na posição horizontal, devem ser apoiados sobre pontos isolados na ponta e na bolsa, conforme as recomendações do fabricante.
- Quando os tubos forem estocados de forma empilhada, devem ser obrigatoriamente calçados por motivos de segurança e de forma que o peso dos tubos seja distribuído uniformemente, evitando-se cargas concentradas.
- Recomenda-se que os tubos não sejam empilhados próximos ao local de abertura das valas e que a altura de empilhamento não exceda os valores indicados na tabela 11.

Além disso, a NBR 8890 (ABNT, 2020) acrescenta que os tubos devem ser apoiados sobre materiais que não provoquem danos, como cascalho compactado, concreto ou asfalto. A norma também recomenda que, no empilhamento horizontal, seja garantido que os tubos já tenham atingido resistência suficiente para essa condição, o que ocorre, em geral, três dias após a fabricação.

Figura 25 – Apoio dos tubos de encaixe ponta e bolsa quando estocados na horizontal



Fonte: ABNT NBR 8890 (2020)

Tabela 11 – Empilhamento máximo recomendado dos tubos de concreto

Diâmetro nominal mm	Número máximo de pilhas
200 a 400	4
500 a 600	3
700 a 1000	2
> 1000	1
NOTA Os tubos de concreto não podem ser empilhados ou receber qualquer tipo de carregamento até que atinjam características de resistência mecânica para tal.	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8890 (2020)

4.3.2.4. Instalação

A instalação de tubos de concreto em redes de drenagem deve seguir os alinhamentos e cotas definidos em projeto, garantindo o adequado funcionamento do sistema. A escavação da vala deve ser realizada preferencialmente de jusante para montante, facilitando o controle da declividade. Além disso, devem ser adotadas medidas que assegurem a estabilidade da vala e condições adequadas de trabalho, como o escoramento adequado e a manutenção da vala seca durante a execução (ABNT NBR 15645, 2020).

O assentamento dos tubos deve ser executado de forma cuidadosa, respeitando o posicionamento correto das peças e assegurando a adequada união entre elas. As juntas devem ser devidamente vedadas, de modo a garantir a estanqueidade do sistema, enquanto o fundo da vala deve ser previamente preparado de acordo com as características do terreno, podendo ser adotadas diferentes soluções de apoio. Esses procedimentos contribuem para a durabilidade da tubulação e para o desempenho hidráulico da rede, conforme estabelecido pela ABNT NBR 15645 (2020).

Ademais, o reaterro da vala deve ser realizado de maneira gradual e controlada, iniciando-se pelas laterais do tubo, com compactação adequada do material utilizado. O reaproveitamento do solo escavado é admitido desde que apresente condições de compactação e estabilidade; caso contrário, deve ser substituído por material apropriado. A correta execução do reaterro é fundamental para garantir a estabilidade da tubulação e evitar patologias futuras, em conformidade com as diretrizes da ABNT NBR 15645 (2020).

Figura 26 – Instalação de rede de drenagem



Fonte: ABTC (2008)

5. METODOLOGIA

5.1. ÁREA DE ESTUDO

Neste trabalho, adotou-se um loteamento fictício para a aplicação do dimensionamento e análise hidráulica da rede de drenagem. O loteamento é composto por 17 quadras destinadas ao uso residencial, além de 4 áreas institucionais e 1 área verde. A área total do empreendimento é de 366.240 m².

As cotas naturais do terreno variam entre 63 m e 86 m, enquanto as cotas dos nós da rede de drenagem projetada situam-se entre 63 m e 79 m. Mesmo se tratando de um loteamento fictício, foram adotados, para o desenvolvimento do estudo, os parâmetros de projeto estabelecidos pelo município de Teresina/PI, de forma a garantir maior coerência técnica e aproximação com condições reais de implantação.

Figura 27 – Planta situação do loteamento



5.2. DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM

5.2.1. Área de Contribuição

A análise hidrológica deste estudo iniciou-se com a definição das áreas de contribuição associadas a cada trecho do loteamento. A partir dessa delimitação espacial, foram aplicados os parâmetros hidrológicos necessários, permitindo que o dimensionamento hidráulico representasse adequadamente a contribuição de escoamento captada por cada elemento da rede de drenagem.

Figura 28 – Delimitação das áreas de contribuição



Fonte: Autora (2025)

5.2.2. Vazão de Projeto (Qp)

Para a determinação da vazão de projeto, adotou-se o método racional, expresso pela equação apresentada a seguir.

$$Q = 2,78 \times C \times I \times A \quad (15)$$

Onde:

Q – Vazão máxima do escoamento superficial (m³/s);

C – Coeficiente de escoamento superficial;

I – Intensidade da precipitação (mm/h);

A – Área da bacia (ha);

5.2.3. Tempo de Concentração (tc)

O tempo de concentração utilizado na pesquisa foi determinado conforme estabelecido pelo PDDrU de Teresina, sendo calculado por meio da equação abaixo, a qual foi aplicada de forma uniforme a todas as microbacias analisadas.

$$t_c = \frac{4,968 \times L^{0,24}}{S^{0,16} \times A_{imp}^{0,26}} \quad (16)$$

Onde:

tc – Tempo de concentração (min);

L – Comprimento do talvegue (km);

S – Declividade (m/m);

A_{imp} – Fração da área impermeável;

Ademais, ao utilizar o Método Racional para a definição da vazão máxima de projeto, adotou-se o princípio fundamental de que a duração da chuva de projeto seja igual ao tempo de concentração calculado.

5.2.4. Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

Foi determinado um coeficiente médio para toda a área de estudo, calculado da seguinte maneira:

$$C_m = \frac{A_1 \times C_1 + A_2 \times C_2 + \dots + A_n \times C_n}{\sum A} \quad (17)$$

Onde:

C_m – Coeficiente médio;

A – Área da bacia;

Para a definição dos coeficientes de escoamento, foram utilizadas as Tabelas 01 e 02, estabelecidas pelo DNIT, adotando-se os seguintes valores: 0,10 para áreas verdes, 0,50 para áreas institucionais, 0,60 para lotes e 0,95 para ruas.

Com base nesses critérios, o coeficiente adotado foi de 0,64.

5.2.5. Intensidade de Chuva de Projeto (i)

A intensidade de precipitação foi definida por meio da equação apresentada a seguir, conforme o PDDrU de Teresina, adotando-se este procedimento para todas as microbacias analisadas.

$$i = \frac{1194,273 \times TR^{0,1738}}{(t+10)^{0,7457}} \quad (18)$$

Onde:

i – Intensidade máxima média de chuva (mm/h);

TR – Tempo de retorno (anos);

t – Duração da chuva (min);

5.2.6. Tempo de Retorno (TR)

O tempo de retorno utilizado na pesquisa atende aos critérios para projetos de microdrenagem em áreas residenciais, conforme o Manual de Drenagem do DEP/POA, sendo, portanto, definido em 5 anos.

5.2.7. Sarjetas

O dimensionamento hidráulico das sarjetas foi realizado conforme as diretrizes do PDDrU de Teresina, por meio da aplicação da equação de Manning transformada.

$$Q = \frac{A \times R h^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (19)$$

Onde:

Q – Vazão (m³/s);

A – Área da seção transversal (m²);

Rh – Raio hidráulico (m);

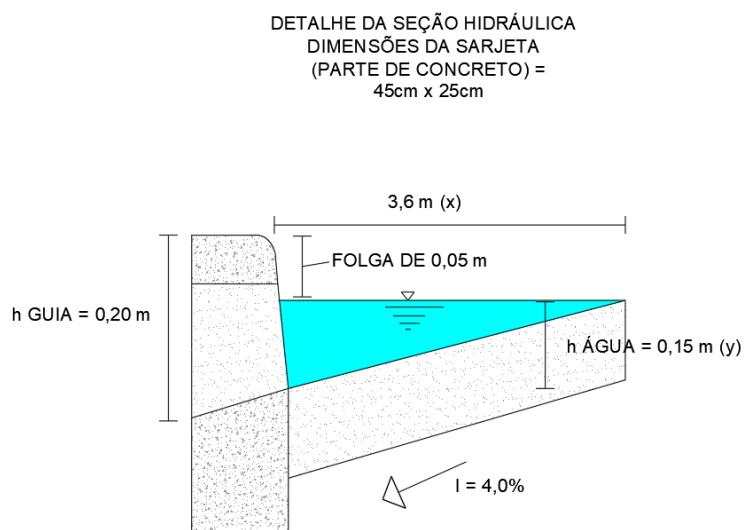
S – Declividade (m/m);

n – Coeficiente de rugosidade de Manning;

Para a pesquisa, adotou-se um coeficiente de rugosidade igual a 0,015, conforme a Tabela 05 do DEP/POA.

Em razão da padronização das vias do loteamento, o estudo considerou uma única seção de sarjeta, cujo detalhamento é apresentado a seguir.

Figura 29 – Detalhamento da seção hidráulica da sarjeta



Fonte: Autora (2025)

Quadro 04 – Detalhamento do dimensionamento hidráulico da sarjeta

Detalhamento hidráulico da sarjeta						
Y (m)	X (m)	Am (m ²)	Pm (m)	Rh (m)	n	TR (anos)
0,15	3,6	0,27	3,75	0,072	0,015	5

Fonte: Autora (2025)

Nos trechos em que a vazão de projeto excede a capacidade de escoamento das sarjetas, procede-se à implantação de bocas de lobo e de galerias

5.2.8. Bocas de lobo

Considerando que a lâmina d'água ($y = 0,15$ m) é inferior à altura da guia ($h = 0,20$ m), adotou-se, neste trabalho, o dimensionamento das bocas de lobo como

vertedores, conforme a equação estabelecida pelo Manual de Drenagem do DNIT.

$$Q = 1,7 \times L \times y^{3/2} \quad (20)$$

Onde:

Q – Vazão de engolimento (m³/s);

L – Comprimento da abertura (m);

y – Altura da água na entrada (m);

h – Altura da abertura do meio-fio (m);

5.2.9. Galerias

No presente estudo, foram consideradas galerias em seção circular, adotando-se coeficientes de rugosidade (n) distintos para cada material. Para os tubos de PEAD, foi utilizado o valor de $n = 0,010$, conforme indicado pelos fabricantes Kanaflex e Tigre-ADS, enquanto para os tubos de concreto adotou-se $n = 0,014$, conforme a Tabela 05 do DEP/POA.

Para o cálculo dos diâmetros, foi utilizado a equação a seguir:

$$D = 1,55 \times \left(\frac{Q \times n}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (21)$$

Onde:

Q – Vazão máxima (m³/s);

D – Diâmetro da tubulação (m);

n – Coeficiente de rugosidade (adimensional);

S – Declividade (m/m);

Para a validação do dimensionamento hidráulico, estabeleceu-se como critério de controle que a lâmina d'água não excedesse 81,3% do diâmetro interno das galerias, conforme indica a Kanaflex.

5.2.10. Velocidade de Escoamento (v)

Para a determinação da velocidade de escoamento na tubulação, adotou-se a equação de Manning, conforme o Manual de Drenagem do DNIT, assegurando-se que os valores calculados permanecessem dentro dos limites estabelecidos pelo Manual de Drenagem do DEP/POA.

$$v = \frac{Rh^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (22)$$

Onde:

v – Velocidade de escoamento (m/s);

Rh – Raio hidráulico (adimensional);

S – Declividade (m/m);

n – Coeficiente de rugosidade (adimensional);

5.3. LEVANTAMENTO DE QUANTITATIVOS

O levantamento de quantitativos é uma etapa fundamental no processo de orçamentação, tanto pelo tempo necessário à sua execução quanto pelo impacto significativo que exerce sobre os custos finais da obra. Segundo Mattos (2006), “[...] é uma das que intelectualmente mais exigem do orçamentista, porque demanda leitura de projeto, cálculo de áreas e volumes, etc.”

A seguir, apresenta-se o procedimento adotado para a definição dos quantitativos utilizados neste trabalho.

5.3.1. Metodologia para o Cálculo de Quantitativos

5.3.1.1. Largura Total da Vala

Segundo o Caderno de Encargos (DEP/POA, 2005), a largura da vala destinada ao assentamento da tubulação de concreto deve ser definida a partir do diâmetro externo (DE) do tubo, acrescido de um valor adicional. Esse acréscimo varia conforme o diâmetro nominal (DN) da tubulação.

Dessa forma, a largura total da vala é definida conforme definido abaixo:

- Para tubos com DN de 30 e 40 cm:

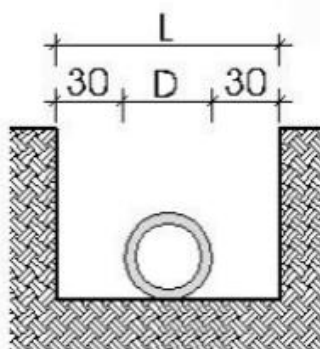
$$L_{vala} = DE + 60 \quad (23)$$

Onde:

L_{vala} – Largura Total da Vala (cm);

DE – Diâmetro Externo do Tubo (cm);

Figura 30 – Largura total para tubos com DN de 30 e 40 cm



Fonte: DEP/POA (2005)

- Para tubos com DN de 50 e 60 cm:

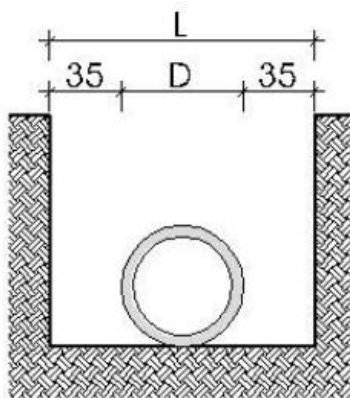
$$L_{vala} = DE + 70 \quad (24)$$

Onde:

L_{vala} – Largura Total da Vala (cm);

DE – Diâmetro Externo do Tubo (cm);

Figura 31 – Largura total para tubos com DN de 50 e 60 cm



Fonte: DEP/POA (2005)

- Para tubos com DN superior a 60 cm:

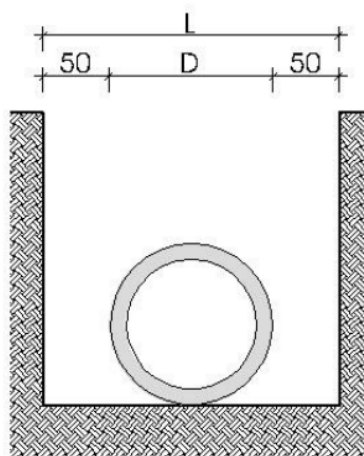
$$L_{vala} = DE + 100 \quad (25)$$

Onde:

L_{vala} – Largura Total da Vala (cm);

DE – Diâmetro Externo do Tubo (cm);

Figura 32 – Largura total para tubos com DN superior a 60 cm



Fonte: DEP/POA (2005)

Para os tubos de PEAD, a fabricantes Tigre-ADS (2024) recomenda uma largura mínima da vala conforme o diâmetro nominal do tubo, conforme ilustrado na figura a seguir:

Figura 33 – Largura mínima de vala recomendada para tubos de PEAD

Diâmetro Nominal (mm)	100	150	200	250	300	375	400	450	500	600	750	800	900	1050	1200	1500
Largura Mínima da Vala (mm)	520	576	632	690	767	856	875	981	1021	1196	1425	1450	1605	1815	2009	2400

Fonte: Tigre-ADS (2018)

5.3.1.2. Profundidade da Vala

A profundidade da vala é determinada a partir da definição do recobrimento mínimo, diâmetro externo do tubo e a espessura da base (Lastro de brita e Radier, se houver). Sendo calculada pela seguinte expressão:

$$P = R_{\min} + DE + E_{\text{lastro}} + E_{\text{radier}} \quad (26)$$

Onde:

P – Profundidade da vala (m);

$R_{\min}$ – Recobrimento mínimo (m);

DE – Diâmetro externo do tubo (m);

E_{lastro} – Espessura do lastro (m);

E_{radier} – Espessura do radier (m), se houver;

Para tubos de concreto, adota-se o recobrimento mínimo de 1,0 m (DEP/POA, 2005), enquanto para os tubos de PEAD é de 0,30 m (Tigre-ADS, 2018).

5.3.1.3. Escavação

Para o cálculo do volume de escavação, utiliza-se a seguinte equação:

$$V_{\text{escavação}} = L_{\text{vala}} \times P \times C \quad (27)$$

Onde:

$V_{\text{escavação}}$ – Volume de escavação (m³);

L_{vala} – Largura da vala (m);

P – Profundidade da vala (m);

C – Comprimento da vala (m);

5.3.1.4. Fundações para Assentamento dos Tubos

5.3.1.4.1. Lastro de brita ou areia

Para os tubos de PEAD, é obrigatória a execução da camada de berço, constituída por um lastro de areia não compactada com 15 cm de espessura (KNTS-Drain, 2023). No caso dos tubos de concreto, o material dessa camada pode variar conforme as condições do solo ou do tipo de junta do tubo, podendo ser utilizada areia

ou brita, geralmente com espessura de 10 cm. Em situações em que o solo apresenta condições inadequadas, recomenda-se a aplicação de um lastro de pedra amarrada abaixo desse lastro (DEP/POA, 2005).

O volume dessa camada é determinado pela seguinte equação:

$$V_{lastro} = C \times L_{vala} \times E \quad (28)$$

Onde:

V_{lastro} – Volume total do lastro (m³);

C – Comprimento da vala (m);

L_{vala} – Largura da vala (m);

E – Espessura do lastro (m);

5.3.1.4.2. Radier

Para os tubos de PEAD, não há necessidade de execução de radier. Já para os tubos de concreto, essa necessidade varia conforme o tipo de junta utilizado, o diâmetro nominal e o recobrimento do tubo, para melhorar as condições de apoio e acomodação da tubulação.

A largura do radier é definida a partir do diâmetro externo do tubo, acrescido de 10 cm em cada lado, enquanto sua espessura é estabelecida em 10 cm (DEP/POA, 2005).

Quadro 05 – Critérios para o uso do radier

DN (mm)	Tipo de Junta	Recobrimento	Radier
Todos	Rígida ou Elástica	Inferior ao mínimo	Sim
< 800	Rígida ou Elástica	Acima do mínimo	Não
≥ 800	Rígida	Acima do mínimo	Sim
≥ 800	Elástica	Acima do mínimo	Não

O volume do radier é calculado por meio da seguinte expressão:

$$V_{radier} = C \times L \times E \quad (29)$$

Onde:

V_{radier} – Volume de radier (m^3);

C – Comprimento da vala (m);

L – Largura do radier (m);

E – Espessura do radier (m);

5.3.1.5. Escoramento

O escoramento deve ser utilizado sempre que houver risco de desmoronamento ou quando a escavação possuir profundidade superior a 1,50 m. Recomenda-se que seja cravado 30 cm abaixo da profundidade da vala e 20 cm acima da cota do terreno, garantindo estabilidade durante a implantação da tubulação (DEP/POA, 2005).

A área de escoramento é determinada pela equação abaixo:

$$A_{escoramento} = ((0,20 + P + 0,30) \cdot C) \times 2 \quad (30)$$

Onde:

$A_{escoramento}$ – Área de escoramento (m^2);

P – Profundidade da vala (m);

C – Comprimento da vala (m);

5.3.1.6. Reaterro

O volume total de reaterro é determinado por meio da expressão:

$$Vr = Ve - Vd \quad (31)$$

Onde:

Vr – Volume de reaterro (m^3);

Ve – Volume escavado (m^3);

Vd – Volume a deduzir (m^3), obtido a partir da soma dos volumes de todas as estruturas executadas na vala;

5.3.1.7. Bota-fora

O volume de bota-fora corresponde ao material resultante da escavação que não será utilizado no reaterro. De acordo com o CE-DEP/POA (2005), aplica-se a esse volume um acréscimo de 35% devido ao empolamento dos materiais terrosos, conforme a expressão apresentada a seguir.

$$V_{bota-fora} = (Ve - Vr) \times 1,35 \quad (32)$$

Onde:

$V_{bota-fora}$ – Volume de bota-fora (m^3);

Ve – Volume escavado (m^3);

Vr – Volume de reaterro (m^3);

5.3.1.8. Pavimento

A área correspondente ao pavimento asfáltico é calculada considerando um sobrelargura de segurança de 2 m, conforme estabelecido pelo DEP/POA (2005), por meio da expressão:

$$A_{pav.} = (L_{vala} + 2,0) \times C \quad (33)$$

Onde:

$A_{pav.}$ – Área de pavimento (m²);

L_{vala} – Largura da vala (m);

C – Comprimento da vala (m);

5.3.2. Orçamento

Após a definição dos quantitativos dos serviços considerados neste estudo, realizou-se a análise das composições de custos e dos insumos correspondentes, adotando-se critérios para a elaboração de um orçamento compatível com a realidade local. Para a definição dos preços, utilizaram-se bases de referência amplamente empregadas na construção civil: o SINAPI (Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil), a SEINFRA (Secretaria de Infraestrutura), o ORSE (Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe) e o SICRO (Sistema de Custos Referenciais de Obras).

Apresentam-se, nos apêndices C e D, os orçamentos para a execução da rede de drenagem com tubos de concreto e PEAD. Estão excluídos desta estimativa os custos relativos a dispositivos acessórios (poços de visita e bocas de lobo), estruturas singulares e manutenções.

6. RESULTADOS E ANÁLISES

6.1. DIMENSIONAMENTO COM TUBULAÇÃO DE CONCRETO

O dimensionamento hidráulico completo da rede de drenagem pluvial com tubos de concreto encontra-se apresentado no apêndice A, enquanto os quadros 06 e 07 sintetizam os principais resultados obtidos. Os dados utilizados foram calculados conforme apresentado na metodologia.

Quadro 06 – Resumo do dimensionamento da rede de concreto (continua)

PV Inicial	PV Final	Extensão	Área de Contribuição		Período de Retorno	Tempo de Concentração	Intensidade Máxima de Chuva	Coeficiente <i>Run Off</i>	Coeficiente de Manning	Declividade	Vazão Máxima para cada Trecho	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Comercial Adotado	Velocidade de Projeto do Tubo	Tempo de Escoamento
Mon.	Jus.	L	Inc.	Acum.	T	t_c	I	"C"	"n"	S	Q	Ø	Ø _{adotado}	V	t
		(m)	(m²)	(m²)	(anos)	(min)	(mm/h)	adm.	adm.	(m/m)	(m³/s)	(m)	(m)	(m/s)	(min)
01	02	47,65	1090,45	19179,90	5	30,79	99,44	0,64	0,0014	0,0144	0,3391	0,462	0,5	2,40	0,71
02	03	47,35	1679,00	20858,90	5	31,66	97,90	0,64	0,0014	0,0139	0,3631	0,477	0,5	2,39	0,72
03	04	65,00	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0014	0,0122	0,5175	0,558	0,6	2,50	0,74
04	05	70,15	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0014	0,0122	0,5175	0,558	0,6	2,50	0,74
05	06	70,25	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0014	0,0063	1,1276	0,845	0,9	2,37	0,71
06	07	68,95	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0014	0,0063	1,1276	0,845	0,9	2,37	0,71
09	08	75,85	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0014	0,0161	0,6776	0,586	0,6	2,92	0,89
08	07	80,10	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0014	0,0161	0,6776	0,586	0,6	2,92	0,89
07	10	87,50	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0014	0,0061	1,8345	1,021	1,1	2,64	0,78
10	11	76,60	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0014	0,0061	1,8345	1,021	1,1	2,64	0,78
11	12	82,35	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0014	0,0061	1,8345	1,021	1,1	2,64	0,78
12	13	72,10	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0014	0,0060	2,0810	1,074	1,1	2,66	0,81

Quadro 07 – Resumo do dimensionamento da rede de concreto

PV Inicial	PV Final	Extensão	Área de Contribuição		Período de Retorno	Tempo de Concentração	Intensidade Máxima de Chuva	Coefficiente <i>Run Off</i>	Coefficiente de Manning	Declividade	Vazão Máxima para cada Trecho	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Comercial Adotado	Velocidade de Projeto do Tubo	Tempo de Escoamento
Mon.	Jus.	L	Inc.	Acum.	T	t_c	I	"C"	"n"	S	Q	Ø	Ø _{adotado}	V	t
		(m)	(m²)	(m²)	(anos)	(min)	(mm/h)	adm.	adm.	(m/m)	(m³/s)	(m)	(m)	(m/s)	(min)
13	14	61,80	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0014	0,0060	2,0810	1,074	1,1	2,66	0,81
14	15	94,35	8710,60	179877,91	5	50,99	73,67	0,64	0,0014	0,0078	2,3560	1,073	1,1	3,03	0,92
15	16	90,25	12012,30	229230,71	5	54,61	70,58	0,64	0,0014	0,0069	2,8762	1,182	1,2	3,02	0,92
17	16	56,55	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0014	0,0122	1,5469	0,841	0,9	3,28	0,98
18	17	54,55	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0014	0,0122	1,5469	0,841	0,9	3,28	0,98
19	18	59,60	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0014	0,0213	0,9071	0,620	0,7	3,57	1,02
20	19	57,85	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0014	0,0213	0,9071	0,620	0,7	3,57	1,02
21	20	102,70	6645,00	48607,85	5	35,01	92,41	0,64	0,0014	0,0165	0,7986	0,620	0,7	3,15	0,90
22	21	101,85	7407,10	33205,80	5	31,96	97,37	0,64	0,0014	0,0188	0,5748	0,535	0,6	3,03	0,87
23	18	105,00	5404,95	39739,50	5	32,61	96,26	0,64	0,0014	0,0169	0,6801	0,581	0,6	2,97	0,90
24	23	82,25	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0014	0,0188	0,5254	0,518	0,6	2,96	0,82
25	24	80,20	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0014	0,0188	0,5254	0,518	0,6	2,96	0,82

6.2. DIMENSIONAMENTO COM TUBULAÇÃO DE PEAD

O dimensionamento hidráulico completo da rede de drenagem pluvial com tubos de PEAD encontra-se apresentado no apêndice B, enquanto os quadros 08 e 09 sintetizam os principais resultados obtidos. Para fins de comparação, foi empregada a mesma planilha de dimensionamento utilizada para os tubos de concreto.

Quadro 08 – Resumo do dimensionamento da rede de PEAD (continua)

PV Inicial	PV Final	Extensão	Área de Contribuição		Período de Retorno	Tempo de Concentração	Intensidade Máxima de Chuva	Coefficiente <i>Run Off</i>	Coefficiente de Manning	Dedividade	Vazão Máxima para cada Trecho	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Comercial Adotado	Velocidade de Projeto do Tubo	Tempo de Escoamento
Mon.	Jus.	L	Inc.	Acum.	T	t_c	I	"C"	"n"	S	Q	Ø	Ø _{adotado}	V	t
		(m)	(m²)	(m²)	(anos)	(min)	(mm/h)	adm.	adm.	(m/m)	(m³/s)	(m)	(m)	(m/s)	(min)
01	02	47,65	1090,45	19179,90	5	30,79	99,44	0,64	0,0010	0,0144	0,3391	0,407	0,45	3,06	0,87
02	03	47,35	1679,00	20858,90	5	31,66	97,90	0,64	0,0010	0,0139	0,3631	0,420	0,45	3,05	0,89
03	04	65,00	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0010	0,0122	0,5175	0,492	0,5	3,13	0,95
04	05	70,15	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0010	0,0122	0,5175	0,492	0,5	3,13	0,95
05	06	70,25	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0010	0,0063	1,1276	0,745	0,75	2,96	0,90
06	07	68,95	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0010	0,0063	1,1276	0,745	0,75	2,96	0,90
09	08	75,85	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0010	0,0161	0,6776	0,517	0,6	3,81	1,04
08	07	80,10	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0010	0,0161	0,6776	0,517	0,6	3,81	1,04
07	10	87,50	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0010	0,0061	1,8345	0,900	0,9	3,29	1,00
10	11	76,60	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0010	0,0061	1,8345	0,900	0,9	3,29	1,00
11	12	82,35	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0010	0,0061	1,8345	0,900	0,9	3,29	1,00
12	13	72,10	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0010	0,0060	2,0810	0,947	1,05	3,49	1,00

Quadro 09 – Resumo do dimensionamento da rede de PEAD

PV Inicial	PV Final	Extensão	Área de Contribuição		Período de Retorno	Tempo de Concentração	Intensidade Máxima de Chuva	Coefficiente <i>Run Off</i>	Coefficiente de Manning	Declividade	Vazão Máxima para cada Trecho	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Comercial Adotado	Velocidade de Projeto do Tubo	Tempo de Escoamento
Mon.	Jus.	L	Inc.	Acum.	T	t_c	I	"C"	"n"	S	Q	Ø	Ø _{adotado}	V	t
		(m)	(m²)	(m²)	(anos)	(min)	(mm/h)	adm.	adm.	(m/m)	(m³/s)	(m)	(m)	(m/s)	(min)
13	14	61,80	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0010	0,0060	2,0810	0,947	1,05	3,49	1,00
14	15	94,35	8710,60	179877,91	5	50,99	73,67	0,64	0,0010	0,0078	2,3560	0,945	1,05	3,96	1,14
15	16	90,25	12012,30	229230,71	5	54,61	70,58	0,64	0,0010	0,0069	2,8762	1,042	1,05	3,86	1,17
17	16	56,55	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0010	0,0122	1,5469	0,741	0,75	4,11	1,24
18	17	54,55	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0010	0,0122	1,5469	0,741	0,75	4,11	1,24
19	18	59,60	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0010	0,0213	0,9071	0,547	0,6	4,51	1,30
20	19	57,85	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0010	0,0213	0,9071	0,547	0,6	4,51	1,30
21	20	102,70	6645,00	48607,85	5	35,01	92,41	0,64	0,0010	0,0165	0,7986	0,547	0,6	3,98	1,14
22	21	101,85	7407,10	33205,80	5	31,96	97,37	0,64	0,0010	0,0188	0,5748	0,472	0,5	3,82	1,13
23	18	105,00	5404,95	39739,50	5	32,61	96,26	0,64	0,0010	0,0169	0,6801	0,513	0,6	3,92	1,08
24	23	82,25	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0010	0,0188	0,5254	0,456	0,5	3,79	1,10
25	24	80,20	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0010	0,0188	0,5254	0,456	0,5	3,79	1,10

6.3. QUADRO DE QUANTITATIVOS

Com base nos critérios e expressões matemáticas adotados, foram levantados os quantitativos de serviços para as redes de drenagem. O cálculo considerou a geometria das valas, as especificações dos tubos e as normas técnicas pertinentes. Dessa forma, os quadros a seguir sintetizam os valores calculados, servindo como base para as etapas subsequentes de composição de custos e elaboração do orçamento da obra.

Quadro 10 – Quantitativos calculados para a rede de drenagem com tubos de concreto

PV Inicial	PV Final	Extensão	Profundidade	Dímetro Comercial Adotado	DE	Largura da Vala	Volume de Escavação	Escoramento	Lastro	Radlar	Reaterro	Pavimento	Área da Vala
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m³)	(m²)	(m²)	(m²)	(m³)	(m²)	(m²)
01	02	47,65	1,64	0,5	0,54	1,24	96,90	203,94	5,91	-	80,08	154,39	59,09
02	03	47,35	1,64	0,5	0,54	1,24	96,29	202,66	5,87	-	79,58	153,41	58,71
03	04	65,00	1,74	0,6	0,64	1,34	151,55	291,20	8,71	-	121,93	217,10	87,10
04	05	70,15	1,74	0,6	0,64	1,34	163,56	314,27	9,40	-	131,59	234,30	94,00
05	06	70,25	2,14	0,9	0,94	1,94	291,65	370,92	13,63	80,09	229,27	276,79	136,29
06	07	68,95	2,14	0,9	0,94	1,94	286,25	364,06	13,38	78,60	225,03	271,66	133,76
09	08	75,85	1,74	0,6	0,64	1,34	176,85	339,81	10,16	-	142,29	253,34	101,64
08	07	80,10	1,74	0,6	0,64	1,34	186,76	358,85	10,73	-	150,26	267,53	107,33
07	10	87,50	2,35	1,1	1,15	2,15	442,09	498,75	18,81	118,13	332,40	363,13	188,13
10	11	76,60	2,35	1,1	1,15	2,15	387,02	436,62	16,47	103,41	290,99	317,89	164,69
11	12	82,35	2,35	1,1	1,15	2,15	416,07	469,40	17,71	111,17	312,83	341,75	177,05
12	13	72,10	2,35	1,1	1,15	2,15	364,29	410,97	15,50	97,34	273,89	299,22	155,02
13	14	61,80	2,35	1,1	1,15	2,15	312,24	352,26	13,29	83,43	234,77	256,47	132,87
14	15	94,35	2,35	1,1	1,15	2,15	476,70	537,80	20,29	127,37	358,42	391,55	202,85
15	16	90,25	2,45	1,2	1,25	2,25	497,50	532,48	20,31	130,86	366,44	383,56	203,06
17	16	56,55	2,14	0,9	0,94	1,94	234,77	298,58	10,97	64,47	184,56	222,81	109,71
18	17	54,55	2,14	0,9	0,94	1,94	226,47	288,02	10,58	62,19	178,03	214,93	105,83
19	18	59,60	1,84	0,7	0,74	1,74	190,82	278,93	10,37	-	154,81	222,90	103,70
20	19	57,85	1,84	0,7	0,74	1,74	185,21	270,74	10,07	-	150,27	216,36	100,66
21	20	102,70	1,84	0,7	0,74	1,74	328,80	480,64	17,87	-	266,76	384,10	178,70
22	21	101,85	1,74	0,6	0,64	1,34	237,47	456,29	13,65	-	191,06	340,18	136,48
23	18	105,00	1,74	0,6	0,64	1,34	244,82	470,40	14,07	-	196,97	350,70	140,70
24	23	82,25	1,74	0,6	0,64	1,34	191,77	368,48	11,02	-	154,29	274,72	110,22
25	24	80,20	1,74	0,6	0,64	1,34	186,99	359,30	10,75	-	150,45	267,87	107,47
Total		1790,80	-	-	-	-	6372,88	8955,34	309,50	1057,05	4956,97	6676,65	3095,05

Fonte: Autora (2025)

Quadro 11 – Quantitativos calculados para a rede de drenagem com tubos de PEAD

PV Inicial	PV Final	Extensão	Profundidade	Diâmetro Comercial Adotado	DE	Largura da Vaia	Volume de Escavação	Escoramento	Lastro	Rieiler	Reaterro	Pavimento	Área
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m³)	(m²)	(m³)	(m²)	(m³)	(m²)	(m²)
01	02	47,65	1,00	0,45	0,545	0,98	46,51	-	7,01	-	28,38	142,04	46,74
02	03	47,35	1,00	0,45	0,545	0,98	46,22	-	6,97	-	28,20	141,15	46,45
03	04	65,00	1,03	0,5	0,577	1,02	68,16	-	9,95	-	41,21	196,37	66,37
04	05	70,15	1,03	0,5	0,577	1,02	73,56	-	10,74	-	44,47	211,92	71,62
05	06	70,25	1,35	0,75	0,901	1,43	135,24	-	15,02	-	75,44	240,61	100,11
06	07	68,95	1,35	0,75	0,901	1,43	132,74	-	14,74	-	74,04	236,15	98,25
09	08	75,85	1,17	0,6	0,717	1,20	105,87	-	13,61	-	61,63	242,42	90,72
08	07	80,10	1,17	0,6	0,717	1,20	111,80	-	14,37	-	65,09	256,00	95,80
07	10	87,50	1,50	0,9	1,054	1,61	211,22	350,70	21,07	-	113,81	315,44	140,44
10	11	76,60	1,50	0,9	1,054	1,61	184,91	307,01	18,44	-	99,63	276,14	122,94
11	12	82,35	1,50	0,9	1,054	1,61	198,79	330,06	19,83	-	107,11	296,87	132,17
12	13	72,10	1,67	1,05	1,216	1,82	218,02	312,34	19,63	-	114,65	275,06	130,86
13	14	61,80	1,67	1,05	1,216	1,82	186,87	267,72	16,83	-	98,27	235,77	112,17
14	15	94,35	1,67	1,05	1,216	1,82	285,29	408,72	25,69	-	150,04	359,95	171,25
15	16	90,25	1,67	1,05	1,216	1,82	272,90	390,96	24,57	-	143,52	344,30	163,80
17	16	56,55	1,35	0,75	0,901	1,43	108,87	-	12,09	-	60,73	193,68	80,58
18	17	54,55	1,35	0,75	0,901	1,43	105,02	-	11,66	-	58,58	186,83	77,73
19	18	59,60	1,17	0,6	0,717	1,20	83,19	-	10,69	-	48,43	190,48	71,28
20	19	57,85	1,17	0,6	0,717	1,20	80,74	-	10,38	-	47,01	184,89	69,19
21	20	102,70	1,17	0,6	0,717	1,20	143,34	-	18,42	-	83,45	328,23	122,83
22	21	101,85	1,03	0,5	0,577	1,02	106,80	-	15,60	-	64,57	307,69	103,99
23	18	105,00	1,17	0,6	0,717	1,20	146,55	-	18,84	-	85,32	335,58	125,58
24	23	82,25	1,03	0,5	0,577	1,02	86,24	-	12,60	-	52,14	248,48	83,98
25	24	80,20	1,03	0,5	0,577	1,02	84,10	-	12,28	-	50,84	242,28	81,88
Total		1790,80	-	-	-	-	3222,92	2367,51	361,01	-	1796,55	5988,34	2406,74

Fonte: Autora (2025)

6.4. COMPARATIVO DE CUSTOS

6.4.1. Tubulação

Ambos os materiais apresentam a mesma extensão de rede de drenagem, aproximadamente 1.800 m. Contudo, conforme apresentado na tabela 12, observa-se uma diferença significativa na quantidade de tubulações necessárias para atender a essa extensão, em função dos comprimentos comerciais distintos: os tubos de concreto possuem comprimento de 1,50 m, enquanto os tubos de PEAD são

fornecidos em barras de 6,0 m.

Além disso, verifica-se diferença nos diâmetros dimensionados para cada material, sendo adotados, para os tubos de concreto, diâmetros variando de $\varnothing$ 500 mm a $\varnothing$ 1.200 mm, enquanto para os tubos de PEAD os diâmetros variam de $\varnothing$ 450 mm a $\varnothing$ 1.050 mm.

Tabela 12 – Quantidade de tubos necessários para a Rede de Drenagem

CONCRETO			PEAD		
DN (mm)	Extensão (m)	Qtd. De Tubos	DN (mm)	Extensão (m)	Qtd. De Tubos
500	95,00	64	450	95,00	16
600	660,40	441	500	399,45	67
700	220,15	147	600	481,10	81
900	250,30	167	750	250,30	42
1100	474,70	317	900	246,45	42
1200	90,25	61	1050	318,50	54
Total	1790,80	1197	Total	1790,80	302

Fonte: Autora (2025)

A velocidade de instalação é afetada sobretudo pelo número de juntas necessárias e pela diferença de peso entre os materiais. Enquanto o maior número de conexões demanda mais tempo, o peso elevado das peças exige maior esforço logístico e de equipamentos.

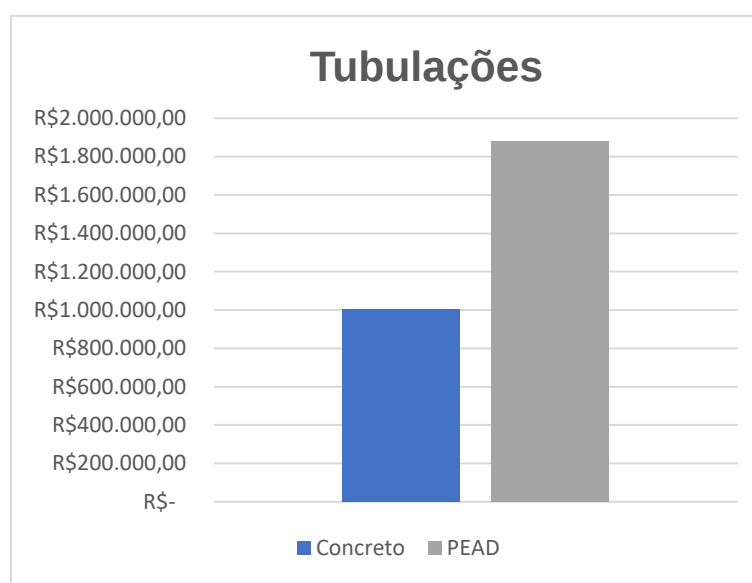
Assim, os custos de fornecimento, transporte e assentamento, apresentados no quadro 11, evidenciam uma diferença relevante entre os materiais analisados, com vantagem econômica para o tubo de concreto, que apresenta um custo aproximadamente 46,63 % inferior ao dos tubos de PEAD.

Quadro 12 – Custos dos serviços de tubulação

Descrição	Concreto	PEAD	Diferença total de Custos
Fornecimento, Transporte e Assentamento de Tubulações	R\$ 1.002.783,56	R\$ 1.878.839,83	-R\$ 876.056,27

Fonte: Autora (2025)

Gráfico 01 – Comparativo dos Serviços de Tubulação



Fonte: Autora (2025)

6.4.2. Movimento de Terra

Nesta etapa, foram considerados os custos relacionados aos serviços de escavação, reaterro e bota-fora. Para a composição desses custos, contemplaram-se os serviços de escavação de material de 2ª categoria com escavadeira hidráulica, preparo do fundo de vala, reaterro com compactação mecânica, bem como os serviços de carga, manobra e descarga do material excedente em caminhão basculante com capacidade de 10 m³.

Destaca-se que a diferença nos recobrimentos mínimos adotados para cada tipo de tubulação (1,0 m para os tubos de concreto e de 0,30 m para os tubos de

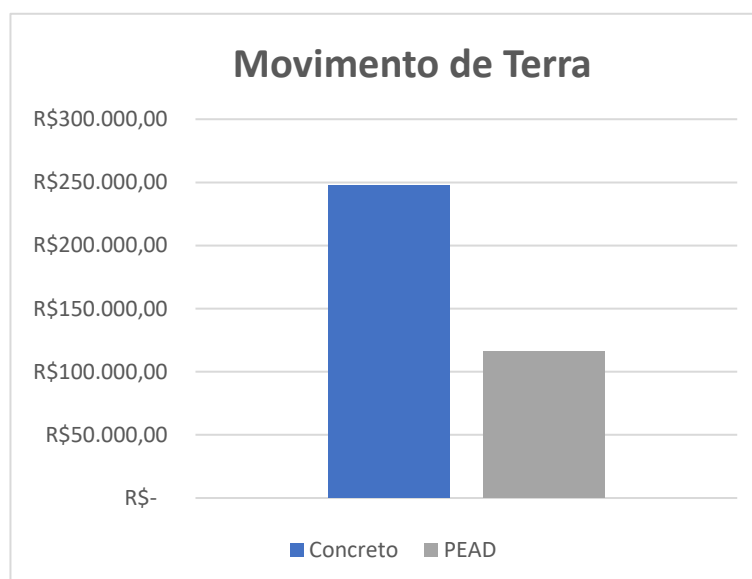
PEAD), bem como as diferenças nos diâmetros nominais e nas recomendações dos fabricantes quanto à execução influenciaram diretamente as dimensões das valas. Esses fatores mostraram-se favoráveis aos tubos de PEAD, que demandaram valas menos profundas e menos largas, resultando em um custo 46,80 % inferior ao da rede com tubo de concreto.

Quadro 13 – Custos dos serviços de movimento de terra

Descrição	Concreto	PEAD	Diferença total de Custos
Movimento de Terra	R\$ 247.503,30	R\$ 115.819,29	R\$ 131.684,00

Fonte: Autora (2025)

Gráfico 02 – Comparativo dos Serviços de Movimento de Terra



Fonte: Autora (2025)

6.4.3. Escoramento

Observa-se uma diferença significativa na área de escoramento entre as redes analisadas, decorrente das distintas profundidades das valas associadas a cada tipo de material. Conforme mencionado anteriormente, o Caderno de Encargos do

DEP/POA (2005) recomenda a utilização de escoramento em situações com risco de desmoronamento ou quando a profundidade da escavação é superior a 1,50 m. No presente estudo, adotou-se este último critério para a definição da necessidade de escoramento.

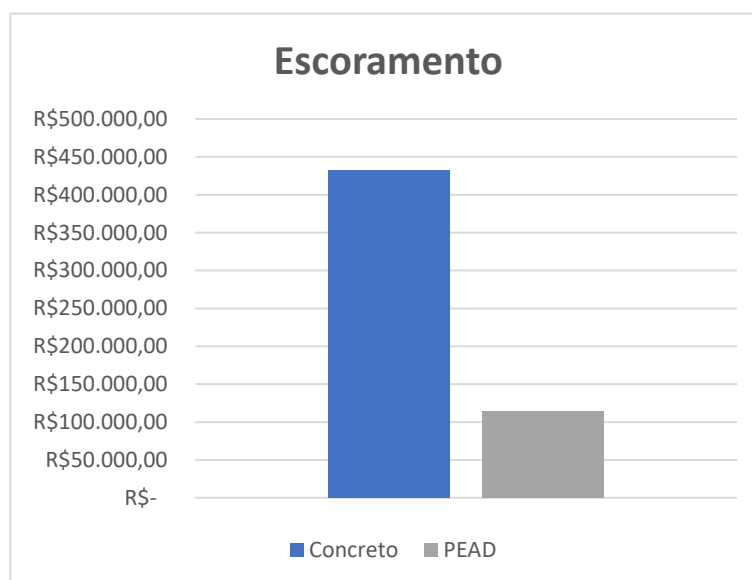
Dessa forma, após a análise dos quantitativos, verifica-se uma diferença de R\$ 318.192,19 entre as soluções avaliadas, o que representa uma economia de aproximadamente 73,5% para a rede executada com tubulação de PEAD.

Quadro 14 - Custos dos serviços de escoramento

Descrição	Concreto	PEAD	Diferença total de Custos
Escoramento	R\$ 432.542,92	R\$ 114.350,73	R\$ 318.192,19

Fonte: Autora (2025)

Gráfico 03 – Comparativo dos Serviços de Escoramento



Fonte: Autora (2025)

6.4.4. Fundações

Conforme mencionado anteriormente (tópico 5.4.1.4), para os tubos de PEAD é obrigatória a execução de uma camada de base, denominada camada de berço, composta por areia regular com espessura de 15 cm, não sendo necessária a execução de radier. Em contrapartida, os tubos de concreto requerem a execução de um lastro de brita com espessura de 10 cm sob a tubulação, além da adoção de base em radier para tubulações com diâmetros superiores a 800 mm.

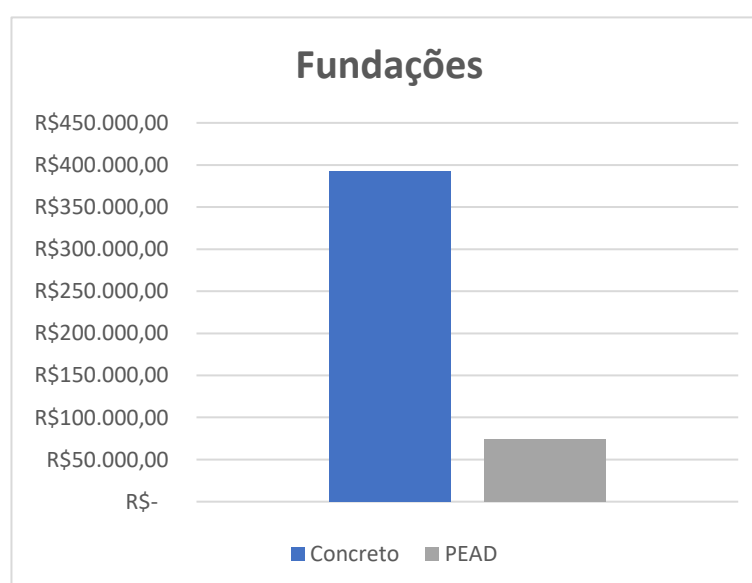
Em razão das diferenças construtivas, a rede com tubos de concreto apresentou custo 424,50% superior à rede com tubos de PEAD.

Quadro 15 - Custos dos serviços de fundações

Descrição	Concreto	PEAD	Diferença total de Custos
Fundações para Assentamento dos Tubos	R\$ 392.563,72	R\$ 74.846,40	R\$ 317.717,32

Fonte: Autora (2025)

Gráfico 04 – Comparativo dos Serviços de Fundações



Fonte: Autora (2025)

6.4.5. Pavimento

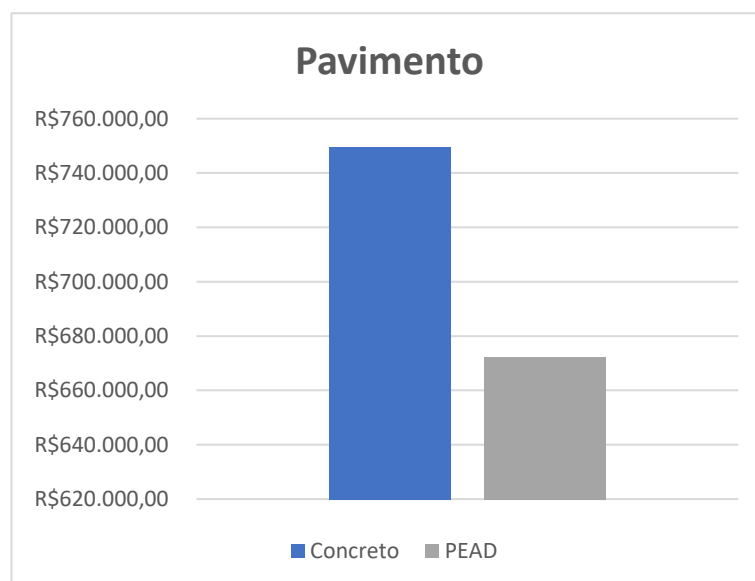
Considerando os diferentes diâmetros e as larguras de vala adotadas, a rede executada com tubos de PEAD apresentou uma economia de 10,31% no serviço de pavimentação em comparação à rede em concreto.

Quadro 16 - Custos dos serviços de pavimentação

Descrição	Concreto	PEAD	Diferença total de Custos
Pavimentação	R\$ 749.548,65	R\$ 672.266,02	R\$ 77.282,63

Fonte: Autora (2025)

Gráfico 05 – Comparativo dos Serviços de Pavimentação



Fonte: Autora (2025)

6.4.6. Comparativo Geral

De modo geral, a implantação da rede de drenagem com tubos de concreto apresentou custo aproximadamente 1,10% inferior ao da rede com tubos de PEAD. Entretanto, a alternativa em PEAD mostrou-se mais vantajosa na maior parte dos

serviços analisados neste estudo, sendo menos econômica apenas nos custos relacionados ao fornecimento, transporte e assentamento das tubulações.

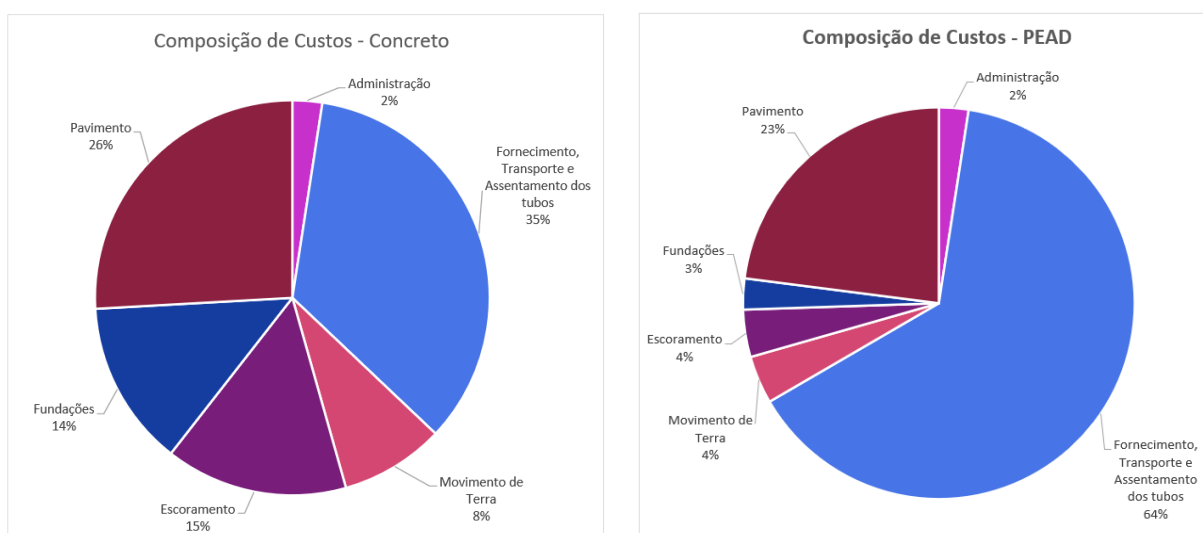
Além do aspecto econômico, o menor custo nas demais etapas do processo executivo resulta em menor consumo de materiais para a execução da rede, o que contribui para maior agilidade na execução e redução do prazo de conclusão dos serviços.

Quadro 17 – Resumo de custos totais para implementação da rede de drenagem

RESUMO DOS CUSTOS						
	CONCRETO			PEAD		
Administração	R\$	70.623,55	2,44%	R\$	71.403,06	2,44%
Fornecimento, Transporte e Assentamento dos tubos	R\$	1.002.783,56	34,63%	R\$	1.878.839,83	64,18%
Movimento de Terra	R\$	247.503,30	8,55%	R\$	115.819,29	3,96%
Escoramento	R\$	432.542,92	14,94%	R\$	114.350,73	3,91%
Fundações	R\$	392.563,72	13,56%	R\$	74.846,40	2,56%
Pavimento	R\$	749.548,65	25,89%	R\$	672.266,02	22,96%
TOTAL	R\$	2.895.565,70	100,00%	R\$	2.927.525,34	100,00%

Fonte: Autora (2025)

Gráfico 06 – Composição de Custos para Redes com Tubos de Concreto e PEAD



Fonte: Autora (2025)

6.5. ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DAS REDES EM LONGO PRAZO

Para uma tomada de decisão assertiva, a escolha entre PEAD e concreto não deve se restringir ao investimento inicial. A vida útil e a resistência temporal da rede são fatores cruciais que devem ser ponderados na análise de custo-benefício dos materiais.

Nesta análise, as manutenções preventivas foram desconsideradas para ambos os sistemas, uma vez que esse tipo de estimativa exige levantamentos em campo e informações específicas para a definição dos intervalos de manutenção. Dessa forma, a comparação realizada limita-se aos custos totais de implantação estimados para cada tipo de tubulação. Ao avaliar a durabilidade a longo prazo de redes de drenagem, torna-se fundamental considerar a vida útil dos materiais empregados.

Figura 34 – Estimativa de vida útil para cada tipo de tubulação



Fonte: Tigre-ADS (2023)

Segundo a Tigre-ADS (2023), o PEAD apresenta uma vida útil de 75 anos, superando significativamente os 20 anos estimados para o concreto. Essa maior resistência temporal é um fator determinante para a eficiência do sistema, reduzindo custos de manutenção.

Para viabilizar uma análise comparativa consistente ao longo do período de vida útil dos materiais, os valores considerados neste estudo foram atualizados monetariamente, de modo a refletir o valor real dos investimentos e minimizar as

distorções provocadas pela inflação. Para tanto, adotaram-se índices econômicos representativos do comportamento médio dos preços em diferentes segmentos, assegurando maior consistência e comparabilidade aos resultados obtidos.

No contexto brasileiro, existem diversos indicadores econômicos amplamente reconhecidos, cada qual com metodologias e finalidades específicas. Neste trabalho, foram utilizados o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), o Índice Geral de Preços – Mercado (IGP-M) e o Índice Nacional de Custo da Construção – Mercado (INCC-M), por sua ampla aplicação em estudos técnicos e acadêmicos. A adoção desses indicadores possibilita uma análise mais representativa da evolução dos preços ao longo do período analisado, bem como a comparação entre índices de inflação geral e índices específicos do setor da construção civil.

Os valores médios e os períodos de referência de cada índice utilizados estão resumidos na tabela a seguir:

Tabela 13 - Indicadores econômicos adotados

Índice	Período	Taxa Média Anual (%)	Taxa Média Mensal (%)
IPCA	1995 - 2024	6,1	0,50
IGP-M	2009-2024	6,9	0,56
INCC-M	1995-2024	8,5	0,68

Fonte: Autora, com base em dados do IBGE e FGV (2025)

Conforme orientações do Banco Central do Brasil, a projeção desses valores pode ser realizada por meio da aplicação da fórmula do Valor Futuro:

$$S_n = (1 + j)^n \times q_0 \quad (34)$$

Onde:

S_n - Valor obtido ao final (R\$);

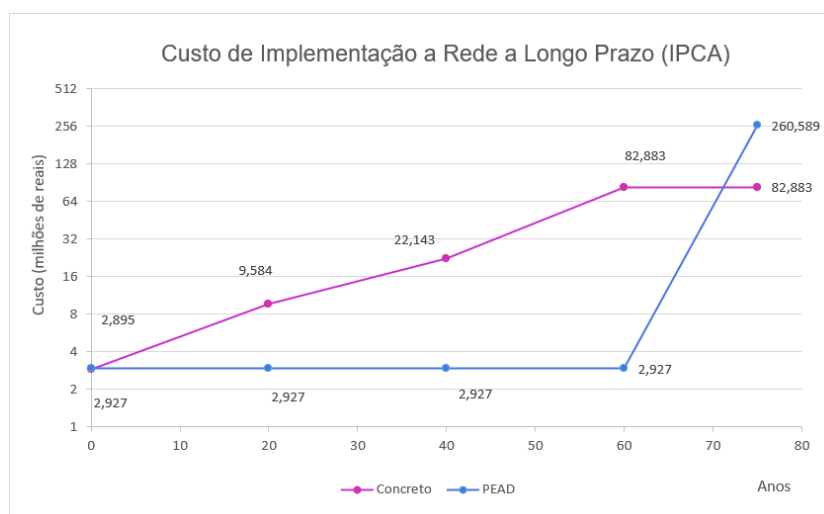
j – Taxa de juros mensal (%);

n – Número de meses;

q_0 – Capital atual (R\$);

Definidos os parâmetros necessários, procedeu-se à estimativa dos custos ao longo da vida útil. Adotando o IPCA como índice de correção, observa-se que, ao final dos 75 anos de vida útil estimada para o tubo de PEAD, o custo acumulado das reconstruções da rede em concreto atinge aproximadamente R\$ 82,883 milhões. Em contrapartida, a solução em PEAD apresenta um custo acumulado de cerca de R\$ 260,589 milhões. Conclui-se, portanto, que a alternativa em concreto é aproximadamente 68,2% mais econômica que a solução em PEAD no período analisado.

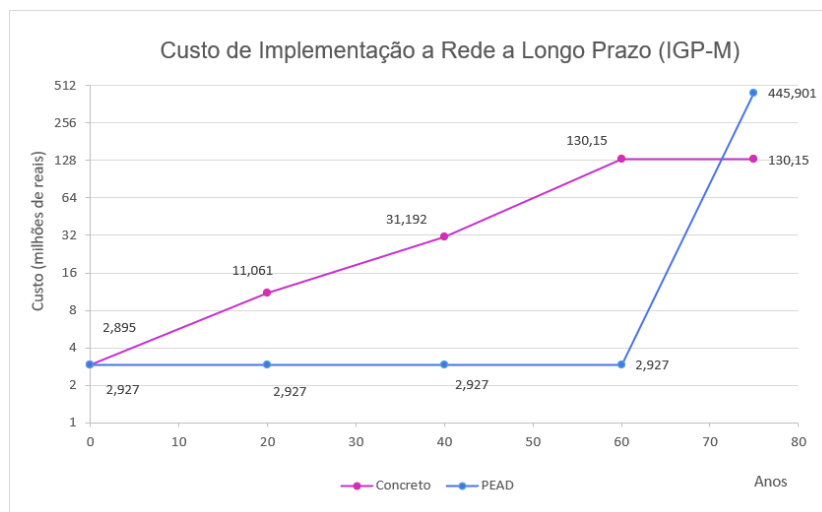
Gráfico 07 – Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 75 anos - IPCA)



Fonte: Autora (2025)

Ao utilizar o IGP-M como índice de correção inflacionária ao longo do período analisado, observa-se que, ao final da vida útil considerada, de 75 anos, o valor acumulado das reconstruções da rede executada com tubos de concreto atinge aproximadamente R\$ 130,15 milhões. Por outro lado, a rede composta por tubos de PEAD apresentaria um custo acumulado da ordem de R\$ 445,90 milhões. Dessa forma, verifica-se que a solução em concreto se torna cerca de 70,8% mais econômica em relação à alternativa em PEAD.

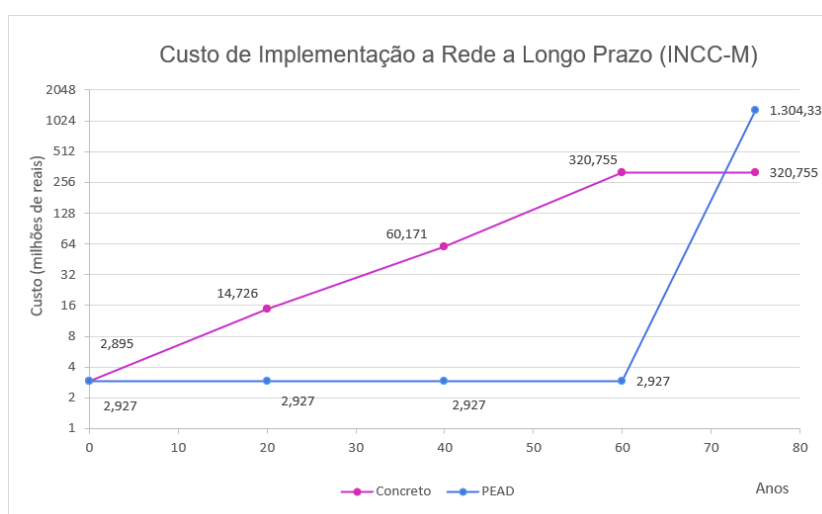
Gráfico 08 – Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 75 anos – IGP-M)



Fonte: Autora (2025)

Quando aplicada a correção monetária com base no INCC-M, os resultados indicam que, ao término do período de análise de 75 anos, os custos acumulados das reconstruções da rede em concreto atingem cerca de R\$ 320,75 milhões, enquanto a alternativa em PEAD alcança aproximadamente R\$ 1,304 bilhões. Essa diferença expressiva evidencia que a solução em concreto apresenta um custo aproximadamente 75,4% inferior ao da rede em PEAD.

Gráfico 09 – Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 75 anos – INCC-M)



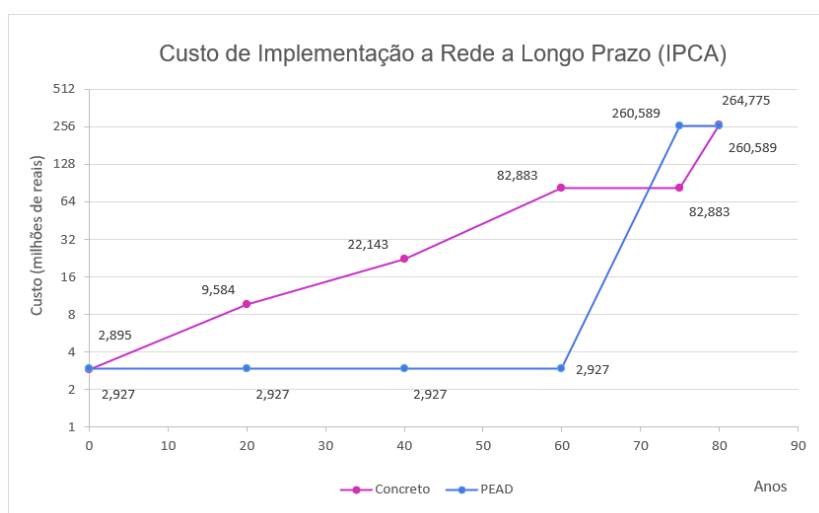
Fonte: Autora (2025)

Cabe destacar que, no momento em que a rede de tubos de PEAD atinge o final de sua vida útil, estimada em 75 anos, a rede executada com tubos de concreto estaria com aproximadamente 15 anos de operação, o que corresponde a cerca de 75% de sua vida útil. Nesse estágio, a infraestrutura em concreto encontra-se próxima do período de substituição, o que demanda uma análise mais criteriosa quanto à sua viabilidade técnica e econômica.

Diante desse contexto, mostra-se mais adequado adotar um horizonte de análise de 80 anos. Nesse cenário, a rede de concreto já teria sido integralmente substituída, enquanto a rede em PEAD, após esse mesmo período, apresentaria apenas 5 anos de uso em sua nova instalação, o que representa aproximadamente 7% de sua vida útil total.

Com a ampliação do horizonte de análise para uma vida útil de 80 anos, utilizando o IPCA como índice de correção, o custo acumulado das reconstruções da rede em concreto atinge aproximadamente R\$ 264,775 milhões. Em contrapartida, a solução em PEAD apresenta um custo acumulado de cerca de R\$ 260,589 milhões. Assim, verifica-se que, nesse cenário, a alternativa em concreto se mostra aproximadamente 1,6% mais onerosa em relação à solução em PEAD.

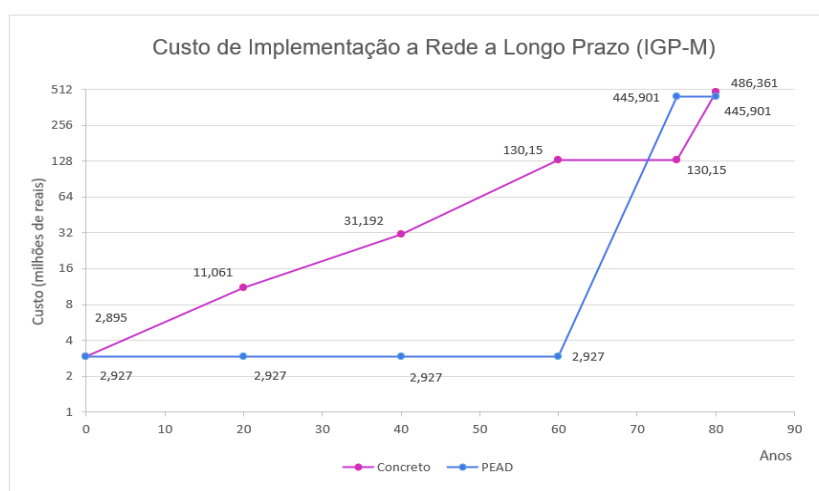
Gráfico 10 – Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 80 anos – IPCA)



Fonte: Autora (2025)

Ao utilizar o IGP-M como índice de correção inflacionária ao longo do período analisado, o valor acumulado das reconstruções da rede executada com tubos de concreto atinge aproximadamente R\$ 486,361 milhões. Por outro lado, a rede composta por tubos de PEAD continuaria com um custo acumulado de R\$ 445,901 milhões. Dessa forma, verifica-se que, nesse cenário, a solução em concreto se mostra aproximadamente 9,1% mais cara em relação à alternativa em PEAD.

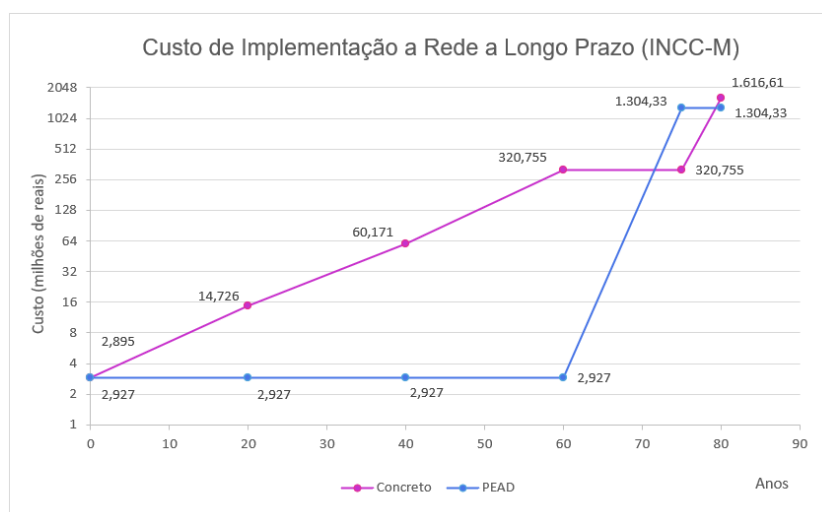
Gráfico 11 – Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 80 anos – IGP-M)



Fonte: Autora (2025)

Quando aplicada a correção monetária com base no INCC-M, os resultados indicam que os custos acumulados das reconstruções da rede em concreto atingem cerca de R\$ 1,616 bilhões, enquanto a alternativa em PEAD continua em aproximadamente R\$ 1,304 bilhões. Os resultados indicam, portanto, que a adoção da solução em concreto resulta em custos aproximadamente 24,0% mais elevados em relação à alternativa em PEAD.

Gráfico 12 – Estimativa de Custo Acumulado de Implementação (Projeção para 80 anos – INCC-M)



Fonte: Autora (2025)

O Quadro 17 apresenta uma síntese dos resultados obtidos, possibilitando a comparação direta dos custos acumulados e a identificação da alternativa economicamente mais eficiente em cada cenário analisado.

Quadro 18 – Custo acumulado das redes pluviais (75 e 80 anos)

Índice	Horizonte de Análise	Custo Acumulado - Concreto	Custo Acumulado - PEAD	Diferença Percentual	Alternativa mais vantajosa
IPCA	75 anos	R\$ 82,88 milhões	R\$ 260,59 milhões	Concreto 68,2% mais barato	Concreto
IGP-M	75 anos	R\$ 130,15 milhões	R\$ 445,90 milhões	Concreto 70,8% mais barato	Concreto
INCC-M	75 anos	R\$ 320,75 milhões	R\$ 1.304,33 bilhões	Concreto 75,4% mais barato	Concreto
IPCA	80 anos	R\$ 264,77 milhões	R\$ 260,59 milhões	Concreto 1,6% mais caro	PEAD
IGP-M	80 anos	R\$ 486,36 milhões	R\$ 445,90 milhões	Concreto 9,1% mais caro	PEAD
INCC-M	80 anos	R\$ 1.616,61 bilhões	R\$ 1.304,33 bilhões	Concreto 24,0% mais caro	PEAD

Fonte: Autora (2025)

Os resultados indicam que a escolha do índice de correção e a definição do horizonte temporal são determinantes na conclusão sobre a viabilidade econômica. Para o período de 75 anos, observa-se que, independentemente do índice utilizado, a

rede em concreto apresenta custos acumulados inferiores aos da rede em PEAD, embora a magnitude dessa vantagem varie de forma significativa conforme o indicador aplicado.

Contudo, ao ampliar o horizonte de análise para 80 anos (cenário em que a rede de concreto já teria passado por um ciclo completo de substituição, enquanto a rede de PEAD estaria no início de uma nova vida útil) verifica-se uma inversão dos resultados, com os custos acumulados da rede em concreto tornando-se superiores aos da alternativa em PEAD. Esse comportamento indica que, em análises de longo prazo, o impacto das substituições sucessivas da rede de concreto tende a superar sua vantagem inicial de menor custo de implantação.

De forma semelhante ao observado no estudo de Martins (2024), realizado na zona norte de Porto Alegre, onde os tubos de concreto apresentaram custo inicial cerca de 5,43% mais baixo na fase de implantação da rede, enquanto as tubulações de PEAD demonstraram vantagens importantes em termos de facilidade de instalação, desempenho hidráulico e adequação ao longo do tempo. Essa convergência de resultados indica que, embora os custos diretos de implantação possam favorecer o concreto, o material PEAD tende a oferecer benefícios operacionais e hidráulicos já identificados em outras pesquisas da área, reforçando tendências discutidas na literatura técnica.

Dessa forma, os resultados demonstram que a viabilidade econômica das alternativas não deve ser avaliada de maneira isolada ou estática, reforçando a necessidade de uma abordagem criteriosa que considere não apenas os custos iniciais, mas também o desempenho econômico ao longo de todo o ciclo de vida das infraestruturas.

7. CONCLUSÃO

O presente estudo realizou uma análise comparativa entre tubos de PEAD e tubos de concreto para a implantação de uma rede de drenagem pluvial em um loteamento fictício situado na cidade de Teresina/PI. A pesquisa baseou-se na consulta a diferentes fontes de informação, o que possibilitou uma abordagem ampla

e tecnicamente fundamentada, permitindo a comparação técnica e econômica entre as alternativas analisadas, tanto sob a ótica dos custos de implantação quanto do comportamento econômico ao longo da vida útil dos materiais.

A análise dos custos de implantação demonstrou que, embora a rede executada com tubos de concreto apresente um custo global 1,10% inferior ao da alternativa em PEAD, essa diferença é resultado de comportamentos distintos entre as etapas construtivas. Enquanto os tubos de concreto se mostraram mais econômicos nos serviços de fornecimento, transporte e assentamento, a solução em PEAD apresentou vantagens significativas nos serviços de movimento de terra, escoramento, fundações e pavimentação, decorrentes principalmente das menores dimensões das valas e das recomendações construtivas associadas ao material. Dada a estreita margem percentual, a escolha entre os materiais não deve se restringir ao custo direto.

Nesse sentido, quando analisados os custos ao longo do ciclo de vida, os resultados evidenciam a relevância da definição do horizonte temporal e do índice de correção monetária adotado. Para um período de 75 anos, correspondente à vida útil estimada do PEAD, a alternativa em concreto apresentou custos acumulados inferiores em todos os cenários analisados, chegando a ser aproximadamente 75,4% mais barata que o PEAD. Entretanto, ao ampliar o horizonte de análise para 80 anos, cenário que demanda a substituição completa da rede de concreto, observa-se uma inversão dos resultados: a solução em PEAD passa a apresentar maior viabilidade, enquanto a rede em concreto torna-se até 24% mais onerosa.

Considerando as análises realizadas, conclui-se que a escolha do material para redes de drenagem pluvial não deve se basear exclusivamente nos custos iniciais de implantação, mas sim em uma avaliação integrada que considere o desempenho econômico ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura. O estudo reforça a importância de análises dinâmicas e criteriosas, capazes de subsidiar decisões técnicas mais sustentáveis e economicamente eficientes para obras de drenagem urbana.

REFERÊNCIAS

ADS TIGRE. **DRENPRO**. Disponível em: <https://www.adstigre.com/brasil/produto/tubos-de-pead-drenpro/>. Acesso em: 29 dez. 2025.

ADS TIGRE. **Manual de Bolso para instalação de Tubulações Corrugadas**. São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.adstigre.com/brasil/arquivos-para-baixar/>. Acesso em: 29 dez. 2025.

ADS TIGRE. **Relatório de Sustentabilidade 2023**. São Paulo, 2023. Disponível em: https://www.adstigre.com/brasil/wp-content/uploads/sites/2/2024/06/ADS-Tigre-RA23_240605-1.pdf. Acesso em: 29 dez. 2025.

ADS TIGRE. **Linha de Produtos SISTEMAS DE SANEAMENTO**. São Paulo, 2013. Disponível em: <<https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/export.tigre.com/files/arquivos/catalogos/Sistemas%20de%20Saneamento.pdf>>. Acesso em: 29 dez. 2025.

ADS TIGRE. **Especificação Para Tubos Corrugados em PEAD DrenPro**. Disponível em: <https://www.adstigre.com/brasil/wp-content/uploads/sites/2/2025/04/NT-3.107G-Especificacao-Tubos-DrenPro.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2025.

AMERICAN CONCRETE PIPE ASSOCIATION. **Concrete Pipe Handbook**. Vienna, Virginia, USA, January, 1980.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM F2306**: Standard Specification for Polyethylene (PE) Corrugated Profile-Wall Pipe and Fittings, 300 mm to 1500 mm (12 in. to 60 in.), for Gravity-Flow Storm Sewer and Subsurface Drainage Applications. West Conshohocken: ASTM, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12655: Concreto de cimento portland — Preparo, controle, recebimento e aceitação de concretos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16697: Cimento Portland — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto — Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto — Especificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland — Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10908: Aditivos para argamassa e concreto — Ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15645: Execução de obras utilizando tubos e aduelas pré-moldados em concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento.** Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8890: Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 21138-1: Sistemas de tubulações plásticas para drenagem e esgoto subterrâneos não pressurizados — Sistemas de tubos com paredes estruturadas de Policloreto de Vinila não Plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) e polietileno (PE) - Parte 1: Especificação de materiais e critérios de desempenho para tubos, conexões e sistemas.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 21138-3: Sistemas de tubulações plásticas para drenagem e esgoto subterrâneos não pressurizados — Sistemas de tubos com paredes estruturadas de Policloreto de Vinila não Plastificado (PVC-U), Polipropileno (PP) e Polietileno (PE) - Parte 3: Tubos e conexões com a superfície externa não lisa, Tipo B.** Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO. ABTC: **Manual Técnico de drenagem e esgoto sanitário: Tubos e aduelas de concreto – Projetos, Especificações e controle de qualidade.** São Paulo, 2008. Disponível em: <https://www.abtc.com.br/manualtecnico>. Acesso em: 29 dez. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO. **ABTC: Tubos e Aduelas.** Disponível em: <https://www.abtc.com.br/tubos-e-aduelas>. Acesso em: 29 dez. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TUBOS DE POLIOLEFÍNICOS E SISTEMAS. **Manual de Boas Práticas – ABPE.** São Paulo, 2013. Disponível em: https://www.abpebrasil.com.br/cartilha/7_2.pdf. Acesso em: 29 dez. 2025.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do Cidadão – Correção de valores.** Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores>. Acesso em: 29 dez. 2025.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades.** São Paulo: Edgard Blucher, 2017.

BRAVA EQUIPAMENTOS. **Poço de Visita (PV).** Disponível em: https://bravaequipamentos.com.br/wp-content/uploads/2023/04/Poco-de-visitas_Brava-equipamentos.pdf. Acesso em: 29 dez. 2025.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P. **Drenagem urbana: uma revisão de literatura.** Engineering Sciences, v.8, n.2, p.1-9, jul. 2020

DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS. DEP/POA: **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Manual de drenagem urbana**, set. 2005. 159 pág.; Disponível em: https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf. Acesso em: 29 dez. 2025

DEPARTAMENTO DE ESGOTOS PLUVIAIS. DEP/POA: **Caderno de Encargos**, mar. 2005. 96 pág.; Disponível em: https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/ce-dep-

[2005_completo.pdf](#). Acesso em: 29 dez. 2025

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 094/2014: Tubos de Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) e poliolefinicos (PE e PP) para drenagem em rodovia – Especificação de material**. Rio de Janeiro: DNIT, 2014.

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

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS – INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA (FGV IBRE). **FGVDados**. Disponível em: <https://extra-ibre.fgv.br/IBRE/sitefgvdados/consulta.aspx>. Acesso em: 29 dez. 2025.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA)**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html>. Acesso em: 29 dez. 2025.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC, 2021: Sumário para Formuladores de Políticas. Em: Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/IPCC_mudanca2.pdf. Acesso em: 29 dez. 2025

KANAFLEX BRASIL - **Produto - KNTS DRAIN**. Disponível em: https://www.kanaflex.com.br/produtos/pt/KNTS_DRAIN. Acesso em: 29 dez. 2025

KNTS DRAIN. **Manual Técnico: Tubo PEAD Corrugado com Paredes Estruturadas**. Disponível em: <https://www.kanaflex.com.br/documentos/MANUAL%20KNTS%20DRAIN.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2025

MANER, A. W. **Public works in ancient Mesopotamia**. *Civil Engineering*, v. 36, n. 7, p. 50–51, 1966.

MARCONDES, Ricardo A. C. **Estudo do uso das Tubulações de PEAD em Sistemas de Distribuição de Água no Brasil**. 2016. 105 f. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MAROTTA, Tomás S. **Drenagem Pluvial – Tubos de PEAD versus Tubos de Concreto**. 2022. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2022.

MARTINS, Maurício Dornel. **Análise Comparativa Entre Tubos de PEAD e de Concreto Para Redes Pluviais Urbanas: Estudo de Caso Para Área na Zona Norte de Porto Alegre/RS**. 2024. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024.

MATOS, José de Saldanha. **Aspectos Históricos e Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais em Meio Urbano**. *Engenharia civil UM*, Lisboa, n.16, p. 13-23, jan. 2003.

MATTOS, A. D. **Como Preparar Orçamentos de Obras: dicas para orçamentistas, estudo de**

caso, exemplos. 1. ed. São Paulo: Pini, 2006.

MESQUITA, Fábio A. **Modificação das Propriedades do Polietileno de Alta Densidade Por Diferentes Condições de Extrusão.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema nacional de informações sobre saneamento 2022.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel/ap>. Acesso: 29 dez. 2025.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES. **Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima.** Disponível em: <https://sistema.adaptabrasil.mcti.gov.br>. Acesso: 29 dez. 2025.

PINHEIRO, S. A.; PINTO, L. H. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana.** Belo Horizonte: FEAM, 2006.

SOUZA, V. C. B.; MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. **DÉFICIT NA DRENAGEM URBANA: buscando o entendimento e contribuindo para a definição.** *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, v. 1, n. 2, p. 162-175, 2013.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina. Manual de Drenagem.** Teresina, 2011.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação Geral. **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina.** Teresina, 2012.

TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, Ruben La Laina; BARROS, Mário T.; GALERANI, Carlos Alberto; RAMOS, Carlos Lloret; CHAVES, Elisa Marques Barbosa; BIDONE, Francisco; GENZ, Fernando; MARTINS, José Rodolfo S.; FILHO, José Schleder de Macedo; FILHO, Kamel Zahed; SANTOS, Leonardo J. Cordeiro; PORTO, Monica F. A.; SILVA, Paulo Jó; MARCELLINI, Silvana Susko. **Drenagem Urbana.** Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 1995.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de drenagem urbana.** Textos para Discussão - CEPAL/IPEA, Brasília, DF, v.1, n.48, jan. 2012.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas.** Brasília: SNS; MDR, 2006.

**APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA REDE DE DRENAGEM
COM TUBULAÇÃO DE CONCRETO**

PV Inicial	PV Final	Extensão	Cota do Terreno		Profundidade		Cota do Greide		Área de Contribuição		Período de Retorno	Tempo de Concentração	Intensidade Máxima de Chuva	Coeficiente <i>Run Off</i>	Coeficiente de Manning	Declividade	Vazão Máxima para cada Trecho	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Comercial Adotado	Fator Hidráulico	Raio Hidráulico	Lâmina D'água	Velocidade de Projeto do Tubo	Tempo de Escoamento
Mon.	Jus.	L	Mon.	Jus.	Mon.	Jus.	Mon.	Jus.	Inc.	Acum.	T	t_c	I	"C"	"n"	S	Q	Ø	Ø _{adotado}	Fh	Rh	y	V	t
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m²)	(m²)	(anos)	(min)	(mm/h)	adm.	adm.	(m/m)	(m³/s)	(m)	(m)	adm.	adm.	adm.	(m/s)	(min)
01	02	47,65	79,555	78,820	1,64	1,64	77,915	77,180	1090,45	19179,90	5	30,79	99,44	0,64	0,0014	0,0144	0,3391	0,462	0,5	0,2513	0,148	0,349	2,40	0,71
02	03	47,35	78,820	78,375	1,64	1,74	77,180	76,635	1679,00	20858,90	5	31,66	97,90	0,64	0,0014	0,0139	0,3631	0,477	0,5	0,2736	0,151	0,373	2,39	0,72
03	04	65,00	78,375	78,034	1,74	1,74	76,635	76,294	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0014	0,0122	0,5175	0,558	0,6	0,2560	0,178	0,424	2,50	0,74
04	05	70,15	78,034	77,660	1,74	2,14	76,294	75,520	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0014	0,0122	0,5175	0,558	0,6	0,2560	0,178	0,424	2,50	0,74
05	06	70,25	77,660	77,300	2,14	2,14	75,520	75,160	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0014	0,0063	1,1276	0,845	0,9	0,2625	0,269	0,645	2,37	0,71
06	07	68,95	77,300	76,940	2,14	2,35	75,160	74,590	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0014	0,0063	1,1276	0,845	0,9	0,2625	0,269	0,645	2,37	0,71
09	08	75,85	82,500	79,770	1,74	1,74	80,760	78,030	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0014	0,0161	0,6776	0,586	0,6	0,2919	0,182	0,475	2,92	0,89
08	07	80,10	79,770	76,940	1,74	2,35	78,030	74,590	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0014	0,0161	0,6776	0,586	0,6	0,2919	0,182	0,475	2,92	0,89
07	10	87,50	76,940	75,372	2,35	2,35	74,590	73,022	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0014	0,0061	1,8345	1,021	1,1	0,2548	0,326	0,769	2,64	0,78
10	11	76,60	75,372	74,007	2,35	2,35	73,022	71,657	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0014	0,0061	1,8345	1,021	1,1	0,2548	0,326	0,769	2,64	0,78
11	12	82,35	74,007	72,540	2,35	2,35	71,657	70,190	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0014	0,0061	1,8345	1,021	1,1	0,2548	0,326	0,769	2,64	0,78
12	13	72,10	72,540	71,754	2,35	2,35	70,190	69,404	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0014	0,0060	2,0810	1,074	1,1	0,2916	0,334	0,861	2,66	0,81
13	14	61,80	71,754	71,076	2,35	2,35	69,404	68,726	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0014	0,0060	2,0810	1,074	1,1	0,2916	0,334	0,861	2,66	0,81
14	15	94,35	71,076	64,633	2,35	2,45	68,726	62,183	8710,60	179877,91	5	50,99	73,67	0,64	0,0014	0,0078	2,3560	1,073	1,1	0,2905	0,334	0,859	3,03	0,92
15	16	90,25	64,633	63,081	2,45	2,45	62,183	60,631	12012,30	229230,71	5	54,61	70,58	0,64	0,0014	0,0069	2,8762	1,182	1,2	0,2988	0,365	0,962	3,02	0,92
17	16	56,55	63,352	63,081	2,14	2,45	61,212	60,631	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0014	0,0122	1,5469	0,841	0,9	0,2594	0,268	0,640	3,28	0,98
18	17	54,55	63,610	63,352	2,14	2,14	61,470	61,212	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0014	0,0122	1,5469	0,841	0,9	0,2594	0,268	0,640	3,28	0,98
19	18	59,60	67,239	63,610	1,84	2,14	65,399	61,470	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0014	0,0213	0,9071	0,620	0,7	0,2253	0,201	0,449	3,57	1,02
20	19	57,85	71,056	67,239	1,84	1,84	69,216	65,399	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0014	0,0213	0,9071	0,620	0,7	0,2253	0,201	0,449	3,57	1,02
21	20	102,70	72,915	71,056	1,84	1,84	71,075	69,216	6645,00	48607,85	5	35,01	92,41	0,64	0,0014	0,0165	0,7986	0,620	0,7	0,2252	0,201	0,449	3,15	0,90
22	21	101,85	75,670	72,915	1,74	1,84	73,930	71,075	7407,10	33205,80	5	31,96	97,37	0,64	0,0014	0,0188	0,5748	0,535	0,6	0,2294	0,173	0,388	3,03	0,87
23	18	105,00	66,223	63,610	1,74	2,14	64,483	61,470	5404,95	39739,50	5	32,61	96,26	0,64	0,0014	0,0169	0,6801	0,581	0,6	0,2858	0,181	0,452	2,97	0,90
24	23	82,25	69,011	66,223	1,74	1,74	67,271	64,483	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0014	0,0188	0,5254	0,518	0,6	0,2096	0,167	0,361	2,96	0,82
25	24	80,20	71,801	69,011	1,74	1,74	70,061	67,271	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0014	0,0188	0,5254	0,518	0,6	0,2096	0,167	0,361	2,96	0,82

**APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA REDE DE DRENAGEM
COM TUBULAÇÃO DE PEAD**

PV Inicial	PV Final	Extensão	Cota do Terreno		Profundidade		Cota do Greide		Área de Contribuição		Período de Retorno	Tempo de Concentração	Intensidade Máxima de Chuva	Coeficiente <i>Run Off</i>	Coeficiente de Manning	Declividade	Vazão Máxima para cada Trecho	Diâmetro Mínimo	Diâmetro Comercial Adotado	Fator Hidráulico	Raio Hidráulico	Lâmina D'água	Velocidade de Projeto do Tubo	Tempo de Escoamento
Mon.	Jus.	L	Mon.	Jus.	Mon.	Jus.	Mon.	Jus.	Inc.	Acum.	T	t_c	I	"C"	"n"	S	Q	Ø	Ø _{adotado}	Fh	Rh	y	V	t
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m²)	(m²)	(anos)	(min)	(mm/h)	adm.	adm.	(m/m)	(m³/s)	(m)	(m)	adm.	adm.	adm.	(m/s)	(min)
01	02	47,65	79,555	78,820	1,00	1,00	78,560	77,825	1090,45	19179,90	5	30,79	99,44	0,64	0,0010	0,0144	0,3391	0,407	0,45	0,2377	0,129	0,287	3,06	0,87
02	03	47,35	78,820	78,375	1,00	1,03	77,825	77,348	1679,00	20858,90	5	31,66	97,90	0,64	0,0010	0,0139	0,3631	0,420	0,45	0,2588	0,132	0,304	3,05	0,89
03	04	65,00	78,375	78,034	1,03	1,03	77,348	77,007	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0010	0,0122	0,5175	0,492	0,5	0,2974	0,151	0,378	3,13	0,95
04	05	70,15	78,034	77,660	1,03	1,35	77,007	76,309	10152,80	31011,70	5	34,08	93,86	0,64	0,0010	0,0122	0,5175	0,492	0,5	0,2974	0,151	0,378	3,13	0,95
05	06	70,25	77,660	77,300	1,35	1,35	76,309	75,949	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0010	0,0063	1,1276	0,745	0,75	0,3050	0,227	0,576	2,96	0,90
06	07	68,95	77,300	76,940	1,35	1,50	75,949	75,436	10342,06	79885,81	5	45,17	79,40	0,64	0,0010	0,0063	1,1276	0,745	0,75	0,3050	0,227	0,576	2,96	0,90
09	08	75,85	82,500	79,770	1,17	1,17	81,333	78,603	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0010	0,0161	0,6776	0,517	0,6	0,2085	0,164	0,350	3,81	1,04
08	07	80,10	79,770	76,940	1,17	1,50	78,603	75,436	11701,15	38196,80	5	30,61	99,78	0,64	0,0010	0,0161	0,6776	0,517	0,6	0,2085	0,164	0,350	3,81	1,04
07	10	87,50	76,940	75,372	1,50	1,50	75,436	73,868	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0010	0,0061	1,8345	0,900	0,9	0,3109	0,273	0,702	3,29	1,00
10	11	76,60	75,372	74,007	1,50	1,50	73,868	72,503	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0010	0,0061	1,8345	0,900	0,9	0,3109	0,273	0,702	3,29	1,00
11	12	82,35	74,007	72,540	1,50	1,67	72,503	70,874	20943,75	139026,36	5	50,39	74,22	0,64	0,0010	0,0061	1,8345	0,900	0,9	0,3109	0,273	0,702	3,29	1,00
12	13	72,10	72,540	71,754	1,67	1,67	70,874	70,088	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0010	0,0060	2,0810	0,947	1,05	0,2358	0,302	0,678	3,49	1,00
13	14	61,80	71,754	71,076	1,67	1,67	70,088	69,410	11624,55	160847,06	5	52,00	72,78	0,64	0,0010	0,0060	2,0810	0,947	1,05	0,2358	0,302	0,678	3,49	1,00
14	15	94,35	71,076	64,633	1,67	1,67	69,410	62,967	8710,60	179877,91	5	50,99	73,67	0,64	0,0010	0,0078	2,3560	0,945	1,05	0,2349	0,302	0,677	3,96	1,14
15	16	90,25	64,633	63,081	1,67	1,67	62,967	61,415	12012,30	229230,71	5	54,61	70,58	0,64	0,0010	0,0069	2,8762	1,042	1,05	0,3047	0,318	0,803	3,86	1,17
17	16	56,55	63,352	63,081	1,35	1,67	62,001	61,415	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0010	0,0122	1,5469	0,741	0,75	0,3012	0,227	0,570	4,11	1,24
18	17	54,55	63,610	63,352	1,35	1,35	62,259	62,001	12362,10	106884,10	5	43,35	81,41	0,64	0,0010	0,0122	1,5469	0,741	0,75	0,3012	0,227	0,570	4,11	1,24
19	18	59,60	67,239	63,610	1,17	1,35	66,072	62,259	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0010	0,0213	0,9071	0,547	0,6	0,2428	0,172	0,386	4,51	1,30
20	19	57,85	71,056	67,239	1,17	1,17	69,889	66,072	6174,65	54782,50	5	34,54	93,13	0,64	0,0010	0,0213	0,9071	0,547	0,6	0,2428	0,172	0,386	4,51	1,30
21	20	102,70	72,915	71,056	1,17	1,17	71,748	69,889	6645,00	48607,85	5	35,01	92,41	0,64	0,0010	0,0165	0,7986	0,547	0,6	0,2426	0,172	0,386	3,98	1,14
22	21	101,85	75,670	72,915	1,03	1,17	74,643	71,748	7407,10	33205,80	5	31,96	97,37	0,64	0,0010	0,0188	0,5748	0,472	0,5	0,2665	0,148	0,346	3,82	1,13
23	18	105,00	66,223	63,610	1,17	1,35	65,056	62,259	5404,95	39739,50	5	32,61	96,26	0,64	0,0010	0,0169	0,6801	0,513	0,6	0,2042	0,165	0,354	3,92	1,08
24	23	82,25	69,011	66,223	1,03	1,17	67,984	65,056	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0010	0,0188	0,5254	0,456	0,5	0,2434	0,145	0,333	3,79	1,10
25	24	80,20	71,801	69,011	1,03	1,03	70,774	67,984	10093,15	29011,05	5	29,50	101,87	0,64	0,0010	0,0188	0,5254	0,456	0,5	0,2434	0,145	0,333	3,79	1,10

**APÊNDICE C – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DA REDE DE DRENAGEM COM
TUBULAÇÃO DE CONCRETO**

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA

		Obra:	BDI:		Bancos:			Encargos:				
		ORÇAMENTO SISTEMA DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE CONCRETO	25,00%		SINAPI - 09/2025 - Piauí ORSE - 09/2025 - Sergipe SEINFRA - 028 - Ceará			Desonerado: embutido nos preços unitário dos insumos de mão de obra, de acordo com as bases.				
		Local:										
		TERESINA-PI										
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNIDADE	QTD	VALOR UNITÁRIO		PREÇO TOTAL	PESO (%)			
						SEM BDI	COM BDI					
1	ADMINISTRAÇÃO							R\$	70.623,55	2,44%		
2	MOVIMENTO DE TERRA							R\$	247.503,30	8,55%		
2.1	4550	Escavação de vala prof. 1,50 até 3,00m material de 2ª categoria c/ escavadeira hidráulica	ORSE	m³	6372,88	R\$	5,24	R\$	6,55	R\$	41.742,36	1,44%
2.2	101616	Preparo de fundo de vala com largura menor que 1,5 m (Acerto do solo natural). AF_08/2020	SINAPI	m²	1002,74	R\$	5,83	R\$	7,29	R\$	7.307,47	0,25%
2.3	101617	Preparo de fundo de vala com largura maior ou igual a 1,5 m e menor que 2,5 m (Acerto do solo natural). AF_08/2020	SINAPI	m²	2092,31	R\$	2,88	R\$	3,60	R\$	7.532,32	0,26%
2.4	C2920	Reaterro c/ compactação mecânica, e controle, material de vala	SEINFRA	m³	4956,97	R\$	27,45	R\$	34,31	R\$	170.086,03	5,87%
2.5	100982	Carga, manobra e descarga de entulho em caminhão basculante 10 m³ - Carga com escavadeira hidráulica (caçamba de 0,80 m³ / 111 HP) e descarga livre (unidade: m³). AF_07/2020	SINAPI	m³	1911,48	R\$	8,72	R\$	10,90	R\$	20.835,12	0,72%
3	ESCORAMENTO							R\$	432.542,92	14,94%		
3.1	101579	Escoramento de vala, tipo descontínuo, com profundidade de 1,5 a 3,0 m, largura menor que 2,5 m. AF_08/2020	SINAPI	m²	8955,34	R\$	38,64	R\$	48,30	R\$	432.542,92	14,94%
4	FUNDAÇÕES							R\$	392.563,72	13,56%		
4.1	100324	Lastro com material granular (pedra britada n°1 e pedra britada n°2), aplicado em pisos ou lajes sobre solo, espessura de *10 cm*. AF_01/2024	SINAPI	m³	309,50	R\$	350,59	R\$	438,24	R\$	135.634,51	4,68%
4.2	97101	Execução de radier, espessura de 10 cm, FCK = 30 MPA, com uso de formas em madeira serrada. AF_09/2021	SINAPI	m²	1057,05	R\$	194,45	R\$	243,06	R\$	256.929,22	8,87%
5	TUBULAÇÃO							R\$	1.002.783,56	34,63%		
5.1	TRANSPORTE							R\$	83.962,14	2,90%		
5.1.1.	C0703	Carga e descarga de tubos de concreto	SEINFRA	T	892,265	R\$	75,28	R\$	94,10	R\$	83.962,14	2,90%

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA

	Obra:	BDI:	Bancos:		Encargos:	
	ORÇAMENTO SISTEMA DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE CONCRETO	25,00%	SINAPI - 09/2025 - Piauí ORSE - 09/2025 - Sergipe SEINFRA - 028 - Ceará		Desonerado: embutido nos preços unitário dos insumos de mão de obra, de acordo com as bases.	
	Local:					
	TERESINA-PI					

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNIDADE	QTD	VALOR UNITÁRIO		PREÇO TOTAL	PESO (%)
						SEM BDI	COM BDI		
5.2	FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO DE TUBOS							R\$ 918.821,43	31,73%
5.2.1.	92211	Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 500 mm, junta rígida, instalado em local com baixo nível de interferências - Fornecimento e assentamento. AF_03/2024	SINAPI	m	95	R\$ 181,53	R\$ 226,91	R\$ 21.556,69	0,74%
5.2.2.	92212	Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 600 mm, junta rígida, instalado em local com baixo nível de interferências - Fornecimento e assentamento. AF_03/2024	SINAPI	m	660,4	R\$ 277,87	R\$ 347,34	R\$ 229.381,69	7,92%
5.2.3.	92213	Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 700 mm, junta rígida, instalado em local com baixo nível de interferências - Fornecimento e assentamento. AF_03/2024	SINAPI	m	220,15	R\$ 370,13	R\$ 462,66	R\$ 101.855,15	3,52%
5.2.4.	92215	Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 900 mm, junta rígida, instalado em local com baixo nível de interferências - Fornecimento e assentamento. AF_03/2024	SINAPI	m	250,3	R\$ 515,36	R\$ 644,20	R\$ 161.243,26	5,57%
5.2.5.	92216	Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 1100 mm, junta rígida, instalado em local com baixo nível de interferências - Fornecimento e assentamento. AF_03/2024	SINAPI	m	474,7	R\$ 534,76	R\$ 668,45	R\$ 317.313,22	10,96%
5.2.5.	92816	Tubo de concreto para redes coletoras de águas pluviais, diâmetro de 1200 mm, junta rígida, instalado em local com baixo nível de interferências - Fornecimento e assentamento. AF_03/2024	SINAPI	m	90,25	R\$ 775,37	R\$ 969,21	R\$ 87.471,43	3,02%
6	PAVIMENTAÇÃO							R\$ 749.548,65	25,89%
6.1	97636	Demolição parcial de pavimento asfáltico, de forma mecanizada, sem reaproveitamento. AF_09/2023	SINAPI	m²	6676,75	R\$ 21,42	R\$ 26,78	R\$ 178.769,98	6,17%
6.2	2600	Reposição de pavimentação asfáltica, incluindo pintura de ligação, fornecimento e aplicação de CAUQ	ORSE	m²	6676,75	R\$ 68,39	R\$ 85,49	R\$ 570.778,67	19,71%

Total sem BDI	R\$	2.316.452,58
Total do BDI	R\$	579.113,14
Total Geral	R\$	2.895.565,72

**APÊNDICE D – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA DA REDE DE DRENAGEM COM
TUBULAÇÃO DE PEAD**

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA										
		Obra:	BDI:		Bancos:			Encargos:		
		ORÇAMENTO SISTEMA DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE PEAD	25,00%		SINAPI - 09/2025 - Piauí SICRO3 - 07/2025 - Piauí ORSE - 09/2025 - Sergipe SEINFRA - 028 - Ceará			Desonerado: embutido nos preços unitário dos insumos de mão de obra, de acordo com as bases.		
		Local:								
		TERESINA-PI								
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNIDADE	QTD	VALOR UNITÁRIO		PREÇO TOTAL	PESO (%)	
						SEM BDI	COM BDI			
1	ADMINISTRAÇÃO							R\$	71.403,06	2,44%
2	MOVIMENTO DE TERRA							R\$	115.819,29	3,96%
2.1	4549	Escavação de vala prof. 1,50, material de 2ª categoria c/ escavadeira hidráulica	ORSE	m³	1664,94	R\$	4,34	R\$	5,43	R\$ 9.032,30 0,31%
2.2	4550	Escavação de vala prof. 1,50 até 3,00m material de 2ª categoria c/ escavadeira hidráulica	ORSE	m³	1557,99	R\$	5,24	R\$	6,55	R\$ 10.204,83 0,35%
2.3	101616	Preparo de fundo de vala com largura menor que 1,5 m (Acerto do solo natural). AF_08/2020	SINAPI	m²	1433,11	R\$	5,83	R\$	7,29	R\$ 10.443,79 0,36%
2.4	101617	Preparo de fundo de vala com largura maior ou igual a 1,5 m e menor que 2,5 m (Acerto do solo natural). AF_08/2020	SINAPI	m²	973,63	R\$	2,88	R\$	3,60	R\$ 3.505,07 0,12%
2.5	C2920	Reaterro c/ compactação mecânica, e controle, material de vala	SEINFRA	m³	1796,55	R\$	27,45	R\$	34,31	R\$ 61.644,12 2,11%
2.6	100982	Carga, manobra e descarga de entulho em caminhão basculante 10 m³. Carga com escavadeira hidráulica (caçamba de 0,80 m³ / 111 HP) e descarga livre (unidade: m³). AF_07/2020	SINAPI	m³	1925,61	R\$	8,72	R\$	10,90	R\$ 20.989,18 0,72%
3	ESCORAMENTO							R\$	114.350,73	3,91%
3.1	101579	Escoramento de vala, tipo descontínuo, com profundidade de 1,5 a 3,0 m, largura menor que 2,5 m. AF_08/2020	SINAPI	m²	2367,51	R\$	38,64	R\$	48,30	R\$ 114.350,73 3,91%
4	FUNDAÇÕES							R\$	74.846,40	2,56%
4.1	100323	Lastro com material granular (areia média), aplicado em pisos ou lajes sobre solo, espessura de *15 cm*. AF_01/2024	SINAPI - Adaptado	m³	361,01	R\$	165,86	R\$	207,33	R\$ 74.846,40 2,56%
5	TUBULAÇÃO							R\$	1.878.839,83	64,18%
5.1	TRANSPORTE							R\$	121.863,94	4,16%
5.1.1	C4672	Carga e descarga de tubos corrugados de dupla parede e conexões em PEAD	SEINFRA	m	1790,80	R\$	54,44	R\$	68,05	R\$ 121.863,94 4,16%
5.2	FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO DE TUBOS							R\$	1.756.975,89	60,02%
5.2.1	10049	Fornecimento e assentamento de tubo corrugado parede dupla PEAD, d= 450mm (18"), p/sistemas drenagem, Tigre-ADS N-12 ou similar	ORSE	m	95,00	R\$	394,83	R\$	493,54	R\$ 46.886,06 1,60%

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA									
		Obra: ORÇAMENTO SISTEMA DE DRENAGEM COM TUBULAÇÃO DE PEAD Local: TERESINA-PI	BDI: 25,00%	Bancos: SINAPI - 09/2025 - Piauí SICRO3 - 07/2025 - Piauí ORSE - 09/2025 - Sergipe SEINFRA - 028 - Ceará			Encargos: Desonerado: embutido nos preços unitário dos insumos de mão de obra, de acordo com as bases.		
ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNIDADE	QTD	VALOR UNITÁRIO		PREÇO TOTAL	PESO (%)
						SEM BDI	COM BDI		
5.2.2	2003985	Tubo PEAD para drenagem - D = 500 mm - fornecimento e instalação	SICRO33	m	399,45	R\$ 419,79	R\$ 524,74	R\$ 209.606,39	7,16%
5.2.3	10155	Fornecimento e assentamento de tubo corrugado parede dupla PEAD, d= 600mm (24"), p/sistemas de saneamento, Tigre-ADS N-12 ou similar	ORSE	m	481,10	R\$ 524,77	R\$ 655,96	R\$ 315.583,56	10,78%
5.2.4	10051	Fornecimento e assentamento de tubo corrugado parede dupla PEAD, d= 750mm (30"), p/sistemas drenagem, Tigre-ADS N-12 ou similar	ORSE	m	250,30	R\$ 857,17	R\$ 1.071,46	R\$ 268.187,06	9,16%
5.2.5	2003989	Tubo PEAD para drenagem - D = 900 mm - fornecimento e instalação	SICRO33	m	246,45	R\$ 1.228,71	R\$ 1.535,89	R\$ 378.519,47	12,93%
5.2.6	10053	Fornecimento e assentamento de tubo corrugado parede dupla PEAD, d=1050mm (42"), p/sistemas drenagem, Tigre-ADS N-12 ou similar	ORSE	m	318,50	R\$ 1.351,82	R\$ 1.689,78	R\$ 538.193,34	18,38%
6	PAVIMENTAÇÃO							R\$ 672.266,02	22,96%
6.1	97636	Demolição parcial de pavimento asfáltico, de forma mecanizada, sem reaproveitamento. AF_09/2023	SINAPI	m²	5988,34	R\$ 21,42	R\$ 26,78	R\$ 160.337,80	5,48%
6.2	2600	Reposição de pavimentação asfáltica, incluindo pintura de ligação, fornecimento e aplicação de CAUQ	ORSE	m²	5988,34	R\$ 68,39	R\$ 85,49	R\$ 511.928,22	17,49%
								Total sem BDI R\$	2.342.020,24
								Total do BDI R\$	585.505,06
								Total Geral R\$	2.927.525,30

APÊNDICE E – PLANTAS DA REDE DE DRENAGEM

Planta de situação, planta de áreas de contribuição, planta da rede com tubos de concreto e planta da rede com tubos de PEAD



N
ESCALA: 1/3

PROJETO		PROJETO DE DRENAGEM - LOTEAMENTO		
ENDEREÇO		TERESINA - PI		
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO		PRANCHA		01/04
ESCALA	DATA	COTAS	RESPONSÁVEL	
INDICADA	DEZ/2025	METROS	MAURO CÉSAR	



PROJETO				
PROJETO DE DRENAGEM - ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO				
ENDEREÇO				
TERESINA - PI				
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO				FRANCHA
ESCALA	DATA	COTAS	RESPONSÁVEL	
INDICADA	DEZ/2025	METROS	MAURO CÉSAR	02/04



PROJETO			
PROJETO DE DRENAGEM - TUBO DE CONCRETO			
ENDEREÇO			
TERESINA - PI			
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO			FRANCHA
ESCALA	DATA	COTAS	RESPONSÁVEL
INDICADA	DEZ/2025	METROS	MAURO CÉSAR

03/04



N
ESCALA: 1/3

PROJETO				PROJETO DE DRENAGEM - TUBO DE PEAD	
ENDEREÇO				TERESINA - PI	
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO				PRANCHA	
				04/04	
ESCALA	DATA	COTAS	RESPONSÁVEL		
INDICADA	DEZ/2025	METROS	MAURO CÉSAR		