



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA - CITA
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DIEGO WILLIAN OLIVEIRA NASCIMENTO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE
DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA - PA**

ITAITUBA/PA
2023

DIEGO WILLIAN OLIVEIRA NASCIMENTO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE
DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE ITAITUBA - PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus de Itaituba, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof, Me. Marcos Antônio Barbosa da Silva Junior.

**ITAITUBA/PA
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado Bibliotecas – SIBI/UFOPA

N244a Nascimento, Diego Willian Oliveira
Análise da viabilidade econômica de sistemas sustentáveis de drenagem urbana no município de Itaituba - PA / Diego Willian Oliveira Nascimento – Itaituba, 2023.
90 f.: il.

Orientador: Antônio Barbosa da Silva Junior
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Campus Itaituba, Bacharelado em Engenharia Civil.

1. Drenagem urbana. 2. Drenagem sustentável. 3. Jardins de chuva. 4. Trincheiras de infiltração. 5. Itaituba. I. Silva Junior, Antônio Barbosa da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 627.4

Bibliotecário-Documentalista: Ronne Clayton de Castro Gonçalves – CRB-2/1410



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ITAITUBA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao sétimo dia do mês de dezembro do ano de dois mil e vinte e três, às 10:00h, realizou-se na Sala 01 do Campus Universitário de Itaituba, a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Diego Willian Oliveira Nascimento**, intitulado por “**Análise da Viabilidade Econômica de Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana no Município de Itaituba-PA**”, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Os trabalhos foram conduzidos pelo professor Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior, orientador do discente e presidente da Banca Examinadora, constituída também pelos membros convidados, o professor Andryo Henrique Freitas da Silva e o engenheiro Alisson Caetano da Silva. Após apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, a Banca Examinadora passou à arguição do discente. Encerrados os trabalhos de arguição, os examinadores reuniram-se para avaliação e deram o parecer final sobre a apresentação e defesa oral do discente, considerando-o aprovado com nota 10,00. Proclamados os resultados pelo presidente da Banca, foram encerrados os trabalhos e, para constar, eu, Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior, na qualidade de professor orientador do Trabalho de Conclusão de Curso avaliado, lavrei a presente ata que assino juntamente com os demais membros da Banca Examinadora.

Itaituba - PA, 07 de dezembro de 2023.

Presidente/orientador(a): _____

Documento assinado digitalmente
gov.br MARCOS ANTONIO BARBOSA DA SILVA JUNIOR
Data: 07/12/2023 11:56:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____

Documento assinado digitalmente
gov.br ALISSON CAETANO DA SILVA
Data: 07/12/2023 14:29:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Membro: _____

Assinado de forma digital por
ANDRYO HENRIQUE FREITAS DA SILVA:01532882211
ANDRYO HENRIQUE FREITAS DA SILVA:01532882211
Dados: 2023.12.07 16:13:17 -03'00'

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas oportunidades a mim proporcionadas. Por me tranquilizar nas horas em que o mar se encontrava agitado, por me amparar nas jornadas que precisei, e por ter guiado meu caminho para que eu conseguisse chegar até aqui.

Em especial a minha família, os meus pais Hilca e Claudeny por acreditarem e confiarem em mim, me proporcionando condições para que tudo isso pudesse ser realizado. Também a minha irmã Yana, onde me serviram de inspiração no decorrer dessa jornada. Dedico também a minha avó Maria, a qual faleceu nesse período, por todo esforço feito por mim, por me acolher e pelas orações a mim dedicadas.

Ao meu Professor e orientador Marcos, oferecendo sua cooperatividade e conhecimento nesse período da realização do meu TCC. Aos demais docentes do Campus de Itaituba pelo conhecimento e ensinamentos nas aulas e no dia a dia na universidade. Aos meus amigos e colegas.

“Sem linguagem, sem fala, ouvem-se as suas vozes em toda a extensão da terra, e as suas palavras, até ao fim do mundo”.
(BÍBLIA, Salmos 19: 3 - 5)

RESUMO

A urbanização desenfreada acarreta em problemas complexos para a drenagem urbana durante os períodos chuvosos, podendo causar inundações, alagamentos e outras consequências ambientais e socioeconômicas. Os sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (SUDS) se apresentam como uma alternativa promissora para mitigar esses problemas, pois promovem a infiltração da água da chuva no solo, contribuem no paisagismo, reduzem a poluição e melhoram a qualidade de vida. Neste sentido, este estudo analisou a viabilidade econômica para o uso desses sistemas no município de Itaituba, Pará. A cidade, que atualmente encontra-se em expansão urbana, vem apresentando, durante o inverno amazônico, sucessivos episódios de alagamentos em vários pontos estratégicos de mobilidade urbana, como a Rodovia Transamazônica. A pesquisa foi realizada em duas etapas: 1. Identificação e seleção de sistemas sustentáveis de drenagem urbana, onde foram considerados o uso de jardins de chuva e trincheiras de infiltração, ressaltando as suas características técnicas e avaliando a adaptabilidade à realidade local; 2. Avaliação dos custos de implantação desses sistemas, onde foram considerados os materiais, mão de obra e equipamentos necessários para a implementação das técnicas. Os resultados indicaram que os jardins de chuva com maior capacidade de retenção são mais caros de implantar, enquanto os jardins com menor capacidade de retenção são mais econômicos, entretanto, com porcentagem menor de redução de volume de água que seria destinado ao sistema de drenagem. As trincheiras de infiltração, em geral, são mais econômicas quando construídas mecanicamente. A diferença de custo entre a escavação manual e a escavação mecanizada é significativa, e pode compensar o custo adicional de equipamentos e mão de obra necessários para a escavação mecanizada. A trincheira de infiltração com garrafas PET é significativamente mais barata que a trincheira de infiltração convencional, porém os custos de construção se tornam mais caro para construir do que a trincheira de infiltração convencional. No entanto, pode ser mais viável economicamente no longo prazo, devido ao menor custo de manutenção e ao maior benefício ambiental.

Palavras-chave: drenagem urbana, drenagem sustentável, jardins de chuva, trincheiras de infiltração, Itaituba.

ABSTRACT

Unbridled urbanization leads to complex problems for urban drainage during rainy periods, which can cause flooding, flooding and other environmental and socioeconomic consequences. Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) present themselves as a promising alternative to mitigate these problems, as they promote the infiltration of rainwater into the soil, contribute to landscaping, reduce pollution and improve quality of life. In this sense, this study analyzed the economic viability for the use of these systems in the municipality of Itaituba, Pará. The city, which is currently undergoing urban expansion, has been presenting, during the Amazon winter, successive episodes of flooding in several strategic points of urban mobility, such as the Transamazônica Highway. The research was carried out in two stages: 1. Identification and selection of sustainable urban drainage systems, where the use of rain gardens and infiltration trenches were considered, highlighting their technical characteristics and evaluating adaptability to the local reality; 2. Assessment of the costs of implementing these systems, which considered the materials, labor and equipment necessary to implement the techniques. The results indicated that rain gardens with greater retention capacity are more expensive to implement, while gardens with lower retention capacity are more economical, however, with a smaller percentage of reduction in the volume of water that would be destined for the drainage system. Infiltration trenches, in general, are more economical when constructed mechanically. The cost difference between manual excavation and mechanized excavation is significant, and can offset the additional cost of equipment and labor required for mechanized excavation. The PET bottle infiltration trench is significantly cheaper than the conventional infiltration trench, but the construction costs become more expensive to build than the conventional infiltration trench. However, it may be more economically viable in the long term, due to lower maintenance costs and greater environmental benefits.

Keywords: urban drainage, sustainable drainage, rain gardens, infiltration trenches, Itaituba.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos dos SUDS	23
Figura 2 - Telhados verdes instalados em edifícios.....	24
Figura 3 - Esquema construtivo de um pavimento poroso	25
Figura 4 - Esquema construtivo de um pavimento semi-permeável.	25
Figura 5 - Poço de infiltração com tijolos.	26
Figura 6 - Poço de infiltração com pneus	27
Figura 7 - Poço de infiltração com concreto furado.	27
Figura 8- Jardim de chuva para drenagem de águas pluviais	29
Figura 9 - Esquema de camadas de jardins de Chuvas.....	29
Figura 10 - Trincheira de infiltração para drenagem de águas pluviais	32
Figura 11 - Trincheira de Infiltração piloto no sítio experimental do grupo de física do solo da UFPE	33
Figura 12 - Ilustração de trincheira de infiltração.	34
Figura 13 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	37
Figura 14 - Mapa de localização do núcleo urbano do município de Itaituba- PA	38
Figura 15 - Precipitação anual no período de 1992 a 2022	40
Figura 16 - Média mensal de precipitação no período de 1992 a 2022 no município de Itaituba - PA.....	40
Figura 17 - Condutividade hidráulica de diferentes tipos de solos	43
Figura 18 - Procedimentos de cálculo para dimensionamento da estrutura de um jardim de chuva.....	44
Figura 19 - Garrafas PET adotadas para o dimensionamento	49
Figura 20 - Sistema de montagem de trincheiras de infiltração com Garrafas PET.	50
Figura 21 - Dimensões e disposição de camadas dos jardins valores (em cm).....	63
Figura 22 - Ilustração das trincheiras de infiltração dimensionadas com garrafas PET.....	69
Figura 23 - Custo médio dos dispositivos dimensionados por (R\$/m ³).	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes das equações de chuvas intensas ajustadas para Itaituba – PA	41
Tabela 2 - Valores de período de retorno relacionado ao tipo de ocupação da área.	42
Tabela 3 - Valores típicos de coeficiente de escoamento (C).....	43
Tabela 4 - Porosidade efetiva	44
Tabela 5 - Dimensões das Garrafas PET	50
Tabela 6 - Custo de serviço e insumos para a execução dos jardins de chuvas para serviço mecanizado.	53
Tabela 7 - Custo de serviço e insumos para a execução dos jardins de chuvas para serviço manual.	54
Tabela 8 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração serviço mecanizado.	55
Tabela 9 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração serviço manual.	56
Tabela 10 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração com garrafas PET para escavação manual.	56
Tabela 11 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração com garrafas PET para escavação mecanizada.	57
Tabela 12 - Intensidade de precipitação em Itaituba para diferentes durações de chuvas.	58
Tabela 13 - Áreas consideradas no dimensionamento de jardins de chuvas.	58
Tabela 14- Áreas consideradas no dimensionamento de Trincheira de infiltração	59
Tabela 15 -Dimensões planas do jardim de chuva	59
Tabela 16 -Vazão máxima de entrada e volumes de entrada para os jardins de chuva.....	60
Tabela 17 - Volume de saída e armazenamento dos jardins de chuvas adotados	60
Tabela 18 - Porcentagem de Redução do volume de armazenamento de água.....	61
Tabela 19 - Cálculo das alturas das camadas de brita do jardim de chuva.....	62
Tabela 20 - Altura das camadas de brita.....	62
Tabela 21 - Altura das camadas dos jardins de chuva propostos.	63
Tabela 22 - Quantidade de mudas nos jardins de chuva.....	64
Tabela 23 - Dimensões adotadas para o dimensionamento das trincheiras.....	64
Tabela 24 – Dimensionamento de trincheira de infiltração para uma área de 150 m ²	65
Tabela 25 - Dimensionamento de trincheira de infiltração para uma área de 200 m ²	65
Tabela 26 - Dimensionamento de trincheira de infiltração para uma área de 500 m ²	66
Tabela 27 - Dimensões finais das trincheiras de infiltração.....	66
Tabela 28 - Dimensões e volumes dos materiais das trincheiras de infiltração	67
Tabela 29 - Trincheiras de infiltração com garrafas PET.....	68
Tabela 30- Propostas para os Jardins de chuva (com base nos valores de referência do SINAPI (Set/23)	70
Tabela 31 - Custo dos jardins de chuva por (R\$/m ³).....	71
Tabela 32 - Comparação econômica dos valores por m ³ com a redução do volume de armazenamento de água.....	71
Tabela 33 - Propostas para as Trincheiras de infiltrações (com base nos valores de referência do SINAPI (Set/23)	72

Tabela 34 - Custo das trincheiras de infiltração por (R\$/m ³)	72
Tabela 35 - Custo das trincheiras de infiltração com garrafas PET por (R\$/m ³)	73
Tabela 36 - Valor das trincheiras com garrafas PET por (m ³)	73

LISTA DE SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
QGIS	Quantum gis
SIG	Sistemas de informações geográficas
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

LISTA DE ABREVIATURAS

Ainf	Área de infiltração
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
JC1	Jardim de chuva 1
JC2	Jardim de chuva 2
JC3	Jardim de chuva 3
i	infiltração acumulada (m);
I	Intensidade da precipitação
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
m	Metros
m ³	Metro Cubico
m ²	Metro quadrado
mm	Milímetros
mm/h	Milímetros por hora
PA	Pará
PET	Politereftalato de etileno
T1	Trincheira de infiltração 1
T2	Trincheira de infiltração 2
T3	Trincheira de infiltração 3
T	Duração da chuva
Tr	Tempo de retorno
Vs	Volume de saída

LISTA DE SIMBOLOS

C	Coefficiente de escoamento
K	Condutividade Hidráulica do solo
η_a	Porosidade da areia
η_b	Porosidade da brita,
\emptyset	Porosidade efetiva do material
Q	Vazão máxima

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1 Justificativa	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo Geral	20
2.2 Objetivo Específico	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1 Gestão da drenagem urbana e os impactos das mudanças climáticas	21
3.2 Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (SUDS)	22
3.2.1 Conceito, características e benefícios	22
3.2.2 Jardins de Chuvas	28
3.2.3 Trincheiras de Infiltração	32
3.3 Viabilidade econômica dos sistemas de drenagem sustentáveis adotados	35
3.3.1 Custos de implantação dos SUDS e benefícios econômicos	35
4. METODOLOGIA	37
4.1 Caracterização local	38
4.2 Dimensionamento dos sistemas adotados	41
4.2.1 Coeficientes adotados para o dimensionamento	42
4.2.2 Dimensionamento do jardim de chuva	44
4.2.3 Dimensionamento da trincheira de infiltração	47
5.2.2.1 Trincheira de infiltração com materiais alternativos	49
5. ESTIMATIVA DE CUSTOS	51
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
6.1 Parâmetros iniciais	58
6.2 Dimensionamento dos Jardins de Chuvas	59
6.3 Dimensionamento das Trincheiras de Infiltração	64
6.3.1 Trincheira de infiltração com materiais alternativos	68
6.4 Análise de custos dos sistemas adotados	69
6.4.1 Análise de custo dos jardins de chuva associado a uma duração de 60 min e a um tempo de retorno 10 anos, em reais	70
6.4.2 Análise de custos das Trincheiras de infiltração associado a uma duração de 60 minutos e a um tempo de retorno 10 anos, em reais	72
6.4.3 Comparação dos Sistemas adotados	73
7. CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS	78

APÊNDICE A – PONTOS DE ALAGAMENTOS DE ITAITUBA.	84
APÊNDICE B – TAXA DE INFILTRAÇÃO ADOTADAS PARA O CÁLCULO DOS JARDINS DE CHUVA.....	85
APÊNDICE C – ILUSTRAÇÃO DE DIMENSÕES DOS JARDINS DE CHUVA COM RELAÇÃO A ADEQUAÇÃO DE MUDAS.....	86
APÊNDICE D – ORÇAMENTO ANALÍTICO JARDIM DE CHUVA	86
APÊNDICE E – ORÇAMENTO ANALÍTICO TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO....	89

1. INTRODUÇÃO

A urbanização é um processo natural e necessário, que vem ocorrendo há séculos. No entanto, esse processo tem trazido consigo uma série de impactos negativos, dentre eles, os impactos na drenagem urbana.

De acordo com TUCCI (2014), a urbanização altera o regime hidrológico natural, aumentando a impermeabilização do solo, a velocidade do escoamento superficial e a geração de vazões máximas. Esses fatores contribuem para o aumento da ocorrência de alagamentos, inundações e outros problemas urbanos. Os sistemas convencionais de drenagem urbana, baseados no uso de redes de galerias pluviais, são eficientes na condução das águas pluviais para os corpos hídricos. No entanto, esses sistemas apresentam uma série de limitações, como o alto custo de implantação e manutenção, a ocupação do espaço urbano e a geração de impactos ambientais.

Como alternativa aos sistemas convencionais, os sistemas sustentáveis de drenagem urbana (SUDS) têm sido cada vez mais adotados. Os SUDS são técnicas que visam à infiltração, retenção e evapotranspiração das águas pluviais, contribuindo para a redução dos alagamentos e inundações, a melhoria da qualidade da água e a promoção da sustentabilidade urbana. Entre as técnicas, destacam-se os jardins de chuva e as trincheiras de infiltração. Os jardins de chuva são áreas permeáveis, revestidas de vegetação, que permitem a infiltração das águas pluviais no solo. As trincheiras de infiltração são estruturas permeáveis, escavadas no solo, que também permitem a infiltração das águas pluviais.

O município de Itaituba, no Pará, é um exemplo de cidade que vem apresentando problemas de drenagem urbana. A cidade, que atualmente encontra-se em expansão urbana, vem apresentando, durante o inverno amazônico, sucessivos episódios de alagamentos em vários pontos estratégicos de mobilidade urbana.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica para o uso de sistemas sustentáveis de drenagem urbana no município, as técnicas de jardins de chuva e trincheiras de infiltração foram escolhidas devido à sua facilidade de construção e baixo custo de implantação. Onde, essas técnicas são compatíveis com as características climáticas e geológicas da região amazônica.

O estudo também contemplou a formulação de uma metodologia que permita a avaliação e a seleção de materiais alternativos de preenchimento do tipo PET para as trincheiras de infiltração.

1.1 Justificativa

Os sistemas de drenagem sustentáveis, como os jardins de chuva e as trincheiras de infiltração, apresentam-se como alternativas que promovem a utilização racional dos recursos hídricos, reduzem o impacto ambiental e contribuem para a adaptação das cidades frente às mudanças climáticas. A viabilidade econômica desses sistemas permitirá identificar a relação custo-benefício de sua implementação, fornecendo informações valiosas para a tomada de decisão quanto à escolha das soluções mais adequadas.

O município de Itaituba, localizado na região sudoeste do Pará, enfrenta desafios crescentes relacionados à drenagem urbana, devido às mudanças climáticas e ao rápido crescimento urbano. A ausência de sistemas de drenagem eficientes tem acarretado sérios problemas, especialmente durante os períodos chuvosos, quando as inundações e os alagamentos ocorrem em vários pontos da cidade, afetando a qualidade de vida da população, causando danos materiais, comprometendo a mobilidade urbana e representando um risco à saúde e à segurança dos moradores.

Embora rica em recursos naturais e culturalmente diversa, Itaituba, enfrenta um cenário desafiador em relação à infraestrutura de drenagem. A topografia local, com áreas de baixada, aliada à impermeabilização do solo, causada pelo crescimento urbano desordenado, contribui para o acúmulo de água e a ocorrência de inundações e alagamentos. Além disso, de acordo com Silva Junior et al. (2023), as mudanças climáticas têm intensificado os eventos climáticos extremos, como a chuva intensa que ocorreu em maio de 2023 na cidade, que despontou como o maior total pluviométrico diário já registrado (194,6 mm), desde 1960.

Com esse contexto, torna-se urgente e indispensável a busca por soluções sustentáveis que possam mitigar os impactos das inundações e alagamentos e garantir uma melhor qualidade de vida para a população local. É nesse contexto que se insere o presente trabalho, que tem como objetivo analisar a viabilidade econômica de sistemas de drenagem sustentáveis no município de Itaituba, visando identificar soluções eficientes que possam minimizar esses problemas.

Este estudo busca contribuir para o desenvolvimento de estratégias adequadas de drenagem urbana em Itaituba, considerando não apenas a eficácia das medidas propostas, mas também sua viabilidade econômica. A implementação de sistemas de drenagem sustentáveis, como os jardins de chuva e as trincheiras de infiltração, pode trazer benefícios significativos para a cidade, promovendo a redução dos danos causados pelas inundações e alagamentos, a proteção do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida da população.

Por fim, espera-se fornecer subsídios para decisões e ações futuras no planejamento urbano de Itaituba, visando à construção de uma cidade mais resiliente, sustentável e preparada para enfrentar os desafios presentes e futuros relacionados à drenagem urbana.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a viabilidade econômica do uso de sistemas de drenagem sustentáveis no município de Itaituba - PA, para a mitigação dos problemas locais causados por inundações e alagamentos.

2.2 Objetivo Específico

- Identificar, selecionar e dimensionar os sistemas de drenagem sustentáveis aplicáveis ao município, com foco nos jardins de chuva e nas trincheiras de infiltração, considerando suas características técnicas e adaptabilidade à realidade local;
- Avaliar os custos de implantação dos sistemas de drenagem sustentáveis dimensionados, levando em conta os materiais, mão de obra e equipamentos necessários para a sua implementação.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Gestão da drenagem urbana e os impactos das mudanças climáticas

A drenagem urbana é definida como o conjunto de medidas destinadas a controlar e direcionar o escoamento das águas pluviais em áreas urbanas, visando minimizar os problemas relacionados às inundações e ao acúmulo de água nas vias e terrenos. Essas medidas tanto soluções convencionais, como, define Reis e Ilha (2014), quanto soluções alternativas/sustentáveis, como bacias de retenção, reservatórios de retenção, entre outros dispositivos.

A solução convencional para a drenagem urbana consiste na execução de galerias pluviais para a coleta e transporte do excesso de escoamento superficial para pontos à jusante das áreas urbanas. Entretanto, essa forma de concepção de sistemas de drenagem nem sempre suporta a magnitude das vazões de escoamento nos pontos de descarga. O problema se agrava devido aos seguintes fatores: impermeabilização de grandes áreas urbanas ocasionada pela ocupação desordenada, pontos de redes de drenagem subdimensionados e mau funcionamento dessas galerias em função de entupimentos provocados pelo lixo não coletado ou disposto incorretamente. (REIS; ILHA, 2014, p. 80).

A importância da drenagem urbana na gestão do escoamento das águas pluviais é crucial para evitar prejuízos e impactos negativos nas áreas urbanas. Segundo Silva (2015), a falta de um sistema adequado de drenagem pode resultar em enchentes, erosão do solo, degradação da qualidade da água, danos à infraestrutura urbana e riscos à saúde pública.

A gestão eficiente da drenagem urbana é fundamental para garantir a segurança e a qualidade de vida dos habitantes das cidades. Conforme Lima (2019), um sistema de drenagem bem projetado e mantido pode minimizar os riscos de inundações, proteger as edificações e vias públicas, garantir a mobilidade urbana e preservar a integridade dos recursos hídricos.

Nesse sentido, a drenagem urbana desempenha um papel importante na preservação do meio ambiente e na sustentabilidade urbana. Segundo Oliveira (2018), a implementação de práticas sustentáveis de drenagem, como a utilização de áreas permeáveis, a reutilização da água pluvial e a adoção de técnicas de infiltração, contribui para a recarga de aquíferos, a redução do escoamento superficial e a conservação dos recursos hídricos.

Em geral, observa-se que boa parte dos problemas de drenagem urbana provém dos impactos da urbanização não planejada, através da impermeabilização excessiva do solo, que provoca o aumento dos escoamentos superficiais e sobrecarregam a infraestrutura de drenagem existente. O uso desses sistemas sustentáveis de drenagem urbana reduz o efeito dessa impermeabilização, resgatando dessa maneira, as condições de pré-urbanização

As mudanças climáticas também têm desencadeado diversos impactos na drenagem urbana, aumentando os desafios relacionados ao gerenciamento do escoamento das águas pluviais nas cidades. De acordo com Tucci (2014), as mudanças nos padrões de precipitação, com o aumento da intensidade e frequência das chuvas, resultam em maior volume de água a ser drenado e em menor capacidade de absorção pelo solo urbano.

O aumento da ocorrência de eventos extremos, como chuvas intensas e tempestades, representa um desafio para a drenagem urbana. Segundo Paiva (2019), as mudanças climáticas têm contribuído para o surgimento de enchentes mais frequentes e intensas, sobrecarregando os sistemas de drenagem existentes e causando danos às áreas urbanas.

Aliás, as mudanças climáticas também afetam a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos utilizados na drenagem urbana. Conforme Freitas (2017), a variação dos regimes de chuvas e o aumento da temperatura podem impactar a disponibilidade de água para a irrigação e manutenção dos sistemas de drenagem, bem como aumentar a concentração de poluentes nos corpos hídricos.

A adaptação da drenagem urbana às mudanças climáticas torna-se essencial para minimizar os impactos negativos. De acordo com Ferreira (2018), é necessário repensar os conceitos tradicionais de drenagem, adotando práticas sustentáveis que promovam a infiltração da água no solo, o reuso de água pluvial e o uso de áreas permeáveis.

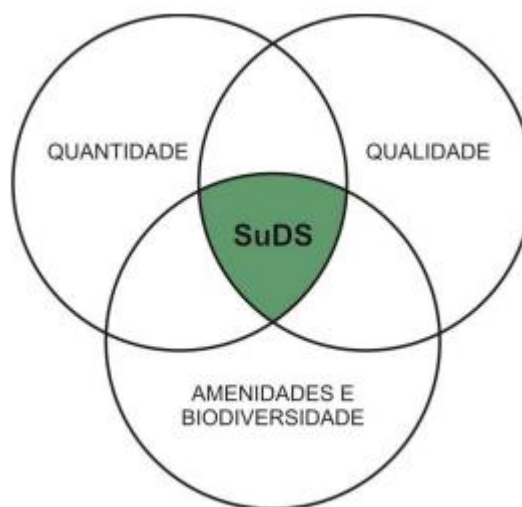
3.2 Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana (SUDS)

3.2.1 Conceito, características e benefícios

Segundo Jones e Macdonald (2007), os SUDS (Sustainable Urban Drainage System) são uma alternativa aos sistemas convencionais de drenagem urbana, que visam um equilíbrio do ciclo hidrológico urbano. Eles buscam aumentar a infiltração do solo e fomentar a reutilização da água da chuva. Esse conceito é uma evolução da antiga percepção de drenagem urbana, que priorizava a rápida expulsão das águas pluviais e efluentes dos centros urbanos. Os SUDS, por outro lado, buscam um manejo mais sustentável da água, que reduza os impactos ambientais e sociais da urbanização. Eles podem ser implementados em diferentes escalas, desde pequenas propriedades até grandes bacias hidrográficas.

De acordo com Gonçalves et al. (2017), os objetivos dos SUDS são conceituados pela harmonização entre, a busca da redução dos efeitos negativos da urbanização em condições de qualidade e quantidade de escoamento superficial e, ao mesmo tempo, contribuir com a melhoria da oferta de amenidades e biodiversidade, como pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 - Objetivos dos SUDS



Fonte: Gonçalves et al (2017)

A drenagem sustentável são soluções que visam gerenciar o escoamento das águas pluviais de forma eficiente, considerando aspectos ambientais, sociais e econômicos. Esses sistemas promovem a utilização racional dos recursos hídricos, reduzem o impacto ambiental e contribuem para a adaptação das cidades às mudanças climáticas.

Segundo Pompêo (2018), a utilização de sistemas de drenagem sustentável, têm como objetivo principal replicar processos naturais de infiltração e retenção da água pluvial, em contraposição aos sistemas convencionais que priorizam o rápido escoamento da água. Essas soluções incluem a implementação de técnicas como os jardins de chuva, trincheiras de infiltração, telhados verdes, entre outras.

Telhado Verde

Telhado verde, ou jardim suspenso, são estruturas arquitetônicas que consistem na aplicação de solo e vegetação sobre uma camada impermeável. Elas são comumente instaladas em coberturas de prédios, residências, empresas e outros edifícios. Registros históricos analisados pela Discovery Channel (2009), mostram que essa técnica é muito antiga, sendo usada desde a Mesopotâmia, atual sul do Iraque e na Babilônia. Os zigurates, templos religiosos mesopotâmicos, eram construídos com coberturas verdes, que proporcionavam um bom desempenho térmico, reduzindo a temperatura interna dos edifícios.

Persch et al. (2011), avaliou o desempenho de um telhado verde na gestão das águas pluviais, observando-se uma redução média de 50% no escoamento, em comparação a um telhado de fibrocimento. A implantação dessa solução contribui para a preservação de áreas

verdes, além de permitir o tratamento da água acumulada para uso posterior, com grande potencial de integração a projetos arquitetônicos e urbanos.

Figura 2 - Telhados verdes instalados em edifícios.



Fonte: Roca Cerâmica (2022)

Para Tominaga (2013) os telhados verdes apresentam vantagens e desvantagens, são elas:

Vantagens:

- Redução do Volume de escoamento superficial durante precipitações
- Redução do desconforto térmico nos ambientes abaixo dos telhados
- Possibilidade de Implantação em telhados já existentes desde que avaliada a condição estrutural.
- Apresenta ótima integração com projetos paisagísticos

Desvantagens:

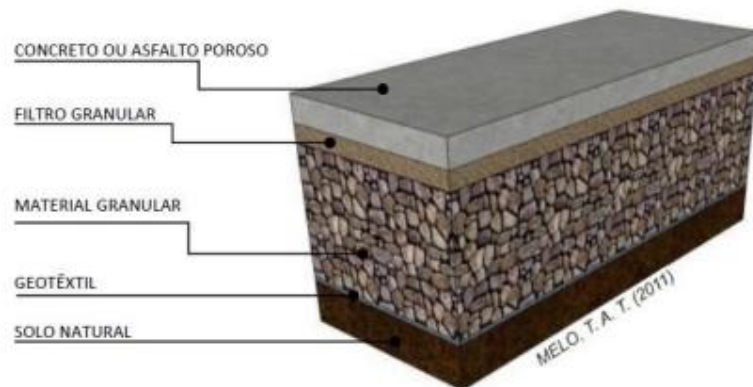
- Maior necessidade de manutenção se comparado com telhados convencionais
- Baixa eficiência para chuvas intensas e prolongadas
- Volume armazenado depende da área do telhado.

Pavimentos Permeáveis

Segundo Urbonas e Stahre (1993), este dispositivo consiste em um sistema de drenagem que redireciona a água de superfície para um reservatório subterrâneo, geralmente feito de brita de granulometria variada. Para evitar o entupimento, o reservatório deve ser protegido por membranas geotêxteis, sendo classificados em pavimento asfalto poroso, pavimento concreto poroso e pavimento semipermeável.

O asfalto poroso (Figura 3) é semelhante aos asfaltos convencionais, mas com uma diferença importante: ele é mais poroso. Isso ocorre porque uma parte do agregado miúdo é retirada da mistura, deixando espaços vazios. O concreto poroso também é mais poroso que o concreto convencional, pois uma parte da areia é retirada da mistura.

Figura 3 - Esquema construtivo de um pavimento poroso



Fonte: MELO (2011)

Os pavimentos semipermeáveis (Figura 4) são estruturas compostas por blocos de concreto perfurados, que permitem a passagem da água, preenchidos com material drenante, como cascalho ou areia, e cobertos com um geotêxtil, que impede que o material drenante se misture com o solo.

Figura 4 - Esquema construtivo de um pavimento semi-permeável.



Fonte: MELO (2011)

Para Tominaga (2013) e Araújo et al. (2000) os pavimentos permeáveis apresentam vantagens e desvantagens são elas:

Vantagens:

- Retenção temporária das águas diminuindo assim os picos de escoamento.
- Redução da necessidade de meio-fio e canais de drenagem.
- Aumento da segurança e conforto em vias.
- Alta integração com a obra, não necessitando de espaço exclusivo para implantação.

Desvantagens:

- Custo relativamente alto
- Manutenção regular
- Problemas de colmatação
- Tende a se tornar obstruído se mal construído ou erroneamente mantido

Poços de Infiltração

Poços de infiltração são dispositivos que permitem a infiltração da água da chuva no solo. Eles são construídos enterrando-se um reservatório, que pode ser feito de tijolos (Figura 5, pneus (Figura 6), concreto (Figura7), ou outros materiais resistentes. O topo do reservatório é coberto com um material permeável, como areia ou cascalho, para permitir a infiltração da água. A tampa do reservatório deve ser resistente para suportar o peso de pessoas e animais. Durante os períodos de seca, os poços de infiltração ficam vazios.

No entanto, quando chove, a água da chuva da região ao redor escoava para dentro do poço. A água fica armazenada no poço e, aos poucos, infiltra no solo, tanto pelo fundo quanto pelas laterais.

Figura 5 - Poço de infiltração com tijolos.

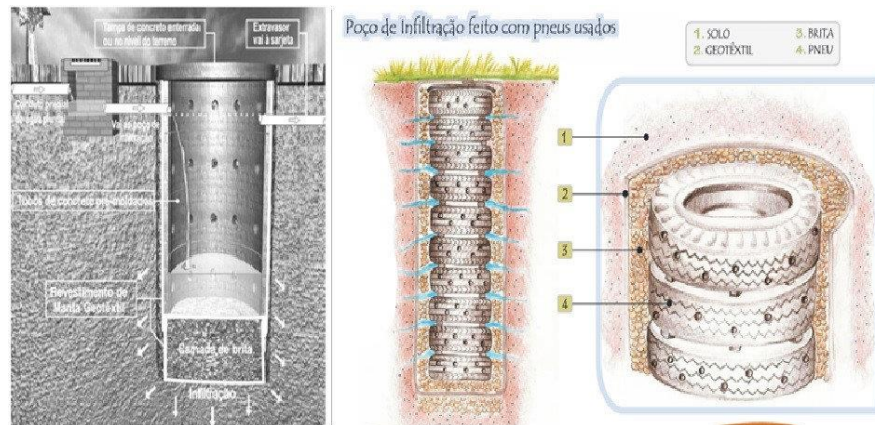


Fonte: Barbassa et al. (2014).

Segundo REIS (2014), estruturas desse tipo direcionam inicialmente toda a água da chuva captada pela edificação para um poço de infiltração. Somente quando o solo estiver

saturado e o poço estiver completamente cheio a água é lançada no sistema público de drenagem, por meio de dispositivos de extravasão instalados no próprio poço ou em uma caixa de passagem anterior.

Figura 6 - Poço de infiltração com pneus



Fonte: Carvalho e Lelis (2010).

Figura 7 - Poço de infiltração com concreto furado.



Fonte: Bauen construtora (2019).

Para Brito (2006) os poços de infiltração apresentam vantagens e desvantagens, são elas:

Vantagens:

- Redução dos volumes drenados pela rede de drenagem clássica;
- Ganho financeiro, pela redução das dimensões das tubulações à jusante;
- Boa integração no meio urbano;
- Redução dos riscos de inundação;
- Não necessita de exutório;
- Possível recarga do aquífero subterrâneo;
- Não há restrições em função da topografia;

- Boa utilização no caso de solos superficiais pouco permeáveis e camadas profundas com grande capacidade de infiltração.

Desvantagens:

- Possibilidade de colmatção das superfícies de infiltração
- Necessidade de manutenção regular;
- Risco de poluição do lençol subterrâneo;
- Baixa capacidade de armazenamento.

De acordo com Pacheco (2019), os sistemas de drenagem sustentáveis possuem características específicas que os diferenciam dos sistemas convencionais. Entre essas características, destaca-se a capacidade de retenção e infiltração da água pluvial no solo, reduzindo o volume de escoamento superficial. Essas soluções também promovem a filtragem e remoção de poluentes presentes nas águas pluviais, contribuindo para a preservação da qualidade da água.

Os sistemas de drenagem sustentáveis, como os jardins de chuva e as trincheiras de infiltração, são projetados para reduzir o escoamento superficial da água pluvial, permitindo a sua infiltração gradual no solo. Isso contribui para a diminuição da quantidade de água que chega aos corpos d'água, evitando enchentes e reduzindo a erosão do solo. Pacheco (2019).

A promoção da biodiversidade é outro benefício importante dos sistemas de drenagem sustentáveis. De acordo com Moraes (2020), essas soluções, ao utilizar vegetação nativa em áreas de infiltração e retenção de água pluvial, criam condições favoráveis para a presença de fauna e flora local. Essa biodiversidade urbana traz benefícios tanto para o meio ambiente, favorecendo o equilíbrio ecológico, quanto para a qualidade de vida da população, proporcionando ambientes mais agradáveis e saudáveis.

3.2.2 Jardins de Chuvas

Os jardins de chuva são estruturas que podem ser implementadas em áreas urbanas para a captação e armazenamento de água pluvial, permitindo sua infiltração gradual no solo. Esses sistemas são eficazes na redução do escoamento superficial de água e no controle de alagamentos.

De acordo com Pacheco (2019), os jardins de chuva são concebidos como áreas ajardinadas, com depressões no solo e vegetação adequada para a absorção da água. Essas estruturas são projetadas para reter temporariamente a água da chuva, permitindo que ela seja infiltrada gradualmente no solo, evitando o seu escoamento descontrolado (Figura 8).

Figura 8- Jardim de chuva para drenagem de águas pluviais



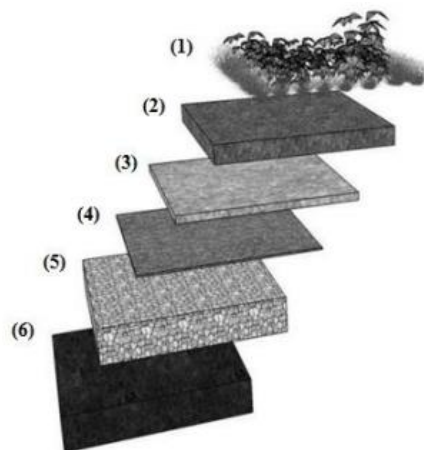
Fonte: Bahia econômica (2022)

Ao compreendermos melhor o processo de drenagem, torna-se possível projetar formas mais eficientes de redirecionar as águas pluviais dentro do sistema. Isso permite evitar os impactos negativos decorrentes da falta de infiltração hidrológica adequada.

- *Estrutura*

O jardim de chuva é um sistema construído com base em uma série de camadas interligadas entre si. Sua versatilidade permite que seja adaptado às necessidades específicas de cada local em que é aplicado. Em geral, são utilizadas seis camadas fundamentais para o funcionamento adequado desse sistema, conforme a Figura 9 abaixo e o detalhamento a seguir:

Figura 9 - Esquema de camadas de jardins de Chuvas



Fonte: Melo et al (2014).

- 1) Camada superficial onde são dispostas as vegetações do jardim de chuva. Geralmente, são utilizadas gramíneas, plantas rasteiras, arbustivas e de espécies nativas, por se adaptarem melhor ao clima da região.
- 2) Camada onde contém todos os nutrientes que darão suporte à cobertura vegetal utilizada.
- 3) Camada formada, em sua maioria, por areia, para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo.
- 4) Camada constituída por uma manta geotêxtil, destinada à retenção de finos carreados no processo e infiltração.
- 5) Camada formada por brita ou cascalho, onde a água é temporariamente abrigada antes de ser destinada ao solo natural.
- 6) Por fim, a sexta camada consiste no local onde a água infiltrada pode ser utilizada para recarga subterrânea, armazenamento ou ambos- sistema combinado.

Essas seis camadas são essenciais para o funcionamento adequado de um jardim de chuva. Cada uma desempenha um papel específico na absorção, retenção e filtragem da água pluvial, permitindo que o sistema seja eficiente na gestão das chuvas e no controle de alagamentos. A adaptação dessas camadas de acordo com as características e necessidades do local em que o jardim de chuva é construído garante a sua eficácia e durabilidade.

- *Projeto*

De acordo com Melo (2011), os sistemas de biorretenção que é como se enquadram os jardins de chuva, foram desenvolvidos inicialmente para resolver problemas de drenagem urbana em grandes áreas. No entanto, devido à sua eficiência e aos seus efeitos secundários positivos, como a melhoria da qualidade da água, eles passaram a ser utilizados também em áreas menores, graças à sua flexibilidade em termos de forma e tamanho. Apesar de não ser citada na maioria dos Planos de Drenagem Urbana das cidades, a biorretenção já conta com diversos métodos de dimensionamento, alguns com fundamentação totalmente empírica e outros com maior embasamento técnico.

Para Hunt (2010), os jardins de chuva são sistemas ideais para implantação em áreas residenciais, pois são dimensionados para receber os volumes de água proveniente de telhados e calçadas, o que ajuda a reduzir a inundação das vias públicas e a melhorar a qualidade da água dos mananciais. A crescente popularidade dos sistemas de jardins de chuva no campo da

drenagem urbana levou ao desenvolvimento de diferentes métodos de dimensionamento para otimizar a gestão das águas urbanas e o controle de poluentes.

De acordo com Melo (2011), por exemplo, na sua proposta afirma que o principal foco de análise ao se projetar um jardim de chuva deve ser o solo e suas características, pois este é o elemento que mais influencia a capacidade de infiltração da água da chuva. Outro fator que deve ser atentado, é com relação ao nível do lençol freático, uma vez que o mesmo irá limitar a profundidade de escavação dos jardins de chuva.

O dimensionamento de um jardim de chuva pode ser feito de diversas maneiras. Uma delas é proposta por Hunt (2010), que leva em consideração a taxa de drenagem do solo. Para calcular essa taxa, é necessário realizar um ensaio de infiltração no local onde o jardim será instalado. O ensaio é realizado cavando-se uma abertura no terreno a uma profundidade de 1 metro abaixo do nível de fundo do jardim de chuva. Em seguida, a abertura é preenchida com um volume conhecido de água e o tempo que essa água demora para infiltrar no solo é registrado.

A taxa de drenagem do solo é calculada dividindo-se o volume de água pelo tempo de infiltração. Esse valor é então utilizado para dimensionar o jardim de chuva, garantindo que ele tenha capacidade de armazenar e infiltrar toda a água da chuva que nele for direcionada.

Apesar do surgimento de diversas técnicas de dimensionamento de jardins de chuva, ainda não existe um consenso sobre qual padrão ou modelo é o mais adequado para projetá-los. Isso ocorre porque muitos aspectos da sua estrutura podem ser alterados para maximizar a quantidade de água a ser retida ou o controle de qualidade.

- *Vantagens e desvantagens*

Para Muthanna (2008), os jardins de chuvas apresentam as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens:

- Redução do volume de escoamento e da taxa de pico dos hidrogramas de maneira sustentável, devido à retenção e armazenamento do volume escoado na superfície do sistema
- Recarga das águas subterrâneas e restabelecimento do fluxo de base, devido ao processo de infiltração e redistribuição.
- Intensificam os processos do ciclo hidrológico, principalmente a infiltração e evapotranspiração.

- Melhora a qualidade das águas, pela retenção e remoção de poluentes e redução no transporte de contaminantes carregados pelas águas pluviais.
- Menor custo de implantação e manutenção, por não utilizar tubulações tradicionais, mas sim, adotar materiais alternativos e menos onerosos para a composição do sistema, como brita e areia.

Desvantagens:

- Manutenção periódica, como a limpeza de folhas e galhos.
- Não pode ser utilizado para grandes áreas de contribuição.
- Pode sofrer colmatagem, sendo recomendável que exista um pré-tratamento (exemplo: faixa gramada) em áreas com grande aporte de sedimentos
- Não pode ser utilizado em lugares onde há limitação de espaço, pois reduz o espaço de via trafegável
- Podem não ser adequados para áreas com solos impermeabilizados ou com alta declividade.

3.2.3 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração também são soluções eficientes de drenagem sustentável. Segundo GONÇALVES (2020), as trincheiras de infiltração são valas preenchidas com material permeável, como brita ou cascalho, que permitem a infiltração da água pluvial no solo. Essas estruturas são especialmente úteis em áreas urbanas com solo compactado, onde a infiltração natural da água é dificultada (Figura 10).

Figura 10 - Trincheira de infiltração para drenagem de águas pluviais



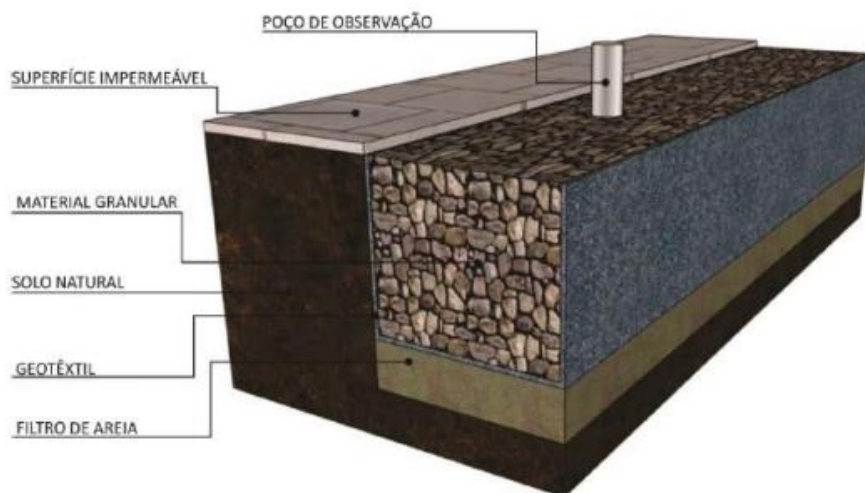
Fonte: Green Infrastructure Practices(2021)

- *Estrutura*

As trincheiras são estruturas escavadas que desempenham diversos papéis em várias áreas, desde construção civil até práticas militares e de engenharia. Elas consistem em valas estreitas e longas, geralmente com uma forma retangular ou em V, que são preenchidas com material granular, como brita ou seixo rolado (Figura 11). Além disso, é comum que o topo dessas trincheiras seja preenchido com graminéas ou vegetação similar.

São comumente protegidas e separadas do solo natural por um geotêxtil, material têxtil composto por malhas minúsculas, capaz de permitir o direcionamento do fluxo de água, retendo os sólidos, a fim de evitar a entrada de partículas finas e de elementos poluentes, evitando assim a colmatção do dispositivo. (ALVES, 2018, p.21 apud MELO et al., 2016)

Figura 11 - Trincheira de Infiltração piloto no sítio experimental do grupo de física do solo da UFPE



Fonte: Melo (2016)

- *Projeto*

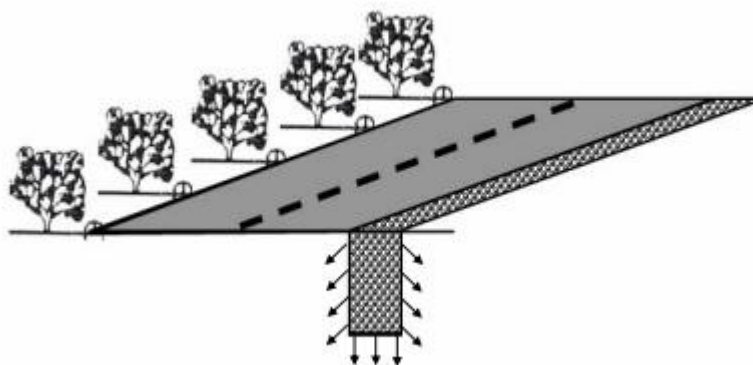
As trincheiras de infiltração são construídas em uma área plana, com uma largura relativamente pequena e profundidade considerável e um comprimento longo. As águas pluviais que escoam perpendicularmente às trincheiras são coletadas e infiltradas no solo. Isso ajuda a reduzir o escoamento superficial, que pode causar inundações e outros problemas. Esses dispositivos podem ser aplicados em diversos locais, como estacionamentos, terrenos esportivos, passeios e áreas verdes.

Segundo Baptista et al (2005), a implantação de uma trincheira de infiltração é uma medida importante para o controle da poluição hídrica e a redução da impermeabilização do solo. No entanto, é importante tomar precauções para garantir a sua eficiência e segurança. Do ponto de vista técnico, é necessário verificar a viabilidade da trincheira em termos físicos, urbanísticos/infraestrutura, sanitários/ambientais e socioeconômicos.

No aspecto físico, é importante avaliar a topografia do local, a existência de exutório permanente, a capacidade hidráulica de infiltração do solo e o nível do lençol freático. A topografia do local deve ser plana ou com declividade suave, para facilitar a drenagem da água. A existência de exutório permanente é essencial para garantir o escoamento da água infiltrada. A capacidade hidráulica de infiltração do solo deve ser adequada para receber o volume de água a ser tratado.

O nível do lençol freático deve ser monitorado para evitar que a água infiltrada contamine as águas subterrâneas. No aspecto urbanístico e de infraestrutura, é necessário avaliar a disponibilidade do espaço e as redes hidráulicas existentes. A trincheira deve ser implantada em um local com espaço suficiente para a sua construção e operação. As redes hidráulicas existentes devem ser dimensionadas para receber o volume de água a ser tratado pela trincheira.

Figura 12 - Ilustração de trincheira de infiltração.



Fonte: Silva (2007)

- *Vantagens e desvantagens*

As trincheiras de infiltração apresentam as seguintes vantagens e desvantagens, e para BAPTISTA et al. (2005), o uso de trincheiras de infiltração proporciona, como:

Vantagens:

- Redução das vazões de pico de escoamento a jusante;
- Ganho financeiro, pela redução das dimensões das tubulações das drenagens de águas pluviais à jusante;
- Baixo custo;
- Redução dos riscos de inundação;
- Fácil construção;
- Boa interação com o meio urbano;
- Recarga do lençol freático;

Desvantagens e limitações:

- A possibilidade de colmatção do sistema;
- Necessidade de manutenção regular;
- Risco de contaminação do lençol subterrâneo no caso de captação poluidora.

3.3 Viabilidade econômica dos sistemas de drenagem sustentáveis adotados

3.3.1 Custos de implantação dos SUDS e benefícios econômicos.

A utilização de dispositivos de infiltração de águas pluviais vem sendo realizada há anos em diversos países, possibilitando a análise do comportamento dessas técnicas ao longo do tempo. No Brasil, a aplicação de sistemas infiltrantes ainda é rara, sendo mais comum em pesquisas. O trabalho de Melo et al. (2016), por exemplo, realizou a avaliação de um projeto de uma trincheira de infiltração instalada na cidade de Recife, PE. No estudo de custo de construção analisou a relação entre o preço geral de construção de uma estrutura e de alguns materiais individualmente, em função dos tempos de retorno (2, 5, 10 e 25 anos) e dos tempos de duração da chuva de projeto (5, 15, 60 e 120 min).

Os dados mostraram que os custos aumentam proporcionalmente ao aumento dos tempos (t e Tr). Os anos de 10 e 25 apresentaram os maiores custos, devido ao aumento da camada de brita e do material de preenchimento dessa camada. O material granular (brita) foi o que apresentou o maior aumento de custo, seguido do custo do serviço de escavação e do geotêxtil.

A análise de custo também mostrou que a altura da camada de brita adotada foi insuficiente. Também mostrou que a trincheira de infiltração foi considerada uma boa técnica compensatória para o caso estudado.

Com uma metodologia de dimensionamento semelhante, Silva (2007), fez o uso das garrafas PET como enchimento nas trincheiras de infiltração. E teve como resultado, um aumento dos custos de implantação, resultando em aumentos de até 154% em relação as trincheiras convencionais, os quais se deu por conta da mão-de-obra na produção manual de corte das garrafas PET. No entanto, o uso das garrafas PET nas trincheiras de infiltração tem como premissa possibilitar uma maior capacidade de acumulação nas trincheiras, e uma menor sobrecarga sobre o solo suporte.

Almeida (2021) realizou uma proposta com a adição de jardim de chuva, a proposta apresentou resultados satisfatórios em termos de redução do volume de água que seria destinado aos sistemas de drenagem. Além de contribuir para o paisagismo e apresentar baixo custo de implantação. Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios, indicando que para suprir uma demanda de água não potável de 136,50 m³/ano, com aproveitamento de água de chuva, se obteria uma redução de 14,25 % do volume de água que seria direcionada ao sistema de drenagem, além de uma redução no consumo de água potável. O jardim dimensionado estimado com 4 m² de área, apresentou capacidade de armazenar 87 % do volume de entrada e um custo de R\$ 688,57 reais (Out/2020), correspondendo um custo de R\$ 172,14 / m³ (Out/2020), sendo esses valores referentes ao SINAPI.

4. METODOLOGIA

Inicialmente, o trabalho teve como premissa a identificação da região estudada. Para a viabilidade do estudo em questão, foram utilizados os softwares Revit, QGIS e Excel. O primeiro, permitiu a elaboração dos projetos dimensionados. O segundo, a identificação da área de estudo. E o terceiro, foi usado para a realização de todos os cálculos e planilhas, tendo início na etapa da determinação das áreas de drenagem e se estendendo ao dimensionamento dos dispositivos e posteriormente às suas orçamentações.

Em seguida, foram elaborados os dimensionamentos das técnicas adotadas partindo da adequação aos coeficientes para o estudo proposto. Após a seleção das propostas adotadas para avaliação dos custos, procedeu-se à orçamentação de cada combinação. Para tal, foi feito uso dos preços unitários disponibilizados pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), do ano de 2023, e de cotações de preços no mercado local de Itaituba, no mês de setembro de 2023.

Os sistemas aqui apresentados foram avaliados e dimensionados, visando demonstrar a viabilidade econômica para implantação dessas técnicas. Dessa forma, os custos levantados no presente trabalho não incluíram a incorporação do custo de manutenção, custos de pré-tratamento e a comparação dos custos envolvidos para o caso de substituição e/ou complementação dos dispositivos de drenagem convencional, sendo assim, o desenvolvimento do estudo seguiu conforme o fluxograma abaixo (Figura 13).

Figura 13 - Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

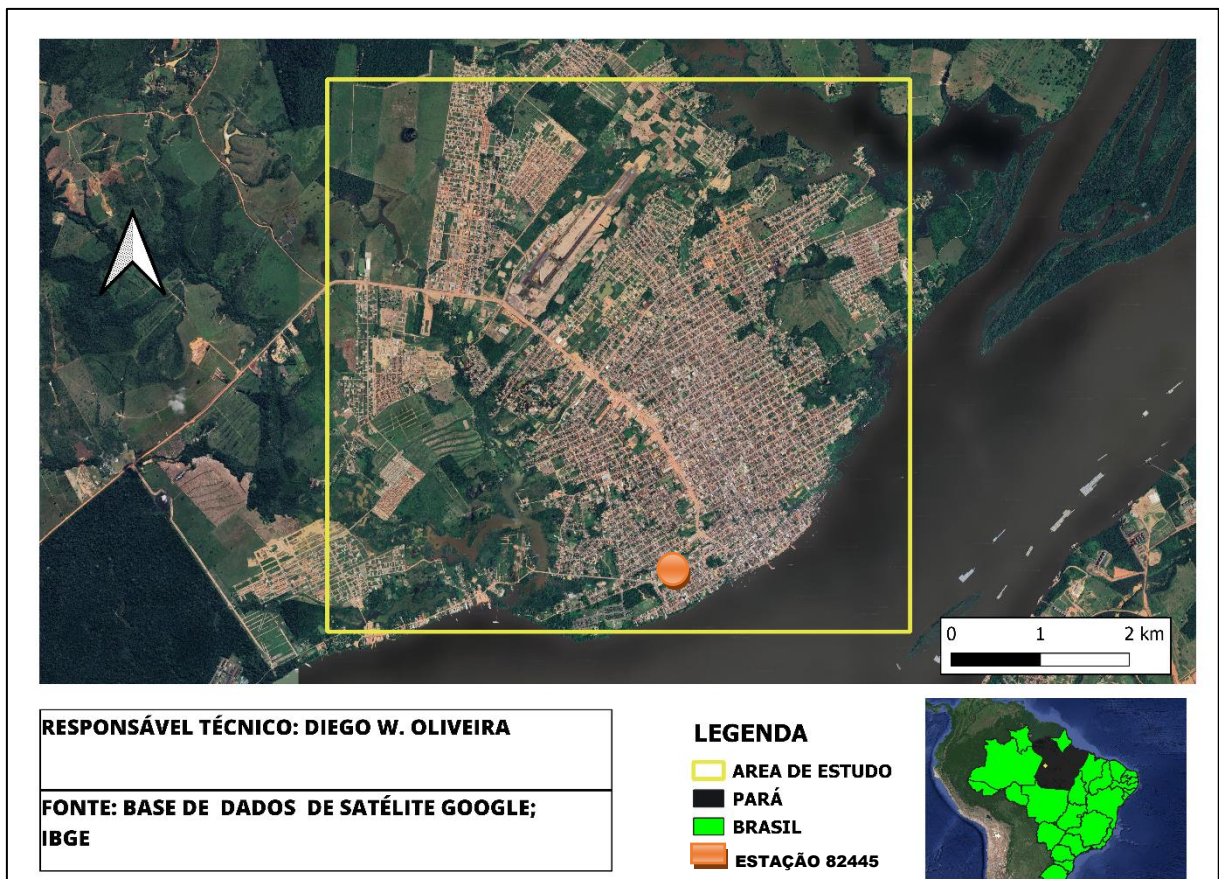
A execução de cada etapa será detalhada nos itens a seguir.

4.1 Caracterização local

A cidade de Itaituba está localizada na região sudoeste do estado do Pará, mais precisamente na margem esquerda do rio Tapajós, afluente do rio Amazonas (Figura 14). Inserida na região do Baixo Amazonas, abriga uma grande variedade de ecossistemas, incluindo florestas tropicais, rios, lagos. Em termos topográficos, o território itaitubense apresenta um relevo plano a suave ondulado, característico do Planalto Residual do Tapajós.

Segundo o IBGE, em 2022, a população era de 123.314 habitantes e a densidade demográfica era de 1,99 habitantes por quilômetro quadrado. Na comparação com outros municípios do estado, ficava nas posições 11 e 129 de 144. Já na comparação com municípios de todo o país, ficava nas posições 247 e 5348 de 5570. Em 2022, a área do município era de 62.042,472 km², o que o coloca na posição 5 de 144 entre os municípios do estado e 13 de 5570 entre todos os municípios.

Figura 14 - Mapa de localização do núcleo urbano do município de Itaituba- PA



Fonte: Elaboração própria (2023) com base nos dados do IBGE.

Atualmente, a cidade enfrenta desafios significativos em relação à drenagem urbana. O rápido aumento da população e a expansão desordenada das áreas urbanas têm sobrecarregado os sistemas de drenagem existentes, levando a problemas de inundações e alagamentos em vários locais da cidade. Conforme Silva (2018), a ocupação desordenada do solo, com a impermeabilização de grandes áreas, compromete a capacidade de absorção da água da chuva pelo solo, aumentando o escoamento superficial e a ocorrência de alagamentos.

Outro desafio adicional é o pouco investimento em infraestrutura de drenagem e a ausência de políticas públicas efetivas. Segundo Santos (2019), a falta de recursos financeiros e a falta de capacidade técnica para planejar e implementar projetos de drenagem adequados dificultam a resolução dos problemas relacionados ao escoamento das águas pluviais.

A falta de conscientização e participação da população também representa um desafio para a drenagem urbana local. De acordo com Silva (2020), a falta de educação ambiental e a falta de engajamento da população na adoção de práticas sustentáveis de drenagem dificultam a efetividade das medidas compensatórias, na tentativa de reparar os impactos da urbanização.

No Apêndice A, apresenta os pontos de alagamentos e sua distribuição por bairro na área urbana de Itaituba, destacando a sua localização em cada bairro, juntamente com as demarcações dos setores censitários, os quais foram a base para a elaboração dos mapas de risco da área urbana da cidade.

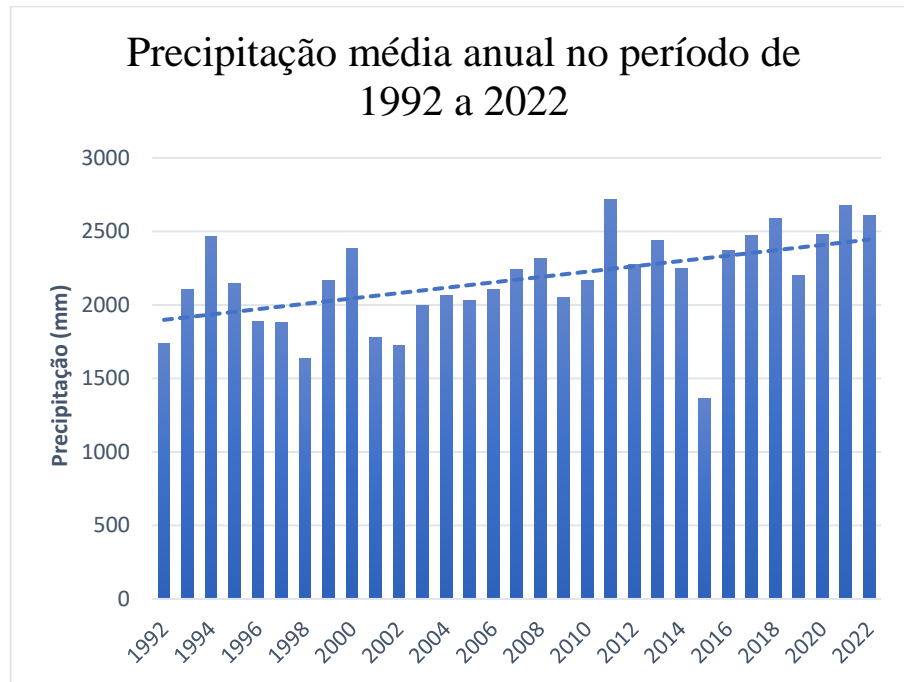
- Pluviometria

Com base nas séries históricas, registradas no banco de dados do INMET, foram calculadas a precipitação anual e as médias mensais do município. Os dados de precipitação anual foram coletados com o período estimado de 30 anos, entre os anos de 1992 e 2022, adquiridos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Estação 82445. (Coordenadas: 4° 16' 37.000" S e 55° 59' 35.000" W), conforme pode ser visto na Figura 14.

Esses dados são importantes para verificação da lâmina infiltrada acumulada durante um período onde as chuvas são mais intensas, e o solo está mais úmido. Com isso, facilita a verificação da infiltração da água para o dimensionamento dos sistemas, na próxima etapa.

Os dados mostram que a precipitação anual na cidade tem apresentado um aumento nos últimos anos. A média anual, considerando o período analisado, uma precipitação de 2171,57 mm.

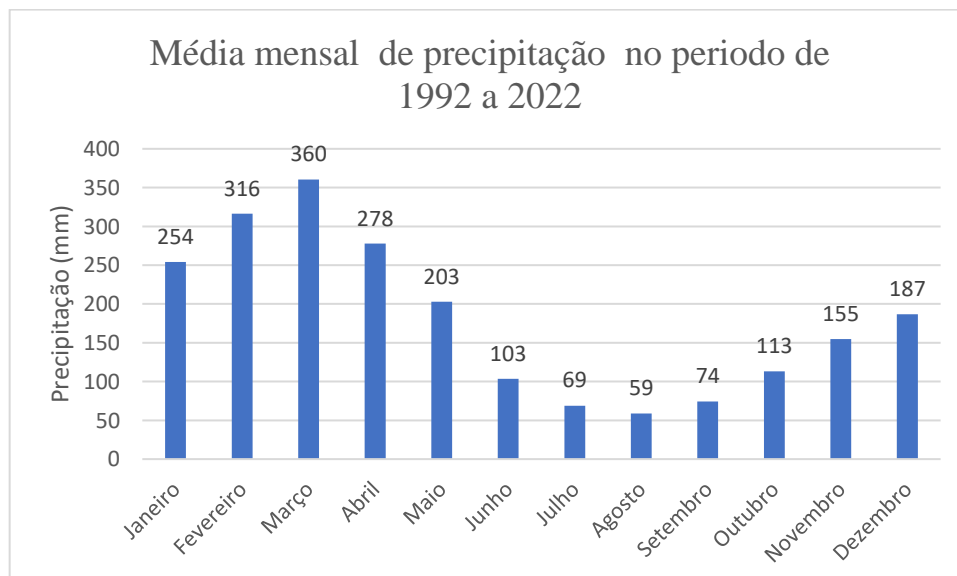
Figura 15 - Precipitação anual no período de 1992 a 2022



Fonte: Elaboração própria (2023) base INMET.

Outra análise é a do gráfico mostrado na Figura 17, onde indica que o regime de precipitação na região apresenta picos máximos de precipitação nos meses de janeiro, fevereiro e março, configurando o período de inverno amazônico. O mês de março apresenta o maior índice de precipitação, com valores médios superiores a 350 mm

Figura 16 - Média mensal de precipitação no período de 1992 a 2022 no município de Itaituba - PA



Fonte: Elaboração própria (2023) base INMET.

A partir do mês de maio, ocorre uma redução gradual na precipitação, que se intensifica nos meses de junho a setembro, quando os valores médios ficam abaixo de 100 mm. O período dura aproximadamente 4 a 5 meses, iniciando em maio e terminando em setembro, caracterizando o período seco. As precipitações voltam a aumentar a partir do mês de outubro, atingindo os valores máximos nos meses de fevereiro e março.

A equação de chuvas intensas foi usada para estimar a quantidade de chuva que cairá em um determinado período de tempo. E para fazer o dimensionamento para a região de Itaituba, adotou-se o modelo proposto por Souza (2012).

Tabela 1 - Coeficientes das equações de chuvas intensas ajustadas para Itaituba – PA

Município	K	A	B	c	R²
Itaituba	1073,2685	0,1317	9,7851	0,7242	0,9939

Fonte: Souza (2012) adaptado pelo autor (2023).

No caso em questão, foi utilizada a equação geral IDF (Equação 1).

(1)

$$I = \frac{K Tr^a}{(T + b)^c}$$

em que:

I: intensidade da precipitação, (em milímetros por hora);

Tr: tempo de retorno, (em anos);

t: duração da chuva, (em minutos).

K,a,b,c : parâmetros da região

4.2 Dimensionamento dos sistemas adotados

Para estimar com precisão os custos, foi realizado o dimensionamento dos sistemas adotados: jardins de chuva e trincheiras de infiltração. Para o dimensionamento do jardim de chuva, utilizou-se o método elaborado por Melo (2011), que se baseia em utilizar uma porcentagem mínima da área impermeável de 5%, tendo como etapas a intensidade pluviométrica, volume de entrada e volume de saída.

Já o dimensionamento para o sistema de trincheira de infiltração, foram feitos três projetos de trincheira com dimensões diferentes, porém, para a mesma condutividade hidráulica. Esse dimensionamento baseou-se na determinação dos volumes acumulados de

entrada e saída do dispositivo de infiltração (trincheiras). A curva de volumes de chuva acumulada ao longo do tempo, construída com base na curva IDF local, em que é comparada com a curva de volumes de infiltração do solo. Fazendo a diferença entre as duas curvas, em seu ponto máximo, determinando o volume de dimensionamento.

4.2.1 Coeficientes adotados para o dimensionamento

Na escolha dos coeficientes, usou-se a premissa da aplicação do método racional, em que, o período de retorno utilizado na microdrenagem varia de dois a dez anos (Tabela 2). No dimensionamento, foi adotado um período de retorno de 10 anos para trincheira de infiltração e 10 anos para os jardins de chuva.

Tabela 2 - Valores de período de retorno relacionado ao tipo de ocupação da área.

Tipo de obra	Tipo de ocupação de área	Tr(anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 – 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Pruski, Brandão, Silva (2003).

Sobre o escoamento superficial, para o dimensionamento dos jardins de chuvas, o cálculo da vazão de entrada teve como coeficiente o valor de 0,80 considerando a superfície como calçadas. E para o dimensionamento para as trincheiras, foi adotado o valor de 0,85, valor mediano para asfaltos, contemplando também as calçadas. Nesse caso, a (Tabela 3) refere-se as laterais abertas.

Tabela 3 - Valores típicos de coeficiente de escoamento (C).

Superfície		Considerações	
		Intervalo	Valor esperado
Pavimento	Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
	Concreto	0,80 - 0,95	0,88
	Calçadas	0,75 - 0,85	0,80
	Telhado	0,75 - 0,95	0,85
Cobertura; grama, arenoso	plano (2%)	0,05 - 0,10	0,08
	médio (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
	alta (7%)	0,15 - 0,20	0,18
Gramma, solo pesado	plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15
	médio (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
	declividade alta (7%)	0,25 - 0,33	0,3

Fonte: Melo (2011)

Como são técnicas de infiltração, é necessário considerar algumas características do solo local. Para a condutividade hidráulica (K) do solo itaitubense, utilizou-se os valores apresentados por Lima (2009), que abrangeu os diferentes tipos de solos (Figura 17). No dimensionamento das trincheiras, foi adotado um valor de 10^{-4} m/s, ou seja, 0,00011 m/s, que é considerado um solo de boa possibilidade de infiltração.

Figura 17 - Condutividade hidráulica de diferentes tipos de solos

k (m/s)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Tipos de solos	Seixos sem areia nem elementos finitos		Areia com seixos, areia grossa a fina	Areia muito fina, silte grosso a silteargiloso		Argila siltosa a argila homogênea					
Possibilidade de infiltração	Excelente		Boa	Média a baixa		Baixa a nula					

Fonte: Lima (2009).

Sobre os valores de porosidade efetiva (Tabela 4), para os jardins de chuvas considerou-se o valor de 25% para areia e 40 % para a brita, utilizando a granulometria uniforme. Nas trincheiras, foi considerado uma porosidade superior de 30% sendo brita grossa.

Tabela 4 - Porosidade efetiva

Material	Porosidade efetiva (%)
Brita grossa 24 mm	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduada (menores que 1/4")	30
Areia Fina/Média / Grossa	25
Seixo rolado	15-25

Fonte: Medeiros (2019)

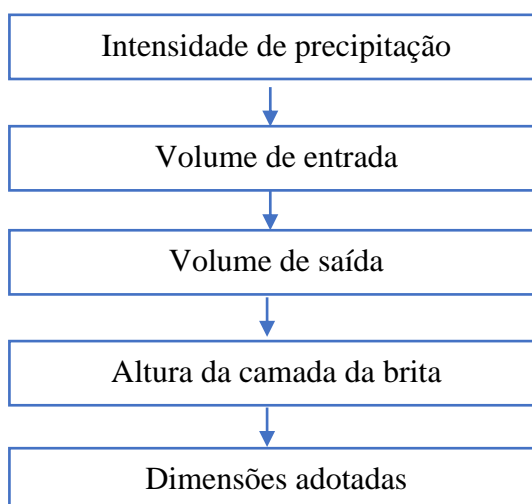
4.2.2 Dimensionamento do jardim de chuva

Para ser calculado a área dos jardins de chuva, foi necessário verificar alguns parâmetros importantes, como as dimensões das áreas impermeáveis. O dimensionamento do jardim de chuva é realizado em duas etapas. Na primeira, calcula-se a área plana do jardim, que pode ser determinada por diferentes métodos.

No presente trabalho, adotou-se o método proposto por Melo (2011), que considera uma porcentagem mínima de 5% das áreas impermeáveis. Na realização do dimensionamento, foi adotado 3 áreas impermeáveis para verificação, de 150 m², 200 m² e 500 m², e por isso, dimensionou-se o jardim de chuva com áreas de 7,5 m², 10 m² e 25 m².

Já a segunda parte se refere ao dimensionamento da camada de brita do jardim de chuva. Para essa etapa, foi dividida em três sub etapas: intensidade pluviométrica, volume de entrada e volume de saída, conforme pode ser visto no fluxograma da Figura 18.

Figura 18 - Procedimentos de cálculo para dimensionamento da estrutura de um jardim de chuva



Fonte: Melo (2014) adaptado pelo autor (2023).

Intensidade de precipitação

Para o cálculo dos jardins de chuvas, foi considerado um período de retorno de 10 anos e a duração da chuva de projeto de 15, 10 e 5 minutos. Esses valores são considerados apropriados para projetos desse tipo, pois representam uma chuva com intensidade elevada, que é capaz de causar inundações/alagamentos.

Volume de entrada

Foi determinado a partir do método racional (Equação 2). Esse método é aplicado a bacias pequenas e tem o objetivo de transformar a intensidade de precipitação em vazão (MELO, 2011).

(2)

$$Q = \frac{C * I * A * 10^{-3}}{3600}$$

em que:

Q: vazão máxima, em metros cúbicos por segundo;

C: coeficiente de escoamento;

I: intensidade de precipitação (em milímetros por hora);

A: área estudada, (em metros quadrados).

O valor do coeficiente de escoamento superficial é Tabelado e baseado no tipo de superfície ou no tipo de ocupação. Dessa forma, o mesmo foi retirado da Tabela 3. Após isso, foi calculado o volume de entrada através da Equação 3.

(3)

$$Ve = Q . t$$

em que:

Ve: volume de entrada, (em metros cúbicos/segundo);

Q: vazão máxima, (em metros cúbicos por segundo);

t: tempo de duração da chuva, (em segundos);

Volume de saída

O parâmetro necessário para o cálculo da camada de brita, que é o volume que sai do jardim de chuva e infiltra no solo natural, é o cálculo de volume de saída, e a equação é a seguinte:

(4)

$$V_s = A_{inf} \cdot i$$

em que:

V_s : volume de saída (m^3);

A_{inf} : área de infiltração (m^2);

i : infiltração acumulada (m);

A área de infiltração corresponde a área em que a água vai começar a sair do jardim de chuva para o solo natural, e para este trabalho foi considerado uma infiltração onde ocorre somente na base do jardim de chuva. Com as áreas destacadas de $7,5m^2$, $10m^2$ e $25m^2$. Já a taxa de infiltração, corresponde a lâmina de água que infiltra no solo, em relação ao tempo, os valores das taxas de infiltração acumulada foram adotados a partir do estudo realizado por Almeida (2021), onde seguiu valores próximos aos testes realizados. Esses valores estão no Apêndice B.

Na sequência, após serem obtidos a intensidade pluviométrica, volume de entrada e de saída foi determinada a altura da brita a partir da equação 5

Altura da camada da brita

(5)

$$H_b = \frac{V_e - V_s - (h_a \cdot B \cdot L \cdot n_a)}{(B \cdot L \cdot n_b)}$$

em que:

H_b : altura da brita, em(cm);

V_e : volume de entrada, em (m^3);

V_s : volume de saída, em (m^3);

B : Largura do jardim de chuva, em(m);

L : comprimento, em (m);

h_a : altura da camada de areia, em (cm);

n_a e n_b : porosidade da areia e da brita, respectivamente.

Os valores de porosidade efetiva foram tirados da Tabela 4. Em relação as camadas de britas, segundo Melo (2014), deve ser adicionada à camada de brita uma margem de segurança para armazenamento equivalente a 5 cm de altura.

4.2.3 Dimensionamento da trincheira de infiltração

O procedimento para o dimensionamento das trincheiras de infiltração parte das equações de volume afluente e de volume efluente da trincheira, pelo método racional, e da equação de intensidade-duração frequência (IDF) da região para um determinado período de retorno (T).

Com as intensidades de precipitação já calculadas, foi feita a verificação de diferentes propostas para trincheiras de infiltração.

Volume afluente à trincheira

O volume afluente no dispositivo será obtido através da multiplicação da vazão pelo tempo, conforme a Equação 6

(6)

$$V_e = (1,25 \cdot C \cdot i \cdot t \cdot A_d)$$

em que:

V_e : volume que aporta a trincheira (m^3)

C : coeficiente de escoamento

i : intensidade da precipitação de T anos de retorno (m/h)

t : duração da precipitação (h)

A : Área da bacia de contribuição (m^2)

Volume de saída da trincheira

Para estimar a taxa de água percolada na trincheira, a lei de Darcy foi aplicada (Equação 7). A taxa média da saída da água pode ser aproximada pela média dos volumes de saída para o enchimento e o esvaziamento da estrutura, considerando o tempo necessário para cada processo. Entretanto, esse volume, no caso da trincheira, depende da área lateral da mesma, que por sua vez, depende das dimensões da trincheira. Dessa forma, faz-se necessário uma estimativa inicial arbitrária das dimensões do dispositivo.

(7)

$$V_{perc} = k \cdot \frac{A_{perc}}{2} \cdot 3600 \cdot t$$

em que:

V_{perc} : volume de água percolado no solo (m^3);

K : condutividade hidráulica saturada do solo (m/s);

A_{perc} : área total dos lados da estrutura de percolação (m^2);

t : tempo da precipitação (h);

A área total dos lados da estrutura de percolação é dada pela seguinte Equação 8:

(8)

$$A_{perc} = 2 \cdot H \cdot (B + L)$$

em que:

H : altura(m)

B : largura(m)

L : comprimento(m)

Para cada duração de precipitação, calculou-se o volume de água que entraria na trincheira e o volume de água que sairia da trincheira. O volume maior desses dois foi o volume de dimensionamento. Em seguida, esse volume foi aplicado pela porosidade efetiva do material de preenchimento da trincheira. O resultado foi o volume final do dispositivo (Equação 9).

(9)

$$V_{trin} = \frac{\max(V_e - V_{perc})}{\emptyset}$$

em que:

V_{trin} : volume da trincheira

V_e : volume que aporta a trincheira (m^3)

V_{perc} : volume de água percolado no solo (m^3);

\emptyset : porosidade efetiva do material

Após isso, é necessário ainda comparar o volume encontrado para a trincheira ao volume adotado inicialmente, que por sua vez foi oriundo de dimensões arbitrárias das dimensões imaginadas para a trincheira.

Se o volume inicial for inferior, é necessário redimensionar a trincheira e repetir o procedimento. Caso seja consideravelmente superior, também se faz necessário o redimensionamento. O processo de cálculo é finalizado quando as dimensões da trincheira geram um volume superior àquele necessário.

Como não existe um padrão estrutural e de dimensionamento das trincheiras de infiltração, seguindo os estudos propostos por GAUR (2012), pode ser adicionada, por exemplo, uma camada de areia ou de material orgânico sobre a superfície da estrutura. Essa aplicação pode ajudar a purificar a água, removendo poluentes e toxina. Logo, a partir da profundidade da trincheira, é definida a profundidade de brita.

5.2.2.1 Trincheira de infiltração com materiais alternativos

Optou-se por estudar também a possibilidade de uso de garrafas PET e destas combinadas com os enchimentos convencionais com brita. O procedimento segue o trabalho realizado por Silva (2007), onde foi realizado ensaios e metodologia de produção para o uso de garrafas PET em trincheiras de infiltração.

Além de reduzir a carga sobre o solo suporte, Silva (2007) as garrafas PET permitem ampliar a capacidade de armazenamento de água das trincheiras.

Figura 19 - Garrafas PET adotadas para o dimensionamento



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As garrafas PET seguem padrões de tamanhos e, nesse estudo, adotaram-se garrafas com volumes de 2 litros. Abaixo, na Tabela 5, mostram-se algumas especificações das garrafas adotadas.

Tabela 5 - Dimensões das Garrafas PET

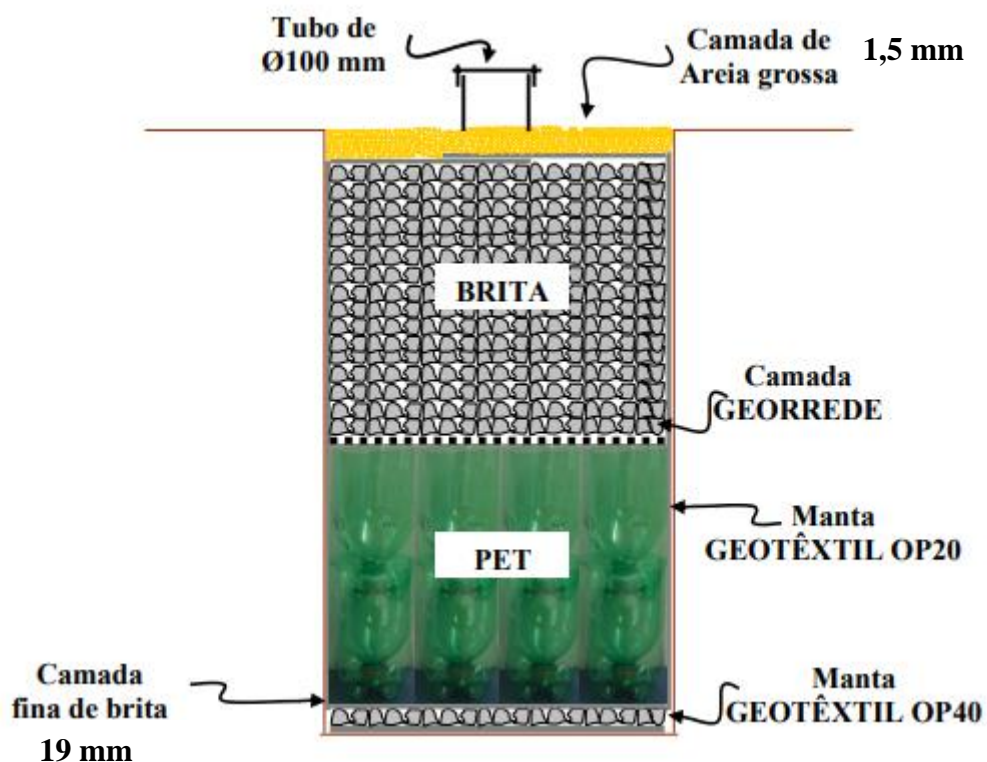
Garrafa PET	Altura(cm)	Volume(cm ³)	Espessura da parede(mm)
1	34,5	2000	0,10
2	34	2000	0,10
3	34,5	2000	0,10

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Para a realização da análise econômica dessa técnica, utilizou-se como premissa, parte das expressões adotadas nas trincheiras anteriores, porém, agora retirando uma parte da camada de brita e adicionando a camada de garrafas PET com suas dimensões.

O modelo adotado por Silva (2007) mostra o procedimento que permite a acomodação dos materiais utilizados na fase construtiva, conferindo-lhe menos deformabilidade após a construção das trincheiras.

Figura 20 - Sistema de montagem de trincheiras de infiltração com Garrafas PET.



Fonte: Silva (2007) adaptado pelo autor (2023).

No ensaio realizado, proposto por Silva (2007), o enchimento por garrafas PET resultou em uma quantidade de 97/m³. Esse valor será adotado como parâmetro para calcular e estimar os custos dessas aplicações. Para efeito de cálculo foi considerado colunas de garrafa PET de 35 cm, 70cm e 120 cm, completando a altura com brita n° 02.

5. ESTIMATIVA DE CUSTOS

No intuito de realizar um comparativo entre o custo com a aplicação de material e realização de orçamento com cotações locais, foi realizada uma estimativa de custo do jardim de chuva e da trincheira de infiltração, utilizando preços com base nas Tabelas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) e os preços característicos da cidade de Itaituba, com valores referentes a setembro de 2023.

Jardim de chuva

Na determinação dos recursos necessários para a construção do jardim de chuva, foram utilizadas as equações, a seguir, para precificar cada item que compõe a execução do jardim de chuva (Equação 10 a 14). Com a somatória das variáveis, obtém-se o custo total do jardim de chuva (Equação 15), associado a uma duração “t” e a um tempo de retorno “Tr”, em reais. O método para estimativa de custos foi adaptado pelo autor a partir do método elaborado por Almeida (2021).

Cálculo do C1

(10)

$$C1 = C_b \cdot b \cdot l \cdot H_b$$

em que:

C_b: custo por metro cúbico de brita para a camada de armazenamento, em reais;

b e l: largura e comprimento da base do jardim, em metros;

H_b: altura da camada de armazenamento do jardim de chuva, associado a uma área de drenagem A, duração t e a um tempo de retorno Tr, em metros;

Cálculo de C2

(11)

$$C2 = C_e \cdot b \cdot l \cdot (H_b + H_a + H_l)$$

em que:

Ce: custo por metro cúbico da escavação, já incluídos material e mão de obra, em reais;

Ha: espessura da camada de areia do jardim de chuva, em metros;

b e l: largura e comprimento da base do jardim, em metros;

Hb: altura da camada de armazenamento do jardim de chuva, associado a uma área de drenagem A, duração t e a um tempo de retorno Tr, em metros;

Hl: espessura da camada livre do jardim de chuva, metros;

Cálculo de C3

(12)

$$C3 = Ca . b . l . Ha$$

em que:

Ha: espessura da camada de areia do jardim de chuva, em metros;

Ca: custo por metro cúbico de areia para a camada de armazenamento, em reais;

b e l: largura e comprimento da base do jardim, em metros;

Cálculo de C4

(13)

$$C4 = Cge . b . l$$

em que:

Cge: custo por metro quadrado do geotêxtil, em reais;

b e l: largura e comprimento da base do jardim, em metros;

Cálculo do C5

(14)

$$C5 = cm . qm$$

em que:

cm: custo das mudas, em reais;

qm: quantidade de mudas (unid),

C(t, Tr)

(15)

$$C(t, Tr) = C1 + C2 + C3 + C4 + C5$$

em que:

C(t,Tr): custo do jardim de chuva associado a uma duração t e a um tempo de retorno Tr, em reais;

O custo de cada item que compõem os jardins de chuva, considerando os preços unitários de setembro de 2023 do SINAPI, sem BDI (Bonificação e Despesas Indiretas), estão apresentados nas Tabela 6 e 7 a seguir.

Tabela 6 - Custo de serviço e insumos para a execução dos jardins de chuvas para serviço mecanizado.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID	PREÇO UNITÁRIO
1	ESCAVAÇÃO				
1.1	90084	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 1,5 M ATÉ 3,0 M	SINAPI	M ³	11,59
2	ATERRO				
2.1	94342	ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO	SINAPI	M ³	86,20
2.2	102719	ENCHIMENTO COM BRITA 02, LANÇAMENTO MANUAL.	SINAPI	M ³	253,41
3	FILTRAGEM E DRENAGEM				
3.1	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M	SINAPI	M ²	32,18
4	VEGETAÇÃO				
4.1	98505	PLANTIO DE FORRAÇÃO	SINAPI	M ²	61,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2023), com base em SINAPI (2023).

Tabela 7 - Custo de serviço e insumos para a execução dos jardins de chuvas para serviço manual.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID	PREÇO UNITÁRIO
1	ESCAVAÇÃO				
1.2	96523	ESCAVAÇÃO MANUAL	SINAPI	M³	96,20
2	ATERRO				
2.1	94342	ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO	SINAPI	M³	86,20
2.2	102719	ENCHIMENTO COM BRITA 02, LANÇAMENTO MANUAL.	SINAPI	M³	253,41
3	FILTRAGEM E DRENAGEM				
3.1	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M	SINAPI	M²	32,18
4	VEGETAÇÃO				
4.1	98505	PLANTIO DE FORRAÇÃO	SINAPI	M²	61,84

Fonte: Elaborado pelo autor (2023), com base em SINAPI (2023).

Trincheira de infiltração

O custo total estimado para a execução das trincheiras de infiltração foi obtido pela somatória dos custos de cada item que compõem o sistema, a partir das Equações 16 a 19. Partindo do modelo proposto por Melo (2016), as equações foram adaptadas para o cálculo.

Cálculo de X_1

(16)

$$X_1 = Ca \cdot a \cdot b \cdot ha$$

em que:

Ca: custo do material da camada de armazenamento (R\$/m³);

a: comprimento da camada de armazenamento

b: largura da camada de armazenamento

ha: altura da camada de armazenamento respectivamente em(m);

Cálculo de X_2

(17)

$$X_2 = Ce \cdot a \cdot b \cdot ha$$

em que:

a: comprimento da camada de armazenamento;

Ce: custo da escavação (R\$/m³);

b: largura da camada de armazenamento;

ha: altura da camada de armazenamento, em metros;

Cálculo de X_3

(18)

$$X_3 = C_{ge}(2. a. ha + 2. b. ha + 2. a. b)$$

em que:

C_{ge} : custo do geotêxtil (R\$/m³);

a: comprimento da camada de armazenamento;

b: largura da camada de armazenamento;

ha: altura da camada de armazenamento, em metros;

C (t, Tr)

(19)

$$C(t, Tr) = X_1 + X_2 + X_3$$

em que:

C (t, Tr): custo da trincheira de infiltração associado a uma duração “t” e a um tempo de retorno “Tr”, em (R\$);

Tabela 8 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração serviço mecanizado.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID	PREÇO UNITÁRIO
1	ESCAVAÇÃO				
1.1	90084	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 1,5 M ATÉ 3,0 M	SINAPI	M ³	11,59
2	ATERRO				
2.1	94342	ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO	SINAPI	M ³	86,20
2.2	102717	ENCHIMENTO COM BRITA 02, LANÇAMENTO MECANIZADO.	SINAPI	M ³	245,64
3	FILTRAGEM E DRENAGEM				
3.1	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M	SINAPI	M ²	32,18

Fonte: Elaborado pelo autor (2023), com base em SINAPI (2023).

Tabela 9 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração serviço manual.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID	PREÇO UNITÁRIO
1	ESCAVAÇÃO				
1.1	96523	ESCAVAÇÃO MANUAL	SINAPI	M ³	96,20
2	ATERRO				
2.1	94342	ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO	SINAPI	M ³	86,20
2.2	102719	ENCHIMENTO COM BRITA 02, LANÇAMENTO MANUAL.	SINAPI	M ³	253,41
3	FILTRAGEM E DRENAGEM				
3.1	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M	SINAPI	M ²	32,18

Fonte: Elaborado pelo autor (2023). base SINAPI (2023).

Trincheira de infiltração com materiais alternativos

Tabela 10 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração com garrafas PET para escavação manual.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID	PREÇO UNITÁRIO
1	ESCAVAÇÃO				
1.2	96523	ESCAVAÇÃO MANUAL	SINAPI	M ³	96,20
2	ATERRO				
2.1	102718	ENCHIMENTO DE AREIA LANÇAMENTO MANUAL.	SINAPI	M ³	142,05
2.2	102719	ENCHIMENTO COM BRITA 02, LANÇAMENTO MANUAL.	SINAPI	M ³	253,41
3	FILTRAGEM E DRENAGEM				
3.1	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M	SINAPI	M ²	32,18
4	MATERIAL SELECIONADO				
4.1		GARRAFA PET	LOCAL	UNID	0,05
4.2		MÃO DE OBRA(CORTE)	LOCAL	UNID	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor (2023), com base em SINAPI (2023) e cotações locais.

Tabela 11 - Custo de serviço e insumos para a execução das trincheiras de infiltração com garrafas PET para escavação mecanizada.

ITEM	CÓDIGO	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID	PREÇO UNITÁRIO
1	ESCAVAÇÃO				
1.2	90084	ESCAVAÇÃO MECANIZADA	SINAPI	M ³	11,59
2	ATERRO				
2.1	102716	ENCHIMENTO DE AREIA LANÇAMENTO MECANIZADO	SINAPI	M ³	134,28
2.2	102717	ENCHIMENTO DE BRITA 02 PARA LANÇAMENTO MECANIZADO.	SINAPI	M ³	245,64
3	FILTRAGEM E DRENAGEM				
3.1	103653	GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M	SINAPI	M ²	32,18
4	MATERIAL SELECIONADO				
4.1		GARRAFA PET	LOCAL	UNID	0,05
4.2		MÃO DE OBRA(CORTE)	LOCAL	UNID	0,10

Fonte: Elaborado pelo autor (2023), com base em SINAPI (2023) e cotações locais.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Parâmetros iniciais

Intensidade Pluviométrica:

A intensidade de precipitação foi determinada por meio da equação IDF para a cidade de Itaituba. Ela foi obtida utilizando um tempo de retorno de 10 anos para diferentes tempos de duração de chuvas de projeto, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Intensidade de precipitação em Itaituba para diferentes durações de chuvas.

Tempo(min)	Precipitação efetiva(mm/h)	Tempo de Retorno(anos)	Precipitação Máxima(mm/h)
5	206,64	10	17,22
10	167,3	10	27,88
15	142,14	10	35,54
60	67,17	10	67,17

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Áreas de contribuição aos sistemas adotados:

Foram definidas 3 condições para o dimensionamento dos jardins de chuvas, sendo: 150 m² para o jardim 1, 200 m² para o jardim 2 e 500 m² para o jardim 3., conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13 - Áreas consideradas no dimensionamento de jardins de chuvas.

Jardim de chuva	Área(m ²)
JC1	150
JC2	200
JC3	500

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Da mesma forma para as trincheiras de infiltração. A primeira condição para a trincheira 1 foi adotar uma área de 150 m², e para a trincheira 2, uma área de 200 m². Por fim, a trincheira 3 foi dimensionada para uma área de 500 m² (Tabela 14).

Tabela 14- Áreas consideradas no dimensionamento de Trincheira de infiltração

Trincheira de Infiltração	Área(m²)
T1	150
T2	200
T3	500

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6.2 Dimensionamento dos Jardins de Chuvas

Os jardins de chuva foram dimensionados com base nas áreas propostas na Tabela 13. Neste trabalho, foi considerado o critério mínimo de dimensionamento de 5 % da área da superfície impermeável, conforme adotado por Melo et al. (2014). Assim, as áreas foram de 7,5m², 10m² e 25m², sendo considerado um desenho para projeto baseado na forma e disposição dessas áreas, com as dimensões adotadas (comprimento x largura).

Tabela 15 -Dimensões planas do jardim de chuva

Jardim de Chuva	Área do jardim de chuva (m ²)	Comprimento (m)	Largura(m)
JC1	7,5	6	1,25
JC2	10	8	1,25
JC3	25	20	1,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A estrutura do jardim de chuva foi determinada por uma sequência de cálculos para determinar a intensidade de precipitação, o volume de entrada, o volume de saída e, por fim, a altura da camada de brita, conforme apresentado a seguir.

Volumes de Entrada e Saída:

Para os Jardins de chuvas (JC1, JC2 e JC3), o tempo de retorno e o tempo de duração da chuva de projeto adotados foram de 10 anos, com durações de 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos e 60 minutos, respectivamente.

Seguindo as etapas, utilizando o coeficiente de escoamento igual a 0,80, foi obtida as vazões para as áreas de 150m², 200m² e 500m². Tendo conhecimento das vazões máximas,

chegou-se a seus volumes de entrada com os tempos de duração de chuva (em segundos), conforme mostra na Tabela 16.

Tabela 16 -Vazão máxima de entrada e volumes de entrada para os jardins de chuva.

Jardim de Chuva	Área da superfície impermeável (m ²)	Tempo de duração da chuva em segundos	Intensidade de precipitação (mm/h)	Vazão máxima de entrada (m ³ /s)	Volume de entrada (m ³)	Coefficiente de escoamento
JC 1	150	300	206,64	0,0069	2,07	0,8
		600	167,3	0,0056	3,35	0,8
		900	142,14	0,0047	4,26	0,8
		3600	67,166	0,0022	8,06	0,8
JC 2	200	300	206,64	0,0092	2,76	0,8
		600	167,3	0,0074	4,46	0,8
		900	142,14	0,0063	5,69	0,8
		3600	67,166	0,0030	10,75	0,8
JC 3	500	300	206,64	0,023	6,89	0,8
		600	167,3	0,019	11,15	0,8
		900	142,14	0,016	14,21	0,8
		3600	67,166	0,007	26,87	0,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Na etapa seguinte foi realizado o dimensionamento do volume de saída, de acordo com as alturas, tempo de teste e taxa de infiltração, adotadas para estimar a lâmina infiltrada acumulada demonstradas no Apêndice B. Em seguida, realizando a diferença entre os volumes de entrada e de saída encontrando o volume de armazenamento.

Tabela 17 - Volume de saída e armazenamento dos jardins de chuvas adotados

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Tempo de duração da chuva (min)	Lâmina infiltrada acumulada (m)	Volume de saída (m ³)	Volume de armazenamento (m ³)
JC 1	7,5	5	0,0775	0,58	1,49
		10	0,0775	0,58	2,76
		15	0,0775	0,58	3,68
		60	0,0775	0,58	7,48
JC 2	10	5	0,0775	0,8	1,98
		10	0,0775	0,8	3,69
		15	0,0775	0,8	4,91
		60	0,0775	0,8	9,97
JC 3	25	5	0,0775	1,9	4,95
		10	0,0775	1,9	9,22
		15	0,0775	1,9	12,28
		60	0,0775	1,9	24,93

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Nas áreas apresentadas no projeto, com os diferentes tempos de chuvas apresentados, tem como resultado, a redução de 72% para um tempo de 5 minutos, 83% para um tempo de 10 minutos, 86% para um tempo de 15 minutos e 93% para um tempo de 60 minutos, conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Porcentagem de Redução do volume de armazenamento de água.

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Tempo de duração da chuva (min)	Redução (%)
JC 1	7,5	5	72%
		10	83%
		15	86%
		60	93%
JC 2	10	5	72%
		10	83%
		15	86%
		60	93%
JC 3	25	5	72%
		10	83%
		15	86%
		60	93%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Com base no dimensionamento, os jardins de chuvas dimensionados no tempo de duração de chuva de 60 minutos, apresentam os melhores resultados podendo reter aproximadamente 93% da água da chuva que cairia sobre ele, evitando que essa água fosse diretamente para o sistema de drenagem. Isso é um resultado muito positivo, pois contribui para a redução dos impactos no processo de uma chuva intensa. Em termos práticos, isso significa que, se uma determinada área recebe 100 litros de água da chuva por hora, o jardim de chuva será capaz de reter cerca de 93 litros dessa água. Os 7 litros restantes serão direcionados para o sistema de drenagem.

Posteriormente, foi feito o cálculo da altura da camada de brita necessária para armazenar o volume.

Composição das camadas

Como já mencionado na metodologia, para determinar a altura da camada de brita, foi utilizada a porosidade da brita (η_b) como sendo da ordem de 40 %, para granulometria

uniforme, e a porosidade da areia (η_a) como 25 %, para areia média. Para a altura da camada de areia, foi considerado 15 cm.

Tabela 19 - Cálculo das alturas das camadas de brita do jardim de chuva

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Tempo de duração da chuva (seg)	Lâmina infiltrada acumulada (m)	η_a (%)	η_b (%)	Intensidade de precipitação (mm/h)	Altura de areia (m)	C
JC 1	7,5	300	0,0775	25	40	206,6	0,15	0,80
		600	0,0775	25	40	167,3	0,15	0,80
		900	0,0775	25	40	142,1	0,15	0,80
		3600	0,0775	25	40	67,2	0,15	0,80
JC 2	10	300	0,0775	25	40	206,6	0,15	0,80
		600	0,0775	25	40	167,3	0,15	0,80
		900	0,0775	25	40	142,1	0,15	0,80
		3600	0,0775	25	40	67,2	0,15	0,80
JC 3	25	300	0,0775	25	40	206,6	0,15	0,80
		600	0,0775	25	40	167,3	0,15	0,80
		900	0,0775	25	40	142,1	0,15	0,80
		3600	0,0775	25	40	67,2	0,15	0,80

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 20 - Altura das camadas de brita

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Tempo de duração da chuva (min)	Altura da camada de brita (m)	Altura da camada de brita com margem de segurança (m)
JC 1	7,5	5	0,40	0,45
		10	0,83	0,88
		15	1,13	1,18
		60	2,40	2,45
JC 2	10	5	0,40	0,45
		10	0,83	0,88
		15	1,13	1,18
		60	2,4	2,45
JC 3	25	5	0,3	0,35
		10	0,64	0,69
		15	0,88	0,93
		60	1,90	1,95

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A altura da camada de brita tem como margem de segurança de 5 cm, de acordo com Melo (2011), é adicionado nessas alturas um acréscimo de 5cm. Desta forma, foi considerado uma profundidade total dos jardins de chuvas, conforme disposto na Tabela 21.

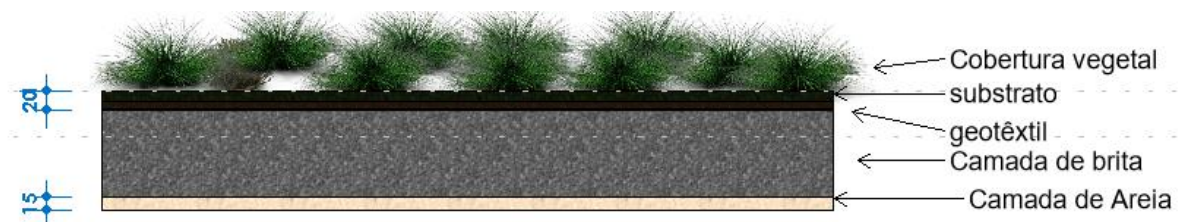
Tabela 21 - Altura das camadas dos jardins de chuva propostos.

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Camada de Areia(m)	Camada livre (charco + substrato) (m)	Camada de brita	Altura total(m)
JC 1	7,5	0,15	0,20	0,45	0,80
		0,15	0,20	0,88	1,23
		0,15	0,20	1,18	1,53
		0,15	0,20	2,45	2,80
JC 2	10	0,15	0,20	0,45	0,80
		0,15	0,20	0,88	1,23
		0,15	0,20	1,18	1,53
		0,15	0,20	2,45	2,80
JC 3	25	0,15	0,20	0,35	0,70
		0,15	0,20	0,69	1,04
		0,15	0,20	0,93	1,28
		0,15	0,20	1,95	2,30

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

De acordo com as dimensões adotadas do projeto, tem-se um perfil ilustrado da seguinte maneira (Figura 21).

Figura 21 - Dimensões e disposição de camadas dos jardins valores (em cm)



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No que se refere a cobertura vegetal nos jardins de chuva apresentados, conhecendo-se suas dimensões, foi considerado um espaçamento de 23 cm entre as mudas em relação a largura do jardim, além de um espaçamento de 5 cm entre a primeira muda e a borda do jardim.

Levando em conta os espaçamentos adotados, foi estimada no JC1 a necessidade de 150 mudas dispostas em 30 fileiras no comprimento do jardim, e 5 fileiras na largura do jardim. Esses espaçamentos deverão ser ajustados na montagem do jardim de chuva, levando em consideração as espécies de mudas escolhidas, sendo a muda de rasteira/forração, amendoim rasteiro/onze horas.

A ilustração das dimensões e distribuição de mudas nos jardins dimensionados estão no Apêndice C.

Tabela 22 - Quantidade de mudas nos jardins de chuva

Jardim	Quantidade de mudas
JC1	150
JC2	200
JC3	500

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6.3 Dimensionamento das Trincheiras de Infiltração

No dimensionamento das trincheiras de infiltração, para áreas a serem drenadas de 150 m², 200 m² e 500 m². foi feito o dimensionamento a partir da equação IDF e, com isso, obteve-se diferentes volumes que seriam aportados às trincheiras dimensionadas.

Em seguida, foi feita uma estimativa para as dimensões das trincheiras, com seus volumes iniciais e áreas de infiltrações, de acordo com a Tabela 23. Sendo, inicialmente, adotado uma altura de 1,5 m para as três trincheiras dimensionadas, e largura de 1 metro.

Tabela 23 - Dimensões adotadas para o dimensionamento das trincheiras

	T1	T2	T3
L - Adotado(m)	10	15	20
H (m)	1,5	1,5	1,5
B (m)	1	1	1
Vol. inicial(m ³)	15	22,5	30
Ainf(m ²)	33	48	63

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Após adotar as dimensões para as trincheiras, foi realizado o cálculo dos volumes de saída das trincheiras adotadas. Em seguida para cada duração de precipitação envolvida, fez se a diferença entre os respectivos valores de volumes de entrada e de saída e com apropriação do maior.

Obtendo para a trincheira 1, o valor de 4,76 m³ máximo volume necessário, para a trincheira 2, o valor de 5,92 m³, e para a trincheira 3 o valor de 23,09m³. Por fim, aplicou-se

ao volume encontrado a porosidade efetiva do material de preenchimento da trincheira de 30% e encontrou os seus respectivos volumes de dimensionamento. Nas Tabelas 24, 25 e 26 mostram o resultado do dimensionamento para as áreas adotadas.

Tabela 24 – Dimensionamento de trincheira de infiltração para uma área de 150 m².

Tempo (min)	Precipitação (m/h)	Área de 150 m							
		C	Porosidade (%)	k(m/s)	Ve (m ³)	Vs (m ³)	Ve – Vs (m ³)	Máx (Ve- Vs) necessário (m ³)	Volume necessário (m ³)
5	0,20664	0,85	30%	0,000111	3	0,55	2,19	4,76	16
10	0,1673	0,85	30%	0,000111	4	1,10	3,35		
15	0,14214	0,85	30%	0,000111	6	1,65	4,02		
20	0,1244	0,85	30%	0,000111	7	2,20	4,41		
25	0,11121	0,85	30%	0,000111	7	2,75	4,64		
30	0,1009	0,85	30%	0,000111	8	3,30	4,74		
35	0,0926	0,85	30%	0,000111	9	3,85	4,76		
40	0,0858	0,85	30%	0,000111	9	4,40	4,72		
45	0,0800	0,85	30%	0,000111	10	4,95	4,62		
50	0,0751	0,85	30%	0,000111	10	5,49	4,48		
55	0,0709	0,85	30%	0,000111	10	6,04	4,31		
60	0,0672	0,85	30%	0,000111	11	6,59	4,11		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 25 - Dimensionamento de trincheira de infiltração para uma área de 200 m².

Tempo (min)	Precipitação (m/h)	Área de 200 m ²							
		C	Porosidade (%)	k(m/s)	Ve(m ³)	Vs(m ³)	Ve – Vs (m ³)	Máx (Ve- Vs) necessário (m ³)	Volume necessário (m ³)
5	0,20664	0,85	30%	0,000111	4	0,80	2,86	5,92	19,7
10	0,1673	0,85	30%	0,000111	6	1,60	4,33		
15	0,14214	0,85	30%	0,000111	8	2,40	5,15		
20	0,124433	0,85	30%	0,000111	9	3,20	5,62		
25	0,111206	0,85	30%	0,000111	10	4,00	5,85		
30	0,10089	0,85	30%	0,000111	11	4,80	5,92		
35	0,0926	0,85	30%	0,000111	11	5,59	5,88		
40	0,08577	0,85	30%	0,000111	12	6,39	5,76		
45	0,08003	0,85	30%	0,000111	13	7,19	5,56		
50	0,07512	0,85	30%	0,000111	13	7,99	5,31		
55	0,07088	0,85	30%	0,000111	14	8,79	5,02		
60	0,067166	0,85	30%	0,000111	14	9,59	4,68		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Observa-se na Tabela 25 que o maior valor, em volume, encontra-se para a duração total de 30 minutos.

Tabela 26 - Dimensionamento de trincheira de infiltração para uma área de 500 m².

Tempo (min)	Precipitação (m/h)	Área de 500 m ²							
		C	Porosidade (%)	k(m/s)	Ve(m ³)	Vs(m ³)	Ve - Vs (m ³)	Máx (Ve- Vs) necessário (m ³)	Volume necessário (m ³)
5	0,20664	0,85	30%	0,000111	9,1	1,05	8,10	23,09	77,0
10	0,1673	0,85	30%	0,000111	14,8	2,10	12,72		
15	0,14214	0,85	30%	0,000111	18,9	3,15	15,73		
20	0,124433	0,85	30%	0,000111	22,0	4,20	17,84		
25	0,111206	0,85	30%	0,000111	24,6	5,24	19,37		
30	0,10089	0,85	30%	0,000111	26,8	6,29	20,51		
35	0,0926	0,85	30%	0,000111	28,7	7,34	21,35		
40	0,08577	0,85	30%	0,000111	30,4	8,39	21,99		
45	0,08003	0,85	30%	0,000111	31,9	9,44	22,45		
50	0,07512	0,85	30%	0,000111	33,3	10,49	22,77		
55	0,07088	0,85	30%	0,000111	34,5	11,54	22,98		
60	0,067166	0,85	30%	0,000111	35,7	12,59	23,09		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Foi realizado a comparação com os volumes e dimensões adotadas inicialmente, e a partir daí, foi feito o redimensionamento para a adequação das trincheiras 1 e 3, antes com volumes iniciais de 15m³ e 30 m³, respectivamente.

Realizando a mudança da altura da trincheira 1, antes com 1,5 m, para readequar utilizou 1,7 m. Na trincheira 3, no ajuste feito a altura passou de 1,5 m para 2,6 m. A largura teve que mudar também, de 1 m para 1,5 m.

Tabela 27 - Dimensões finais das trincheiras de infiltração

	T1	T2	T3
L (m)	10	15	20
H (m)	1,7	1,5	2,6
B (m)	1	1	1,5
Vol. inicial(m ³)	17	22,5	78
Ainf(m ²)	37	48	111,8

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No dimensionamento final, obteve-se as seguintes dimensões, na Trincheira 1 calculada para uma área de drenagem de 150m², tendo dimensões de 1 m x 1,7 m x 10m, com

um volume de 17 m³. Para a Trincheira 2, calculada para uma área de drenagem de 200m², teve as dimensões de 1 m x 1,5 m x 15m, com um volume de 22,5 m³. Para a Trincheira 3, calculada para uma área de drenagem de 500m², teve as dimensões de 1,5 m x 2,60 m x 20 m, com um volume de 78 m³.

Com a profundidade das trincheiras calculadas, partiu para as dimensões dos materiais de enchimento nas trincheiras de infiltração, com os valores mostrados na Tabela 28. Adotando-se 0,10 m da altura de areia.

Tabela 28 - Dimensões e volumes dos materiais das trincheiras de infiltração

Trincheira 1			
Enchimento	Área(m²)	Altura(m)	Volume(m³)
Brita	10	1,60	16,0
Areia	10	0,10	1,00
Total Trincheira	10	1,70	17,00
Trincheira 2			
Enchimento	Área(m²)	Altura(m)	Volume(m³)
Brita	15	1,40	21,00
Areia	15	0,10	1,5
Total Trincheira	15	1,50	22,50
Trincheira 3			
Enchimento	Área(m²)	Altura(m)	Volume(m³)
Brita	30	2,50	75
Areia	30	0,10	3
Total Trincheira	30	2,60	78,00

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6.3.1 Trincheira de infiltração com materiais alternativos

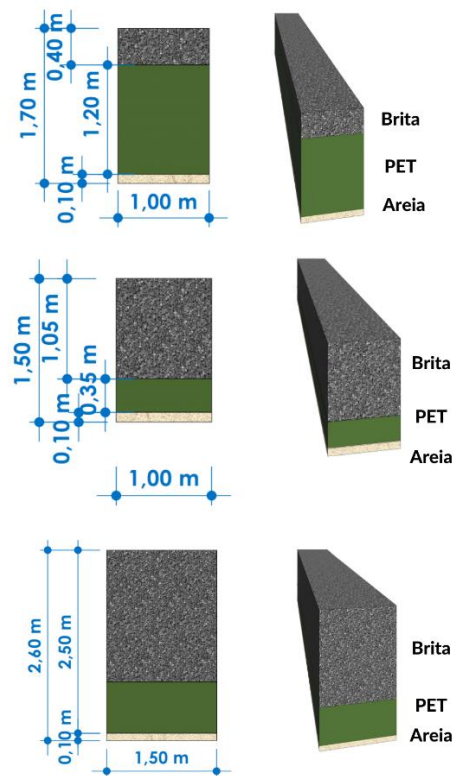
Para o dimensionamento das trincheiras de infiltração com garrafas PET, considerando as alturas das colunas de garrafas PET de 120 cm, 35 cm e 70 cm para aos três modelos, teve-se como resultado as seguintes dimensões, conforme mostra a Tabela 29.

Tabela 29 - Trincheiras de infiltração com garrafas PET

Trincheira 1			
Materiais	Área(m²)	Altura(m)	Volume(m³)
Garrafa Pet	10	1,20	12,00
Brita	10	0,40	4,00
Areia	10	0,10	1,00
Total Trincheira	10	1,70	17,00
Trincheira 2			
Materiais	Área(m²)	Altura(m)	Volume(m³)
Garrafa Pet	15	0,35	5,25
Brita	15	1,05	15,75
Areia	15	0,10	1,5
Total Trincheira	15	1,50	22,50
Trincheira 3			
Materiais	Área(m²)	Altura(m)	Volume(m³)
Garrafa Pet	30	0,70	21,00
Brita	30	1,80	54,00
Areia	30	0,10	3,00
Total Trincheira	30	2,60	78,00

Fonte: Elaboração própria (2023)

Figura 22 - Ilustração das trincheiras de infiltração dimensionadas com garrafas PET



Fonte: Elaboração própria (2023)

6.4 Análise de custos dos sistemas adotados

Após a realização do dimensionamento dos sistemas adotados, foi calculado o custo para a sua implantação. Os custos de insumos e serviços considerados foram obtidos por meio de planilhas orçamentárias e equações propostas.

Os custos detalhados de construção da trincheira de infiltração e dos jardins de chuvas são apresentados a partir do Apêndice D, bem como os custos individuais do serviço de escavação, do geotêxtil e do material da camada de armazenamento (brita).

Ressalta-se que, como não foram alteradas as dimensões de base para esta análise, os custos individuais só se referem aos materiais/serviços que dependeram diretamente da altura da camada de armazenamento. Nesse sentido foi feito a análise do custo em relação a curva IDF associada a uma duração de 60 minutos e a um tempo de retorno calculado no período de 10 anos, em reais.

6.4.1 Análise de custo dos jardins de chuva associado a uma duração de 60 min e a um tempo de retorno 10 anos, em reais.

Os jardins de chuva foram calculados para duas situações: a primeira considerando que seja realizada escavação manual e a segunda considerando escavação mecânica. E em relação as mudas, essa inclui mudas rasteiras / forração, grama amendoim, ou outras equivalentes da região. Por meio da equação e através das planilhas do SINAPI (Set/23), com valores não desonerados, foi realizado os custos de insumos e serviços para os jardins de chuvas propostos, e estão dispostos nas Tabelas seguintes.

Tabela 30- Propostas para os Jardins de chuva (com base nos valores de referência do SINAPI (Set/23))

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Tempo de duração da chuva (min)	Escavação Manual (R\$)	Escavação Mecanizada (R\$)
JC 1	7,5	5	R\$ 1.942,23	R\$ 1.509,81
		10	R\$ 2.921,53	R\$ 2.864,61
		15	R\$ 3.604,77	R\$ 2.777,77
		60	R\$ 7.294,24	R\$ 4.983,66
JC 2	10	5	R\$ 2.589,64	R\$ 2.013,08
		10	R\$ 3.895,38	R\$ 3.008,92
		15	R\$ 4.806,36	R\$ 3.703,69
		60	R\$ 8.662,84	R\$ 6.644,88
JC 3	25	5	R\$ 5.714,95	R\$ 4.453,73
		10	R\$ 8.296,06	R\$ 6.422,24
		15	R\$ 10.118,02	R\$ 7.811,78
		60	R\$ 17.861,35	R\$ 13.717,33

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Podemos concluir que o custo de um jardim de chuva varia de acordo com a sua área, o tempo de duração da chuva e o método de escavação utilizado. Em geral, os jardins de chuva com área de 7,5 m² e 10 m² têm custos semelhantes, enquanto os jardins de chuva com área de 25 m² são mais caros. Isso ocorre porque o volume de terra a ser escavado é maior nos jardins de chuva maiores. O tempo de duração da chuva também influencia no custo do jardim de chuva. Jardins de chuva projetados para chuvas de longa duração, nesse caso de 60 minutos, são mais profundos e, portanto, mais caros. O método de escavação também é um fator importante que influencia no custo do jardim de chuva. Com base no dimensionamento,

a escavação manual é mais cara do que a escavação mecanizada. Sendo viável assim, optar pela escavação mecanizada.

Tabela 31 - Custo dos jardins de chuva por (R\$/m³)

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Tempo de duração da chuva (min)	Escavação Manual (R\$/m ³)	Escavação Mecanizada (R\$/m ³)
JC 1	7,5	5	R\$ 323,71	R\$ 251,64
		10	R\$ 210,54	R\$ 163,67
		15	R\$ 169,26	R\$ 131,57
		60	R\$ 92,49	R\$ 71,90
JC 2	10	5	R\$ 323,71	R\$ 251,64
		10	R\$ 210,54	R\$ 163,67
		15	R\$ 169,26	R\$ 131,57
		60	R\$ 92,49	R\$ 71,90
JC 3	25	5	R\$ 369,95	R\$ 287,58
		10	R\$ 249,00	R\$ 193,57
		15	R\$ 202,32	R\$ 157,27
		60	R\$ 112,59	R\$ 87,53

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A redução na água da chuva também influencia no custo do jardim, como mostra na Tabela 32. Jardins de chuva projetados para reduzir mais a água da chuva são mais altos e, portanto, requerem mais solo e materiais para a sua construção.

Tabela 32 - Comparação econômica dos valores por m³ com a redução do volume de armazenamento de água.

Jardim de Chuva	Área de infiltração (m ²)	Tempo de duração da chuva (min)	Redução (%)	Escavação Manual (R\$/m ³)	Escavação Mecanizada (R\$/m ³)
JC 1	7,5	5	72%	R\$ 323,71	R\$ 251,64
		10	83%	R\$ 210,54	R\$ 163,67
		15	86%	R\$ 169,26	R\$ 131,57
		60	93%	R\$ 92,49	R\$ 71,90
JC 2	10	5	72%	R\$ 323,71	R\$ 251,64
		10	83%	R\$ 210,54	R\$ 163,67
		15	86%	R\$ 169,26	R\$ 131,57
		60	93%	R\$ 92,49	R\$ 71,90
JC 3	25	5	72%	R\$ 369,95	R\$ 287,58
		10	83%	R\$ 249,00	R\$ 193,57
		15	86%	R\$ 202,32	R\$ 157,27
		60	93%	R\$ 112,59	R\$ 87,53

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6.4.2 Análise de custos das Trincheiras de infiltração associado a uma duração de 60 minutos e a um tempo de retorno 10 anos, em reais.

Os custos de insumos e serviços para as trincheiras de infiltração propostas em duas situações: no primeiro caso com trincheiras convencionais, e no segundo caso com materiais de enchimento com garrafas PET.

Tabela 33 - Propostas para as Trincheiras de infiltrações (com base nos valores de referência do SINAPI (Set/23))

Trincheira	Manual (R\$)	Mecânica (R\$)
T1	R\$ 8.830,98	R\$ 7.605,79
T2	R\$ 11.752,47	R\$ 10.130,90
T3	R\$ 37.612,33	R\$ 31.990,87

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O custo foi previsto, por metro cúbico, para a implantação das trincheiras adotadas para escavação manual e para escavação mecanizada.

Tabela 34 - Custo das trincheiras de infiltração por (R\$/m³)

Trincheira	Manual (R\$/m³)	Mecânica (R\$/m³)
T1	R\$ 519,47	R\$ 447,40
T2	R\$ 522,33	R\$ 450,26
T3	R\$ 482,21	R\$ 410,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Em geral, a escavação mecanizada é a opção mais econômica para a construção das trincheiras de infiltração, porém em áreas menos é viável a escavação manual. A diferença de custo entre a escavação manual e a escavação mecanizada é significativa, e pode compensar o custo adicional de equipamentos e mão de obra necessários para a escavação mecanizada.

Análise de custo com garrafas PET

O custo com materiais alternativos, que é estruturado no preço da mão de obra de escavação e de produção considerou-se na produção o corte da PET, nos custos dos materiais de enchimento (brita, areia, garrafas PET e geotêxtil).

Tabela 35 - Custo das trincheiras de infiltração com garrafas PET por (R\$/m³)

Trincheira	Manual (R\$)	Mecânica (R\$)
T1	R\$ 3.285,69	R\$ 1.808,47
T2	R\$ 6.927,08	R\$ 4.889,33
T3	R\$ 22.881,69	R\$ 15.839,22

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 36 - Valor das trincheiras com garrafas PET por (m³)

Trincheira	Manual (R\$/m³)	Mecânica (R\$/m³)
T1	R\$ 193,28	R\$ 106,38
T2	R\$ 307,87	R\$ 217,30
T3	R\$ 293,36	R\$ 203,07

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6.4.3 Comparação dos Sistemas adotados

Em geral, a escavação mecanizada é a opção mais econômica tanto para a construção de jardins de chuva, quanto para trincheiras de infiltração, especialmente em grandes áreas. No entanto, em áreas pequenas ou em locais com restrições de espaço, a escavação manual pode ser a única opção viável.

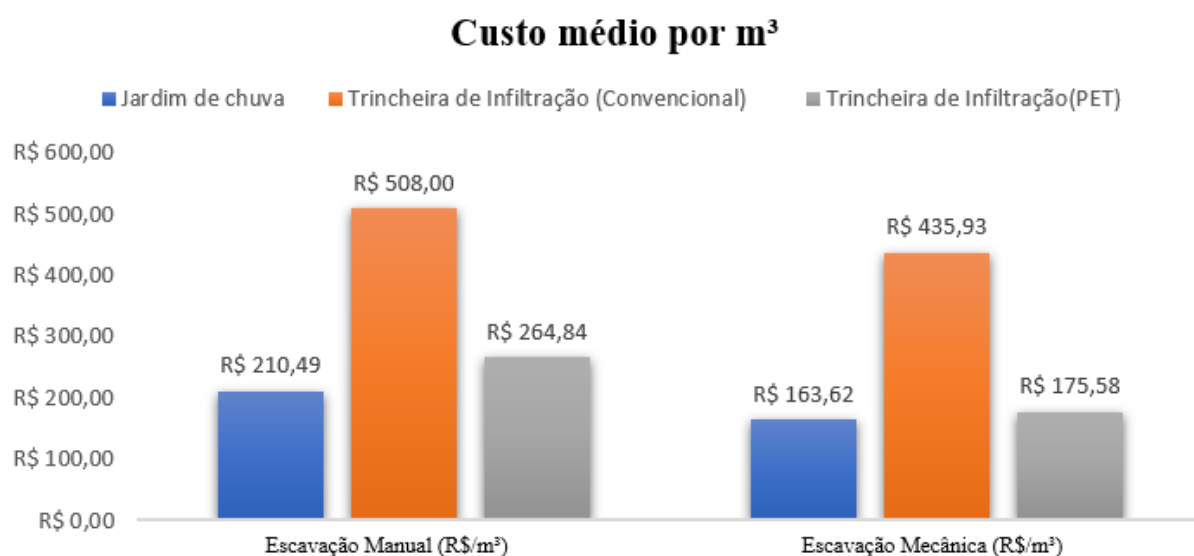
A viabilidade econômica de uma trincheira de infiltração depende de vários fatores, incluindo o custo da construção, o custo da manutenção e o benefício ambiental. No caso das trincheiras de infiltração com garrafas PET, a dificuldade e o custo da construção são maiores

do que os das trincheiras de infiltração convencionais. No entanto, o custo da manutenção é menor e o benefício ambiental é maior.

Ao comparar os custos das trincheiras de infiltração analisadas, é possível concluir que a trincheira de infiltração convencional é mais viável economicamente no curto prazo. No entanto, a trincheira de infiltração com garrafas PET pode ser mais viável economicamente no longo prazo, devido ao menor custo de manutenção e ao maior benefício ambiental.

Foi realizado ainda, a comparação de custo por m³ (Figura 23) dos dispositivos dimensionados.

Figura 23 - Custo médio dos dispositivos dimensionados por (R\$/m³).



Fonte: Elaboração própria (2023)

O custo de um jardim de chuva pode variar de acordo com o tamanho do jardim, os materiais utilizados e a mão de obra contratada. No entanto, o custo médio apresentado é um bom indicador do valor que pode ser esperado para a construção de um jardim de chuva. Com escavação mecanizada, o custo médio por m³ de um jardim de chuva é de R\$ 163,62. Essa redução de custo é de aproximadamente 23% em relação ao custo da escavação manual.

Em relação a trincheira de infiltração com garrafas PET, os dados mostram que é significativamente mais barata que a trincheira de infiltração convencional. O custo médio por m³ é de R\$ 264,84 com escavação manual, o que representa uma redução de 48 % em relação ao custo da trincheira convencional (R\$ 508,00). Com escavação mecanizada, a redução é ainda maior, aproximadamente de 60%, com um custo médio por m³ de R\$ 175,58.

Essa diferença de custo se deve à redução da quantidade de brita necessária para a construção da trincheira com garrafas PET. Além da redução de custo, a trincheira de

infiltração com garrafas PET também apresenta algumas outras vantagens. Ela é mais eficiente na infiltração da água, pois as garrafas PET têm uma superfície rugosa que aumenta a área de contato com o solo. Sendo, a trincheira com garrafas PET mais sustentável, pois reduz o volume de resíduos sólidos que são enviados para aterros sanitários. Portanto, a trincheira de infiltração com garrafas PET é uma opção mais econômica eficiente e sustentável que a trincheira de infiltração convencional.

7. CONCLUSÃO

Procurando apresentar-se como uma contribuição para adoção de técnicas alternativas de sistemas de drenagem sustentáveis, o presente trabalho, a partir do método proposto, realizou uma análise econômica de duas técnicas de drenagem sustentáveis no município de Itaituba, procurando avaliar os custos e parâmetros da utilização dessas técnicas.

Inicialmente, sobre a obtenção de dados do estudo geotécnico do município, não foi possível. Dessa forma, embora a área tenha sido identificada, foi necessário adotar valores de considerável importância ao longo do trabalho. Entretanto, os dimensionamentos e orçamentos calculados permitiram a observação de pontos importantes nesse estudo. A escolha do método de dimensionamento aqui adotado deu-se por ser um método simples, de fácil aplicação, principalmente, por se tratar de uma área de estudos recente, e também por ser um dos métodos mais utilizados no dimensionamento de estruturas de infiltração. As trincheiras de infiltração e os jardins de chuvas, foram simulados para atender precipitações com período de retorno de 10 anos para o município de Itaituba.

Em relação as técnicas adotadas, conclui-se que, os jardins de chuvas com maior capacidade de retenção são mais caros de implantar, e jardins com menor capacidade de retenção de água são mais econômicos, porém, são mais suscetíveis a aumentar o risco de inundações. O custo de um jardim de chuva pode variar de acordo com o tamanho do jardim, os materiais utilizados e a mão de obra contratada. No entanto, o custo médio dos jardins dimensionados é um bom indicador do valor que pode ser esperado para a construção de um jardim de chuva. Com escavação mecanizada, o custo médio por m³ de um jardim de chuva é de R\$ 163,62. Essa redução de custo é de aproximadamente 23% em relação ao custo da escavação manual que é de R\$ 210,49 por m³.

Nas condições estabelecidas para as trincheiras de infiltração, em geral, a escavação mecanizada é a opção mais econômica para a construção de trincheiras de infiltração. A diferença de custo entre a escavação manual e a escavação mecanizada é significativa, e pode compensar o custo adicional de equipamentos e mão de obra necessários para a escavação mecanizada. Outro ponto, é na relevância da técnica das trincheiras de infiltração nesse trabalho, pois foi realizado de maneira a associar a técnica ao custo na solução do beneficiamento do uso das garrafas PET. Em que, ao comparar os custos das trincheiras de infiltração convencional com as a trincheira de infiltração com garrafas PET, conclui-se que a trincheira convencional é mais viável economicamente no curto prazo. Já a trincheira de

infiltração com garrafas PET pode ser mais viável economicamente no longo prazo, devido ao menor custo de manutenção e ao maior benefício ambiental.

Em relação a trincheira de infiltração com garrafas PET, os dados mostram que é significativamente mais barata que a trincheira de infiltração convencional. O custo médio por m³ é de R\$ 264,84 com escavação manual, o que representa uma redução de 48 % em relação ao custo da trincheira convencional R\$ 508,00. Com escavação mecanizada, a redução é ainda maior, aproximadamente de 60%, com um custo médio por m³ de R\$ 175,58.

Entende-se que, para a implantação dessas técnicas (jardim de chuva e trincheira de infiltração) em Itaituba, é recomendável a realização de estudos técnicos para a definição dos locais mais adequados para a instalação das estruturas. Além disso, é importante realizar campanhas de conscientização da população sobre a importância dessas técnicas para a melhoria da qualidade de vida na cidade.

Recomenda-se, para um possível prosseguimento do trabalho, avaliar o impacto ambiental das técnicas adotadas. A poluição da água é um dos principais problemas ambientais do mundo e ao comparar a redução da poluição dos sistemas adotados com a redução da poluição de uma rede de drenagem convencional, é possível avaliar o impacto ambiental desses sistemas. Outra sugestão é analisar a viabilidade econômica dos sistemas a longo prazo, considerando os custos de manutenção e operação, ao considerar esses fatores, é possível estimar os custos totais do sistema ao longo de sua vida útil. Esses custos podem ser comparados aos benefícios do sistema, como a redução do consumo de água e redução da poluição.

Considerando a questão das mudanças climáticas, outra recomendação seria com relação a atualização da equação IDF do município de Itaituba, que data do ano de 2012 (uma defasagem de 11 anos de dados).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.R. **Análise da previsão de implantação de jardim de chuva para manejo de águas pluviais no Instituto Federal do Espírito Santo campus Vitória**. 2021. 80f. Monografia (Graduação) - Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021

ALVES, E. M.; NETTO, A. M.; ANTONINO, A. C. D.; LIMA, J. R. S.; SOUZA, E. S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CABRAL, J. J. S. P.; GONDIM, M. V. S. **Simulação de dinâmica da água em solo cultivado com feijão caupi no brejo Paraibano**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 17, n. 3 – Jul/Set 2012, 175-186

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, V5, n3, 2000, p. 21-30.

AZEVEDO, J. R. G., & RAMOS, A. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade**. UFPE, 2010.

BARBASSA, A. P.; ANGELINI S. L.; MORUZZI, R. B. **Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção**. Ambiente Construído, v. 14, 2014, p. 91-107.

BAHIA ECONÔMICA. **Salvador desenvolve projeto de jardim de chuva**. 11 de julho de 2022. Disponível em: <https://bahiaeconomica.com.br/wp/2022/07/11/salvador-desenvolve-projeto-de-jardim-de-chuva/>. Acesso em: 27 nov. 2023.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S., 2005. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. ABRH, Porto Alegre, 2005. 266 p.

BAUEN CONSTRUTORA. **Qual a função de um poço de infiltração?** 2019. Disponível em: <https://www.bauenconstrutorasp.com.br/blog> . Acesso em: 12 nov. 2023.

BRITO, D. S. **Metodologia para seleção de alternativas de sistemas de drenagem**. Brasília, DF: Universidade de Brasília, 2006.

CAPUTO, U. K., **Avaliação do potencial de utilização de trincheiras de infiltração em espaços com urbanização consolidada / Estudo de caso do município de belo horizonte - MG.** Belo Horizonte, 2012

CARVALHO, J. C.; LELIS, A. C. **Cartilha infiltração.** Universidade Federal de Brasília, v. 2, 36 p., 2010.

CHAHAR, B. R.; GRAILLOT, D.; GAUR, S. **Storm-Water Management Through Infiltration Trenches.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 138, n. 3, p. 274-281, 2012.

CITY OF NASHVILLE, TENNESSEE. (2021). **Stormwater Management Model (SWMM) User's Manual**, Volume 5: Hydraulics and Treatment. Retrieved from https://filetransfer.nashville.gov/Portals/0/SiteContent/WaterServices/Stormwater/docs/SWM/2021/vol5/GIP04_Infiltration_2021.pdf

DISCOVERY, Channel. **As Sete Maravilhas da Antiguidade.** 2009. Disponível em: <<http://discoverydocs.net/2010/01/download-the-history-channel-as-sete-maravilhas-daantiguidade-dublado/>>. Acesso em: 23 nov. 2023.

FERREIRA, M.F., FERREIRA, D.F., and ROCHA, R. **A Adaptação da Drenagem Urbana às Mudanças Climáticas no Contexto Brasileiro:** Revisão da Literatura. Revista Ambiente & Água, 13(3), e2305, 2018.

FREITAS, A.G., TUCCI, C.E.M., AND ALVES, M.C. **Impactos das Mudanças Climáticas nos Sistemas de Drenagem Urbana e Propostas de Adaptação.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 22(1), 143-155. (2017).

GONÇALVES, M.E.R., BONI, N.C., AND MARTINELLI, L.A. **Avaliação da Eficiência de Sistemas de Drenagem Sustentável para Controle de Enchentes Urbanas.** Engenharia Sanitária e Ambiental, 25(2), 293-302. (2020).

GONÇALVES, F.T; NUCCI, J.C. **Sistemas de drenagem sustentáveis (SUDS): Propostas para a bacia do rio juveve, Curitiba-pr/sistemas de drenagem sustentável (SUDS):** Propostas para a Bacia do Rio Juveve, Curitiba-Pr. Ra'e Ga 42, dezembro de 2017.

HUNT, W. F., HATHAWAY, J. M., WINSTON, R. J., e JADLOCKI, S. J. **Runoff volume reduction by a level spreader–vegetated filter strip system in suburban Charlotte, NC.** Journal of Hydrologic Engineering. (2010).

Instituto brasileiro de geografia e estatística -IBGE. **Malha dos setores censitários** (2010). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias>. Acesso em: 03 out. 2023.

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba; COBRAPE Cia **Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Manual de Drenagem. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Curitiba**, v. 4, 152 p, 2018.

JONES, P.; MACDONALD, N. **Making space for unruly water. Sustainable drainage systems and the disciplining of surface runoff.** *Geoforum*, n 38. p. 534-544, 2007.

LIMA J.C.S., Ribeiro, L.G., e dos Santos, A.F. **Análise do Desempenho Hidráulico de Bacias de Detenção Utilizadas na Drenagem Urbana.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(11), 807-812, 2019.

LIMA, V. C. G. DA R. **Análise Experimental e Numérica de Trincheiras de Infiltração em Meio Saturado.** São Carlos, 2009.

LI, J. Q. & ZHAO, W. W. Design and Hydrologic Estimation Method of Multipurpose Rain Garden: Beijing Case Study. International Low Impact Development Conference. Seattle, Washington, 2008.

MEDEIROS. **Análise comparativa de sistemas de drenagem compensatórias: vala de infiltração e jardim de chuva.** v. 8, n. 5, p. 55, 2019.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M. **Continuidade espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais.** *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, p.532-539, 2008.

MELO, T. A. T. **Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais urbanas.** 136 p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MELO. Jardim de chuva: **sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas**. 2011. 137 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MELO, T. A. T et al. **Jardim de chuva: sistema de biorretenção para manejo das águas pluviais urbanas**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, out./dez. 2014

MELO, T. DOS A. T. DE., COUTINHO, A. P., SANTOS, J. B. F. DOS, CABRAL, J. J. DA S. P., ANTONINO, A. C. D., & LASSABATERE, L. **Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas**. *Ambiente Construído*, 16(3), 53–72, 2016.

MORAES, L.R.B., DE SOUZA, C.C.F., BITTENCOURT, F. **Estudo de Jardim de Chuva Como Solução para Drenagem Urbana Sustentável em Áreas Urbanas Consolidadas**. *Engenharia Ambiental*, 17(2), 87-104, 2020.

MUTHANNA, T. M.; VIKLANDER, M.; THOROLFSSON, S. T. **Seasonal Climatic Effects on the Hydrology of a Rain Garden**. *Hydrological Process*, 2008.

NASCIMENTO, R.S., FERREIRA, D.F., SANTOS, A.P.C. **Avaliação de Impactos de Sistemas de Drenagem Urbana: Estudo de Caso no Bairro Umuarama, Londrina/PR**. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 12(2), 95-106, 2018.

OLIVEIRA, F.B., MATOS, C.A.M., TUCCI, C.E.M. **Drenagem Urbana Sustentável: Conceitos e Práticas**. São Carlos: Rima Editora, 2018.

PACHECO, A.C.R., PAVAN, M.A., SCHIAVON, M.A. (2019). **Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável: Revisão Sistemática da Literatura**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(2), 259-270.

PAIVA, R.C.D., SALGADO, E.R., TUCCI, C.E.M. **Impacto das Mudanças Climáticas na Drenagem Urbana: Caso de Estudo do Município de Curitiba**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24, e 34, 2019.

PERSCH, C. G.; TASSI, R.; ALLASIA, D. G. P.; SALLES, L. S. (2011). “**Avaliação do comportamento de um telhado verde sob Condições climáticas subtropicais**” in Anais XIX Simpósio Brasileiro de recursos hídricos. Maceió – AL. 2011.

PRUSKI, F.F.; BRANDÃO, V. dos S.; DEMTRIUS, D. da S. **Escoamento Superficial**. Viçosa, UFV, 2003

REIS, RICARDO PRADO ABREU; ILHA, MARINA SANGOI DE OLIVEIRA. **Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, jun, 2014.

RIBEIRO, L.G., LIMA, J.C.S., SANTOS, A.F. **Avaliação dos Impactos das Inundações na Qualidade de Vida da População do Bairro Bom Jardim em Fortaleza-CE**. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 8(3), 381-397, 2016.

ROCA CERÂMICA. **Como fazer telhado verde? Entenda!** [Blog post]. Blog da Roca Cerâmica. <https://www.rocaceramica.com.br/blog/>. Acesso em 20 jul. 2022.

SAATKAMP, G.A. **Jardim de chuva: estudo comparativo de um sistema de biorretenção de uma bacia de amortecimento pluvial**. [s. l.], 2019.

SANTOS, E. P.; COSTA, C. R.; REZENDE, R. **Estudo de Caso sobre a Importância das Políticas Públicas na Gestão de Drenagem Urbana**. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental* 23 (1): 70-82. 2019.

POMPÊO, C.A. **Drenagem Urbana Sustentável: Conceitos e Aplicações**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* (5):15-16. 2018.

SINAPI. **Relatório de insumos e composições – AGO/23 – Sem desoneração**. Disponível em: Acesso em: 20 set. 2023.

SILVA, J.P. **Estudos preliminares para implantação de trincheiras de infiltração**. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) -Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SOUZA, R. O. R. de M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. do; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. **Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 9, p.5, 2012.

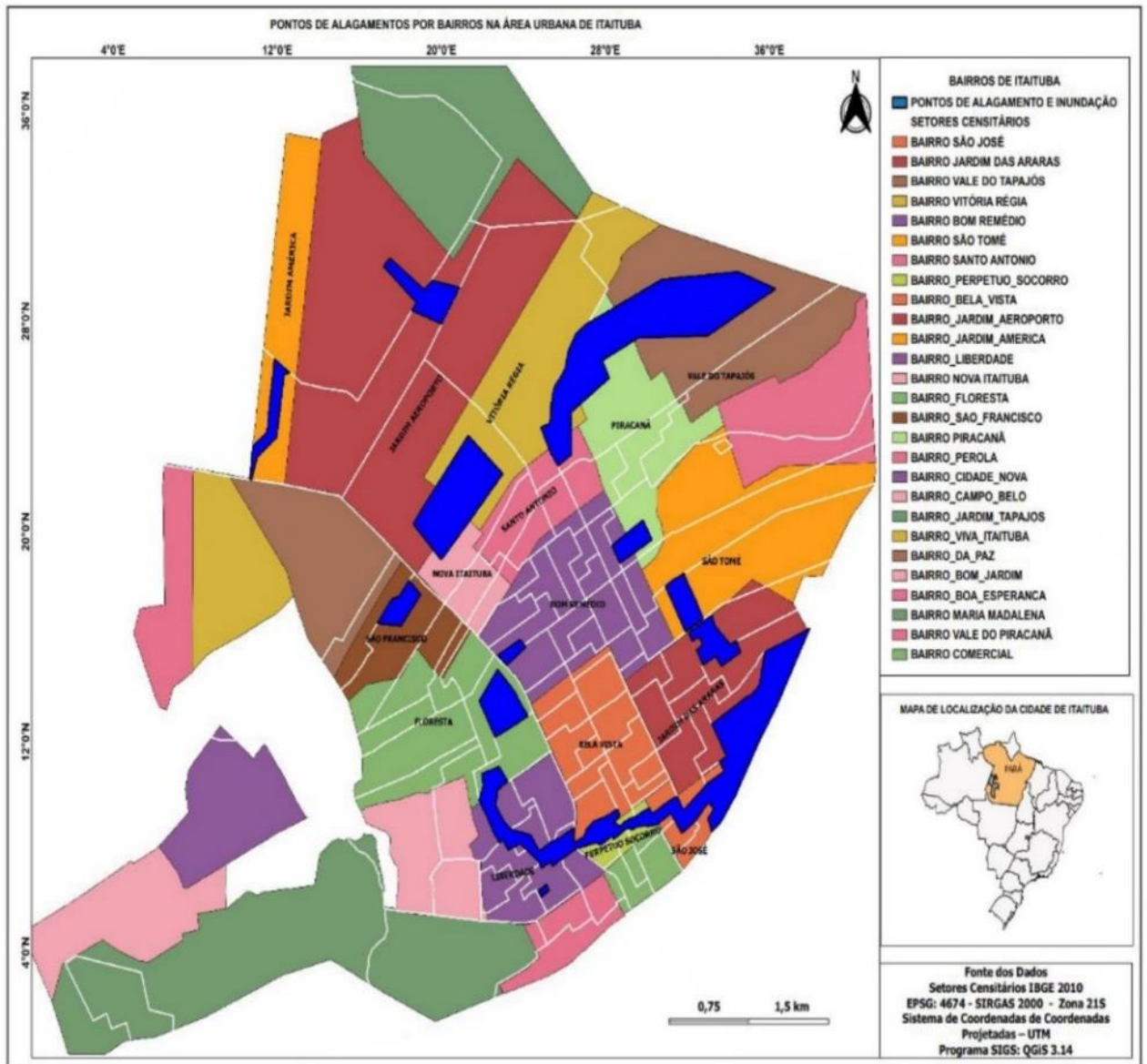
SOUZA, V. C. **Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle da Geração do Escoamento Superficial**. Tese de Doutorado. 127 pp. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. Dissertação de Mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, São Paulo - SP, 137 p., 2013.

URBONAS, B.; STAHERE, P. **Stomwater Best Management Pratices and Detention**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p, 1993.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1998. 477p

APÊNDICE A – PONTOS DE ALAGAMENTOS DE ITAITUBA.



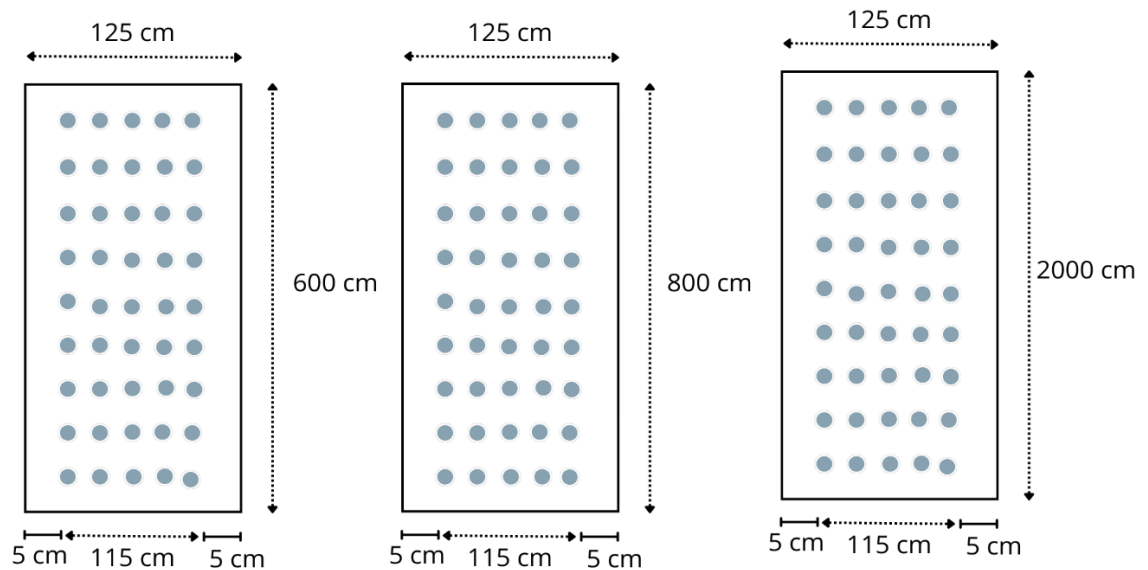
Fonte: Malha dos setores censitários do IBGE (2010) e dados da Secretaria Municipal de Infraestrutura de Itaituba (2020)

APÊNDICE B – TAXA DE INFILTRAÇÃO ADOTADAS PARA O CÁLCULO DOS JARDINS DE CHUVA.

<p>A taxa de infiltração utilizada parte do tempo de teste estimado, que nesse caso, foi de 30 minutos, e a altura de infiltração. Supondo que em um período de 30 minutos, um determinado solo teve 65mm de altura de infiltração, e outro com 90mm. Divide a altura pelo tempo (em horas) para achar a taxa de infiltração em mm/h.</p>		
Suposição 1 - Teste de infiltração em determinado local		
Tempo(min)	Altura de infiltração(mm)	Taxa de infiltração mm/h
30	65	130
Suposição 2 - Teste de infiltração em determinado local		
Tempo(min)	Altura de infiltração(mm)	Taxa de infiltração mm/h
30	90	180
Taxa de infiltração utilizada		
<p>Somando as alturas de infiltração tem um valor de 155mm/h, multiplicando esse valor pelo tempo de teste, nesse caso, em horas. Tem um resultado de 77,5mm de lâmina acumulada média. Sendo assim, 7,75 cm.</p>		
Taxa de infiltração mm/h	Tempo de teste(min)	Lâmina acumulada média(cm)
155	30	7,75

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

APÊNDICE C – ILUSTRAÇÃO DE DIMENSÕES DOS JARDINS DE CHUVA COM RELAÇÃO A ADEQUAÇÃO DE MUDAS.



JC1	JC2	JC3
30 fileiras de mudas com espaçamento de 20 cm, com no plano de 600 cm, e 5 fileiras de mudas com espaçamento de 23 cm no plano de 125 cm, tendo no total $30 \times 5 = 150$ mudas	40 fileiras de mudas com espaçamento de 20 cm, com no plano de 800 cm, e 5 fileiras de mudas com espaçamento de 23 cm no plano de 125 cm, tendo no total $40 \times 5 = 200$ mudas	100 fileiras de mudas com espaçamento de 20 cm, com no plano de 2000 cm, e 5 fileiras de mudas com espaçamento de 23 cm no plano de 125 cm, tendo no total $100 \times 5 = 500$ mudas

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

APÊNDICE D – ORÇAMENTO ANALÍTICO JARDIM DE CHUVA

ORÇAMENTO ANALITICO DE JARDIM DE CHUVA COM ESCAVAÇÃO MANUAL					
1.1. 93358 -ESCAVAÇÃO MANUAL DE VALA COM PROFUNDIDADE MENOR OU IGUAL A 1,30 M					
	Serviço	COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	3,956	H	21,15	83,66
				Material	
				Mão de obra	83,66
2.1. 102718 - ENCHIMENTO DE AREIA LANÇAMENTO MANUAL					

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
367	AREIA GROSSA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	1,1	M³	98,77	108,64
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,3711	H	26,61	9,87
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	1,1134	H	21,15	23,54
				Material	108,64
				Mão de obra	33,41

2.2. 102719 - ENCHIMENTO COM BRITA 02, LANÇAMENTO MANUAL.

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
4718	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, S	1,1	M³	200	220,00
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,3711	H	26,61	9,87
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	1,1134	H	21,15	23,54
				Material	220,00
				Mão de obra	33,41

3.0. 103653 - GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M.

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
4018	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER	1,2105	M³	26,22	31,74
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0049	H	26,61	0,13
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0148	H	21,15	0,31
				Material	31,74
				Mão de obra	0,44

4.1. 98505 - PLANTIO DE FORRAÇÃO

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
360	MUDA DE RASTEIRA/FORRACAO, AMENDOIM RASTEIRO/ONZE HORAS/AZULZINHA/IMPATIENS	25	UN	2,25	56,25
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88441	JARDINEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0528	H	21,57	1,14
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,211	H	21,15	4,46
				Material	56,25
				Mão de obra	5,60

ORÇAMENTO ANALITICO DE JARDIM DE CHUVA COM ESCAVAÇÃO MECANIZADA					
1.1. 90084- ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 1,5 M ATÉ 3,0 M					
Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3	0,0312	CHP	227,19	7,09
5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL	0,0339	CHI	92,86	3,15
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,065	H	21,15	1,37
				Material	10,24
				Mão de obra	1,37
2.1. 102717- ENCHIMENTO DE BRITA 02 PARA LANÇAMENTO MECANIZADO					
Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
4718	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	1,1	KG	200,00	220,00
5678	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4,	0,0437	CHE	158,74	6,93
5679	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ 88 HP	0,1903	CHI	65,91	12,54
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0686	H	26,61	1,83
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,2059	H	21,15	4,35
				Material	239,47
				Mão de obra	6,18
2.2. 102716 - ENCHIMENTO DE AREIA LANÇAMENTO MECANIZADO					
Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
367	AREIA GROSSA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE	1,1	M³	98,77	108,64
5901	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ	0,0437	CHP	158,74	6,93
5903	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ	0,1903	CHI	65,91	12,54
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0686	H	26,61	1,82
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,2059	H	21,15	4,35
				Material	128,11
				Mão de obra	6,17
3.0. 103653 - GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M.					

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
4018	GEOTEXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER	1,2105	M²	26,22	31,74
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0049	H	26,61	0,13
88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0148	H	21,15	0,31
				Material	31,74
				Mão de obra	0,44
4.1. 98505 - PLANTIO DE FORRAÇÃO					
Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
360	MUDA DE RASTEIRA/FORRACAO, AMENDOIM RASTEIRO/ONZE HORAS/AZULZINHA/IMPATIENS	25	UN	2,25	56,25
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88441	JARDINEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0528	H	21,57	1,14
88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,211	H	21,15	4,46
				Material	56,25
				Mão de obra	5,60

APÊNDICE E – ORÇAMENTO ANALÍTICO TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO

ORÇAMENTO ANALITICO DE TRINCHEIRA COM ESCAVAÇÃO MECANIZADA					
1.1. 90084- ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 1,5 M ATÉ 3,0 M					
Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3	0,0312	CHP	227,19	7,09
5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL	0,0339	CHI	92,86	3,15
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88316	SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,065	H	21,15	1,37
				Material	10,24
				Mão de obra	1,37
2.1. 102717- ENCHIMENTO DE BRITA 02 PARA LANÇAMENTO MECANIZADO					
Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
4718	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE	1,1	KG	200,00	220,00

5678	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4,	0,0437	CHE	158,74	6,94
5679	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ 88 HP	0,1903	CHI	65,91	12,54
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0686	H	26,61	1,83
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,2059	H	21,15	4,35
				Material	239,48
				Mão de obra	6,18

2.2. 94342- ATERRO MANUAL DE VALAS COM AREIA PARA ATERRO

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
368	AREIA PARA ATERRO - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR	1,3889	KG	48,75	67,71
5901	CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG, CARGA ÚTIL MÁX	0,0054	CHP	335,26	1,81
5903	CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG,	0,0006	CHE	70,77	0,04
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,7866	H	21,15	16,64
				Material	69,56
				Mão de obra	16,64

2.3. 102719 - ENCHIMENTO COM BRITA 02, LANÇAMENTO MANUAL.

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
4718	PEDRA BRITADA N. 2 (19 A 38 MM) POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, S	1,1	M³	200	220,00
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,3711	H	26,61	9,87
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	1,1134	H	21,15	23,55
				Material	220,00
				Mão de obra	33,42

3.0. 103653 - GEOTÊXTIL NÃO TECIDO 100% POLIÉSTER, RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE 31 KN/M.

Material		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
4018	GEOTÊXTIL NAO TECIDO AGULHADO DE FILAMENTOS CONTINUOS 100% POLIESTER	1,2105	M³	26,22	31,74
Serviço		COEF	UNID	PREÇO UNITÁRIO	TOTAL
88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0049	H	26,61	0,13
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	0,0148	H	21,15	0,31
				Material	31,74
				Mão de obra	0,44