UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAMILA OLIVEIRA DE BRITTO SALGUEIRO

ANÁLISE DE DRENAGEM URBANA EM ÁREA DE MORRO: ESTUDO DE CASO EM RECIFE

Recife
2024

CAMILA OLIVEIRA DE BRITTO SALGUEIRO

ANÁLISE DE DRENAGEM URBANA EM ÁREA DE MORRO: ESTUDO DE CASO EM RECIFE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos.

Recife

2024

Catalogação na fonte:
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4/1502

S164a Salgueiro, Camila Oliveira de Britto.
Análise de drenagem urbana em área de morro: estudo de caso em Recife. / Camila Oliveira de Britto Salgueiro. – 2024.
172 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Sylvana Melo dos Santos.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2024.
Inclui referências e apêndices.

1.Engenharia civil. 2.Morro do Recife. 3.Escadaria. 4.Descida d'água. 5.Sarjeta. 6.AHP. I.Santos, Sylvana Melo dos (orientadora). II.Título.

624 CDD (22. ed.)

UFPE
BCTG/2024-109

CAMILA OLIVEIRA DE BRITTO SALGUEIRO

ANÁLISE DE DRENAGEM URBANA EM ÁREA DE MORRO: ESTUDO DE CASO EM RECIFE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em: 28/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Presidente)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Suzana Maria Gico Lima Montenegro (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____

Prof. Dr. Rochele Sheila Vasconcelos (Examinadora Externa)
Universidade Estadual de Santa Cruz

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por toda a força que me foi dada ao longo deste trabalho. Por todos os momentos que pensei que tudo daria errado, mas Ele me deu força e determinação de seguir em frente. Agradeço, também, aos mentores do Núcleo Espírita Jesus no Lar e ao meu anjo da guarda, por terem me auxiliado no melhor caminho a agir e fortalecendo minha fé todos os dias.

Primeiramente, agradeço imensamente ao apoio dos meus pais, João Salgueiro e Leidjane Oliveira. Poucas pessoas têm a sorte de encontrar apoio familiar em tantos cenários como eu tenho. Agradeço por não só me mostrarem como ser uma melhor profissional, mas por todo dia me ensinarem que não importa quantos mestrados alguém tenha, o profissional é um somatório da ciência e amor. Obrigada por serem meus professores da ciência e da vida.

Agradeço também ao meu esposo, Gabriel, que vem se tornando presente nos meus agradecimentos acadêmicos desde o TCC. Obrigada pela paciência e por ter se feito presente em momentos de dificuldade, mas também de comemoração. Obrigada por todas as vezes que você me escutou falando “eu não sei se vou conseguir” e me fez acreditar em mim mesma quando nem eu acreditava.

Agradeço a minha orientadora professora Sylvana Santos, por todo carinho, atenção e paciência ao longo deste trabalho. Obrigada, de verdade, por todos os ensinamentos (profissionais e pessoais), por todo incentivo e confiança. Sem professora Sylvana eu não conseguiria.

Aos meus amigos, agradeço toda força e carinho, por sempre vibrarem com minhas conquistas e por me incentivarem a não desistir. Agradeço, também, a todos os moradores que me receberem na visita técnica ao morro de estudo, principalmente ao “Seu compesa” que tanto me auxiliou.

Agradeço a TPF Engenharia, empresa que faço parte, por todos os ensinamentos e experiências que contribuíram na construção deste trabalho.

Aqui tem o desespero do prazo, mas também tem a felicidade da entrega. Tem o amor dos meus pais, do meu noivo e de todos os meus amigos que torciam por mim. Tem algumas noites acordada, algumas ideias que surgiram da insônia, mas a realização de conseguir botar em prática tudo que eu pensei em conjunto com minha orientadora. Aqui tem oração, tem Deus e esperança em todas as vezes que pensei que em desistir, mas continuei. Obrigada!

RESUMO

A intensificação no processo de urbanização de grandes centros urbanos tem aumentado a demanda por infraestrutura, saneamento e habitação. Dessa forma, tem-se como resultado as transformações na superfície terrestre, principalmente no que diz respeito às modificações de superfícies vegetadas, consideradas permeáveis, para urbanizadas, ditas como impermeáveis, tendo como resultado a ocorrência de desastres naturais, nos quais, combinamos com eventos extremos de precipitação, podem gerar situações de risco e ocasionar uma série de prejuízos para a sociedade. Este trabalho tem por objetivo a análise do sistema de drenagem superficial de uma área de morro localizado no município do Recife-PE, que apresentou grande vulnerabilidade aos impactos de deslizamentos de barreiras resultantes da alta precipitação ocorrido na data de 28 de maio de 2022, que causou uma série de impactos negativos para o município. Dessa forma, o trabalho é voltado ao estudo e à avaliação hidráulica dos dispositivos de drenagem superficial, bem como às possíveis sugestões para maior eficiência do sistema. Foram avaliados dois tipos principais dispositivos de microdrenagem: 3 sarjetas, a partir da diferença entre a vazão admissível (Equação de Izzard) e vazão de projeto (Método Racional) e 4 descidas d'água, com aplicação do software SISCCOH – Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos. Para as sarjetas, foram encontrados problemas em relação à capacidade da sarjeta S2, na qual a vazão de projeto (gerada pelo evento extremo) foi superior à vazão admissível (vazão na qual o dispositivo tem capacidade de suportar). Ressalta-se que tal situação está vinculada principalmente ao impacto da contribuição externa ao dispositivo, visto que a inserção desta área aumenta substancialmente a vazão de projeto referente (0,189 m^3/s). Aplicou-se uma Análise Multicritérios para a determinação da melhor técnica compensatória na área de contribuição da sarjeta a ser adotada visando a diminuição o fluxo de água advindo das áreas de contribuição urbanizadas do morro, sendo avaliada três alternativas: (1) telhados verdes convencionais; (2) armazenamento de água de chuva por reservatório (caixa d'água); e (3) telhados ecológicos de baixo custo. Utilizou-se o Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP) no auxílio na tomada de decisão, com realização de análise conjunta com coleta de dados a partir da plataforma Google Forms e avaliação das alternativas a partir de análise qualitativas e quantitativas realizadas em estudos anteriores. Concluiu-se que Alternativa 2 (implementação de caixas d'água) é considerada a alternativa mais adequada a partir

da aplicação da análise, visto que apresentou nota final superior as demais alternativas e consequentemente a maior ordem de hierarquização.

Palavras-chave: morro do Recife; escadaria; descida d’água; sarjeta; AHP.

ABSTRACT

The intensification of the urbanization process in large urban centers has increased the demand for infrastructure, sanitation and housing. In this way, the result is transformations on the earth's surface, mainly with regard to changes from vegetated surfaces, considered permeable, to urbanized ones, considered impermeable, resulting in the occurrence of natural disasters, in which we combine with events Extremes of precipitation can generate risky situations and cause a series of losses for society. This work aims to analyze the surface drainage system of a hill area located in the municipality of Recife-PE, which presented great vulnerability to the impacts of barrier slides resulting from the high rainfall that occurred on May 28, 2022, which caused a series of negative impacts for the municipality. Therefore, the work is focused on the study and hydraulic evaluation of surface drainage devices, as well as possible suggestions for greater system efficiency. Two main types of microdrainage devices were evaluated: 3 gutters, based on the difference between the admissible flow (Izzard Equation) and design flow (Rational Method) and 4 water drops, using the SISCCOH software – System for Water Calculations. Hydraulic Components. For gutters, problems were found in relation to the capacity of gutter S2, in which the design flow (generated by the extreme event) was higher than the allowable flow (flow that the device is capable of supporting). It should be noted that this situation is mainly linked to the impact of the external contribution to the device, since the inclusion of this area substantially increases the relative design flow (0.189 m^3/s). A Multicriteria Analysis was applied to determine the best compensatory technique in the gutter contribution area to be adopted with a view to reducing the water flow coming from the urbanized contribution areas of the hill, three alternatives being evaluated: (1) green roofs with vegetation ; (2) storage of rainwater in a reservoir (water tank); and (3) low-cost green roofs. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was used to assist in decision making, carrying out joint analysis with data collection from the Google Forms platform and evaluation of alternatives based on qualitative and quantitative analyzes carried out in studies previous ones. It was concluded that Alternative 2 (implementation of water tanks) is considered the most appropriate alternative based on the application of the analysis, as it presented a higher final score than the other alternatives and consequently the highest ranking order.

Keywords: Recife hill; staircase; descent of water; gutter; AHP.

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	**11**
1.1	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	13
2	**REFERENCIAL TEÓRICO**	**15**
2.1	URBANIZAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL	15
2.2	SISTEMA DE DRENAGEM URBANA (SDU)	19
2.2.1	**Conceitos gerais**	**19**
2.2.2	**Microdrenagem**	**21**
2.2.3	**Macrodrenagem**	**22**
2.2.4	**Técnicas Compesatórias**	**23**
2.3	DRENAGEM SUPERFICIAL EM ÁREAS DE ENCOSTA	25
2.3.1	**Método Racional**	**26**
2.3.2	**Equação de Izzard**	**28**
2.3.3	**Software SisCCoH**	**28**
2.4	USO DE IMAGENS DE SATÉLITE COMO FERRAMENTA PARA A DRENAGEM URBANA	32
2.5	MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE	35
2.5.1	**Telhados convencionais**	**35**
2.5.2	**Captação de água de chuva por reservatório**	**39**
2.5.3	**Telhados ecológicos de baixo custo**	**41**
2.6	ANÁLISE MULTICRITÉRIOS (AMC)	45
3	**MATERIAIS E MÉTODOS**	**50**
3.1	AVALIAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	50
3.1.1	**O processo de urbanização**	**50**
3.1.2	**Definição do dia de maior precipitação**	**51**
3.1.3	**Caracterização da área de estudo**	**53**
3.1.4	**Definição do morro de estudo**	**63**
3.2	VISITA TÉCNICA	63
3.3	AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HIDRÁULICA	63
3.3.1	**Vazão de projeto (Método Racional)**	**63**
3.3.2	**Vazão admissível (Equação de Izzard)**	**67**
3.3.2.1	**Coeficiente de simplificação**	**67**

3.3.2.2 Declividade da via 68
3.3.3 Descidas d'água: SisCCoH 68
3.3.4 Avaliação de segurança 68
3.3.4.1 Sarjetas 69
3.3.4.2 Descida d'água 69
3.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS (AHP) 69
3.4.1 Definição da problemática a ser resolvida 69
3.4.2 Definição das dimensões e variáveis 70
3.4.2.1 Dimensões 70
3.4.2.2 Variáveis 71
3.4.3 Combinação par a par entre dimensões e entre variáveis por dimensão 73
3.4.4 Definição da alternativa mais coerente 76
3.4.4.1 Nota por alternativa (variáveis) 76
3.4.4.2 Nota por alternativa (dimensões) 76
4 RESULTADO E DISCUSSÃO 78
4.1 AVALIAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 78
4.1.1 O processo de urbanização da área de estudo 78
4.1.2 Eventos pluviométricos 79
4.1.3 Maior evento pluviométrico 81
4.1.4 Escolha do morro e sua vulnerabilidade 86
4.2 VISITA TÉCNICA 94
4.2.1 Percurso 1: Entorno e Rua Guerra Junqueira 94
4.2.2 Percurso 2: Caminho do canal retangular 99
4.2.3 Percurso 3: Canal principal e Rua João Jovem Santos Neto 103
4.2.4 Percurso 4: Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos e Rua Mariano Carneiro Cunha 108
4.3 AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HIDRÁULICA 111
4.3.1 Vazão de projeto 112
4.3.1.1 Áreas de contribuição 112
4.3.1.2 Intesidade pluviométrica 113
4.3.1.3 Determinação do coeficiente de escoamento superficial 114
4.3.1.4 Cálculo da vazão de projeto 116

4.3.2 Sarjetas: vazão admissível 117
4.3.2.1 Coeficiente de simplificação 117
4.3.2.2 Declividade da via 117
4.3.2.3 Cálculo da vazão admissível 118
4.3.3 Descidas d'água: SisCCoH 118
4.3.3.1 Dimensões adotadas (Visita técnica) 119
4.3.3.2 Declividade da descida d'água 120
4.3.4 Avaliação de segurança 121
4.3.4.1 Sarjetas 121
4.3.4.2 Descidas d'água 123
4.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS (AHP) 126
4.4.1 Definição da problemática a ser resolvida 126
4.4.2 Definição das dimensões e variáveis 127
4.4.3 Avaliação das alternativas em relação às variáveis 135
4.4.3.1 Aspectos Hídricos 135
4.4.3.2 Aspectos Operacionais 138
4.4.3.3 Aspectos Socioeconômicos 141
4.4.4 Hierarquização das alternativas conforme o método AHP 144
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 145
REFERÊNCIAS 147
APÊNDICE A – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO 162
APÊNDICE B – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO 164
APÊNDICE C – VAZÃO DE PROJETO CONSIDERADA 167

1 INTRODUÇÃO

A intensificação no processo de urbanização em grandes centros urbanos tem aumentado a demanda por infraestrutura, saneamento e habitação. Dessa forma, tem-se como resultado a ocorrência de transformações na superfície terrestre, principalmente no que diz respeito às modificações de superfícies vegetadas, consideradas permeáveis, para urbanizadas, ditas como impermeáveis. De forma geral, a ocupação do território sem planejamento e com tendência de aumento aumenta a vulnerabilidade socioeconômica da população. Diante disso, Meireles (2023) citou como consequência uma série de problemas ambientais, sociais e econômicos, destacando ser necessário um maior planejamento urbano para o crescimento equilibrado e sustentável de centros urbanos.

Em consequência, ocorrem os desastres naturais, nos quais, combinados com eventos extremos de precipitação, podem gerar situações de risco e ocasionar uma série de prejuízos para a sociedade. De acordo com Quang, Giang e Thinh (2022), a diminuição da capacidade de infiltração e do armazenamento de água está relacionado com o crescimento da superfície impermeável, gerando o aumento do escoamento superficial, gerando a intensificação de problemas futuros de inundações, em grandes cidades, resultantes do excesso de escoamento proveniente do desenvolvimento urbano e das mudanças climáticas.

Outro evento bastante associado aos processos de urbanização é a ocorrência de enxurradas, ligados ao escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, de acordo com França e Suassuna (2018). Sobre isso, os autores destacam que a enxurrada normalmente ocorre em pequenas bacias de relevo acidentado, e pela elevação súbita das vazões em determinada rede de drenagem resultando em transbordamento brusco da calha fluvial, sendo de grande capacidade destrutiva. Silva e Monteiro (2020) ressaltaram que o conceito de enxurrada está associado a aspectos ligados à rapidez e à alta energia, mas não existem limites quantitativos para diferenciação de uma inundação gradual.

Considera-se a ocorrência de alagamentos como problema comum nas grandes cidades, ligado ao acúmulo de água em determinados locais, principalmente em cotas baixas, somado com a ineficiência do sistema de drenagem, conforme Caldana et al. (2018). Souza et al. (2023) ressaltaram que a urbanização sem planejamento tem sido um dos maiores agravantes no surgimento de pontos de

alagamentos nas cidades, visto que o aumento nas áreas impermeabilizadas do solo pode reduzir a infiltração e gerar o aumento do escoamento superficial da água pluvial, resultando em enchentes e alagamentos com maior frequência e magnitude.

Considerado um dos desastres naturais mais perigosos, as inundações tendem a se agravar ainda mais no futuro, principalmente nas chamadas “áreas propensas a inundações”, caracterizadas por apresentarem relevo plano ou baixo, próximos a córrego, rio ou curso de água ou, ainda, regiões sujeitas ao acúmulo ou escoamento incomum e rápido de águas superficiais de qualquer fonte.

Dessa forma, é de grande importância o entendimento e enfrentamento dos agentes políticos em relação ao processo de urbanização (Hemmati et al., 2021). Para prevenção da ocorrência de tais eventos, no contexto urbano brasileiro, é necessária a ação conjunta envolvendo: proteção civil, habitação, infraestrutura, educação e saúde. No Brasil, a quantidade de pessoas vulneráveis à ocorrência de tais desastres tem aumentado cada vez mais, sendo, segundo Saito et al. (2019), agravado pela conduta do mercado imobiliário e pela ausência histórica de implementação de políticas habitacionais de ocupação do país, restringindo o acesso a locais seguros para moradia.

De acordo com Lima, Melo e Corrêa (2008), o histórico de ocorrência de alagamentos para o município do Recife está associado às características geomorfológicas e habitacionais, resultando na vulnerabilidade natural aos eventos erosivos na ruptura de gradiente dos topos e terço superior das encostas, assim como intensa deposição de sedimentos e alagamentos na baixa encosta e planície aluvial.

De acordo com Albuquerque et al. (2013), Recife sofre intensamente com alagamentos, transbordamentos de córregos e rios, e deslizamentos de morros em virtude da intensificação da precipitação pluviométrica no período chuvoso, combinado com o aumento no processo de urbanização ao longo dos anos. Levando em consideração que a recorrência de desastres naturais está associada aos altos índices pluviométricos e às modificações da superfície terrestre, pesquisadores vêm buscando opções inspiradas na natureza para melhoria atual e futura da drenagem local, tais como a aplicação das chamadas técnicas compensatórias.

De acordo com Teixeira (2024), a aplicação dessas técnicas tem por objetivo mitigar as alterações provocadas nos ciclos das águas, sendo necessária a consideração principalmente de aspectos físicos, como topografia do local, capacidade de infiltração no solo, a estabilidade do subsolo, o nível das águas

subterrâneas e o aporte permanente de água para a definição da melhor alternativa a ser aplicada. Sobre isso, no Brasil tem-se, atualmente, legislações específicas que exigem a implementação de técnicas para a redução da capacidade de infiltração no solo e a diminuição do tempo de escoamento das águas pluviais em loteamentos ou parcelamentos do solo, sendo comumente utilizadas, conforme Teixeira (2024).

Diante disto, este trabalho tem por objetivo a análise do sistema de drenagem superficial de uma área de morro que apresentou grande vulnerabilidade aos impactos resultantes de um evento de extremo de precipitação ocorrido na data de 28 de maio de 2022, que causou uma série de impactos negativos em toda Região Metropolitana do Recife.

Para isso, o trabalho foi voltado ao estudo e à avaliação hidráulica dos dispositivos de drenagem superficial, bem como às possíveis sugestões para maior eficiência do sistema. Assim sendo, foi realizada a avaliação da alternativa de implementação da técnica compensatória mais adequada para diminuição do escoamento superficial em localidades que se mostrem com comprometimento na capacidade de escoar o volume de água precipitado.

1.1 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Apesar de afetar toda a sociedade, os impactos dos eventos pluviométricos extremos são ainda maiores para a população de baixa renda, que muitas vezes residem em áreas de maior vulnerabilidade. Somado a isso, sabe-se que existe a previsão que esses eventos extremos estejam mais recorrentes em função das mudanças climáticas. Daí, em aspectos gerais, a busca por medidas que amenizem seus impactos em áreas mais vulneráveis é de fundamental importância, sendo necessário o conhecimento e a avaliação de suas ocorrências, buscando entender suas principais causas. Diante disso, torna-se necessária a busca por técnicas compensatórias para mitigação de tais problemas, visando a otimização do funcionando do sistema de drenagem, a partir da diminuição do fluxo do escoamento superficial.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a segurança hidráulica do sistema de drenagem superficial de uma área de morro vulnerável na cidade do Recife-PE, considerando dados de um evento crítico de precipitação.

Em relação aos objetivos específicos, tem-se:

- Selecionar uma área de morro para estudo, considerando a magnitude e a gravidade dos impactos observados para o evento pluviométrico selecionado;
- Avaliar o sistema de drenagem superficial no morro de estudo; e
- Identificar a alternativa mais indicada com aplicação da análise multicritério (metodologia Analytic Hierarchy Process - AHP).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo apresenta-se a fundamentação teórica sobre urbanização para o escoamento superficial em centros urbanos, caracterização dos dispositivos de sistema de drenagem, características das técnicas compensatórias e análise multicritério. Somado a isso, será detalhado o processo de utilização de imagens de satélite como ferramenta para avaliação do sistema de drenagem, visando a aplicação de artifícios para análise das condições de funcionamento dos dispositivos de sistema de drenagem.

2.1 URBANIZAÇÃO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

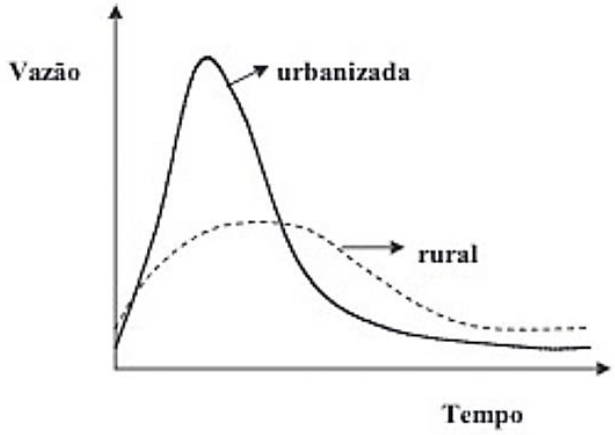
Tucci (2007) destacou como principais impactos referentes ao processo de urbanização das cidades: (1) aumento nas vazões máximas e respectivas frequências devido ao aumento na capacidade de escoamento de condutos e canais, assim como impermeabilização das superfícies; (2) intensificação na produção de sedimentos advindos de superfícies expostas e da deposição de resíduos sólidos; (3) deterioração da qualidade da água super pela existência de ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial, lavagens de ruas e transporte de material sólido; (4) implementação desorganizada da infraestrutura urbana, com projetos inadequados de obras de drenagem (por exemplo, diminuição de diâmetros de condutos à jusante, drenagem sem esgotamento, deposição e obstrução de rios, entre outros).

Para Collodel (2009), o processo de diminuição da permeabilidade do solo pela construção de telhados, calçadas, pátios e estacionamentos, consequência da urbanização, acabam por modificar o volume e a qualidade da água nas diversas fases do ciclo hidrológico. Reafirmando tal situação, Costa, Poleto e Ramme (2016) e Santana et al. (2022) destacaram que a modificação superficial, com retirada da cobertura vegetal original gera consequências diretas no grau de infiltração da água precipitada, uma vez em condições sem modificações, no momento que a água atinge o solo, parte dessa água seria infiltrada pelo solo e absorvida pela vegetação. Dessa forma, pode ocorrer o aumento nos níveis do escoamento superficial que podem resultar em inundações, erosões e danos à qualidade da água dos mananciais hídricos superficiais.

Comparando os dois cenários (rural e urbanizado), observa-se que o pico de vazão é maior e mais rápido em áreas urbanizadas (Figura 1), devido ao, já descrito, aumento das áreas impermeáveis e consequente intensificação do escoamento

superficial. De acordo com o Sousa (2016), esse aumento da vazão de escoamento é um grande problema, visto que, em grande parte dos casos, ocorrem em áreas que originalmente não foram projetadas para esse tipo de contribuição, fazendo com que situações de alagamentos e/ou inundações passem a ser mais recorrentes em áreas que não sofriam esse tipo de problema antes da urbanização, acarretando, inclusive, em prejuízos materiais e de vidas humanas. Assim sendo, conforme Carvalho e Walde (2022), é urgente a necessidade de conciliação entre o meio ambiente e a urbanização.

Figura 1 – Representação do comportamento vazão x tempo para bacias hidrográficas urbanizadas e rurais.



Fonte: Tucci (2007).

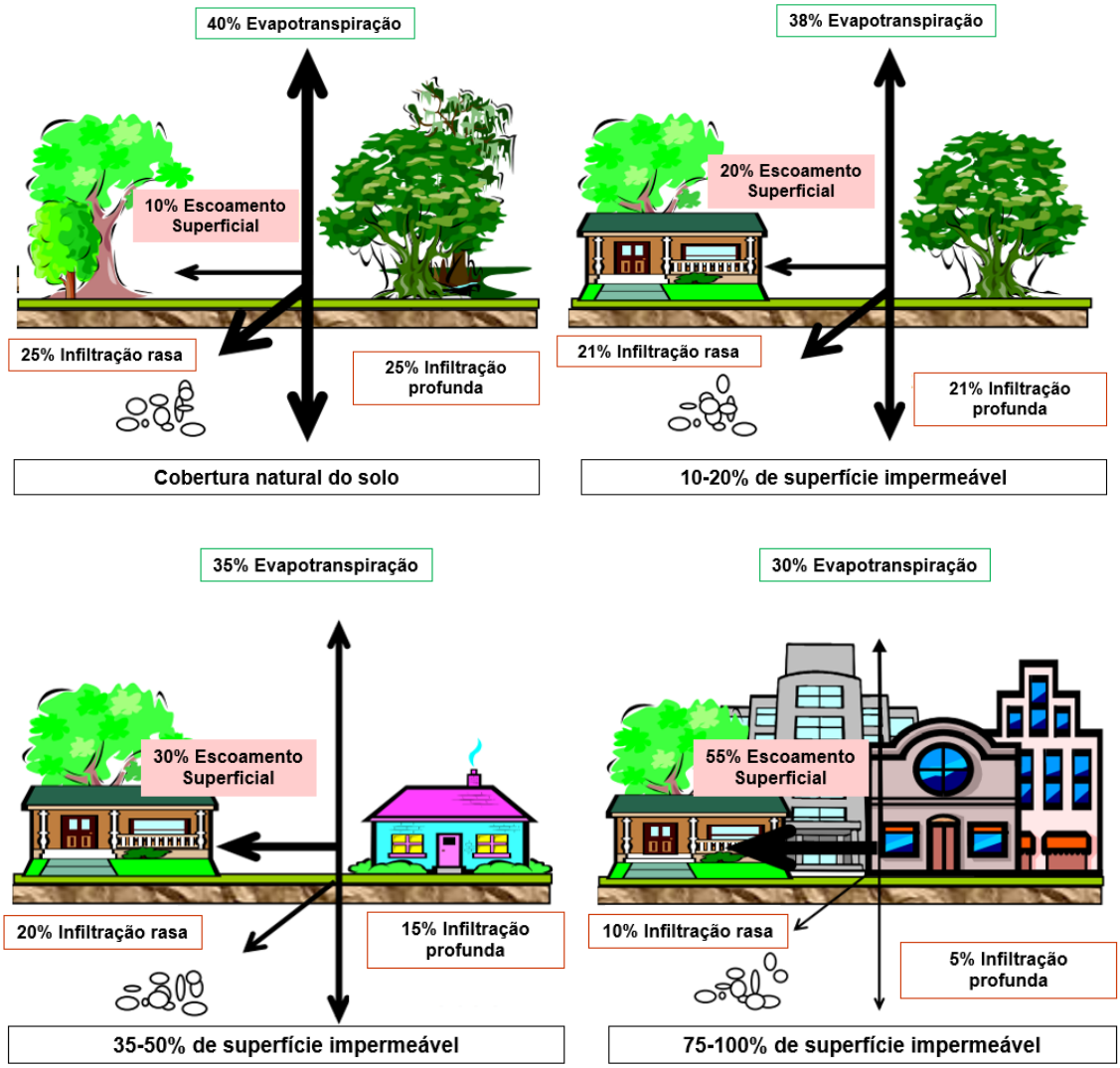
O conhecimento das tendências pluviométricas da região é de extrema importância para o correto entendimento das causas e da frequência da ocorrência de alagamentos. De acordo com Simioni et al. (2014), a compreensão da dinâmica espaço-temporal da precipitação é necessária para uma correta gestão e preservação dos recursos hídricos, que vem sofrendo cada vez mais pelas consequências das atividades antrópicas.

Casos de precipitação extrema em bacias com alto nível de urbanização podem resultar em eventos hidrológicos impactantes, como, por exemplo, alagamentos, enxurradas e inundações (SNIS, 2023) que podem gerar danos tangíveis (de impacto direto, como danos físicos aos domicílios, equipamentos, plantas e infraestrutura, e de impacto indireto, vinculado a custos de limpeza, alojamento e medicamentos, gastos com reconstrução, perturbações, paralisações e congestionamento nos serviços, entre outros); e intangíveis (de impacto direto, como ferimentos e perda de vida humana, doenças de veiculação hídrica, perda de objetos de valor sentimental,

entre outros, e de impacto indireto, estados psicológicos de stress e ansiedade, interrupção e perturbações nas atividades econômicas, meios de transporte e comunicação, entre outros).

Na Figura 2 observa-se o impacto quantitativo no escoamento superficial com o processo de urbanização, de acordo com California Coastal Comission (2005), em que, com uma cobertura natural do solo, tem-se apenas 10% do valor precipitado sendo direcionado para o escoamento superficial, enquanto os demais valores passam pelo processo de evapotranspiração ou infiltração.

Figura 2 – Modelo esquemático: Urbanização e escoamento superficial.



Fonte: Adaptado de California Coastal Comission (2005).

Com o aumento da superfície impermeável, no percentual de 10-20%, a quantidade destinada para o escoamento superficial passa a ser de 20% da

precipitação; e esse comportamento é observado à medida que o processo de urbanização se expande por áreas maiores. Ou seja, para 35-50% de superfície impermeável, estima-se que 30% da água precipitada gera escoamento superficial; e no caso de 75-100% de área impermeável, a California Coastal Comission (2005) destacou que cerca de 55% do volume pluviométrico torna-se escoamento superficial. Dessa forma, quanto maior a impermeabilização da área, maior o volume de água que irá compor o escoamento superficial. Fica evidente, portanto, que conforme Azevedo Netto (1998), é necessário prever/inserir espaço para o escoamento e a acumulação da água da chuva (infiltração, retenção e acumulação) para evitar maiores prejuízos nos cenários de eventos pluviométricos extremos.

Segundo Rodrigues (2021), no Brasil, estima-se que o valor referente a despesas e prejuízos com inundações é superior a 2 bilhões de dólares com destaque para a carga de poluição de águas pluviais, considerada bastante expressiva, chegando em determinadas situações a ser superior às cargas poluentes dos esgotos sanitários. As inundações e impactos em áreas urbanas consequentes do escoamento pluvial pode acontecer em razão de dois principais processos, que podem ocorrer isoladamente ou combinados, sendo esses: (1) inundações em razão da urbanização, vinculadas à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos; e (2) inundações de áreas ribeirinhas devido à ocupação do leito maior dos rios.

Ressalta-se que de acordo com Alheiros et al. (2004), os problemas envolvendo acidentes em morros estão ligadas principalmente aos seguintes pontos: (1) ação das águas sobre o relevo, visto que a partir do momento que ocorre algum corte em encosta, as águas que antes passavam sobre a encosta passam por um aumento na energia potencial e consequente velocidade devido a verticalização do perfil, como também da falta de proteção oferecida pelo solo e pela vegetação; (2) processos de erosão, que podem ser intensificados pelas água de escoamento superficial, dependendo da intensidade, duração da chuva e características do relevo, podem assim remover grandes quantidades de sedimentos das planícies altas e encaminhar para córregos e canais, assim gerando possíveis alagamentos e inundações; e (3) movimentos de massa consequentes de períodos de altos índices pluviométricos, como rastejos, rolamentos, deslizamentos, entre outros.

2.2 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA (SDU)

2.2.1 Conceitos gerais

A drenagem de águas pluviais acontece naturalmente pela gravidade, a partir das diferenças topográficas que geram os divisores d'água nas bacias hidrográficas, até o desague em rios e oceanos. Contudo, com o passar do tempo, a drenagem costuma ser modificada por ação antrópica, a partir de transformações no espaço, passando a ser alteradas ou substituídas por estruturas artificiais de micro e macrodrenagem (SNIS, 2021).

Adicionalmente, Tassinari (2014) afirmou que a drenagem urbana é um conjunto de medidas que visam mitigar os riscos à população, diminuir os prejuízos causados pelas inundações e promover o desenvolvimento urbano de forma efetiva e sustentável. Conforme Tominaga (2013), para o estudo da drenagem urbana é necessário o entendimento de que o escoamento ocorrerá com ou sem a existência de um sistema adequado. Assim como, situações de inexistência ou mal funcionamento do sistema resultará no acúmulo de água em pontos críticos, gerando alagamentos. Vale destacar que o sistema de drenagem urbana é solicitado apenas durante e imediatamente depois de um evento de precipitação.

Diante do exposto para entendimento do cenário de funcionamento de um sistema de drenagem em uma determinada localidade, são importantes informações: quantidade de habitantes; em relação às águas pluviais, a existência de sistema de drenagem exclusivo e de algum tipo de tratamento; quantidade de pessoas desabrigadas/desalojadas devido a eventos hidrológicos específicos; e custos com investimento e despesas per capita nos serviços associados. A Tabela 1 mostra o levantamento de dados referentes ao sistema de drenagem e manejo de águas pluviais para os municípios brasileiros para o período de 2015 até 2021, de acordo com o SNIS (2021). Observa-se que no período citado, tem-se a diminuição de 9,6% entre os municípios com sistema de drenagem exclusivo para o manejo de águas pluviais, como também um crescimento de 55,4 mil pessoas desabrigadas ou desalojadas devido a eventos hidrológicos impactantes. Em relação a custos, observa-se a diminuição de R$ 11,84/hab.ano e R$ 3,14/hab.ano para o investimento e despesa per capita nos serviços de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (DMAPU), respectivamente.

Tabela 1 – Levantamento de dados no cenário brasileiro.

Ano		2015	2017	2018	2019	2020	2021
Número de habitantes (milhões)		204,5	208,5	208,5	208,5	211,8	213,3
Municípios com sistema de drenagem exclusivo para o manejo de águas pluviais (%)		53,1	51,8	54,8	54,3	45,3	43,5
Municípios com algum tipo de tratamento de águas pluviais (%)		4,5	4,5	3,6	4,4	4,6	4,2
Número de pessoas desabrigadas ou desalojadas em eventos hidrológicos impactantes (mil)		263,9	205,2	141,5	105,1	218,4	319,3
Valor per capita nos serviços de DMAPU (R$/hab.ano)	Investimento	42,07	24,30	18,15	21,73	38,21	30,23
	Despesa	32,60	22,10	18,20	25,07	27,99	29,46

Legenda: DMAPU= Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas.
Fonte: Adaptado de SNIS (2021).

Azevedo Netto (1998) destacou que as soluções de engenharias vinculadas à drenagem urbana podem ser divididas em dois principais ramos: a microdrenagem e a macrodrenagem. A Tabela 2 detalha os conceitos de tais fundamentos. Em termos funcionais, o sistema de drenagem compreende os coletores pluviais dos edifícios ligados à rede pública, bem como os pequenos rios que compõem a macrodrenagem, conforme Silva (2019).

Tabela 2 – Descrição sucinta de um sistema de drenagem urbana.

Microdrenagem	Macrodrenagem
Inicia nas edificações (coletores pluviais), escoamento pelas sarjetas, entrada nos bueiros e galerias. Estudos mais ligados ao traçado das ruas, larguras e perfis, assim como topografia e declividades.	Associado diretamente com: área total da bacia de drenagem, capacidade de escoamento natural, uso e ocupação, cobertura vegetal, aspectos sociais, entre outros.

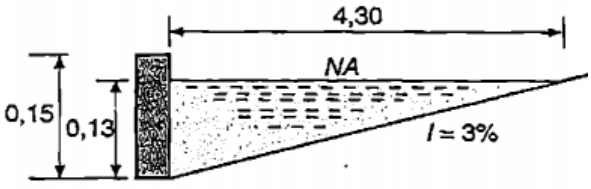
Fonte: Azevedo Netto (1998).

Conforme Rezende (2022), a gestão do sistema de drenagem no Brasil, em sua maioria, ainda é tratada de forma desvinculada, sendo manejada de forma específica para cada município. Dessa forma, em diversos casos o sistema de drenagem usual tem se mostrado insuficiente, tanto em relação às enchentes, como também em relação à qualidade da água, à qualidade de vida da população e à sustentabilidade ambiental. Assim sendo, se inserem as técnicas compensatórias que vêm se destacando pelo seu crescente uso. De acordo com Fonseca (2023), tais técnicas são estruturadas para trabalhar em paralelo com mecanismos usuais de drenagem, favorecendo a retenção e a infiltração da precipitação.

2.2.2 Microdrenagem

Fonseca (2023) descreveu a microdrenagem como responsável por coletar e conduzir a água pluvial dos pavimentos de vias públicas, em que, para seu adequado funcionamento, faz-se necessária a contínua limpeza (em regularidade e frequência) dos dispositivos, principalmente na iminência de eventos pluviométricos extremos. De forma geral, o sistema de microdrenagem é projetado para transporte do fluxo de água até o deságue ou até os sistemas de macrodrenagem, conforme Rezende (2022), formada pelo sistema de condutos e canais nos loteamentos ou na rede primária urbana associada ao sistema viário. Em relação aos elementos da microdrenagem em zonas urbanas, tem-se: sarjetas, bocas de lobo e poços de visita. No caso de áreas de morro, conta-se com mais um elemento, que é a descida d'água em degrau. De acordo com Azevedo Netto (1998), a sarjeta é uma calha formada pela via pública e pelo meio fio, que permitem a passagem da água, com comportamento análogo aos canais de seção triangular, para, conforme Tominaga (2013), condução aos locais de captação, chamados de boca de lobo. A Figura 3 apresenta o arranjo esquemático desse dispositivo, enquanto a Figura 4 mostra um exemplo do dispositivo.

Figura 3 – Esquema de uma sarjeta.



Fonte: Azevedo Netto (1998).

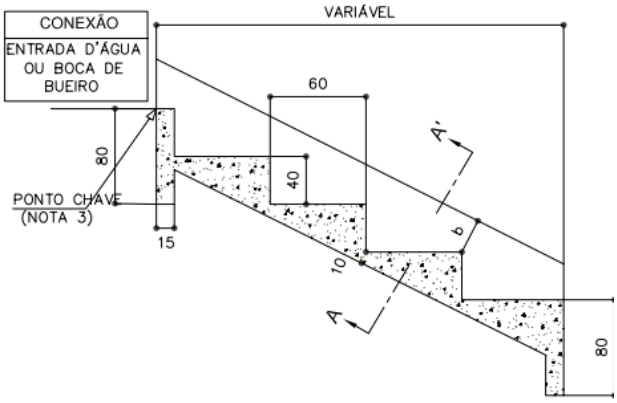
Figura 4 – Sarjeta, em Recife-PE.

Fonte: Autora (2023).

As bocas de lobo captam as águas no momento em que se esgota a capacidade hidráulica da sarjeta, conforme Azevedo Netto (1998). Os poços de visita

foram descritos por Tominaga (2013) como dispositivos que permitem a inspeção e a limpeza, devendo ser posicionados a cada 100 metros ao longo do sistema ou em pontos que existam mudanças de direção, declividade e/ou diâmetro das galerias, para facilitar a inspeção e limpeza. As descidas d'água em degraus são muito encontradas em morros em áreas urbanas (Figura 5 e Figura 6), e visam conduzir o fluxo de água de uma cota alta para uma cota baixa, dissipando a energia e diminuindo a velocidade.

Figura 5 – Esquema de uma descida d'água.



Fonte: DNIT (2010).

Figura 6 – Descida d'água, em Recife-PE.

Fonte: Autora (2023).

2.2.3 Macrodrenagem

A macrodrenagem de uma área está, originalmente, associada à rede de drenagem existentes antes do processo de urbanização, sendo assim formada por

rios e córregos, situados em talvegues dos vales, podendo acontecer modificações e complementações através de, por exemplo, canalizações, barragens e diques. Tal sistema corresponde aos canais de maiores dimensões, que recebem contribuições do sistema de microdrenagem e as lançam no corpo receptor (Fonseca, 2023), podendo, de acordo com Rezende (2022), ser complementados por dispositivos, como bueiros, dissipadores de energia e estações elevatórias de águas pluviais. Naturalmente, o bom dimensionamento dos sistemas de macrodrenagem contribui para diminuir os riscos de alagamentos. Contudo, conforme Rezende et al. (2009), mesmo que os projetos sejam desenvolvidos tecnicamente de forma correta, muitas vezes acabam se tornando ineficientes rapidamente devido à alta demanda.

Conforme Tomaz (2013), os canais abertos constituem uma solução usual em projetos de sistema de macrodrenagem urbana, tendo como vantagem a facilidade de manutenção e limpeza, a economia de investimentos e a facilidade de aplicações futuras. A Figura 7, apresenta um exemplo de canal aberto situado em Recife-PE.

Figura 7 – Canal aberto localizado no bairro da Cohab, em Recife-PE.

Fonte: Autora (2024).

2.2.4 Técnicas compensatórias

De acordo com Dutra Júnior e Menezes Filho (2022), uma das possíveis soluções para mau funcionamento do sistema de drenagem urbana, devido ao excesso de escoamento superficial, é a aplicação de técnicas compensatórias. Diferentemente dos mecanismos de drenagem clássicos, nos quais prioriza-se a

gestão hídrica em situações específicas de cheias, as técnicas compensatórias têm como objetivo tornar o hidrograma nas condições mais próximas às da pré-urbanização, a partir do aumento das taxas de infiltração da água no solo, e consequente diminuição do fluxo de escoamento superficial das águas e aumento da taxa de evapotranspiração (Tucci; Porto; Barros, 1995).

Segundo Diniz (2022), as técnicas compensatórias envolvem processos de infiltração, evapotranspiração, detenção e retenção, sendo esses processos de controle de escoamento na fonte, com redução do volume escoado, diminuição das vazões de pico e retardo do hidrograma de resposta.

Para Fonseca (2023), as medidas de controle na fonte podem ser não estruturais, estando mais ligadas ao planejamento de regulamentações do uso e ocupação do solo, participação da população e educação ambiental, recuperação de matas ciliares, manejo de materiais e produtos químicos, manutenção de dispositivos existentes. Por outro lado, podem ser estruturais, sendo: (1) medidas pontuais de controle na fonte, variando entre localizado (telhados verdes, micro reservatórios, poços de infiltração e sistema de biorretenção), e linear (trincheira de infiltração, vala de detenção, vala de infiltração, pavimento permeável e áreas úmidas lineares); e (2) controle centralizado, como bacias de detenção, bacias de retenção, bacias de infiltração e águas úmidas artificiais. A Figura 8 e a Figura 9 apresentam telhados verdes implantados na cidade do Recife.

Figura 8 – Telhados verdes implantados em Recife-PE: Edifício residencial (Bairro da Torre).

Fonte: Autora (2023).

Figura 9 – Telhados verdes implantados em Recife-PE: Edifício residencial (Bairro da Torre).

Fonte: Autora (2023).

2.3 DRENAGEM SUPERFICIAL EM ÁREAS DE ENCOSTA

De acordo com Mangieri (2012), a drenagem superficial em áreas de encosta tem como principal objetivo a estabilidade do maciço, de forma que seja realizada a captação e condução adequada das águas pluviais e assim evitar acúmulo e deslocamento sob grandes velocidades. Ressalta-se que graças às altas declividades,

tem-se a necessidade de dissipação de energia como um aspecto importante a ser considerado nos sistemas de drenagem nas encostas.

Nos itens seguintes são apresentadas as principais metodologias aplicadas para a avaliação de segurança hidráulica dos dispositivos ligados à drenagem superficial.

2.3.1 Método Racional

As vazões de projeto do escoamento podem ser encontradas a partir de diversos métodos, a depender dos parâmetros físicos da área estudada. Segundo Santos (2010), em pequenas bacias, com chuvas de curta duração, pode-se adotar o Método Racional, e em bacias maiores, com chuvas mais demoradas, ou em casos em que se deseja, além da vazão máxima, o volume das cheias, é necessário utilizar modelos baseados no hidrograma unitário.

De acordo com Siqueira et al. (2023), essa metodologia foi proposta em 1850 por Mulvany, visando a avaliação da previsão da vazão máxima gerada em determinado evento pluviométrico. Conforme descrito por Oliveira (2007), o método em questão segue como fundamento que como a bacia é pequena, tem-se como o valor da duração de precipitação máxima de projeto igual ao tempo de concentração (tc), levando em consideração um coeficiente único de escoamento, sem avaliação do volume de cheia e análise temporal das vazões. Complementarmente, Schlickmann e Back (2020) destacam que o Método Racional é de fácil aplicabilidade visto que relaciona a vazão com o coeficiente de escoamento, intensidade de precipitação e área de contribuição. Contudo, caso seja utilizado em grandes áreas, pode vir a superestimar a vazão máxima.

Em relação à aplicação do Método Racional para bacias urbanas, Franco (2004) afirmou ser uma ferramenta adequada para a maioria das bacias urbanas. De acordo com o autor, a alta impermeabilização das áreas urbanas somado com ao fluxo superficial dos canais ou galerias, visto que não são observadas contribuições do escoamento subterrâneo, são responsáveis por diminuir o tempo de concentração nas bacias urbanas.

A aplicabilidade do Método Racional está vinculada com o correto entendimento dos conceitos de área de drenagem, na qual, de acordo com Franco (2004) é definida a partir de mapas, levando em consideração os divisores de água como pontos de maior cota. Contudo, para bacias urbanas, a área não é

necessariamente limitada pelo seu divisor de águas, uma vez que é comum o encaminhamento de águas pluviais para bacias vizinhas por meio de galerias e tubulações.

De acordo com Menezes Filho e Costa (2012), para a aplicação desse método é necessário conhecimento das principais características da bacia, sendo adotado o parâmetro coeficiente de escoamento superficial, deflúvio ou coeficiente de runoff (C), definido a partir da relação entre o escoamento superficial e o volume precipitado. Dessa forma, os valores menores para o coeficiente referem-se a áreas que não sofreram modificações antrópicas (como por exemplo áreas verdes e com maior capacidade de infiltração), enquanto valores maiores estão relacionados a áreas modificadas pelo homem (por exemplo pavimentadas e com menor capacidade de infiltração.

De acordo com Azevedo Netto (1998), o coeficiente de deflúvio ou de escoamento (C) são comumente associados com os valores apresentados na Tabela 3 e Tabela 4. Vale ressaltar que as informações dispostas nas tabelas são adotadas por órgãos nacionais e internacionais, fornecendo o valor de C variando de acordo com a tipologia da área de contribuição.

Tabela 3 – Valores usuais segundo Kuichling.

Tipo	**C**		**C médio**
	C_1	**C_2**	
Telhados	0,70	0,95	0,83
Superfícies asfaltadas	0,85	0,90	0,88
Superfícies pavimentadas e paralelepípedos	0,75	0,85	0,80
Estradas macadamizadas	0,25	0,60	0,43
Estradas não pavimentadas	0,15	0,30	0,23
Terrenos descampados	0,10	0,30	0,20
Parques, jardins, campinas	0,50	0,20	0,35

Fonte: Azevedo Netto (1998).

Tabela 4 – Valores usuais segundo Colorado Highway Department.

Tipo	**C**		**C médio**
	C_1	**C_2**	
Superfícies impermeáveis	0,9	0,95	0,93
Terreno estéril montanhoso	0,8	0,9	0,85
Terreno estéril ondulado	0,6	0,8	0,70
Terreno estéril plano	0,5	0,7	0,60
Prados, campinas, terreno ondulado	0,4	0,65	0,53
Matas decíduas, folhagem permanente	0,35	0,6	0,48
Matas coníferas, folhagem permanente	0,25	0,5	0,38
Pomares	0,15	0,4	0,28

Tipo	C		C médio
	C_1	C_2	
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15	0,4	0,28
Terrenos cultivados em vales	0,1	0,3	0,20

Fonte: Azevedo Netto (1998).

2.3.2 Equação de Izzard

Para o cálculo da vazão admissível das sarjetas de drenagem superficial no contexto urbano, tem-se, usualmente, a aplicação da metodologia prevista na equação de Izzard, na qual, de acordo com Guo (2000), calcula a capacidade de escoamento das vias, que ocorre principalmente pelas sarjetas, está ligada com as características hidrogeométricas destas e limitadas pelas características de tráfego local. Ressalta-se que a metodologia em questão é comumente utilizada em casos de avaliação do sistema de drenagem urbana, conforme apresentado em estudos realizados por Vieira, Barbosa e Zampieri (2020), assim como em Bohnenberger (2019).

Segundo Moraes (2015), a equação é admitida a partir do coeficiente de simplificação encontrado em função da largura da via (K), em m³/s (Tabela 5) e da declividade da via (i), em m/m.

Tabela 5 – Coeficiente de Simplificação em função da largura da via.

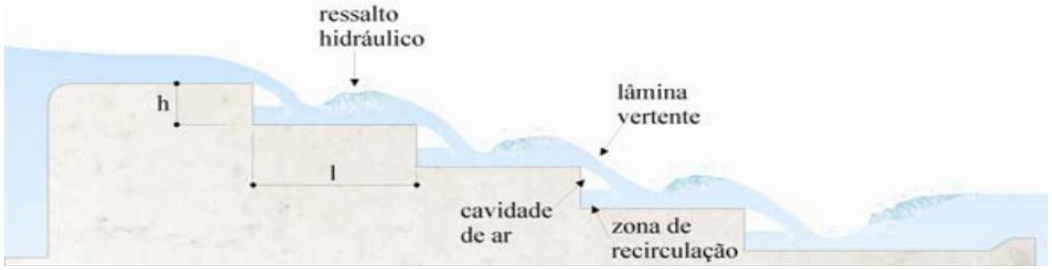
Largura da via (m)	K (m³/s)
3	0,539
4	0,718
5	0,898
6	1,077
7	1,257
8	1,436
9	1,616
10	1,795

Fonte: Moraes (2015).

2.3.3 Software SisCCoH

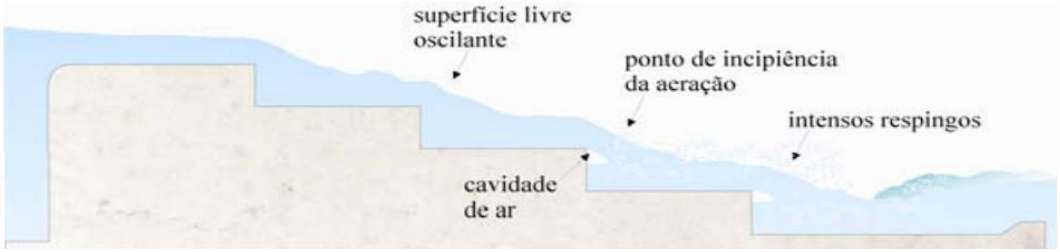
O software *SISCCOH* – Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos, versão 1.1, desenvolvido pela Pimenta Ávila Consultoria Ltda em parceria com a Universidade Federal de Minas Gerais é comumente utilizado como artifício para a avaliação do regime de escoamento em degraus. De acordo com Simões (2008), tais dispositivos podem apresentar três tipos de regimes: escoamento em quedas sucessivas – Nappe Flow (Figura 10), de transição (Figura 11) e deslizante sobre turbilhões – Skimming Flow (Figura 12), variando de acordo com as dimensões dos degraus e a vazão de entrada no dispositivo.

Figura 10 – Regime *Nappe Flow*.



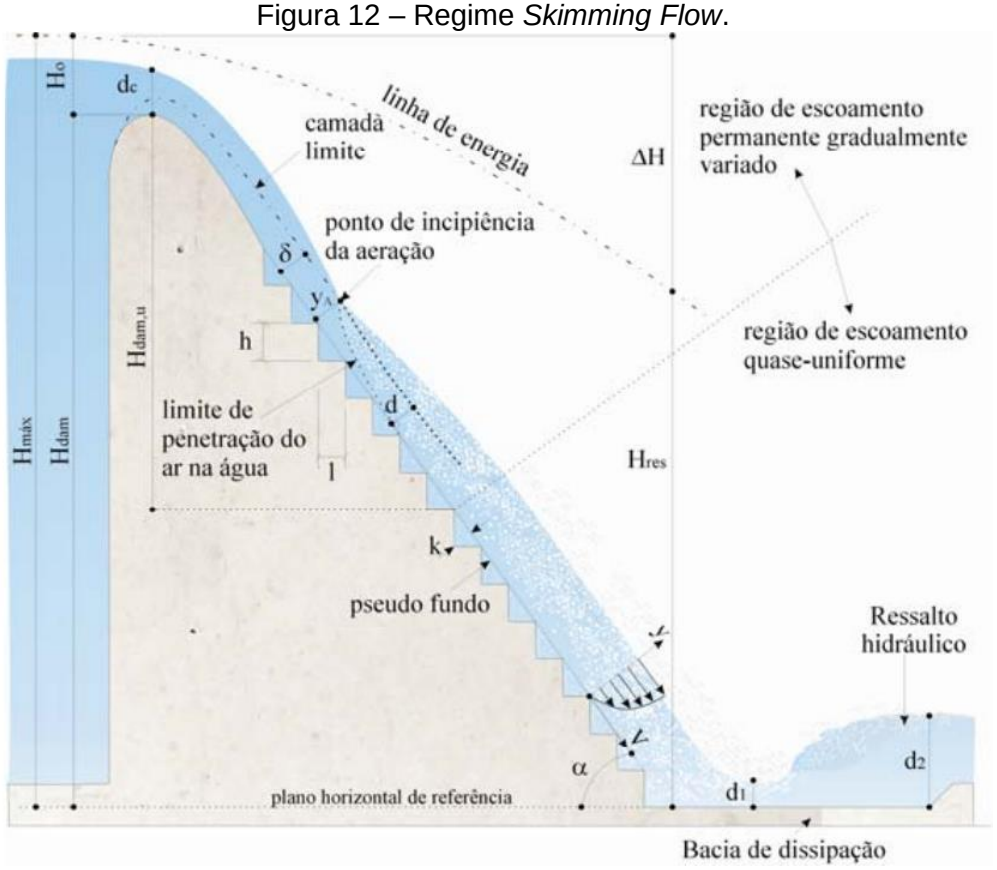
Fonte: Simões (2008).

Figura 11 – Regime de transição.



Fonte: Simões (2008).

Figura 12 – Regime *Skimming Flow*.



Fonte: Simões (2008).

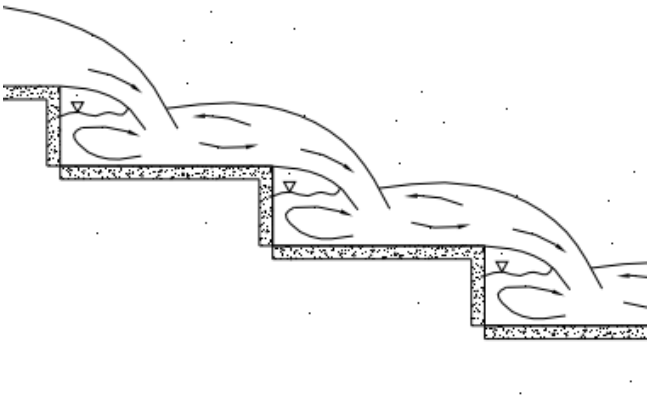
Matos e Meireles (2014) caracterizaram o regime Nappe Flow (exemplo Figura 13) pela formação de uma espécie de “toalha d’água” em cada gota. Conforme

Arantes, Porto e Botari (2007), a queda total da descida d'água é subdivida em inúmeras quedas livres, fazendo com que o fluxo hídrico seja encaminhado a partir de uma série de mergulhos e de um degrau para o outro (Figura 14).

Figura 13 – Exemplo *Nappe Flow.*

Fonte: Matos e Meireles (2014).

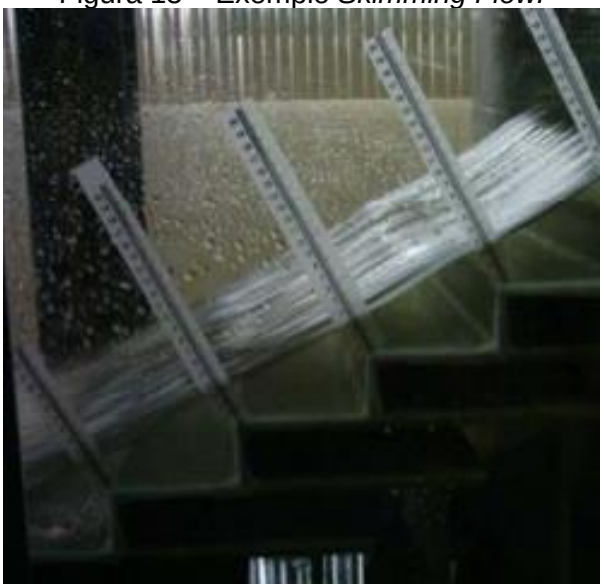
Figura 14 – Modelo esquemático - *Nappe Flow.*



Fonte: Arantes, Porto e Botari (2007).

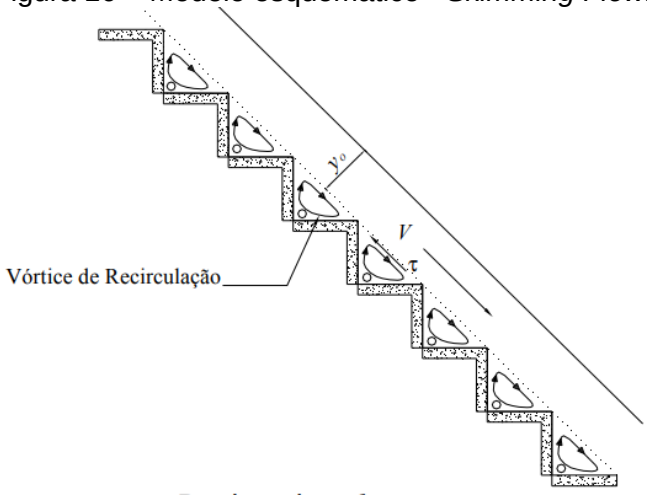
Ainda, tem-se também, o regime *Skimming flow* (exemplo Figura 15) no qual ocorre a submersão completa dos degraus e alto teor de ar no fluxo, sem a formação de uma "toalha d'água", de acordo com Matos e Meireles (2014). Ainda neste contexto, Arantes, Porto e Botari (2007) ressaltam que esse regime consiste em um escoamento passando sobre os vórtices estáveis que se formam entre os degraus, conforme esquema apresentado na Figura 16.

Figura 15 – Exemplo *Skimming Flow.*



Fonte: Matos e Meireles (2014).

Figura 16 – Modelo esquemático - *Skimming Flow.*



Fonte: Matos e Meireles (2014).

Matos e Meireles (2014) destacam, também, que alguns estudos detalham a existência do regime de transição entre os regimes, para encostas de diferentes dimensões. Somado a isso, vale destacar que os regimes em questão podem variar de acordo com a inclinação do canal e altura do degrau, com variações em relação à taxa de fluxo.

2.4 USO DE IMAGENS DE SATÉLITE COMO FERRAMENTA PARA A DRENAGEM URBANA

O entendimento do uso e ocupação do solo é de extrema importância para o estudo e o planejamento das particularidades de cada área. Dessa forma, a ferramenta do Sensoriamento Remoto (SR) tem servido como base para a discretização da tipologia do solo. Conforme Freitas, Cavalcanti e Braz (2023), nos últimos anos observa-se o desenvolvimento em relação à geoinformação auxiliando o mapeamento da dinâmica do uso e cobertura da terra e encontrando resultados que objetivam o ordenamento ambiental e territorial.

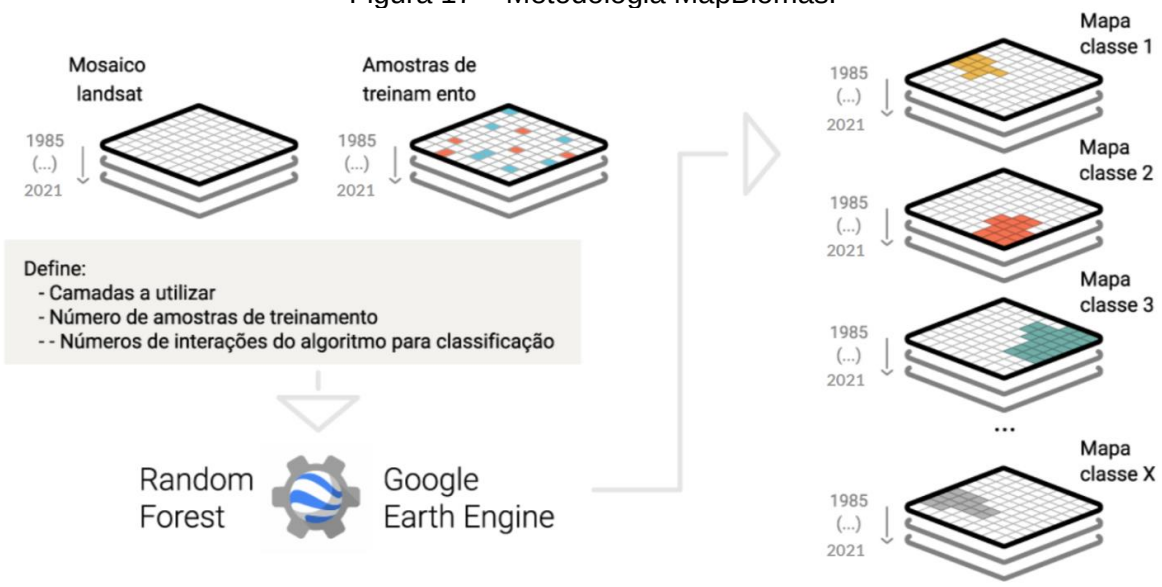
Tem-se como elemento unitário das imagens de satélite os chamados pixels, que são caracterizados pelo tipo de resolução, sendo elas: Resolução espectral (bandas), espacial (escala da imagem) e temporal (variabilidade temporal entre as passagens do sensor sobre uma mesma área), conforme Becker (2016). Somado a isso, ressalta-se que em 1972 foi lançado pelos norte-americanos o primeiro satélite de sensoriamento remoto óptico para observação dos recursos terrestres, denominado Landsat 1. Atualmente, tem-se diversificado cada vez mais, com uma vasta quantidade de satélites disponíveis para a captura dessas imagens, como por exemplo: série SPOT (França) e IRS (Índia), série CBERS (parceria Brasil e China), entre outros. Em relação ao Brasil, têm-se Landsat, Resourcesat-1 (sensores AWiFS e LISS-III), CBERS, Terra e Aqua (sensor MODIS), entre outros (Rudorff, Mello e Shimabukuro, 2009).

Vinculando o aprofundamento desses estudos, tem-se a iniciativa do MapBiomas que tem como objetivo o mapeando do uso e cobertura da terra, a partir de critérios estabelecidos através de estudos elaborados por equipes especializadas na temática. Com início em 2015, anualmente são disponibilizados dados de uso e cobertura da terra, desde o ano de 1985 até 2022, em formato raster, mapas e gráficos (Mapbiomas, 2023a).

De acordo com MapBiomas (2023b), a metodologia se inicia com imagens de resolução de 30 metros advindas do satélite Landsat, disponibilizadas gratuitamente pelo Google Earth Engine em uma série temporal de 30 anos. Ressalta-se que para cobrir todo o Brasil, têm-se 380 imagens, com mais de 9 milhões de pixels de 30 x 30 metros, sendo selecionados pixels sem nuvens dentre as imagens disponibilizadas, visando a produção de imagens limpas. De acordo com o autor, para cada pixel são extraídas métricas que estão vinculadas ao comportamento do pixel no ano em

questão, sendo essa ação executada para todas as bandas. Por exemplo, para uma determinada banda, é coletada a mediana dos valores de banda no período e a amplitude da variação, assim como os valores máximo e mínimo, sendo assim, para cada pixel, comporta-se 105 informações por ano. Assim sendo, para cada ano tem-se um mosaico referente ao Brasil, ligado ao comportamento de cada pixel de acordo com as 105 métricas, salvo como coleção de dados na plataforma do Google Earth Enginee. A Figura 17 apresenta o detalhamento da plataforma, na qual, de acordo com o autor, tem-se a elaboração de mapa de classe de cobertura e uso da terra (floresta, campo, agricultura, pastagem, área urbana, entre outros) pelas equipes de cada bioma, caracterizadas como analistas. Para isso, utiliza-se o classificador random forest, em linguagem de máquina, funcionando de forma que, para cada ponto de classificação, tem-se o treinamento das máquinas, com amostras adotadas a partir de mapas de referência, geração de mapas e coleta direta por interpretação visual das imagens Landsat, com classificação a partir dos anos da série.

Figura 17 – Metodologia MapBiomas.



Fonte: MapBiomas (2023b).

Ainda segundo MapBiomas (2023b), tem-se a aplicação do filtro espacial, correspondente à criação de regras de vizinhança que podem impactar na classificação do filtro, visando o aumento na consistência dos dados. Adicionalmente, também é aplicado o filtro temporal, que são definições de regras aplicadas a cada pixel, variando pelo tipo da coleção, objetivando a diminuição de inconsistências

temporais. Uma vez definidos os mapas de cada classe, tem-se a integralização destes em um único mapa representante do uso e ocupação do solo para cada ano analisado. Ressalta-se que existem regras de prevalência, definidas internamente, que podem variar de acordo com os tipos de biomas, para situações em que o mesmo pixel apresenta classes diferentes. Os dados e os mapas são disponibilizados de forma aberta e gratuita (Disponível em: https://mapbiomas.org/download).

De acordo com Ribeiro (2022), a classificação MapBiomas é discretizada a partir de um sistema hierárquico da combinação das classes de uso e cobertura do solo compatível com os sistemas de classificação da Organização para Alimentação e Agricultura (FAO) do IBGE, conforme Tabela 6, referente à coleção 7.

Tabela 6 – Classes utilizadas no MapBiomas.

COLEÇÃO 7 - CLASSES	ID	Cores	COLEÇÃO 7 - CLASSES	ID	Cores
1. Floresta	1		**3. Agropecuária**	14	
1.1 Formação Florestal	3		3.1. Pastagem	15	
1.2. Formação Savânica	4		3.2. Agricultura	18	
1.3. Mangue	5		3.3. Silvicultura	19	
1.5. Restinga Arborizada	49		3.4. Mosaico de Usos	21	
2. Formação Natural não Florestal	10		**4. Área não Vegetada**	22	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	11		4.1. Praia, Duna e Areal	23	
2.2. Formação Campestre	12		4.2. Área Urbanizada	24	
2.3. Apicum	32		4.3. Mineração	30	
2.4. Afloramento Rochoso	29		4.4. Outras Áreas não Vegetadas	25	
2.5 Restinga Herbácea	50		**5. Corpo D'água**	26	
2.6. Outras Formações não Florestais	13		5.1. Rio, Lago e Oceano	33	
			5.2 Aquicultura	31	

Fonte: MapBiomas (2023a).

Ainda em relação à utilização de imagens de satélite como ferramenta para avaliação da drenagem urbana, tem-se o Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), resultado do levantamento LiDAR, com resolução espacial de 1 metro, que apresenta o mapeamento de todo o território do estado de Pernambuco elaborado a partir do Programa de Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco (PSHPE), que disponibiliza o recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território pernambucano. Para isso, tem-se o levantamento da altura de pontos sobre uma superfície através da emissão de raios laser, visando a construção de um arranjo

digital com as variações de altitude do terreno e do que se encontra sobre ele, como edificações e árvores (Recife, 2023).

2.5 MEDIDAS DE CONTROLE NA FONTE

As medidas de controle na fonte se baseiam na retenção e infiltração das águas de chuva, visando o rearranjo temporal e espacial das vazões, podendo contribuir para diminuição do volume escoado e reduzindo a possibilidade de inundações à jusante do sistema de drenagem. Ressalta-se que, enquanto os sistemas convencionais de drenagem urbana têm como principal objetivo o controle de cheias, gerando tanto retificação e isolamento dos rios, como também poluição dos mesmos, as medidas de controle na fonte têm por objetivo não só o controle de cheias, como também a construção de espaços recreativos, rios com meandros e valorização da água, melhorando a qualidade de vida dos habitantes (Tominaga, 2013). De acordo com Fonseca (2023) as medidas compensatórias de controle na fonte estão vinculadas à captação do fluxo de água próximo ao escoamento direto, sendo possível utilizar o sistema de drenagem das áreas à jusante com mais eficácia, bem como controlar a carga difusa na bacia hidrográfica. Para o trabalho em questão, têm-se como premissa a avaliação da aplicabilidade de três técnicas compensatórias usualmente utilizadas na cidade do Recife, sendo essas: (1) telhados verdes convencionais; (2) captação de água de chuva (reservatórios); (3) telhados ecológicos de baixo custo.

2.5.1 Telhados verdes convencionais

Os telhados verdes constituem um método construtivo sustentável no qual tem-se uma estrutura com vegetação, composto de camadas de impermeabilização, drenagem, solo e vegetação. Tal tecnologia pode promover a melhoria do meio ambiente e a melhora na qualidade de vida das pessoas, alinhando eficiência energética, compromisso com o meio-ambiente e técnicas paisagísticas (Gonçalves et al., 2021). De acordo com Mediondo e Cunha (2004), a implementação de telhados verdes aumenta a infiltração, gerando, consequentemente, a diminuição no escoamento superficial, enquanto em telhados convencionais tem-se o encaminhamento do fluxo da água precipitada diretamente para o escoamento superficial. Silva et al. (2021) ressaltaram que a utilização das coberturas verdes em residências e edifícios podem gerar uma série de benefícios sociais e ambientais, quando comparados com as coberturas planas, de laje em concreto.

Segundo Yan et al. (2022), os telhados verdes têm aumentado a popularidade da técnica de gerenciamento de águas pluviais ao longo dos anos, uma vez que apresentam uma série de funções ecológicas e hidrológicas, como: redução do consumo de energia, manejo de águas pluviais, atenuação dos efeitos de ilha de calor urbana, redução da poluição do ar, entre outros. Santana et al. (2022) ressaltaram que o armazenamento da água de chuva por meio dos telhados verdes ocorre no substrato, sendo, em seguida, devolvida à atmosfera através do processo de evapotranspiração.

Sobre a qualidade da água captada por telhados verdes, Santana et al. (2022) avaliaram o potencial de usos não potáveis que podem ser dados à água da drenagem de um telhado verde situado na cidade do Recife-PE, considerando a avaliação em relação à Norma Brasileira ABNT NBR 15527:2007 para três pontos de captação: (1) água da chuva, coletada de um pluviômetro; (2) água efluente do resfriamento de ar-condicionado instalados no edifício comercial e a água do sistema de abastecimento público; (3) água drenada pelo telhado que anteriormente era formada pelos tipos 1 e 2. Os resultados mostraram que, apesar do fluxo de água que passa pela área de drenagem dos telhados verdes não atender completamente à normativa em questão, a água escoada pode ser utilizada para usos não potáveis, como limpeza de calçadas, irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários.

Outro ponto importante a ser analisado em relação à implementação de telhados verdes é a capacidade de retenção hídrica. Lima (2013) estudou a capacidade do desempenho de telhados verdes implantados no semiárido de Pernambuco, em relação à capacidade de retenção de águas pluviais com uso de vegetações e substratos diferentes. Para isso, foi realizada a comparação entre os resultados do telhado convencional, e do telhado verde, inicialmente, com vegetação Grama-de-Burro (Cynodon dactylon) e Coroa-de-Frade (Melocactus zehntneri). Contudo, com o período de estiagem, a Grama-de-Burro não sobreviveu, assim sendo substituída pela vegetação Babosa (Aloe vera). Tal situação exemplifica a necessidade de análise mais detalhada para escolha da melhor vegetação a ser implementada nos telhados verdes. Em relação à capacidade de retenção da água para as características pluviométricas da área de estudo, os resultados mostraram que entre as vegetações Babosa e Coroa-de-Frade, o telhado com cobertura de Coroa-de-Frade mostrou um maior potencial de retenção.

Ainda nesse contexto, Santos (2011) analisou o balanço hídrico em telhados verdes localizados no agreste pernambucano, com avaliação de um módulo de telhado convencional e dois de telhados verdes, de vegetação Coroa-de-Frade e Grama-de-Burro, com simulação de eventos pluviométricos (Figura 18). Também foi utilizado o programa Hydrus-1D para simulação da dinâmica da água no solo, tendo como dados de entrada os seguintes grupos: (1) geral: profundidade do solo, número de camadas, tempo e critérios de interação; (2) solo: modelo hidráulico, parâmetros do solo e condições de contorno inferior e superior; (3) atmosfera: precipitação.

Foi discutido por Santos (2011), o impacto do tipo de solo do substrato na eficácia hídrica de telhados verdes, já que tal fator influencia diretamente na capacidade de retenção e armazenamento da precipitação. Souza (2019) analisou comparativamente módulos fotovoltaicos e telhados verdes (com vegetação Coroa-de-Frade e Babosa) na cidade de Caruaru-PE, conforme modelo esquemático apresentado na Figura 18. Foram analisados aspectos vinculados à economia e à produção de energia, assim como os custos de instalação. Concluiu-se que os telhados verdes possibilitam a economia de energia em relação ao telhado convencional. Para Souza (2019), o retorno financeiro do telhado verde convencional do tipo Coroa-de-Frade é cerca de dez vezes maior que o investimento necessário para a sua implantação.

Figura 18 – Telhados verdes estudados no Semiárido Pernambucano.

Fonte: Souza (2019).

No experimento realizado por Silva (2017), no clima semiárido pernambucano, as condições experimentadas foram: precipitação com intensidade controlada de 26 mm/h e duração de 60 minutos, vertendo um volume total de 111,0 L sobre o telhado verde Babosa e um volume total de 88,1 L sobre o telhado verde Coroa–de–Frade. Assim sendo, o telhado com Babosa reteve cerca de 83,3 L e o com Coroa–de–Frade,

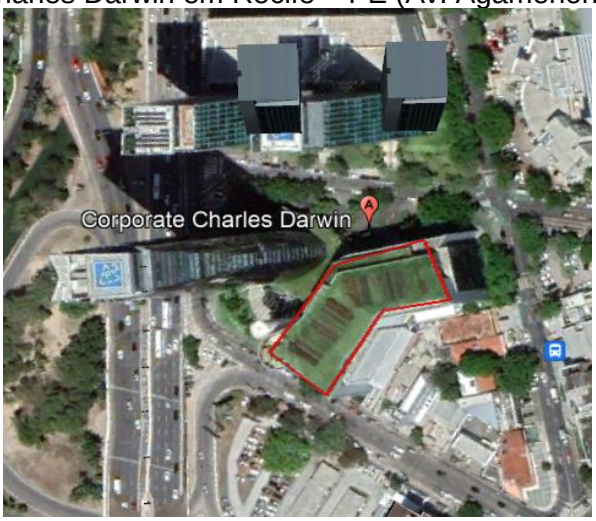
75,8 L. De acordo com estudos desenvolvidos, os valores de retenção foram de 75% e 86% para a vegetação Babosa e para a Coroa–de–Frade, respectivamente.

Em relação à aplicação de telhados verdes no município do Recife, tem-se a existência da Lei Municipal No. 18.112 (RECIFE, 2015), que obriga a utilização dos mesmos em projetos de edificações habitacionais multifamiliares com mais de quatro pavimentos e não–habitacionais com mais de 400 m² de área de coberta, para sua aprovação. A Lei estabelece que os projetos das edificações em lotes com área superior a 500 m², edificados ou não, com área impermeabilizada superior a 25% da área total do lote, deverão ser executados com reservatórios de águas pluviais. Dessa forma, a implementação de telhados verdes tem aumentado cada vez mais na cidade do Recife, levando em consideração tanto as vantagens de sua implementação, como também a obrigatoriedade da lei. A Figura 19 e Figura 20 apresentam, respectivamente, uma edificação em Recife-PE antes e depois da implementação de telhados verdes.

Figura 19 – Empresarial Charles Darwin em Recife – PE (Av. Agamenon Magalhães): 2014.

Fonte: *Google Earth* (2023).

Figura 20 – Empresarial Charles Darwin em Recife – PE (Av. Agamenon Magalhães): 2021.



Fonte: *Google Earth* (2023).

2.5.2 Captação de água de chuva por reservatórios

A implementação de caixas d'água para o armazenamento da água de chuva gera impactos positivos na diminuição do escoamento superficial. Conforme Maia et al. (2020), um benefício é a possibilidade de diminuição da retirada de água dos mananciais naturais, como também a redução de eventos de alagamentos e inundações nas áreas urbanas. Ao longo dos anos, para Silva (2022), a captação, armazenamento e reuso da água pluvial vem se tornando aliados tanto do ponto de vista ambiental, como também econômico, para famílias, indústrias e agricultores, muitas vezes tendo como destinação a lavagem de passeios e quintais, na jardinagem e em descargas de vaso sanitário

Em relação à contribuição dos reservatórios em áreas urbanizadas, Salgueiro (2021) avaliou o impacto da implementação de caixas d'água com dimensões de 0,58 m de altura (sem tampa), diâmetro médio de 1,09 m e o volume armazenável de aproximadamente 0,54 m3, em residências situadas no bairro de Dois Unidos (Recife-PE). Os resultados indicaram uma capacidade de retenção aproximada de 2.100,50 m3 de água de chuva, levando em consideração 4.201 domicílios. Alvim e Silva (2021) realizaram a avaliação da viabilidade de implantação de sistema de captação de água de chuva como alternativa de abastecimento de águas para fins não potáveis, na cidade de Belo Horizonte – MG, sendo analisada, entre outras coisas, a estimativa do volume adequado que o reservatório de água pluvial deve ter para a captação ideal no cenário do trabalho. Os autores concluíram que, de fato, a reutilização de água de chuva pode gerar economia em gastos com o abastecimento, minimizando possíveis

efeitos da escassez e favorecendo a recarga das águas subterrâneas. Foi encontrado um volume de reservatório ideal para o estudo de 5 m³ para o cenário analisado.

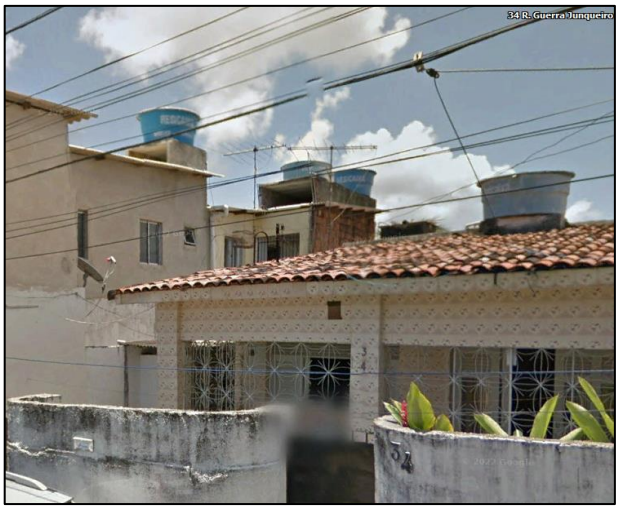
Ressalta-se também, o projeto “Caixa D’água Social”, referente à ação da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), que, no âmbito do pacote de medidas para o enfrentamento da pandemia da Covid 19 iniciou em fevereiro de 2021, a distribuição de caixas d’água de 500 L para mais de 700 clientes cadastrados na tarifa social (Figura 21) que apresentem situação de ser beneficiário da Tarifa Social, ser abastecido em esquema de rodízio e possuir baixa reservação no imóvel.

Figura 21 – Projeto da Companhia Pernambucana de Saneamento.

Fonte: COMPESA (2021).

Como os custos e o prazo de implementação de caixas d’água são baixos quando comparados com outras técnicas compensatórias, isso contribui para a disseminação do seu uso em várias localidades na cidade do Recife-PE, como alternativa comumente adotada tanto em áreas de morros (Figura 22), como em áreas de planícies (Figura 23).

Figura 22 – Caixas d’água em Recife-PE: Área de morro - Rua Guerra Junqueira.



Fonte: *Google Earth* (2023).

Figura 23 – Caixas d'água em Recife-PE: Área de planície - Rua Agamenon Bezerra Lafayette

Fonte: *Google Earth* (2023).

2.5.3 Telhados ecológicos de baixo custo

Sob o enfoque dos usos de tecnologias verdes, uma vertente também estudada considera a implementação de telhados verdes ecológicos e, dentre eles, os que estão alinhados com a questão da sustentabilidade e, por isso, com o emprego de materiais de baixo custo (Vilarim, 2022). Vilarim (2022) avaliou o funcionamento de um telhado verde de baixo custo utilizando garrafas PET em clima tropical úmido na cidade do Recife - PE, visando a análise do seu desempenho térmico em relação a outras coberturas e ao meio externo. Foram avaliados três tipos de cobertura: convencional (laje) e dois telhados verdes convencionais Aranto (Kalanchoe laetivirens), sendo uma com disposição convencional (Figura 24) e outra com garrafas PET (Figura 25). A partir dos experimentos, observou-se que as temperaturas do telhado verde de baixo custo apresentaram valores intermediários ao ser comparado com outras coberturas,

entretanto, mais próximos aos valores observados pelo telhado verde convencional. Em relação às temperaturas máximas no telhado verde convencional e no telhado verde de baixo custo, foi observada uma diminuição de 3,4 e 1,6ºC, respectivamente, em relação ao telhado em laje.

Figura 24 – Telhado verde convencional.

Fonte: Vilarim (2022).

Figura 25 – Telhado verde de baixo custo.

Fonte: Vilarim (2022).

Vilarim (2022) ressaltou que, apesar do telhado verde convencional apresentar resultados mais satisfatórios, foram encontradas pequenas diferenças em relação à temperatura interna ao compará-los com telhados verdes de baixo custo. Complementarmente, vale ressaltar que a matéria-prima agrega nos seus benefícios o baixo custo, sendo uma alternativa satisfatória de implementação para famílias com baixa renda. Nesse contexto, Panziera et al. (2015) avaliaram o desempenho térmico de dois tipos diferentes de telhados verdes de baixo custo, sendo um com utilização

de garrafa PET (conforme esquema da Figura 26) e outro com PVC, e comparam com um telhado convencional, na cidade de Santa Maria – RS. Nesse estudo, foram montadas 9 unidades experimentais de dimensões idênticas, diferentes coberturas, e em sensor de temperatura, com medição interna diária no período de 10 meses. O telhado verde desenvolvido com garrafa PET apresentou maior eficácia na redução do ganho de calor sensível nas temperaturas máximas, tendo como diferencial, conforme os autores, a menor área de contato pelas bases de garrafas PET.

Figura 26 – Telhado verde de baixo custo com garrafa PET.

Fonte: Panziera *et al*. (2015).

Martins e Pinto (2016) analisaram a eficácia de modelos, em escala piloto, de telhados verdes, considerando três principais materiais: (1) garrafa PET-solo-leiva (Figura 27); (2) brita-solo-leiva; e (3) argila expandida-solo-leiva. Avaliou-se visualmente a saúde da vegetação, o conteúdo da água retido no substrato, o escoamento de água nos telhados, entre outros. Observou-se que o modelo contendo garrafas PET, apresentou, ao longo da primeira semana, dificuldade para adaptar-se ao ambiente, com média de 27,8% de adaptação da vegetação. A partir da segunda semana, foi observada uma melhoria em seu aspecto, e para os demais modelos, não foram observadas grandes dificuldades. Sobre o conteúdo de água retido, os autores ressaltaram que o modelo de brita como material drenante, apresentou porcentagem de retenção de 86,6% da precipitação pluviométrica total, sendo o modelo com maior retenção. Destaca-se que em grande parte dos eventos pluviométricos simulados, o modelo com garrafas PET mostrou menor eficácia na retenção da chuva, justificada pela presença de vazios entre as garrafas. Sobre a carga total (peso), os autores ressaltaram que o protótipo com garrafas PET apresentou média de 56,5 kg/m², abaixo dos demais. O modelo de garrafas PET é o mais vantajoso, por apresentar massa inferior em relação aos demais modelos, uma vez que mesmo que tenha apresentado menor retenção, sua taxa de infiltração foi de 65% da precipitação

pluviométrica incidente, valor considerável que pode contribuir na diminuição de alagamentos.

Figura 27 – Telhado verde de baixo custo com garrafa PET em escala piloto.

Fonte: Martins e Pinto (2016).

Fensterseifer et al. (2017) analisaram o desempenho de um telhado verde com caixas Tetra Pak, avaliado por 18 meses, em ambiente externo, sem a realização de manutenção. Foram utilizadas 88 caixas cartonadas do tipo Tetra Pak, com substrato composto por solo, vermiculita e MecPlant (condicionador de solo), misturados na proporção 3:1:1, respectivamente. Para a vegetação, utilizou-se a espécie ornamental Sedum rupestre. Para os autores, a utilização de caixas Tetra Pak mostrou-se resistente às condições climáticas locais, com pequenos danos que não comprometem sua resistência e sem interferir na drenagem. A vegetação Sedum não conseguiu se estabelecer totalmente, resultando em perdas de mudas e problemas de amarelamento e aumento de espessura nas folhas.

Figura 28 – Telhado verde de baixo custo com caixas Tetra Pak.

Fonte: Fensterseifer *et al*. (2017).

Gonçalves et al. (2021) compararam o desempenho hidrológico de um telhado verde com garrafa PET (Figura 29) e um telhado verde comercial, com um telhado de fibrocimento padrão. O desempenho hidrológico do modelo com garrafa PET, na

maioria dos eventos de chuva analisados, foi superior ao desempenho do telhado verde comercial no que diz respeito à diminuição do escoamento superficial. Em relação à retenção hídrica, o modelo com garrafa PET apresentou melhor capacidade de absorção de água, estando esta diretamente ligada à drenagem adotada, considerando a aeração das raízes graças a estrutura da camada de drenagem em garrafa PET e, como vantagem, a maior absorção de água e sais minerais, o maior crescimento da vegetação e consequente a maior interceptação de água.

Figura 29 – Telhado verde de baixo custo com garrafas PET.

NOTA: (1) Drenagem fabricada a partir de fundos de garrafas PET; (2) Manta Geotêxtil; (3) Substrato; (4) Grama Esmeralda.

Fonte: Gonçalves *et al*. (2021).

2.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS (AMC)

De forma geral, o processo de modernização e os avanços tecnológicos vêm otimizando, cada vez mais, a veiculação e a disponibilização das informações, resultando no aumento de alternativas para resoluções de problemas. Cenários que antes apresentavam soluções simples, passaram a ter uma série de possibilidades, influenciando, por isso, no processo de tomada de decisão. Dessa forma, torna-se necessário o estudo do caso, uma vez que, conforme Vargas (2010), a definição da escolha mais assertiva leva em consideração critérios e premissas adequados, sendo então um fator primordial de sucesso na resolução do problema. Nesse contexto, a ciência vem buscando alternativas para auxiliar no processo de tomada de decisão, visando a garantia de que a escolha seja a mais eficaz.

Dentre os estudos em questão, têm-se a Análise Multicritério (AMC), que é uma ferramenta importante para resolução de problemas complexos, visto que analisa a situação atrás de diferentes fatores de decisão e pontos de vista diversificados, considerados importantes vínculos na tomada de decisão (Marins et al., 2009).

Abrangendo a avaliação das variáveis qualitativas e quantitativas referentes às discussões direcionadas e que envolvam os pontos de vista de variadas áreas de conhecimento, a Análise Multicritério, conforme Araújo e Gomes (2022), tem como atributo o potencial de ajudar e embasar a dinâmica da tomada de decisão, visando proporcionar uma escolha de alternativa fundamentada em um estudo de seus respectivos atributos. Para isso, tem-se a aplicação da metodologia intitulada do Processo de Análise Hierárquica, com aplicação do Processo Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process - AHP), proposta por Thomas L. Saaty em 1972 e ligado à avaliação de dimensões e variáveis levando em consideração as particularidades do problema. A partir da determinação de tais parâmetros, são realizadas as comparações “par a par” entre as dimensões e as variáveis de cada dimensão, a fim de definir os pesos em função de sua relevância para o projeto.

De acordo com Marins et al. (2009), o processo se baseia em três principais fundamentos: inicialmente, na construção de hierarquias, uma vez que, para o método, estrutura-se o problema levando em consideração os níveis hierárquicos, auxiliando no processo de compreensão e avaliação do mesmo. A aplicação desta metodologia consiste na possibilidade que tanto os critérios quanto as alternativas sejam fundamentadas de forma hierárquica. Tem-se, também, a definição de propriedades, que são estimadas a partir da habilidade do ser humano em analisar a relação entre os objetos e situações, comparando em pares um a um, em julgamentos paritários. Somado a isso, a consciência lógica, está ligada à coerência entre as relações estabelecidas, de modo que se relacionam bem entre si e suas relações tenham consistência.

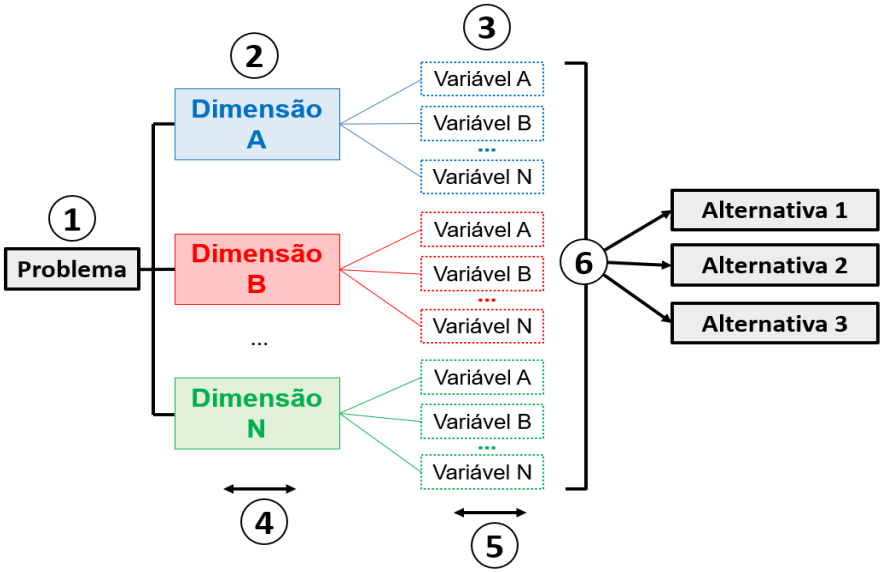
Ainda nesse contexto, Saaty (2008) estabeleceu que para tomar uma decisão de forma organizada para gerar prioridades é necessário a aplicação das seguintes etapas: (1) definição do problema e do tipo de conhecimento procurado; (2) estruturação da hierarquia na tomada de decisão, com estabelecimento do objetivo da decisão como topo, objetivos de uma perspectiva ampla em níveis intermediários e, para o nível mais baixo, o conjunto de alternativas; e (3) construção de um conjunto de matrizes de comparação “par a par”, em que cada elemento em uma parte superior do nível é usado para comparar os elementos no nível imediatamente abaixo com respeito a isso; (4) a partir das prioridades encontradas anteriormente, realização das comparações para ponderar as prioridades no nível imediatamente abaixo, para cada elemento. Então, para cada elemento em o nível abaixo soma seus valores

ponderados e obtém sua prioridade geral ou global. Deve-se repetir este processo de pesar e adicionar até as prioridades finais de alternativas no nível mais inferior são obtidas. Ressalta-se que para as comparações torna-se necessário a aplicação de uma escala de números que representam quantas vezes mais importante ou dominante um elemento é sobre outro elemento em relação ao critério ou propriedade com respeito à qual eles são comparados.

Diante do exposto, observa-se que a metodologia AHP tem se mostrado um importante artifício no auxílio na tomada de decisão em diversas problemáticas, atuando como ferramenta adequada em diferentes áreas do conhecimento.

Araújo et al. (2017) utilizaram o método AHP para a seleção de intervenções da drenagem urbana para uma sub-bacia na bacia do rio Tejipió, agregando informações quantitativas e qualitativas, assim servindo como ferramenta na resolução. Iwasa, Santos e Benetti (2014) também utilizaram esta metodologia na definição da seleção das medidas de drenagem sustentável em uma bacia localizada na cidade de Almirante Tamandaré, no Paraná. A Tabela 27 detalha o fluxograma esquemático do processo inicial de aplicação da metodologia, na qual: (1) definição da problemática a ser resolvida; (2) determinação das dimensões; (3) estabelecimento das variáveis por dimensões; (4) combinação par a par entre as dimensões; (5) combinações par a par entre as variáveis por dimensões; (6) definição da alternativa mais coerente.

Figura 30 – Processo de tomada de decisão pela metodologia AHP.



Fonte: Adaptado de Saaty (1972).

Em relação a definição do problema a ser resolvido, Saaty (2008) afirmou que, a fim de estabelecer a melhor alternativa a ser aplicada, torna-se necessário a definição de aspectos macros a serem avaliados, chamados de dimensões, e de aspectos micros, chamados de variáveis, vinculados a cada dimensão estudada. De acordo com Souza et al. (2023) o método sintetiza o conhecimento, levando em consideração o ponto de vista do especialista, sendo necessária a estrutura em níveis hierárquicos, assim possibilitando uma melhor avaliação e compreensão.

Uma vez definidos os aspectos macros e micros de avaliação, de acordo com Araújo e Gomes (2022), a metodologia consiste na análise comparativa entre as alternativas, de acordo com a análise de seu desempenho. Dessa forma, a partir da realização das comparações por pares, têm-se a avaliação do domínio de uma alternativa pela outra, com representação a partir de valores numéricos em uma série de matrizes quadradas, adotando valores referentes à intensidade dos julgamentos comparativos. Ressalta-se que a comparação em questão é baseada na denominada “escala fundamental”, proposta por Saaty (2008), conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Escada fundamental para aplicação do método AHP.

Importância	Definição	Explicação
1	Igual Importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma para outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação a outra.
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem uma atividade em relação a outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1972).

Ainda de acordo com Saaty (1972), ao final dessa análise, é prevista que para cada dimensão e suas respectivas variáveis sejam encontrados os seguintes resultados:

- **Matriz Importância**: referente à combinação par a par;
- **Matriz de Importância Normalizada**: consiste na divisão entre cada importância atribuída pelo somatório por coluna total por dimensão/variável, encontrando assim à proporção que tal importância representa do total;

- **Prioridade Média Local**: representa o domínio de um critério sobre o outro, sendo dimensão ou variável, a partir da média das colunas com os números normalizados.

Vale ressaltar que, de acordo com Freitas, Marins e Souza (2006), a inconsistência aparece quando algumas opiniões da matriz de comparação se contradizem demais com outras. Dessa forma, é necessário estabelecer uma avaliação referente às possíveis inconsistências das combinações, visando estabelecer um limite a ser aplicado.

Nesse sentido, têm-se como premissa o cálculo do Índice de Consistência (IC), proposto por Saaty (1972), calculado a partir da Equação 1.

$$IC = \frac{l_{max} - n}{(n-1)} \quad (1)$$

Onde: n corresponde à dimensão da matriz; e l_{max} é o autovalor máximo, encontrado a partir da multiplicação da matriz original pelo autovetor máximo.

Uma vez calculado o IC, deve ser estabelecida a chamada Razão de Consistência (RC), encontrada em função do valor de IC e do Índice Randômico (IR), que é estabelecido a partir da Equação 2. Ressalta-se que caso o valor encontrado para o RC seja inferior a 10%, considera-se a análise inconsistente e torna-se necessária a reavaliação dos graus de importância analisados na comparação par a par.

$$Razão\ de\ Consistência = \frac{IC}{Índice\ Randômico\ (IR) para\ n} \quad (2)$$

Onde: IC é o índice de consistência; e IR é o índice randômico, variando de acordo com a ordem da matriz (Tabela 8).

Tabela 8 – Índice Randômico

n (ordem da matriz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice randômico	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1972).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo descreve-se como o trabalho foi executado e as ferramentas utilizadas. Inicialmente, tem-se a avaliação da área de estudo, sendo apresentado o processo de escolha da cidade a ser avaliada e o evento pluviométrico utilizado como referência, assim como o processo de análise de dados para escolha do morro e os principais pontos de atenção a serem avaliados em visita técnica. Uma vez detalhada a metodologia utilizada para escolha do morro, é apresentada a avaliação hidráulica dos dispositivos superficiais considerados, com análise dos critérios e premissas, e metodologias adotadas. Por fim, apresenta-se o processo de utilização da Análise Multicritérios, a partir da aplicação da metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP), como ferramenta de determinação da alternativa mais adequada, nas bacias de contribuição, visando, caso necessário, a diminuição do escoamento superficial.

3.1 AVALIAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Foi avaliado neste item, as características do processo de urbanização dos três municípios mais populosos da RMR-PE: Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes. Dessa forma, foi analisado qual município apresentou o maior índice de urbanização nos anos de 1995, 2005, 2015 e 2021, a fim de delimitar a área a ser estudada.

Vale citar que a escolha em questão está ligada à possibilidade de comparação com os resultados apresentados na plataforma MapBiomas (Mapbiomas, 2023), que mapeia o do uso e cobertura da terra em escala nacional para o Brasil desde o ano de 1985 até 2020.

Complementarmente, para os mesmos municípios, foi avaliada a dinâmica pluviométrica para os mesmos anos, a partir de dados mensais médios de precipitação acumulada anual foi avaliado o comportamento pluviométrico no período. Em seguida, a fim de definir o evento a ser considerado neste trabalho, serão analisadas as precipitações diárias acumuladas para o município escolhido, com o objetivo de determinar o dia do período com maior precipitação acumulada. Por fim, foi apresentada a metodologia de definição do morro a ser avaliado hidraulicamente.

3.1.1 O processo de urbanização

De acordo com Souza et al. (2014), em relação a Recife, aproximadamente um terço da população habita áreas de risco, localizadas próximo às margens de rios e com infraestrutura precária, sendo então potenciais vítimas de acidentes (deslizamento de terras e inundações) consequentes de eventos de precipitações

intensas. Já sobre Jaboatão dos Guararapes, Nóbrega e Farias (2016) afirmaram que tal área apresenta grande vulnerabilidade à ocorrência de desastres naturais, principalmente relação à geomorfologia urbana, com áreas de morro bem adensadas e planícies fluviais, com ocupação irregular, caracterizando assim grande ocorrência de desastres naturais de natureza hidrológica e geológica.

De acordo com Lima, Melo e Corrêa (2008), do histórico de alagamentos nos municípios do Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes, observa-se que as características geomorfológicas e habitacionais dos municípios em questão estão vinculadas à vulnerabilidade natural a eventos erosivos na ruptura de gradiente dos topos e terço superior das encostas, assim como intensa deposição de sedimentos e alagamentos na baixa encosta e planície aluvial.

Visando o entendimento das condições urbanísticas destes municípios, foram utilizadas imagens provenientes da Coleção 7 do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas, 2023) em relação aos mapas anuais representativos das condições superficiais da área de estudo. Ressalta-se que os mapas em questão são considerações pixel a pixel, oriundos do satélite Landsat em resolução espacial de 30 m, em formato GeoTiff, com obtenção a partir da plataforma GEE (Google Earth Enginee).

Com tais informações, foi obtida a classificação do uso e cobertura do solo para os municípios do Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes - PE, identificando toda a área urbanizada nos anos em questão com o auxílio do software QGIS. Em seguida, utilizou-se a delimitação numérica das áreas urbanizadas, a partir da aplicação do complemento “r.report”.

3.1.2 Definição do dia de maior precipitação

Realizou-se a avaliação das condições pluviométricas dos municípios do Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes, localizados em Pernambuco, visando a escolha do município que apresentou maior vulnerabilidade em relação aos eventos pluviométricos. Para isso, utilizou-se dados de pluviométricos coletados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, disponível online (APAC, 2023), nos anos de 1995, 2005, 2015 e 2021 para os seguintes postos pluviométricos:

- **Recife:** Recife (Alto da Brasileira), Recife (Codecipe / Santo Amaro), Recife (Lamepe/Itep), Recife (Santo Amaro), Recife (Várzea), Recife – PCD, Recife (IPA) e Recife (Jardim Monte Verde);

- **Olinda:** Olinda, Olinda (Alto da Bondade), Olinda – PCD, Olinda (Academia Santa Gertrudes) e Olinda (Memorial Arcoverde);
- **Jaboatão dos Guararapes:** Jaboatão dos Guararapes, Jaboatão dos Guararapes (Bar Duas Unas) e Jaboatão (Cidade da Copa) – PCD.

Uma vez realizado o levantamento dos dados, foram calculados os valores mensais médios de precipitação acumulada para cada ano por município de estudo para escolha do município com maiores valores. Para o município selecionado foi realizada a caracterização pluviométrica, considerando o resgate histórico da ocorrência de problemas em consequência de eventos pluviométricos extremos. Diante disso, foi realizada avaliação dos índices pluviométricos médios mensais para o ano de maior valor de precipitação da cidade selecionada, visando a obtenção do mês com maior precipitação acumulada. Para isso, foi calculada a média mensal por cada posto analisado, levando em consideração cada ano de estudo. Em seguida, foi calculada a precipitação média acumulada diária, para auxílio na escolha do maior evento pluviométrico, a partir da média anual dos valores encontrados. Dessa forma, foi possível analisar o comportamento da drenagem superficial em situação de evento de precipitação extrema.

Estimou-se com auxílio do Google Earth a localização dos chamados levando em consideração o endereço associado, e, consequentemente, suas coordenadas geográficas. Em seguida, com o auxílio do software gratuito QGIS na versão 3.30.0, foi instalado o complemento denominado “QuickMapServices”, que permite incluir na plataforma bases de mapas, que facilitam a delimitação de regiões. Foram utilizadas imagens de satélites oriundas do Google, para geração de uma camada shape do tipo ponto, visando a geoespacialização dos pontos de ocorrência de chamados para o dia 28 de maio de 2022. Foi possível analisar o bairro com maior número de chamados no município do Recife e assim definir a área de morro com maior concentração.

Em relação ao volume de precipitação (em mm), foram utilizados dados pluviométricos referentes à 25, 26, 27 e 28/05/2022, visando o entendimento do somatório dos impactos específicos do dia de estudo e do período anterior ao evento.

Ressalta-se que foram observados no decorrer da visita uma série de possíveis contribuições extras nos dispositivos, como esgoto sanitário, entre outros. Levando em consideração o não mapeamento destas possíveis contribuições, foi adotado o período de 2 dias para a definição da intensidade pluviométrica (mm/h), visando a

“compensação” na adição dessas possíveis contribuições e maior semelhança com a realidade do morro. Diante disso, utilizou-se para intensidade a metodologia apresentada na Equação 3, na qual o somatório é dividido por 48 horas, equivalente a 2 dias.

$$i = \frac{\Sigma\ Precip}{48} \tag{3}$$

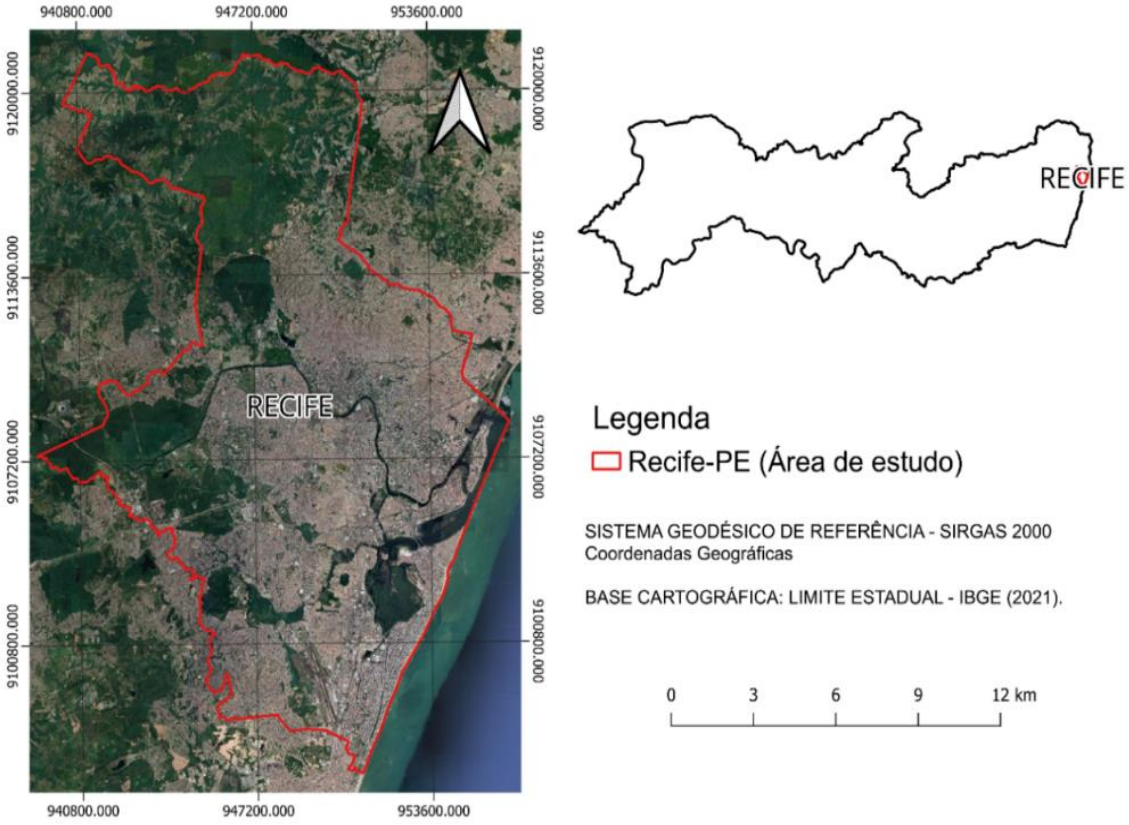
Onde: i é a intensidade pluviométrica, em mm/h; $\Sigma\ Precip$ é o somatório do volume precipitação em 25, 26, 27 e 28/05/2022, em mm; 48 corresponde ao período, em horas, adotado no estudo.

Para o entendimento do sistema de drenagem existente da área de estudo, foi utilizada a base de dados ESIG Zoneamento da Cidade do Recife, proveniente da Lei Complementar nº 02 de 24/04/2021, que institui que mapas de informações da cidade do Recife devem ser disponibilizados eletronicamente, em alto grau de resolução, através de publicação na Internet e reproduzidos por meio do Sistema de Informações Geográficas do Recife - ESIG. Também foram utilizadas imagens de satélite encontradas no Google Earth para identificação visual das descidas d’água presentes na extensão do morro.

3.1.3 Caracterização da área de estudo

Uma vez realizadas as avaliações necessárias, foi admitida como área de estudo o município do Recife, capital do Estado de Pernambuco, que faz fronteira ao norte com os municípios de Olinda e Paulista, ao sul com o município de Jaboatão dos Guararapes, e a oeste com São Lourenço da Mata e Camaragibe (Figura 31), e conta com uma superfície territorial de 218.843 km², abrigando cerca de 1.488.920 habitantes, conforme IBGE (2023).

Figura 31 – Localização do município do Recife-PE.



Fonte: Autora (2023).

Caracterizado como planície baixa e alagável, tem-se para o município a condição aluvial propícia para o surgimento dos manguezais na região, no entorno da cidade que se formou, conforme Santana e Silva (2022). Sobre os aspectos climáticos, a capital Pernambucana apresenta temperaturas médias mensais em torno de 25ºC, com amplitude térmica anual nunca superior a 5ºC, e umidade relativa do ar com valores médios anuais de 84%. O clima da cidade é o Tropical Atlântico de Costa Oriental (As', segundo a classificação climática de Köppen) e as chuvas de outono–inverno, sem inverno térmico, em que as temperaturas médias mensais são superiores a 18ºC (Nóbrega; Santos; Moreira, 2016).

Conforme Gomes (2007), Recife é formada por um sistema natural de drenagem a confluência de três rios urbanos (Capibaribe, Beberibe e Tejipió), e onde se insere uma malha com mais de 73 canais. Ainda, Santana e Silva (2022) ressaltaram que, por exemplo, grande parte do centro histórico da cidade do Recife é consequente do assoreamento de matérias aluviais transportadas, especialmente, pelos rios Capibaribe e Beberibe, com bairros sofrendo sucessivos aterros até os dias atuais.

Conforme Santana e Lacerda Júnior (2022), o sistema de abastecimento do Recife tem capacidade para captar e tratar cerca de 10,68 m³/s de mananciais superficiais, mesmo que muitas vezes não produza a capacidade máxima, com operação realizada pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA).

No que se refere ao atendimento de água à população, ao longo dos anos a Região Metropolitana do Recife - RMR vem apresentando problemas em relação ao abastecimento de água, com necessidade de implementação de sistemas de rodízio entre os bairros dos 14 municípios que compõe a RMR, em consequência da precipitação de baixa intensidade e em curto período de tempo, gerando impactos para os nos níveis das principais barragens responsáveis pelo abastecimento da região, conforme Santana e Lacerda Júnior (2022). Dessa forma, ressalta-se a necessidade de tecnologias de captação e armazenamento de água no município.

Com o aumento no processo de urbanização, principalmente em relação à ocupação das áreas das margens, têm-se graves problemas de escoamento das águas de chuva no Recife, tanto nos períodos úmidos como nos períodos mais secos, conforme Silva (2010). Sobre tal temática, Silva Júnior (2015) caracterizou Recife como região de pluviosidade elevada, urbanização desordenada e um sistema de drenagem com diversas deficiências, resultantes de características como baixas cotas em relação ao nível do mar, área planas, influência das marés na rede de drenagem e lençol freático aflorante na estação chuvosa. Tal situação mostra a necessidade de adaptar a infraestrutura de drenagem à realidade climática do município.

Sobre o uso e a ocupação do solo, a paisagem do Recife tem se modificado cada vez mais, conforme mostrado na Figura 32 e Figura 33, que apresenta a vista aérea no bairro Santo Antônio em 1966 e 2023, respectivamente, em que se destaca a construção de prédios, indicando o aumento populacional por construção.

Figura 32 – Visão Aérea - Bairro Santo Antônio – Recife - PE: Bairro Santo Antônio (1966).

Fonte: IBGE (2023).

Figura 33 – Visão Aérea - Bairro Santo Antônio – Recife - PE: Bairro Santo Antônio (2023).

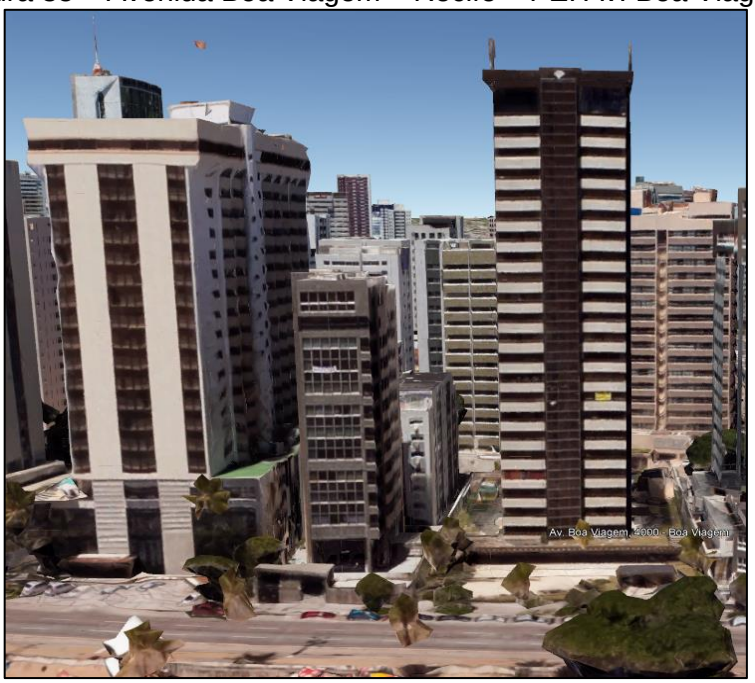
Fonte: *Google Earth* (2023).

Complementarmente, têm-se nas Figura 34 e Figura 35, a Avenida Boa Viagem em 1950 e em 2023, respectivamente. Destaca-se a localização que remete à antiga “Casa do Navio”, demolida em 1980, endereço no qual hoje está localizado um prédio residencial.

Figura 34 – Avenida Boa Viagem – Recife – PE: Av. Boa Viagem (1950).

Fonte: Silva (2016).

Figura 35 – Avenida Boa Viagem – Recife – PE: Av. Boa Viagem (2023).



Fonte: *Google Earth* (2023).

A Figura 36 e Figura 37 mostram as proximidades do Aeroporto Internacional do Recife – Guararapes, nos anos de 1950 e 2023, respectivamente, assim como a Figura 38 e Figura 39 mostra a vista aérea do bairro do Pina, em 1960 e 2023, respectivamente. Destaca-se o aumento intenso na quantidade de áreas construídas, com mudança brusca na superfície das áreas nos dois casos.

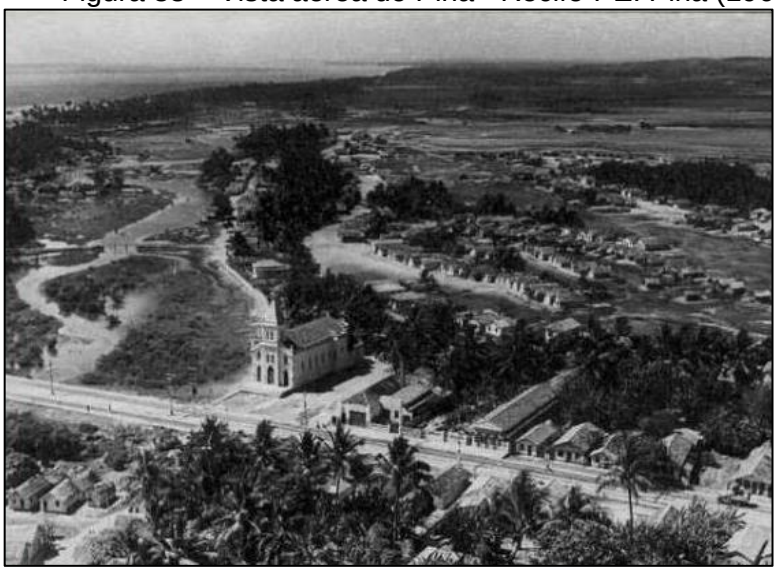
Figura 36 – Vista aérea da região próxima ao aeroporto - Recife-PE: Região próxima ao aeroporto (1950).

Fonte: IBGE (2023).

Figura 37 – Vista aérea da região próxima ao aeroporto - Recife-PE: Região próxima ao aeroporto (2023).

Fonte: *Google Earth* (2023).

Figura 38 – Vista aérea do Pina - Recife-PE: Pina (1960).



Fonte: Silva (2016).

Figura 39 – Vista aérea do Pina - Recife-PE: Pina (2023).

Fonte: *Google Earth* (2023).

De acordo com Bezerra (2022), o processo de ocupação do município do Recife foi inicialmente nas áreas mais planas e secas, a partir de aterros nas cercanias do porto e no centro comercial. Porém, com o adensamento e crescimento populacional somado à realidade das desigualdades sociais da região, iniciou-se a identificação da ocupação das áreas do subúrbio e dos entornos dos grandes polos, como nesse caso, o das planícies inundáveis e das regiões de manguezais.

Castilho (2002) ressaltou que a ocupação das áreas dos morros do Recife iniciou-se a partir da década de 1940, com a busca de moradia por grupos anteriormente pertencentes a mocambos em áreas mais abastadas na cidade. Dessa

forma, as porções localizadas ao sul-sudoeste do município foram ocupadas nas décadas de 1960/1970 por grupos sociais que sofriam com as inundações ocorridas nos lugares pobres, que tinham sido construídos em espaços alagáveis da planície flúvio-marinha do Recife. Sobre isso, no Recife, os problemas decorrentes do aumento do escoamento superficial têm sido realidade desde a década de 90, com a expansão da urbanização, conforme relatos apresentados na Figura 40 e Figura 41.

Figura 40 – Ocorrência de desastres naturais - Alto José do Pinho (1985): Precipitação extrema.

Morros: Chuvas já apavoram moradores

Momentos de muita apreensão foram vividos pelos moradores dos morros das Zonas Norte e Sul da Cidade, notadamente nas áreas de Casa Amarela e Beberibe, onde os riscos de deslizamento de barreiras e desabamento de barracos são bem maiores do que em outros lugares. Embora o inverno propriamente dito ainda não tenha chegado, crescem, a cada dia e a cada registro de chuvas, intensas ou não, as expectativas dessas populações que, entregando a Deus o destino de cada um, aguardam pacientemente as decisões das autoridades, a liberação das verbas do Governo da Nova República.

De acordo com dados fornecidos pela Empresa de Urbanização do Recife, estima-se que, em média, 500 mil pessoas habitam nos morros e respectivas encostas, enfrentando sérios problemas – a começar pela falta de infra-estrutura básica – que se agravam em épocas chuvosas. De saída, é bom lembrar que a grande maioria dessas pessoas vem do Interior de Pernambuco e encontram nos morros ou em faixas ribeirinhas o local de moradia, principalmente pela facilidade de arranjar uma área numa encosta de barreira e pelo agrupamento populacional de grande densidade demográfica, que lhes possibilita uma maior "segurança" e socialização através da convivência.

SOLUÇÕES

E o que se tem feito para conter esses problemas que a cada ano vêm-se agravando e colocando em pânico essas populações demasiadamente sofridas? Para o presidente da URB/Recife, Nos últimos 24 meses, mais de 60 artérias foram pavimentadas, estimando-se que cerca de 50 quilômetros de vias de acesso tenham sido entregues às populações carentes da cidade. Além disso, de acordo com relatórios das diversas diretorias, 12 mil metros de escadarias foram construídos, facilitando, em média, 106 vias de acesso criadas, única e exclusivamente, para auxiliar a vida dessas pessoas que, antes, desciam por ladeiras e caminhos tortuosos. Dezesseis canais deixaram de ser, com a limpeza e desobstrução total, o calcanhar de Aquiles" da administração municipal. Recuperados, proporcionaram a retificação das calhas e o revestimento em concreto que, somados, atingem extensão de mais de cinco quilômetros, enquanto 10 mil metros de canaletas de drenagem vieram a proporcionar melhor escoamento das águas dos morros. E para contenção das barreiras, além os existentes, nada menos que 1.200 muros de arrimo estão sendo erguidos, somando um total de 54 mil metros cúbicos de concreto - assinalou o funcionário.

MELHORIAS

Como conseqüência das medidas adotadas pelos Governos estadual e municipal, assegurou ele que "a cada ano o número de vítimas fatais causadas por deslizamentos de barreiras ou desabamentos de barracos vem diminuindo gradativamente, o que evidencia uma situação: as intervenções dos Governos, em especial do Federal, em muito tem colaborado para a elevação da qualidade de vida destas populações. Com a pavimentadinaria de Coordenação, através do SAC - Sistema de Ações Comunitárias, em pelo menos 20 comunidades, sendo que, dentro de alguns dias, mais quatro áreas entrarão no rol dos beneficiados pela Municipalidade.

Nestes barracões, técnicos, assistentes sociais, médicos, dentistas e outros profissionais prestam uma infinidade de serviços ao povo, que vão desde um curativo até a realização de cursos profissionalizantes - "uma fonte de renda para melhorar as condições de vida das pessoas" - na opinião do secretário Romero Jucá Filho - não esquecendo o fornecimento de documentos, tais como carteiras de identidade e de trabalho, "com o objetivo de evitar a corrida do pessoal aos balcões dos órgãos encarregados da expedição", afirma a coordenadora do SAC, Sara Escobar. Em linhas gerais, trata-se de uma rede de apoio que presta todo o tipo de assistência às populações.

S. O. S. MORROS

Para o presidente da URB, "quando o homem tem melhorada a condição de sobrevivência, pessoal e da comunidade, naturalmente é estimulado a elevar, também, a condição de vida interior e familiar. Este raciocínio pode ser facilmente constatado no convívio diário que nossos técnicos mantêm com essas populações e suas lideranças. Através do Programa S. O. S. Morros, desenvolvido pela administração Joaquim Francisco, muita coisa tem mudado no comportamento das famílias pobres. A cada dia o homem vem recebendo benefícios como, por exemplo, ruas pavimentadas em

Fonte: Diário de Pernambuco (1985).

Figura 41 – Ocorrência de desastres naturais - Alto José do Pinho (1985): Precipitação extrema.

Moradores da Rua Oito temem deslizamento de barreiras no Alto José do Pinho

Barreiras deixam pobres em pânico

Várias barreiras ameaçam cair nos morros da Zona Norte e uma delas está deixando em pânico a população da Rua Oito, localizada no Alto José do Pinho. Para conter o deslizamento, moradores daquela artéria fizeram uma cerca de tábuas nas margens da encosta. Sentindo-se inseguras, algumas famílias que habitam nas áreas consideradas perigosas já abandonaram seus barracos.

Uma das moradoras daquela rua, dona Joventina Silva, adiantou que "a cerca foi idealizada pelo pessoal que mora na parte baixa, e que vinha sendo prejudicado com o constante deslizamento do barro. Antes disso, tentaram solucionar o problema colocando lixo. Mas a saída não deu resultado. Então, preferiram colocar as tábuas no local, até mesmo para evitar que alguém caísse, porque o passeio é estreito".

morros, sem qualquer proteção nas suas encostas, ameaçam desabar. Na Terceira Travessa da Mangabeira, por exemplo, várias pessoas fecharam suas casas e foram para outro lugar, como é o caso do proprietário da residência de número cinco que fatalmente seria atingido, caso a barreira deslizasse.

– Isso aqui é o pior lugar que existe para se morar – comentou seu Hidelbrando Barros – "porque a gente passa o tempo todo se preocupando com o inverno. Basta a chuva surgir na casa de Nosso Senhor que todo mundo fica na maior expectativa. Afinal de contas, todo ano acontece uma tragédia por estas bandas. Como não temos para onde ir, o jeito é enfrentar o perigo e rogar a Deus que nada de ruim nos atinja".

LEVANTAMENTO

Apesar do pânico da população daquele local, o secretário municipal de Coor-

que, supomos, correm perigo de desabamento com a queda do barro. O objetivo desse trabalho é elaborar um cadastro e, em seguida, proceder os reparos necessários, com a recuperação das muralhas e proteção nas encostas, a fim de evitar uma tragédia".

Na opinião do secretário, "o grande problema que a Prefeitura do Recife enfrenta naquelas áreas da Zona Norte é o da invasão, porque as pessoas constroem seus barracos justamente nos locais mais perigosos, o que nos impede, inclusive, de dar prosseguimento aos trabalhos do Projeto Emergencial, elaborado para ser posto em prática nos morros. Sabemos da necessidade de proteger essas populações, mas sempre encontramos dificuldades, porque, vez por outra, surge um mocambo num lugar onde ninguém teria coragem de morar. E isso preocupa muito o prefeito Joaquim Francisco. A nova

Fonte: Diário de Pernambuco (1985).

De acordo com Gomes (2022), Recife vem apresentando problemas recorrentes de inundações, enxurradas e alagamentos, tendo, por vezes, a ocorrência de mortes, perda de bens materiais, entre outros transtornos, em especial em períodos chuvosos. Ainda, conforme ressaltado por Mendes et al. (2019), a expansão urbana do município não priorizou fatores sustentáveis, levando em consideração apenas o crescimento econômico e territorial, acontecendo, por isso, um crescimento desenfreado e resultando em grandes consequências ambientais, como adensamento urbano, mitigação de áreas verdes, crescimento de áreas urbanas e um aumento nas construções verticais.

O processo de ocupação em Recife é consequência de uma política urbana baseada exclusivamente na higienização social e em uma declarada “perseguição aos mocambos” desde o início do século XX, com políticas públicas que favorecem a precarização do espaço da moradia e ofusca as táticas de expulsão praticadas pelo Estado democrático de direito, conforme Pimentel (2020). Adicionalmente, de acordo com Guedes, Araújo e Andrade (2021), o município do Recife apresentou crescimento exponencial e sem nenhum planejamento, fato que causou grandes impactos e que devem ser contornados e gerenciados. Ainda em relação à essa temática, Mendes et al. (2019) destacaram como principais consequências ambientais da expansão urbana desenfreada em Recife o adensamento urbano e modificações ambientais, como mitigação de áreas verdes, crescimento de áreas urbanas e um aumento nas construções verticais.

No que diz respeito a pluviometria, Recife apresenta uma irregularidade em seu regime, resultantes principalmente de particularidades geográficas que impactam na distribuição temporal e espacial da precipitação, como deslocamento dos ventos, vegetação e urbanização, por exemplo, segundo Silva et al. (2021). Nesse sentido, têm-se um grande potencial para ocorrência de eventos como alagamentos, inundações ou deslizamentos de terra afetando a qualidade de vida da população.

Complementarmente, tem-se como áreas de vulnerabilidade os morros no Recife, que ocupam um terço da cidade, abrigando predominantemente pessoas de baixa renda, conforme Santana (2019). Ressalta-se que esse tipo de habitação, na maioria das vezes, decorre de um processo de exclusão socio–ambiental no mercado imobiliário, visto que para construção em morros e encostas tem-se a necessidade de maior conhecimento técnico e, por isso, não se observa o mesmo interesse de investimento que em áreas planas. Os problemas de infraestrutura dos morros geram um aumento no risco de desastres para os moradores dessas áreas, os quais desenvolvem estratégias para a autoproteção e prevenção dos desastres nos morros, fazendo com que a dinâmica de vida dessa população seja diferenciada dos morados que habitam áreas planas. Diante disso, vale ressaltar que a ocorrência de deslizamentos de terra, alagamentos, inundações e outros, mesmo que apresentem grandes impactos físicos, não podem ser configurados apenas como desastres naturais, mas também como socioambientais (Pimentel, 2020).

3.1.4 Definição do morro de estudo

Para escolha do morro a ser analisado foram consideradas as informações acerca dos chamados para a Defesa Civil (Defesa Civil, 2023) na ocasião do evento que trouxe maiores transtornos. Estimou-se com auxílio do Google Earth a localização dos chamados, levando em consideração o endereço associado, e, consequentemente, suas coordenadas geográficas. Em seguida, com o auxílio do software gratuito QGIS na versão 3.30.0, foi instalado o complemento “QuickMapServices”, que permite incluir bases de mapas na plataforma, facilitando a delimitação de regiões.

Foram utilizadas imagens de satélites oriundas do Google Earth, para geração de uma camada shape do tipo ponto, visando a geoespacialização dos pontos de ocorrência de chamados para o referido dia. Foi possível analisar o bairro com maior número de chamados e assim definir a área de morro para estudo.

Para o entendimento do sistema de drenagem existente, foi utilizada uma base de dados de zoneamento da cidade. Somado a isso, foram utilizadas imagens de satélite do Google Earth para identificação visual das descidas d’água presentes na extensão do morro.

3.2 VISITA TÉCNICA

Visando entendimento das condições físicas da área, assim como realizar o levantamento das dimensões das descidas d’água identificadas, foi realizada no dia 24/09/2023 uma visita técnica ao morro em questão. Para isso, levou-se em consideração os dispositivos hidráulicos identificados na avaliação das atividades correspondentes ao item no **item 3.2**, se limitando à avaliação das sarjetas e das descidas d’água.

3.3 AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HIDRÁULICA

O item em questão conta com a descrição da metodologia a ser aplicada para avaliação de segurança hidráulica dos dispositivos de drenagem superficial considerados (sarjetas e descidas d’água).

3.3.1 Vazão de projeto (Método Racional)

Para estimar a vazão de projeto total resultante em cada dispositivo foi utilizado o Método Racional, Equação 4, devido à sua aplicabilidade em pequenas bacias,

conforme discutido por Tucci (2007), podendo ser aplicada em bacias urbanas ou rurais pequenas.

$$Q = 0{,}278 * C * i * A \quad (4)$$

Onde: Q é a vazão, em m³/s; C é o coeficiente de escoamento superficial, adimensional; i é a intensidade da chuva de projeto, em mm/h; e A é a área de drenagem, em km².

A partir do estudo do uso e ocupação do solo, foi possível realizar a delimitação das áreas de contribuição de cada dispositivo. Para isso, com o auxílio do complemento "*QuickMapServices*" do *software* QGIS, utilizou-se imagens de satélites oriundas do *Google Earth* para delimitação, a partir de uma camada *shape* do tipo polígono, das regiões próximas com tipologias semelhantes, sendo possível encontrar, a partir da análise da tabela de atributos, referente às delimitações da área em km². Adicionalmente, para entendimento da topografia da área de estudo, foi obtido o MDT (Modelo Digital de Terreno) da área de estudo, a partir das imagens do Pernambuco Tridimensional (PE3D), que permite a realização do estudo topográfico detalhado do território estadual, com dados disponibilizados de forma online.

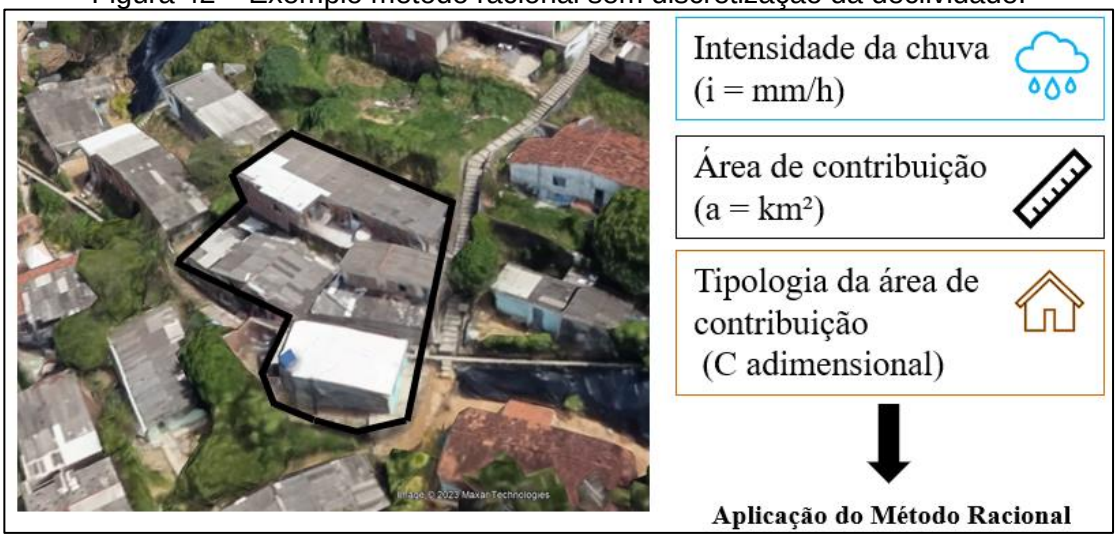
Dessa forma, foi possível entender as variadas tipologias da área do morro e adjacentes e analisar a dinâmica do fluxo da água pluvial ao longo de sua extensão.

Com relação à determinação do coeficiente de escoamento superficial, a vazão de projeto foi calculada em dois cenários, sendo o primeiro sem discretização em relação à declividade das bacias de contribuição e o segundo levando em consideração a declividade e seus impactos no fluxo pluvial, visando a consideração em relação ao impacto da declividade na estimativa do escoamento.

<u>Sem discretização da declividade</u>

De posse dos dados de área (km²), intensidade pluviométrica (mm/h) e coeficiente de escoamento (C), foi possível calcular a vazão gerada por cada área de contribuição a partir do evento pluviométrico extremo considerado. Na Figura 42 tem-se um modelo esquemático para aplicação do Método Racional (**item 2.3.1)**, levando em consideração os parâmetros referentes. Destaca-se que para esta metodologia, para cada tipo de solo, leva-se em consideração **C médio** apresentado na Tabela 3 e Tabela 4 (**item 2.3.1**).

Figura 42 – Exemplo método racional sem discretização da declividade.



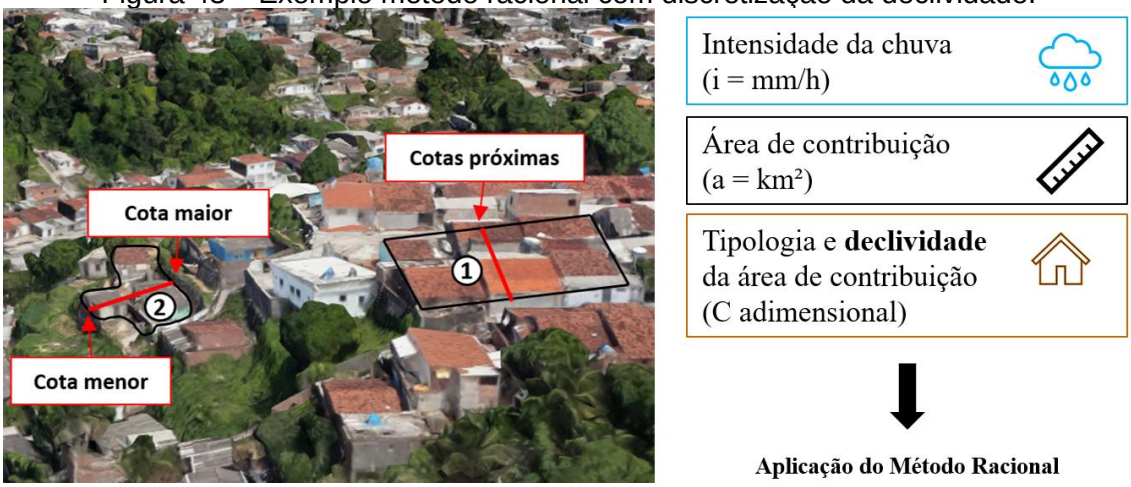
Fonte: Autora (2024).

Com discretização da declividade

Para este cenário, foi levado em consideração a declividade como parâmetro de auxílio na definição do coeficiente de escoamento da área. Na Figura 43 detalha-se o modelo esquemático para aplicação do método racional, admitindo a discretização. Destaca-se a inserção do parâmetro “declividade”.

Inicialmente, foi realizada a aferição da estimativa do ponto mais alto, médio e mais baixo para cada área de contribuição, visando o entendimento do encaminhamento do fluxo proveniente de cada área, conforme linha em vermelho da Figura 43. Foram criadas camadas *shape* do tipo linha ligando o ponto mais alto ao mais baixo, sendo assim possível entender a distância entre eles e calcular a declividade. Dessa forma, por exemplo, apesar da área 1 e 2 (Figura 43) apresentarem a mesma tipologia, leva-se em consideração a influência da declividade na capacidade de infiltração de cada uma.

Figura 43 – Exemplo método racional com discretização da declividade.



Fonte: Autora (2024).

Para essa metodologia, as áreas de contribuição foram divididas em relação às tipologias apresentadas. Para cada grupo, foi calculada a declividade máxima, média e mínima a partir dos dados levantados, sendo então possível dividir as áreas por subgrupo em dois principais:

- **Subgrupo 1**: áreas com declividade no intervalo entre a máxima e média encontradas e, para essas, foi utilizado o C_2 das Tabela 3 e Tabela 4 (**item 2.3.1**).
- **Subgrupo 2**: áreas com declividade no intervalo entre a média e a mínima encontradas e, para essas, foi utilizado o C_1 Tabela 3 e Tabela 4 (**item 2.3.1**).

Dessa forma, áreas com a mesma tipologia, podem apresentar diferentes valores de coeficiente de escoamento, a depender da sua declividade.

Para a avaliação do fluxo de água admissível a ser encaminhado pelas sarjetas foi aplicada a Equação de Izzard (**item 2.3.2**). Para o estabelecimento do coeficiente de simplificação, estimou-se a largura da via, com o artifício de medição de distâncias pela ferramenta linha do *software Google Earth*, e identificados os valores tabelados de K. Para a determinação da declividade da via, foi utilizado como base o MDT, com dados da plataforma de geoprocessamento Pernambuco Tridimensional (PE3D).

Para as descidas d'água foi realizada uma verificação estimada, a partir do *software SISCCOH* – Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos, versão 1.1. Foi analisado qual tipo de regime encontrado, a partir das dimensões e do fluxo d'água referente a vazão de projeto para cada descida d'água. Para as descidas d'água existentes, levou-se em consideração os valores encontrados durante visita técnica (**item 3.3**), considerando a altura do degrau (m), comprimento do patamar e a largura

do degrau (m). Ressalta-se que foi considerado um degrau representativo, visto as limitações encontradas em campo.

Dessa forma, foi possível encontrar a maior e a menor cota, assim como entender o funcionamento do direcionamento da água pluvial para cada via.

3.3.2 Sarjetas: Vazão admissível (Equação de Izzard)

Visando o cálculo da vazão admissível referente as sarjetas, foi aplicada a Equação de Izzard, comumente utilizada em estudos de avaliação da drenagem urbana, conforme Equação 5.

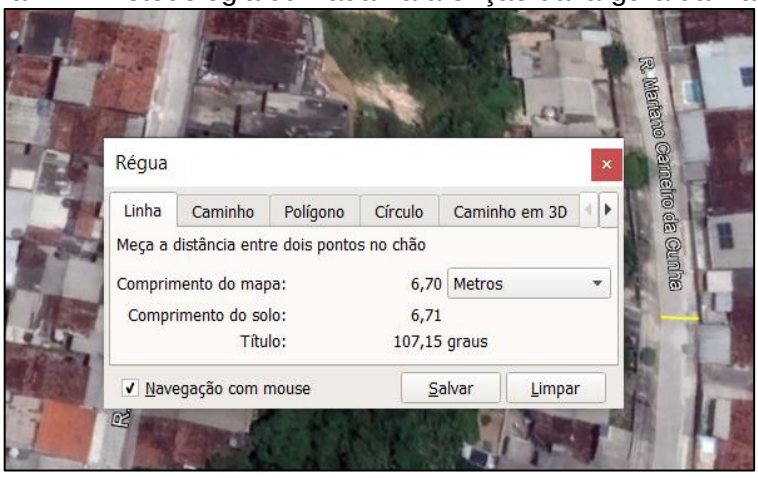
$$Q_{EscSup} = K \times \sqrt{i} \quad (5)$$

Onde: Q_{EscSup} é a vazão do escoamento superficial pela sarjeta (m³/s); K é o coeficiente de simplificação (adimensional); e i é a declividade da via (m/m).

3.3.2.1 Coeficiente de simplificação

Para o estabelecimento do coeficiente de simplificação, torna-se necessária a estimativa da largura da via. Para isso, utilizou–se o artifício de medição de distâncias pela ferramenta linha do *software Google Earth*, sendo aferido a média entre as larguras no início, no meio e no fim de cada via e identificados os valores tabelados de K. Na Figura 44 tem-se um exemplo da metodologia aplicada.

Figura 44 – Metodologia utilizada na aferição da largura da via (m).



Fonte: Autora (2024).

3.3.2.2 Declividade da via

Para o entendimento da declividade da vida, foi utilizado como base o Modelo Digital de Terreno (MDT) para a área de estudo, com dados encontrados a partir da plataforma de geoprocessamento Pernambuco Tridimensional (PE3D), com auxílio do complemento "*Profile Tool*" do software QGIS (conforme exemplo da Figura 45). Dessa forma, foi possível encontrar a maior e a menor cota, assim como entender o funcionamento do direcionamento da água pluvial para cada via.

Figura 45 – Metodologia utilizada na aferição das cotas (m).

Fonte: Autora (2024).

3.3.3 Descidas d'água: SisCCoH

Para verificação das descidas d'água, foi utilizado o *software SISCCOH* – Sistema para Cálculos de Componentes Hidráulicos, com a análise hidráulica do tipo "*Estruturas hidráulicas*", importante para a avaliação do regime de escoamento em degraus. Levaram-se em consideração aspectos referentes às dimensões e vazões estimadas para os dispositivos. Diante disso, foi possível analisar em qual regime de escoamento as descidas d'água estão associadas para o evento pluviométrico analisado, assim como suas condições.

3.3.4 Avaliação de segurança

A seguir, tem-se a descrição da metodologia para a avaliação de segurança das sarjetas e das descidas d'água.

3.3.4.1 Sarjetas

Para realizar a avaliação hidráulica dos componentes, é necessário comparar os valores obtidos para a vazão de projeto, calculada a partir das áreas de contribuição dos dispositivos (**item 3.4.1**), com a vazão admissível estabelecida a partir dos parâmetros geométricos dos dispositivos (**item 3.4.2**). Se a vazão admissível para o dispositivo for superior à vazão de projeto, isso significa que o dispositivo tem dimensões suficientes para suportar a precipitação gerada.

3.3.4.2 Descidas d'água

Com o auxílio do *software SISCCOH,* foi possível realizar uma estimativa da avaliação hidráulica das descidas d'água identificadas. Para a vazão de entrada, foram levadas em consideração as vazões encontradas para cada área de contribuição próxima (**item 3.4.1**), considerando a declividade da água no escoamento superficial.

Vale destacar que a partir da declividade das áreas de contribuição próximas às descidas d'água, foi possível entender a dinâmica do fluxo pluvial de cada área encaminhado para cada descida d'água referente. Dessa forma, calculou-se a vazão de contribuição referente, levando em consideração os valores encontrados no **item 3.3.1**.

3.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS (AHP)

Conforme descrito no **item 2.6**, a metodologia AHP consiste na definição da problemática a ser resolvida, determinação das dimensões, estabelecimento das variáveis por dimensões, combinação par a par entre as dimensões, combinação par a par entre as variáveis por dimensões e definição da alternativa mais coerente. Diante disto, os itens seguintes apresentam melhor detalhamento referente a cada tópico

3.4.1 Definição da problemática a ser resolvida

A partir da avaliação hidráulica das sarjetas (**item 3.4.4.1**) foi possível estabelecer qual sarjeta apresenta dimensões suficientes para suportar a precipitação gerada no evento pluviométrico extremo. Dessa forma, a problemática consistiu na escolha técnica compensatória mais adequada a ser implementada para diminuição do fluxo de água gerado para as bacias de contribuição edificadas que escoam para o dispositivo.

Para isso, foram analisadas as seguintes alternativas, comumente utilizadas no município do Recife-PE:

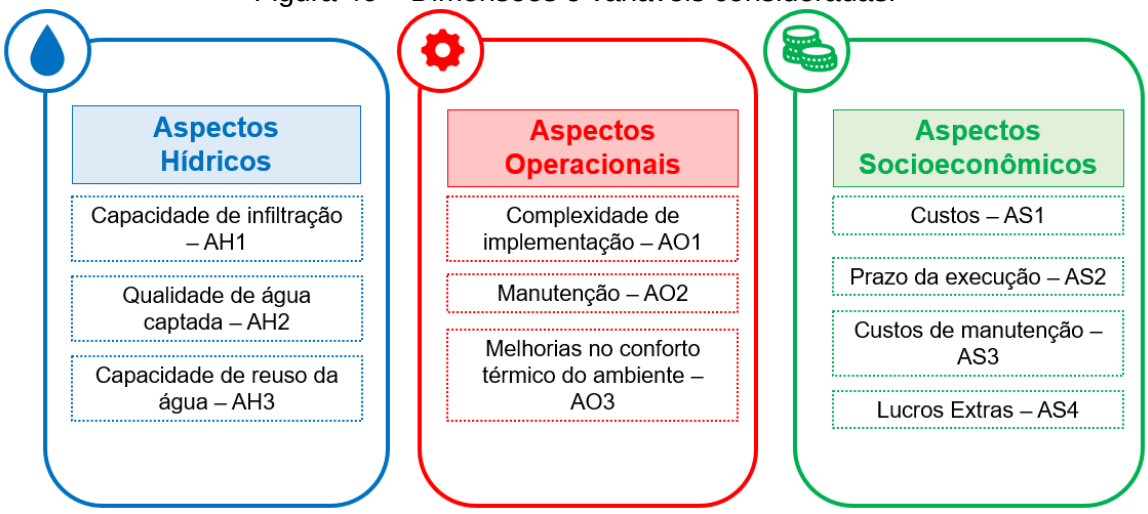
- **Alternativa 1**: Telhados verdes convencionais;
- **Alternativa 2**: Captação de água de chuva por reservatório (caixa d'água);
- **Alternativa 3**: Telhados ecológicos de baixo custo.

3.4.2 Definição das dimensões e variáveis

A metodologia em questão tem como premissa a formação de uma base de estudos a ser considerada para auxílio na resolução de determinado problema. Dessa forma, conforme Freitas, Marins e Souza (2006), a complexidade de uma problemática é tratada a partir da decomposição e divisão de um problema até o nível mais baixo, claros e dimensionáveis e estabelecendo relações, a fim de sintetizá-los, a partir da construção de hierarquias, definição de prioridades e consistência lógica.

Nesse contexto, para a aplicação da metodologia AHP, par ao processo de tomada de decisão é necessária a escolha e hierarquização das dimensões e das variáveis ligadas à problemática em questão. Diante disto, foram admitidas 3 principais dimensões, sendo essas: **Aspectos Hídricos**, **Aspectos Operacionais** e **Aspectos Socioeconômicos**. A Figura 46 apresenta o detalhamento das dimensões e variáveis consideradas na utilização da metodologia AHP.

Figura 46 – Dimensões e variáveis consideradas.



Fonte: Autora (2024).

3.4.2.1 Dimensões

Nos itens seguintes é apresentada uma breve descrição das dimensões utilizadas para metodologia.

Aspectos Hídricos

Para o auxílio no processo de tomada de decisão, é de suma importância a avaliação dos **Aspectos Hídricos (AH)**, uma vez que está estritamente ligado às características e ao comportamento do fluxo de água precipitado no momento que entra em contato com a superfície. Na dimensão em questão foram avaliadas variáveis vinculadas a capacidade de infiltração, qualidade da água captada e capacidade de reuso da água.

Aspectos Operacionais

A avaliação referente aos **Aspectos Operacionais (AO)** está ligada ao processo de implementação e operação da alternativa no lote analisado, considerando segurança e produtividade. Para a dimensão em questão, foram avaliadas considerações referentes à complexidade de implementação, manutenção e melhorias no conforto térmico do ambiente.

Aspectos Socioeconômicos

A dimensão **Aspectos Socioeconômicos (AS)** está ligada aos impactos no âmbito social e econômico da aplicação de cada alternativa no lote analisado. Dessa forma, foram avaliados custos, prazo da execução, custos de manutenção e lucros extras.

3.4.2.2 Variáveis

A Tabela 9 apresenta os conceitos e indicadores referentes às ligadas a cada dimensão.

Tabela 9 – Variáveis por dimensão.

Dimensões	Variáveis	Conceito	Indicador
Aspectos Hídricos (AH)	Capacidade de infiltração - AH1	Do contato da precipitação com a superfície, inicia-se a infiltração da água. Para Mallmann (2017), a infiltração da água é o processo na qual ocorre a entrada da água pela superfície para o interior do solo e está ligada à quantidade de água que irá escoar superficialmente. Pode ter influência de: porosidade, densidade, textura e quantidade cobertura do solo, entre outros.	Quanto maior a capacidade de infiltração da alternativa, maior o volume de água a ser captado, menor o volume de contribuição e mais atrativa é a alternativa.
	Qualidade da água captada - AH2	Uma vez infiltrada, a composição química da água precipitada pode vir a sofrer modificações a depender no material na qual sofreu passagem.	Quanto melhor os parâmetros da qualidade da água, mais atrativa é a alternativa.
	Capacidade de reuso da água - AH3	A depender dos parâmetros de qualidade da água infiltrada, pode-se reusar a mesma, como por exemplo para utilização em bacias sanitárias, irrigação, lavagem de veículos e limpeza de ruas.	Quanto maior a possibilidade de reuso ou não da água infiltrada, mais atrativa é a alternativa.
Aspectos de Operacionais (AO)	Complexidade de implementação - AO1	Cada alternativa demanda uma metodologia de implementação, variando de acordo com o tipo de material necessário e as características especificas.	Quanto maior a complexidade de implementação, menos atrativa é a alternativa.
	Manutenção - AO2	Uma vez implementada a alternativa, é possível ocorrer ou não a necessidade de manutenção para assegurar seu funcionamento correto e otimizado.	Quando maior a necessidade manutenção, mais atrativa é a alternativa.
	Melhorias no conforto térmico do ambiente - AO3	Com a implementação das alternativas, é possível ocorrer ou não da melhoria das condições de conforto térmico do ambiente.	Quanto maior a possibilidade de melhoria das condições de conforto térmico do ambiente, mais atrativa é a alternativa.
Aspectos Socioeconômicos (AS)	Custos - AS1	Para cada alternativa, têm-se um custo de execução.	Quanto maior o custo de execução, menos atrativa é a alternativa (R$).
	Prazo da execução - AS2	Para cada alternativa, têm-se um prazo de execução.	Quanto maior o prazo de execução, menos atrativa é a alternativa (meses).
	Custos de manutenção - AS3	Para cada alternativa, têm-se um custo de manutenção.	Quanto maior o custo de manutenção, menos atrativa é a alternativa (R$).
	Lucros extras - AS4	A depender da alternativa aplicada, pode-se apresentar a possibilidade de lucros extras.	Quando maior a possibilidade de lucros extras, mais atrativa é a alternativa

Fonte: Autora (2024).

3.4.3 Combinação par a par entre dimensões e entre variáveis por dimensão

De acordo com Andres *et al*. (2020), as tecnologias das plataformas digitais apresentam grande número de ferramentas, na qual destaca-se o *Google Forms*, que apresenta função de auxílio em pesquisas no processo educativo no mundo acadêmico, na qual podem ser criados formulários, por meio de planilhas.

No que diz respeito ao tamanho da amostra a ser levada em consideração, de acordo com Santana (2019), a literatura não define parâmetros de um número máximo ou mínimo de participantes para um painel de pesquisa. Ainda neste contexto, Ameyaw *et al*. (2016) ressaltaram, também, a não existência de relação empírica direta entre o número de entrevistados e a confiabilidade da pesquisa, assim como o número depende dos recursos disponíveis, extensão da problemática e população entrevistada.

Somado a isso, Patias e Hohendorff (2016) citaram que é necessário um menor número de participantes para um estudo quando o seu objetivo seja limitado e tenha necessidade de uma combinação específica, assim como a temática seja de vocabulário robusto. Complementarmente, é necessário um maior número de participantes em momentos que são necessários estudos amplos, buscando analisar diferentes variações de respostas sobre determinado assunto, com necessidade de embasamento teórico.

Dessa forma, para a execução desta etapa, no período entre os dias 19/09/2023 até 03/10/2023, foi realizada uma coleta de dados a partir da plataforma *Google Forms*. sendo entrevistadas um total de 43 pessoas, de diversas áreas do conhecimento no contexto da engenharia civil, visando o entendimento de diferentes pontos de vista acerca do problemática apresentada. A metodologia do levantamento consistiu em 18 perguntas, divididas em 6 seções, considerando como parâmetro de respostas uma adaptação da “escala fundamental” (apresentada no item 2.5), conforme na Tabela 10.

Tabela 10 – Escada fundamental adaptada para aplicação do método AHP.

7	**3**	**1**	**1/3**	**1/7**
Muito mais relevante	Mais relevante	Igualmente relevante	Menos relevante	Muito menos relevante

Fonte: Adaptado de Saaty (1972).

Na Tabela 11 estão os questionamentos realizados ao longo da entrevista.

Tabela 11 – Coleta de dados: Questionamentos.

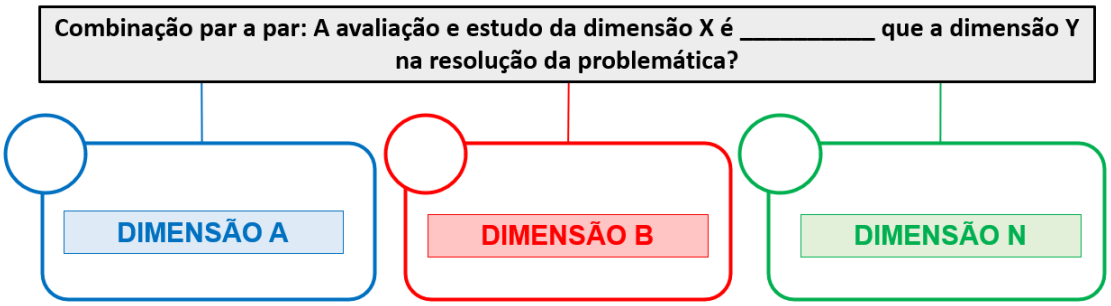
SEÇÃO		PERGUNTAS
Seção 1	Perguntas iniciais	Em qual estado você reside? Qual é a sua formação? Qual é sua principal área de atuação?
Seção 2	Cominação par a par: Dimensões	A avaliação e estudo da dimensão Aspectos Hídricos (AH) é _____ que a dimensão Aspectos Operacionais (AO) na resolução da problemática. A avaliação e estudo da dimensão Aspectos Hídricos (AH) é _____ que a dimensão Aspectos Socioeconômicos (AS) na resolução da problemática. A avaliação e estudo da dimensão Aspectos Operacionais (AO) é _____ que a dimensão Aspectos Socioeconômicos (AS) na resolução da problemática.
Seção 3	Cominação par a par: Variáveis Aspectos Hídricos	A avaliação e estudo da variável AH1 é _____ que a variável AH2 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AH1 é _____ que a variável AH3 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AH2 é _____ que a variável AH3 na resolução da problemática.
Seção 4	Cominação par a par: Variáveis Aspectos Operacionais	A avaliação e estudo da variável AO1 é _____ que a variável AO2 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AO1 é _____ que a variável AO3 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AO2 é _____ que a variável AO3 na resolução da problemática.
Seção 5	Cominação par a par: Variáveis Aspectos Socioeconômicos	A avaliação e estudo da variável AS1 é _____ que a variável AS2 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AS1 é _____ que a variável AS3 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AS1 é _____ que a variável AS4 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AS2 é _____ que a variável AS3 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AS2 é _____ que a variável AS4 na resolução da problemática. A avaliação e estudo da variável AS3 é _____ que a variável AS4 na resolução da problemática.

Fonte: Autora (2024).

Inicialmente, foram questionadas informações iniciais do entrevistado, visando o conhecimento das principais características da amostra (Seção 1). Em seguida, foram realizadas as perguntas referentes a combinação par a par, tanto para as dimensões quanto para as variáveis (Seção 2 e 3).

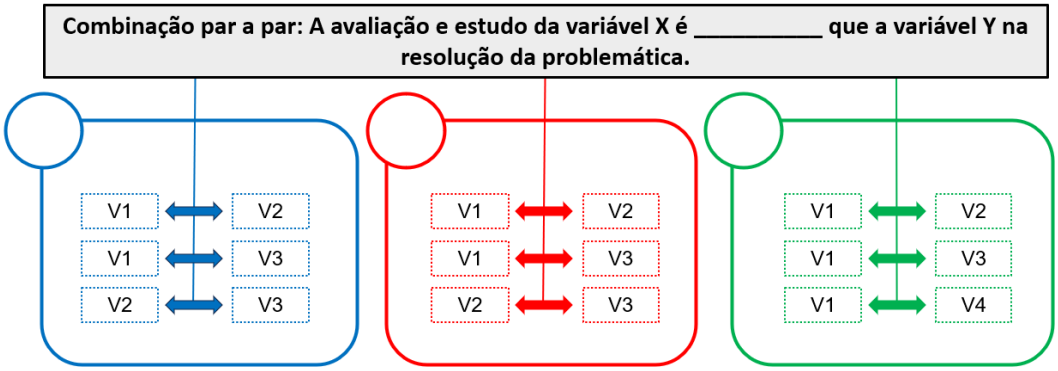
Na Figura 47 e na Figura 48 são apresentadas o modelo esquemático que subsidiou a pesquisa, para uma situação em que se tem 3 dimensões, com cada uma apresentando 3 variáveis. Ressalta-se que quanto maior a quantidade de dimensões/variáveis por dimensão, maior será o número de combinações par a par.

Figura 47 – Combinação par a par: Dimensões.



Fonte: Autora (2024).

Figura 48 – Combinação par a par: Variáveis.



Fonte: Autora (2024).

Ao final dessa análise, foi encontrada para cada dimensão e suas respectivas variáveis foi encontrada a **Matriz Importância, Matriz de Importância Normalizada, Prioridade Média Local e Razão de Consistência,** conforme metodologia apresentada no **item 2.6**.

Na Figura 49 tem o modelo esquemático aplicado para obtenção da Matriz Importância e da Matriz Importância Normalizada para as dimensões/variáveis. Ressalta-se que para o cálculo da Prioridade Média Local (PML) basta calcular a média de cada linha da Matriz Importância Normalizada.

Figura 49 – Modelo esquemático: Matriz Importância e Matriz Importância Normalizada.

Exemplo Matriz Importância

	V1	V2	V3	
V1	1	1/A	1/B	
V2	A	1	1/C	
V3	B	C	1	

Exemplo Matriz Importância Normalizada

	V1	V2	V3
V1	$1/\Sigma_1$	$(1/A)/\Sigma_2$	$(1/B)/\Sigma_3$
V2	A/Σ_1	$1/\Sigma_2$	$(1/C)/\Sigma_3$
V3	B/Σ_1	C/Σ_2	$1/\Sigma_3$

Somatório 1 (Σ_1): 1+A+B
Somatório 2 (Σ_2): (1/A)+1+C
Somatório 3 (Σ_3): (1/B)+(1/C)+1

Fonte: Adaptado de Saaty (1972) / Autora (2024).

3.4.4 Definição da alternativa mais coerente

Uma vez definidos a base e os critérios utilizados na análise, foi aplicada a metodologia para definição da alternativa mais adequada a ser aplicada.

3.4.4.1 Nota por alternativa (variáveis)

Foi realizada a avaliação e atribuição de nota de cada alternativa em relação as variáveis, com notas variando entre 1, 2 e 3, a depender do tipo de indicador referente. As notas foram adotadas levando em consideração o comportamento de cada alternativa em relação a variável analisada.

Por exemplo, para uma variável na qual quanto mais alto o valor do indicador, mais adequada será a alternativa, utiliza-se nota igual a 3 para a alternativa que apresentar o maior valor, assim como será adotada a nota 1 para aquela que for observado um menor valor. Ainda, a mesma lógica foi aplicada para indicadores nas quais quanto mais baixo o valor, menos adequada será a alternativa.

Em seguida, foi realizada uma média ponderada por alternativa, utilizando como peso a Prioridade Média Local (PML) da variável referente, encontrada conforme o **item 3.5.3.** Ao final, para cada variável, foi encontrado um valor referente a nota para cada uma das alternativas adotadas.

A Figura 50 mostra um modelo esquemático com o exemplo do processo implementado para o cálculo da nota para uma alternativa.

Figura 50 – Modelo esquemático: Avaliação da alternativa por variável.

Avaliação por alternativa por variável

	PML	Alt 1	Alt 2	Alt 3	
V1	PML V1	NOTA X			
V2	PML V2	NOTA Y			
V3	PML V3	NOTA X			
NOTA GERAL DA ALTERNATIVA		NOTA ALT 1			

NOTA ALT 1 (variáveis):

PML V1 × Nota X + PML V2 × Nota Y + PML V3 × NOTA X

Fonte: Adaptado de Saaty (1987) / Autora (2024).

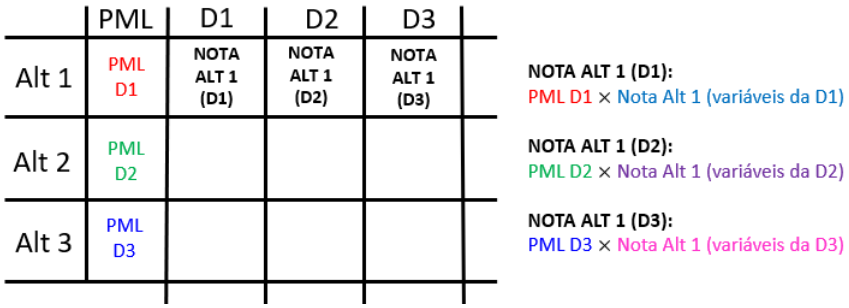
3.4.4.2 Nota por alternativa (dimensões)

Para encontrar a nota por alternativa levando em consideração as dimensões, realizou-se a multiplicação entre a nota por alternativa encontrada em relação às

variáveis (**item 3.5.1**) pela Prioridade Média Local (PML) de cada dimensão. Dessa forma, a nota será definida levando em consideração tanto as variáveis por dimensão, como também o peso atribuído para cada dimensão.

Apresenta-se na Figura 51, o modelo esquemático com o exemplo do processo implementado para o cálculo da nota para cada alternativa, por dimensão. Ao final, cada alternativa terá uma nota levando em consideração cada dimensão.

Figura 51 – Modelo esquemático: Avaliação da alternativa por dimensão.



Fonte: Adaptado de Saaty (1972) / Autora (2024).

Uma vez encontradas as notas das alternativas por cada dimensão, foi realizada a soma das notas ponderadas obtidas para cada dimensão, sendo assim obtida a nota final para as alternativas no processo AHP. Por fim, foi realizada a hierarquização das alternativas, na qual a alternativa que apresentou a maior nota, foi considerada a alternativa mais adequada para a solução do problema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação da metodologia descrita anteriormente, são apresentados os resultados referentes às imagens geoprocessadas, às análises comparativas com estudos anteriores, entre outros.

4.1 AVALIAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

No tópico em questão é apresentado os fatores que auxiliaram na escolha do Recife-PE como município a ser avaliado, em que foi considerado o processo de urbanização e as condições pluviométricas da região. Uma vez definido Recife como município de estudo, tem-se o detalhamento acerca da tomada de decisão para o morro localizado no bairro Cohab (Ibura de Cima), próximo ao bairro do Ibura.

4.1.1 O processo de urbanização da área de estudo

O município do Recife-PE apresentou diferença de 68,77 km² entre sua extensão de área urbanizada do ano de 1985 e do ano de 2021, respectivamente, com crescimento mais acentuado entre 1985 e 1995. Em relação aos demais municípios, para os mesmos anos, observou-se o aumento de 21,11 e 52,52 km² para Olinda e Jaboatão dos Guararapes, respectivamente. A Tabela 12 apresenta os resultados da urbanização em cada ano para os três municípios analisados, assim com o somatório total e a média anual. Vale ressaltar que os valores destacados na cor azul e verde correspondem, respectivamente, àqueles que estão abaixo e acima da média anual dos valores correspondentes às áreas urbanizadas para os três municípios, sendo que Recife apresentou todos seus valores acima da média.

Tabela 12 – Evolução da área urbanizada em: Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes.

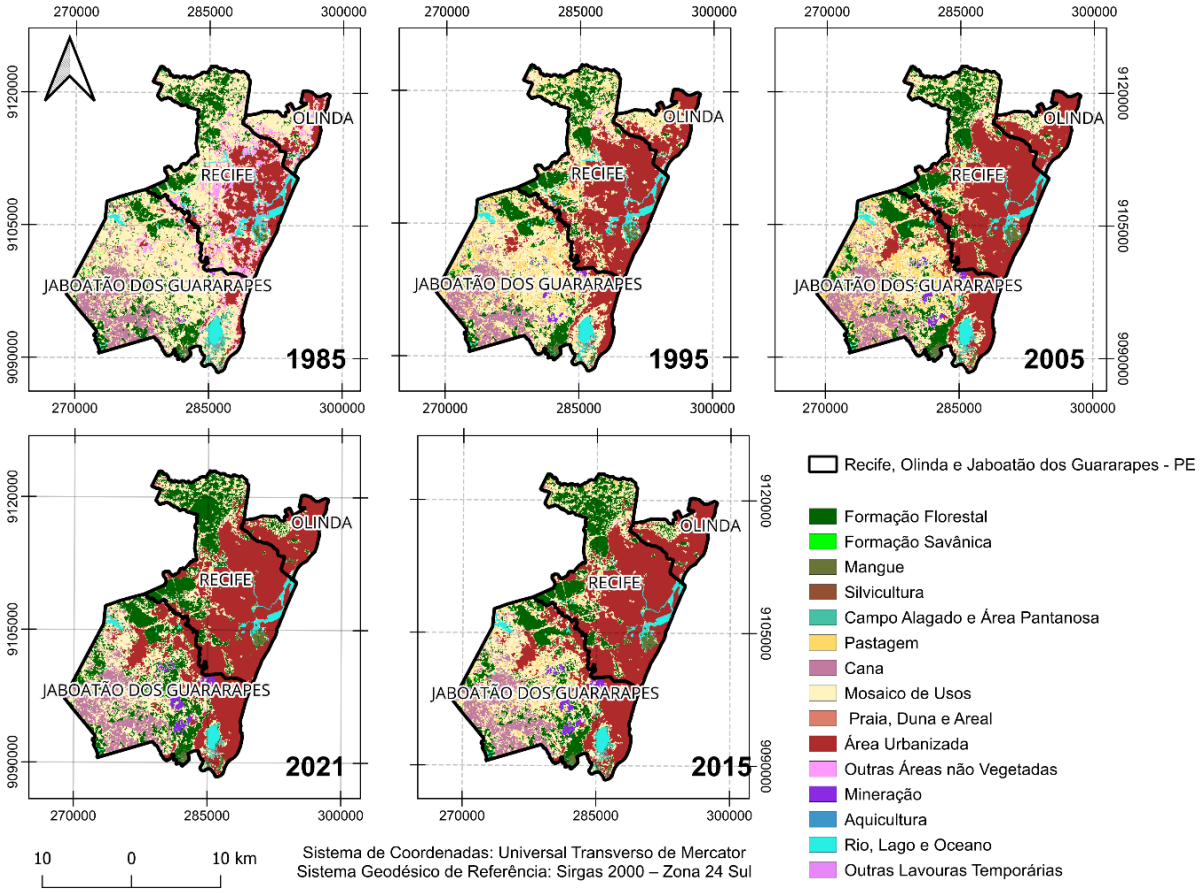
Ano	Área urbanizada (km²)				
	Recife	Olinda	Jaboatão dos Guararapes	Somatório	Média
1985	52,33	11,68	9,12	73,14	24,38
1995	96,24	22,43	26,88	145,55	48,52
2005	112,09	28,50	44,11	184,71	61,57
2015	117,44	31,24	54,49	203,17	67,72
2021	121,10	32,79	61,64	215,54	71,84

Fonte: Autora (2024).

A Figura 52 apresenta a caracterização da ocupação do solo para os anos de estudo. Todos os municípios apresentaram aumento na urbanização ao longo dos

anos, indicando crescimento das áreas antropizadas, assim como uma diminuição nas superfícies consideradas mais permeáveis, como Formação Florestal e Formação Savânica, por exemplo, indicando aumento nas áreas impermeáveis ao longo dos anos. Dessa forma, observa-se que dos três principais municípios localizados na RMR, avaliando a variação da área urbanizada para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e 2021, tem-se destaque para Recife, com aumento superior aos demais.

Figura 52 – Variação temporal da urbanização nos municípios do Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes.

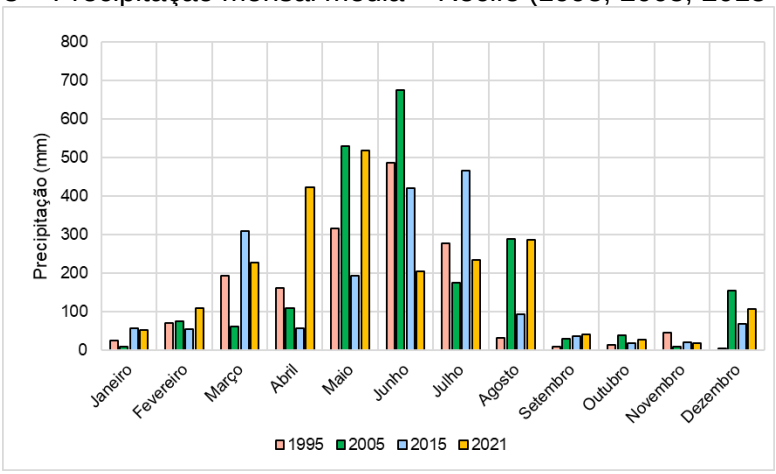


Fonte: Autora (2024).

4.1.2 Eventos pluviométricos

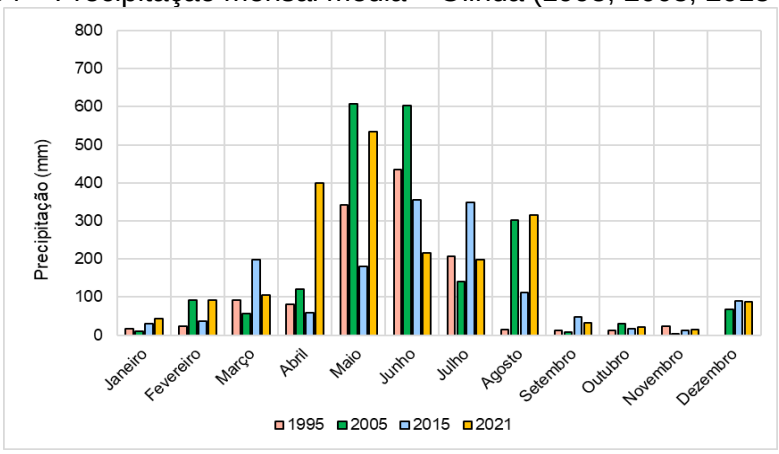
Os valores mensais médios de precipitação acumulada para cada ano por município de estudo são apresentados na Figura 53 até a Figura 55, levando em consideração a média dos postos estudados.

Figura 53 – Precipitação mensal média – Recife (1995, 2005, 2015 e 2021).



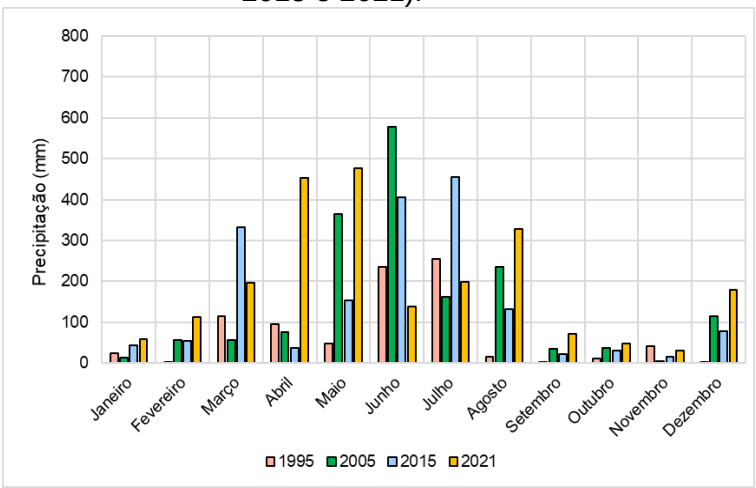
Fonte: Dados da APAC (2023).

Figura 54 – Precipitação mensal média – Olinda (1995, 2005, 2015 e 2021).



Fonte: Dados da APAC (2023).

Figura 55 – Precipitação mensal média – Jaboatão dos Guararapes (1995, 2005, 2015 e 2021).



Fonte: Adaptado de APAC (2023).

A Tabela 13 apresenta o levantamento da média das precipitações acumuladas mensais nos anos de 1995, 2005, 2015 e 2021 para os municípios do Recife, Olinda

e Jaboatão dos Guararapes. Não foram encontrados dados pluviométricos para o ano de 1985 nos postos estudados, justificando-se a retirada do ano em questão na avaliação pluviométrica. Os valores destacados na cor azul e verde correspondem, respectivamente, àqueles que estão abaixo e acima da média mensal do histórico referente à precipitação acumulada média anual dos municípios. Avaliando os dados encontrados, tem-se destaque para Recife, que apresentou todos os seus valores acima da média. Dos três principais municípios localizados na RMR, avaliando-se precipitação acumulada média anual para os anos de 1995, 2005, 2015 e 2021, tem-se destaque para Recife, que apresentou todos os seus valores superiores à média dos municípios para os anos de estudo.

Tabela 13 – Precipitação mensal média por ano do Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes.

Ano	Precipitação mensal média por ano (mm)			
	Recife	Olinda	Jaboatão dos Guararapes	Média
1995	136,05	114,61	70,06	106,91
2005	179,63	170,26	144,60	164,83
2015	149,65	123,99	146,52	140,05
2021	187,10	171,95	190,71	183,25

Fonte de dados: APAC (2023) / Fonte: Autora (2023).

4.1.3 Maior evento pluviométrico

No que diz respeito às precipitações máximas diárias registradas na cidade do Recife, Wanderley *et al*. (2021) ressaltaram em seus estudos os dez maiores volumes diários de precipitação registrados entre 1961 e 2016, conforme Tabela 14.

Ao analisar os índices pluviométricos ocorridos em Recife-PE, Souza, Azevedo e Araújo (2012) destacaram que volumes diários de precipitação superiores a 55 mm estão vinculados a deslizamentos de encostas, alagamentos e inundações. Ainda, citou-se a ocorrência de registros com grandes volumes de precipitação não só entre os meses de março a agosto, conhecidos como período chuvoso, mas em todo o ano. Ainda nesse contexto, Silva, Bandeira e Santos (2018) ressaltaram que as décadas de 60, 70, 80 e 90 apresentaram precipitações anuais médias iguais a 2.372 mm, 2.324,4 mm 2.400,4 mm e 2.408,9 mm, respectivamente, com destaque para maiores valores em 1964 e 1986, com valores de precipitações anuais médias superiores a 3.000 mm.

Tabela 14 – Principais precipitações diárias acumuladas para Recife-PE (1961-2016).

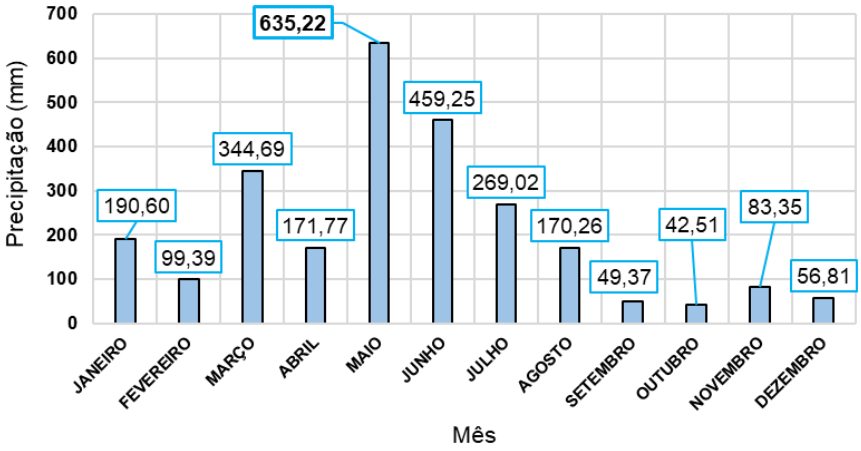
Ordem	Precipitação (mm)	Data
1	335,8	11/08/1970
2	235,0	24/05/1986
3	185,9	01/08/2000
4	176,4	12/06/1965
5	176,4	29/07/1990
6	165,3	22/04/1973
7	162,8	29/06/1990
8	162,0	21/07/1973
9	159,7	10/06/1966
10	154,2	08/04/1986

Fonte: Wanderley *et al*. (2021).

De acordo com Souza, Azevedo e Araújo (2012), para Recife, tem-se sempre a ocorrência de escorregamentos e muitos pontos de alagamento em registros de classe de chuva muito forte (P > 55,3 mm) e chuva forte (18,6 ≤ P < 55,3), gerando impactos negativos para a população. Já as chuvas moderadas (8,4 ≤ P < 18,6), podem ter como consequência problemas de escorregamentos de pequeno porte e pontos de alagamento. Diante disso, foi realizada a avaliação dos índices pluviométricos mensais médios para o ano de 2022 na cidade do Recife-PE, visando a obtenção do mês com maior precipitação acumulada. Em seguida, analisou-se a precipitação média acumulada diária, para auxílio na escolha do dia com maior índice pluviométrico registrado em Recife para o ano de 2022. Dessa forma, foi possível analisar o comportamento da drenagem superficial analisado em situação de evento de precipitação extrema.

Os eventos extremos de chuva ocorridos em maio de 2022 resultaram em uma série de problemas para a sociedade Recifense, interferindo no dia-dia e chegando a ocorrer perda de vidas humanas. A partir da avaliação dos dados da APAC de postos pluviométricos localizados na RMR, tem-se a Figura 56, que mostra o comportamento da precipitação mensal para o ano de 2022, com destaque para o mês de maio, com valor de 635,22 mm.

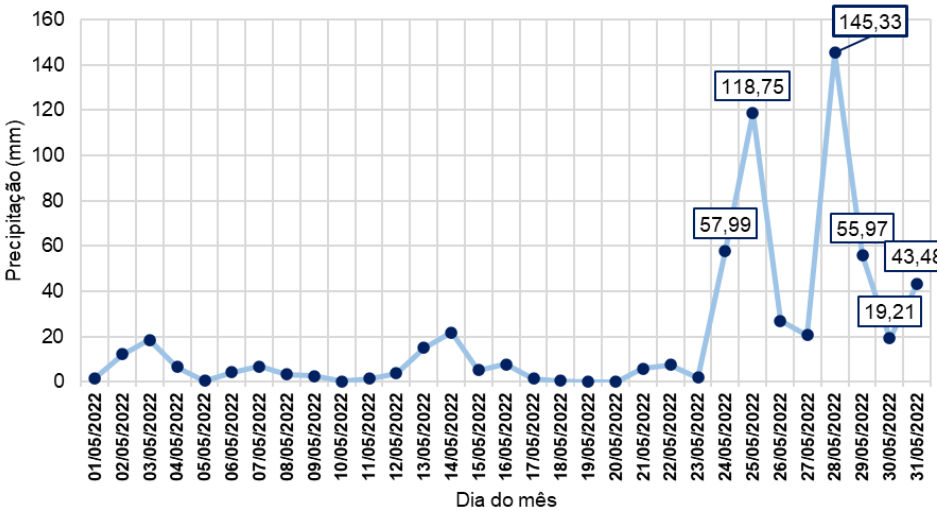
Figura 56 – Precipitação mensal no ano de 2022 – Recife.



Fonte dos dados: APAC (2023). Fonte: Autora (2023).

Na Figura 57 apresenta-se o detalhamento da precipitação diária em maio de 2022, em que se observa que os maiores valores ocorreram no final do mês, sendo importante destacar o ocorrido no dia 28 de maio, quando se observou um acumulado diário de 145,33 mm. De acordo com Souza, Azevedo e Araújo (2012), a intensidade da precipitação acumulada em 24 horas para Recife-PE é considerada como muito forte quando apresenta valores de intensidade superiores a 55,3 mm. Dessa forma, considera-se a ocorrência de chuvas muito fortes nos dias 24, 25, 28 e 29 de maio.

Figura 57 – Precipitação diária em maio de 2022 – Recife – maio de 2022.



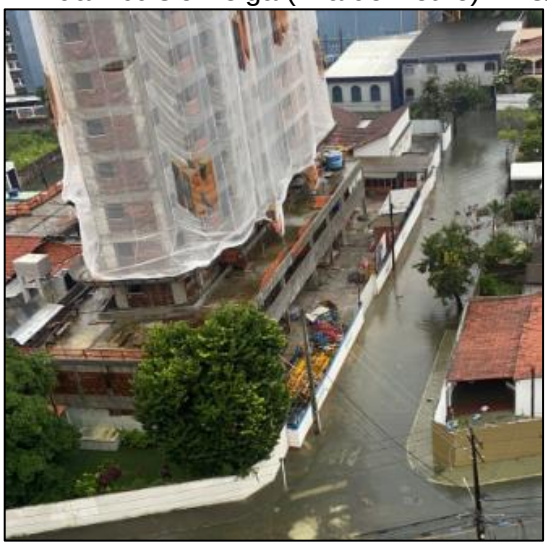
Fonte dos dados: APAC (2023). Fonte: Autora (2023).

Conforme Melo *et al*. (2023), os casos de precipitação extrema e prolongada de chuva geram impactos não apenas no volume de escoamento superficial, como

também ficam armazenados no solo. Dessa forma, solos mais saturados e em condição de alta declividade estão mais próximos da possibilidade de deslizamento.

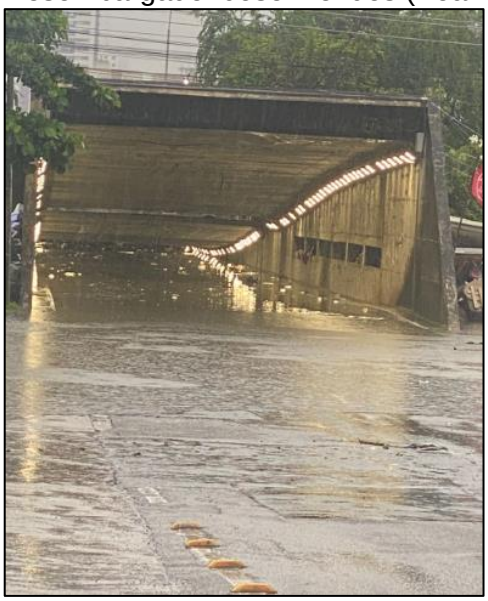
Os impactos para a população do Recife entre os dias 27 e 29/05/2022 foram muitos. A Figura 58 e a Figura 59 apresentam exemplos de pontos de alagamento localizados em Recife, enquanto a Figura 60 e a Figura 61, respectivamente, mostram os mesmos pontos em condições normais, sendo assim possível observar a gravidade dos eventos pluviométricos.

Figura 58 – Rua Abdisio Veiga (Ilha do Retiro) – 28/05/2022.



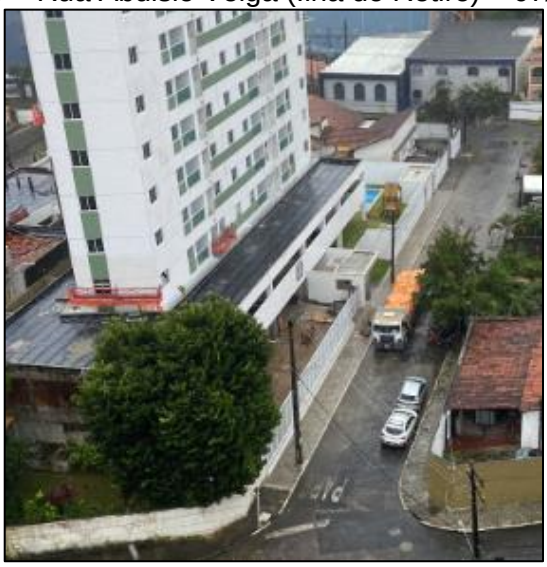
Fonte: Autora (2024).

Figura 59 – Túnel Av. Desembargador José Mendes (Boa Viagem) – 28/05/2022.



Fonte: Autora (2024).

Figura 60 – Rua Abdisio Veiga (Ilha do Retiro) – 07/07/2023.



Fonte: Autora (2024).

Figura 61 – Túnel Av. Desembargador José Mendes (Boa Viagem).

Fonte: *Google Earth*. (2023).

Adicionalmente, tem-se a Figura 62 e a Figura 63, como exemplos de deslizamento de barreiras que ocorreram no período crítico em questão. De acordo com Melo *et al*. (2023), a intensificação da umidade acumulada no solo antes de um deslizamento de massa está vinculada à chuva infiltrada e acumulada em momentos anteriores ao evento. Nesse sentido, solos com alta saturação inicial sofrem ainda mais as consequências das fortes chuvas.

Figura 62 – Deslizamento de Barreira – Córrego do Jenipapo em Recife (28/05/2023).

Fonte: G1-Globo (2022).

Figura 63 – Deslizamento de Barreira – Jardim Monte Verde na RMR (28/05/2023).

Fonte: Folha de Pernambuco (2022).

Em face do exposto, levando em consideração os índices pluviométricos altos e a ocorrência de desastres naturais ligados a pontos de alagamento e deslizamento de barreiras para Recife-PE, considerou-se o evento de precipitação extrema ocorrida em 28 de maio de 2022, com registros que possibilitam a análise detalhada dos sistemas.

4.1.4 Escolha do morro e sua vulnerabilidade

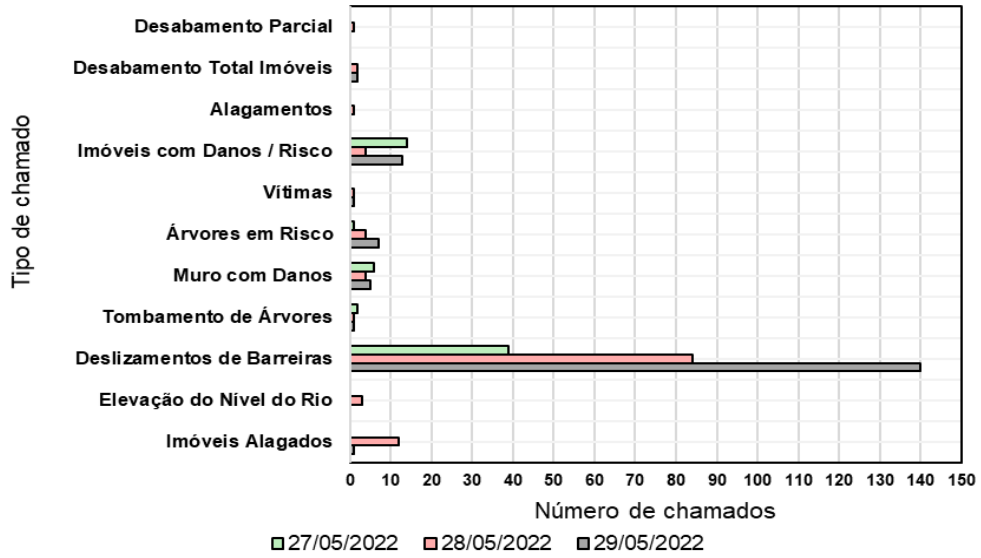
Foram disponibilizados dados por parte da Defesa Civil – Recife (SEDEC PE) de ocorrência de chamados para os dias de 27, 28 e 29/05/2022, período no qual observou-se chuvas extremas para o Recife.

Observou-se nos dias 27, 28 e 29/05/2022, respectivamente, um total de 512, 599 e 590 chamados para o município do Recife, sendo esses caracterizados como

imóveis alagados, elevação do nível do rio, deslizamentos de barreiras, tombamento de árvores, muro com danos, árvores em risco, vítimas, imóveis com danos/risco, alagamentos, desabamento total imóveis e desabamento parcial.

Na Figura 64 detalha-se o levantamento dos tipos de ocorrência dos chamados para defesa civil no período de 27 até 29 de maio de 2022, Na qual o deslizamento de barreiras destaca-se com um maior número de chamados nos três dias em questão.

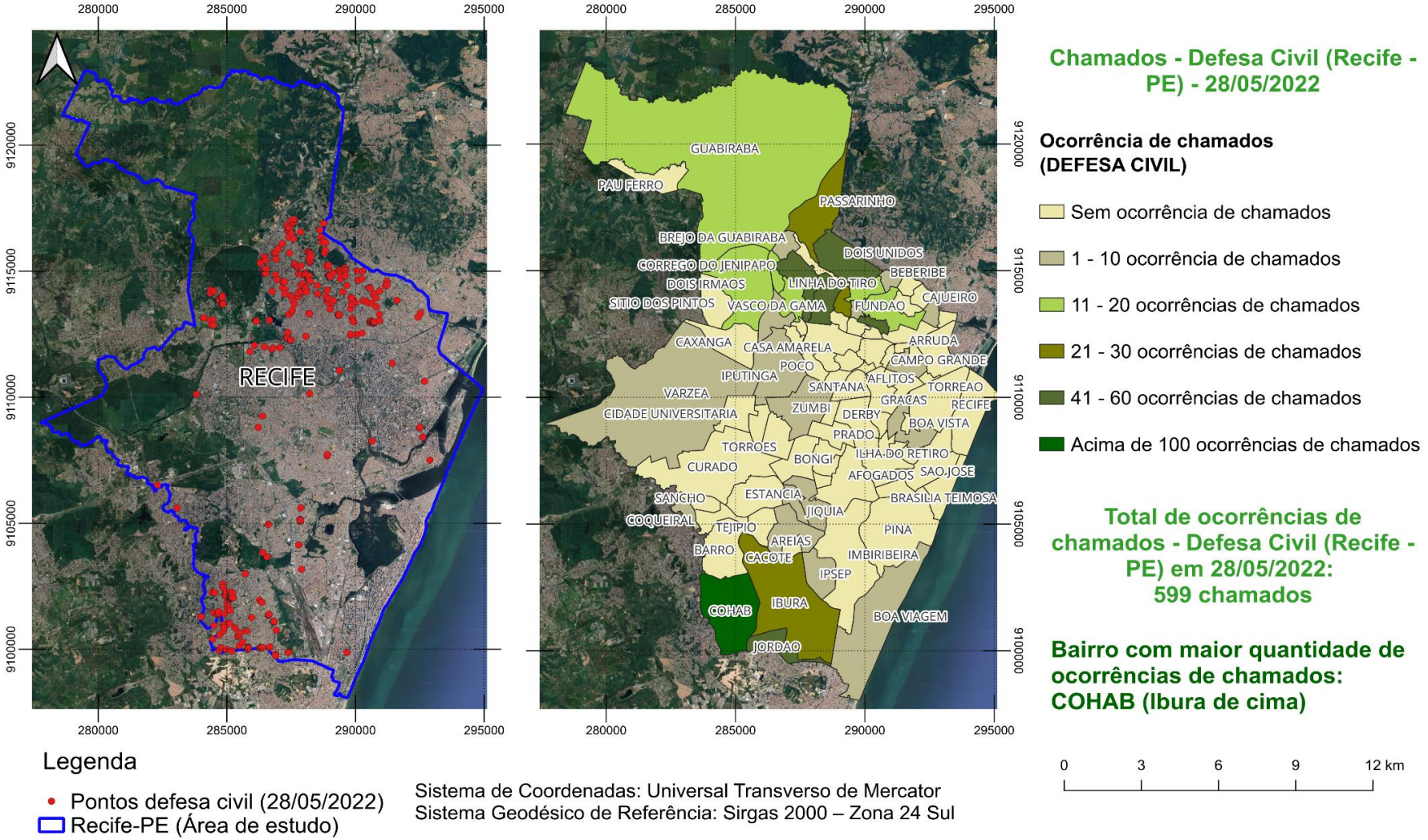
Figura 64 – Tipos de ocorrências dos chamados para a Defesa Civil (27, 28 e 29/05/2022).



Fonte: Autora (2024).

Levando em consideração os altos índices pluviométricos encontrados para o dia 28 de maio de 2022, conforme apresentado no **item 4.1.2**, assim como a grande quantidade de chamados, tem-se na Figura 65 a geoespacialização da estimativa dos pontos de ocorrência de chamados de acordo com a da Defesa Civil – Recife (SEDEC PE) para o dia em questão.

Figura 65 – Geoespacialização dos pontos de ocorrência de chamados em Recife (28/05/2022).



Fonte: Autora (2024).

Ao analisar a Figura 65, observa-se a concentração de chamados em dois principais pontos: na parte superior da RPA 2 (principalmente nos bairros de Dois Unidos e Bomba do Hemetério) e na parte esquerda da RPA 6 (com destaque para o bairro Cohab e Ibura). Ao comparar os dados em questão com a incidência de morros na cidade do Recife, é notório que tais bairros correspondem exatamente às principais áreas de morros, assim afirmando a vulnerabilidade deste tipo de região, principalmente em dias de altos índices pluviométricos. A Tabela 15 apresenta o levantamento da ocorrência de chamados por bairro em Recife no dia 28 de maio de 2022. Vale destacar o bairro COHAB (Ibura de Cima), com somatório de 108 chamados, acerca de 18% do valor de chamados totais (599), seguidos dos bairros Dois Unidos (10,52%) e Bomba do Hemetério (9,35%).

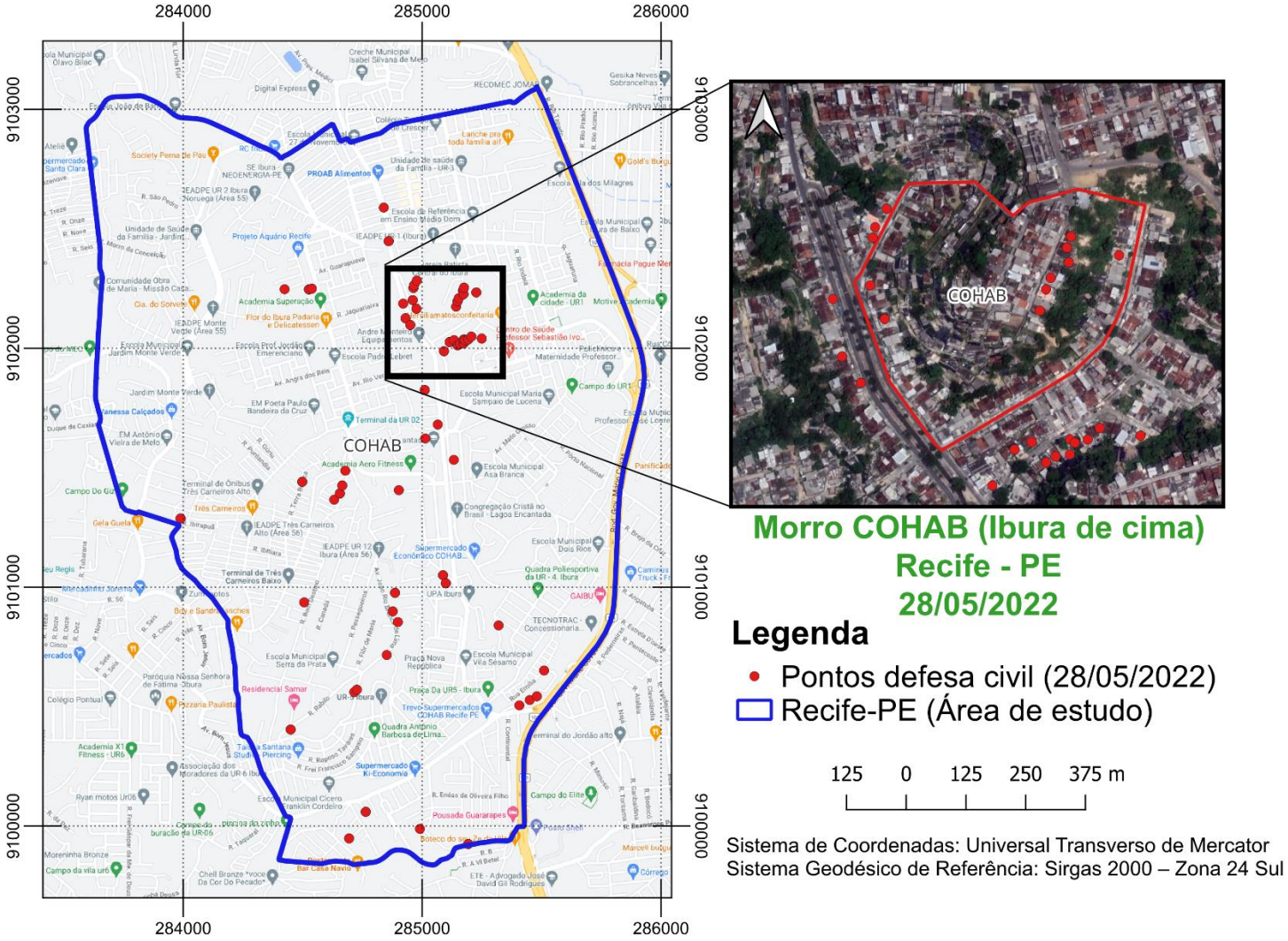
Tabela 15 – Dados de chamados em Recife (28/05/2022).

Bairro	Ocorrências		Bairro	Ocorrências	
	Unidades	(%)		Unidades	(%)
Cohab (Ibura de cima)	108	18,03%	Beberibe	6	1,00%
Dois Unidos	63	10,52%	Campina do Barreto	4	0,67%
Bomba do Hemetério	56	9,35%	Várzea	4	0,67%
Nova Descoberta	43	7,18%	Apipucos	3	0,50%
Vasco Da Gama	41	6,84%	Brejo da Guabiraba	3	0,50%
Jordão	51	8,51%	Iputinga	3	0,50%
Passarinho	23	3,84%	Apipucos	2	0,33%
Alto José Bonifácio	22	3,67%	Boa Vista	2	0,33%
Ibura	21	3,51%	Coqueiral	2	0,33%
Córrego do Jenipapo	18	3,01%	Estância	2	0,33%
Linha do Tiro	16	2,67%	Jiquiá	2	0,33%
Água Fria	13	2,17%	Alto Santa Terezinha	1	0,17%
Dois Irmãos	13	2,17%	Boa viagem	1	0,17%
Macaxeira	12	2,00%	Cordeiro	1	0,17%
Guabiraba	11	1,84%	Encruzilhada	1	0,17%
Areias	6	1,00%	Ipsep	1	0,17%
			Sítio dos Pintos	44	7,35%

Fonte: Autora (2024).

Nesse sentido, ao analisar os chamados referentes ao bairro COHAB (Ibura de Cima), que teve mais ocorrências de chamados em Recife no dia 28 de maio de 2022, foi selecionado como estudo o morro destacado na Figura 66, com grande quantidade de ocorrências dentro e próximo de sua extensão. O morro, situado na Cohab, é localizado próximo ao bairro do Ibura, nas imediações do UR-01, com coordenadas de latitude: 285108.00 m E e longitude: 9102228.00 m S (*Datum: Sirgas 2000*).

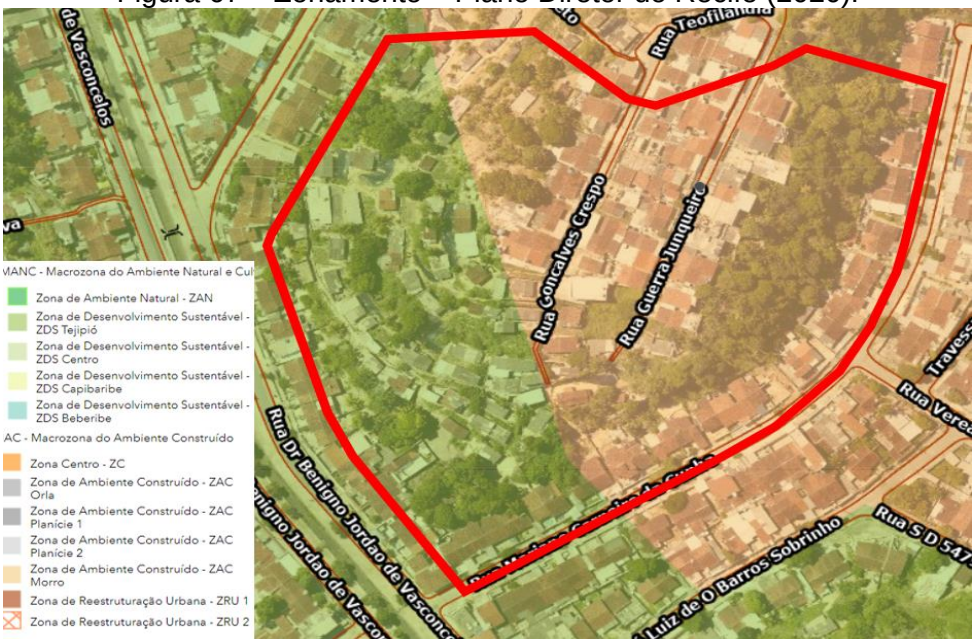
Figura 66 – Bairro Cohab com destaque para área de morro com maior quantidade de chamados próximos (28/05/2022).



Fonte: Autora (2024).

Analisando as informações da plataforma de dados ESIG Zoneamento (RECIFE, 2021), tem-se, na Figura 67, o Zoneamento da área referente ao morro analisado (em vermelho), de acordo com o Plano Diretor do Recife (Recife, 2021). Destaca-se que a parte superior direita do morro, é classificada como pertencente à Macrozona do Ambiente Construído (MAC), na Zona de Ambiente Construído (ZAC) Morro. Já a área esquerda está enquadrada na Macrozona do Ambiente Natural e Cultural (MANC), especificamente na Zona de Desenvolvimento Sustentável (ZDS). Vale destacar que, apesar de ser considerada uma região localizada na Macrozona do Ambiente Natural e Cultural (MANC), tem-se alta incidência de construção.

Figura 67 – Zonamento – Plano Diretor do Recife (2020).



Fonte: Adaptado de Prefeitura do Recife (2023).

Somado a isso, a Figura 68 mostra a base microdrenagem do morro em questão, conforme os dados ESIG Zoneamento (RECIFE, 2021). Foram identificados dispositivos na extensão dos logradouros no contorno do moro, com destaque para duas sarjetas para Rua Mariano Carneiro da Cunha, sendo um referente a captação do morro, enquanto a outra está vinculada ao aporte do fluxo da porção direita externa. Já para a Rua Jovem João Santos Neto, não foram encontradas evidências de mais de uma sarjeta, sendo esta referente a coleta da água precipitada tanto pelo morro, quanto pela porção esquerda externa. Complementarmente, para o trecho da sarjeta situada na Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos, observou-se a captação principal

advinda do morro. Somado a isso, foram encontradas 4 principais descidas d’água, conforme Figura 69.

Figura 68 – Base microdrenagem – EMLURB.

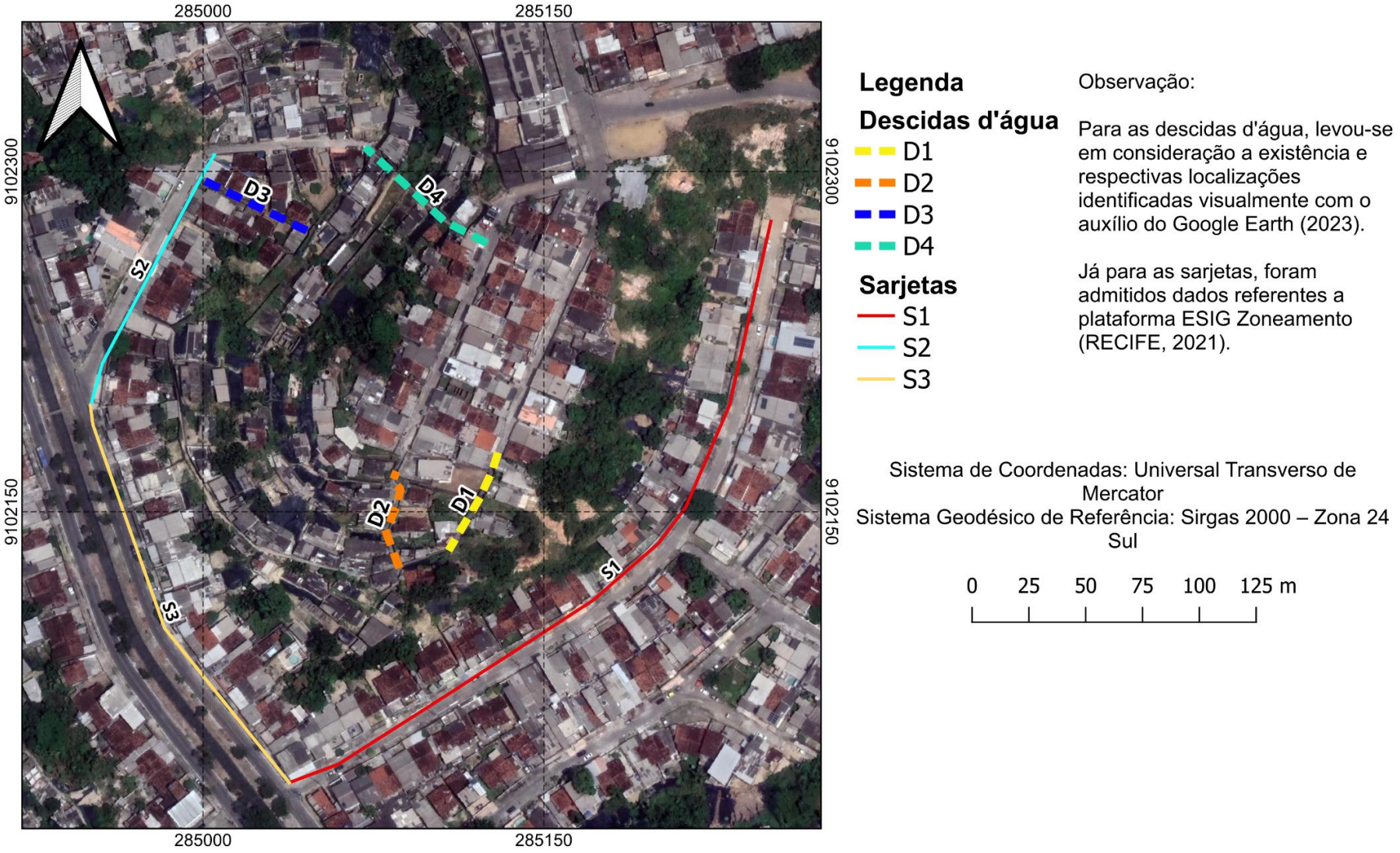
Fonte: Adaptado de Prefeitura do Recife (2023).

Figura 69 – Descidas d’água identificadas (Morro de estudo).

Fonte*: Google Earth (2023).*

Dessa forma, a Figura 70 apresenta os dispositivos levados em consideração, com identificação de 4 descidas d’água e discretização de 3 sarjetas, localizadas a partir dos logradouros.

Figura 70 – Dispositivos de drenagem superficial existentes para o morro de estudo.



Fonte: Autora (2024).

4.2 VISITA TÉCNICA

Foi realizada no dia 24/09/2023 uma visita técnica ao morro em questão, sendo assim possível observar as condições gerais da área do morro e seu entorno. A visita foi realizada em 4 principais percursos, conforme Figura 71.

Figura 71 – Registro dos percursos na visita técnica em 24/09/2023.

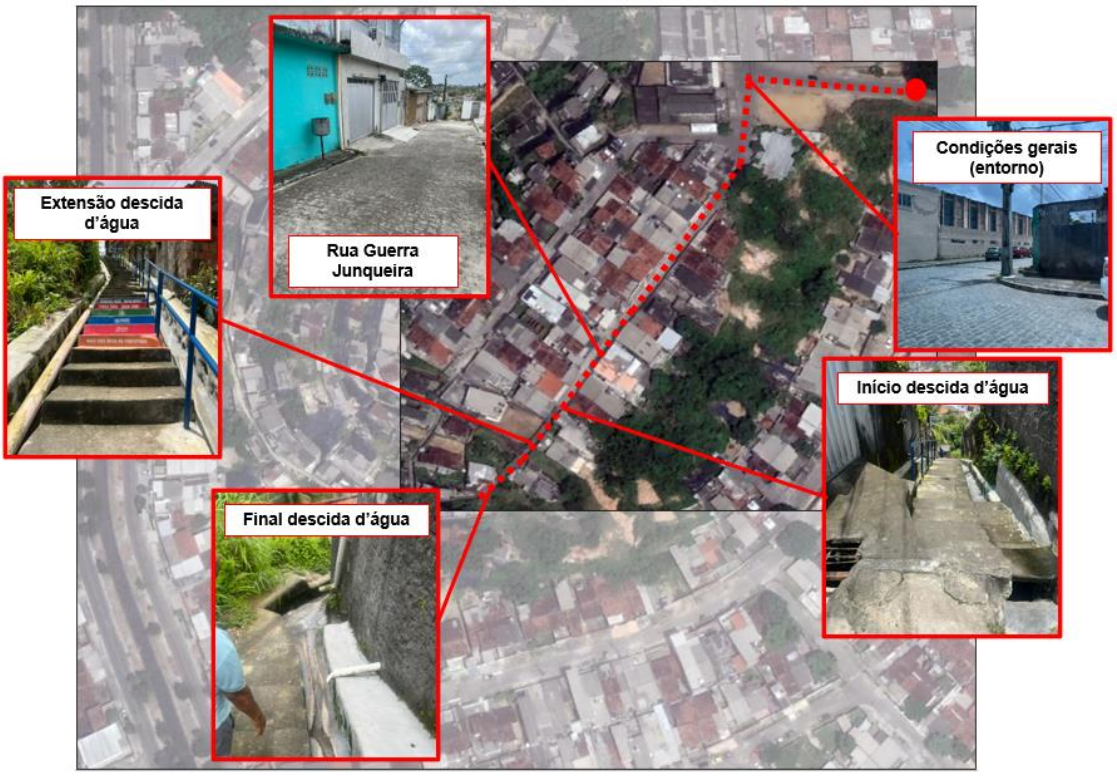
Fonte: Autora (2024).

Os itens a seguir apresentam maiores detalhes no que diz respeito aos percursos descritos.

4.2.1 Percurso 1: Entorno e Rua Guerra Junqueira

O Percurso 1 consistiu na análise das condições das áreas próximas ao morro e à Rua Guerra Junqueira, na qual encontra-se na elevação aproximada de 75 m, mais elevada do morro (Figura 72).

Figura 72 – Visita técnica (24/09/2023): Percurso 1.



Fonte: Autora (2024).

Sobre os arredores da área, foram encontrados locais em condições gerais satisfatórias, asfaltas e sem grandes acúmulos de lixo (Figura 73). No entanto, identificou-se alguns problemas estruturais no meio fio e no asfalto (Figura 74).

Figura 73 – Acesso à rua Guerra Junqueira (ponto mais alto).

Fonte: Autora (2024).

Figura 74 – Área próxima à rua Guerra Junqueira.

Fonte: Autora (2024).

Foram observadas boas condições na extensão da Rua Guerra Junqueira, com superfície asfaltada e com poucos sinais de problemas estruturais que pudessem afetar a segurança da população. Observou-se a não obstrução da passagem de drenagem (Figura 75), o que facilita o encaminhamento do fluxo pluvial, evitando acúmulos de água ao longo da via.

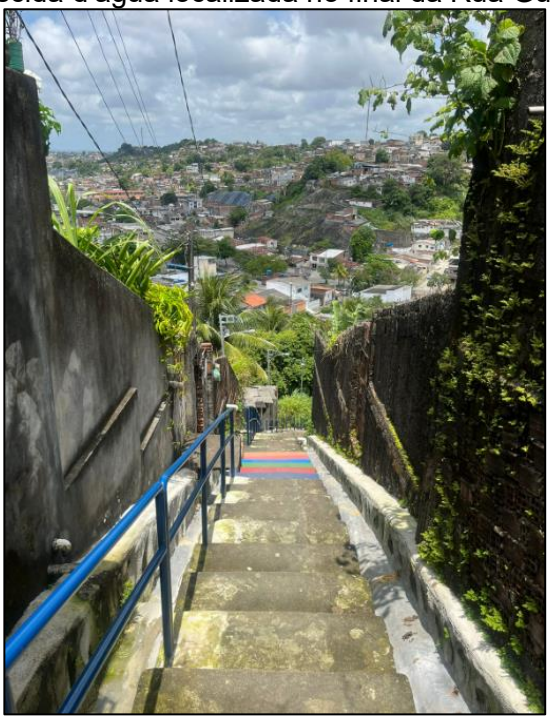
Figura 75 – Rua Guerra Junqueira: Fluxo livre e sem obstrução.

Fonte: Autora (2024).

Em seguida, foi identificada a existência de uma descida d’água na área do final da Rua Guerra Junqueira, conforme Figura 76. Em aspectos gerais, observou-se boas

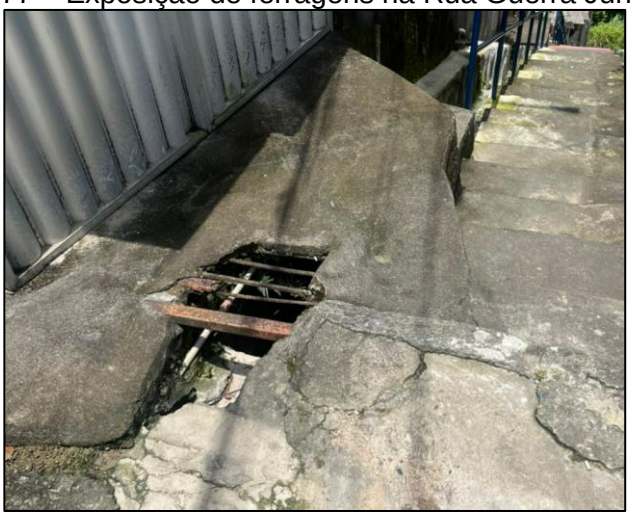
condições, com exceção da região inicial esquerda, na qual foi verificada exposição de ferragens, provavelmente ligada à circulação de veículos (Figura 77).

Figura 76 – Descida d’água localizada no final da Rua Guerra Junqueira.



Fonte: Autora (2024).

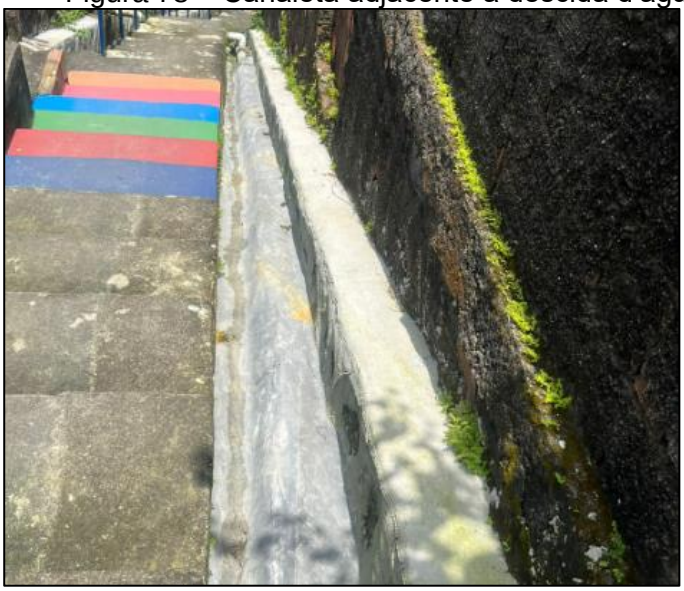
Figura 77 – Exposição de ferragens na Rua Guerra Junqueira.



Fonte: Autora (2024).

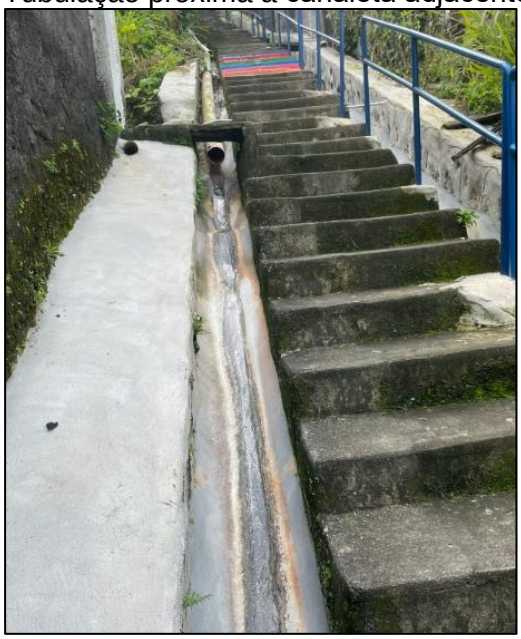
Durante a visita, foi possível identificar a existência de canaletas adjacentes à descida d’água, do lado direito e esquerdo (Figura 78a). Conforme informado pela população da área (Figura 78b), possivelmente essas canaletas estão ligadas à passagem da tubulação da COMPESA para abastecimento de água e/ou encaminhamento de esgoto.

Figura 78 – Canaleta adjacente à descida d’água.



Fonte: Autora (2024).

Figura 79 – Tubulação próxima a canaleta adjacente à descida d’água.



Fonte: Autora (2024).

Somado a isso, foi verificado, também, a existência de tubulação saindo das residências que em vários pontos na extensão do dispositivo, possivelmente também ligadas ao encaminhamento de esgoto (Figura 80). Ao final da descida d’água (Figura 81), observou-se o estrangulamento do dispositivo e encaminhamento do fluxo hídrico para um canal retangular.

Figura 80 – Contribuição do esgoto.

Fonte: Autora (2024).

Figura 81 – Final da descida d’água.

Fonte: Autora (2024).

4.2.2 Percurso 2: Caminho do canal retangular

Para o Percurso 2, foi percorrido a extensão do canal retangular, conforme Figura 82.

Figura 82 – Visita técnica (24/09/2023): Percurso 2.

Fonte: Autora (2024).

A Figura 83 apresenta o início do canal retangular, com destaque para a dificuldade no acesso e periculosidade no trânsito, podendo gerar acidentes. Ao longo da extensão do canal, observou-se diversos focos de contribuição, possivelmente ligados ao descarte de esgoto (Figura 84).

Figura 83 – Canal retangular localizado próxima a descida d'água D2.

Fonte: Autora (2024).

Figura 84 – Possíveis descartes de esgoto no canal retangular.

Fonte: Autora (2024).

Ao longo da extensão do canal, foram observados tantos trechos protegidos com placas, possivelmente visando o trânsito de pessoas, com também sem proteção (Figura 85 e Figura 86). Ressalta-se que, de acordo com a população residente, recentemente foi realizada uma desobstrução desse canal, facilitando o fluxo pluvial deste dispositivo.

Figura 85 – Trecho canal retangular (1/2).

Fonte: Autora (2024).

Figura 86 – Trecho canal retangular (2/2).

Fonte: Autora (2024).

Realizou-se a medição das dimensões do canal (Figura 87), sendo encontrada uma altura e largura da seção nos valores de 0,74 e 0,60 metros, respectivamente.

Figura 87 – Medição das dimensões – Canal retangular.

Fonte: Autora (2024).

Ao longo do trecho foi observado áreas com colocação de lona, conforme Figura 88, possivelmente ligado a pontos de desabamento ocorridos na região. Vale ressaltar que a colocação de lona se trata de uma medida emergencial, podendo influenciar no aumento do escoamento superficial caso seja mantida na área, uma vez que diminui a capacidade de infiltração da superfície.

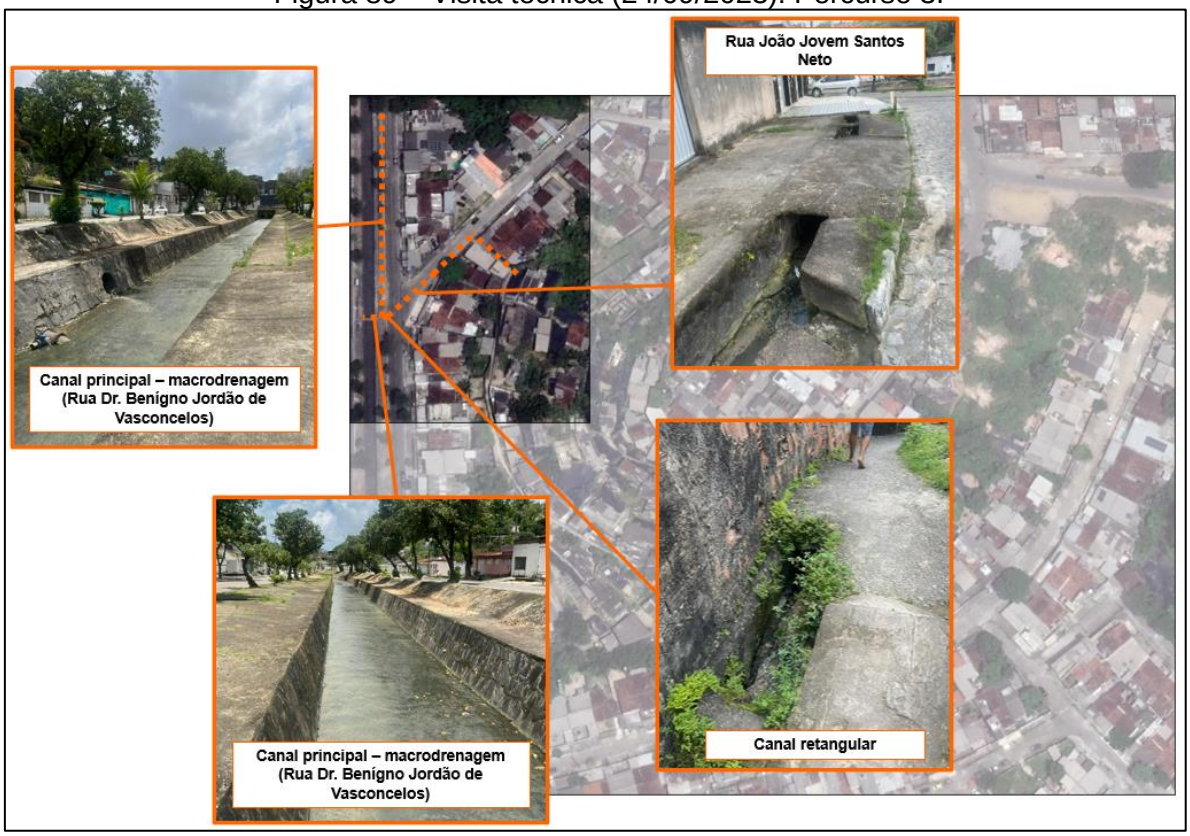
Figura 88 – Ponto com colocação de lona.

Fonte: Autora (2024).

4.2.3 Percurso 3: Canal principal e Rua João Jovem Santos Neto

O Percurso 3 (Figura 89) consistiu na Rua João Jovem Santos Neto, com destaque para a continuação do canal retangular, assim como a Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos, na qual foi observado o canal principal (macrodrenagem).

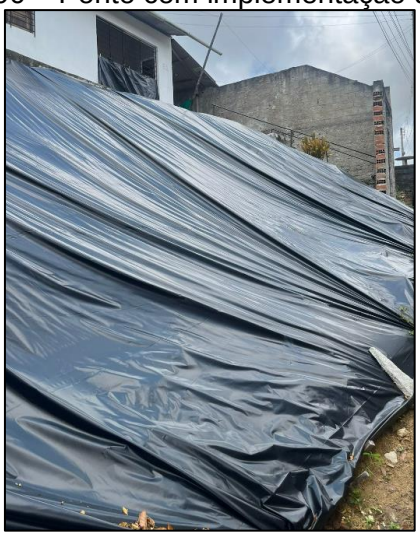
Figura 89 – Visita técnica (24/09/2023): Percurso 3.



Fonte: Autora (2024).

No início da trajetória, foi observado áreas com colocação de lona (conforme exemplo Figura 90), o que indica possíveis pontos de desabamento de terra.

Figura 90 – Ponto com implementação de lona.



Fonte: Autora (2024).

Somado a isso, também observou-se, ao longo do trecho, a existência de entulhos descartados de forma inadequada (exemplo Figura 91), o que pode interferir

negativamente no encaminhamento do fluxo pluvial, podendo obstruir os dispositivos, assim como servir como alojamento de animais que podem veicular doenças para população.

Figura 91 – Entulhos encontrados na área.

Fonte: Autora (2024).

No que diz respeito ao canal retangular, foi possível observar pontos de descarga e esgoto em vários locais (Figura 92), assim como alta vegetação em trechos, o que pode gerar impactos na sua eficiência (Figura 93).

Figura 92 – Pontos de descarga de esgoto.

Fonte: Autora (2024).

Figura 93 – Trechos obstruídos por vegetação.

Fonte: Autora (2024).

Sobre a sarjeta localizada na Rua João Jovem Santos Neto, foram observados tanto pontos com funcionamento (Figura 94), quanto pontos “preenchidos” por concreto (Figura 95), possivelmente modificados pela população para passagem de veículos. Tal situação é de extrema importância, uma vez que esse “preenchimento” interfere no escoamento da sarjeta e, consequentemente, no encaminhamento do fluxo pluvial.

Figura 94 – Sarjeta na Rua João Jovem Santos Neto.

Fonte: Autora (2024).

Figura 95 – Pontos “preenchidos” da sarjeta na Rua João Jovem Santos Neto.

Fonte: Autora (2024).

Em relação ao canal principal (Figura 96 até Figura 98), observou-se, em geral, boas condições, sem problemas visíveis.

Figura 96 – Canal principal (1/3).

Fonte: Autora (2024).

Figura 97 – Canal principal (2/3).

Fonte: Autora (2024).

Figura 98 – Canal principal (3/3).

Fonte: Autora (2024).

4.2.4 Percurso 4: Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos e Rua Mariano Carneiro Cunha

A Figura 99 detalha o Percurso 4, na qual foi possível analisar a extensão do canal retangular na Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos, assim como analisar as condições encontradas na Rua Mariano Carneiro da Cunha.

Figura 99 – Visita técnica (24/09/2023): Percurso 4.

Fonte: Autora (2024).

Na extensão da Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos observou-se a continuidade do canal retangular, com destaque para diversos pontos de obstrução (Figura 100 e Figura 101), assim como possíveis pontos de despejo de esgoto sanitário.

Figura 100 – Ponto de obstrução no canal retangular (1/2).

Fonte: Autora (2024).

Figura 101 – Ponto de obstrução no canal retangular (2/2).

Fonte: Autora (2024).

Em aspectos gerais, não foram encontradas grandes problemáticas em relação às condições encontradas para a sarjeta localizada na Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos, conforme Figura 102.

Figura 102 – Sarjeta na Rua João Jovem Santos Neto (1/2).

Fonte: Autora (2024).

Na Figura 103 têm-se parte da extensão do canal principal (macrodrenagem) na Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos. Ressalta-se que também não foram encontradas grandes diferenças em relação ao canal principal.

Figura 103 – Canal principal (Rua Dr. Benígno Jordão de Vasconcelos).

Fonte: Autora (2024).

Em relação à Rua Mariano Carneiro da Cunha, foram encontrados diversos pontos de impedimento de fluxo, com exemplos mostrados na Figura 104 e Figura 105. Tal situação é de grande preocupação, visto que o impedimento do fluxo de escoamento nas sarjetas pode gerar acúmulo de água nessas áreas.

Figura 104 – Sarjeta na Rua Mariano Carneiro da Cunha (1/2).

Fonte: Autora (2024).

Figura 105 – Sarjeta na Rua Mariano Carneiro da Cunha (2/2).

Fonte: Autora (2024).

4.3 AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HIDRÁULICA

Para a avaliação de segurança hidráulica, foram consideradas as sarjetas e descidas d'água existentes (microdrenagem). Ressalta-se que levando em consideração que grande parte do canal retangular está revestido com placas, assim como não foi citada sua existência na plataforma de dados ESIG Zoneamento (RECIFE, 2021), optou-se por considerar esse dispositivo como correspondente ao manejo do fluxo do esgoto da área para o trabalho em questão.

Dessa forma, foi calculada a vazão de projeto das áreas de contribuição definidas, as vazões admissíveis para cada dispositivo e a avaliação de segurança referente.

4.3.1 Vazão de projeto

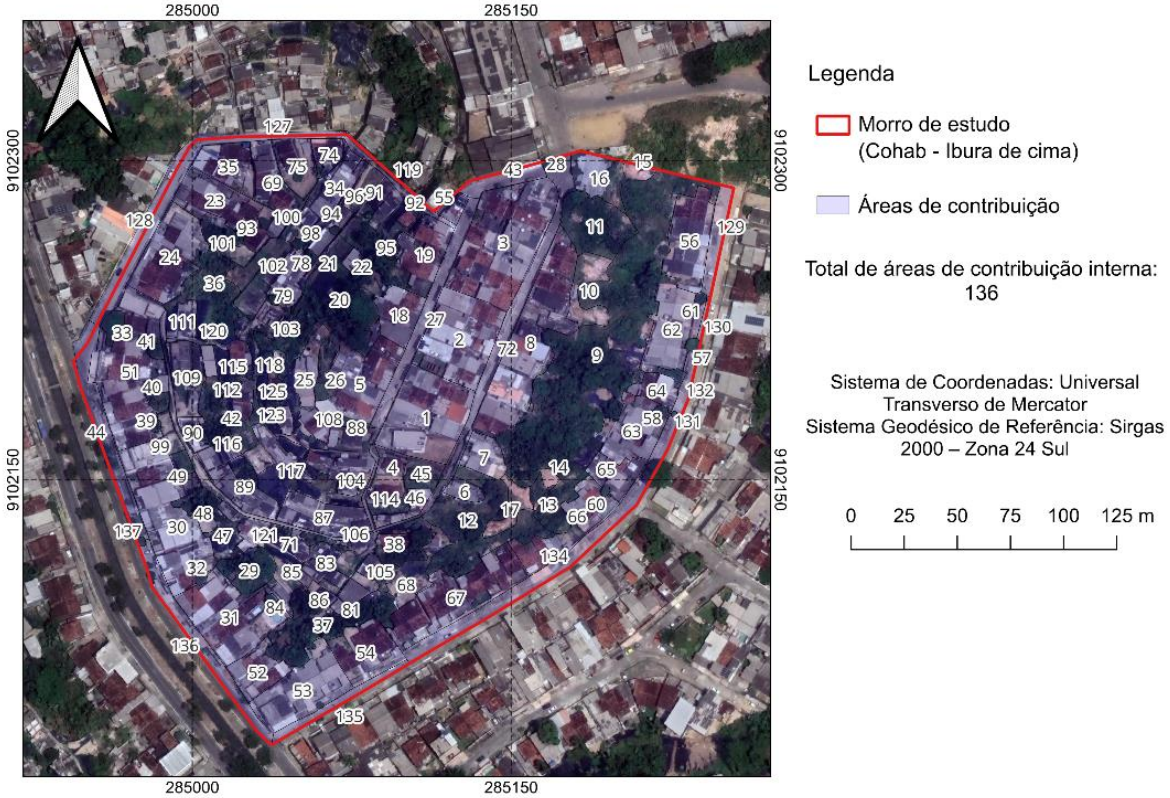
Para o cálculo da vazão de projeto encaminhada para cada dispositivo a partir do evento extremo considerado, foram admitidas tanto as contribuições internas do próprio morro, como também as contribuições externas na área próxima ao morro para a Rua João Jovem Santos Neto. Os itens a seguir detalham os resultados encontrados.

4.3.1.1 Áreas de contribuição

Áreas de contribuição internas ao morro

A Figura 106 é apresentado o uso e ocupação do solo conforme metodologia apresentada no **item 3.4.1**. No **Apêndice A** é apresentado o valor encontrado, em m², para cada uma dessas áreas.

Figura 106 – Áreas de contribuição internas do morro de estudo.



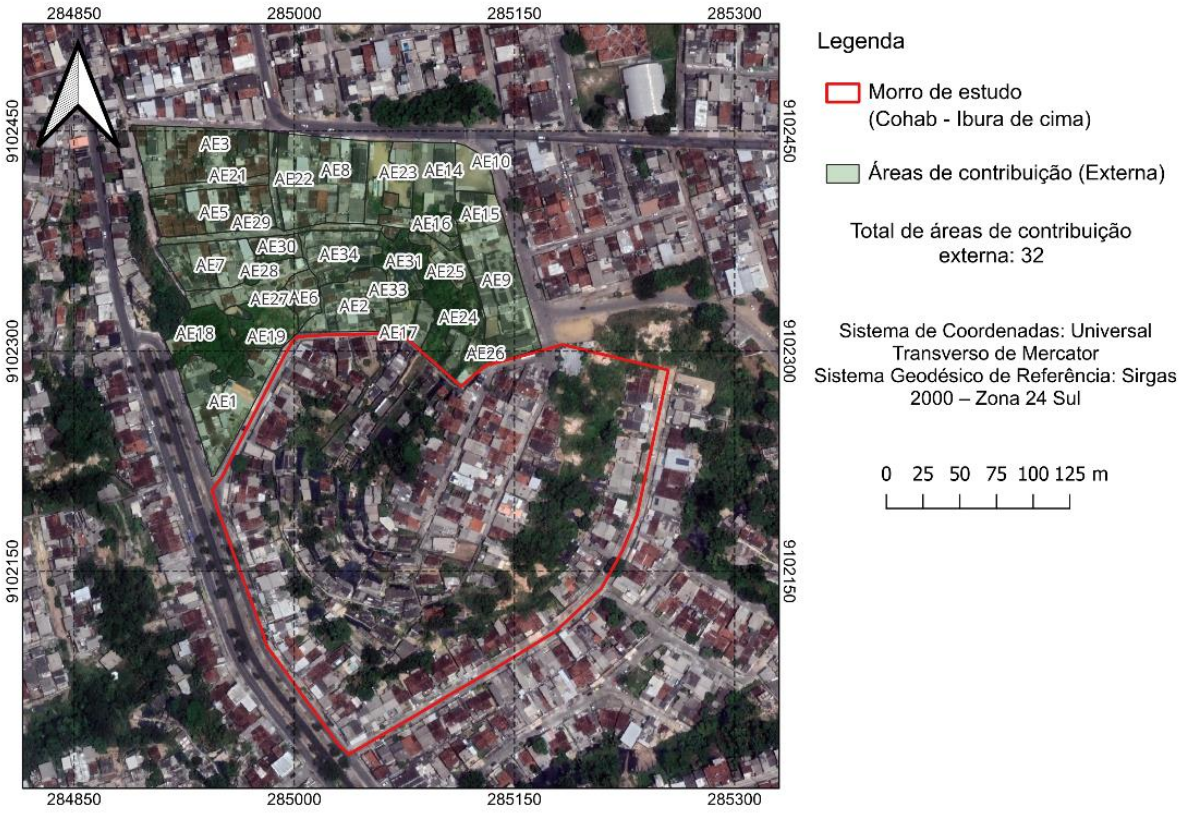
Fonte: Autora (2024).

Somado a isso, o **Apêndice B** mostra mais detalhadamente os principais usos e ocupação do solo considerados os telhados, terrenos cultivados em vales, terrenos cultivados em vales, terreno estéril montanhoso e superfícies asfaltadas.

Áreas de contribuição externas ao morro

Conforme **item 3.4.1**, considerou-se que o trecho da sarjeta localizado na Rua Jovem João Santos Neto é responsável pela coleta da água precipitada tanto pelo morro, quanto pela porção esquerda externa, uma vez que, de acordo com a plataforma ESIG, não foram encontradas evidências da existência de uma segunda sarjeta no logradouro. Dessa forma, considerou-se a contribuição externa de acordo com a topografia da região, conforme Figura 107. No **Apêndice A** é apresentado o valor encontrado, em m², para cada uma dessas áreas.

Figura 107 – Áreas de contribuição externas do morro de estudo.



Fonte: Autora (2024).

Complementarmente, o **Apêndice B** apresenta detalhadamente os principais usos e ocupação do solo considerados os telhados, terrenos cultivados em vales, terrenos cultivados em vales, terreno estéril montanhoso e superfícies asfaltadas.

4.3.1.2 Intensidade pluviométrica

No que diz respeito a intensidade pluviométrica adotada, inicialmente, utilizou-se como base tanto o próprio dia 28 de maio de 2022, como também os três dias anteriores, conforme as precipitações apresentadas na Tabela 16.

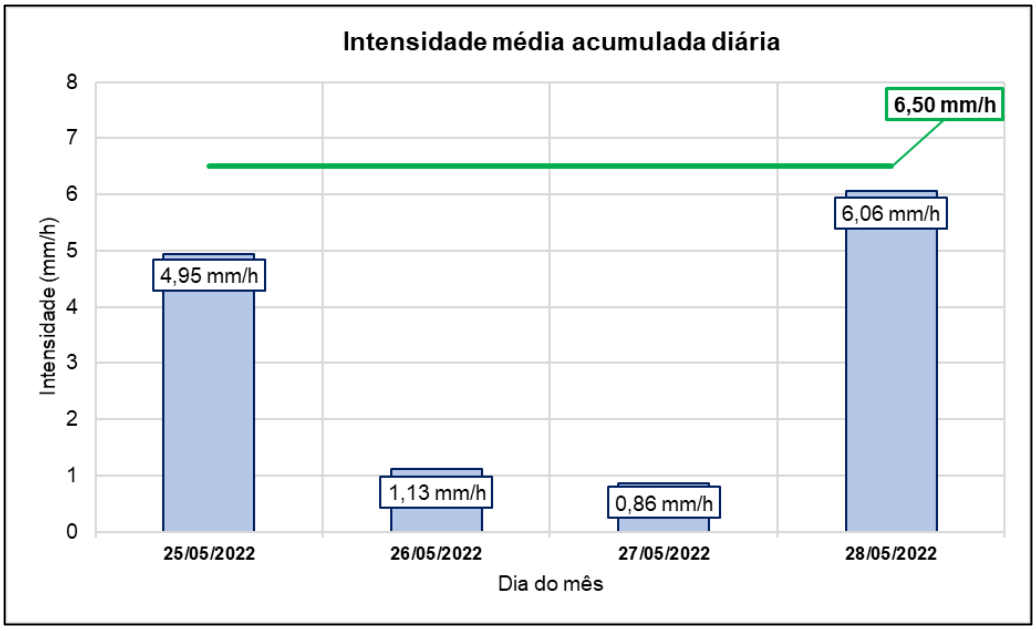
Tabela 16 – Precipitação acumulada média diária.

Data	25/05/2022	26/05/2022	27/05/2022	28/05/2022
Precipitação (mm)	118,75	27,04	20,72	145,33

Fonte dos dados: APAC (2023).

Na Figura 108 têm-se o gráfico da intensidade pluviométrica média acumulada diária 25, 26, 27 e 28 de maio de 2022, intensidade de 6,50 mm/h, conforme metodologia apresentada no **item 3.2.4.**

Figura 108 – Intensidades máximas nos dias de 25 a 28 de maio de 2022, em Recife-PE.



Fonte: Autora (2024).

4.3.1.3 Determinação do coeficiente de escoamento superficial

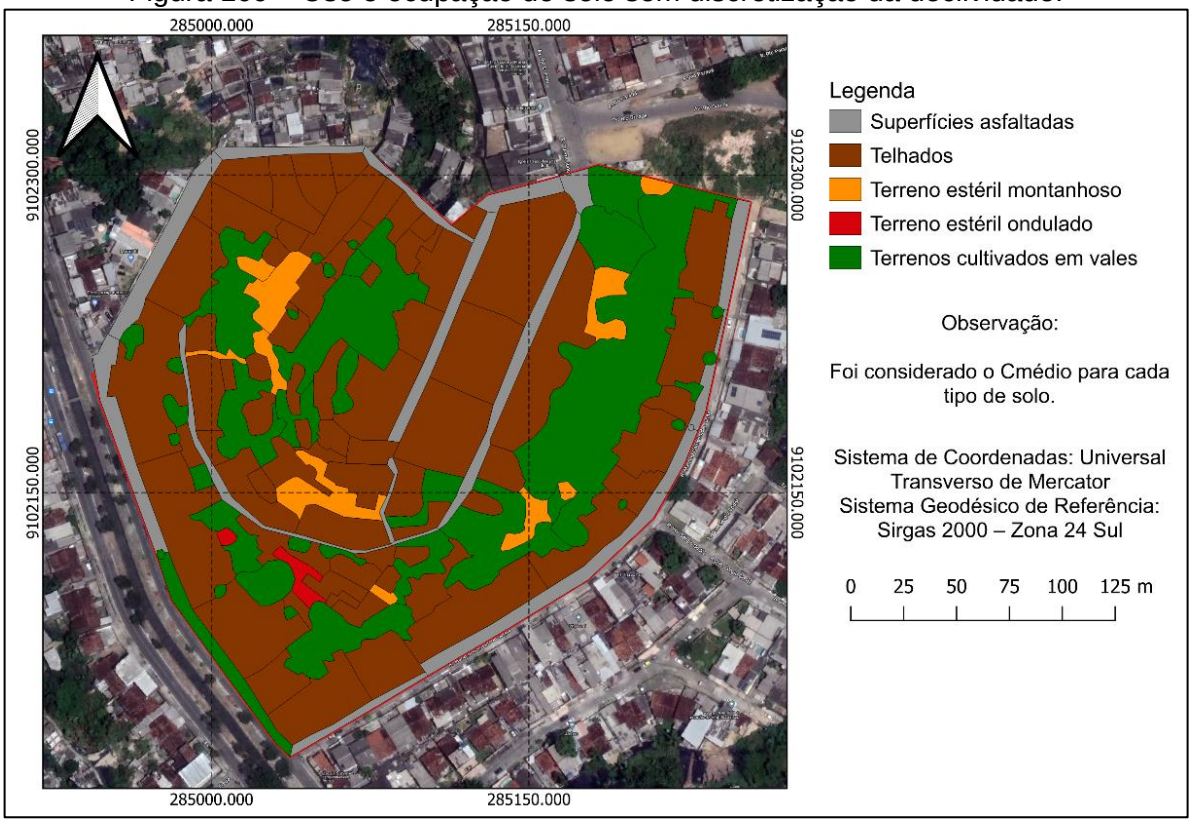
Para a determinação do coeficiente do escoamento superficial, levou-se em consideração dois cenários: sem e com discretização da declividade, conforme **item 3.4.1**. Os tópicos seguintes apresentam os resultados referentes.

Áreas de contribuição internas ao morro

SEM DISCRETIZAÇÃO DA DECLIVIDADE

Para o cálculo da vazão gerada por cada área de contribuição a partir do evento pluviométrico extremo ocorrido de 25 até 28 de maio de 2022, foi levado em consideração os parâmetros referentes. A Figura 109 apresenta o uso e ocupação do solo sem discretização da declividade.

Figura 109 – Uso e ocupação do solo sem discretização da declividade.

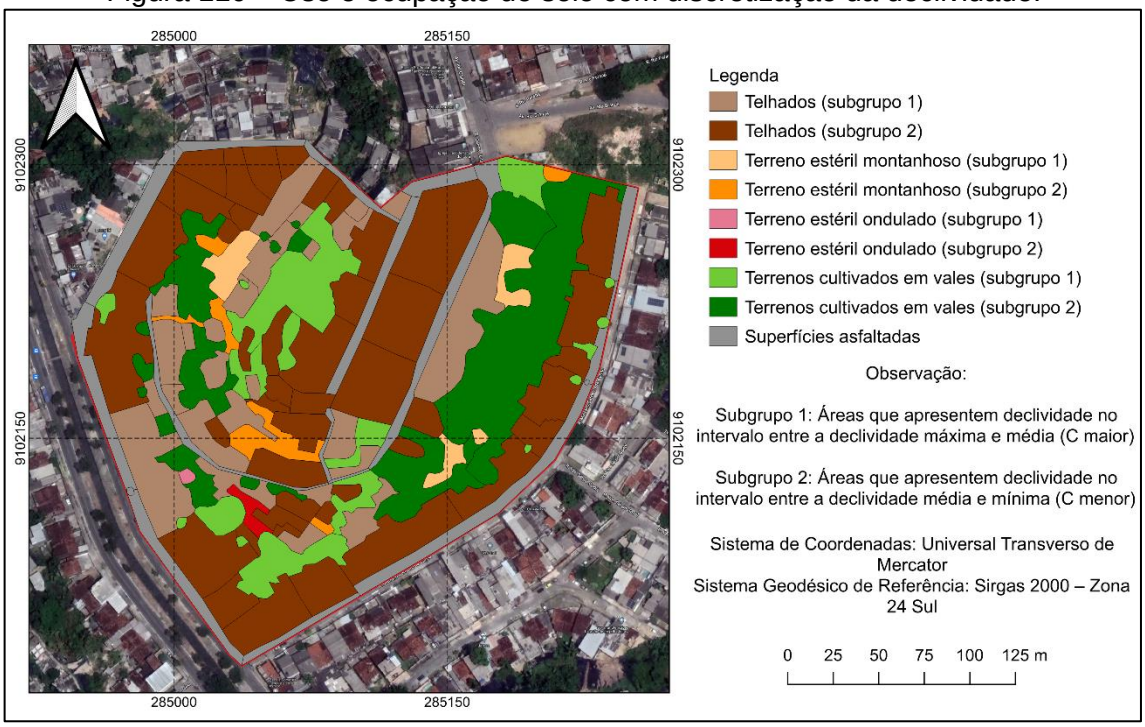


Fonte: Autora (2024).

COM DISCRETIZAÇÃO DA DECLIVIDADE

É detalhado na Figura 110 o uso e ocupação da área, levando em consideração a discretização da declividade.

Figura 110 – Uso e ocupação do solo com discretização da declividade.

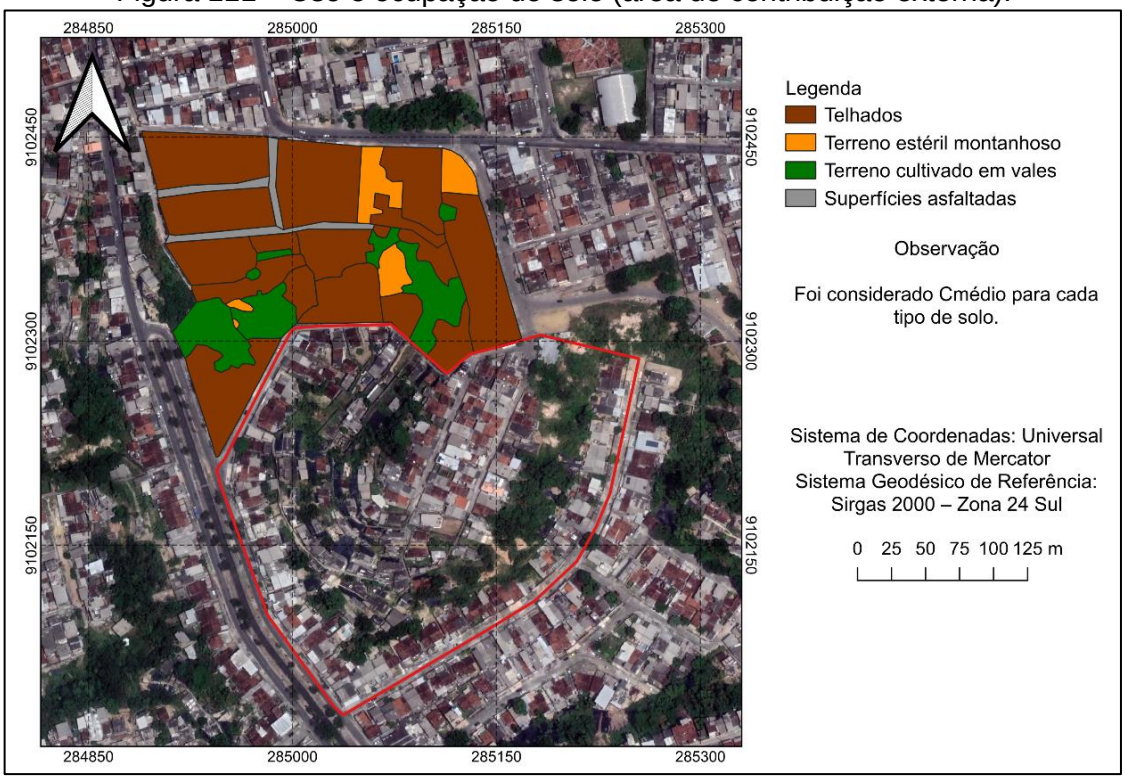


Fonte: Autora (2024).

Áreas de contribuição externas ao morro

A Figura 111 apresenta o uso e ocupação do solo para área externa considerada. Uma vez que não se trata do morro em si, não foram aplicados critérios de discretização levando em consideração a declividade.

Figura 111 – Uso e ocupação do solo (área de contribuição externa).



Fonte: Autora (2024).

4.3.1.4 Cálculo da vazão de projeto

Para o cálculo da vazão de projeto, foi aplicado o Método Racional, conforme metodologia apresentada no **item 3.4.1**.

Áreas de contribuição internas ao morro

Para a área interna do morro, visando adoção de um cenário com maior criticidade, foi avaliada a vazão para cada área de contribuição e adotado o cenário que apresentou a valor da vazão de projeto superior. Destaca-se que das 136 áreas de contribuição admitidas, 50% apresentaram valor de vazão de projeto superior no cenário sem discretização, 36,8% em situação de discretização e 13,2% encontraram valores iguais para os dois cenários, correspondendo a áreas que não apresentam grandes diferenças de declividade. No **Apêndice C** deste documento são apresentados os valores encontrados para vazão de projeto sem discretização (m³/h), vazão de projeto com discretização (m³/h), diferença (m³/h) e cenário adotado para cada área.

Áreas de contribuição externas ao morro

São apresentados no **Apêndice C** os valores calculados referente à vazão de projeto das áreas externas, situadas na porção esquerda, que contribuem para a sarjeta localizada na Rua Jovem João Santos Neto, com uma vazão total de 0,19 m³/s.

4.3.2 Sarjetas: vazão admissível

Para o cálculo da vazão admissível das sarjetas, foi aplicada a metodologia apresentada no **item 3.4.2 e item 3.4.3**, respectivamente.

4.3.2.1 Coeficiente de simplificação

A Tabela 17 apresenta a avaliação do coeficiente de simplificação para as vias avaliadas. Observa-se que as larguras variam entre 6 e 8 metros.

Tabela 17 – Avaliação do coeficiente de simplificação K.

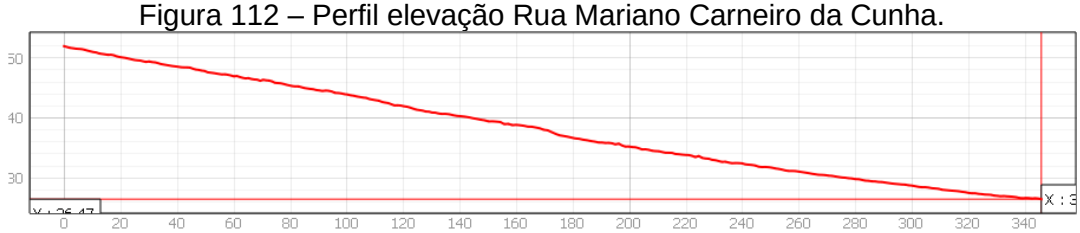
Rua	Sarjeta	Largura				K
		início	meio	fim	média	
Rua Mariano Carneiro da Cunha	S1	10,18	6,11	8,92	8,40	1,616
Rua Jovem João Santos Neto	S2	6,18	6,17	6,39	6,25	1,257
Rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos	S3	10,18	7,13	6,18	7,83	1,436

Fonte: Autora (2024).

4.3.2.2 Declividade da via

A Figura 112 apresenta o perfil elevação do logradouro Para a rua Mariano Carneiro da Cunha, foi encontrado para as cotas máxima e mínima o valor de 51,94 e 26,57 metros, com comprimento de 350,40 metros. Dessa forma, foi encontrada uma declividade de **0,0724 m/m.**

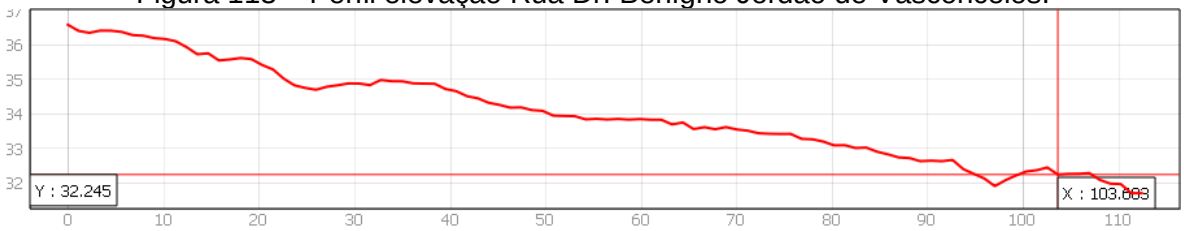
Figura 112 – Perfil elevação Rua Mariano Carneiro da Cunha.



Fonte: Autora (2024).

Já a Figura 112 detalha o perfil elevação para a rua Jovem João Santos Neto (S2). Para o logradouro em questão, foi encontrado para as cotas máxima e mínima o valor de 36,05 e 31,16 metros, com comprimento de 123,356 metros. Dessa forma, foi encontrada uma declividade de **0,0433 m/m.**

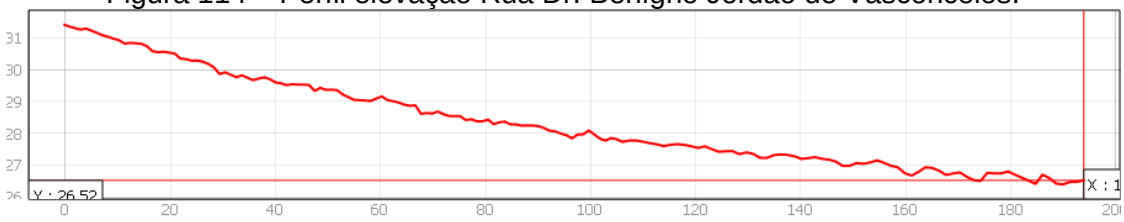
Figura 113 – Perfil elevação Rua Dr. Benígno Jordão de Vasconcelos.



Fonte: Autora (2024).

Para a rua Dr. Benigno Jordão de Vasconcelos (S3) foi encontrada uma declividade de **0,0337 m/m**, com cotas máxima e mínima o valor de 31,16 e 26,57 metros, com comprimento de 191,03 metros. A Figura 114 apresenta o perfil elevação do logradouro.

Figura 114 – Perfil elevação Rua Dr. Benígno Jordão de Vasconcelos.



Fonte: Autora (2024).

4.3.2.3 Cálculo da vazão admissível

Referente ao cálculo da vazão admissível das sarjetas, ou seja, a vazão suportada pelos dispositivos, foi aplicado a Equação de Izzard, de acordo com a metodologia apresentada no **item 3.4.2.**

A Tabela 18 apresenta os resultados encontrados, levando em consideração uma intensidade pluviométrica de 6,50 mm/h, com vazões admissíveis inferiores a 0,5 m³/s.

Tabela 18 – Valores da vazão admissível (sarjetas).

Rua	Largura média	K	Declividade (m/m)	Q sarjeta (m³/s)
Rua Mariano Carneiro da Cunha	8,40	1,616	0,07	0,43
Rua Jovem João Santos Neto	6,25	1,257	0,04	0,26
Rua Dr. Benígno Jordão de Vasconcelos	7,83	1,436	0,02	0,22

Fonte: Autora (2024).

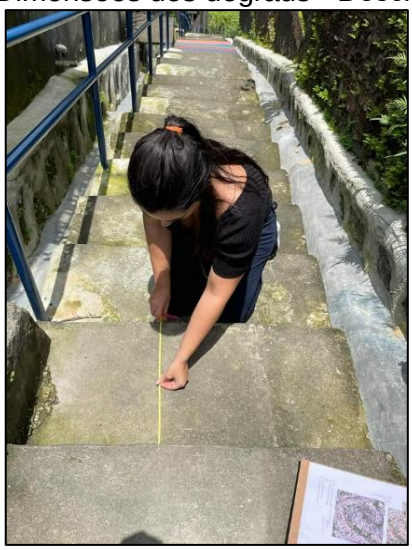
4.3.3 Descidas d’água: SisCCoH

Os itens seguintes apresentam os parâmetros considerados durante o trabalho em questão para a estimativa da avaliação das descidas d’água.

4.3.3.1 Dimensões adotadas (Visita técnica)

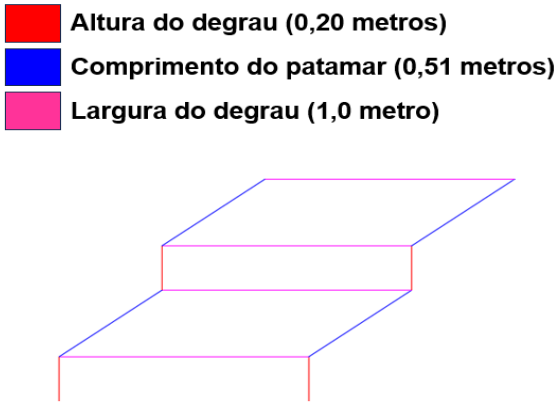
Visando o auxílio da avaliação de segurança hidráulica do dispositivo, durante a visita técnica, realizou-se a aferição das dimensões dos degraus (Figura 115) para a descida d'água D2, sendo encontrado os valores de 0,2 e 0,51 metros para altura do degrau e comprimento do patamar, respectivamente, assim como 1 metro para a largura do degrau (modelo de esquemático conforme trecho apresentado na Figura 116).

Figura 115 – Dimensões dos degraus - Descida d'água D2.



Fonte: Autora (2024).

Figura 116 – Modelo esquemático das dimensões dos degraus - Descida d'água.



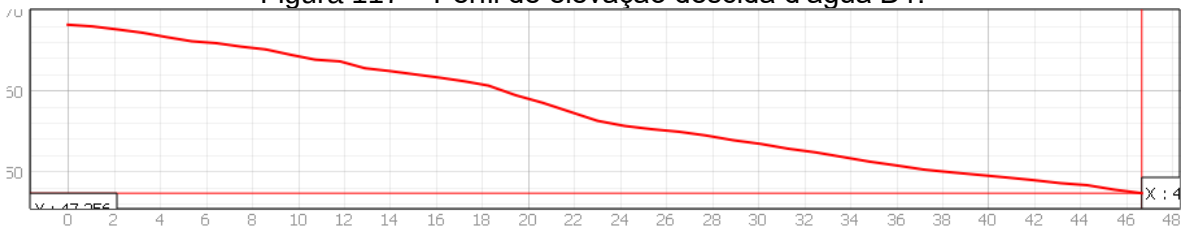
Fonte: Autora (2024).

Visando otimização, utilizou-se as medidas em questão como padrão para as descidas d'água analisadas.

4.3.2.2 Declividade da descida d’água

Na Figura 117 tem-se o perfil de elevação da descida d’água D1, na qual foram registradas cotas máxima e mínima o valor de 68,00 e 47,55 metros, com comprimento de 44,99 metros. Dessa forma, foi encontrada uma declividade de **0,456 m/m.**

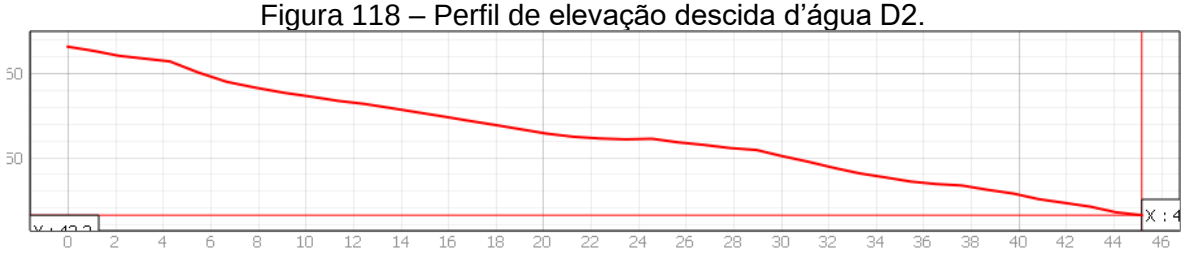
Figura 117 – Perfil de elevação descida d’água D1.



Fonte: Autora (2024).

Para a descida d’água D2, foi encontrada uma declividade de **0,469 m/m,** com cotas máxima e mínima o valor de 62,36 e 42,54 metros, com comprimento de 42,86 metros. A Figura 118 apresenta o perfil elevação do logradouro.

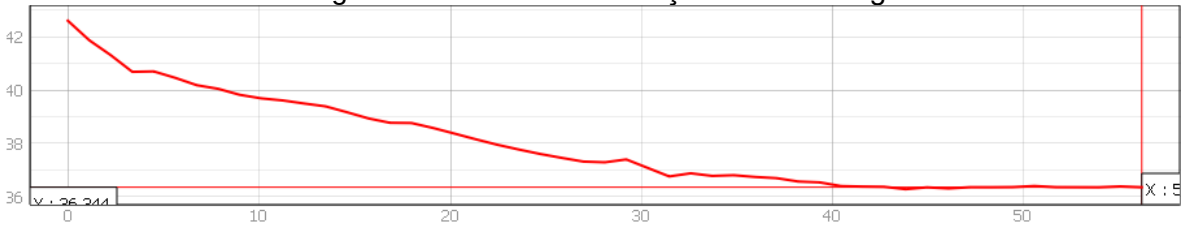
Figura 118 – Perfil de elevação descida d’água D2.



Fonte: Autora (2024).

Referente a descida d’água D3, na Figura 119 tem-se o perfil o perfil elevação do dispositivo, sendo encontradas cotas máxima e mínima o valor de 42,78 e 36,31 metros, como também comprimento de 50,84 metros, resultando em uma declividade igual a **0,127 m/m.**

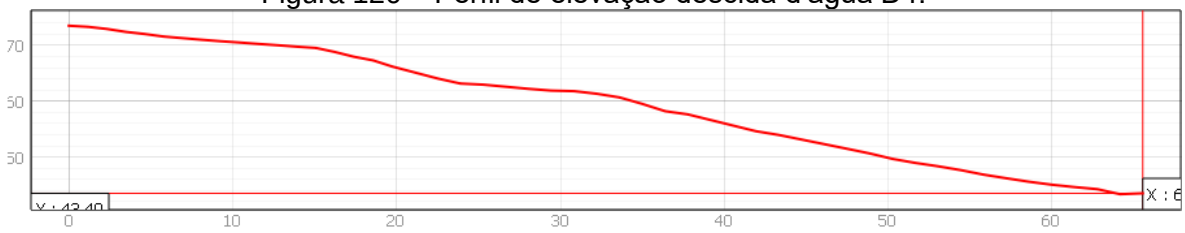
Figura 119 – Perfil de elevação descida d’água D3.



Fonte: Autora (2024).

Por fim, tem-se na Figura 120 o perfil de elevação referente à descida d'água D4, que apresentou cotas máxima e mínima o valor de 73,49 e 42,22 m, com comprimento de 46,94 m. Dessa forma, foi calculada uma declividade de **0,478 m/m.**

Figura 120 – Perfil de elevação descida d'água D4.



Fonte: Autora (2024).

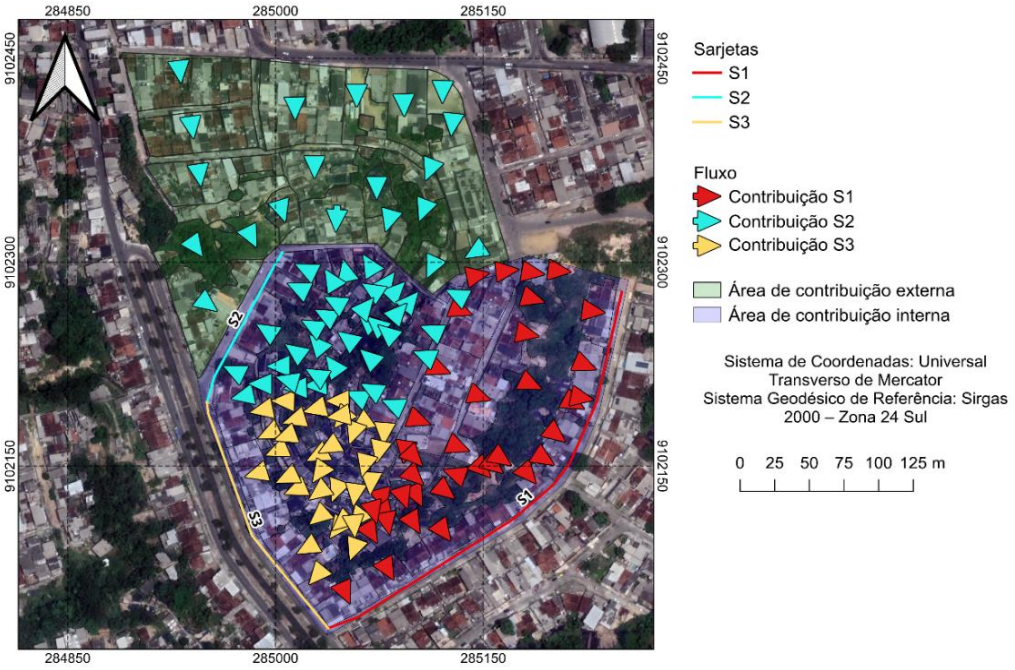
4.3.4 Avaliação de segurança

Os itens a seguir apresentam as avaliações de segurança.

4.3.4.1 Sarjetas

Para a estimativa da contribuição pluviométrica encaminhada para as sarjetas S1, S2 e S3, foram avaliadas 3 principais macrozonas, conforme Figura 121. Vale citar a existência de uma categoria de contribuição externa, referente ao fluxo da precipitação que é direcionado para a Rua Jovem João Santos Neto.

Figura 121 – Fluxos de contribuição para as sarjetas S1, S2, S3 e área externa ao morro de estudo.



Fonte: Autora (2024).

A Tabela 19 apresenta o detalhamento das áreas de contribuição consideradas no direcionamento para as sarjetas S1, S2 e S3.

Tabela 19 – Áreas de contribuição por sarjetas.

Sarjeta	Áreas de Contribuição
S1	AI 1, AI 2, AI 3, AI 4, AI 7, AI 6, AI 8, AI 9, AI 10, AI 11, AI 12, AI 13, AI 14, AI 15, AI 16, AI 17, AI 28, AI 38, AI 43, AI 45, AI 46, AI 53, AI 54, AI 56, AI 59, AI 62, AI 63, AI 64, AI 65, AI 66, AI 67, AI 68, AI 73, AI 81, AI 82, AI 105, AI 106 e AI 122.
S2	AI 5, AI 18, AI 19, AI 20, AI 21, AI 22, AI 23, AI 24, AI 25, AI 26, AI 33, AI 34, AI 35, AI 36, AI 41, AI 51, AI 55, AI 69, AI 74, AI 75, AI 91, AI 92, AI 93, AI 94, AI 95, AI 96, AI 97, AI 98, AI 100, AI 101, AI 102, AI 103, AI 110, AI 111, AI 115, AI 120 e AI 126. AE 1 até AE34.
S3	AI 29, AI 30, AI 31, AI 37, AI 40, AI 42, AI 47, AI 48, AI 49, AI 50, AI 52, AI 70, AI 71, AI 83, AI 84, AI 85, AI 86, AI 87, AI 88, AI 89, AI 90, AI 99, AI 104, AI 107, AI 108, AI 109, AI 112, AI 117, AI 118, AI 121, AI 123, AI 12 e AI 125.

NOTA: AI = Área interna ao morro; AE = Área externa ao morro.
Fonte: Autora (2024).

Uma vez analisadas as áreas de contribuição responsáveis pelo fluxo de água direcionado para cada sarjeta, foi possível comparar a vazão de projeto dos dispositivos (calculadas no **item 4.3.1**) e a vazão admissível dos dispositivos (calculadas no **item 4.3.2**), de acordo com a Tabela 20.

Tabela 20 – Análise comparativa: vazão de projeto e vazão admissível por sarjeta.

Sarjeta	Vazão de projeto	Vazão admissível	É suficiente?
S1	0,110	0,435	Sim
S2	**0,266**	**0,262**	**Não**
S3	0,057	0,223	Sim

Fonte: Autora (2024).

Levando em consideração a estimativa do encaminhamento de fluxo encontrada, observam-se problemáticas em relação a capacidade da sarjeta S2, destacada em vermelho. Vale destacar que foram observados no decorrer da visita uma variedade de possíveis contribuições extras nos dispositivos, como esgoto sanitário, entre outros. Levando em consideração o não mapeamento dessas possíveis contribuições. Apesar disso, vale destacar que a vazão de projeto para os dispositivos pode vir a ser superior, fator que pode interferir nos resultados e aumentar a diferença entre a vazão de projeto e a admissível.

Vale pontuar que tal situação está vinculada principalmente ao impacto da contribuição externa ao dispositivo, visto que a inserção desta área aumenta substancialmente a vazão de projeto referente (0,189 m³/s). Conforme citado no **item**

4.3.2, a área em questão está enquadrada na Macrozona do Ambiente Natural e Cultural (MANC), mesmo que claramente apresente uma maior área construída, fato que possivelmente influenciou no sistema de drenagem superficial da área.

4.3.4.2 Descidas d’água

Para a estimativa do fluxo de contribuição para as descidas d’água D1, D2, D3 e D4, foram levadas em consideração as áreas próximas às descidas d’água, como mostrado na Tabela 21.

Tabela 21 – Áreas de contribuição por descidas d’água.

Descida	Áreas de Contribuição
D1	AI 1, AI 2, AI3, AI 6, AI 7, AI 8, AI 11, A 28, AI 72, AI 45/2, AI 46/2
D2	AI 4, AI 27, AI 43, AI 87, AI 88, AI 104, AI 114, AI 117, AI 5/2, AI 18/2, AI 19/2, AI 55/2, AI 45/2 e AI 46/2
D3	AI 5/2, AI 18/2, AI 19/2, AI 20, AI 21, AI 22, AI 23, AI 35, AI 69, AI 75, AI 76, AI 77, AI 78, AI 79, AI 93, AI 97, AI 98, AI 100, AI 102 e AI 103
D4	AI 55/2, AI 34, AI74, AI91, AI92, AI95, AI96, AI119, AE9, AE 26, AE 17, AE 24

NOTA: AI = Área interna ao morro; AE = Área externa ao morro.

Fonte: Autora (2024).

Com a definição das áreas de contribuição a serem consideradas como responsáveis pelo fluxo de água pluvial encaminhado para as descidas d’água, foi possível calcular a vazão de projeto dos dispositivos, como mostrado na Tabela 22.

Tabela 22 – Vazão de projeto para cada descida d’água.

Descida	Cota		Desnível	Comprimento	Declividade (m/m)	Q proj (m^3/s)
	Superior	Inferior				
D1	68,08	47,55	20,53	44,99	0,46	0,05
D2	62,64	42,54	20,10	42,86	0,47	0,02
D3	42,78	36,31	6,47	50,84	0,13	0,03
D4	73,50	42,22	31,28	65,37	0,48	0,02

Fonte: Autora (2024).

Uma vez estabelecidas as dimensões consideradas e as vazões de projeto que contribuem para cada descida d’água, deu-se início a aplicação do software SisCCoh, conforme dados de entrada mostrados na Tabela 23. Destaca-se que o número de degraus foi estimado levando em consideração o quociente entre o desnível do trecho (maior cota subtraído da menor cota) pela altura de queda admitida em cada degrau, visto a dificuldade de contagem dos degraus de todos os dispositivos no momento da visita técnica.

Tabela 23 – Dados de entrada *SisCCoh*– Descidas d'água.

Descidas d'água	Parâmetros geométricos					
	Largura do degrau (m)	Altura de queda (m)	Comprimento do Degrau (m)	Desnível do Trecho (m)	Número de Degraus	Vazão de Projeto (m³/s)
D1	1,00	0,20	0,50	20,53	102,63	0,05
D2	1,00	0,20	0,50	20,10	100,48	0,02
D3	1,00	0,20	0,50	6,47	32,35	0,03
D4	1,00	0,20	0,50	31,28	156,38	0,02

Fonte: Autora (2024).

A partir da aplicação, foi encontrado o regime *Nappe Flow* para todas as descidas. Vale ressaltar que para o cálculo em questão levou-se em consideração apenas as contribuições referentes ao escoamento superficial advindo da precipitação, sem ponderar a contribuição referente ao esgotamento sanitário doméstico das residências. Destaca-se que para as dimensões consideradas (largura do canal = 1 m; altura dos degraus = 0,2 m; comprimento dos degraus = 0,51 m), os regimes variam de acordo com a seguinte faixa de vazão:

- Regime *Nappe Flow*: 0 até 0,182 m³/s;
- Regime de transição: igual a 0,182 até 0,281 m³/s
- Regime *Skimming Flow*: igual ou superior a 0,281 m³/s.

Complementarmente, vale citar que de acordo com os resultados encontrados, as quatro descidas d'água se enquadraram no sub regime de desenvolvimento parcial do ressalto hidráulico, no qual, de acordo Simões (2008), ocorre quando a soma do alcance do jato (Ld) e do comprimento do ressalto (L) é maior que a extensão do piso (l). Somado a isso, França (2021) destacou que para este sub regime, tem-se apenas um trecho do ressalto ocorrendo no piso do degrau, assim não sendo originado um escoamento com ressalto hidráulico plenamente desenvolvido.

Conforme Simões (2008), o regime *Nappe Flow* é usualmente encontrado em sistemas de drenagem urbana, uma vez que com este tipo de regime é possível entender seu funcionamento em função de variáveis hidráulicas e geométricas, calculadas as especificidades do escoamento e possíveis oscilações na lâmina vertente.

Somado a isso, vale citar, também, que este tipo de regime apresenta dissipação de energia a partir da dispersão do jato de ar, graças ao impacto do jato

com o piso do degrau a jusante e/ou consequente da formação de ressaltos hidráulicos nos degraus.

A partir dos resultados encontrados (Tabela 24), observa-se que todos os valores referentes ao somatório de do comprimento da queda (Ld) com o comprimento (L) são superiores à 0,51 metros (comprimento do patamar), reforçando o enquadramento no sub regime de desenvolvimento parcial do ressalto hidráulico. Vale destacar, também, que os dispositivos apresentam comprimento de queda do jato muito com valores próximos, o que faz com que o acúmulo de ar entre os degraus também seja próximo.

Tabela 24 – Resultados SisCCoh (Subregime sub regime de desenvolvimento parcial do ressalto hidráulico) – Descidas d'água.

Descidas d'água	Altura parede - H parede (m)	Comprimento do degrau - l (m)	Altura do degrau - S (m)	Comprimento da queda - Ld (m)	Comprimento – L (m)	Ld + L (m)
D1	0,17	0,51	0,20	0,32	0,70	1,02
D2	0,12	0,51	0,20	0,22	0,49	0,71
D3	0,13	0,51	0,20	0,24	0,54	0,78
D4	0,12	0,51	0,20	0,22	0,50	0,72

Fonte: Autora (2024).

Complementarmente, a Tabela 25 e Tabela 26 mostram os resultados referentes às descidas d'água. Vale ressaltar que os resultados em questão levam em consideração a mesma dimensão para todos os dispositivos, variando apenas o fluxo de água de entrada e o desnível encontrado entre a cota superior e inferior.

Tabela 25 – Resultados SisCCoh – Descidas d'água (1/2).

Descidas d'água	Verificação hidráulica		
	Regime	Final do escoamento	
		Profundidade (m)	Velocidade (m/s)
D1	*Nappe Flow*	0,03	1,84
D2	*Nappe Flow*	0,02	1,38
D3	*Nappe Flow*	0,02	1,50
D4	*Nappe Flow*	0,01	2,47

Fonte: Autora (2024).

Tabela 26 – Resultados SisCCoh – Descidas d'água (2/2).

Descidas d'água	Verificação hidráulica				
	Regime	Energia			Eficiência (%)
		Residual (m)	Dissipada (m)	Máxima (m)	
D1	*Nappe Flow*	0,20	20,42	20,62	99,04
D2	*Nappe Flow*	0,02	20,04	20,16	99,44
D3	*Nappe Flow*	0,13	6,40	6,53	97,96
D4	*Nappe Flow*	0,01	31,02	31,34	98,98

Fonte: Autora (2024).

Observa-se que todas as profundidades finais do escoamento são inferiores à altura do degrau (0,2 metros) em 0,18 m (D1), 0,18 m (D2), 0,18 m (D3) e 0,19 m (D4), mostrando a não existência de problemáticas vinculadas a ultrapassagem do degrau em relação a lâmina d'água final. Somado a isso, foram encontradas velocidades finais de escoamento muito próximas, sem valores altos.

De acordo com Mangieri (2012), no que diz respeito à energia, sabe-se que a energia dissipada é resultante da diferença entre a energia total disponível no topo (energia máxima) e a energia residual na base do dispositivo. Analisando os resultados, observa-se que a D4 apresentou a maior energia dissipada, quando comparada com as demais, enquanto a D3 apresenta o menor valor de energia dissipada. Pode-se associar tal fato a faixa de desnível do trecho, uma vez que D4 e D3 apresentam o maior e menor valor, respectivamente.

Em termos de eficiência dos degraus na dissipação de energia, foram encontrados valores satisfatórios para as descidas, com valores próximos de 100%.

4.4 ANÁLISE MULTICRITÉRIOS (AHP): TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

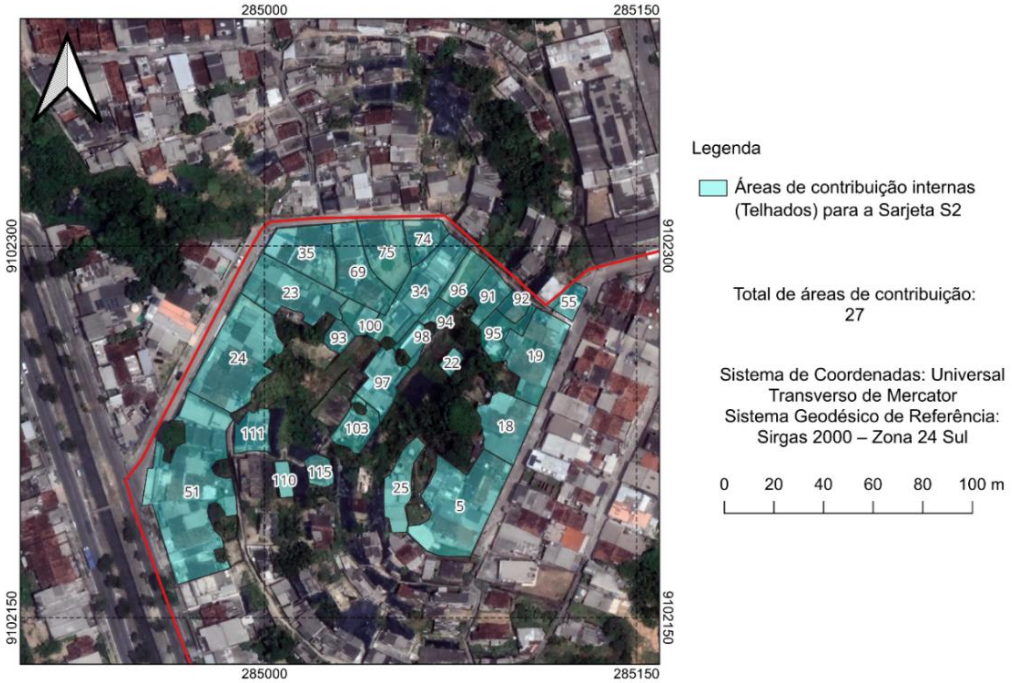
Os itens a seguir apresentam os principais resultados encontrados na análise multicritérios.

4.4.1 Definição da problemática a ser resolvida

Levando em consideração as problemáticas envolvendo a sarjeta S2, situada no trecho da Rua Jovem João Santos Neto, foi analisado neste trabalho as possibilidades de implementação de técnicas compensatórias na área de contribuição da sarjeta (descritas no **item 4.3.1**) para a diminuição o fluxo de água advindo das áreas de contribuição urbanizadas do morro. Dessa forma, para auxílio na tomada de decisão da melhor alternativa de técnica compensatória foi realizada uma análise multicritérios, a partir da aplicação da metodologia AHP. A Figura 122 apresenta as

áreas levadas em consideração. Os itens a seguir detalham os principais resultados referentes a esta avaliação.

Figura 122 – Áreas de contribuição (Edificações) – Sarjeta S2.



Fonte: Autora (2024).

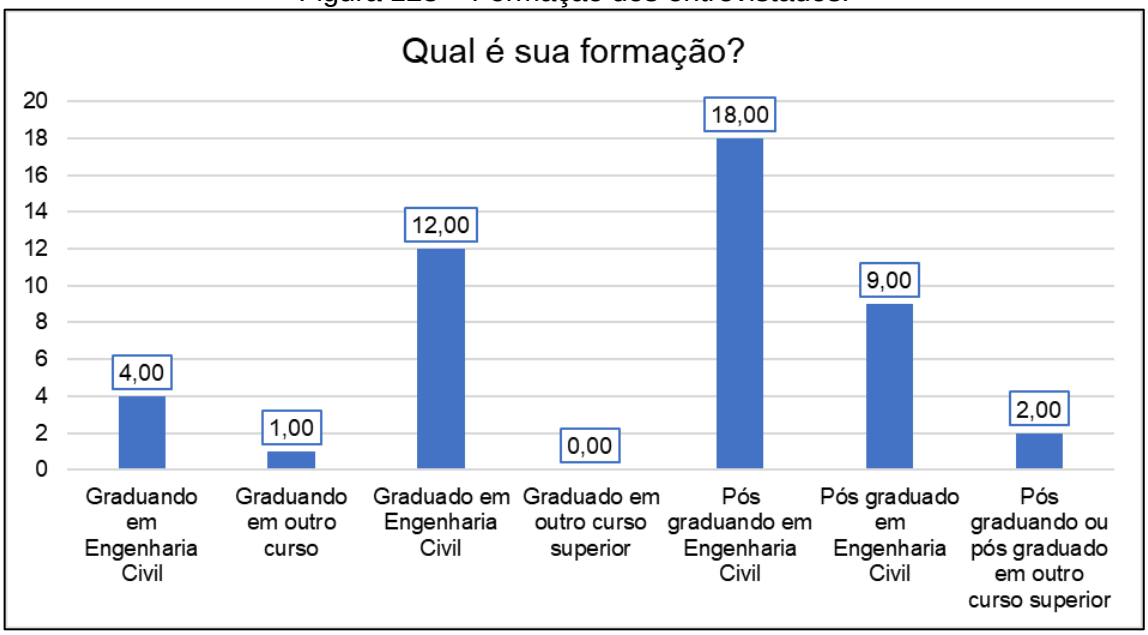
4.4.2 Definição das dimensões e variáveis

Seção 1: Perguntas iniciais

Referente as perguntas iniciais, dos 46 entrevistados, 43 são residentes do estado de Pernambuco, enquanto apenas 3 pessoas correspondem a população de outros estados. Tal fato indica que a amostra analisada, por ser em sua maioria residente de Pernambuco, tem conhecimento das condições e problemáticas enfrentadas pela população, principalmente no que diz respeito à necessidade de diminuição do escoamento superficial.

Somado a isso, no que diz respeito a formação dos envolvidos, Figura 123, observou-se que 18 dos entrevistados é atualmente “Pós-graduando em Engenharia Civil (Mestrado ou doutorado)”. Ressalta-se, também, que desses, 48,8% e 16,3% dos entrevistados atuam na área de Recursos Hídricos e Geotecnia, respectivamente, enquanto 34,9% atuam em outras áreas. Dessa forma, considera-se que a amostra analisada corresponde a pessoas com conhecimento técnico na temática de estudo, visto suas formações e áreas de atuação.

Figura 123 – Formação dos entrevistados.

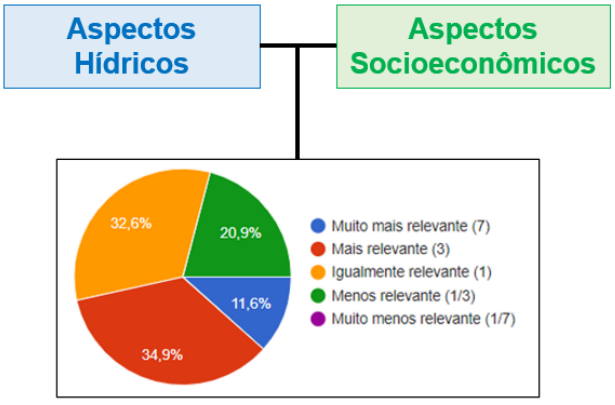


Fonte: Autora (2024).

Seção 2: Combinação par a par: Dimensões

Nas Figura 125, Figura 124 e Figura 126 têm-se os resultados referentes à combinação par a par para as dimensões de estudo. Ao comparar os resultados encontrados, observa-se que a variável **Aspectos Hídricos** foi considerada “Mais relevante” quando comparada com os **Aspectos Operacionais** e **Aspectos Socioeconômicos**.

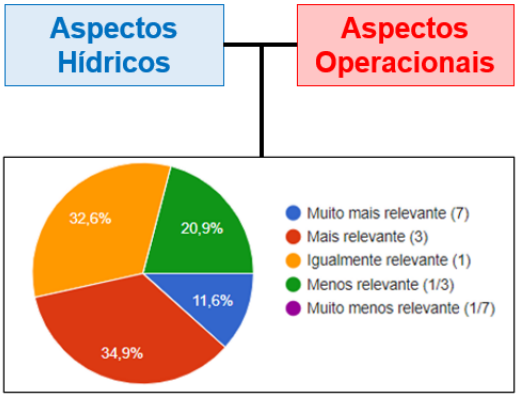
Figura 124 – Dimensões: Aspectos Hídricos e Aspectos Socioeconômicos.



Resposta: A avaliação e estudo da dimensão Aspectos Hídricos (AH) é mais relevante que a dimensão Aspectos Socioeconômicos (AS) na resolução da problemática.

Fonte: Autora (2024).

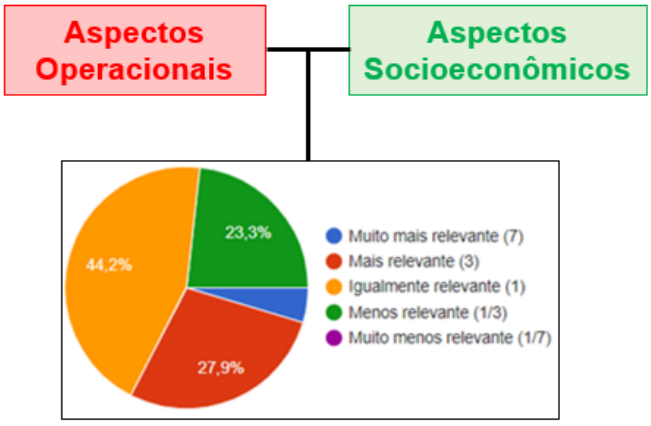
Figura 125 – Dimensões: Aspectos Hídricos e Aspectos Operacionais.



Resposta: A avaliação e estudo da dimensão Aspectos Hídricos (AH) é mais relevante que a dimensão Aspectos Operacionais (AO) na resolução da problemática.

Fonte: Autora (2024).

Figura 126 – Dimensões: Aspectos Operacionais e Aspectos Socioeconômicos.



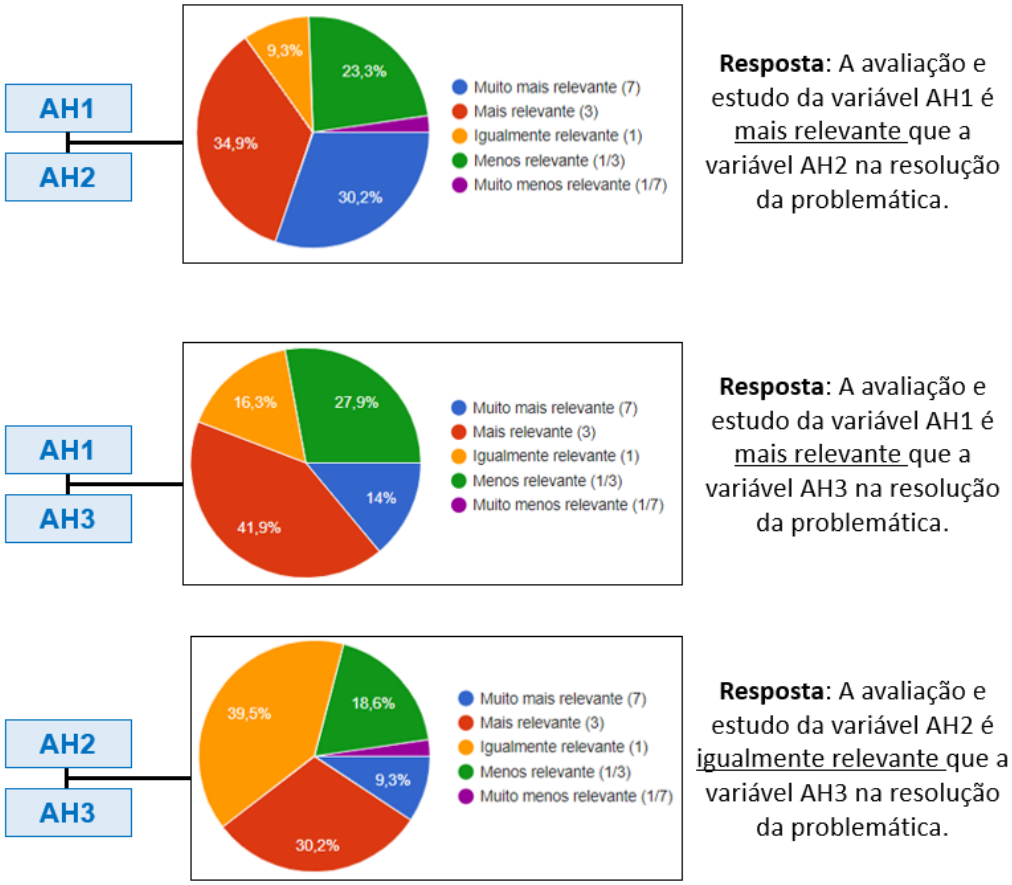
Resposta: A avaliação e estudo da dimensão Aspectos Operacionais (AO) é igualmente relevante que a dimensão Aspectos Socioeconômicos (AS) na resolução da problemática.

Fonte: Autora (2024).

Seção 3: Combinação par a par: Variáveis - Aspectos Hídricos

A Figura 127 mostra o detalhamento das combinações par a par das variáveis vinculadas a dimensão **Aspectos Hídricos**, na qual a variável Capacidade de infiltração (AH 1) foi classificada a “mais relevante” entre as variáveis, enquanto Qualidade da água captada (AH2) e Capacidade de reuso da água (AH3) foram definidas como “igualmente relevantes”.

Figura 127 – Variáveis: Aspectos Hídricos.



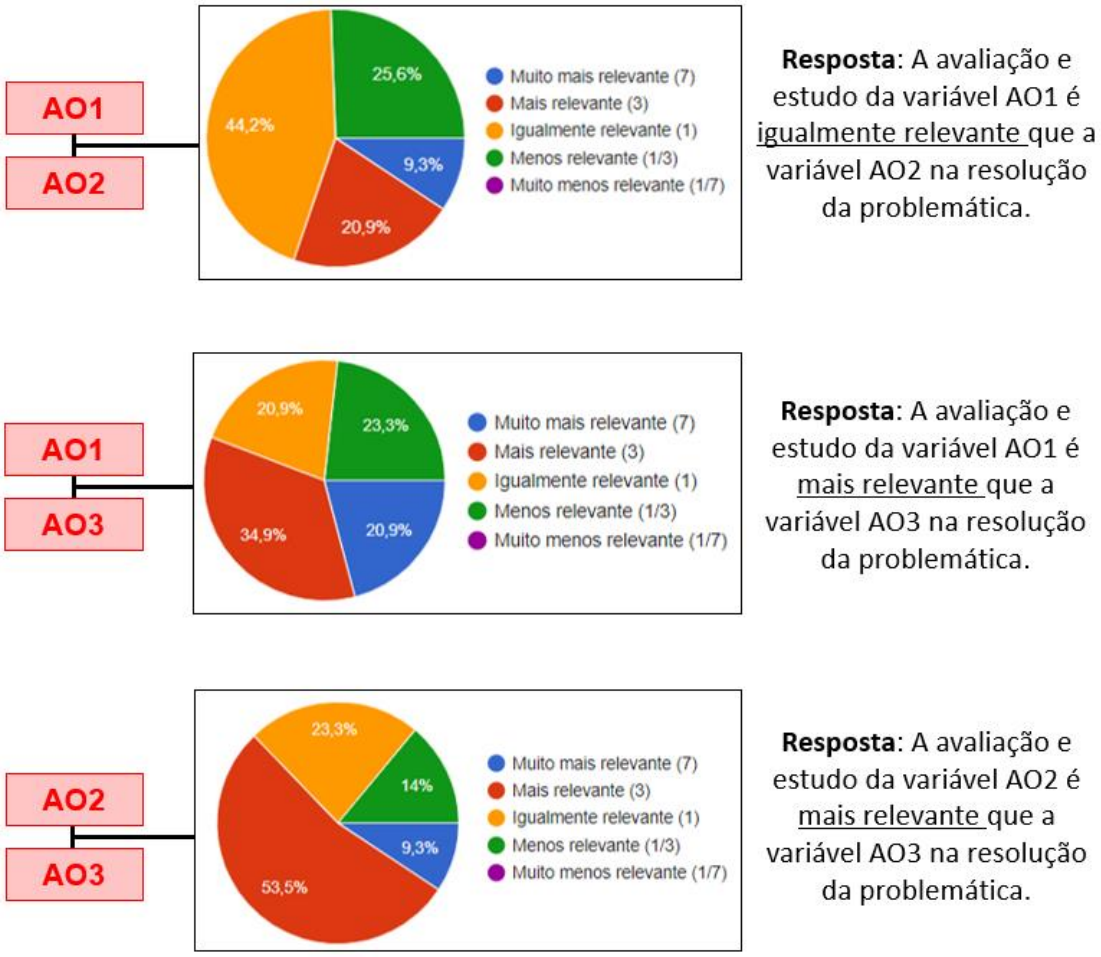
NOTA: AH1 - Capacidade de infiltração; AH2 - Qualidade da água captada; AH3 - Capacidade de reuso da água.

Fonte: Autora (2024).

Seção 4: Combinação par a par: Variáveis - Aspectos Operacionais

É apresentado na Figura 128 o resultado das combinações par a par referente às variáveis ligadas aos **Aspectos Operacionais**. Ressalta-se que a variável Complexidade de implementação (AO1) e a Manutenção (AO2) foram consideradas “igualmente relevantes”.

Figura 128 – Variáveis: Aspectos Operacionais.



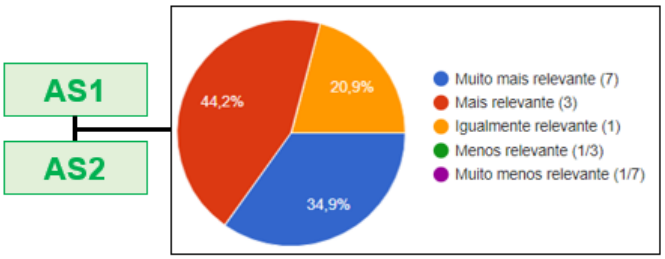
NOTA: AO1 - Complexidade de implementação; AO2 - Manutenção; AO3 - Melhorias no conforto térmico do ambiente.

Fonte: Autora (2024).

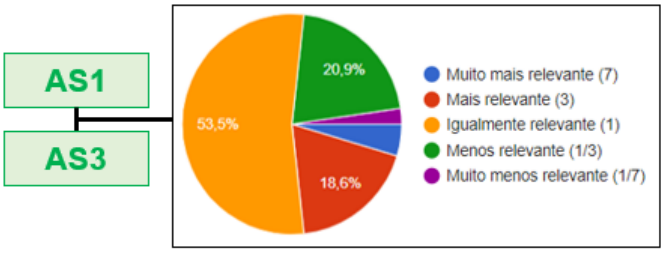
Seção 5: Combinação par a par: Variáveis - Aspectos Socioeconômicos

A Figura 129 e Figura 130 detalham o comportamento das combinações par a par para as variáveis ligadas à dimensão **Aspectos Socioeconômicos**. Ao analisar os resultados encontrados, observa-se que a variável Custos (AS1) foi considerada “igualmente relevante” que Custos de manutenção (AS3), assim como ambas foram configuradas em “mais relevantes” que as variáveis Prazo da execução (AS2) e Lucros extras (AS4).

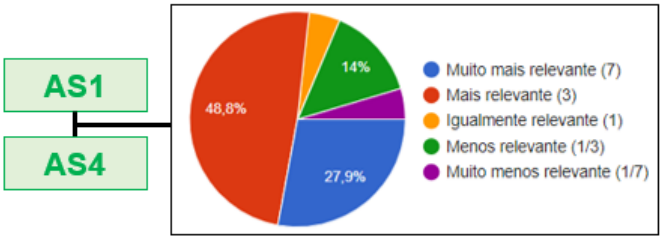
Figura 129 – Variáveis: Aspectos Socioeconômicos (1/2).



Resposta: A avaliação e estudo da variável AS1 é mais relevante que a variável AS2 na resolução da problemática.



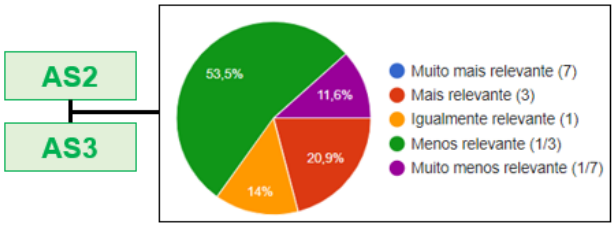
Resposta: A avaliação e estudo da variável AS1 é igualmente relevante que a variável AS3 na resolução da problemática.



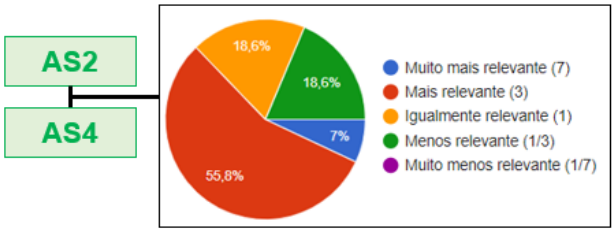
Resposta: A avaliação e estudo da variável AS1 é mais relevante que a variável AS4 na resolução da problemática.

NOTA: AS1 - Custos; AS2 - Prazo da execução; AS3 - Custos de manutenção; AS4 - Lucros extras.
Fonte: Autora (2024).

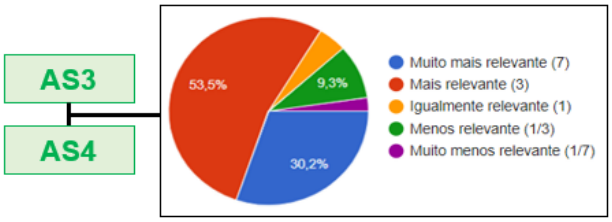
Figura 130 – Variáveis: Aspectos Socioeconômicos (2/2).



Resposta: A avaliação e estudo da variável AS2 é menos relevante que a variável AS3 na resolução da problemática.



Resposta: A avaliação e estudo da variável AS2 é mais relevante que a variável AS4 na resolução da problemática.



Resposta: A avaliação e estudo da variável AS3 é mais relevante que a variável AS4 na resolução da problemática.

NOTA: AS1 - Custos; AS2 - Prazo da execução; AS3 - Custos de manutenção; AS4 - Lucros extras.
Fonte: Autora (2024).

4.4.3.2 Matriz de Importância e Matriz importância normalizada

A partir dos resultados, foi possível definir a matriz importância e a matriz importância normalizada para as dimensões e variáveis, conforme metodologia descrita no **item 2.6 e 3.5**. Dessa forma, os itens a seguir apresentam as matrizes em questão. Vale destacar que para todas as combinações analisadas foram encontrados valores de Razão de Consistência (RC) inferiores à 10%, conforme a metodologia AHP preconiza como critério de aferição da consistência ou não da combinação.

Dimensões

A Tabela 27 e a Tabela 28 mostram a matriz importância e a matriz importância normalizada para as dimensões encontradas. Ressalta-se que a dimensão Aspectos Hídricos apresentou maior Prioridade Média Local (PML), alcançando um valor de 60%, enquanto para as demais têm-se um valor de 20%.

Tabela 27 – Matriz importância: dimensões.

Dimensões	AH	AO	AS
Aspectos Hídricos	**1**	3,00	3,00
Aspectos Operacionais	0,33	**1**	1,00
Aspectos Socioeconômicos	0,33	1,00	**1**

Fonte: Autora (2024).

Tabela 28 – Matriz importância normalizada: dimensões.

Dimensões	AH	AO	AS	PML
Aspectos Hídricos	0,60	0,60	0,60	60,00%
Aspectos Operacionais	0,20	0,20	0,20	20,00%
Aspectos Socioeconômicos	0,20	0,20	0,20	20,00%

Fonte: Autora (2024).

Variáveis

Em relação as variáveis por dimensão, têm-se os resultados apresentados conforme os tópicos seguintes.

- **Aspectos Hídricos:** Para as variáveis ligadas aos Aspectos Hídricos, têm-se na Tabela 29 e Tabela 30, respectivamente, a matriz importância e a matriz importância normalizada. Vale destacar que dentre as variáveis em questão, a Capacidade de infiltração (AH1) apresentou maior Prioridade Média Local (PML).

Tabela 29 – Matriz importância: Aspectos Hídricos.

Variáveis	AH1	AH2	AH3
Capacidade de infiltração - AH1	**1**	3,00	3,00
Qualidade da água captada - AH2	0,33	**1**	1,00
Capacidade de reuso da água - AH3	0,33	1,00	**1**

Fonte: Autora (2024).

Tabela 30 – Matriz importância normalizada: Aspectos Hídricos.

Variáveis	AH1	AH2	AH3	PML
Capacidade de infiltração - AH1	0,60	0,60	0,60	60,0%
Qualidade da água captada - AH2	0,20	0,20	0,20	20,0%
Capacidade de reuso da água - AH3	0,20	0,20	0,20	20,0%

Fonte: Autora (2024).

- **Aspectos Operacionais:** Em relação aos aspectos operacionais, a Tabela 31 apresenta a matriz importância elaborada a partir da combinação par a par entre as variáveis referentes.

Tabela 31 – Matriz importância: Aspectos Operacionais.

Variáveis	AO1	AO2	AO3
Complexidade de implementação - AO1	**1**	1,00	3,00
Manutenção - AO2	1,00	**1**	3,00
Melhorias no conforto térmico do ambiente - AO3	0,33	0,33	**1**

Fonte: Autora (2024).

Somado a isso, têm-se a Tabela 32, com a matriz importância normalizada, com destaque para a variável Melhorias no conforto térmico do ambiente (AO3), que apresentou menor Prioridade Média Local (PML), no valor de 14,3%, enquanto as demais variáveis apresentaram valor igual a 42,9%.

Tabela 32 – Matriz importância normalizada: Aspectos Operacionais.

Variáveis	AO1	AO2	AO3	PML
Complexidade de implementação - AO1	0,43	0,43	0,43	42,9%
Manutenção - AO2	0,43	0,43	0,43	42,9%
Melhorias no conforto térmico do ambiente - AO3	0,14	0,14	0,14	14,3%

Fonte: Autora (2024).

- **Aspectos Socioeconômicos**: A Tabela 33 e Tabela 34 apresentam, respectivamente, a matriz importância e a matriz importância normalizada para as variáveis vinculadas aos aspectos socioeconômicos. Observa-se que as variáveis Custos (AS1) e Custos de manutenção (AS3) apresentam Prioridade Média Local (PML) superior quando comparadas com as demais variáveis, com o valor de 36,5%.

Tabela 33 – Matriz importância: Aspectos Socioeconômicos.

Variáveis	AS1	AS2	AS3	AS4
Custos - AS1	**1**	3,00	1,00	3,00
Prazo da execução - AS2	0,33	**1**	0,33	3,00
Custos de manutenção - AS3	1,00	3,00	**1**	3,00
Lucros extras - AS4	0,33	0,33	0,33	**1**

Fonte: Autora (2024).

Tabela 34 – Matriz importância normalizada: Aspectos Socioeconômicos.

Variáveis	AS1	AS2	AS3	AS4	PML
Custos - AS1	0,38	0,41	0,38	0,30	36,5%
Prazo da execução - AS2	0,13	0,14	0,13	0,30	17,2%
Custos de manutenção - AS3	0,38	0,41	0,38	0,30	36,5%
Lucros extras - AS4	0,13	0,05	0,13	0,10	9,9%

Fonte: Autora (2024).

4.4.3 Avaliação das alternativas em relação às variáveis

Uma vez avaliada a matriz importância, foi considerada cada e as respectivas variáveis. Ao final, foi encontrada uma nota de cada alternativa por variável, levando em consideração a ponderação a partir da Prioridade Média Local (PML) das variáveis na dimensão, levando em consideração as técnicas pré-selecionadas apresentadas no **item 3.5.1**.

Vale ressaltar que para a avaliação em questão serão atribuídas notas variando entre 1, 2 e 3, na qual quanto maior a nota, mais adequada para resolução do problema é a alternativa em relação à variável analisada.

4.4.3.1 Aspectos Hídricos

A partir do questionário apresentado no **item 4.4.1**, foi encontrado para dimensão Aspectos Hídricos um PML de 60%. A seguir, são apresentadas as análises referentes à avaliação das alternativas em relação às variáveis desta dimensão.

Capacidade de infiltração (AH1)

A capacidade de infiltração da alternativa está bastante ligada a diminuição do volume pluvial que contribui para o aumento do escoamento superficial e consequente encaminhamento para a sarjeta S3. A Tabela 35 mostra a capacidade de retenção de cada alternativa, de acordo com estudos anteriores.

Tabela 35 – Capacidade de infiltração por alternativa.

Alternativa		Capacidade de Infiltração	Fonte
1	Telhados verdes convencionais	86% da precipitação gerada	Silva (2017)
2	Caixa d'água	Altura média igual a 0,58 m	-
3	Telhados verdes de baixo custo	65% da precipitação gerada	Martins e Pinto (2016)

Fonte: Autora (2024).

Diante disso, uma vez que a intensidade de precipitação média considerada para a área é igual a 6,5 mm/h, **conforme item 3.23**, levando em consideração a capacidade de infiltração de cada alternativa, têm-se retidos os seguintes valores para cada alternativa:

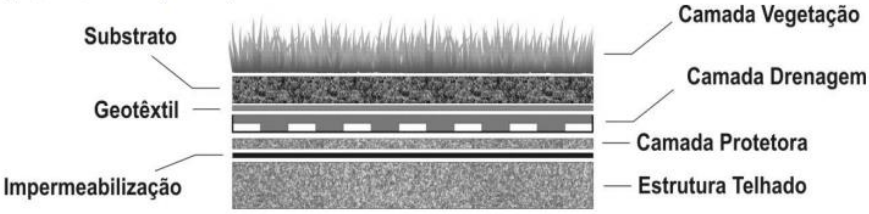
- Alternativa 1: 5,59 mm;
- Alternativa 2: 6,50 mm;
- Alternativa 3: 4,22 mm.

Dessa forma, na variável em questão foi atribuída nota 3 para Alternativa 2, por apresentar maior capacidade de infiltração nas condições apresentadas. Para a Alternativa 1, foi admitida nota 2, com capacidade de infiltração intermediária, e para a Alternativa 3, observou-se menor capacidade de infiltração, com nota igual a 1.

Qualidade da água captada (AH2)

Um ponto importante a ser analisado são os parâmetros de qualidade da água captada para cada alternativa, visto que pode vir a ocorrer interferências na água infiltrada a depender do tipo de alternativa. A Figura 131 apresenta o modelo esquemático a ser aplicado na implementação de telhados verdes convencionais (Alternativa 1). É possível observar que, ao infiltrar, a água entra em contato com uma série de camadas, desde a vegetação, seguindo pelo substrato, geotêxtil e camada de drenagem. Assim, o contato da água com essas camadas pode influenciar nos parâmetros de qualidade da água.

Figura 131 – Modelo esquemático telhado verde convencionais.



Fonte: Tassinari (2014).

Para telhados verdes de baixo custo, considerada a Alternativa 3, tem-se também a necessidade da existência de, pelo menos, a camada de vegetação e o substrato, fazendo com que a implementação desta tecnologia também influencie nos parâmetros de qualidade da água efluente que sai do telhado. No entanto, conforme Vilarim (2022), a quantidade de substrato a ser utilizado na situação de baixo custo utilizando garrafas PET por exemplo, é muito menor, o que pode minimizar o impacto negativo da estrutura sobre a qualidade da água.

Somado a isso, em relação à água captada por reservatórios (caixas d'água) não são encontrados fatores que estejam estritamente ligados a implementação da alternativa e impactem diretamente na qualidade da água captada.

Diante deste contexto, foi adotada a nota 3 para a Alternativa 2. Já para as Alternativas 1 e 3, foi atribuída as notas 1 e 2, respectivamente.

Capacidade de reuso da água (AH3)

A depender dos parâmetros de qualidade da água captada, tem-se possibilidade de posteriores usos e essa variável é uma importante consideração a ser avaliada para implementação da alternativa mais adequada. Ressalta-se que tais parâmetros têm suas faixas baseadas na legislação, como a Norma Brasileira ABNT - NBR 15527: 2007 (Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos) e os parâmetros detalhados pela EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A Tabela 36 apresenta as justificativas e as notas atribuídas para esta variável.

Tabela 36 – Possível reuso da água captada.

Alternativa		Qualidade da Água	Fonte	Nota
1	Telhados verdes convencionais	Para **fins de irrigação em relação aos parâmetros de análise da EMBRAPA,** os resultados apontaram que os telhados verdes são fontes de nitrato, amônia e boro.	Gomes (2022)	1
2	Caixa d'água	Diferente da alternativa 1 e 2, nesta alternativa não existem grandes impactos na qualidade da água e possível reuso com a sua implementação.	-	3
3	Telhados verdes de baixo custo	Não existem grandes diferenças entre a alternativa 1 e 3 em relação ao impacto negativo na qualidade da água captada e possível reuso. Contudo, visto que a alternativa 3 apresenta menor quantidade de substrato, o possível impacto na qualidade de água menor.	-	2

Fonte: Gomes (2022) / Autora (2024).

Avaliação das alternativas: Aspectos Hídricos

A Tabela 37 apresenta o resumo das notas atribuídas para cada alternativa, levando em consideração as variáveis ligadas aos Aspectos Hídricos. Observa-se que para esta dimensão, a Alternativa 1 apresentou a maior nota.

Tabela 37 – Tabela resumo para Aspectos Hídricos.

Variáveis	PML (variáveis)	Notas Atribuídas		
		Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Capacidade de infiltração - AH1	60,0%	2,00	3,00	1,00
Qualidade da água captada - AH2	20,0%	1,00	3,00	2,00
Capacidade de reuso da água - AH3	20,0%	1,00	3,00	2,00
Média ponderada		**2,20**	**1,80**	**2,00**

Fonte: Autora (2024).

4.4.3.2 Aspectos Operacionais

O questionário apresentado no **item 4.4.1A** apontou para dimensão Aspectos Operacionais um PML de 20%. Nesse contexto, são detalhadas, a seguir, as análises referentes à avaliação das alternativas em relação às variáveis desta dimensão.

Complexidade de implementação (AO1)

No momento de implementação de uma tecnologia, a complexidade da sua implementação é um importante aspecto a ser avaliado, devendo estar de acordo com o cenário na qual esta será utilizada.

De acordo com Chen (2013), no momento de implementação dos telhados verdes, a principal preocupação são os possíveis danos que podem ocorrer a laje no momento da instalação, principalmente no que diz respeito a problemas de infiltração. Também deve ser levado em consideração, de acordo com Prates (2012), a capacidade de suporte de carga para a edificação em questão, visto que se trata de uma carga extra adicionada. Ainda, conforme Almeida, Jonov e Paula e Silva (2023), para implementação de telhados verdes é necessário um projeto de acordo com as normas vigentes, acompanhamento de especialistas de diferentes áreas (engenheiros, arquitetos, entre outros), utilização de sistemas testados e aprovados, busca por empresas e técnicos especializados na instalação da tecnologia e planejamento para a correta manutenção.

Dessa forma, foi adotada a nota 1 para a Alternativa 1 (telhados verdes convencionais), levando em consideração a complexidade de sua implementação. Para a Alternativa 3, telhados verdes de baixo custo, foi admita a nota 2, visto que seu modelo é considerado uma simplificação do telhado verde convencional, sem necessidade de uma mão de obra especializada para sua implementação, a depender do tipo de material empregado.

Em relação à Alternativa 2 (caixas d'água), não foram encontradas grandes problemáticas que dizem respeito a sua implementação quando comparado com as demais alternativas, sendo atribuída nota 3.

Manutenção (AO2)

Uma vez implementada a tecnologia escolhida, deve-se atentar a necessidade de manutenção, visto que para a asseguração do funcionamento correto a longo prazo é necessária a periodicidade na manutenção e avaliação das condições na qual a alternativa será exposta.

Em relação aos telhados verdes, conforme Almeida, Jonov e Paula e Silva (2023) os procedimentos de manutenção quando são realizados de forma inadequada podem levar a danos e degradação dos seus constituintes. Somado a isso, como em todo tipo de cobertura, devem ser realizadas inspeções recorrentes, a fim de verificar possíveis vazamentos, assim como realizar limpeza das lajes de cobertura e coletores do sistema de drenagem, verificando a integridade da impermeabilização para evitar a ocorrência de possíveis infiltrações de água de chuva e consequentes problemas na construção. Ainda de acordo com os autores, a ausência de manutenção pode gerar sobrecarga na estrutura e danos aos elementos de vedação, com consequentes deformações, fissuras, trincas e fendas. Complementarmente, vale citar como problema gerado pela falta de manutenção, também, a não irrigação da vegetação, o que pode influenciar a eficiência de infiltração do telhado.

Ao comparar o processo de manutenção de telhados verdes de baixo custo com o telhado verde convencional, têm-se que a quantidade de substrato necessário é bem menor para os de baixo custo, visto que se têm a existência de “módulos” únicos. No momento da manutenção, podem ser retirados por módulo, enquanto para qualquer problemática em telhados verdes convencionais são necessárias modificações em toda a laje revestida. Ainda, em telhados verdes convencionais, têm-se necessidade de mão de obra especializada para manutenção, diferente de telhados verdes de baixo custo, por serem materiais mais simples (VILARIM, 2022).

Diante disto, foram implementadas as notas 1 e 2, respectivamente, para as Alternativas 1 e 3. No que diz respeito a Alternativa 2, aplicou-se a nota 3, visto que não foram encontrados procedimentos específicos de manutenção das caixas d’água, além do correto manuseio do dispositivo, limpeza frequente tanto no dispositivo, como também no meio que ele está exposto.

Melhorias no conforto térmico do ambiente (AO3)

A avaliação das possíveis melhorias no conforto térmico do ambiente é bastante importante para a escolha da melhor alternativa a ser aplicada, visto que pode interferir positivamente no ambiente em que está inserido.

Em relação a água captada por reservatórios (caixas d’água), considerada Alternativa 2, não são encontrados fatores que estejam estritamente ligados a

possíveis melhorias em relação ao conforto térmico do ambiente. Dessa forma, foi atribuída a nota igual a 1 para a Alternativa 2.

Ressalta-se, inclusive, de acordo com Lima (2013), que a implementação de telhados verdes (Alternativa 1 e 3) diminui o desconforto térmico em comparação com os telhados convencionais, uma vez que o solo serve como uma camada de com alta capacidade térmica e baixa transmissão térmica dinâmica, com absorção térmica das folhas graças ao fenômeno da fotossíntese e resfriamento decorrente dos processos de evaporação e evapotranspiração da vegetação.

Complementarmente, estudos comparativos entre telhados verdes convencionais (Alternativa 1) e os de baixo custo (Alternativa 3), realizados por Vilarim (2022), apontaram que o telhado verde vegetado apresenta uma maior redução da temperatura interna do ambiente, mas que foram encontradas pequenas diferenças em relação a temperatura interna ao comparar com telhados verdes de baixo custo. Somado a isso, estudos elaborados por Panziera *et al*. (2015), que estudaram diferenças entre telhados verdes convencias e de baixo custo com implementação de garrafas PET, relatam uma maior eficácia em relação a redução do ganho de calor sensível nas temperaturas máximas, tendo como diferencial, conforme o autor, a menor área de contato exercida pelas bases de garrafas PET.

Diante disso, foram escolhidas as notas 2 e 3 para as Alternativas 1 e 3, respectivamente.

Avaliação das alternativas: Aspectos Operacionais

A Tabela 38 mostra as notas finais das alternativas, considerando as variáveis ligadas aos Aspectos Operacionais. Ao analisar os pontos levantados, observa-se que a Alternativa 2 apresentou a maior nota.

Tabela 38 – Tabela resumo para Aspectos Operacionais.

Variáveis	Pesos (variáveis)	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Complexidade de implementação - AO1	42,9%	1,00	3,00	2,00
Manutenção - AO2	42,9%	1,00	3,00	2,00
Melhorias no conforto térmico do ambiente - AO3	14,3%	2,00	1,00	3,00
Média ponderada		**1,14**	**2,71**	**2,14**

Fonte: Autora (2024).

4.4.3.3 Aspectos Socioeconômicos

O PML encontrado para a dimensão Aspectos Socioeconômicos foi igual a 20%, conforme questionário apresentado no **item 4.4.1**. Dessa forma, são

apresentadas nos itens a seguir as análises referentes a avaliação das alternativas em relação as variáveis desta dimensão.

Custos (AS1)

A avaliação dos custos de implementação de determinada alternativa é necessária e um ponto importante a ser considerado para auxílio na tomada de decisão.

Comparando os custos entre sistemas de cobertura tradicionais e os que usam vegetação, vale citar Savi (2012), que investigou sete tipos de coberturas: três com sistemas convencionais de cobertura, e quatro com telhados verdes. O autor concluiu que é possível ter–se um sistema de telhado verde com custo inferior ao de telhados convencionais, uma vez que, após a análise dos resultados observou–se que o telhado verde com estrutura de madeira, chapa compensada e cobertura vegetada moldada *in loco* apresentou o menor custo entre todos os sistemas analisados, obtendo custo de 37% menor que o sistema de laje de concreto armado coberto com telha cerâmica, bem como peso três vezes menor.

Estudos e experimentos elaborados na Amazônia por Gonçalves *et al*. (2021), mostraram que telhados verdes de baixo custo com implementação de garrafas PET apresentam um custo por m² de R$197,98, que corresponde a 31,88 % do custo do telhado verde comercial (R$ 620,79 por m²). No entanto, os valores de telhados verdes convencionais encontrados foram muito superiores ao comparar com os telhados com lajes convencionais. Dessa forma, foram atribuídas as notas 1 e 2 para as Alternativas 1 e 3, respectivamente.

No que diz respeito à implementação de caixas d'água (Alternativa 2), têm-se um custo baixo quando comparado com as demais alternativas. Conforme Salgueiro (2021), tem-se um custo médio local em Recife-PE de R$ 250,00 por caixa d'água. Nesse sentido, foi adotada a nota 3 para a Alternativa 2.

Prazo da execução (AS2)

Assim como a variável custos (AS1), a avaliação do prazo para implementação de cada alternativa é necessária para auxílio na escolha da alternativa mais adequada. Dessa forma, foi possível avaliar os processos e os tempos associados a cada alternativa.

Em relação à implementação de caixas d’água (Alternativa 2), levando em consideração que é um produto adquirido já pronto para uso e sem necessidade de montagem, não são encontrados fatores que estejam estritamente ligados à implementação da alternativa que aumente o prazo de execução. Assim, foi admitida a nota 3 para esta alternativa.

Para os telhados verdes convencionais (Alternativa 1), foi atribuída a nota 1, visto que a sua implementação conta com uma série de camadas e especificidades, conforme apresentado na Figura 131. Ressalta-se que a implementação de um telhado verde considera uma cobertura em uma laje já executada, dessa forma, prazos em relação a essa alternativa correspondem apenas à execução da superfície vegetal. De acordo com Lima, Silva e Fontineles (2019), têm-se 52 horas como tempo de execução médio para colocação de um telhado verde com 60 m². Somado a isso, Moraes (2013) encontrou um valor aproximado de 54 horas, somando impermeabilização e instalação, para 50 m².

Levando em consideração a menor quantidade de camadas e de substrato, assim como os menores preços dos materiais e consequente mais facilidade de obtenção nos telhados verdes de baixo custo, foi adotada na Alternativa 3 a nota 2.

Custos de manutenção (AS3)

De acordo com Almeida, Jonov e Paula e Silva (2023), a necessidade tanto de manutenção, como também de operação dos telhados verdes fazem com que o investimento seja grande durante sua vida útil. Ressaltou-se que no cenário brasileiro, tem-se uma condição de grande estresse para vegetação, como alta incidência de radiação solar, são necessárias análises frequentes em relação às condições fisiológicas das plantas, assim como a necessidade de irrigação, devido à irregularidade da precipitação ao longo do ano.

Conforme relatado na avaliação da variável Manutenção (AO2), o processo de manutenção de telhados verdes convencionais demanda uma grande quantidade de serviços e custo quando comparado com o do telhado verde de baixo custo, principalmente no que diz respeito à necessidade de mão de obra especializada, assim como necessidade de manutenção em todo o telhado e não em “células”, como no de baixo custo.

Assim como na variável Manutenção (AO2), sobre a Alternativa 2, reservatórios em caixas d’água, têm-se como procedimento padrão a necessidade de limpeza

frequente tanto no dispositivo, como também no meio que ele está inserido, sem artifícios muito custosos para manutenção.

Diante disso, foi estabelecida a nota 1, 3 e 2 para as alternativas 1, 2 e 3, respectivamente.

Lucros extras (AS3)

De acordo com Alberto *et al*. (2012), a implementação de telhados verdes, a partir da melhora do conforto térmico, reduzem os com resfriamento do ambiente (ar-condicionado) e consequente diminuição dos gastos com energia elétrica. Ainda neste contexto, Oliveira (2009) calculou a renda estimada para vegetação em telhado verde, encontrando um valor de lucro extra igual a R$ 50,00/m², no qual, seria possível uma recuperação de capital em cerca de 2 anos de trabalho, sem levar em consideração a durabilidade do local. Vale citar que a utilização de vegetação em telhados não é nova, uma vez que o cultivo pode ser um método efetivo para assegurar suprimento de comida e satisfazer as necessidades nutricionais dos moradores, conforme citado por Chowdhury (2020).

Em relação aos telhados verdes de baixo custo, por se tratar de “módulos”, tem-se a limitação em relação à vegetação ao comparar com os telhados verdes convencionais, visto que plantas com raízes esparsas podem interferir no funcionamento do dispositivo. Dessa forma, foram estabelecidas as notas 3 e 2 para as Alternativas 1 e 3, respectivamente. Contudo, para a Alternativa 2 (caixas d’água), foi adotada a nota 1, visto que os possíveis lucros extras a partir da aplicação desta tecnologia são muito pequenos quando comparado com as demais alternativas.

Avaliação das alternativas: Aspectos Socioeconômicos

É mostrado na Tabela 37 o resumo das notas atribuídas para cada alternativa, a partir da análise das variáveis ligadas aos Aspectos Socioeconômicos. Observa-se que para esta dimensão, a Alternativa 2 apresentou a maior nota.

Tabela 39 – Tabela resumo para Aspectos Socioeconômicos.

Variáveis	Pesos	Alt. 1	Alt. 2	Alt. 3
Custos - AS1	36,5%	1,00	3,00	2,00
Prazo da execução - AS2	17,2%	1,00	3,00	2,00
Custos de manutenção - AS3	36,5%	1,00	3,00	2,00
Lucros extras - AS4	9,9%	3,00	1,00	2,00
Média ponderada		**1,56**	**2,80**	**1,64**

Fonte: Autora (2024).

4.4.4 Hierarquização das alternativas conforme o método AHP

Uma vez realizada a atribuição dos níveis de importância para cada dimensão e variável, assim como a avaliação das alternativas em relação às variáveis, foi definida a hierarquização das alternativas conforme o método AHP. Foram encontradas as notas para as alternativas por dimensão apresentadas na Tabela 40, levando em consideração a Prioridade Média Local (PML) por dimensão encontrada no **item 4.4.4**. Observa-se que foi definida uma nota final, encontrada a partir do somatório entre as notas encontradas nas três dimensões por alternativa.

Tabela 40 – Notas finais das alternativas por dimensão.

Alternativa	Notas das alternativas			Nota Final	Ordem de Hierarquização
	AH	AO	AS		
Alternativa 1	0,96	0,23	0,24	1,43	3
Alternativa 2	1,80	0,54	0,56	2,90	**1**
Alternativa 3	0,84	0,43	0,40	1,67	2

Fonte: Autora (2024).

Conforme observado na Tabela 40, a partir da aplicação da análise AHP, foi possível concluir que a **Alternativa 2 (implementação de caixas d'água) é considerada a alternativa mais adequada** para a diminuição o fluxo de água advindo das áreas de contribuição urbanizadas do morro, que contribuem para a sarjeta S2, visto que apresentou nota final superior às demais alternativas (2,90) e consequentemente a maior ordem de hierarquização.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a identificação da área de estudo, foram analisados os graus de urbanização e de índices pluviométricos para Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes, municípios de destaque da Região Metropolitana do Recife (RMR) em Pernambuco. Em relação ao crescimento das áreas urbanizadas, optou-se por considerar **Recife** como município de estudo, com uma diferença de 68,77 km² entre sua extensão do ano de 1985 e 2021. No que diz respeito aos índices pluviométricos, foram consolidados dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, na qual todos os valores do Recife estiveram acima da média anual dos valores correspondente as áreas urbanizadas para os três municípios. Da avaliação do histórico pluviométrico do município, para o ano de 2022, foi encontrado o mês de maio de 2022 como o de maior precipitação, com 635,22 mm/mês, e o dia **28 de maio de 2022** de maior precipitação diária, acumulando 145,33 mm.

Para a definição do morro, foram utilizados dados da Defesa Civil – Recife (SEDEC PE) de ocorrência de chamados para os dias de 27, 28 e 29/05/2022, sendo encontrado um destaque para o bairro **COHAB (Ibura de cima),** com somatório de 108 chamados. Foram consideradas **3 sarjetas e 4 descidas d'água** como dispositivos de microdrenagem urbana no morro em questão.

Foram definidas as áreas de contribuição a fim de calcular a **vazão de projeto,** e levou-se em consideração áreas internas do morro e áreas externas ao morro, visto que a sarjeta da Rua Jovem João Santos Neto é responsável pela coleta da água precipitada tanto pelo morro, quanto pela porção esquerda externa. Para as sarjetas, visando a avaliação da **vazão admissível**, aplicou-se a **Equação de Izzard**, e foram detectados problemas em relação à capacidade da sarjeta S2, na qual a vazão gerada pelo evento extremo é superior à vazão na qual o dispositivo tem capacidade de suportar. Ressalta-se que tal situação está vinculada principalmente ao impacto da contribuição externa ao dispositivo, visto que a inserção desta área aumenta substancialmente a vazão de projeto referente (0,189 m³/s).

Em relação às descidas d'água, foi realizada uma avaliação de segurança estimada, e observou-se que todas as descidas d'água apresentaram **regime *Nappe Flow,* com subregime de desenvolvimento parcial do ressalto hidráulico**. Destaca-se que os dispositivos apresentaram comprimento de queda do jato com valores próximos, o que faz com que o acúmulo de ar entre os degraus também seja próximo e configurando ainda mais no subregime encontrado.

Considerando os problemas na sarjeta S2, para diminuição o fluxo de água analisou-se a possibilidade de implementação de técnicas compensatórias e foi estudada a possibilidade de aplicação de três alternativas: (1) telhados verdes convencionais; (2) armazenamento de água de chuva por reservatório (caixa d'água); (3) telhados ecológicos de baixo custo. Utilizou-se o Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP) para auxílio na tomada de decisão.

Ao final, concluiu-se que para a diminuição o fluxo de água advindo das áreas de contribuição urbanizadas do morro, que contribuem para a sarjeta S2, a **Alternativa 2 (implementação de caixas d'água) é considerada a alternativa mais adequada** a partir da aplicação da análise AHP, visto que apresentou nota final superior às demais alternativas (2,90) e consequentemente a maior ordem de hierarquização.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, E. Z.; RECCHIA, F. M.; PENEDO, S. R. M.; PALETTA, C. F.. Estudo Do Telhado Verde Nas Construções Sustentáveis. XII Safety, Health and Environment World Congress São Paulo – SP, **Anais..**, 4 p., 2012.

ALBUQUERQUE, R. T. D. B.; DANTAS, C. E. O.; ARAÚJO, E. L.; VASCONCELOS, T. L.. Distribuição Temporal das Precipitações no Município do Recife. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 6 (2): 245–252, 2013.

ALHEIROS, M. M.; SOUZA, M. Â. A.; BITOUN, J; MEDEIROS, S. M. G. M.; AMORIM JÚNIOR, W. M.. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**. Fundação de Desenvolvimento M–nicipal FIDEM – Recife: Ensol, 384 –389., 2004.

ALMEIDA, M. G.; JONOV, C. M. P.; PAULA E SILVA, A.. Técnica, Gestão, Manutenção e Manifestações Patológicas Em Telhados Verdes. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.4, n.9, p. 1 – 31, 2023.

ALVIM, F. H. S.; SILVA, A. B. H.. Estudo da viabilidade do reaproveitamento de água de chuva na cidade de Belo Horizonte-MG para utilização residencial. **Revista de arquitetura: Cidade e Habitação,** Brasília, v.1, n.1, p. 30–41, 2021.

AMEYAW, E. E.; HU, Y.; SHAN, M.; CHAN, A. P. C.; LE, Y.. Application of Delphi Method In Construction Engineering and Management Research: A Quantitative Perspective. **Journal Of Civil Engineering and Management**, 22 (8), p. 991-1000, 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Metadados**. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home/> Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

ANDRES, F. C.; ANDRES, S. C.; MORESCHI, C.; RODRIGUES, S. O.; FERST, M. F.. A utilização da plataforma Google Forms em pesquisa acadêmica: relato de experiência. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, P. 1-7, 2020.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Monitoramento pluviométrico**. Disponível em: http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia /monitoramento-pluvio.php. Acesso em: 15 de abril de 2023.

ARANTES, E. J.; PORTO, R. M.; BOTARI, A.. Dissipação de Energia em Vertedouros em Degraus via CFD. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo – SP, **Anais..**, 20 p., 2007.

ARAÚJO, D. C.; SILVA, P. O.; CURI, W. F.; CABRAL, J. J. S. P.. Aplicação Do Método De Análise Hierárquica Para Seleção De Intervenções Na Drenagem Urbana. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais..**, Florianópolis – SC, p. 1–8, 2017.

ARAÚJO, W. J.; GOMES, T. A.. Avaliação de sistemas de gerenciamento de processos de negócios (BPMS): análise multicritério dos softwares Bizagi e Bonita. **Revista Digital de Biblioteconomia e Ciências da Informação**, v.20, 2022.

ASSIS, H. M. B.. **Atividades impactantes sobre o meio ambiente da Região Metropolitana do Recife**. CPRM, Recife, PE, 81 p., 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: **Água De Chuva: Aproveitamento Em Áreas Urbanas Para Fins Não Potáveis: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

AZEVEDO NETTO, M. F. FERNANDEZ, R. ARAUJO, A. E. Ito. **Manual de Hidráulica**. São Paulo, Edigar Blucher, 1998 8ª ed. 669p.

BACALHAU, J. R.; RIBEIRO NETO, A.; OLIVEIRA, L. M. M.. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: açude Algodões no sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, 2 (3): 283–293, 2017.

BANDEIRA, A. P. N.. **Parâmetros Técnicos para Gerenciamento de Áreas de Riscos de Escorregamentos de Encostas na Região Metropolitana do Recife**. Tese do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 369 p., 2010.

Barreiras deixam pobres em pânico. Acervo digital do Diário de Pernambuco, Recife, 1985. Disponível em: https://memoria.bn.br/docreader/DocReader. aspx?bib=029033_14&pagfis=51526. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

BECKER, P.. **Utilização do Sig no Cadastro da Rede de Macrodrenagem e Microdrenagem**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 7 p., 2016.

BEZERRA, U. A.. **Índices espectrais utilizando os sensores oli/lentinela e msi/sentinel–2, na bacia hidrográfica do rio Moxotó–PE**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 113 p., 2019.

BEZERRA, J. M. V.. O Processo de Urbanização e Adensamento Populacional no Recife-PE e o Direito à Moradia na Ilha de Deus. **Revista Brasileira de Estudos Organizacionais**, v. 9, n. 2, p. 351 – 368, 2022.

BNB – Banco do Nordeste do Brasil. **Perfil socioeconômico de Pernambuco**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 192 p., 2015.

CALDANA, N. F. S.; YADA JUNIOR, G. M.; MOURA, D. A. V.; COSTA, A. B. F.; CARAMORI, P. H.. Ocorrências de Alagamentos, Enxurradas e Inundações e a Variabilidade Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, 23: 343–355, 2018.

CALDEIRA, L. A. C.; LIMA, D. P.. Drenagem urbana: uma revisão de literatura. **Engineering Sciences**, 8 (2): 1–9, 2020.

CALIFORNIA COASTAL COMISSION.. **How Urbanization Affects the Water Cycle (2005).** Disponível em: <https://oehha.ca.gov/media/downloads/ecotoxicology/fact-sheet/watercyclefacts_0.pdf> em 01 de junho de 2023.

CARDOSO NETO, A.. **Sistemas Urbanos de Drenagem**. 2010. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf.> Acesso em 01 de junho de 2023.

CARVALHO, M. A. T.; WALDE, D. H. G.. Estimation of urban soil sealing correlated to population density in the Brazil - Bolivia border. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.5, p. 34792 – 34815, 2022.

CASTILHO, Cláudio JM. Movimentos Sociais Urbanos e Construção do Espaço Cidadão em Lugares Pobres do Recife/PE: uma história dos movimentos de bairro, conquistas e impasses, na busca da construção da cidadania. **Revista de Geografia**, v. 19, 2002.

CASTRO, A. S.; GOLDENFUM, J. A.. Uso de telhados verdes no controle quantitativo do escoamento superficial urbano. **Revista Atitude**, Ano IV, 7: 75–81, 2010.

CAVALCANTI, R. M. S.. **Indicadores Geomorfológicos, Riscos e o Planejamento Urbano – uma apreciação teórico integradora para a cidade do Recife – PE**. Tese do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da UFPE, Recife, PE, 184 f., 2012.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Pluviômetros Automáticos.** Disponível em < http://www.cemaden.gov.br/pluviometros–automatico/. Acesso em 30 de março de 2022.

CHEN, C.. Performance evaluation and development strategies for green roofs in Taiwan: A review. **Ecological Engineering**, 52: 51-58, 2013.

CHOWDHURY, M. H.; Eashat, M. F. S.; SARKAR, C.; PURBA, N. H.; HABIB, M. A.; SARKAR, P.; SHILL, L. C.. Rooftop gardening to improve food security in Dhaka city: A review of the present practices. **International Multidisciplinary Research Journal**, 10: 17–21, 2020.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F.. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2ª Edição. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

COLLODEL, M. G.. **Aplicação do modelo SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da USP, 225 p., 2009.

COMPESA INICIA NOVA ETAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE CAIXAS D'ÁGUA PARA CLIENTES DE BAIXA RENDA E EM SITUAÇÃO DE VULNERABILIDADE SOCIAL. Disponível em https://servicos.compesa.com.br/compesa-inicia-nova-etapa-de-distribuicao-de-caixas-dagua-para-clientes-de-baixa-renda-e-em-situacao-de-vulnerabilidade-social/. Acesso em: 21 de junho de 2023.

COSTA, J., POLETO, C., RAMME, S. S.. **Redução e retardo do escoamento superficial das águas pluviais em telhado verde**. Encontro de Iniciação Científica. Toledo, PR, Brasil, 13 p., 2016.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M.. Controle da Drenagem Urbana no Brasil: Avanços e Mecanismos para sua Sustentabilidade. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, **Anais..**, 18 p., 2017.

DEMATTÊ, J. A. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; FORMAGGIO, A. R.. Influence of organic matter and iron oxides on the spectral reflectance of tropical soils. **Bragantia** [online], 62 (3): 451–464, 2003.

DEFESA CIVIL [Email]. Destinatário: Camila Oliveira de Britto Salgueiro (camila.salgueiro@ufpe.br). Recife, 28 de jun. 2023

DINIZ, G. J. S.. **Desempenho de Técnicas Compensatórias na Mitigação do Perigo de Inundações em uma Bacia Urbanizada Fechada**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 70 p., 2022.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Geral. Diretoria Executiva. **Instituto de Pesquisas Rodoviárias - Álbum de projetos** – tipo de dispositivos de drenagem. - - 3. ed. - Rio de Janeiro, 2010

DUTRA JÚNIOR, S. A.; MENEZES FILHO, F. C. M.. Benefícios da Implantação de Técnicas Compensatórias sob Cenários Distintos de Uso e Ocupação do Solo. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.18, n.1, p. 38 – 52, 2022.

ESIG – Sistema de Informações Geográficas do Recife. Disponível em: < http://www.recife.pe.gov.br/ESIG/>. Acesso em 01 de junho de 2023.

FENSTERSEIFER, P.; TASSI, R.; CECONI, D. E.; ALLASIA, D. G.; MINETTO, B.; SBITKOWSKI, A. L.; FENSTERSEIFER, M. J.. Reaproveitamento de embalagens TETRA PAK® como suporte de telhados verdes. XVIII Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, Curitiba – PR, **Anais..**, 10 p., 2017.

FLORÊNCIO, B. B. P.. Telhados Verdes: Contribuições ao Consumo de Energia. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 96 p., 2016.

FONSECA, P. L. L.. **Resiliência Urbana Associada Aos Sistemas De Drenagem Sustentáveis: Técnicas Compensatórias Em Manejo De Águas Pluviais**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da UNESP, 101 p., 2023.

FRANÇA, A. F.; TAVARES JUNIOR, J. R.; MOREIRA FILHO, J. C. C.. Índices NDVI, NDWI e NDBI como ferramentas ao mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes–PE. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. **Anais..**, Recife – PE, p. 1–9, 2012.

FRANÇA, B. V.; SUASSUNA, C. C. A.. Avaliando Resiliência Urbana Institucional frente a Eventos Hidrológicos Extremos: o Caso de Camaragibe–PE. **Revista Paisagens & Geografias**, Universidade Federal de Campina Grande, 3 (2): 21–32, 2018.

FRANÇA, T. I. S.. **Escoamentos do tipo Quedas Sucessivas Sem Formação De Ressalto Hidráulico em Canais Com O Fundo em Degraus: Simulação E Metodologia Para o Pré-Dimensionamento**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFBA, 140 p., 2021.

FRANCO, E. J.. **Dimensionamento de bacias de detenção das águas pluviais com base no método racional**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da UFPR, 155 p., 2004.

FREITAS, A. P.; MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.. A metodologia de multicritério como ferramenta para a tomada de decisões gerenciais: um estudo de caso. **GEPROS – Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, 1: 51–61, 2006.

FREITAS, L. C. S.; CAVALCANTI, L. C. S.; BRAZ, A.M.. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, n. 45, v. 2, p. 38-52, 2023.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P.. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 15 (1): 19–28, 2010.

GOMES, E. T. A.. **Recortes de paisagens na cidade do Recife: uma abordagem geográfica**. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, Ed. Massangana, 356 p., 2007.

GOMES, U. A. F.; DOMÈNECH, L; PENA, J. L.; HELLER, L.; PALMIER, L. R.. A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19 (1): 7–16, 2014.

GOMES, Y. R. M.. **Telhado Verde em Clima Tropical Úmido: investigação da qualidade da água**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 68 p., 2019.

GOMES, I. M. L.. Alagamentos e Inundações - Uso de visualização geométrica para análise de risco associados ao volume de chuva e altura das marés na cidade do Recife. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil na UFPE, 18 p., 2022.

GONÇALVES, E. D.; BLANCO, C. J. C.; WATRIN, V. R.; COSTA, C. E. A. S.. Análise Experimental e Custos de Telhados Verdes Comerciais e Fabricados com

Garrafas PET para Redução de Cheias Urbanas na Amazônia. **Mix Sustentável**, 7 (2), 57-66, 2021.

GOOGLE. *Google Earth website*. Disponível em<http://earth.google.com/>, 2023.

GOOGLE. *Google Earth Enginee website*. Disponível em<https://earthengine.google.com/>, 2023.

GUEDES, R. P.; ARAÚJO, M. P. S.; ANDRADE, A. P. G.. Necessidade do Gerenciamento dos Recursos Hídricos em Grandes Cidades como Recife. **Architecton - Revista De Arquitetura e Urbanismo**, 6 (9): 107–117, 2021.

GUO, J.C.Y.. Street Storm Water Conveyance Capacity. **Journal of Irrigation and Drainage Engeneering**, 126 (2): 119, 2000.

HEMMATI, M.; BACK, A. J.; MAHMOUD, H. N.; ELLINGWOOD, B. R.; CROOKS, A. T.. Unraveling the complexity of human behavior and urbanization on community vulnerability to foods. **Scientifc Reports**, 11 (20085), 16 p., 2021.

Homem morre soterrado em deslizamento de barreira causado pela chuva no Recife.**G1-Globo**, Recife, 28 de mai. de 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/05/28/homem-morre-soterrado-em-deslizamento-de-barreira-causado-pela-chuva-no-recife.ghtm>. Acesso em: 20 de jul. de 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por Amostra–de Domicílios – PNAD, 2013: síntese de indicadores**. Rio de Janeiro, RJ, 296 p., 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografía e Estatística. **Censo Demográfico 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/ >. Acesso em: 16 de abril de 2023.

IBGE. Atlas do Espaço Rural Brasileiro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/atlasrural/pdfs/11_00_Texto.pdf> Acesso em: 02 de jul. de 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata**. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/> Acesso em: 26 de jan. de 2023.

ISAWA, T. A.; SANTOS, D. C.; BENETTI, A. B. Elaboração de ferramenta de apoio à decisão para proposição de medidas sustentáveis de drenagem urbana. X Encontro Nacional de Águas Urbanas. **Anais..,** São Paulo – SP, p. 1–4, 2014.

KALAF, R.; BRASILEIRO, R.; CARDOSO, P.V.; CRUZ, C. B. M. Landsat 8: Avanços para Mapeamento em Mesoescalas. **Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro**, 1: 2–4, 2013.

LAFAYETTE, F. B.; DANTAS DA SILVA, M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.;. OLIVEIRA DA SILVA, P.; GUSMÃO, R. D.. Plano De Gestão Da Manutenção Da

Rede De Drenagem Da Cidade Do Recife. XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais..**, Maceió– AL, p. 5–6, 2018.

LIMA, C. S.; MELO, R. F. T.; CORRÊA, A. C. B.. Análise de áreas de risco a alagamentos no setor conturbado dos municípios do Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes ao longo do ano de 2005. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia & II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008. **Anais.**. São Paulo: TecArt, 10 pp., 2008.

LIMA, G. C. O.. **Avaliação do Desempenho de Telhados Verdes: Capacidade De Retenção Hídrica e Qualidade da Água Escoada**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 130 p., 2013.

LIMA, C. A. S.; SILVA, J. R. A.; FONTINELES, F. H. S.. Telhados Verdes e Telhados Convencionais: Uma Análise Comparativa Sob A Ótica Da Relação De Custo-Benefício. **Revista Artigos.com**, 10: 1–12, 2019.

MACEDO, F. F.; VEIRA, F. H.; FURIGO, R. F. R.. Indicadores de Manutenção do Sistema de Drenagem Urbana em Mogi Mirim. **Revista Foco,** 15: 59–78, 2018.

MAIA, A. C. J.; DÂMASO, M. L. F.; SILVA, S. G.; SILVA JUNIOR, T. L.; MELO, M. B.. Reservatório para armazenamento de água da chuva em edificações na cidade de Maceió – AL. **Caderno– de Graduação – Ciências exatas e tecnológicas,** 6 (2): 219–231, 2020.

Maior tragédia do século em Pernambuco, mortes pelas chuvas de 2022 superam total da cheia de 1975. **Folha de Pernambuco**, Recife, 02 de jun. de 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/pernambuco/noticia/2022/05/28/homem-morre-soterrado-em-deslizamento-de-barreira-causado-pela-chuva-no-recife.ghtm>. Acesso em: 02 de jul. de 2023

MANGIERI, L. S. G.. **Avaliação dos sistemas de escadarias e rampas drenantes implantadas em assentamentos espontâneos na cidade de Salvador-Bahia**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento da UFB, 131 p., 2012.

MAPBIOMAS. Disponível em: <https://mapbiomas.org/visao-geral-da-metodologia> Acesso em: 20 de jul. de 2023a.

MAPBIOMAS. Disponível em: < https://mapbiomas.org/atbd---entenda-cada-etapa> Acesso em: 20 de jul. de 2023b.

MARCELINO, E. V.. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Santa Maria: INPE/CRS, 39 p., 2008.

MARCELINO, A. G. B.; LUCENA, R.; PAIVA, A. C.; MACENA, V. R. O.. Redução de Riscos de Desastres e Direito a Moradia: Desafios para a Resiliência Urbana. **Revista Paisagens & Geografias**, Universidade Federal de Campina Grande, 3 (2): 9–20, 2018.

MARINS, C. S.; SOUZA, D.O.; BARROS, M. S.. O Uso Do Método De Análise Hierárquica (AHP) Na Tomada De Decisões Gerenciais – Um Estudo de caso. XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento. **Anais..,** Maringá-PR, p. 1778–1789, 2009.

MARTINS, L. S.; PINTO, J. S.. Avaliação Quali-Quantitativa De Telhado Verde Extensivo Em Escala Piloto. **Naturais e Tecnológicas, Santa Maria**, 17 (2): 245-257, 2016.

MATOS, J.; MEIRELES, I.. Hydraulics of stepped weirs and dam spillways: engineering challenges, labyrinths of research. **Hydraulic Structures and Society: Engineering Challenges and Extremes, Brisbane, Australia,** p. 25 – 55, 2014.

MEDIONDO, E. M.; CUNHA, A. R.. **Experimento Hidrológico Para Aproveitamento de Águas de Chuva Usando Coberturas Verdes Leves.** São Carlos, SP. USP/SHS – Processo FAPESP 03/06580–7, 2004.

MEIRELES, F. M.. O Planejamento Urbano na Gestão de Resíduos Sólidos e Mudanças Climáticas. **Revista Pleiade**, 17 (38): 05–12, 2023.

MELO, C. R.; CIRILO, J. A.; AMORIM, S. F.; ALVES, F. H. B.; GUEDES, P. A.. Avaliação dos Índices de Precipitação nos Deslizamentos de Terra na Comunidade de Lagoa Encantada (Ibura – Recife) entre os Anos de 2013 e 2017. XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Recife – PE, **Anais..**, 10 p., 2020.

MELO, C. R.; GUEDES, P. A.; OTTONI, M. V.; MELO, S. C.. Análise do Balanço Hídrico no Solo, em Relação aos Deslizamentos de 28/05/2022, em Jardim Monte Verde, PE. III Encontro Nacional de Desastre. Rio de Janeiro-RJ. **Anais..**, 2023.

MENDES, T. G. L.; SILVA, S. R.; ANJOS, R. S.; SANTOS, T. N.; MOREIRA, B. M.; NÓBREGA, R. S.. Abordagem científica sobre ilhas de calor em Recife–PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress,** 4 (1): 001–013, 2019.

MENEZES FILHO, F. C. M. M.; COSTA, A. R.. Sistemática De Cálculo Para o Dimensionamento De Galerias De Águas Pluviais: Uma Abordagem Alternativa. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.1, n.4, p. 12 – 22, 2012.

MORAES, I. C.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L.; MORUZZI, R. B.. Comparação de Metodologias na Definição de Fluxos Acumulados a Partir de Modelos Digitais de Elevação do Terreno Aplicado a Suscetibilidade de Inundações. **RBH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 19 (2): 5–14, 2014.

MORAES, M. F. M.. Telhados Verdes: Uma Análise Comparativa de Custos e Vantagens em Relação aos Telhados Convencionais. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil na UFRS, 59 p., 2013.

MORAES, A. P.. Procedimentos Técnicos De Dimensionamento Da Microdrenagem Do Município De Santo André. XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, **Anais..**, 2015.

MORROS: Chuvas já apavoram moradores. Acervo digital do Diário de Pernambuco, Recife, 1985. Disponível em: https://memoria.bn.br/docreader/DocReader.aspx?bib=029033_14&pagfis=51526. Acesso em: 22 de janeiro de 2023.

MOTA, H. S.; MARTINS, J. H.. Avaliação da Capacidade de Captação e Armazenamento de Água das Chuvas no Alto Vale do Jequitinhonha: uma proposta para Mitigação do Efeito da Escassez de Água na Região. **Humanidades & Tecnologia Em Revista (FINOM)**, 18 (13): 188–202, 2019.

MOURA, E. F. S.; SILVA, S. R.. Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife–PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, 3 (15): 78–93, 2015.

NAGEM, F. R. M.. **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas (Rio de Janeiro)**. Dissertação de Mestrado. Programas de Pós–Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 114 p., 2008.

NÓBREGA, R. S.; FARIAS, R. F. DE L.. Eventos Extremos Pluviais Em Jaboatão Dos Guararapes: Climatologia E Estudo De Caso. **Revista Do Departamento De Geografia**, (spe), 70-82, 2016.

NÓBREGA, R. S.; SANTOS, P. F. C.; MOREIRA, E. B. M.. Morfologia Urbana e Ilhas de Calor na Cidade do Recife/PE: Distribuição Espacial e Intensidade. **Revista de Geografia** (Recife), 33 (4): 319–333, 2016.

OLIVEIRA, E. W. N.. **Telhados Verdes para Habitação de Interesse Social: Retenção das Águas Pluviais e Conforto Térmico**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 136 p., 2007.

OLIVEIRA, E. W. M.. **Telhados Verdes para Habitações de Interesse Social: Retenção das águas pluviais e conforto térmico**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Ambiental da UFRJ, 87 p., 2009.

PANZIEIRA, A. G.; CALIL, V. S.; AMARAL, F. D.; SWAROWSKY, A.. Desempenho De Diferentes Tipos De Telhado Verde No Conforto Térmico Urbano Na Cidade De Santa Maria, RS. **Naturais e Tecnológicas, Santa Maria**, 16 (3): 445-457, 2015.

PARKINSON, J.; MILOGRANA, J.; CAMPOS, L. C.; CAMPOS, R.. **Drenagem Urbana Sustentável no Brasil**. Relatório do Workshop em Goiana, Universidade de Goiás, 24 p., 2003.

PATIAS, N. D.; HOHENDORFF, J. V.. Critérios de Qualidade para Artigos de Pesquisa Qualitativa. **Psicologia em estudo,** Brasília, v.24, p. 1–14, 2016.

PAZ, U. F.; **Gestão de áreas verdes públicas na cidade do Recife, Pernambuco, Brasil**. Dissertação submetida ao Programa de Pós–Graduação em Gestão Ambiental como parte do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 197 p., 2016.

PE3D. Disponível em: < http://www.pe3d.pe.gov.br/> Acesso em: 02 de agosto de 2023.

PFALTZGRAFF, P. A S.. **Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da UFPE, Recife, PE, 153 p., 2007.

PIMENTADEAVILA, 2013. Sisccoh – sistema para cálculos de componentes hidráulicos. Disponível em: http://www.pimentadeavila.com.br/sisccoh/. Acesso: 08 de novembro. 2023

PIMENTEL, F. C. C.. A Vida no Morro Enquanto o Desastre não Acontece: Faces da Injustiça Socioambiental na Cidade do Recife. **Revista UFMG**, 27 (3): 106–129, 2020.

POMPÊO, C. A.. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 5 (1), 15–23, 2000.

PORTO, R.; ZAHED, K.; TUCCI, C.; BIDONE, F.. **Drenagem Urbana**. In: TUCCI, C. E. M., org. Hidrologia– Ciência e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2004.

PRATES, J. F. M.. **Desempenho de coberturas verdes em zonas urbanas**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Sistemas Energéticos Sustentáveis da UA, 115 p., 2012.

PREFEITURA DO RECIFE. ESIG, 2023. Disponível em: <https://esigportal2.recife.pe.gov.br/portal/apps/sites/#/esig>. Acesso em: 13, agosto de 2023.

Projeto MapBiomas – Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 20 de agosto através do link: https://brasil.mapbiomas.org/map/colecao-7/.

QGIS Development Team, <2023>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. http://qgis.osgeo.org

QUANG, C. N. X.; GIANG, N. N. H.; THINH, N. T. P.. Impacts of urbanization and climate change on surface runoff in Thu Duc City, Vietnam.. IOP Conf. Ser.: Earth Environ, 2022.

RAMOS, A. M.. **Influência das Mudanças Climáticas devido ao Efeito Estufa na Drenagem Urbana de uma Grande Cidade**. Tese de Doutorado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da UFPE, Recife, PE, 139 f., 2010.

RECIFE. **Lei nº 18.112** que dispõe sobre a melhoria da qualidade ambiental das edificações por meio da obrigatoriedade da instalação do telhado verde, e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem e dá outras providências. 1 p., 2015.

RECIFE. **Lei complementar nº 02/ 2021** que institui o plano diretor do município do recife, revogando a Lei municipal nº 17.511, de 29 de dezembro de 2008. 1 p., 2021.

RECIFE. Secretaria Executiva de Defesa Civil–PE. Banco de dados Recife. 2020. Disponível em: < http://dados.recife.pe.gov.br/ >. Acesso em: 20 fev. 2021.

REZENDE, R. F.. **Dimensionamento do Sistema de Drenagem Tradicional e Sistema com utilização de microrreservatórios: Estudo de caso no município de Itabirito-MG**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil na FEPESMIG, 25 p., 2022.

REZENDE, O. M.; AREND FILHO, L. A.; SOUSA, M. M.; MIGUEZ, M. G.; MAGALHÃES, P. C.. Projetos para Controle de Inundações: conceito de reservação x conceito de canalização. XVIII Simpósio de Recursos Hídricos. Campo Grande – MS, **Anais..**, 20 p., 2009.

RIBEIRO, F. O.. O uso do MapBiomas na análise de perda de vegetação natural e apoio a Legislação Florestal atual em Bragança (Pará). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.10, n.3. 150-167, 2022.

RODRIGUES, A. B.. **Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica de Inundações na bacia do Fragoso – Olinda/PE**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 166 p., 2021.

SAATY, T. L.. An Eigenvalue Allocation Model in Contingency Planning. University of Pennsylvania, 19: 72., 1972.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, jan. 2008.

SAITO, S. M.; DIAS, M. C. A.; ALVALÁ, R. C. S.; STENNER, C.; FRANCO, C. O.; RIBEIRO, J. V. M.; SOUZA, P. A.; SANTANA, R. A. S. M.. População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. **Sociedade & Natureza**, 31 (45163), 25 p., 2021.

SANTANA, J. K.. Análise Evolutiva da Ocupação dos Morros da Cidade do Recife. XVI Simpósio Nacional de Geografia Urbana, **Anais..**, p. 1–9, 2019.

SANTANA, F. A. F.; LACERDA JÚNIOR, H. B.. Análise da Viabilidade do Aproveitamento da Água de Chuva em um Prédio Público, na Cidade do Recife-PE. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil no Instituto Federal de Pernambuco, 26 p., 2022.

SANTANA, T. C.; GUISELINI, C.; CAVALCANTI, S. D. L.; SILVA, M. V.; VIGODERIS, R. B.; SANTOS JÚNIOR, J. A.; MORAES, A. S.; JARDIM, A. M. R. F.. Quality of rainwater drained by a green roof in the metropolitan region of Recife, Brazil. **Journal of Water Process Engineering,** 49 (22): 2214-7144, 2022.

SANTANA, A. B.; SILVA, M. T. M.. Renovações e rupturas: intervenções urbanas no centro do Recife [PE] e a abordagem da Paisagem Urbana Histórica. **Labor & Engenho**, 16, 1-14, 2022.

SANTOS, L. C. C.. **Estimativa de Vazões Máximas de Projeto por Métodos Determinísticos e Probabilísticos.** Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, 173 f., 2010.

SANTOS, P. T. S.. **Balanço Hídrico em Teto com Cobertura Vegetal no Semiárido Pernambucano**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 100 p., 2011.

SANTOS, P. T. S., SANTOS, S. M., MONTENEGRO, S. M. G. L., COUTINHO, A. P., MOURA, G. S. S., ANTONINO, A. C. D.. Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. **Ambiente Construído**, 13 (1): 161–174, 2013.

SANTOS, S. M.; FARIAS, M. M. M. W. E. C.. Potential for Rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. **Journal of Cleaner Production,** 164: 1007 – 1015, 2017.

SAVI, A. C.. **Telhados verdes: análise comparativa de custo com sistemas tradicionais de cobertura**. Monografia de especialização do Curso de Especialização em Construções Sustentáveis da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 128 f., 2012.

SCHLICKMANN, R. L.; BACK, A. J.. Avaliação de métodos de estimativa de vazão máxima para dimensionamento de bueiros. **Revista Técnico–Científica de Engenharia Civil**, 3 (1), 16 p., 2020.

SILVA JÚNIOR, M. A. B.. **Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife–PE**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Recife, 153 p., 2015.

SILVA, P. O.. **Análise de técnicas compensatórias de drenagem urbana para atenuação de inundações em uma sub–bacia do rio Jiquiá no Recife**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da UFPE, Recife, PE, 139 f., 2010.

SILVA, F. M.; COSTA JUNIOR, N. P.; LIMA, Z. M. C.. Avaliação microclimática de Natal/RN através de técnicas de sensoriamento remoto: uma contribuição aos estudos do clima urbano. **Sociedade e Território,** 26 (2): 163 – 180, 2014.

SILVA, C. F.. Intervenção urbana e uso do solo na Zona Sul do Recife: análise sobre as transformações urbanas dos bairros do Pina e Boa Viagem. **Caderno de Geografia**, v.26, n.45, 2016.

SILVA, T. F.. **Tecnologia Alternativa em Drenagem Urbana: Telhado Verde**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, 136 p., 2017.

SILVA, D. D.. Aproveitamento de Água de Chuva para fins não potáveis em Residência Unifamiliar em Muzambinho-MG: Dimensionamento e Viabilidade. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil no CEFET-MG, 70 p., 2018.

SILVA, V. M. A.; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, C. A. C.. Análise da Climatologia da Precipitação em Recife e Eventos Extremos de Chuva. **Caderno de Pesquisa, Ciência e Inovação**, 1 (3): 59-64, 2018.

SILVA, J. F. F. S.. **Alternativas para Controle de Alagamentos Urbanos Utilizando Telhados Verdes e Pavimentos Permeáveis em um Bairro da Cidade do Recife**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 115 p., 2019.

SILVA, E. A.; MANDÚ, T. B.; LIMA, I. P. C.; MELO, M. H. B.; ANDRADE, M. U. G.. Análise da Variabilidade Temporal da Precipitação em Recife-PE. **Ciências Exatas e da Terra, Sociais, da Saúde, Humanas e Engenharia/Tecnologia**, v.2, n.7, 2021.

SILVA, F. A. R.; MONTEIRO, L.R.. Revisão Conceitual de Enxurradas. II Encontro Nacional de Desastres, **Anais..**, 2020.

SILVA, D. D.. **Aproveitamento de Água de Chuva para Fins Não Potáveis em Residência Unifamiliar Em Muzambinho-MG: Dimensionamento e viabilidade**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil na FEPESMIG, 25 p., 2022.

SIMIONI, J. P. D.; ROVANI, F. F. M.; IENSSE, A. C.; WOLLMANN, C. A.. Caracterização da Precipitação Pluviométrica na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, RS. **Revista do Departamento de Geografia**, USP, 28 (38): 112 –133, 2014.

SIMÕES, A. L. A.. **Considerações sobre a hidráulica de vertedores em degraus – Metodologias adimensionais de pré-dimensionamento**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil em Hidráulica e Saneamento da USP, 286 p., 2008.

SIQUEIRA, M. M.; ROCHA, T. T.; VIEIRA, A. P. S. D.; DÖLL, M. M. R.; VUITIK, G. A.. Métodos de cálculo de vazão de escoamento superficial em bacias rurais de diferentes escalas. **Revista de engenharia e tecnologia**, 15 (1), 2023.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnósticos SNIS 2021/2022**. Disponível em: < http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/> Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

SONG, X. P.; HANSEN, M. C.; STEHMAN, S. V.; POTAPOV, P. V.; TYUKAVINA, A.; VERMOTE, E. F.; TOWNSHEND, J. R.. Global land change from 1982 to 2016. **Nature**, 560 (7720): 639-643, 2018

SOUSA, S. P. C.. **Avaliação do Impacto da Urbanização sobre o Escoamento Superficial por meio de Simulação Hidrológica**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba, 72 p., 2016.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ARAÚJO, L. E.. Classificação da Precipitação Diária e Impactos Decorrentes dos Desastres Associados às Chuvas na Cidade do Recife–PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2: 250–268, 2012.

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ASSIS, J. M. O.; SOBRAL, M. C.. Áreas De Risco Mais Vulneráveis Aos Desastres Decorrentes Das Chuvas Em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 2176-9478, 2014.

SOUZA, C. M. C.. **Análise do Desempenho Energético e Financeiro de Telhados Verdes e Painéis Fotovoltaicos, considerando a Influência de Variáveis Climáticas**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Graduação em Engenharia Civil na UFPE, 86 p., 2019.

SOUZA, R. S.; LESS, D F. S.; SANTOS, J. I. N.; SILVA, A. N T.. Análise Do Sistema De Drenagem Urbana Do Bairro Nova República No Município De Santarém – Pará. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental,** Palhoça, v. 12, p. 1-18, 2023.

TASSINARI, L. C. S.. **Dimensionamento de Sistemas de Drenagem Pluvial Utilizando Métodos de Baixo Impacto**. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 80 p., 2014.

TEIXEIRA, W. S.. **Efeitos Da Ocupação Urbana E Do Uso De Técnicas Compensatórias Sobre O Escoamento Superficial Direto Da Bacia Hidrográfica Do Córrego Santa Maria Do Leme - São Carlos - SP**. Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 48 p., 2024.

TOMAZ, P. Curso de manejo de águas pluviais. Capítulo 2 - Método Racional. 2013. 15p.

TOMINAGA, E. N. S.. **Urbanização e cheias: Medidas de controle na fonte**. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da USP, 137 p., 2013.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. (Orgs.). **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS). ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, 1995.

TUCCI, C. E. M.. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Caxias do Sul, 2000.

TUCCI, C. E. M.. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 7 (1): 5–27, 2002.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas: impactos da urbanização**. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, 87–124, 2007.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 943 p., 2013.

USEPA – US Environmental Protection Agency. **Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices**. EPA 841–F–07–006. Nonpoint Source Control Branch, Washington, D.C., 2008.

VARGAS, R. V.. Utilizando a Programação Multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. PMI Global Congress - North America, Washington. 22p, 2010.

VAEZA, R. F.; FILHO, P. C. O.; GONÇALVES, A.; DISPERATI, A. A.. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, 12 (1): 23–29, 2010.

VILARIM, M. B.. Desempenho Térmico de Telhado Verde de Baixo Custo em Região de Clima Tropical Úmido. Dissertação do Programa de Pós–Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE, 140 p., 2022.

WANDERLEY, L. S. A.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C.; MOREIRA, A. B.; ANJOS, R. S.. Tipos de Tempo Associados a Eventos Diários de Chuva Intensa na Cidade do Recife – PE, Brasil. **Sociedade & Natureza,** 33: 1 – 14, 2021.

YAN, J.; ZHANG, S.; ZHANG, J. ZHANG, S.; ZHANG, C.; YANG, H.; WANG, R.; WEI, L.. Stormwater retention performance of green roofs with various configurations in different climatic zones. **Journal of Enviromental Management**, 319: 1–12, 2022.

APÊNDICE A – ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO

Tabela 41 – Áreas de contribuição internas ao morro.

ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)
ÁREA 1	1374,27	ÁREA 35	503,89	ÁREA 69	513,55	ÁREA 103	245,37
ÁREA 2	1303,70	ÁREA 36	1101,82	ÁREA 70	80,81	ÁREA 104	454,27
ÁREA 3	1969,00	ÁREA 37	1018,14	ÁREA 71	59,78	ÁREA 105	61,96
ÁREA 4	363,88	ÁREA 38	407,81	ÁREA 72	795,59	ÁREA 106	127,36
ÁREA 5	1049,32	ÁREA 39	24,71	ÁREA 73	116,93	ÁREA 107	348,01
ÁREA 6	147,49	ÁREA 40	113,79	ÁREA 74	222,73	ÁREA 108	183,28
ÁREA 7	322,67	ÁREA 41	45,56	ÁREA 75	432,04	ÁREA 109	499,17
ÁREA 8	1856,03	ÁREA 42	768,52	ÁREA 76	16,13	ÁREA 110	83,36
ÁREA 9	5390,53	ÁREA 43	280,05	ÁREA 77	22,39	ÁREA 111	218,96
ÁREA 10	402,96	ÁREA 44	626,83	ÁREA 78	30,27	ÁREA 112	228,37
ÁREA 11	761,23	ÁREA 45	351,16	ÁREA 79	18,51	ÁREA 113	32,30
ÁREA 12	1366,14	ÁREA 46	183,14	ÁREA 80	27,73	ÁREA 114	88,91
ÁREA 13	85,43	ÁREA 47	459,17	ÁREA 81	209,95	ÁREA 115	121,30
ÁREA 14	55,18	ÁREA 48	55,89	ÁREA 82	93,05	ÁREA 116	391,18
ÁREA 15	96,76	ÁREA 49	95,93	ÁREA 83	232,40	ÁREA 117	641,22
ÁREA 16	491,22	ÁREA 50	130,61	ÁREA 84	95,44	ÁREA 118	136,00
ÁREA 17	252,68	ÁREA 51	1734,52	ÁREA 85	234,65	ÁREA 119	230,68
ÁREA 18	452,00	ÁREA 52	448,47	ÁREA 86	67,28	ÁREA 120	72,02
ÁREA 19	602,95	ÁREA 53	1008,93	ÁREA 87	601,02	ÁREA 121	370,53
ÁREA 20	2115,04	ÁREA 54	693,07	ÁREA 88	252,76	ÁREA 122	227,48
ÁREA 21	108,17	ÁREA 55	133,62	ÁREA 89	586,04	ÁREA 123	89,78
ÁREA 22	61,16	ÁREA 56	832,38	ÁREA 90	135,02	ÁREA 124	103,70
ÁREA 23	634,93	ÁREA 57	33,79	ÁREA 91	220,52	ÁREA 125	311,76
ÁREA 24	1004,91	ÁREA 58	27,36	ÁREA 92	101,24	ÁREA 126	185,28
ÁREA 25	323,37	ÁREA 59	60,64	ÁREA 93	111,54	ÁREA 127	286,36
ÁREA 26	228,96	ÁREA 60	15,51	ÁREA 94	97,20	ÁREA 128	776,21

ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)
ÁREA 27	649,25	ÁREA 61	25,54	ÁREA 95	233,57	ÁREA 129	312,38
ÁREA 28	195,19	ÁREA 62	813,05	ÁREA 96	222,48	ÁREA 130	37,81
ÁREA 29	395,44	ÁREA 63	704,84	ÁREA 97	324,77	ÁREA 131	6,34
ÁREA 30	1679,04	ÁREA 64	253,86	ÁREA 98	134,11	ÁREA 132	152,37
ÁREA 31	1271,84	ÁREA 65	354,22	ÁREA 99	137,62	ÁREA 133	1051,77
ÁREA 32	28,12	ÁREA 66	772,18	ÁREA 100	148,31	ÁREA 134	244,74
ÁREA 33	115,80	ÁREA 67	1340,25	ÁREA 101	127,50	ÁREA 135	621,56
ÁREA 34	653,37	ÁREA 68	416,90	ÁREA 102	561,19	ÁREA 136	14,79

Tabela 42 – Áreas de contribuição externas ao morro.

ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)	ORDEM	ÁREA (m²)
AE1	3655,16	AE9	684,87	AE17	1278,74	AE25	1200,53
AE2	1931,71	AE10	53,61	AE18	68,00	AE26	131,79
AE3	3252,34	AE11	112,89	AE19	461,24	AE27	751,68
AE4	2354,62	AE12	2017,42	AE20	377,03	AE28	432,59
AE5	656,21	AE13	131,95	AE21	1105,96	AE29	335,79
AE6	1779,80	AE14	650,24	AE22	1853,14	AE30	97,66
AE7	3605,41	AE15	919,48	AE23	691,56	AE31	671,37
AE8	3603,38	AE16	1786,70	AE24	1046,79	AE32	1549,20

APÊNDICE B – USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Tabela 43 – Uso e ocupação do solo considerados (Área Interna ao morro).

ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO
ÁREA 1	Telhados	ÁREA 35	Telhados	ÁREA 69	Telhados	ÁREA 103	Telhados
ÁREA 2	Telhados	ÁREA 36	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 70	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 104	Telhados
ÁREA 3	Telhados	ÁREA 37	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 71	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 105	Terreno estéril montanhoso
ÁREA 4	Telhados	ÁREA 38	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 72	Superfícies asfaltadas	ÁREA 106	Telhados
ÁREA 5	Telhados	ÁREA 39	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 73	Telhados	ÁREA 107	Telhados
ÁREA 6	Telhados	ÁREA 40	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 74	Telhados	ÁREA 108	Telhados
ÁREA 7	Telhados	ÁREA 41	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 75	Telhados	ÁREA 109	Telhados
ÁREA 8	Telhados	ÁREA 42	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 76	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 110	Telhados
ÁREA 9	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 43	Superfícies asfaltadas	ÁREA 77	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 111	Telhados
ÁREA 10	Terreno estéril montanhoso	ÁREA 44	Superfícies asfaltadas	ÁREA 78	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 112	Telhados
ÁREA 11	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 45	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 79	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 113	Superfícies asfaltadas
ÁREA 12	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 46	Telhados	ÁREA 80	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 114	Superfícies asfaltadas
ÁREA 13	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 47	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 81	Telhados	ÁREA 115	Telhados

ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO
ÁREA 14	Terreno estéril montanhoso	ÁREA 48	Terreno estéril ondulado	ÁREA 82	Telhados	ÁREA 116	Superfícies asfaltadas
ÁREA 15	Terreno estéril montanhoso	ÁREA 49	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 83	Telhados	ÁREA 117	Terreno estéril montanhoso
ÁREA 16	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 50	Telhados	ÁREA 84	Telhados	ÁREA 118	Telhados
ÁREA 17	Terreno estéril montanhoso	ÁREA 51	Telhados	ÁREA 85	Terreno estéril ondulado	ÁREA 119	Superfícies asfaltadas
ÁREA 18	Telhados	ÁREA 52	Telhados	ÁREA 86	Telhados	ÁREA 120	Terreno estéril montanhoso
ÁREA 19	Telhados	ÁREA 53	Telhados	ÁREA 87	Telhados	ÁREA 121	Telhados
ÁREA 20	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 54	Telhados	ÁREA 88	Telhados	ÁREA 122	Telhados
ÁREA 21	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 55	Telhados	ÁREA 89	Telhados	ÁREA 123	Telhados
ÁREA 22	Telhados	ÁREA 56	Telhados	ÁREA 90	Telhados	ÁREA 124	Telhados
ÁREA 23	Telhados	ÁREA 57	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 91	Telhados	ÁREA 125	Terrenos cultivados em vales
ÁREA 24	Telhados	ÁREA 58	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 92	Telhados	ÁREA 126	Terreno estéril montanhoso
ÁREA 25	Telhados	ÁREA 59	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 93	Telhados	ÁREA 127	Superfícies asfaltadas
ÁREA 26	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 60	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 94	Telhados	ÁREA 128	Superfícies asfaltadas
ÁREA 27	Superfícies asfaltadas	ÁREA 61	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 95	Telhados	ÁREA 129	Superfícies asfaltadas
ÁREA 28	Superfícies asfaltadas	ÁREA 62	Telhados	ÁREA 96	Telhados	ÁREA 130	Superfícies asfaltadas

ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO
ÁREA 29	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 63	Telhados	ÁREA 97	Telhados	ÁREA 131	Superfícies asfaltadas
ÁREA 30	Telhados	ÁREA 64	Telhados	ÁREA 98	Telhados	ÁREA 132	Superfícies asfaltadas
ÁREA 31	Telhados	ÁREA 65	Telhados	ÁREA 99	Telhados	ÁREA 133	Superfícies asfaltadas
ÁREA 32	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 66	Telhados	ÁREA 100	Telhados	ÁREA 134	Superfícies asfaltadas
ÁREA 33	Terrenos cultivados em vales	ÁREA 67	Telhados	ÁREA 101	Terreno estéril montanhoso	ÁREA 135	Superfícies asfaltadas
ÁREA 34	Telhados	ÁREA 68	Telhados	ÁREA 102	Terreno estéril montanhoso	ÁREA 136	Superfícies asfaltadas

Fonte: Autora (2024).

Tabela 44 – Uso e ocupação do solo considerados (Área Externa ao morro).

ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO	ÁREA	TIPO
AE1	Telhados	AE9	Terreno estéril montanhoso	AE17	Terrenos cultivados em vales	AE25	Telhados
AE2	Telhados	AE10	Terreno estéril montanhoso	AE18	Terrenos cultivados em vales	AE26	Terrenos cultivados em vales
AE3	Telhados	AE11	Terreno estéril montanhoso	AE19	Superfícies asfaltadas	AE27	Superfícies asfaltadas
AE4	Telhados	AE12	Telhados	AE20	Superfícies asfaltadas	AE28	Telhados
AE5	Telhados	AE13	Terrenos cultivados em vales	AE21	Terreno estéril montanhoso	AE29	Terrenos cultivados em vales
AE6	Telhados	AE14	Telhados	AE22	Terrenos cultivados em vales	AE30	Telhados
AE7	Telhados	AE15	Telhados	AE23	Telhados	AE31	Terreno estéril montanhoso
AE8	Telhados	AE16	Terrenos cultivados em vales	AE24	Telhados	AE32	Telhados

Fonte: Autora (2024).

APÊNDICE C – VAZÃO DE PROJETO CONSIDERADA

Tabela 45 – Cálculo da vazão de projeto (áreas internas).

ÁREA	SEM DISCRETIZAÇÃO	COM DISCRETIZAÇÃO	MAIOR	DIFERENÇA	CENÁRIO ADOTADO
ÁREA 1	0,007370	0,006253	0,007370	0,0011166	Sem discretização
ÁREA 2	0,006991	0,005932	0,006991	0,0010593	Sem discretização
ÁREA 3	0,010559	0,008959	0,010559	0,0015998	Sem discretização
ÁREA 4	0,001951	0,002247	0,002247	0,0002956	Com discretização
ÁREA 5	0,005627	0,004774	0,005627	0,0008526	Sem discretização
ÁREA 6	0,000791	0,000671	0,000791	0,0001198	Sem discretização
ÁREA 7	0,001730	0,001468	0,001730	0,0002622	Sem discretização
ÁREA 8	0,009953	0,011461	0,011461	0,0015080	Com discretização
ÁREA 9	0,007008	0,010512	0,010512	0,0035038	Com discretização
ÁREA 10	0,002226	0,002357	0,002357	0,0001310	Com discretização
ÁREA 11	0,000990	0,001484	0,001484	0,0004948	Com discretização
ÁREA 12	0,001776	0,002664	0,002664	0,0008880	Com discretização
ÁREA 13	0,000111	0,000167	0,000167	0,0000555	Com discretização
ÁREA 14	0,000305	0,000323	0,000323	0,0000179	Com discretização
ÁREA 15	0,000535	0,000503	0,000535	0,0000314	Sem discretização
ÁREA 16	0,000639	0,000319	0,000639	0,0003193	Sem discretização
ÁREA 17	0,001396	0,001478	0,001478	0,0000821	Com discretização
ÁREA 18	0,002424	0,002057	0,002424	0,0003672	Sem discretização
ÁREA 19	0,003233	0,002743	0,003233	0,0004899	Sem discretização
ÁREA 20	0,002750	0,001375	0,002750	0,0013748	Sem discretização
ÁREA 21	0,000141	0,000211	0,000211	0,0000703	Com discretização
ÁREA 22	0,000328	0,000378	0,000378	0,0000497	Com discretização
ÁREA 23	0,003405	0,002889	0,003405	0,0005159	Sem discretização
ÁREA 24	0,005389	0,004572	0,005389	0,0008165	Sem discretização
ÁREA 25	0,001734	0,001471	0,001734	0,0002627	Sem discretização
ÁREA 26	0,000298	0,000149	0,000298	0,0001488	Sem discretização
ÁREA 27	0,003693	0,003693	0,003693	0,0000000	Igual

ÁREA	SEM DISCRETIZAÇÃO	COM DISCRETIZAÇÃO	MAIOR	DIFERENÇA	CENÁRIO ADOTADO
ÁREA 28	0,001110	0,001110	0,001110	0,0000000	Igual
ÁREA 29	0,000514	0,000257	0,000514	0,0002570	Sem discretização
ÁREA 30	0,009004	0,010368	0,010368	0,0013642	Com discretização
ÁREA 31	0,006820	0,005787	0,006820	0,0010334	Sem discretização
ÁREA 32	0,000037	0,000018	0,000037	0,0000183	Sem discretização
ÁREA 33	0,000151	0,000075	0,000151	0,0000753	Sem discretização
ÁREA 34	0,003504	0,004035	0,004035	0,0005309	Com discretização
ÁREA 35	0,002702	0,002293	0,002702	0,0004094	Sem discretização
ÁREA 36	0,001432	0,002149	0,002149	0,0007162	Com discretização
ÁREA 37	0,001324	0,000662	0,001324	0,0006618	Sem discretização
ÁREA 38	0,000530	0,000265	0,000530	0,0002651	Sem discretização
ÁREA 39	0,000032	0,000048	0,000048	0,0000161	Com discretização
ÁREA 40	0,000148	0,000222	0,000222	0,0000740	Com discretização
ÁREA 41	0,000059	0,000089	0,000089	0,0000296	Com discretização
ÁREA 42	0,000999	0,001499	0,001499	0,0004995	Com discretização
ÁREA 43	0,001593	0,001593	0,001593	0,0000000	Igual
ÁREA 44	0,003565	0,003565	0,003565	0,0000000	Igual
ÁREA 45	0,000457	0,000228	0,000457	0,0002283	Sem discretização
ÁREA 46	0,000982	0,001131	0,001131	0,0001488	Com discretização
ÁREA 47	0,000597	0,000895	0,000895	0,0002985	Com discretização
ÁREA 48	0,000191	0,000291	0,000291	0,0000999	Com discretização
ÁREA 49	0,000125	0,000187	0,000187	0,0000624	Com discretização
ÁREA 50	0,000700	0,000806	0,000806	0,0001061	Com discretização
ÁREA 51	0,009301	0,007892	0,009301	0,0014093	Sem discretização
ÁREA 52	0,002405	0,002041	0,002405	0,0003644	Sem discretização
ÁREA 53	0,005410	0,004591	0,005410	0,0008198	Sem discretização
ÁREA 54	0,003717	0,003153	0,003717	0,0005631	Sem discretização
ÁREA 55	0,000717	0,000825	0,000825	0,0001086	Com discretização
ÁREA 56	0,004464	0,003787	0,004464	0,0006763	Sem discretização

ÁREA	SEM DISCRETIZAÇÃO	COM DISCRETIZAÇÃO	MAIOR	DIFERENÇA	CENÁRIO ADOTADO
ÁREA 57	0,000044	0,000022	0,000044	0,0000220	Sem discretização
ÁREA 58	0,000036	0,000018	0,000036	0,0000178	Sem discretização
ÁREA 59	0,000079	0,000039	0,000079	0,0000394	Sem discretização
ÁREA 60	0,000020	0,000010	0,000020	0,0000101	Sem discretização
ÁREA 61	0,000033	0,000017	0,000033	0,0000166	Sem discretização
ÁREA 62	0,004360	0,003699	0,004360	0,0006606	Sem discretização
ÁREA 63	0,003780	0,003207	0,003780	0,0005727	Sem discretização
ÁREA 64	0,001361	0,001155	0,001361	0,0002063	Sem discretização
ÁREA 65	0,001899	0,001612	0,001899	0,0002878	Sem discretização
ÁREA 66	0,004141	0,003513	0,004141	0,0006274	Sem discretização
ÁREA 67	0,007187	0,006098	0,007187	0,0010890	Sem discretização
ÁREA 68	0,002236	0,002574	0,002574	0,0003387	Com discretização
ÁREA 69	0,002754	0,002337	0,002754	0,0004173	Sem discretização
ÁREA 70	0,000105	0,000158	0,000158	0,0000525	Com discretização
ÁREA 71	0,000078	0,000117	0,000117	0,0000389	Com discretização
ÁREA 72	0,004525	0,004525	0,004525	0,0000000	Igual
ÁREA 73	0,000627	0,000532	0,000627	0,0000950	Sem discretização
ÁREA 74	0,001194	0,001013	0,001194	0,0001810	Sem discretização
ÁREA 75	0,002317	0,001966	0,002317	0,0003510	Sem discretização
ÁREA 76	0,000021	0,000031	0,000031	0,0000105	Com discretização
ÁREA 77	0,000029	0,000044	0,000044	0,0000146	Com discretização
ÁREA 78	0,000039	0,000059	0,000059	0,0000197	Com discretização
ÁREA 79	0,000024	0,000012	0,000024	0,0000120	Sem discretização
ÁREA 80	0,000036	0,000018	0,000036	0,0000180	Sem discretização
ÁREA 81	0,001126	0,000955	0,001126	0,0001706	Sem discretização
ÁREA 82	0,000499	0,000423	0,000499	0,0000756	Sem discretização
ÁREA 83	0,001246	0,001057	0,001246	0,0001888	Sem discretização
ÁREA 84	0,000512	0,000434	0,000512	0,0000775	Sem discretização
ÁREA 85	0,001068	0,000915	0,001068	0,0001525	Sem discretização

ÁREA	SEM DISCRETIZAÇÃO	COM DISCRETIZAÇÃO	MAIOR	DIFERENÇA	CENÁRIO ADOTADO
ÁREA 86	0,000361	0,000306	0,000361	0,0000547	Sem discretização
ÁREA 87	0,003223	0,002735	0,003223	0,0004883	Sem discretização
ÁREA 88	0,001355	0,001150	0,001355	0,0002054	Sem discretização
ÁREA 89	0,003143	0,003619	0,003619	0,0004762	Com discretização
ÁREA 90	0,000724	0,000834	0,000834	0,0001097	Com discretização
ÁREA 91	0,001183	0,001003	0,001183	0,0001792	Sem discretização
ÁREA 92	0,000543	0,000625	0,000625	0,0000823	Com discretização
ÁREA 93	0,000598	0,000508	0,000598	0,0000906	Sem discretização
ÁREA 94	0,000521	0,000600	0,000600	0,0000790	Com discretização
ÁREA 95	0,001253	0,001442	0,001442	0,0001898	Com discretização
ÁREA 96	0,001193	0,001012	0,001193	0,0001808	Sem discretização
ÁREA 97	0,001742	0,002005	0,002005	0,0002639	Com discretização
ÁREA 98	0,000719	0,000828	0,000828	0,0001090	Com discretização
ÁREA 99	0,000738	0,000850	0,000850	0,0001118	Com discretização
ÁREA 100	0,000795	0,000675	0,000795	0,0001205	Sem discretização
ÁREA 101	0,000704	0,000663	0,000704	0,0000414	Sem discretização
ÁREA 102	0,003101	0,003283	0,003283	0,0001824	Com discretização
ÁREA 103	0,001316	0,001515	0,001515	0,0001994	Com discretização
ÁREA 104	0,002436	0,002067	0,002436	0,0003691	Sem discretização
ÁREA 105	0,000342	0,000322	0,000342	0,0000201	Sem discretização
ÁREA 106	0,000683	0,000786	0,000786	0,0001035	Com discretização
ÁREA 107	0,001866	0,002149	0,002149	0,0002828	Com discretização
ÁREA 108	0,000983	0,000834	0,000983	0,0001489	Sem discretização
ÁREA 109	0,002677	0,003082	0,003082	0,0004056	Com discretização
ÁREA 110	0,000447	0,000515	0,000515	0,0000677	Com discretização
ÁREA 111	0,001174	0,001352	0,001352	0,0001779	Com discretização
ÁREA 112	0,001225	0,001410	0,001410	0,0001856	Com discretização
ÁREA 113	0,000184	0,000184	0,000184	0,0000000	Igual
ÁREA 114	0,000506	0,000506	0,000506	0,0000000	Igual

ÁREA	SEM DISCRETIZAÇÃO	COM DISCRETIZAÇÃO	MAIOR	DIFERENÇA	CENÁRIO ADOTADO
ÁREA 115	0,000650	0,000749	0,000749	0,0000986	Com discretização
ÁREA 116	0,002225	0,002225	0,002225	0,0000000	Igual
ÁREA 117	0,003543	0,003334	0,003543	0,0002084	Sem discretização
ÁREA 118	0,000729	0,000619	0,000729	0,0001105	Sem discretização
ÁREA 119	0,001312	0,001179	0,001312	0,0001334	Igual
ÁREA 120	0,000398	0,000375	0,000398	0,0000234	Sem discretização
ÁREA 121	0,001987	0,002288	0,002288	0,0003011	Com discretização
ÁREA 122	0,001220	0,001035	0,001220	0,0001848	Sem discretização
ÁREA 123	0,000481	0,000554	0,000554	0,0000729	Com discretização
ÁREA 124	0,000556	0,000472	0,000556	0,0000843	Sem discretização
ÁREA 125	0,000405	0,000203	0,000405	0,0002026	Sem discretização
ÁREA 126	0,001024	0,000963	0,001024	0,0000602	Sem discretização
ÁREA 127	0,001629	0,000818	0,001629	0,0008107	Igual
ÁREA 128	0,004415	0,002349	0,004415	0,0020658	Igual
ÁREA 129	0,001777	0,001777	0,001777	0,0000000	Igual
ÁREA 130	0,000215	0,000215	0,000215	0,0000000	Igual
ÁREA 131	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000000	Igual
ÁREA 132	0,000867	0,000867	0,000867	0,0000000	Igual
ÁREA 133	0,005982	0,005982	0,005982	0,0000000	Igual
ÁREA 134	0,001392	0,001392	0,001392	0,0000000	Igual
ÁREA 135	0,003535	0,003535	0,003535	0,0000000	Igual
ÁREA 136	0,000084	0,003535	0,003535	0,0034510	Com discretização

Fonte: Autora (2024).

Tabela 46 – Cálculo da vazão de projeto (áreas externas).

ÁREAS	Q projeto (m³/s)	ÁREAS	Q projeto (m³/s)
AE1	0,01972	AE17	0,00166
AE2	0,01042	AE18	0,00009
AE3	0,01755	AE19	0,00240

ÁREAS	Q projeto (m³/s)	ÁREAS	Q projeto (m³/s)
AE4	0,01270	AE20	0,00196
AE5	0,00354	AE21	0,00611
AE6	0,00960	AE22	0,00241
AE7	0,01945	AE23	0,00373
AE8	0,01944	AE24	0,00565
AE9	0,00378	AE25	0,00648
AE10	0,00030	AE26	0,00017
AE11	0,00062	AE27	0,00391
AE12	0,01088	AE28	0,00233
AE13	0,00017	AE29	0,00044
AE14	0,00351	AE30	0,00053
AE15	0,00496	AE31	0,00371
AE16	0,00232	AE32	0,00836

Fonte: Autora