



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E
REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - PROFÁGUA

KÉTLEN CRISTIANY BRITO DE SOUZA

PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM
ATENDIMENTO A CRITÉRIOS URBANÍSTICOS: ESTUDO DE CASO BAIRRO
JARDIM CARANÁ

BOA VISTA, RR

2023

KÉTLEN CRISTIANY BRITO DE SOUZA

**PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM
ATENDIMENTO A CRITÉRIOS URBANÍSTICOS: ESTUDO DE CASO BAIRRO
JARDIM CARANÃ**

Projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de concentração: Instrumentos da Política de Recursos Hídricos.

Orientador(a): Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho.

Coorientador(a): Profa. Dra. Graciete Guerra da Costa.

BOA VISTA, RR

2023

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

S729p Souza, Kétlen Cristiany Brito de.
Proposta para implementação de drenagem sustentável em atendimento a critérios urbanísticos : estudo de caso bairro Jardim Caranã / Kétlen Cristiany Brito de Souza. – Boa Vista, 2023.
200 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho.
Coorientadora: Profa. Dra. Graciete Guerra da Costa.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

1 – Retenção no lote. 2 – Sustentabilidade. 3 – Manejo das águas. 4 – Biorretenção. I – Título. II – Silva Filho, Pedro Alves da (orientador). III – Costa, Graciete Guerra da (coorientadora).

CDU – 627.53(811.4)

KÉTLEN CRISTIANY BRITO DE SOUZA

**PROPOSTA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM
ATENDIMENTO A CRITÉRIOS URBANÍSTICOS: ESTUDO DE CASO
BAIRRO JARDIM CARANÃ**

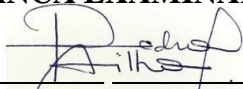
Dissertação submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Roraima, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos.

Orientador(a): Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho.
Coorientador(a): Profa. Dra. Graciete Guerra da Costa.

Aprovada em **08/06/2023**.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Pedro Alves da Silva Filho - (Orientador)
Universidade Federal de Roraima – ProfÁgua/UFRR



Profa. Dra. Graciete Guerra da Costa – (Coorientadora)
Universidade Federal de Roraima – ProfÁgua/UFRR



Vladimir de Souza – (Convidado Interno)
Universidade Federal de Roraima – ProfÁgua/UFRR



Carlos Eduardo Lucas Vieira – (Convidado Interno)
Universidade Federal de Roraima – ProfÁgua/UFRR



Francisco Lledo dos Santos – (Convidado Externo)
Universidade Estadual do Mato Grosso – ProfÁgua/UNEMAT

Boa Vista-RR
2023

“Para realizar grandes conquistas,
devemos não apenas agir,
mas também sonhar;
não apenas planejar,
mas também acreditar”.

(Anatole France)

À Deus, que é o primeiro em minha vida,
que me capacitou para que eu chegasse até aqui.

À minha filha Emilly Vitória,
presente concedido por Deus, que tanto amo.

AGRADECIMENTOS

À Deus primeiramente, pois reconheço que nada em minha vida vem de mim, mas Dele, e creio que sem Ele nada disso seria possível.

À minha família, pelo amor dedicado a mim, em especial aos meus pais que são meus pilares de vida e minha filha, um presente que Deus me deu nessa vida.

Ao meu orientador Professor Dr. Pedro Alves da Silva Filho por ter me incentivado a participar da seleção deste mestrado, assim como pela dedicação, auxílio e orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

À minha co-orientadora Professora Dra. Graciete Guerra da Costa por todas as palavras de despertamento quanto ao meu crescimento profissional, além do tempo de orientação dedicados ao sucesso desta pesquisa.

Ao professor Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira, pelo apoio dedicado ao meu trabalho, mesmo não fazendo parte da equipe de orientação desta pesquisa.

Ao professor Dr. Vladimir Souza por pacientemente me apoiar e direcionar no momento de maior dificuldade no curso.

Aos demais professores do programa, por todo o ensinamento dedicado à turma.

A todos os colegas da turma, pelos momentos vividos durante o caminhar do curso.

Deixo um agradecimento especial aos amigos Deusdedith Araújo, Jeisiane Galvão e Raíssa Fim, por estarem ao meu lado desde o início do curso e por terem feito muito mais do que lhes cabia, por toda ajuda, pelas horas de estudo junto comigo, pelas palavras de apoio nos momentos de dificuldades, por termos dividido não somente as angústias, mas principalmente as felicidades, minha gratidão eterna!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Por fim, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA, projeto de apoio CAPES/ANA AUXPE Nº 2717/2015 pelo apoio técnico.

RESUMO

A cidade de Boa Vista, no estado de Roraima, sofreu um intenso processo de urbanização e conta em sua malha urbana com um sistema de drenagem convencional. Essa urbanização, dentre os quais se destacam as construções de edificações, as pavimentações, a impermeabilização do solo e os sistemas de drenagem atuais, desequilibram o ambiente natural e alteram drasticamente a dinâmica hídrica urbana. A partir do ano de 2006 vários municípios criaram seus Planos Diretores de Drenagem Urbana, no entanto, até então, Boa Vista não se adequou. Neste sentido, esta pesquisa propõe mostrar a atual situação urbanística da área em estudo, no que tange aos seus aspectos físico-territoriais, buscando, dentre as alternativas existentes, os tipos de drenagem sustentável adequados para a bacia hidrográfica urbana de Boa Vista/RR, tendo como premissas de escolhas fatores urbanísticos, sociais, econômicos e ambientais, ao final, elaborar uma proposta de alternativas de técnicas de drenagem sustentável para os moradores do bairro Jardim Caranã, atendendo os padrões urbanísticos do município. Para isto foi necessário realizar ensaios de campo para coleta de dados e verificação da percolação da água no solo, e com os resultados obtidos, fazer uso dos conceitos de sustentabilidade dos Sistemas de Drenagem Sustentável considerados mais adequados à realidade local. Após a realização da caracterização da situação urbanística e dos aspectos físico-territoriais para o bairro, foram obtidos os índices de área verde total (IAVT) e de cobertura vegetal (ICV), os impactos na planície de inundação encontrados in loco, levantamento de dados de impermeabilização do solo e o cálculo das técnicas de drenagem sustentável. Como resultado, para as questões urbanísticas, encontrou-se um IAVT abaixo do ideal, diferente do ICV, que foi considerado acima. Quanto à impermeabilização, o bairro foi considerado bastante permeável, ao serem levantadas as taxas de permeabilidade e ocupação do lote. Foi encontrada a capacidade de infiltração no bairro, e posteriormente, calculadas as técnicas de jardim de chuva e trincheira de infiltração, demonstradas através de projeto técnico e pelos cálculos pode-se confirmar que a trincheira de infiltração é mais eficiente, por conseguir armazenar um maior volume de água. No entanto, as duas técnicas podem cooperar muito na infiltração dessas águas que escoam superficialmente dentro do lote.

Palavras-chave: Retenção no lote. Sustentabilidade. Manejo das águas. Biorretenção.

ABSTRACT

The city of Boa Vista, in the state of Roraima, has undergone an intense process of urbanization and its urban fabric has a conventional drainage system. This urbanization, among which the construction of buildings, paving, soil waterproofing and current drainage systems stand out, unbalance the natural environment and drastically change the urban water dynamics. From the year 2006 several municipalities created their Master Plans for Urban Drainage, however, until then, Boa Vista did not adapt. In this sense, this research proposes to show the current urban situation of the area under study, in terms of its physical-territorial aspects, seeking, among the existing alternatives, the types of sustainable drainage suitable for the urban watershed of Boa Vista/RR, having as premises of choices urban, social, economic and environmental factors, in the end, to elaborate a proposal of alternative sustainable drainage techniques for the residents of the Jardim Caranã neighborhood, meeting the urban standards of the municipality. For this, it was necessary to carry out field tests to collect data and verify the percolation of water in the soil, and with the results obtained, make use of the sustainability concepts of the Sustainable Drainage Systems considered more adequate to the local reality. After carrying out the characterization of the urban situation and the physical-territorial aspects of the neighborhood, the total green area (IAVT) and vegetation cover (ICV) indices were obtained, the impacts on the floodplain found in loco, data collection of soil waterproofing and the calculation of sustainable drainage techniques. As a result, for urban issues, a suboptimal IAVT was found, different from the ICV, which was considered above. As for waterproofing, the neighborhood was considered very permeable, when the rates of permeability and occupation of the lot were surveyed. The infiltration capacity in the neighborhood was found, and later, the rain garden and infiltration trench techniques were calculated, demonstrated through a technical project and by the calculations it can be confirmed that the infiltration trench is more efficient, for being able to store a greater volume of water. However, the two techniques can cooperate a lot in the infiltration of these waters that drain superficially inside the lot.

Keywords: Batch retention. Sustainability. Water management. Bioretention.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo do ciclo hidrológico.....	24
Figura 2 - Esquema de enchentes e inundações	25
Figura 3 - Esquema de inundação, enchente e alagamento	26
Figura 4 – Registro da última enchente ocorrida em Boa Vista-RR, no ano de 2011	27
Figura 5 - Componentes principais de uma bacia hidrográfica.....	31
Figura 6 - Metas do ODS 6 segundo a ONU.....	37
Figura 7 -Expansão urbana e supressão dos lagos em Boa Vista - RR.....	38
Figura 8 - Bacias hidrográficas da área de expansão de Boa Vista - RR	39
Figura 9 - Efeito da urbanização sobre o sistema de drenagem	40
Figura 10 - Mapeamento da evolução do espaço urbano de Boa Vista - RR.....	46
Figura 11 - Mapa de uso e cobertura de solo de Boa Vista RR (1985).....	47
Figura 12 - Mapa de uso e cobertura de solo de Boa Vista RR (2018).....	47
Figura 13 - Fases da expansão de Boa Vista - RR	49
Figura 14 - Mapa de zoneamento de Boa Vista	56
Figura 15 - Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização	58
Figura 16 - Saneamento básico no Brasil.....	63
Figura 17 - Medidas de controle de drenagem	70
Figura 18 - Trincheira de infiltração	74
Figura 19 - Camadas de um pavimento permeável	76
Figura 20 - Jardim de chuva	77
Figura 21 - Canteiro Pluvial	79
Figura 22 - Imagem atualizada da bacia Caranã	80
Figura 23 - Delimitação da nascente do Igarapé Caranã.....	82
Figura 24 - Área de nascente do Igarapé Caranã.....	83
Figura 25 - Bairro Jardim Caranã.....	86
Figura 26 - Imagens aéreas do bairro nos anos de 2007 e 2023.....	87
Figura 27 - Fluxograma da metodologia	87
Figura 28 - Imagem fotogramétrica do ano de 2014 utilizada na pesquisa.....	88
Figura 29 - Imagem fotogramétrica (1) e Imagem do Google Earth (2).....	89
Figura 30 - Atualização das edificações existentes no bairro	89
Figura 31 - Polígonos das copas de arvores da área em estudo	90
Figura 32 – Produto final obtido após atualizações	91

Figura 33 - área de inundação da bacia que passa dentro do bairro em estudo.....	94
Figura 34 - Área utilizada para descarte de lixo localizada na planície de inundação	95
Figura 35 - Pesagem da bombona	96
Figura 36 – Resíduos sólidos descartados na área da planície de inundação.....	96
Figura 37 – Etapa escolha da amostragem e sua pesagem	97
Figura 38 - Etapa de homogeneização e quarteamento da amostragem.....	97
Figura 39 - Procedimento de separação dos materiais por tipo e sua pesagem.....	98
Figura 40 - Processo de cravação e nivelamento dos cilindros.....	100
Figura 41 - Procedimento ensaio.....	101
Figura 42 - Fases do teste de infiltração.....	101
Figura 43 - Itens urbanísticos na escala de bairro	102
Figura 44 - Atualização das edificações do bairro	103
Figura 45 - Área da bacia do Igarapé Caranã trabalhada nesta pesquisa	105
Figura 46 – Nível freático da área em estudo.....	108
Figura 47 - Perfil construtivo de poço cadastrado no SIAGAS	109
Figura 48 - Estrutura básica para um Jardim de Chuva	113
Figura 49 - Perfil de uma trincheira de infiltração	114
Figura 50 - Detalhe interno de uma trincheira de infiltração	115
Figura 51 - Áreas livres identificadas no bairro	119
Figura 52 - Copas das árvores do bairro Jardim Caranã	122
Figura 53 - Arborização in loco	122
Figura 54 - Registro fotográfico do dia 10 de março de 2023	126
Figura 55 - Registro da área no dia 01º de abril de 2023	126
Figura 56 - Visita realizada no dia 03 de maio de 2023.....	127
Figura 57 – Volume de plástico acumulado na área em visita realizada dia 03 de maio de 2023	127
Figura 58 - Imagem de drone do local de descarte do lixo	128
Figura 59 - Imagem aérea feita através de drone mostrando a rua Lucas de Matos	129
Figura 60 – Área inundável do Jardim Caranã durante a inundação no ano de 2011	130
Figura 61 - Quadras aprovadas pela PMBV dentro da área de inundação.....	131
Figura 62 - Imagem de drone das últimas quadras do bairro, finalizando com a Rua Lucas de Matos.....	132

Figura 63 - Loteamento aprovado pela PMBV dentro da área de inundação do bairro	132
Figura 64 - Foz do Igarapé Caranã.....	133
Figura 65 - Presença de lixo dentro da água do igarapé Caranã	134
Figura 66 - Foto de drone mostrando o encontro do Igarapé Caranã com o Rio Cauamé	135
Figura 67 - Balneário do Caranã em uso num dia de domingo.....	135
Figura 68 - Banhistas atravessando a foz pra tomar banho.....	136
Figura 69 - Calçadas registradas in loco	142
Figura 70 - Mapa de atendimento do serviço de esgoto no bairro	143
Figura 71- Delimitação da área usada para obtenção do percentual de impermeabilização.....	144
Figura 72 – Vista superior dos projetos da trincheira de infiltração e do jardim de chuva	154
Figura 73 – Vista geral do projeto do jardim de chuva.....	154
Figura 74 – Esquema do projeto do jardim de chuva.....	155
Figura 75 - Vista geral do projeto do jardim de chuva.....	156
Figura 76 - Demonstração do escoamento do jardim de chuva	156
Figura 77 - Vista geral do jardim de chuva frontal	157
Figura 78 - Vista geral do projeto da trincheira de infiltração	158
Figura 79 - Vista geral do projeto do jardim de chuva.....	158
Figura 80 - Detalhe da composição da trincheira de infiltração.....	159
Figura 81 - Corte esquemático da trincheira de infiltração	160
Figura 82 - Vista da trincheira de infiltração	160

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dados de precipitação relacionado aos meses do ano e à temperatura....	84
Gráfico 2 - Resultados do ensaio de quarteamento	124
Gráfico 3 - Velocidade de infiltração no teste 01.....	137
Gráfico 4 - Velocidade de infiltração no teste 02.....	138
Gráfico 5 - Levantamento da taxa de ocupação no bairro em estudo	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Alteração dos parâmetros do anexo II da Lei 926/2006	57
Tabela 2 - Saneamento básico na região Norte	65
Tabela 3 - Valores de C de acordo com a superfície de revestimento	106
Tabela 4 - Dados de áreas e população do bairro.....	120
Tabela 5 - Índice de Área Verde Total do bairro Jardim Caranã	120
Tabela 6 - Índice de Cobertura Vegetal do bairro Jardim Caranã.....	121
Tabela 7 - Resultado da análise gravimétrica realizada in loco	125
Tabela 8 - Resultados dos testes de infiltração realizados no bairro Jardim Caranã	139
Tabela 9 - Resultados dos testes de umidade de solo nos dois ensaios realizados...	140
Tabela 10 - Quantitativo de ruas do Jardim Caranã	141
Tabela 11 - Quantitativo de calçadas do Jardim Caranã	142
Tabela 12 - Levantamento da taxa de permeabilidade dos lotes no bairro	145
Tabela 13 - Técnicas sustentáveis utilizadas nos cálculos	147
Tabela 14 - Vazões alcançadas nos cálculos	148
Tabela 15 - Volume de entrada encontrados nos cálculos	149
Tabela 16 - Volume da camada de armazenamento encontrados nos cálculos.....	150
Tabela 17 – Alturas das camadas de armazenamento encontrados nos cálculos a 100%	150
Tabela 18 - Alturas das camadas de armazenamento encontrados nos cálculos a 20%	151
Tabela 19 - Variação do armazenamento encontrados nos cálculos.....	151
Tabela 20 - Volume de entrada encontrados nos cálculos	152
Tabela 21 - Valores de K1 e K2	153
Tabela 22 - Valores das alturas das camadas de brita	153

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais aspectos abordados na integração entre as gestões de recursos hídricos e de uso do solo	33
Quadro 2 - Classes e dimensões das APP's de acordo com Brasil (2012).....	62
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração	75
Quadro 4 - Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis	76
Quadro 5 - Porosidade efetiva dos materiais de enchimento	77
Quadro 6 - Vantagens e desvantagens dos jardins de chuva.....	78
Quadro 7 -Descrição das classes de uso e ocupação do solo utilizadas	91
Quadro 8 - Classificação de solo a partir da VIB.....	141

LISTA DE ABREVIATURAS

BMP – Best Management Practices
EPI'S – Equipamentos de Proteção Individual
IA – Infiltração acumulada
IAV – Índices de áreas verdes
IAVT – Índice de áreas verdes total
ICV – Índice de cobertura vegetal
GI – Green Infrastructure
LID – Low Impact Development
PCV – Percentual de cobertura verde
SUDS – Sustainable Urban Drainage System
VIB – Velocidade de infiltração
WSUD – Water Sensitive Urban Design

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP's – Áreas de Preservação Permanente
CAER – Companhia de Águas e Esgoto de Roraima
CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENAD – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
FAO – Organização de Alimentação e Agricultura
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional
ODS – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
OMS – Organização Mundial de Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
PDDrU – Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDEPBV – Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista
PDDU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PMBV – Prefeitura Municipal de Boa Vista
PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
PRH – Plano de Recursos Hídricos
SBAU – Sociedade Brasileira de Arborização Urbana
SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SGB – Serviço Geológico do Brasil
SNS – Secretaria Nacional de Saneamento
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
UFRR – Universidade Federal de Roraima
ZEE – Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	OBJETIVOS	21
1.1.1	Objetivo geral.....	21
1.1.2	Objetivos específicos	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	HIDROLOGIA AMBIENTAL APLICADA A DRENAGEM URBANA	22
2.1.1	Ciclo hidrológico e sua importância no contexto urbano	22
2.1.2	O escoamento superficial e as interferências no meio urbano	24
2.1.3	O estudo das precipitações e sua importância.....	28
2.2	BACIAS HIDROGRÁFICAS X URBANIZAÇÃO	29
2.2.1	A bacia hidrográfica e sua importância como instrumento de gestão de recursos hídricos no meio urbano	29
2.2.2	Bacias hidrográficas na zona urbana de Boa Vista/RR.....	37
2.2.3	Urbanização x planos diretores de drenagem urbana.....	39
2.2.4	Planejamento Urbano e gestão das cidades	44
2.3	ASPECTOS LEGAIS DA URBANIZAÇÃO DE BOA VISTA.....	45
2.3.1	Crescimento urbanístico do município	45
2.3.2	Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista	50
2.3.3	Macrozoneamento e uso do solo urbano.....	52
2.3.4	Espaços urbanos e áreas verdes	59
2.3.5	Legislações ambientais	61
2.3.6	Saneamento Básico	63
2.4	DRENAGEM CONVENCIONAL X DRENAGEM SUSTENTÁVEL	67
2.4.1	A função social e ambiental dos Planos Diretores de Drenagem Urbana.....	67
2.4.2	Drenagem urbana e a drenagem convencional – tipos e implicações técnicas.....	68
2.4.3	Drenagem sustentável ou de condicionamento na fonte – principais tipos.....	71
2.4.3.1	Trincheiras de infiltração e retenção	74
2.4.3.2	Pavimento Permeável.....	75
2.4.3.3	Jardim de chuva ou sistema de bioretenção	76
2.4.3.4	Canteiros Fluviais.....	79
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	80
3.1	LOCALIZAÇÃO DO LÓCUS DA PESQUISA	80
3.2	ESTUDO DE CASO: BAIRRO JARDIM CARANÃ E OS IMPACTOS RELACIONADOS À OCUPAÇÃO URBANA	85

3.3	METODOLOGIA APLICADA À ÁREA EM ESTUDO	88
3.3.1	Áreas verdes e retirada da cobertura vegetal	92
3.3.2	Impactos na planície de inundação	93
3.3.3	Levantamento de dados urbanos e de impermeabilização do solo	98
3.3.4	Manejo de águas pluviais ou sistema de drenagem urbana	103
3.3.4.1	Cálculo do Método Racional	104
3.3.4.2	Cálculo do Jardim de chuva	109
3.3.4.3	Cálculo da Trincheira de infiltração	113
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	119
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO URBANÍSTICA E OS ASPECTOS FISICO-TERRITORIAIS PARA O BAIRRO JARDIM CARANÃ	119
4.1.1	Índices urbanísticos de Áreas verdes	119
4.1.1.1	Índice de Área Verde Total (IAVT)	120
4.1.1.2	Índice de cobertura vegetal (ICV)	121
4.1.2	Impactos na planície de inundação	123
4.1.2.1	Resíduos sólidos urbanos	123
4.1.2.2	Cheias na área de inundação	128
4.1.2.3	Situação do Balneário Caranã	133
4.1.3	Levantamento de infraestrutura urbana e de solo na área	136
4.1.3.1	Realização de ensaio de infiltração de solo no bairro	136
4.1.3.2	Levantamento urbano e impermeabilização na escala do bairro	141
4.1.3.3	Percentual de impermeabilização na escala do lote	144
4.2	DRENAGEM URBANA EXISTENTE E PROPOSTAS PARA USO DE ALTERNATIVAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS - BAIRRO CARANÃ	147
4.2.1	Cálculos das técnicas de drenagem sustentável	147
4.2.1.1	Cálculo do Método Racional e intensidade da chuva	147
4.2.1.2	Cálculo do Jardim de Chuva	149
4.2.1.3	Cálculo da Trincheira de Infiltração	151
4.2.1.4	Projeto das técnicas sustentáveis	153
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	163
	REFERÊNCIAS	166

1 INTRODUÇÃO

As consequências que a urbanização produz nas cidades, em escala mundial, são muitas vezes catastróficas. Dentre elas, o que mais tem recebido atenção é o aumento dos picos de vazões dos escoamentos superficiais, uma vez que provoca enchentes nos rios e inundações localizadas. A parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. A drenagem tradicional surgiu com a evolução do conceito sanitário-higienista, que prevê a rápida expulsão das águas pluviais e efluentes urbanos da cidade, no intuito de preservar a saúde populacional e acabar com qualquer tipo de incômodo que a água poderia provocar. Logo, o volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções.

Alagamento é o resultado do acúmulo momentâneo de águas, ocasionado pela deficiência no sistema de drenagem (IPT, 2007). Neste sentido, fatores como redução das áreas infiltradas através de pavimentações, construções adensadas e a disposição inadequada dos resíduos domiciliares contribuem para essa concentração das águas, uma vez que ajudam a sobrecarregar a rede de drenagem. Para agravar essa situação, sabe-se da condição precária dos sistemas de drenagem das cidades. Somado a isso, percebe-se a ocupação inadequada do solo em grandes centros urbanos e a inexistência de planos diretores e leis de uso e ocupação do solo.

Com o intuito de aumentar a infiltração do solo, buscar melhorias no equilíbrio do ciclo hidrológico e incentivar o uso de água pluvial, surgiu o conceito de, LID, BMP, WSUD e GI, que são algumas das designações mundialmente conhecidas para as técnicas sustentáveis em Drenagem Urbana, as quais estão sendo utilizadas em países desenvolvidos, como solução alternativa, econômica e viável, no intuito de trabalhar em conjunto com o sistema tradicional de drenagem urbana.

No Brasil, vários municípios criaram seus Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU). No entanto, o município de Boa Vista ainda não se adequou. A cidade passou por um intenso crescimento urbanístico, e conta em sua malha urbana com um sistema de drenagem convencional. No entanto, segundo informações não oficiais, possui um incipiente sistema de drenagens sustentáveis, composto, sobretudo por jardins de chuva, que foram implementados nos canteiros conhecidos popularmente como “jardins da Teresa”, localizados na região central da capital, servindo desta forma como um mecanismo que vem cooperar para o amortecimento dos picos de vazão na área onde foram implementadas.

Desse modo, a busca por soluções alternativas mais sustentáveis de gerenciamento das águas pluviais vêm sendo criadas e adotadas nas últimas décadas. Essas medidas visam aproximar o ambiente urbano das condições hidrológicas naturais, proporcionando melhoria da infiltração e da evapotranspiração, promovendo assim uma redução do volume e das taxas de pico do fluxo de escoamento superficial que irão para sistema de drenagem urbana. Junta-se a isso a possibilidade de aumentar a retenção das águas pluviais que abastecem o lençol freático.

O principal objetivo de um plano de drenagem urbana e manejo de águas pluviais é criar mecanismos de gestão para a bacia hidrográfica, o zoneamento urbano e as estruturas de macro e microdrenagem, sendo, portanto, um instrumento de gestão ambiental urbana que, integrado ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), juntamente com os interesses da sociedade, visa planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana, objetivando evitar prejuízos econômicos e ambientais, contribuindo assim com o bem estar social e a preservação ambiental.

A presente pesquisa visa ser uma referência técnica para a gestão da drenagem do município de Boa Vista, colaborando para a implementação do futuro plano de drenagem urbana sustentável para o município, que como tal, visa orientar as ações e processos decisórios quanto às questões de inundação de uma bacia. Como também, apresentar uma proposta de drenagem sustentável, tendo como estudo de caso o bairro Jardim Caranã, em Boa Vista/RR, buscando, mostrar a atual situação da área quanto às questões urbanísticas, no que tange aos seus aspectos físico-territoriais, e desta forma buscar, dentre os tipos de drenagem existentes, opções que se adequem à bacia urbana do Caranã, utilizando como premissas fatores urbanísticos, sociais, econômicos e ambientais.

1.1 OBJETIVOS

Nestes tópicos serão abordados o objetivo geral e os específicos.

1.1.1 Objetivo geral

- Elaborar uma proposta de drenagem sustentável em atendimento a critérios urbanísticos, tendo como estudo de caso o bairro Jardim Caranã - Boa Vista/RR

1.1.2 Objetivos específicos

- Mostrar a atual situação urbanística da área em estudo, no que tange aos seus aspectos físico-territoriais;
- Buscar, dentre as alternativas existentes, os tipos de drenagem sustentável adequados para a bacia hidrográfica urbana de Boa Vista/RR, tendo como premissas de escolhas fatores urbanísticos, sociais, econômicos e ambientais;
- Elaborar uma Proposta de alternativas de técnicas de drenagem sustentável para os moradores do bairro Jardim Caranã, atendendo os padrões urbanísticos do município de Boa Vista- Roraima.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico da presente pesquisa foi estruturado visando embasar o estudo e proporcionar a melhor compreensão do tema proposto, sendo abordados neste capítulo assuntos relacionados à hidrologia ambiental aplicada a drenagem urbana; bacias hidrográficas x urbanização; aspectos legais da urbanização de Boa Vista; e a drenagem convencional x drenagem sustentável.

2.1 HIDROLOGIA AMBIENTAL APLICADA A DRENAGEM URBANA

O Brasil é considerado um dos países mais privilegiados quanto à disponibilidade hídrica do planeta, segundo Borba, Costa, Torres (2018), agregando assim uma enorme responsabilidade com relação à preservação de suas bacias hidrográficas. No entanto, ao longo de várias décadas o país passou por um acelerado processo de urbanização, o qual não teve o devido planejamento, ocasionando desta forma alguns impactos sobre os recursos hídricos, principalmente sobre a drenagem urbana. Neste sentido, Tundisi (2003) alerta sobre a importância de compreender qualitativamente o quanto a urbanização interfere na drenagem e aumenta o escoamento superficial, reduzindo a capacidade de reserva das águas nos aquíferos e na superfície. Outro ponto a ser considerado é quanto ao crescimento de eventos naturais por alterações antrópicas, principalmente nas áreas urbanas, frutos da urbanização acelerada e da ocupação de áreas ribeirinhas.

2.1.1 Ciclo hidrológico e sua importância no contexto urbano

A água pode ser considerada um dos bens mais preciosos em escala mundial, uma vez que, sem ela, não haveria vida. Neste sentido, Aragão (2017) cita que a falta de água potável para atender às necessidades básicas da população é um dos grandes problemas enfrentados pela humanidade, e que vivemos em um mundo que é, por natureza, desigual, onde alguns países possuem mais recursos hídricos que outros, tornando assim o recurso natural escasso, o que é agravado pela capacidade do ser humano de agredir e consumir deliberadamente esses recursos.

O homem tem influenciado, direta ou indiretamente, nas mudanças no meio ambiente, a partir da ocupação do espaço geográfico. Atualmente, as cidades são uma das formas mais agressivas de alteração do ambiente natural e têm como consequência diferentes impactos

ambientais, que trazem problemas para a população. Dentre essas alterações no ambiente, destacam-se as mudanças no ciclo hidrológico e nas características naturais da drenagem, que podem vir a causar problemas como inundações, assoreamento e erosão (TUCCI, 2002).

Para Menegasse-Velásquez (1996), os impactos da urbanização trazem grandes alterações no regime hidrológico, criando-se um novo microclima, que tem por característica o aumento da temperatura anual, do vapor de água, da nebulosidade, da convecção e da turbulência. O autor relata ainda que, como uma das consequências dessas alterações climáticas, ocorrem precipitações, especialmente do tipo convectivo, que têm por características chuvas mais intensas e com menor duração, causando o fenômeno de inundações.

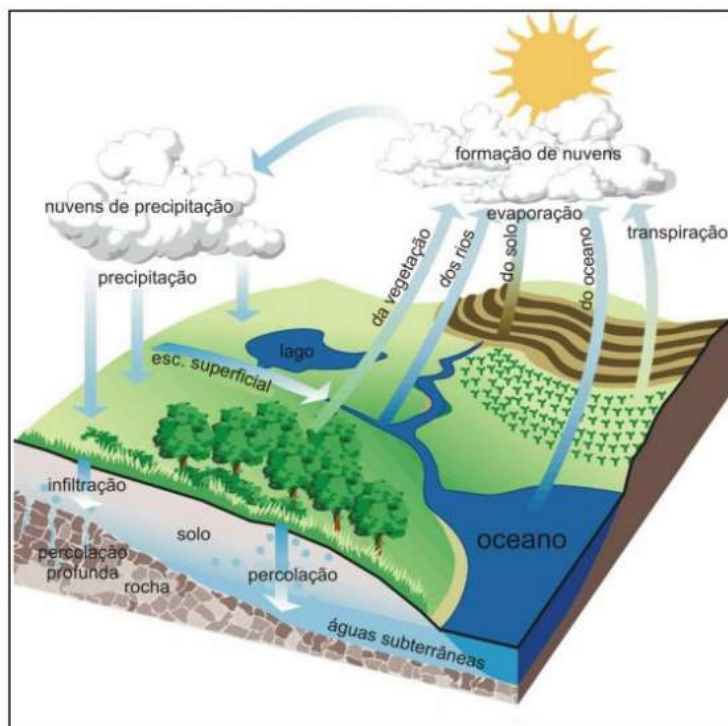
O efeito da urbanização que mais tem recebido atenção, visto que produz mais impactos em virtude de seus efeitos muitas vezes catastróficos, é o aumento dos picos de vazões dos escoamentos superficiais, pois provocam enchentes nos rios e inundações localizadas (MENEGASSE-VELÁSQUEZ, 1996).

Considerada o componente principal do ciclo hidrológico, a precipitação pluvial atinge a superfície terrestre e toma diferentes caminhos. Parte dela pode infiltrar no solo e cooperar com o abastecimento do lençol freático e das nascentes, ou fazer parte do escoamento superficial, tendo como resultado desses escoamentos os cursos de água, que se dividem em escoamento superficial, escoamento subsuperficial ou hipodérmico, escoamento subterrâneo, dos quais se diferenciam principalmente pela profundidade e localização onde a água escoar (SWAROWSKY et al., 2012).

Segundo Christofidis (2010), a água que escoar superficialmente e subsuperficialmente nos lençóis freáticos é a principal responsável pela variação do nível dos rios, e as águas que escoam subsuperficialmente nos aquíferos profundos se encarregam da manutenção do nível dos cursos d'água em períodos de estiagem.

Essa água dos fluxos de escoamentos é então direcionada, a partir do modelo de terreno da bacia hidrográfica, os quais são formados dependendo do tipo de solo, litologia, geologia e, ainda, em função do tempo (TUCCI, 1993). Portanto, o rio é produto da relação entre esses fatores e é considerado parte integrante da bacia hidrográfica, conforme mostra a figura 1.

Figura 1 - Processo do ciclo hidrológico



Fonte: Da Paz (2004)

Neste sentido, segundo Guandique e Morais (2015), a água produzida no ciclo hidrológico apresenta uma distribuição irregular, espacial e temporalmente, influenciada sobretudo pelas características climáticas, geográficas e pelo uso e ocupação do solo. Os autores afirmam também que a água deve ser considerada finita e sua ocorrência como aleatória, e também como recurso renovável e atualmente de grande valor econômico.

2.1.2 O escoamento superficial e as interferências no meio urbano

A impermeabilização do solo ocasionada pela urbanização sem planejamento tem resultado em uma diminuição do volume de água infiltrado no solo, aumentando o escoamento superficial e causando enchentes, além do aumento da temperatura e a escassez de água em várias cidades brasileiras (VIEIRA; SILVA JÚNIOR; RIBEIRO, 2015).

Jorge e Uehara (1998) definem o escoamento superficial ou deflúvio como a parcela de água precipitada que fica sujeita à ação da gravidade na superfície do terreno, sendo conduzida para cotas mais baixas. Desta forma, é importante ter o devido conhecimento de sua ocorrência e do seu comportamento para obter um maior gerenciamento e controle das enchentes urbanas.

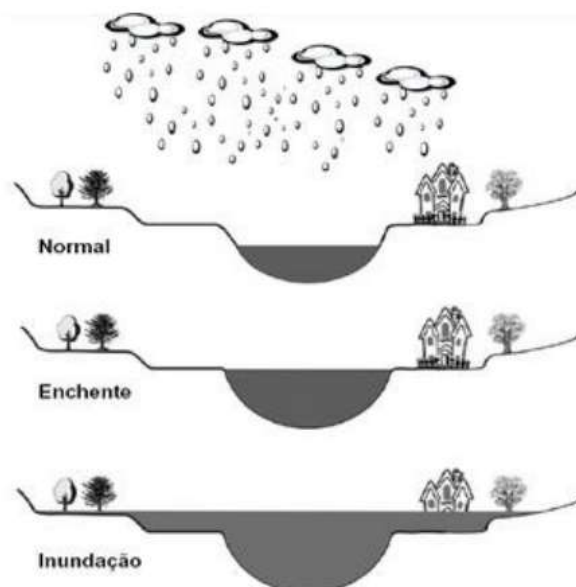
Sobre a dinâmica de interceptação e escoamento da precipitação, Christofidis (2010) relata que em um ambiente urbanizado esse processo é diferente do que ocorre em um ambiente natural, uma vez que ainda não foi afetado pela ação antrópica. No meio ambiente original, a precipitação é interceptada pela vegetação, pelos solos e pelos corpos hídricos, e escorre pela superfície até evaporar, infiltrar ou interceptar um corpo hídrico.

Segundo Pompêo (2000), fatores como o desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural são modificadores e, em muitos casos, acabam gerando redução nos tempos de concentração e aumento do volume de escoamento superficial, causando assim o extravasamento de cursos d'água.

Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018) citam que a inundação é um fenômeno natural que ocorre a partir da cheia do leito do rio e seu alagamento sobre o leito menor. Portanto, o risco de inundação de uma residência está relacionado ao uso e ocupação de áreas impróprias para tais fins. Também pode-se considerar que o processo de inundação está relacionado à incapacidade do solo em filtrar a água do sistema de drenagem das cidades. Em casos de relevo levemente inclinado e grande quantidade de chuva, o escoamento ganha uma grande velocidade e ocasiona o arrastamento de detritos, levando à erosão.

Na definição de Goerl e Kobiyama (2005), quando as águas do rio alcançam a altura de suas margens, sem transbordar nas áreas adjacentes, pode-se dizer que ocorreu uma enchente. No entanto, a partir do momento em que as águas transbordam, ocorreu uma inundação, conforme mostra a figura 2.

Figura 2 - Esquema de enchentes e inundações



Fonte: Goerl e Kobiyama (2005)

Logo, pode-se considerar que a inundação é fruto do extravasamento do leito fluvial, rompendo a seção do canal e inundando as áreas adjacentes, enquanto na enchente ocorre apenas a elevação do volume sem extravasamento.

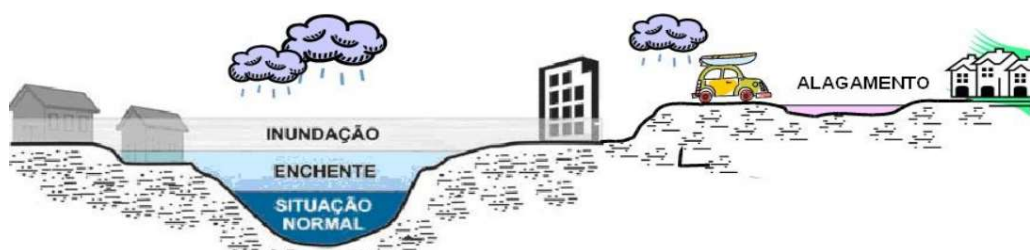
O alagamento é o resultado do acúmulo momentâneo de águas, ocasionado pela deficiência no sistema de drenagem (IPT, 2007). Neste sentido, fatores como a redução das áreas infiltradas através de pavimentações, construções adensadas e a disposição inadequada dos resíduos domiciliares contribuem para essa concentração das águas, uma vez que sobrecarregam a rede de drenagem.

Através de uma ação integrada entre ANA, CEMADEN, CENAD e CPRM, com o objetivo de especificar as competências e ações relacionadas à emissão de alertas para inundações, e no intuito de prevenir e minimizar os efeitos desse tipo de desastre, criou-se um protocolo visando à prevenção e minimização dos efeitos desse tipo de desastre, além de integrar as ações executadas por esses  rg os. Neste protocolo, define-se alagamento como:

“Extrapolat o da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de água em áreas rebaixadas atingindo ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas”. (BRASIL, 2013, p. 58)

Na figura 3,   possível verificar o perfil esquemático dos processos de enchente, inundação e alagamento.

Figura 3 - Esquema de inundação, enchente e alagamento



Fonte: CPRM (2017)

De acordo com Porto Alegre (2005), as inundações em áreas urbanas resultam de dois processos, que podem ocorrer isoladamente ou de forma integrada:  reas ribeirinhas e urbanização. Segundo o autor, os rios normalmente possuem dois leitos. O primeiro, o leito menor, é onde a água escoar grande parte do tempo, e o leito maior   inundado em média a cada 2 anos. Neste sentido, o impacto relacionado à inundação ocorre quando a população passa a

ocupar o leito maior do rio, ficando, desta forma, sujeita às enchentes. Este é o processo de áreas ribeirinhas.

O processo decorrente da urbanização, segundo Porto Alegre (2005), é ocasionado pela ocupação do solo, com conseqüente impermeabilização das superfícies e implementação de rede de drenagem, fazendo com que aumentem a magnitude das inundações, bem como a sua frequência. O desenvolvimento urbano também pode produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas, entupimentos em condutos e assoreamento (Figura 4).

Figura 4 – Registro da última enchente ocorrida em Boa Vista-RR, no ano de 2011



Fonte: Site G1 (2011)

Sander et al. (2012a) também mencionam os eventos de alagamento, que correspondem ao acúmulo momentâneo de águas em uma determinada área, decorrente da deficiência do sistema de drenagem, um fator muito comum em áreas urbanas bastante impermeabilizadas.

Quanto à degradação, ela está relacionada ao processo de alagamentos e ocorre em áreas com relevo levemente inclinado. Normalmente, isso acontece quando há uma grande quantidade de chuva, que precisa dessa inclinação para descer com velocidade média ou alta, arrastando detritos que geram atrito no solo impermeável.

Segundo Christofidis (2010), os fatores que mais contribuem para a ocorrência de inundações são a falta de planejamento urbano, a ocupação desordenada e a ausência de

controle por parte do poder público. Além disso, ele afirma que o planejamento adequado e o controle das ocupações urbanas são ações que podem contribuir significativamente para a melhoria do ambiente urbano. Isso ocorre ao promover uma ocupação regulamentada, que permitirá a proteção da população em situações críticas, como deslizamentos e inundações, além de proporcionar melhorias no ambiente natural ao preservar áreas de conservação e amortecimento de eventos críticos.

Para Tucci (2007), a tendência da urbanização é ocorrer no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, devido às características do relevo. Segundo o autor, ao projetar um loteamento, os municípios exigem apenas que o projeto de esgotos pluviais seja eficiente na drenagem da água do local. Quando não há controle dessa urbanização por parte do poder público ou quando a gestão não amplia a capacidade da macrodrenagem, ocorre um aumento nas enchentes, resultando em perdas sociais e econômicas. Nesse sentido, o autor complementa que, normalmente, o impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não é avaliado pelo projetista nem exigido pelo município.

2.1.3 O estudo das precipitações e sua importância

Calbete et al. (2003) consideram que a precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos das diversas regiões do Brasil. Segundo os autores, essa importância está relacionada às consequências que ela pode ocasionar em caso de excesso (precipitação intensa) para os setores produtivos da sociedade, tanto econômica quanto social (agricultura, transporte, hidrologia, etc.), podendo causar enchentes, assoreamento dos rios, quedas de barreiras, entre outros.

Tonello et al. (2014) definem precipitação, na hidrologia, como toda a água proveniente do meio atmosférico, independente do estado físico, que atinge a superfície terrestre. No entanto, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia e suas ramificações.

Nesse sentido, Christofidis (2010) complementa que as flutuações na precipitação acontecem de forma natural, e o tempo em que o homem monitora as precipitações é muito curto em relação ao tempo em que elas ocorrem no globo. Além disso, não é possível prever de forma exata a precipitação de uma determinada área, uma vez que os registros históricos não representam nem um milionésimo dos eventos que já ocorreram na Terra.

Guandique e Morais (2015) citam que, para que os estudos nas bacias hidrográficas sejam representativos, todas as variáveis envolvidas no processo do ciclo hidrológico devem

ser registradas por tempo suficientemente longo, com o intuito de avaliar e quantificar as inter-relações entre essas variáveis.

Quanto aos registros históricos, Christofidis (2010) comenta que são importantes para estimar o comportamento das chuvas em algumas áreas. Embora não seja possível afirmar qual a vazão máxima de uma determinada área, é possível estimar e dimensionar os sistemas e equipamentos de drenagem com base na média histórica.

2.2 BACIAS HIDROGRÁFICAS X URBANIZAÇÃO

2.2.1 A bacia hidrográfica e sua importância como instrumento de gestão de recursos hídricos no meio urbano

A questão da disponibilidade de água limpa é potencialmente uma das problemáticas mais importantes que a população mundial deverá enfrentar nos próximos anos. Entre as questões ambientais mais polêmicas, segundo Gomes e Barbieri (2004), tem destaque a gestão da água doce, um bem vital para todos os seres vivos e um dos principais recursos para o desenvolvimento dos países. No entanto, esse bem é escasso ou está em grande estado de degradação em muitas regiões do planeta, inclusive no Brasil. Portanto, é fundamental dar a devida atenção aos recursos hídricos, pois, de toda a água existente no planeta, apenas o equivalente a 2,5% do total é de água doce.

A partir da Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997), definiu-se a bacia hidrográfica como a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Guandique e Moraes (2015) relatam que essa divisão teve como objetivo principal preservar as características físicas, econômicas e sociais de cada bacia hidrográfica, de modo que possam ser utilizadas no gerenciamento dos recursos hídricos entre os órgãos federais e estaduais envolvidos.

Para Corrêa e Costa (2016), os rios podem ser denominados como amplos corpos d'água em movimento confinados em um canal. Devido ao seu volume, podem ser rios principais que, muitas vezes, nomeiam bacias hidrográficas, ou rios secundários ou terciários, classificados a partir de uma hierarquia. Estes ainda podem ser perenes (que drenam água o ano inteiro), intermitentes (que drenam água durante uma estação do ano ou um curto período) ou efêmeros (que drenam água durante ou imediatamente após a ocorrência de uma precipitação).

Segundo Teodoro et al. (2007), a bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente, formando riachos e rios, ou infiltram no solo para a formação de nascentes e do lençol freático. As águas superficiais escoam para as partes mais baixas do terreno, formando riachos e rios. As cabeceiras são formadas por riachos que brotam em terrenos íngremes das serras e montanhas e, à medida que as águas dos riachos descem, juntam-se a outros riachos, aumentando o volume e formando os primeiros rios. Esses pequenos rios continuam seus trajetos recebendo água de outros tributários, formando rios maiores até desembocarem no oceano.

Os dois principais instrumentos adotados diretamente e indiretamente no planejamento das bacias hidrográficas brasileiras, que poderiam se enquadrar como propostas de planejamentos ambientais integrados, são: o Plano de Recursos Hídricos (PRH), que é um instrumento da PNRH (BRASIL, 1997), a ser implementado necessariamente nas bacias hidrográficas; e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), que é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), regulamentado pelo Decreto Federal 4.297/2002, também denominado zoneamento ambiental, conforme Brasil (2002). O ZEE deve ser implementado em todo o território, porém, sem um direcionamento escalar e específico para a compreensão da dinâmica socioeconômica e ambiental das bacias hidrográficas.

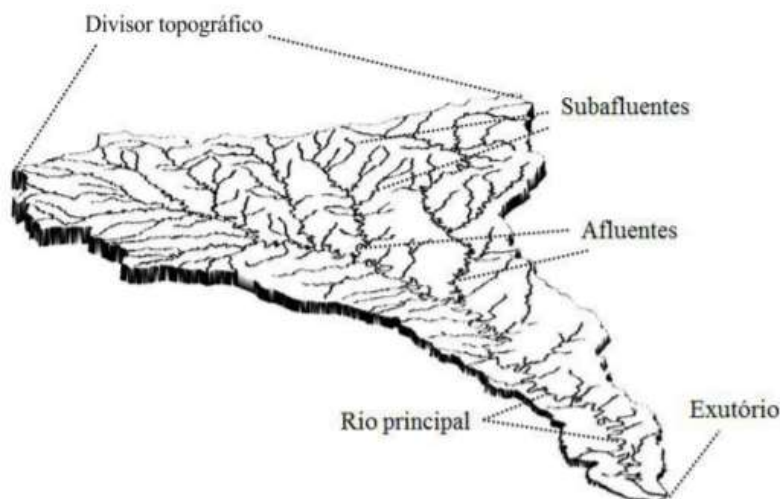
Por definição, pode-se considerar a bacia hidrográfica como um conjunto de drenagem que converge toda a água precipitada até o seu ponto mais baixo, conhecido como exutório. Por convenção, o rio principal de uma bacia é a maior linha de fluxo de água que liga uma nascente ao exutório. Os drenos secundários que conduzem a água diretamente ao rio principal são denominados afluentes, e os rios que confluem para os afluentes são subafluentes do rio principal. Essa interação é denominada rede de drenagem, que é composta, no mínimo, por um rio principal e seus afluentes, que distribuem a água por toda a bacia (TUCCI, 1993).

Considerando que a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório (SILVEIRA, 2007), e que é na bacia hidrográfica que as atividades humanas acontecem, entende-se que o exutório abrigará todo o reflexo nas águas do que se faz dentro de cada bacia, conforme destaca Lima (2009) ao citar que é:

[...] um tanto óbvio dizer que a relação entre o que se faz numa bacia hidrográfica em termos de ocupação, uso dos recursos naturais, movimentação de solo, erosão, impermeabilização, desmatamentos, emissão de poluentes, exerce impactos diretos na quantidade e qualidade da água disponível na bacia. (LIMA, 2009, p. 143)

Na definição de Guandique e Morais (2015), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água, onde parte desta é perdida por evaporação e transpiração. Essa mesma área é composta por superfícies vertentes que fazem com que o restante dessa água, chamada de deflúvio (vazão), seja transportada até a seção de saída da bacia (Figura 5).

Figura 5 - Componentes principais de uma bacia hidrográfica



Fonte: Bernardi et al. (2012)

Para Bernardi et al. (2012), no momento em que a água sai do exutório da bacia, ela pode passar a fazer parte de outra bacia hidrográfica mais abrangente ou do oceano. Sendo assim, a formação de limites entre bacias hidrográficas ocorre por meio de divisores de águas, que são considerados os pontos mais altos, onde ocorre a separação da água da precipitação pluvial em diferentes bacias hidrográficas.

Nos últimos anos, temos visto que conceitos de sustentabilidade têm sido incorporados às políticas públicas brasileiras, como é o caso da Lei nº 10.257/01 - Estatuto das Cidades (Brasil, 2001) e da Lei nº 9.433/97 - PNRH (Brasil, 1997), dentre outras.

Um importante marco regulatório que se constituiu no principal instrumento da política urbana brasileira foi o Estatuto da Cidade, aprovado em 2001, que regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, a Lei Federal nº 10.257/2001. O Estatuto da Cidade apresenta mecanismos legais destinados à função social da propriedade, à implementação de instrumentos urbanos para melhor regular o uso e ocupação do solo, o que possibilita aos municípios integrar gestão urbana e tributária para viabilizar novas fontes de financiamento. Ele já inclui em seus princípios a proteção, a preservação e a recuperação do meio ambiente natural e construído, do patrimônio histórico, cultural, artístico, paisagístico e arqueológico

(CHRISTOFIDIS, 2010). Através da Política Urbana e Ambiental, o Estatuto da Cidade contribui para a caracterização e efetivação das funções social e ambiental da propriedade urbana, uma vez que regula o uso da propriedade urbana em prol do equilíbrio ambiental e da garantia de cidades sustentáveis. O Estatuto estabeleceu o plano diretor como instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana, devendo definir os parâmetros de uso e ocupação do território, visando o seu ordenamento (BRASIL, 2001).

A criação da Constituição Federal de 1988 entrou como um importante marco normativo, onde, em seu capítulo II, dispõe sobre política urbana, definiu o conceito de função social da propriedade e estabeleceu a obrigatoriedade de elaboração de planos diretores em municípios com população acima de 20 mil habitantes (MARICATO; SANTOS JR., 2007).

A PNRH foi estabelecida através da Lei 9.433 de 1997 e deu diretrizes gerais para a gestão da água no Brasil. Destaca-se que a referida lei tem como um dos seus fundamentos a adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial para sua implantação. Para Santos (2020), na PNRH, os planos de recursos hídricos são também considerados planos diretores e visam fundamentar e orientar a implementação da referida política e a gestão das águas, sendo assim elaborados por bacia hidrográfica, por estado e para o país. Neste sentido, devem ser formulados com uma visão de longo prazo, com visão de planejamento entre dez e vinte anos, passando por revisões periódicas.

Quanto à PNRH, Carvalho (2014) relata que, mesmo tendo o recurso natural água como foco, percebe-se que a legislação já considera a necessidade de gestão de outros componentes naturais da bacia e a integração entre gestão dos recursos hídricos e gestão ambiental.

Para Couceiro e Hamada (2011), o principal fundamento da PNRH é a visão da água como um recurso natural, ou seja, um bem comum, que é dotado de valor econômico. Assim, a PNRH tem como objetivos: assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos Recursos Hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Brasil (2019b) afirma que o conjunto de diretrizes, metas e programas que constituem o PNRH foi construído com o objetivo de estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas buscando a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, administrando as demandas e considerando a água como um elemento estruturante

para a implementação das políticas setoriais, sob o olhar do desenvolvimento sustentável e da inclusão social.

Os objetivos da PNRH são: garantir a disponibilidade de água às atuais e futuras gerações, utilizar de forma racional e integrada os recursos hídricos, com base na ideia de desenvolvimento sustentável, além de prevenir e defender o país contra possíveis eventos hidrológicos. Neste sentido, Christofidís (2010) cita que a Lei Federal nº 9.433/97 destaca em seus princípios a gestão dos recursos hídricos sem dissociar a quantidade da qualidade, a adequada gestão dos recursos hídricos em face das diferenças físicas, bióticas, demográficas, entre outros, assim como também deve haver articulação entre os diversos setores afetados pela gestão, em âmbito regional, estadual e nacional. O quadro 1 mostra os principais aspectos constantes nas gestões de recursos hídricos, através da Lei Federal nº 9.433/1997, e gestão do uso de solo, através da Lei Federal nº 10.257/2001, que integram essas duas gestões.

Quadro 1 - Principais aspectos abordados na integração entre as gestões de recursos hídricos e de uso do solo

ASPECTOS PRINCIPAIS	GESTÃO DAS ÁGUAS	GESTÃO DE USO DO SOLO
Esfera	Federal: Lei nº 9.433, de 1997	Federal: Lei nº 10.257, de 2001
Objetivo	Denominada de Lei das Águas, tem por objetivo a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável.	Denominada de Estatuto da Cidade, tem por objetivo a regulação do uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental.
Diretrizes de Ação	Integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental. Articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos regionais, estaduais e nacional. Articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo.	Garantia do direito a cidades sustentáveis. Ordenação e controle do uso de solo. Adoção de expansão urbana compatível com os limites da sustentabilidade ambiental.
Instrumento Técnico de Planejamento	Plano de recursos hídricos de âmbito regional.	Plano diretor municipal de âmbito local.
Unidade Geográfica de Planejamento	Bacias hidrográficas, limites divisores de águas.	Cidades, limites políticos administrativos.

Fonte: Brasil (1997, 2001) adaptado pela autora

A região Norte do país é a detentora da maior bacia hidrográfica do mundo e possui uma alta disponibilidade hídrica associada à baixa densidade demográfica e ao

desenvolvimento econômico centralizado. Isso faz com que a região amazônica, em geral, não apresente problemas de disponibilidade hídrica em grande escala (CNRH, 2006).

Couceiro e Hamada (2011) citam que, para cumprir seus objetivos, a PNRH (Brasil, 1997) conta com cinco instrumentos: os Planos de Recursos Hídricos, elaborados por bacia hidrográfica e pelo governo de cada Estado; o enquadramento dos corpos d'água em classes segundo os usos preponderantes da água; a outorga de direito de uso; a cobrança pelo uso dos Recursos Hídricos; e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos. Neste sentido, Pereira e Medeiros (2009) complementam que os seguintes instrumentos são considerados importantes para o planejamento da gestão dos recursos: plano de recursos hídricos, enquadramento dos corpos de água e sistema de informações sobre recursos hídricos, enquanto que os instrumentos da outorga de direito de uso e da cobrança pelo uso da água referem-se ao controle administrativo do uso da água.

O Plano de Recursos Hídricos fundamenta e orienta o gerenciamento dos Recursos Hídricos em uma bacia hidrográfica com perspectiva a longo prazo, de forma a garantir o uso da água às gerações futuras (COUCEIRO; HAMADA, 2011). Em seu conteúdo deve constar: diagnóstico da situação atual dos Recursos Hídricos; análise de alternativas para o crescimento demográfico; análise da evolução de atividades produtivas e de modificações dos padrões de ocupação do solo; balanço das disponibilidades e demandas futuras dos Recursos Hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais; metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos Recursos Hídricos disponíveis; medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados para o atendimento das metas previstas; prioridades para outorga de direitos de uso de Recursos Hídricos; diretrizes e critérios para a cobrança pelo uso de Recursos Hídricos; propostas para a criação de áreas sujeitas a restrições de uso, com vistas à proteção dos Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Quanto ao enquadramento dos corpos d'água em classes de uso, a Resolução CONAMA 357 (CONAMA, 2005) é o principal instrumento da legislação brasileira sobre a qualidade das águas superficiais. Ela classifica as águas doces em "classe especial" e classes 1, 2, 3 e 4, e as águas salinas e salobras em "classe especial" e classes 1, 2 e 3. O enquadramento dos corpos d'água nessas classes deve considerar os níveis de qualidade que as águas deveriam possuir para atender às necessidades da comunidade e garantir os usos preponderantes atuais ou futuros das mesmas.

A outorga é o instrumento que regula o uso da água no Brasil. O regime de outorga de uso da água tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo das águas

superficiais e subterrâneas e o direito de acesso à água de modo sustentável. Sua importância está no fato do governo estadual ou federal (a depender da jurisprudência do Recurso Hídrico) ter conhecimento sobre a demanda de água por usuário, inclusive qual a finalidade econômica do seu uso, assim como os impactos causados por esse uso (BRASIL, 1997).

Todos os usuários que fazem captação para qualquer finalidade econômica das águas de rios, lagos ou de águas subterrâneas devem solicitar outorga ao Poder Público (União ou Estado). Cabe ao órgão público avaliar o pedido de outorga, incluindo os impactos que podem ser gerados, aprovando ou não o pedido, além da fiscalização do uso (COUCEIRO; HAMADA, 2011).

Conforme a PNRH (Brasil, 1997), estão sujeitos à outorga pelo poder público: derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; a extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; o lançamento em corpo de água dos esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; e o aproveitamento dos potenciais hidrelétricos. Casos de outorga para fins de geração de energia elétrica estão subordinados à PNRH, assim como outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Por outro lado, ainda segundo a PNRH (Brasil, 1997), o que é considerado insignificante não precisa solicitar outorga, que são: pequenos núcleos populacionais distribuídos no meio rural; as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; e lançamentos/acumulações de volumes de água consideradas insignificantes.

A cobrança pelo uso dos Recursos Hídricos, segundo Couceiro e Hamada (2011) tem o intuito de racionalizar o uso desse recurso, atribuindo um valor econômico à água, além de atuar como mecanismo eficiente na redistribuição dos custos sociais de forma mais equitativa, uma vez que o consumo de água varia de cidade para cidade, e/ou entre regiões de uma mesma cidade, principalmente em função do clima.

Selborne (2001) alerta que quanto mais informação sobre os sistemas hídricos, quanto melhor o uso, a tradução e a disponibilização dessas informações ao público em geral, maior é a possibilidade de prevenções de desastres como secas e enchentes, que matam mais pessoas e implicam custos maiores do que os de quaisquer outros cataclismas naturais.

Couceiro e Hamada (2011) citam que a degradação ocorre aliada a falta de conhecimento, pois não podemos proteger ou manejar aquilo que desconhecemos. O controle e a punição da poluição dos Recursos Hídricos dependem da capacidade de monitoramento das

fontes de poluição. Neste sentido, o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos tem também a importância de ser um instrumento de monitoramento, uma vez que ele representa um histórico da bacia hidrográfica. Logo, se algo no ambiente é modificado, o Sistema de Informação de uma dada bacia hidrográfica pode dar o alerta, antes que um dano irreversível venha a ocorrer.

Quanto ao saneamento, além da PNRH, outra norma que regula o setor está representada pela Lei 11.445/2007 (BRASIL, 2007), que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, o qual é o conjunto de serviços públicos de abastecimento de água potável, de esgotamento sanitário, de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos e de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (BRASIL, 2023). Portanto, é considerado como a gestão ou o controle dos fatores físicos que podem exercer efeitos nocivos aos seres humanos, prejudicando, portanto, o seu bem-estar físico, mental e social.

Com a aprovação da Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), que atualiza o marco legal do saneamento básico, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) passou a editar as normas de referência do setor, que segundo Brasil (2023) deverão ser levadas em consideração pelas entidades reguladoras de saneamento básico municipais, intermunicipais, distrital e estaduais, dentro de sua atuação regulatória.

A ANA é hoje a responsável pela gestão dos recursos hídricos no país. Brasil (2023) relata a existência de uma parceria institucional em saneamento básico com o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Através da Secretaria Nacional de Saneamento (SNS), esse Ministério atua para a universalização dos serviços de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, no âmbito da Política Nacional de Saneamento Básico. Brasil (2019a) cita que o MDR reúne as políticas nacionais de saneamento e recursos hídricos, assim como a segurança hídrica. Portanto, é o principal responsável por implementar as ações para o alcance das metas do 6º Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS 6) da Organização das Nações Unidas (ONU), em âmbito federal. Além dessas atribuições, cabe também ao MDR, segundo Brasil (2023), a gestão das políticas nacionais de desenvolvimento regional e irrigação.

Segundo Brasil (2019a), as preocupações com o fornecimento de água potável para todos, assim como o acesso ao esgotamento sanitário, são contempladas na ODS 6, por meio das metas 6.1, 6.3 (água) e 6.2 (esgoto). Isso ocorre porque a falta desses serviços pode levar à contaminação do solo e das águas, podendo prejudicar a qualidade de vida e a saúde. Na figura 6, encontram-se demonstradas todas as metas da ODS 6, conforme determinado pela ONU.

Figura 6 - Metas do ODS 6 segundo a ONU



Fonte: Brasil (2019a)

De acordo com Brasil (2019a), o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6 é composto por oito metas. O ODS 6 tem um caráter transversal, focando na garantia da disponibilidade e gestão sustentável de água e saneamento para todos, integrando-se de forma conjunta com os demais objetivos. Informações sobre a Agenda 2030 e os Indicadores Brasileiros para os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável podem ser encontradas na plataforma ODS Brasil (ODS BRASIL, 2023).

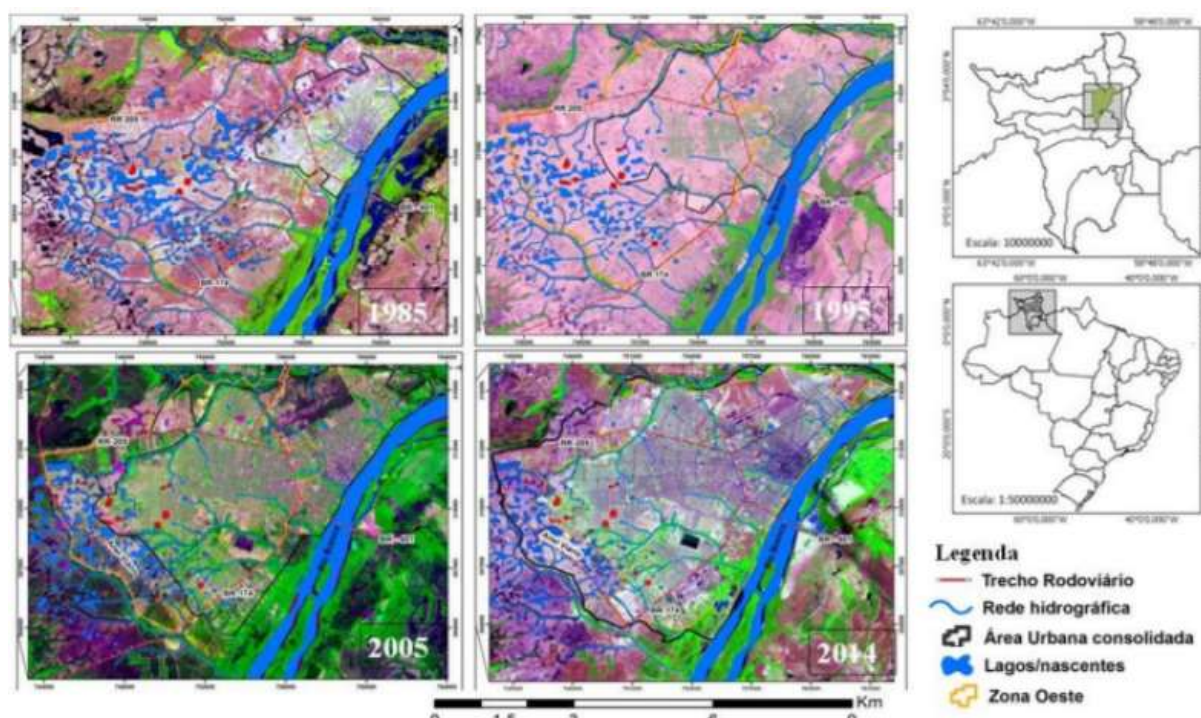
2.2.2 Bacias hidrográficas na zona urbana de Boa Vista/RR

Assim como outras cidades amazônicas, Boa Vista teve seu início à margem de um rio, neste caso, o Rio Branco. Segundo Sander et al. (2012a), a margem direita serviu de parâmetro para a instalação da cidade, por ser mais elevada do que a margem esquerda, tendo sucesso em sua planta inicial até a metade do século XX.

O município de Boa Vista está enquadrado na Depressão Boa Vista, conforme relatam Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018). Ainda segundo Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018) e Brasil (2005), a área corresponde a um modelado de acumulação (agradiação), distribuindo-se no setor central de Roraima, sendo uma extensa região plana com variações de altitude média entre 80 e 110 metros. Para os autores, a área de estudo, em virtude da baixa altitude, favorece os fenômenos retentivos e estagnantes das águas, ocasionadas pelas cheias das planícies de inundação.

Nesse sentido, Carvalho e Araújo (2007) reiteram que, devido aos processos de urbanização e ao avanço populacional que passou a ocorrer sobre as nascentes e áreas de mananciais da cidade de Boa Vista, que é formada por um relevo aplainado e possui diversas formações lagunares localizadas em depressões no terreno ao longo do sítio urbano, acabaram degradando e contaminando as águas. A figura 7 mostra o quanto o processo de urbanização colaborou para a supressão dos lagos na área urbana de Boa Vista, entre os anos de 1985 a 2014.

Figura 7 -Expansão urbana e supressão dos lagos em Boa Vista - RR



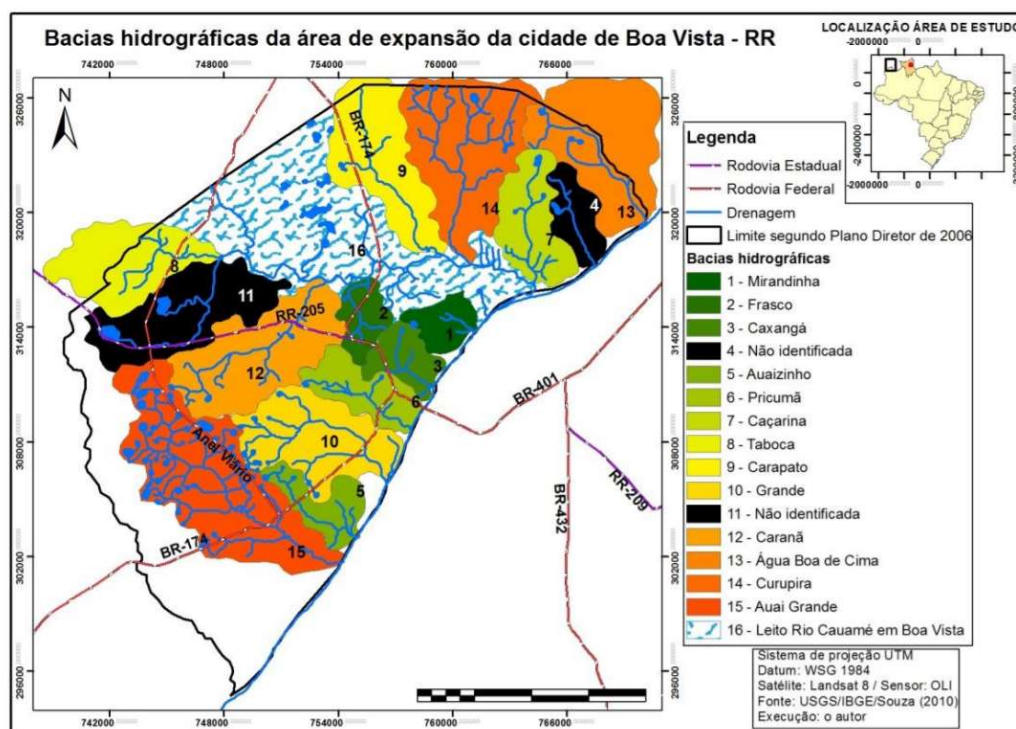
Fonte: Brasil (1997,2001)

Algumas áreas da cidade possuem lagos caracterizados como sazonais, que, segundo Meneses, Costa e Costa (2007), devido à subida do nível freático que aflora nas áreas mais baixas, esses lagos sazonais passam a apresentar uma significativa lâmina d'água. Ou seja, são áreas que possuem um espelho d'água que surge na época das chuvas mais intensas e, no período seco, reduzem de volume e, em alguns casos, secam totalmente, deixando apenas a depressão. Esse fator torna-se importante, pois contribui para o processo de ocupação dessas áreas. Há situações em que esses lagos podem ficar mais de seis meses sem água, tempo mais do que suficiente para uma família se instalar na área.

Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018) citam que as bacias hidrográficas presentes na cidade de Boa Vista totalizam 15 bacias ou drenagens secundárias em relação ao Rio Branco, além do leito do Rio Cauamé. Essas bacias estão localizadas no perímetro que circunscreve a

referida cidade, ou seja, dentro do perímetro urbano, conforme mostra a figura 8. É importante destacar que o limite de expansão do município, constante na imagem, é o que foi determinado pelo Plano Diretor Municipal vigente, do ano de 2006.

Figura 8 - Bacias hidrográficas da área de expansão de Boa Vista - RR



Fonte: Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018).

Para Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018), o Plano Diretor Municipal, enquanto ferramenta de planejamento e gestão ambiental, é utilizado para ordenar os usos que venham a acontecer no espaço, de forma a minimizar impactos existentes e evitar a implantação de ações danosas. Tem como objetivo promover um discurso sustentável, no qual a sociedade coexista de forma menos agressiva com a natureza. No entanto, os autores alertam que apenas seis bacias estão na área urbana consolidada de Boa Vista: bacia do Mirandinha, Frasco, Caxangá, Pricumã, Caranã e Grande. Isso é um alerta importante, pois a não consideração de todas as bacias hidrográficas urbanas no processo de planejamento inviabiliza e dificulta uma gestão eficiente do espaço, levando a realocação de problemas.

2.2.3 Urbanização x planos diretores de drenagem urbana

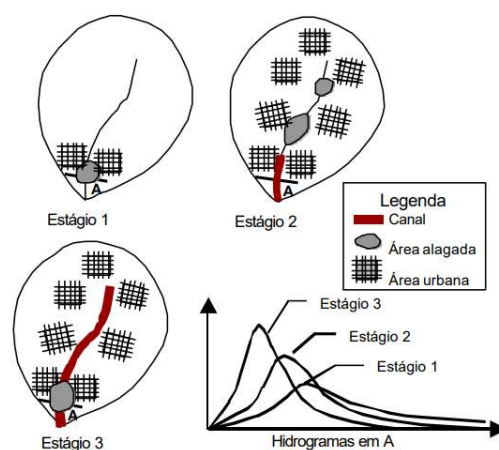
A urbanização no Brasil teve seu início tardio se comparado ao cenário internacional, o que, segundo Christofidis (2010), ocorreu no início do século XX e se tornou mais

significativo a partir da década de trinta. A nível internacional, esses processos começaram desde o início do século XIX, impulsionando a migração maciça do campo para as cidades. Nesse sentido, Santos (2009) afirma que o processo de urbanização, que se intensificou a partir de meados do século XX, foi resultado do contexto da industrialização e da redefinição do país na divisão internacional do trabalho. Como resultado, entre 1950 e 2000, a população urbana do país saltou de 18.782.891 habitantes para 137.697.439 habitantes, multiplicando-se em 7,33 vezes, com uma taxa média anual de crescimento de 4,1% e um incremento real médio anual de 2.378.291 habitantes, o que causou um forte inchaço urbano (BRITO, HORTA E AMARAL, 2010).

Na maioria das cidades, não houve planejamento para a ocupação do solo e nem avaliações para definir quais áreas deveriam ser protegidas ou conservadas. Em diversos casos, não existiam, na época de implantação das cidades, os conceitos de proteção e preservação, nem a sua necessidade. Dessa forma, não havia uma preocupação em planejar a cidade com o intuito de preservar o meio ambiente ou regular a ocupação de áreas de risco. A análise da expansão era baseada somente em aspectos técnicos que facilitassem a implantação de infraestruturas de saneamento ou transportes e formas de absorver o enorme contingente de pessoas que migraram do campo para a cidade (CHRISTOFIDIS, 2010).

Tucci e Orsini (2005) relatam que o desenvolvimento urbano se agravou a partir da segunda metade do século XX, impactando o ecossistema terrestre e aquático e a própria população por meio de inundações, doenças e perda de qualidade de vida. Esse processo ocorreu devido à falta de controle e planejamento da ocupação do espaço urbano, que está intimamente ligado à infraestrutura, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 - Efeito da urbanização sobre o sistema de drenagem



Fonte: Tucci (1995)

Séguim, Kligerman e Assumpção (2006) relatam que o desenvolvimento urbano em geral ignora os pequenos cursos d'água que cortam as cidades e, quando os gestores os notam, é para canalizá-los ou cobri-los, justificando a necessidade de mais espaço para circulação.

Cassilha e Cassilha (2009) ressaltam que não tem havido controle das autoridades públicas, as quais deveriam zelar pelo território, que estão sendo ocupadas sem o devido controle urbanístico, e este fator faz com que a velocidade da ocupação urbana aconteça de forma desprovida de infraestrutura básica, resultando em um não atendimento às demandas, principalmente no que tange à saúde, educação e segurança.

Ainda nas décadas de 1980 e 1990, segundo Carvalho e Araújo (2007), a cidade já sofria com os problemas de alagamentos, porém em menor proporção, uma vez que a população ocupava as áreas mais altas, os lagos tinham sido drenados por valas a céu aberto para os cursos d'água e as depressões existentes foram aterradas.

A expansão urbana das cidades brasileiras tem impactado significativamente a população e o meio ambiente, pois, apesar de muito benéfico por um lado, por outro trouxe para sociedade alguns problemas que ainda não haviam sido vividos em larga escala, como é o caso dos impactos desse processo sobre a drenagem urbana. Esses impactos vêm afetando a qualidade de vida da população, devido ao crescimento da frequência e do nível das inundações, prejudicando a qualidade da água e aumentando a presença de materiais sólidos no escoamento pluvial (PORTO ALEGRE, 2005).

Miguez, Veról e Rezende (2016) afirmam que, no processo de urbanização, o crescimento das cidades está intrinsecamente ligado ao aumento da concentração de pessoas em uma determinada região. Essas pessoas demandam por serviços especializados e infraestruturas básicas, como habitação, iluminação pública, abastecimento de água, esgotamento sanitário e escoamento de águas pluviais. Nesse cenário, as bacias hidrográficas sofrem alterações em seu ciclo hidrológico, contribuindo para a degradação dos recursos naturais.

Quanto aos impactos ambientais produzidos pela urbanização, Tucci (2002) corrobora, destacando alguns dos principais, como o aumento da temperatura, o acúmulo de sedimentos e material sólido, a deterioração da qualidade da água e a contaminação dos aquíferos.

No que se refere ao impacto da urbanização no escoamento, na produção de material sólido e na qualidade da água, Tucci (1997) resume os principais como segue:

“(i) aumento do: escoamento superficial, vazão máxima dos hidrogramas, e antecipação dos picos; (ii) redução da: evapotranspiração do escoamento subterrâneo e lençol freático; (iii)

aumento da produção de material sólido; (iv) deterioração da qualidade das águas superficiais, principalmente no início das chuvas pela drenagem de águas de carreamento de material sólido e lavam as superfícies urbanas.”

Segundo Tucci (2002), com relação ao aumento de temperatura, o crescimento da absorção de radiação solar pela superfície aumenta a emissão de radiação térmica para o ambiente, ocasionando o calor. Quanto aos sedimentos e material sólido, as principais consequências ambientais são o assoreamento das seções de canalizações da drenagem, a redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos e o transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais. Em relação à contaminação dos aquíferos, o autor ainda afirma que é necessário evitar a construção de aterros sanitários em áreas de recarga, escolhendo áreas com baixa permeabilidade para esse fim, e que a utilização de fossas sépticas como destino final do esgoto pode contaminar a parte superior do aquífero, o que pode comprometer o abastecimento de água urbana.

Segundo Canholi (2013), o processo de urbanização altera a presença de vegetação e o potencial de evapotranspiração, que é uma característica hidrológica relevante. A remoção da vegetação reduz o potencial de evapotranspiração da bacia e seu efeito no controle da temperatura, o que é especialmente importante em países com clima mais quente.

Ainda sobre o processo de urbanização, Miguez, Veról e Rezende (2016) afirmam que as alterações sofridas no ciclo hidrológico contribuem para a degradação dos recursos naturais, dos quais pode-se citar a remoção da cobertura vegetal, que traz consigo a redução da evapotranspiração, a eliminação da proteção do solo contra erosão e compactação, a redução da capacidade de infiltração do terreno e a eliminação da interceptação vegetal. Já a impermeabilização de superfícies reduz a infiltração, acelera o escoamento superficial e aumenta o pico de vazão da chuva. E a terraplenagem, por sua vez, acaba com retenções naturais, diminuindo o tempo de concentração da chuva e, novamente, aumentando o pico de vazão.

Christofidis (2010) considera que as cidades de porte médio no Brasil ainda não têm os mesmos problemas das grandes metrópoles. No entanto, suas problemáticas devem ser observadas para que se possa prever, em tempo, as devidas soluções para um eventual crescimento.

A pressão sobre os recursos naturais foi grande devido à problemática do alto crescimento populacional, assim como ao crescimento da demanda de matéria e energia, bem como aos resíduos gerados e lançados no meio ambiente. Esses fatores trazem à tona a

necessidade de se estabelecer critérios objetivos de ocupação urbana para o regramento e controle do crescimento das cidades.

O instrumento legal de gestão das águas pluviais é o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU), que é elaborado de acordo com outros planos da cidade. Ele deve ser estruturado de modo a contemplar projetos e ações de controle das inundações, por meio de projeções de cenários futuros, cálculos matemáticos e considerando as tendências existentes, como aspectos geomorfológicos do espaço, condições climáticas, adensamento, impermeabilização, entre outros. Isso viabiliza o gerenciamento de risco (BENINI, 2015). O PDDrU deve ser elaborado pelas prefeituras, variando de município para município, uma vez que se adapta de acordo com os aspectos sociais, urbanos e naturais de cada localidade, levando em consideração a bacia hidrográfica da região em seu planejamento.

Pachêco e Ribas (1998) relatam que o processo de urbanização tem gerado diversos problemas que, somados a outros problemas sociais, configuram algumas das consequências do uso inadequado do solo, influenciando, desta forma, na qualidade de vida da população residente. Esses problemas incluem questões ambientais, inundações, erosão, aumento dos resíduos sólidos, assoreamento de reservatórios e poluição da água.

Segundo Cassilha e Cassilha (2009), quanto mais rápido o crescimento urbano acontece, maiores são os desafios. Quando a malha urbana cresce de forma desordenada e excessiva, há uma maior necessidade de infraestrutura. Portanto, a falta de planejamento gera consequentemente muitos problemas a serem corrigidos, como a necessidade de drenagem urbana, largura incorreta de vias e redução do recuo frontal das edificações para poder ampliá-las, entre outros.

A respeito da complexidade da questão do uso do solo, Junior e Coelho (2005) comentam que o planejamento, principalmente realizado por meio de Planos Diretores e zoneamento do uso e ocupação do solo, estabelece uma cidade virtual que não se articula com as condições reais de vida das pessoas. Isso ocorre porque ignora que a maior parcela da população urbana possui baixa renda e nenhuma capacidade de investimento no espaço construído. Dessa forma, apesar das leis existentes, a população de baixa renda acaba invadindo terrenos não edificáveis e ali permanece. Nesse sentido, a questão da ocupação do solo nas margens de rios, que em muitas bacias urbanas contribui para o aumento das inundações, envolve não apenas aspectos legais ou institucionais, mas também questões sociais e políticas, em que os fatores sociais agravam os problemas das inundações (MATTEDI, 2009).

2.2.4 Planejamento Urbano e gestão das cidades

O município é constituído em seu território por áreas urbanas e rurais, sendo que as áreas urbanas apresentam uma maior densidade demográfica, ou seja, são mais populosas que as áreas rurais, além de terem uma maior densidade construída. Nesse contexto, encontramos as cidades.

O planejamento urbano tem como principal objetivo proporcionar uma melhor qualidade de vida para a população. Assim, de acordo com Cassilha e Cassilha (2009), em relação ao território da cidade, é necessário adotar uma perspectiva futurista, buscando aproveitar os espaços de forma sustentável e fornecendo apoio legal às ações de planejamento, ou seja, a legislação urbanística. Os autores destacam ainda que esse planejamento é uma ação que visa garantir que o crescimento da cidade tenha acesso adequado a infraestrutura, habitação e emprego. Villaça (1995) afirma que planejar urbanisticamente é organizar os espaços urbanos, partindo do planejamento urbano até chegar aos planos diretores.

Cassilha e Cassilha (2009) ressaltam também a importância de a cidade e seus espaços de circulação serem atrativos, interessantes e satisfatórios. Quando a paisagem é desordenada, monótona e carente de espaços públicos, pode-se considerar que a cidade é comum e não possui uma identidade plausível.

Segundo Goitia (2010), o desafio dos urbanistas não está mais no planejamento e na planificação de grandes avenidas, mas sim em reduzir os impactos causados pelo mau planejamento. Nesse sentido, arquitetos em conjunto com engenheiros devem dar funcionalidade à cidade, evitando conflitos em sua continuidade. Ao projetar, demonstrar e determinar todas as áreas de preservação, infraestrutura, usos e zoneamentos propostos pelas leis, eles podem criar condições favoráveis para alcançar mais unidades habitacionais, comerciais ou industriais. Portanto, a grande questão que precisa ser resolvida pelos planejadores urbanos é como garantir o crescimento urbano sem causar problemas de urbanização, uma vez que não é possível interromper o crescimento populacional nem o aumento da impermeabilização, assim como não é possível evitar a ocorrência das chuvas.

Para que haja o atendimento às demandas de todos os habitantes de uma cidade, faz-se necessário controle das atividades e das transformações que acontecem nela, visando não somente atender as necessidades da população, mas também estabelecer limites para uma convivência harmoniosa entre as pessoas.

2.3 ASPECTOS LEGAIS DA URBANIZAÇÃO DE BOA VISTA

2.3.1 Crescimento urbanístico do município

Para entender o espaço da cidade de Boa Vista, é necessário definir uma escala temporal (SILVA, 2009). Segundo o autor, Boa Vista possui três espaços urbanos distintos: o arruamento histórico do núcleo embrionário, que ele chama de gênese espontânea; o espaço entre as avenidas Terêncio Lima e Major Williams e o Rio Branco, ou seja, o projeto urbanístico; e, por fim, a expansão urbana que ocorreu além dos limites do projeto, representando atualmente a maior parte do espaço urbano da capital.

O projeto urbanístico elaborado por Darcy Aleixo Derenusson entre 1944 e 1950 tinha como proposta criar um traçado radial concêntrico para a cidade, de forma a reunir na praça circular os três poderes: executivo, legislativo e judiciário. Além disso, as vias radiais partiriam dessa praça em direção ao norte, sul e oeste (SILVA, 2009).

Assim como a maioria das capitais brasileiras, a capital de Roraima passou por uma forte expansão urbana. De acordo com Sander et al. (2012a), isso resultou na ocupação de áreas depressivas em pequenas bacias e na instalação de estruturas próximas ao canal do rio. A população de Boa Vista teve um aumento significativo, passando de 16,7 mil em 1970 para quase 300 mil em 2010, de acordo com dados do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010a). A Figura 10 demonstra a evolução da ocupação urbana em Boa Vista.

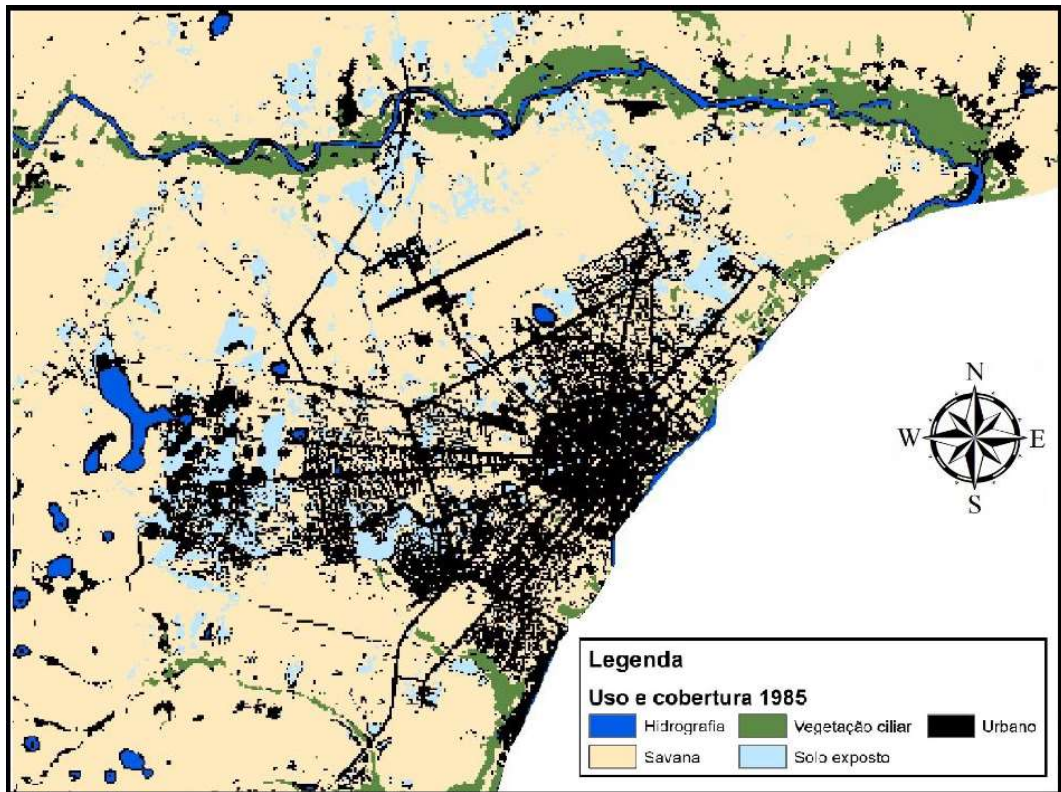
Figura 10 - Mapeamento da evolução do espaço urbano de Boa Vista - RR



Fonte: Silva (2009)

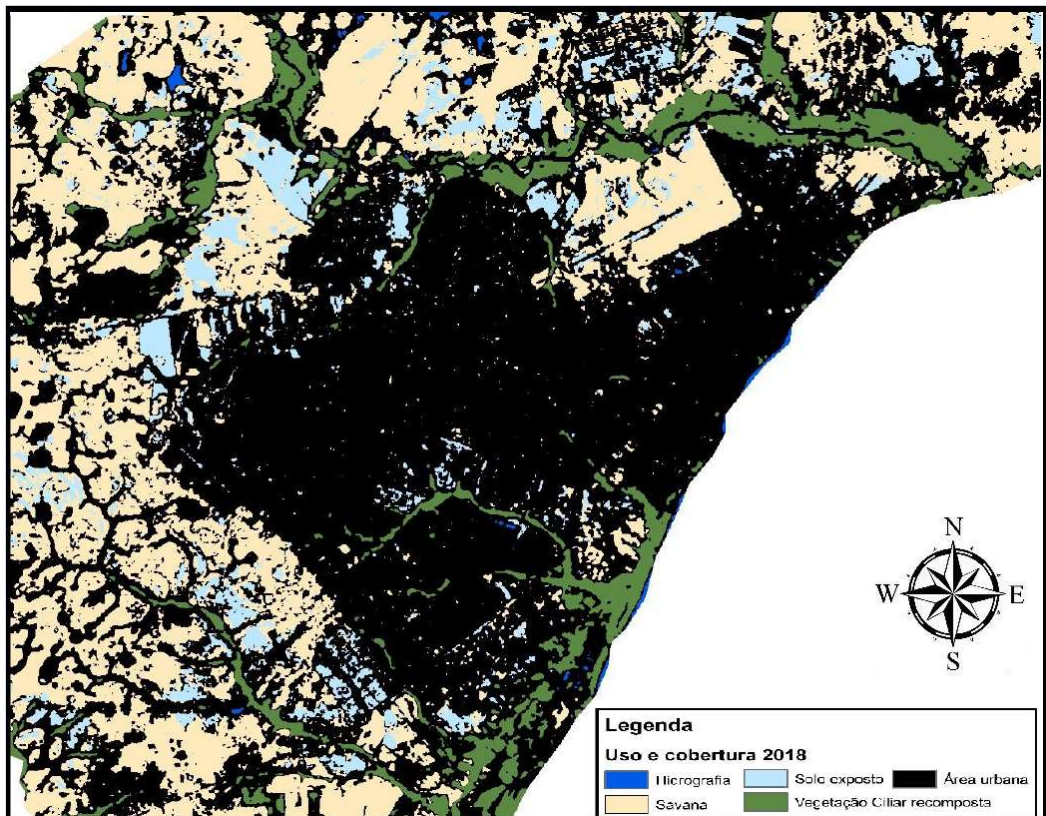
Ao longo dos 33 anos analisados, Santos (2020) relata a ineficácia das normativas e políticas públicas. Os norteamentos das leis foram negligenciados pelos agentes sociais, o que resultou em impactos diretos, como a canalização e aterramento de corpos d'água, e impactos indiretos, como assoreamento e ocupações de áreas não loteadas, afetando o meio ambiente. Esse fenômeno é especialmente observado na zona oeste do município, onde ocorre a ocupação em áreas de planície de inundação e nascentes. Isso pode ser claramente observado ao compararmos o uso e cobertura do solo do município nos anos de 1985 e 2018, conforme ilustrado nas figuras 11 e 12, respectivamente.

Figura 11 - Mapa de uso e cobertura de solo de Boa Vista RR (1985)



Fonte: Adaptado de Santos (2020)

Figura 12 - Mapa de uso e cobertura de solo de Boa Vista RR (2018)



Fonte: Santos (2020)

Nos últimos anos, a cidade de Boa Vista passou por mudanças que foram fundamentais para sua expansão. De acordo com Vale (2007), fatores como a conclusão da BR-174, que conecta as cidades de Manaus, Boa Vista e a fronteira da Venezuela, e a construção parcial da BR-210, conhecida como Perimetral Norte e que ligaria o estado do Pará à fronteira da Colômbia, passando por Roraima e Amazonas, contribuíram para um novo fluxo migratório em direção a Boa Vista.

Nascimento e Araújo Júnior (2017) relatam que durante as décadas de 1980 e 1990, Roraima teve as maiores taxas de crescimento populacional devido à chegada de migrantes de outras regiões do país. O então governador, Brigadeiro Ottomar de Souza Pinto, incentivou a migração de pessoas da região Nordeste e do Centro-Sul do país para o Território Federal de Roraima (atual estado de Roraima), doando lotes urbanos em Áreas de Preservação Permanente - APPs e criando projetos de assentamento e loteamentos urbanos nessas áreas.

Ainda relacionado à expansão da cidade, Silva (2009) complementa que houve uma política de incentivo migratório nos dois períodos do governo de Ottomar de Souza Pinto (1979 a 1983 e 1991 a 1995) e no governo de Romero Jucá (1987 a 1989). Esses governos incentivaram a criação de novos lotes urbanos, estimulando o surgimento de loteamentos e novos bairros. Veras (2009) comenta sobre a política adotada nos anos 2000 pelo então prefeito da capital, que incentivou o setor agrícola, o que resultou em uma forte migração de pessoas do Nordeste e do Centro-Sul do Brasil, atraídas pela promessa de casa própria e emprego.

Outro fator de grande importância e atual é a crise econômica, política e social enfrentada pela Venezuela, que tem causado um intenso fluxo migratório para Roraima, principalmente para a capital. Segundo Wendling, Nascimento e Senhoras (2021), os venezuelanos são obrigados a deixar suas casas em busca de melhores condições de vida, deslocando-se frequentemente para a capital Boa Vista, onde buscam regularização para conseguir emprego e permanecer no Brasil. Neste sentido, os autores citam que:

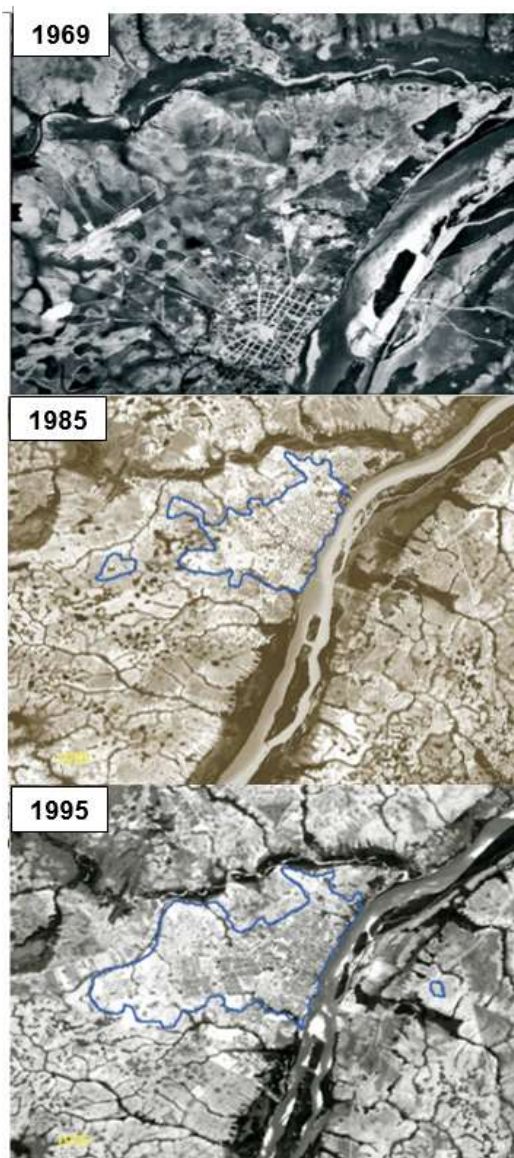
“(...) a crise migratória que se instaurou na Venezuela, originou-se dos diversos problemas políticos e sociais que iniciaram no governo de Hugo Chávez e que não foram sanados no governo de Nicolás Maduro Moros. Dessa forma, a crise se caracteriza como política e social no período de 2010, em virtude da crise do petróleo e aumento da inflação, e econômica e humanitária no período de 2016/2017, pelos altos índices inflacionários e pela precariedade dos serviços essenciais que afetaram os aspectos econômicos, políticos e sociais no País.”

Esse processo migratório venezuelano tem sido um fator de muita relevância para a expansão do município, pois tem influenciado de forma significativa no aumento da população na capital. Segundo o IBGE, a população de Boa Vista saltou de 284.313 pessoas de acordo

com o último censo (IBGE, 2010a) para uma população estimada de 436.591 pessoas em 2021 (IBGE, 2021). Uma das principais razões para muitos desses venezuelanos optarem por permanecer em Roraima, em vez de buscar outras regiões, como citado por Wendling, Nascimento e Senhoras (2021), é o fato de sentirem-se mais próximos de casa e terem uma locomoção mais fácil até sua cidade de origem do que se estivessem em outros lugares.

Nascimento e Araújo Júnior (2017) relatam que, com esse crescimento populacional, houve uma expansão principalmente na zona oeste da cidade, uma área rica em corpos hídricos que começaram a desaparecer devido à drenagem, canalização de canais e principalmente aterros. A figura 13 mostra algumas fases da expansão do município.

Figura 13 - Fases da expansão de Boa Vista - RR



Fonte: Acervo pessoal Jaime de Agostinho, 2023

Outro fator importante para essa expansão, citado por Silva (2009), foi o grande movimento de garimpeiros ocorrido entre 1987 e 1990, período denominado como "corrida do ouro", que desencadeou um crescimento desordenado, principalmente em direção à zona oeste da cidade. O autor complementa que, com a proibição do garimpo no governo Collor, a economia local estagnou-se e muitos garimpeiros foram para a periferia de Boa Vista, criando assim um bolsão de pobreza.

Araújo Júnior e Tavares Júnior (2017) reconhecem que, mesmo estando amparado pelo plano diretor de 1991, os desdobramentos do crescimento urbano de Boa Vista aconteceram de forma desordenada. Além disso, os autores afirmam que o processo de crescimento da cidade de Boa Vista foi estimulado pela prefeitura em direção à zona oeste, que é a zona com a maior quantidade de bairros do município e também apresenta uma grande concentração de áreas de APPs. Neste sentido, Araújo Júnior (2016) reitera que essa expansão urbana:

“(...) deve-se ao agente produtor do espaço Estado, o qual viabilizou a ocupação de áreas impróprias (como determinado pelo Código Florestal por exemplo), como grandes planícies de inundação e áreas de nascentes, as quais foram aterradas em períodos de seca, mascarando potenciais problemáticas oriundas de cheias dos rios e altas pluviosidades.”

Quanto à expansão da zona oeste de Boa Vista, Araújo Junior (2016) afirma que ao se realizar investimentos na área, a mesma tornou-se mais atrativa para os novos moradores oriundos de migração, fator este que ajudou no maior adensamento da malha urbana nos anos seguintes.

2.3.2 Plano Diretor Estratégico e Participativo de Boa Vista

Santos (2020) cita o plano diretor como o principal instrumento de planejamento da política de desenvolvimento e expansão urbana, além de ser parte integrante do processo de planejamento municipal.

Braga (2001) define o Plano Diretor como um instrumento eminentemente político, cujo objetivo principal deve ser dar transparência e democratizar a política urbana, sendo, antes de tudo, um instrumento de gestão democrática da cidade. Ele ressalta a importância de dois aspectos do plano: transparência e participação democrática. O autor enfatiza que a transparência é um atributo fundamental em qualquer política pública. Nesse sentido, o principal objetivo de um plano diretor é tornar públicas as diretrizes e prioridades do crescimento da cidade, ou seja, promover transparência nas políticas urbanas para os agentes sociais.

O Plano Diretor, como ferramenta de planejamento e gestão ambiental, é utilizado para ordenar os usos do espaço, a fim de minimizar os impactos existentes e evitar a implantação de ações prejudiciais, tendo como base um discurso sustentável, no qual a sociedade conviva de forma menos agressiva com a natureza (Araújo Júnior e Tavares Júnior, 2018).

Quanto à democratização, Dorneles (2010) afirma que a participação dos cidadãos locais é indispensável para a elaboração dos Planos Diretores e, conseqüentemente, do instrumento de zoneamento, uma vez que a ordenação do espaço está diretamente relacionada às pessoas que vivem naquele lugar.

Neste sentido, Braga (2001) comenta que somente o plano diretor garante a transparência necessária das regras do jogo, sendo, portanto, de caráter fundamental, e sua participação da sociedade no processo é garantida pela Constituição Federal (no Artigo 29) e pelo Estatuto da Cidade. A participação ativa das entidades representativas da sociedade na elaboração do plano diretor é o que garante sua legitimidade e proporciona condições para sua efetiva implementação.

Para Santos (2020), o plano diretor é a ferramenta adequada para conciliar o crescimento econômico com a equidade social e a conservação ambiental. Segundo o autor, os municípios têm uma grande responsabilidade na proteção dos recursos hídricos, pois por meio de sistemas de planejamento integrado é possível realizar uma gestão sustentável da água que permita seu uso a longo prazo.

A capital do estado de Roraima, Boa Vista, adotou um Plano Diretor Estratégico e Participativo - PDEPBV, por meio da lei complementar nº 924 de 28 de novembro de 2006, em substituição ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Boa Vista (PDDU) de 2001, conforme regulamentação do Estatuto da Cidade, lei federal 10.257 de 10 de julho de 2001, que governa a política urbana nacional por meio dos artigos 182 e 183 da Constituição Federal (2012). Nascimento e Araújo Júnior (2017) relatam que esse plano estabeleceu as normas para promover o desenvolvimento urbano, além de definir fisicamente o município de Boa Vista, abrangendo o zoneamento, uso e ocupação do solo, sistema viário e parcelamento do solo, por meio da ordenação das funções sociais da cidade, entre outros aspectos.

No entanto, ainda sobre o PDEPBV de 2006, Staevie (2011, p. 71) argumenta que, embora tenha sido aprovado, foi considerado ineficiente e incompleto em vários aspectos, de acordo com o documento intitulado "Diagnóstico do Plano Diretor de Boa Vista - RR", elaborado em 2007 pela Rede de Avaliação e Capacitação para Implementação dos Planos Diretores Participativos. Segundo os avaliadores, o plano não representou um planejamento efetivo de longo prazo para o município, uma vez que a política habitacional foi considerada

um ponto fraco, não abordando adequadamente questões relacionadas ao aumento da migração e ao intenso processo de urbanização.

Portanto, atualmente, Boa Vista encontra-se com seu plano diretor desatualizado, o que vai de encontro ao prazo máximo exigido por lei para a revisão, que é de 10 anos, conforme descrito no Estatuto da Cidade, Lei Nacional nº 10.257/2001, no § 3º do artigo 30. No entanto, é importante destacar que, no início de 2023, os trabalhos de atualização do plano foram iniciados.

Embora o PDEPBV de 2006 preveja diretrizes para lidar com os cursos d'água urbanos, incluindo elementos para áreas de preservação permanente em termos de ocupação das margens de rios e lagos, ele reconhece apenas seis bacias em sua área urbana consolidada. Neste sentido, Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018) acreditam que a falta de consideração imediata de todas as bacias hidrográficas, em termos ambientais, é prejudicial e ameaça a sustentabilidade da cidade.

As áreas urbanas consolidadas podem ser definidas como as áreas de preservação permanente (APP) às margens desses córregos, rios, lagoas e similares, onde já houve intervenção humana, como construções, terraplanagem, plantações e outras formas de ocupação (Vieira, 2019). Nesse sentido, a Lei 14.285/21 (Brasil, 2021) trouxe alterações no Código Florestal em relação à definição dessas "áreas urbanas consolidadas" e suas características de distanciamento dos cursos d'água.

No entanto, essas áreas precisam ter densidade demográfica superior a 50 habitantes por hectare e contar com, no mínimo, 2 dos seguintes equipamentos de infraestrutura urbana implantados: drenagem de águas pluviais urbanas, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, distribuição de energia elétrica ou limpeza urbana, coleta e manejo de resíduos sólidos (Brasil, 1979).

2.3.3 Macrozoneamento e uso do solo urbano

O macrozoneamento urbano é um instrumento de fundamental importância dentro dos planos diretores das cidades, uma vez que sua implantação garante um controle por parte dos gestores municipais no que diz respeito às atividades econômicas, sociais, turísticas, de lazer, enfim, no desenvolvimento das regiões e na redução das desigualdades sociais e econômicas. Cassilha e Cassilha (2009) definem o macrozoneamento como a forma de atribuir funções específicas à cidade, ou seja, diferenciar suas atividades em habitação, comércio, indústria e atividades relacionadas ao lazer. As autoras também relatam que, para conceber o

macrozoneamento, é necessário levar em consideração as funções da cidade, que são habitar, recrear, trabalhar, circular e lazer.

Assim como outros instrumentos do Plano Diretor, o macrozoneamento atua como um orientador para as ações do Poder Público relacionadas ao desenvolvimento urbano e rural, estabelecendo um referencial espacial para o uso e a ocupação do solo na cidade, em concordância com as estratégias de política urbana. Nesse sentido, Batistela (2007) menciona que o macrozoneamento é concebido como uma ferramenta de planejamento, sendo um conjunto de normas que regulam o uso do solo por meio da divisão em distritos ou zonas, onde algumas atividades são permitidas e outras proibidas.

Cassilha e Cassilha (2009) comentam que o macrozoneamento municipal embasa a implementação da próxima etapa, o zoneamento urbano, onde cada zona dará origem a usos e ocupações definidos, subsidiando a ocupação ordenada do município e da cidade. Os autores consideram ainda que o zoneamento urbano, ou planejamento do uso do solo, tem como função garantir a organização territorial, organizando a localização das atividades urbanas, além de visar a redução de impactos e a melhoria das relações de vizinhança econômica e socialmente.

O zoneamento surge com a proposta de divisão do território que possa delimitar a expansão urbana e a distribuição espacial da população, de forma a garantir o desenvolvimento econômico, social e o equilíbrio ambiental. O proprietário poderá utilizar sua terra da maneira que lhe convém, desde que respeite os interesses coletivos, como a função social e a conservação do meio ambiente. Dorneles (2010) relata que o zoneamento surgiu com o fim específico de delimitar geograficamente áreas territoriais, ocasionada pelo crescimento das cidades, cujo objetivo é estabelecer regimes especiais de uso, gozo e fruição da propriedade.

Para Batistela (2007), o zoneamento pode ser considerado um controle estatal capaz de ordenar o interesse privado e a evolução econômica com os interesses e direitos ambientais e sociais. Ao delimitar o direito de propriedade, que se restringe diretamente ao seu uso, gozo e fruição, essa restrição no uso tem por objetivo garantir a adequada e sustentável utilização do território em longo prazo, de forma que a ordenação do espaço urbano seja compatível com a preservação do meio ambiente, permitindo um planejamento racional e sustentável dos espaços urbanos (DORNELES, 2010).

Ainda segundo Dorneles (2010), o zoneamento pode ser definido de acordo com a destinação que a área em específico irá receber, ou seja, a limitação do território poderá ser urbana, industrial, ambiental, comercial, turística, conforme a necessidade de cada localidade em específico. Com o crescimento das cidades e o desenvolvimento das mesmas, o zoneamento urbano tornou-se mais complexo e criou alguns instrumentos de intervenção urbanística. Nesse

sentido, são definidas "zonas de uso" que definem de forma específica as zonas para receber residências, indústrias e comércio, como forma de equilibrar a cidade, mas, sobretudo, obedecendo às características de cada lugar, às necessidades dos habitantes e aos potenciais de cada cidade, a fim de definir áreas específicas para cada destinação.

A respeito da complexidade da questão do uso do solo, Junior e Coelho (2005) comentam que o planejamento, principalmente empreendido por meio de Planos Diretores e do zoneamento do uso e ocupação do solo, estabelece uma cidade virtual que não se articula com as condições reais de vida das pessoas, pois ignora que a maior parcela das populações urbanas tem baixa renda e nenhuma capacidade de investimento no espaço construído. Desta forma, apesar das leis existentes, a população de baixa renda acaba invadindo os terrenos não edificáveis e ali permanece. Neste sentido, a questão da ocupação do solo nas margens de rios, que em muitas bacias urbanas contribui no incremento das inundações, passa por uma vertente que não é apenas legal ou institucional, mas social e política, em que os fatores sociais agravam os problemas das inundações (MATTEDI, 2009).

O macrozoneamento urbano definido no PDEPBV divide o seu território em Área Urbana e Área Rural, delimitando apenas grandes áreas e suas funções, e remetendo à lei de uso e ocupação do solo, no art. 29 (BOA VISTA, 2006 c), a função de dispor sobre a subdivisão da Área Urbana em zonas e sobre os parâmetros urbanísticos que incidirão sobre as mesmas.

Dentro do contexto de urbanização, o parcelamento do solo pode ser considerado atualmente um dos itens mais relevantes quanto ao ordenamento de uma cidade, em especial quanto à organização espacial das novas áreas urbanas. O instrumento que dispõe sobre o parcelamento de solo urbano de Boa Vista é a lei nº 925 de 28 de novembro de 2006 (BOA VISTA, 2006 b). O artigo 1º, em seu parágrafo único, reza que o parcelamento do solo deverá obedecer às normas previstas nas legislações municipais, em especial no Plano Diretor Estratégico e Participativo (Lei nº 924/10, de 28 de novembro de 2006) e na Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº 926/10, de 29 de novembro de 2006).

Conforme o artigo 4º da Lei Municipal 926 de 20/11/2006 (BOA VISTA, 2006 c), que trata do zoneamento da área urbana de Boa Vista, para fins de aplicação das normas de uso e ocupação do solo, encontra-se subdividido em Área Urbana Parcelada (AUP) e Área Urbana de Expansão (AUE).

A AUP encontra-se dividida em zonas, visando orientar o desenvolvimento urbano, e se apresenta em diferentes graus de consolidação e qualificação, estando subdividida em: Zona Central (ZC), Zonas Residenciais (ZR's), Eixos Comerciais e de Serviços (ECS's), Zona Industrial (ZI) e Zonas Institucionais (ZIL's).

Segundo consta na Lei Municipal 926 de 20/11/2006 (BOA VISTA, 2006 c), no Art. 5º § 1º, o objetivo da Zona Central (ZC) é o de:

“...reforçar a permanência de usos comerciais e institucionais que atribuem características de centralidade à área e preservar o traçado do Plano de Boa Vista, assegurando a ambiência da área com a manutenção do parcelamento do solo e volumetria proposta.”

Conforme a referida lei, em seu Art. 5º § 2º as Zonas Residenciais (ZR's) buscam:

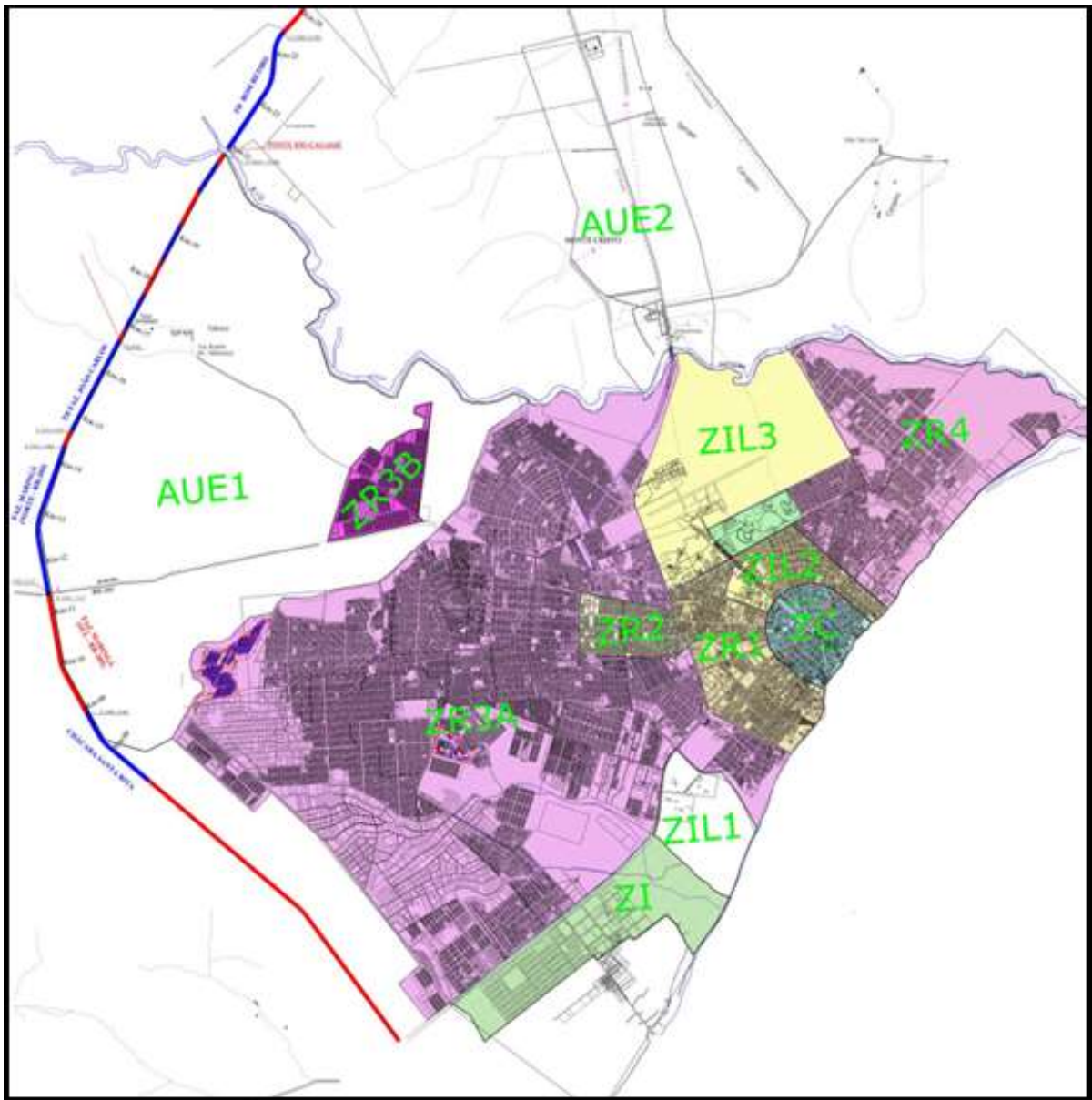
“...compatibilizar usos e atividades, incentivar a ocupação de lotes vazios nas áreas dotadas de infra-estrutura e definir parâmetros de ocupação que considerem as condições físico-ambientais.”

Ainda segundo a mesma lei, o § 3º do artigo citado acima fala sobre os Eixos Comerciais e de Serviços (ECS), os quais visam o incentivo de usos e atividades comerciais e de serviços. Já no § 4º consta a Zona Industrial (ZI), que objetiva a manutenção do uso, desde que restrito, das atividades industriais. E, por fim, no § 5º estão as Áreas Institucionais, as quais são reservadas para implantação de equipamentos comunitários de educação, cultura, saúde, lazer e similares.

A AUE, conforme o art. 4º da Lei Municipal 926 de 29/11/2006 (BOA VISTA, 2006 c), encontra-se subdividida em duas áreas descontínuas, definidas como AUE 1, destinada à implantação de novos loteamentos e cemitérios, e AUE 2, que é voltada para a implantação de equipamentos como garagens, galpões e indústrias.

Dentre as várias alterações já efetuadas na Lei 926 (BOA VISTA, 2006 c), temos, dentre as mais significativas, a Lei ordinária nº 1.232 de 31 de março de 2010, que veio alterar alguns dos seus dispositivos. A figura 14 demonstra o atual mapa de zoneamento do município.

Figura 14 - Mapa de zoneamento de Boa Vista



Fonte: Boa Vista (2006c)

Recentemente, a Lei ordinária nº 1959, de 08 de março de 2019, trouxe atualizações para alguns dos parâmetros urbanísticos presentes no anexo II da Lei 926 (BOA VISTA, 2006 c), conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - Alteração dos parâmetros do anexo II da Lei 926/2006

		ANEXO II PARÂMETROS URBANÍSTICOS									
ZONA	Tamanho Mínimo do Lote (m ²)	Testada mínima (m)	Coeficiente de aproveitamento do Terreno - CAT	Número Máximo de Pavimentos	Taxa de Ocupação Máxima do Terreno (%)	Afastamentos da Edificação (m)			Taxa de Permeabilidade de Mínima do Terreno (%)	Usos Compatíveis (classificação por nível)	
						Fr.	Lat	Fu.			
ZC	Setor 1	600	18	4	15	80	-	-	-	20	1,2,3,4
	Setor 2	450	15	2	15	80	-	1,5	1,5	20	1,2,3,4
	ZR1	450	15	4	30	70	2,0	1,5	1,5	30	1,2,3
	ZR2	450	15	4	30	70	3,0	1,5	1,5	30	1,2,3
	ZR3	180	9	4	30	70	3,0	1,5	1,5	30	1,2,3
	ZR4	250	10	4	30	70	3,0	1,5	1,5	30	1,2,3
	ZI	1.000	20	2	18	80	5,0	5,0	5,0	20	2,3,4,5
	SEH	600	18	1,5	15	80	-	-	-	20	1,2,3
	ECS	Variável de acordo com a zona em que estiver localizada	Variável de acordo com a zona em que estiver localizada	Variável de acordo com a zona em que estiver localizada	Variável de acordo com a zona em que estiver localizada	Variável de acordo com a zona em que estiver localizada	Variável de acordo com a zona em que estiver localizada			Variável de acordo com a zona em que estiver localizada	1,2,3,4

Fonte: Adaptado de Boa Vista (2006c)

Ainda sobre os parâmetros urbanísticos, é importante salientar que, visando regularizar as obras urbanas construídas em desacordo com a lei, a Prefeitura Municipal de Boa Vista (PMBV) realizou uma publicação no diário oficial no ano de 2021, acrescentando uma alteração nos afastamentos laterais à lei municipal nº 926. Essa alteração permite a redução desses afastamentos para até 1 metro, conforme consta no artigo 16-A (BOA VISTA, 2021b). Esse dado é relevante, pois em alguns casos pode afetar a taxa de permeabilidade do solo, um fator importante para lidar com a infiltração das águas no solo.

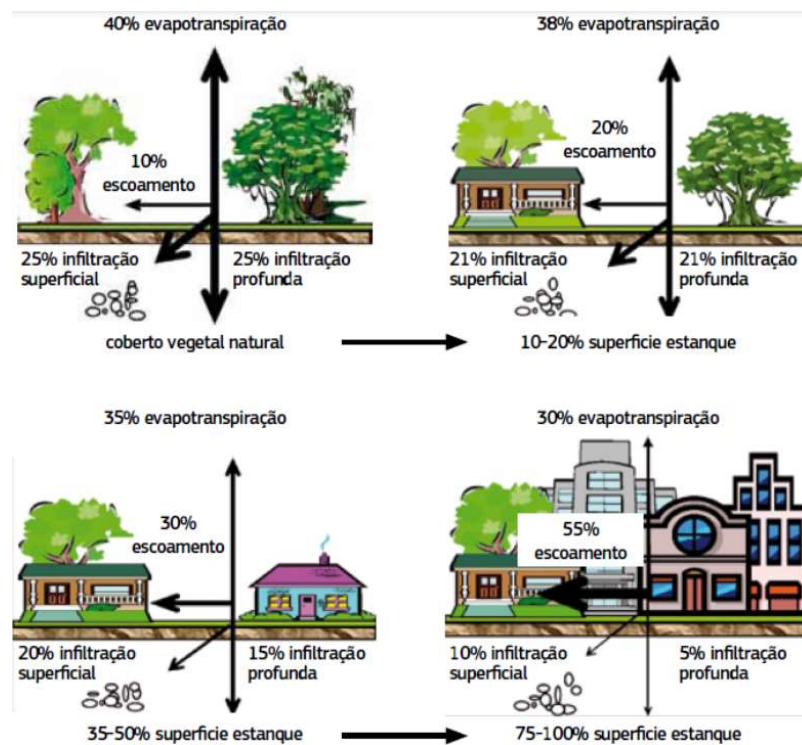
A impermeabilização dos solos é uma variável de extrema importância a ser estudada no meio urbano. Segundo Tucci (2009), ela é uma das principais causas de inundações e deslizamentos em áreas urbanas, pois reduz as áreas verdes, diminui a capacidade de infiltração da água no solo e aumenta a capacidade de escoamento devido à presença de superfícies que facilitam o rápido movimento da água.

A urbanização causa modificações no equilíbrio hídrico de uma área urbana, especialmente no escoamento superficial e na infiltração. Como resultado do adensamento urbano rápido e desordenado, o terreno natural sofre transformações que afetam o ciclo hidrológico, resultando na degradação dos recursos naturais. Um dos fatores desse impacto é a substituição das áreas permeáveis do solo por materiais impermeabilizantes.

A remoção da cobertura vegetal reduz a evapotranspiração, elimina a proteção do solo contra a erosão e compactação, diminui a capacidade de infiltração do terreno e elimina a interceptação vegetal. Por outro lado, a impermeabilização das superfícies reduz a infiltração, acelera o escoamento e aumenta o pico de vazão da chuva (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Quanto maior for a presença de cobertura vegetal na superfície do solo, maior será a infiltração, pois o sistema radicular das plantas cria espaços vazios no solo que favorecem o processo de infiltração. Esse processo é ilustrado na figura 15, que demonstra as alterações no balanço hídrico de uma área urbana.

Figura 15 - Alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização



Fonte: Bezerra (2016)

É importante ressaltar que, quando ocorre precipitação em uma determinada área, parte da água é retida pela vegetação (entre outros obstáculos), onde posteriormente evapora

(evapotranspiração). O restante atinge a superfície do solo. Dessa água que atinge o solo, uma parte é retida em depressões do terreno, outra parte infiltra e o restante escoar pela superfície. O escoamento superficial ocorre quando a intensidade da precipitação excede a capacidade de infiltração do solo, resultando em alagamentos e enchentes. A permeabilidade do solo tem um impacto direto na capacidade de infiltração. Quanto mais permeável o solo, mais rápido ele pode absorver a água, resultando em uma maior quantidade de água que penetra pela superfície do solo em um determinado período de tempo, o que reduz o escoamento (TUCCI, 2002).

Durante a construção de uma cidade, o sistema de drenagem natural passa por alterações significativas. É fundamental substituir esse sistema por um sistema artificial que seja capaz de lidar com o escoamento da água da chuva que não consegue ser absorvida pelo solo. A implementação de áreas permeáveis tem se mostrado uma solução eficiente para reduzir os riscos e os danos causados por alagamentos em áreas urbanas, além de evitar os transtornos ocasionados pelas grandes obras de drenagem. De acordo com Tucci (2005), a nova era da drenagem urbana busca recuperar a capacidade de infiltração da água no solo.

Todo novo loteamento, na maioria das prefeituras, precisa ter infraestrutura adequada, incluindo sistemas de drenagem. Essa infraestrutura deve ser implementada juntamente com o parcelamento do solo. No entanto, essa exigência não era feita anteriormente, resultando em um passivo acumulado ao longo de décadas de expansão da cidade.

Conforme Paraná (2002), as medidas de controle na origem do escoamento pluvial devem oferecer soluções que promovam a redução e retenção da água, a fim de otimizar o uso dos sistemas tradicionais de escoamento pluvial ou até mesmo evitar a ampliação desses sistemas, que muitas vezes são inviáveis e têm vida útil limitada.

2.3.4 Espaços urbanos e áreas verdes

A temática que trata das áreas verdes nos espaços urbanos vem sendo cada vez mais discutida, uma vez que essas áreas amenizam os impactos provocados pelas cidades, sendo de total relevância para a dinâmica do sistema urbano.

A primeira questão a ser definida é o conceito do termo "área verde", uma vez que ainda existem controvérsias relacionadas a esse tema. Nesse sentido, devido à falta de concordância conceitual que gera uma série de conflitos sobre o processo de avaliação da vegetação nos municípios, esta pesquisa adotou a definição presente em Silva, Santos e Oliveira (2016), que é: "uma categoria de espaço livre urbano, composto por vegetação arbórea e

arbustiva, onde pelo menos 70% da área seja permeável, de acesso público ou não, e que cumpra funções ecológicas, estéticas e de lazer".

Consideram-se áreas verdes os locais que possuem vegetação, incluindo praças, parques urbanos, canteiros centrais e trechos de vias públicas, que têm funções estéticas e ecológicas (CAPORUSSO; MATIAS, 2008). Quanto às árvores, elas contribuem para melhorar as condições de conforto, reduzindo a temperatura devido às suas altas taxas de transpiração. Dessa forma, elas desempenham um papel importante na redução da insolação direta (MILANO; DALCIN, 2000). Portanto, as áreas verdes são elementos importantes para uma gestão ambiental mais funcional e abrangente nas cidades.

Dentre os motivos para arborizar as cidades, Milano e Dalcin (2000) apontam os seguintes benefícios: estabilização e melhoria do microclima, ação das árvores na redução da poluição atmosférica e sonora, melhoria estética das cidades, impacto positivo na saúde humana e benefícios sociais, econômicos e políticos. Áreas arborizadas também proporcionam bem-estar psicológico, efeitos estéticos agradáveis, sombra para pedestres e veículos, direcionamento do vento, redução do ruído, mitigação do escoamento superficial da água da chuva, redução da temperatura por meio da absorção dos raios solares, resfriamento do ambiente devido à transpiração das árvores, melhoria da qualidade do ar por meio das folhas e preservação da fauna silvestre (NETO et al., 2007).

O vento também afeta o conforto humano, podendo ter efeitos positivos ou negativos, dependendo da presença ou ausência de vegetação urbana. No verão, a ação do vento, ao remover as moléculas de água transpiradas por humanos e árvores, aumenta a evaporação e, conseqüentemente, a sensação de conforto térmico (MILANO; DALCIN, 2000). Os autores também destacam que uma única árvore não interfere significativamente no clima de sua vizinhança, no entanto, grupos de árvores ou muitas árvores espalhadas podem ser muito eficientes na melhoria do microclima.

No âmbito urbanístico, ao buscar um valor ideal para melhorar a qualidade de vida da população, Cavalheiro e Del Piccha (1992) mencionam que dados da ONU, da Organização de Alimentação e Agricultura (FAO) e da Organização Mundial da Saúde (OMS) recomendam que cada cidade tenha pelo menos 12m² de cobertura vegetal por habitante (ICV), devido à sua importância na regulação climática e na purificação do ar. Quanto ao IAV, temos como referência os dados da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU), que recomendou um índice mínimo de 15 m² de área verde pública por habitante (SBAU, 1996).

Segundo Arruda et al. (2013), o estudo da qualidade ambiental e da qualidade de vida dos habitantes de um local é considerado um importante instrumento para a análise das

condições socioambientais daquela população, pois elementos como a vegetação para muitos pesquisadores, são considerados como importantes indicadores para qualidade de vida e saúde da população, sendo que a técnica mais utilizada para quantificação e avaliação da vegetação urbana tem sido a elaboração de índices.

2.3.5 Legislações ambientais

As áreas de APPs foram criadas com o objetivo de proteger o ecossistema, portanto, não é apropriado alterar seu uso e devem manter sua cobertura original. Devido ao seu papel ambiental, essas áreas possuem proteção legal e são amparadas atualmente pela Constituição Federal (BRASIL, 1988), Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), entre outras normas. No entanto, a faixa marginal dos cursos d'água na maioria dos municípios brasileiros sofre com diversas ocupações e práticas irregulares devido à falta de organização espacial do território e à ineficiência das políticas públicas.

Conforme a Lei Federal nº 12.651/12 (Brasil, 2012), conhecida como Código Florestal Brasileiro, as APPs são áreas protegidas, tanto em zonas urbanas quanto rurais, podendo ser cobertas ou não por vegetação nativa. Elas desempenham a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e garantir o bem-estar das populações humanas (NASCIMENTO; ARAÚJO JÚNIOR, 2017).

As APPs são faixas de terra que devem permanecer preservadas, com matas ciliares, como forma de proteção aos corpos hídricos, não podendo ser ocupadas ou ter qualquer atividade em seu interior. No entanto, a falta de ocupação nessas áreas resulta na ocupação irregular por pessoas que não têm condições de adquirir um lote ou uma casa em uma área regular. Essa ocupação clandestina começa e um dos fatores que contribuem é a vegetação que atrai os ocupantes (CHRISTOFIDIS, 2010).

Nesta lei, encontra-se a definição dos termos "nascente" e "olho d'água". O primeiro é um afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d'água, enquanto o segundo é um afloramento natural do lençol freático, ainda que intermitente (NASCIMENTO; ARAÚJO JÚNIOR, 2017).

No entanto, em dezembro de 2021, foi sancionada a Lei nº 14.285/21 (BRASIL, 2021), que altera o Código Florestal. Além disso, essa lei também promove alterações nas leis nº 11.952, de 25 de junho de 2009, que trata da regularização fundiária em terras da União, e na

lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Essas modificações visam abordar as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. Uma das principais mudanças é transferir para os municípios a competência de definir as áreas de preservação nas margens dos rios e permitir a regularização de edifícios às margens de cursos e corpos d'água em áreas urbanas.

O município de Boa Vista adota as definições de APPs descritas pelo Código Florestal. Portanto, de acordo com Nascimento e Araújo Júnior (2017), as delimitações presentes no artigo 4º do novo Código Florestal determinam que as áreas no entorno de lagos e lagoas naturais devem possuir uma APP em faixa com largura mínima de 30 metros, em zonas urbanas. Já as áreas no entorno de nascentes e olhos d'água perenes, em qualquer situação topográfica, devem possuir uma APP com raio de, no mínimo, 50 metros. Ou seja, uma nascente é uma área de preservação permanente, independentemente de ser perene ou não. No Quadro 2, estão detalhadas as classes e dimensões das APPs.

Quadro 2 - Classes e dimensões das APP's de acordo com Brasil (2012)

LARGURA DA MARGEM DO RIO	FAIXA DE PROTEÇÃO (APP)
Até 10 metros	30 metros
Entre 10 e 50 metros	50 metros
Nascentes de qualquer dimensão	50 metros
Entre 50 e 200 metros	100 metros
Entre 200 e 600 metros	200 metros
Lagos e lagoas naturais	100 metros em zonas rurais e 30 metros em zonas urbanas
Zona urbana	30 metros

Fonte: Artigo 4 da Lei 12.651/2012, adaptado pela autora.

Quanto à vulnerabilidade ambiental das APPs, Oliveira e Carvalho (2014) apontam que ela é decorrente do uso da terra e da alteração de sua cobertura, o que fragiliza o ambiente e o torna mais suscetível a determinados processos naturais, especialmente os relacionados a alagamentos causados por chuvas, que são agravados pela ocupação indiscriminada. No entanto, observa-se um incentivo à ocupação dessas áreas no município. Essa afirmação pode ser justificada pela recente aprovação da Lei Municipal nº 2.187, de 5 de novembro de 2021 (BOA VISTA, 2021a), que isenta os imóveis localizados em Áreas de Preservação Permanente (APPs) dentro do perímetro urbano do Município do pagamento do IPTU (Imposto Predial e Territorial Urbano).

2.3.6 Saneamento Básico

O saneamento básico, que é um direito assegurado pela Constituição Federal do Brasil, é considerado um conjunto de medidas que visam preservar ou modificar as condições do meio ambiente, com a finalidade de prevenir doenças, promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população, aumentar a produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica. Segundo Brasil (2023), o saneamento básico é composto por um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais, divididos conforme demonstrado na figura 16.

Figura 16 - Saneamento básico no Brasil

<p>Abastecimento de água potável</p> <p>Constituído pelas atividades desde a captação até as ligações prediais e os seus instrumentos de medição.</p>	<p>Esgotamento sanitário</p> <p>Constituído pelas atividades de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até a sua destinação final para produção de água de reuso ou o seu lançamento de forma adequada no meio ambiente.</p>	<p>Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos</p> <p>Constituídos pelas atividades de coleta, varrição manual e mecanizada, asseio e conservação urbana, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequados dos resíduos sólidos domiciliares e dos resíduos de limpeza urbana.</p>	<p>Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas</p> <p>Constituídos pelas atividades de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Brasil (2023)

Com o advento da Política Nacional de Saneamento Básico, instituída pela Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007 (BRASIL, 2007), foi atualizado o conceito de saneamento básico. Ele deixou de considerar somente os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, incorporando também a limpeza urbana, o manejo de resíduos sólidos e o manejo das águas pluviais, passando a ter um gerenciamento integrado.

No entanto, em 15 de julho de 2020, o Governo Federal sancionou a Lei nº 14.026 (Brasil, 2020), conhecida como o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico Nacional. Essa lei estabelece mudanças, atualizações e define novas atribuições para aprimorar as condições estruturais do saneamento no país, alterando o que havia sido proposto nos parâmetros do saneamento da Lei 11.445 de 2007 (BRASIL, 2007).

Essas mudanças geraram alterações significativas em outros sete dispositivos legais relacionados ao saneamento. A lei delegou à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a competência de editar normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, que abrangem padrões de qualidade, regulação tarifária, redução da perda de água e reuso dos efluentes sanitários tratados. Segundo Brasil (2023), o principal objetivo a

ser alcançado com o Marco Legal do Saneamento é a universalização dos serviços de saneamento básico.

Oliveira (2021) comenta que um dos impactos mais visíveis que a falta de saneamento básico pode causar ao meio ambiente é a degradação ambiental. O contínuo crescimento da poluição urbana, juntamente com a falta de destinação adequada dos resíduos, continua trazendo uma série de prejuízos para as cidades e para a natureza.

Quanto ao manejo de águas pluviais, Ribeiro, Tamayosi e Pena (2021) relatam que no Artigo 3-D do Novo Marco foram citadas duas atividades importantes. Uma delas é o amortecimento de vazões de cheia, por meio da prática de retenção ou detenção de águas pluviais urbanas. A outra atividade mencionada pelos autores é o tratamento e a disposição final de águas pluviais urbanas, que, segundo eles, ainda não é amplamente praticado no Brasil.

Oliveira (2021) relata que o acesso precário ao esgotamento sanitário é um dos problemas ambientais mais graves nas cidades brasileiras. Isso afeta negativamente as condições de vida da população, tornando-as mais vulneráveis às doenças transmitidas pela água contaminada.

Aragão (2017) comenta que o Brasil enfrenta muitos desafios nessa área de saneamento, pois a equidade e a igualdade são distintas e praticamente inexistentes para o povo. Somos um país marcado por muitas diferenças, além da falta de comprometimento dos governantes, da pouca estrutura urbana e do crescimento desordenado. Em outras palavras, em nosso país, a riqueza está concentrada nas mãos de poucos, e a classe menos privilegiada é obrigada a pagar por serviços que, em muitos casos, sequer recebem.

Conforme relata Oliveira (2021), a antiga arte de captar água da chuva pode se tornar um negócio lucrativo. Pesquisas recentes comprovaram que a coleta de água da chuva por meio de parcerias público-privadas pode suprir de 17% a 29% da demanda por água não potável de uma cidade, reduzindo os gastos governamentais com abastecimento de água em até 85%. O autor também comenta que, ao implementar essas medidas, seria possível economizar muito dinheiro, além de aliviar o estresse nos sistemas de esgoto sobrecarregados devido ao grande volume de água. Além disso, destaca a importância da educação ambiental tanto para a população quanto para as empresas, buscando conscientização e mudança nas relações com a água e o meio ambiente, o que é uma demanda urgente. Segundo o autor, pessoas educadas tendem a evitar o desperdício de água e a poluição da natureza.

Estamos enfrentando décadas de baixos investimentos em saneamento básico, o que impede o progresso do país. O Brasil ainda enfrenta muitos problemas relacionados ao esgotamento sanitário e ao abastecimento de água, e, na última década, a discussão sobre

drenagem urbana começou a surgir. Ribeiro, Tamayosi e Pena (2021) observam um baixo nível de investimentos na área de saneamento, especialmente em relação à drenagem urbana. Segundo os autores, em comparação com o abastecimento de água e o esgotamento sanitário, o manejo das águas pluviais recebe pouca atenção entre os outros serviços que compõem a estrutura do setor. A tabela 2 apresenta dados relacionados ao saneamento básico na região Norte.

Tabela 2 - Saneamento básico na região Norte

	Abastecimento de água	Esgotamento sanitário	Manejo de resíduos sólidos urbanos	Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas
	% Pop Total	% Pop Total	% Pop Total	% Domicílios em situação de risco de inundação
Acre	47,2	11,4	79,3	28,2
Amapá	33,7	6,9	93,0	0,4
Amazonas	82,3	13,8	84,9	3,4
Pará	47,5	7,7	77,8	3,7
Rondônia	47,4	6,7	75,4	1,1
Roraima	81,9	63,3	83,3	1,2
Tocantins	79,0	26,9	83,9	0,9

Fonte: Brasil (2023- SNIS 2020)

Segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento), obtidos no site da Agência Nacional de Águas e Saneamento (Brasil, 2023), é possível fazer um balanço geral do saneamento básico na região Norte do Brasil no ano de 2020. Observa-se que Roraima, em relação ao abastecimento de água, apresenta uma situação favorável, com um total de 81,9% de atendimento, ficando em segundo lugar, atrás apenas do Amazonas. Quanto ao esgotamento sanitário, Roraima obteve 63,3% e caiu para a quarta posição no ranking. Em relação ao manejo de resíduos, obteve 83,3%, também ficando em quarto lugar. No que diz respeito ao atendimento à drenagem e ao manejo de águas pluviais urbanas, Roraima apresenta um total de 1,2% de domicílios em situação de risco de inundação.

Dentre as problemáticas decorrentes da urbanização, podemos destacar o controle da poluição e a proteção dos recursos hídricos, pois os resíduos sólidos transportados pelas redes de drenagem urbana contribuem significativamente para a degradação dos corpos d'água.

O processo de urbanização é caracterizado pelo crescimento das cidades, o qual está intrinsecamente relacionado ao aumento da concentração de pessoas em uma determinada região. Essas pessoas demandam por serviços especializados e infraestruturas básicas, como

habitação, iluminação pública, abastecimento de água, esgotamento sanitário e escoamento de águas pluviais (MIGUEZ; VERÓL; REZENDE, 2016).

Com a criação da Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), foi estabelecido o conceito atualizado de saneamento básico, que deixou de considerar apenas os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, passando a incorporar também a limpeza urbana, o manejo de resíduos sólidos e o manejo das águas pluviais, que agora são gerenciados de forma integrada.

O processo de urbanização resulta em um aumento na geração de resíduos sólidos, os quais têm consequências ambientais devido à falta de adequados serviços de saneamento e à falta de conscientização da população em relação a essa questão. TUCCI (2002) relata que os resíduos são conduzidos até a rede de drenagem devido a diversos fatores, como a frequência e a cobertura da coleta de lixo, a regularidade na limpeza das ruas, a forma de disposição do lixo pela população e o volume de precipitação. Além disso, é importante destacar que o escoamento em áreas urbanas contribui significativamente para o transporte desses resíduos até os sistemas de drenagem, obstruindo as bocas de lobo e causando o entupimento das mesmas, o que impede o fluxo adequado da água.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), a NBR-10.004/2004 define resíduos sólidos como:

“resíduos nos estados sólidos e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamentos de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

Ainda segundo a mesma norma, os resíduos são classificados de acordo com sua periculosidade em Classe I (perigosos) ou Classe II (não perigosos). Conforme o Inea RJ (2021), os resíduos da Classe I apresentam risco à saúde pública e/ou ao meio ambiente devido à sua toxicidade e patogenicidade. A Classe II é subdividida em Classe II A - Não Inertes, que inclui resíduos com propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água; e Classe II B - Inertes, que se refere a resíduos que, quando submetidos a contato dinâmico e estático com água destilada, não têm nenhum de seus componentes solubilizados, conforme determinado pelo ensaio de solubilização, padronizado pela NBR 10.006/2004.

2.4 DRENAGEM CONVENCIONAL X DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Com relação ao planejamento da drenagem urbana, é importante para a comunidade que a área urbana seja planejada de forma integrada e coerente. A ideia de planejar uma bacia urbana em relação às inundações partiu da percepção de que existem muitos problemas a serem resolvidos. Essas ideias não são novas e vêm sendo praticadas em grande parte do mundo desenvolvido. Essa convicção se baseia principalmente em experiências estrangeiras e algumas nacionais, de que a forma mais racional, econômica e sustentável de equacionar essas questões é por meio de uma abordagem ampla e integrada no tempo e no espaço. A realização prática dessa abordagem são os Planos de Drenagem Urbana.

2.4.1 A função social e ambiental dos Planos Diretores de Drenagem Urbana

Segundo Tucci (1997) PDDrU deve ser um item presente no Plano Diretor de Planejamento Urbano de uma cidade. Neste sentido, um PDDrU deve buscar como bases:

”...(i) planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infra-estrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais; (ii) controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco e; (iii) convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.”

Para Porto Alegre (2005), o principal objetivo do PDDrU, também conhecido como Plano de Manejo de Águas Pluviais, é gerar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionados ao escoamento das águas pluviais, dos rios e arroios em áreas urbanas. O objetivo desse planejamento é evitar perdas econômicas e buscar melhores condições de saneamento e qualidade do meio ambiente da cidade, dentro dos princípios econômicos, sociais e ambientais definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental.

No Brasil, esses conceitos estão se impondo gradualmente, e já existem exemplos importantes de cidades que estão trabalhando nessa direção. Grandes cidades como São Paulo, Curitiba, Porto Alegre, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, Brasília e outras cidades de médio e pequeno porte possuem seus planos de drenagem urbana ou estão em processo de construção deles.

O principal objetivo de um plano de drenagem urbana e manejo de águas pluviais é criar mecanismos de gestão para a bacia hidrográfica, o zoneamento urbano e as estruturas de macro e microdrenagem. Essa gestão deve estar baseada em um planejamento prévio, que busca

evitar perdas econômicas e melhorar as condições de saneamento e qualidade do meio ambiente das cidades. Conforme Braga (2001), esse plano consiste em um instrumento definidor das diretrizes de planejamento e gestão territorial urbana, incluindo controle do uso, ocupação, parcelamento e expansão do solo urbano. Também é comum a inclusão de diretrizes sobre habitação, saneamento, sistema viário e transportes urbanos. Nesse sentido, o PDDrU também é considerado um instrumento de gestão ambiental urbana que trabalha em conjunto com o PDDU, considerando os interesses da sociedade e visando o planejamento da distribuição da água no tempo e no espaço, levando em conta a ocupação urbana. Seu objetivo é contribuir para o bem-estar social, a preservação ambiental e evitar prejuízos econômicos e ambientais.

2.4.2 Drenagem urbana e a drenagem convencional – tipos e implicações técnicas

O termo drenagem urbana, segundo Tucci et al. (2015), é um conjunto de medidas que tem como objetivo minimizar os riscos aos quais as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados pelas inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano harmônico, articulado e sustentável.

Na drenagem urbana, o impacto da urbanização é transferido para jusante, ou seja, quem produz o impacto geralmente não é o mesmo que sofre o impacto. Portanto, para disciplinar o problema, faz-se necessária a interferência da ação pública por meio da regulamentação e do planejamento (Porto Alegre, 2005).

A ampliação dos danos relacionados aos problemas de drenagem também se deve aos projetos concebidos e executados para resolvê-los. Ainda hoje, entre os projetistas, impera a ideia de que o melhor é conduzir a água gerada para longe o mais rápido possível, aumentando a capacidade condutora do sistema. No entanto, observa-se que essa abordagem, além de ser financeiramente dispendiosa, acaba transferindo o ponto de alagamento, exigindo futuramente mais projetos e obras ainda mais caros e complexos (Cruz, Souza, Tucci, 2007).

O mesmo ocorre nas áreas ribeirinhas. Segundo Porto Alegre (2005), a política de controle das inundações tem sido construir obras de proteção, que geralmente representam custos muito altos para toda a comunidade. Nesse caso, a política visa fornecer recursos para atender aos desabrigados, considerando que as áreas de risco geralmente são ocupadas por população de baixa renda. Dessa forma, é difícil realizar um processo preventivo de planejamento do espaço de risco. Como consequência, quando as obras de proteção contra inundações não são construídas, os prejuízos ocorrem nos anos mais chuvosos.

Baptista et al. (2005) afirmam a importância de verificar a viabilidade da obra de drenagem levando em consideração os seguintes aspectos: topografia do local, capacidade de infiltração do solo, nível das águas subterrâneas, aspectos urbanísticos e de infraestrutura, como disponibilidade de espaço, inclinação e forma dos telhados, redes existentes, além dos aspectos sanitários e ambientais.

Porto Alegre (2005) considera que os sistemas de drenagem são definidos como na fonte, microdrenagem e macrodrenagem. Para o autor, a drenagem na fonte é definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado (como lote), estacionamentos, área comercial, parques e passeios.

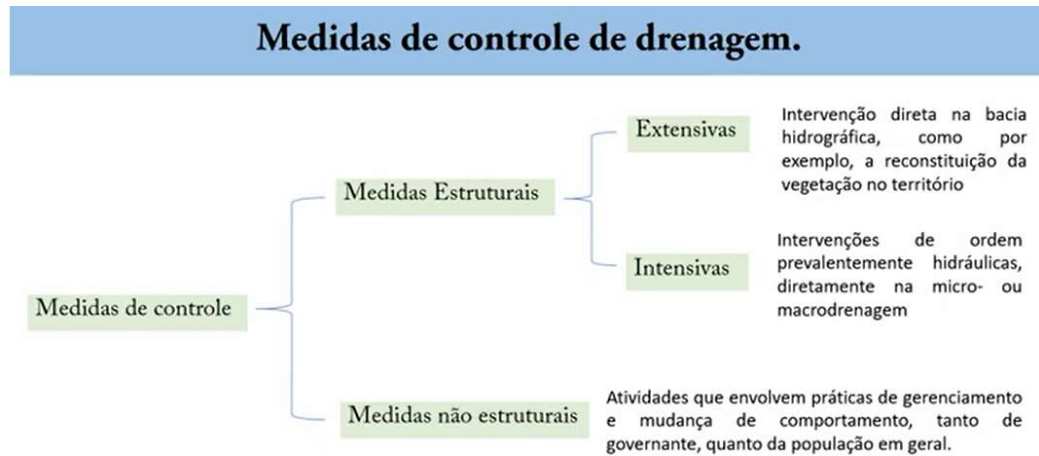
O sistema de drenagem inicial, ou de microdrenagem, ou ainda coletor de águas pluviais, é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais e também canais de pequenas dimensões. Esse sistema é dimensionado para o escoamento de águas pluviais cuja ocorrência tem um período de retorno de até 10 anos. Quando bem projetado, consegue praticamente eliminar os alagamentos na área urbana, evitando as interferências entre as enxurradas e o tráfego de pedestres e de veículos, além de danos às propriedades (São Paulo, 2012).

O sistema de macrodrenagem é constituído, em geral, por estruturas de maiores dimensões, projetado para cheias cujo período de retorno deve estar próximo de 100 anos. Ainda que este sistema não seja projetado, ele existe de forma natural, pois as cheias escoam pelas depressões topográficas e pelos cursos d'água naturais. Logo, a macrodrenagem é responsável pelo escoamento final das águas fluviais, podendo ser formada por canais naturais ou artificiais, sendo constituída pelos igarapés, córregos, riachos e rios. Quando este sistema é bem projetado, pode-se obter uma diminuição considerável do custo do sistema inicial, reduzindo-se, por exemplo, a extensão das tubulações enterradas. O bom funcionamento desse sistema é essencial para a segurança urbana e a saúde pública (São Paulo, 2012).

O autor também alerta que, quanto à canalização (rios, condutos e galerias para a drenagem secundária), o custo dessa solução chega a ser, em alguns casos, cerca de dez vezes maior que o custo de soluções que controlam na fonte a ampliação da vazão devido à urbanização (Porto Alegre, 2005).

Na busca por corrigir ou prevenir os danos causados pelas inundações, uma vez que a drenagem mais eficiente é aquela que drena o escoamento sem produzir impactos locais ou a jusante, são utilizadas um conjunto de medidas denominadas controle de inundações, sendo classificadas como estruturais e não estruturais. Elas são medidas de correção e/ou prevenção que visam minimizar ou mitigar os danos das inundações, conforme demonstrado na figura 17.

Figura 17 - Medidas de controle de drenagem



Fonte: Autora (2023)

Segundo Miguez, Veról e Rezende (2016), as medidas estruturais são interferências diretas nas calhas dos rios ou na paisagem urbana. Segundo Canholi (2005), elas são obras de engenharia que podem ser implantadas com o objetivo de corrigir ou prevenir problemas relacionados a enchentes. Para Tucci (2012), essas medidas dizem respeito a obras que visam evitar a ocorrência desses eventos, necessitando de um maior investimento e que normalmente não são economicamente viáveis, como obras de barragens, canalizações, criação de parques longitudinais inundáveis, diques, reservatórios em praças ou lotes, entre outras. Podem ser caracterizadas como medidas intensivas ou extensivas.

São consideradas medidas extensivas quando ocorre ação sobre a bacia, alterando a relação entre precipitação e vazão, podendo assim ser classificadas como medidas hidrológicas. Canholi (2005) menciona que as medidas extensivas correspondem aos pequenos armazenamentos na bacia, à recomposição de cobertura vegetal e ao controle de erosão na bacia.

São consideradas medidas intensivas quando a ação ocorre diretamente sobre o escoamento da água nos rios e canais, procurando alterar as condições hidrodinâmicas da onda da cheia, sendo assim classificadas como medidas hidráulicas. Canholi (2005) cita que, de acordo com seu objetivo, podem ser divididas em quatro tipos: aceleração de escoamento, retardamento de fluxo, desvio do escoamento e medidas que englobem a introdução de ações individuais visando tornar as edificações à prova de enchentes.

Em contraposição às medidas estruturais, temos as medidas não estruturais, que envolvem práticas de gerenciamento da bacia urbana e mudanças de comportamento da população. Para Tucci (2012), as medidas não estruturais são os instrumentos legais, a precaução por meio de alertas, os seguros e a capacitação da população e dos profissionais, e

têm como objetivo preparar a população para conviver com as inundações. Nesse sentido, Canholi (2005) complementa que essas medidas buscam reduzir os danos ou as consequências das inundações, não utilizando obras, mas sim normas, regulamentos e programas, visando disciplinar o uso e a ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta e a conscientização da população quanto à manutenção dos dispositivos de drenagem. Ou seja, essas ações visam disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas. Dentre o conjunto de medidas não estruturais, segundo Benini (2015), destaca-se a importância da elaboração do PDDrU, visando gerenciar as águas pluviais no espaço urbano de forma preventiva, especialmente em áreas de risco de inundação.

2.4.3 Drenagem sustentável ou de acondicionamento na fonte – principais tipos

Dentro do conceito de cidades sustentáveis, o objetivo principal é tornar os espaços urbanos lugares mais verdes e saudáveis para seus habitantes, com sustentabilidade e viabilidade econômica, estabilidade social e uso inteligente dos recursos, protegendo o meio ambiente natural (SANTOS, 2020).

No intuito de evitar e minimizar as consequências da urbanização sobre o ciclo hidrológico, cresce a necessidade de projetar e implementar sistemas mais eficientes de drenagem. A gestão da água deverá ser feita de maneira regional, a fim de obter a correta execução e operação de sistemas de drenagem urbana e manutenção dos demais serviços públicos da cidade (BASTOS, 2009). Observa-se que a gestão das águas pluviais nas cidades tem sido um tema em progressivo debate nos últimos 20 anos, visando minimizar os problemas relacionados com as inundações resultantes, em parte, pela construção descontrolada, adotando técnicas de drenagem urbana sustentável que proporcionam soluções amigas do ambiente (AFONSO, 2021).

Com a crescente ênfase na poluição de fonte difusa e preocupações com os impactos ambientais do desenvolvimento da terra, tornou-se necessário desenvolver alternativas eficazes para a estratégia de transporte e tratamento centralizado que tem sido a base para muitos dos sistemas e programas de gestão de águas pluviais ao redor do mundo. Neste contexto, DEP (2004) comenta que novas estratégias devem ser desenvolvidas para minimizar e até mesmo prevenir a ocorrência de impactos adversos do escoamento de águas pluviais e fornecer o tratamento necessário mais próximo da origem desses impactos.

Surgem assim as técnicas sustentáveis de drenagem, denominadas de controle na fonte. Tominaga (2013) afirma que, diferentemente dos sistemas clássicos, as técnicas de controle na

fonte são baseadas na retenção e na infiltração das águas das chuvas, colaborando para a sustentabilidade do sistema de drenagem. Portanto, ela é considerada uma das técnicas compensatórias de drenagem que visa aumentar a infiltração e reduzir o escoamento.

Segundo Castro (2011), os sistemas compensatórios não objetivam escoar a água o mais rápido possível para a jusante, e sim retardar o escoamento para, dessa forma, fazer com que a água infiltre. Tucci (2012) cita que, na drenagem urbana, as medidas sustentáveis de controle objetivam reter o escoamento na fonte, no loteamento ou na macrodrenagem por meio de infiltração ou armazenamento, evitando assim a transferência para jusante dos impactos.

Ainda segundo Tucci (2012), essa é uma prática que os países desenvolvidos implementaram desde os anos 1970, e a literatura internacional dispõe de um grande número de práticas sustentáveis sobre o assunto. No entanto, Castro (2011) afirma que os sistemas clássicos ou higienistas não necessariamente são ruins quando comparados com os sistemas compensatórios, sendo necessário um estudo caso a caso, pois em algumas situações os sistemas tradicionais podem ser a melhor opção.

Quanto aos sistemas sustentáveis, apresentam funções que possuem um alto valor social e ecológico. Tominaga (2013) afirma que:

“...a visão sustentável dos sistemas de drenagem conta com estruturas que combinam usos múltiplos, como: laser, manutenção da diversidade biológica, sem perder a função do controle de cheias e contribuem ainda para a melhoria da qualidade da água.”

Segundo Tominaga (2013), as técnicas de controle na fonte também são conhecidas por medidas compensatórias BMP (Best Management Practices) ou LID (Low Impact Development) e estão divididas em estruturais e não estruturais. Ainda segundo a autora, as medidas estruturais referem-se a intervenções de pequeno e médio porte, como obras pontuais ou lineares, até intervenções que podem controlar o escoamento de grandes áreas, como as bacias de retenção, detenção e infiltração. Já as medidas não estruturais são essencialmente regulamentações voltadas para o gerenciamento do uso do solo e o manejo sustentável das águas pluviais.

Quanto às técnicas sustentáveis de drenagem urbana, Afonso (2021) esclarece que algumas designações surgidas em países desenvolvidos estão sendo utilizadas para definir conceitos similares. Dentre elas, a utilizada nos Estados Unidos da América e no Canadá, associada aos sistemas de desenvolvimento de baixo impacto, é denominada LID.

Ainda segundo Afonso (2021), os métodos de drenagem da água superficial que consideram quantidade e qualidade da água, além de conforto ambiental, são denominados Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável, ou Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS),

originados do Reino Unido. Na Austrália, o termo utilizado é Water Sensitive Urban Design (WSUD). A autora também afirma que, além dos sistemas mencionados anteriormente, existem os BMPs, que são técnicas de gestão das águas pluviais que visam simular processos hidrológicos naturais, assim como as práticas de infraestruturas verdes (Green Infrastructure, GI), usadas especialmente para a gestão de águas pluviais.

Em relação à implantação das medidas de controle na fonte, Tominaga (2013) considera que:

” ...devem fazer parte do planejamento integrado de sistemas de drenagem, tanto e novos loteamentos como em áreas já ocupadas. No caso de sistemas de drenagem de área com ocupação consolidada estas medidas devem ser implantadas para aumentar a eficácia dos sistemas existentes.”

Canholi (2013) comenta que é importante definir dispositivos que se adaptem ao local, levando em consideração a inclinação do terreno, as condições do solo, os padrões de drenagem utilizados, o espaço disponível, a altura do lençol freático e a manutenção necessária.

De acordo com Paraná (2002), as medidas de controle na fonte são classificadas em dispositivos de armazenamento e de infiltração. Os dispositivos de armazenamento têm como objetivo principal retardar o escoamento pluvial, liberando-o de forma gradual e com pico amortecido em direção ao destino, que pode ser um ponto de captação de uma rede pluvial existente. Reservatórios residenciais em lotes, bacias de retenção e detenção em loteamentos ou na macrodrenagem são exemplos típicos desses dispositivos de armazenamento. No entanto, essas medidas de controle a jusante não serão detalhadas, pois não fazem parte do objeto deste trabalho.

Os dispositivos de infiltração, ao contrário dos dispositivos de armazenamento, removem água do sistema pluvial, promovendo sua absorção pelo solo para reduzir o escoamento pluvial. Técnicas compensatórias, como trincheiras de infiltração, sistemas de biorretenção, pavimentos permeáveis, poços de infiltração e bacias de infiltração, são implantadas em áreas urbanas com o objetivo de recuperar os mecanismos naturais de escoamento, reduzir as vazões a jusante e maximizar o controle do escoamento na fonte (MELO, 2016).

Entre os dispositivos de infiltração existentes, pavimentos porosos, trincheiras de infiltração, faixas e valas gramadas são exemplos típicos mais adequados às escalas do lote e do loteamento.

Esta pesquisa abordou trincheiras de infiltração, jardins de chuva e pavimentos permeáveis, considerando essas técnicas como as mais viáveis para a proposta em questão. Os

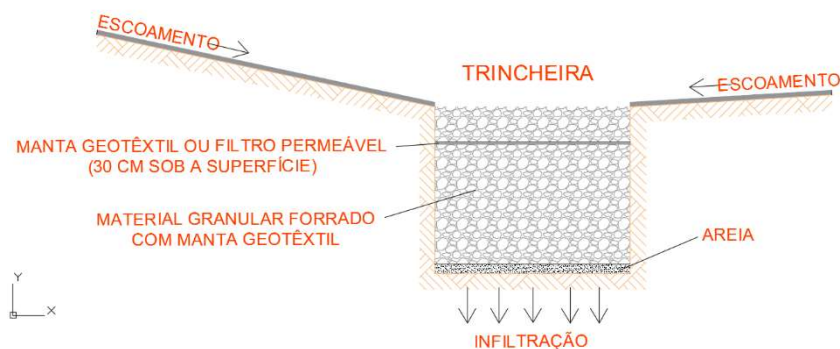
critérios adotados para essa escolha estão descritos no capítulo 5. A seguir, apresenta-se uma breve descrição das medidas de controle na fonte contempladas neste estudo.

2.4.3.1 Trincheiras de infiltração e retenção

As trincheiras de infiltração são dispositivos de drenagem que armazenam água pluvial por um período necessário para sua infiltração no solo. Podem ser definidas como reservatórios de amortecimento, pois permitem que a água se infiltre. Peiter (2012) complementa que as trincheiras de infiltração são estruturas lineares, com comprimento maior que a largura, que armazenam a água precipitada por tempo suficiente para sua infiltração no solo. Segundo Silveira (2008), sua função principal é reduzir o escoamento e promover a recarga dos aquíferos. Além disso, o autor afirma que outra função importante é o tratamento da água por meio da infiltração no solo.

Essas trincheiras são constituídas por valetas preenchidas com material como seixo ou brita, com porosidade em torno de 35%. Um filtro geotêxtil é colocado entre a trincheira e a superfície, sendo recoberto por uma camada de material granular. Esse filtro deve envolver completamente a trincheira e tem a função de impedir a entrada de material fino e a contaminação, formando assim uma superfície drenante. Para drenar o excesso de água, é possível utilizar um tubo perfurado, colocado no material de maior granulometria dentro da trincheira. Um exemplo de composição das trincheiras é demonstrado na figura 18, a seguir.

Figura 18 - Trincheira de infiltração



Fonte: Autora (2023)

Peiter (2012) alerta que o desenvolvimento urbano traz consigo a substituição das superfícies naturais por pavimentos e telhados, o que causa alterações significativas no sistema natural e impede a infiltração no solo. Portanto, a inclusão de uma trincheira de infiltração ajuda a coletar a água do telhado e de outras superfícies impermeáveis, criando condições para o

escoamento através do solo. O Quadro 3 apresenta algumas vantagens e desvantagens percebidas ao utilizar essa técnica.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens das trincheiras de infiltração

Vantagens	Desvantagens
Redução no volume de escoamento superficial ocasionada pela infiltração, gerando um alívio no sistema de drenagem a jusante.	Realização de manutenções periódicas por apresentar problemas com colmatção gerada ao longo do tempo.
Criação de áreas permeáveis quando a estrutura é implantada em áreas impermeáveis, como calçadas ou outras.	Apresenta restrições em sua eficiência nas áreas com declividades acentuadas.
Boa integração com o espaço urbano.	Apresenta riscos de contaminação do solo e do lençol freático (águas subterrâneas).
Possibilita a recarga do lençol freático.	Falta de equipe técnica especializada

Fontes: Variadas

2.4.3.2 Pavimento Permeável

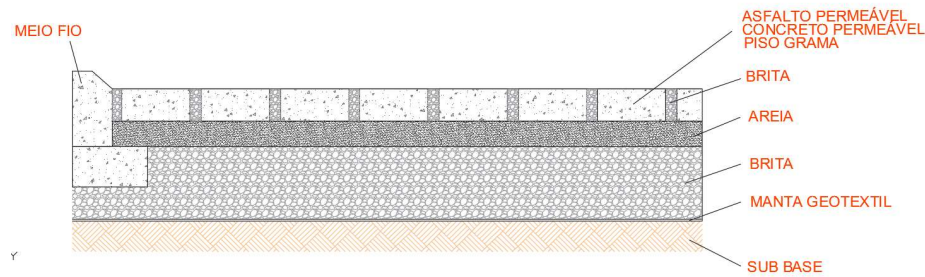
Em áreas urbanas densamente ocupadas, considerando as superfícies destinadas ao sistema viário e às áreas de estacionamento, observa-se que ocupam espaços consideráveis, chegando a 30% da área da bacia de drenagem. Nesse sentido, a utilização de pavimentos permeáveis contribui para a redução do escoamento superficial e para evitar problemas de inundação urbana (Yazaki et al., 2013b).

Segundo a definição de Urbonas e Stahre (1993), pavimento permeável é um dispositivo que permite a infiltração, direcionando o escoamento das águas pluviais por uma superfície permeável até um reservatório de pedras localizado abaixo da superfície do terreno.

Yazaki et al. (2013b) descrevem os pavimentos permeáveis como revestimentos com superfície permeável que possibilitam a infiltração e a detenção temporária da água pluvial. O autor também afirma que esse tipo de revestimento possui grande potencial de aplicação, pois não requer espaço urbano adicional para ser utilizado, desempenhando a dupla função de melhorar a qualidade da água e reduzir a quantidade de escoamento superficial. No entanto, em cada caso é necessário avaliar o tipo de carga que o pavimento irá suportar e conhecer as condições pluviométricas do local.

Urbonas e Stahre (1993) classificam os pavimentos permeáveis em três tipos: pavimento de concreto poroso, pavimento de asfalto poroso e pavimento de bloco de concreto do tipo vazado, preenchidos com areia ou vegetação rasteira, e pavimento intertravado. Segundo os autores, o concreto poroso e o asfalto poroso são preparados de forma semelhante ao concreto e ao asfalto convencionais, porém não utilizam agregados finos (areia) em sua composição, o que lhes confere a porosidade necessária para a infiltração das águas pluviais. A figura 19 a seguir ilustra um exemplo da composição desses tipos de pavimentos.

Figura 19 - Camadas de um pavimento permeável



Fonte: Autora (2023)

Yazaki et al. (2013b) mencionam que, apesar da necessidade de espaços amplos, os pavimentos permeáveis podem ser implantados como substitutos da pavimentação convencional em diversas áreas, como vias de tráfego leve, calçadas, praças, pátios e estacionamentos, o que aumenta a disponibilidade de áreas apropriadas. O autor também sugere algumas áreas indicadas para a aplicação desse tipo de pavimento, tais como áreas industriais, galpões, condomínios e conjuntos habitacionais. No quadro 4, apresentamos as vantagens e desvantagens desses pavimentos.

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens dos pavimentos permeáveis

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de redução ou eliminação dos custos de implantação dos sistemas de drenagem tradicional.	Possibilidade de colmatção do pavimento.
Melhoria na segurança e conforto em virtude da redução da formação de poços de água, além da melhoria da aderência no viário.	Necessita de manutenções periódicas para evitar entupimento ou colmatção dos poros das camadas permeáveis.
Não requerem espaços específicos para sua implantação.	Apresenta riscos de contaminação das águas subterrâneas.
Possibilita a recarga das águas subterrâneas, além da melhoria da qualidade das águas por ação de filtração no corpo do pavimento.	Em casos de ocorrência de colmatção da estrutura, os custos de reparo são elevados.

Fontes: Variadas

2.4.3.3 Jardim de chuva ou sistema de bioretenção

Os jardins de chuva são estruturas verdes que auxiliam o sistema de drenagem, caracterizando-se por um design altamente flexível. Podem ser aplicados em diversas situações e escalas, como canteiros e calçadas em vias públicas, lotes, parques e praças. Esses jardins de chuva consistem em canteiros ou áreas rebaixadas com plantas e solo enriquecido com areia para aumentar a porosidade e a capacidade de absorção. Podem ser projetados na forma de valas, bacias ou pequenos espaços retangulares, com estrutura elevada ou embutida nas calçadas

(MELO et al., 2014). Nesse sentido, o quadro 5 apresenta a porosidade efetiva de alguns materiais granulares utilizados.

Quadro 5 - Porosidade efetiva dos materiais de enchimento

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

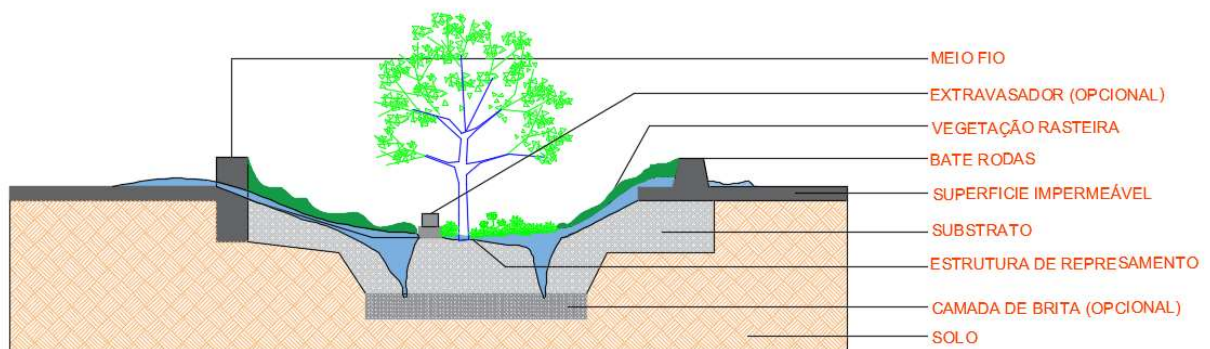
Fonte: Adaptado de Urbonas e Stahre (1993)

O jardim de chuva utiliza a atividade biológica de plantas e microorganismos para remover os poluentes das águas pluviais e contribui para a infiltração e retenção dos volumes de água precipitados (YAZAKI ET AL., 2013a).

Os jardins de chuva são descritos por Li e Zhao (2008) como uma estrutura hidrológica funcional na paisagem, de baixo custo e manutenção simplificada, que, por meio do sistema solo-planta-atmosfera, juntamente com os processos de infiltração, retenção e adsorção, purifica e absorve as águas pluviais de pequenas áreas, reduzindo assim o volume escoado, além de proteger as águas subterrâneas.

A figura 20 apresenta um esquema de um jardim de chuva denominado de canteiro pluvial por Cormier e Pellegrino (2008). Segundo os autores, ele é basicamente um jardim de chuva de forma mais compacta, em pequenos espaços urbanos. Ainda segundo os autores, essa tipologia pode contar, além de sua capacidade de infiltração, com um extravasador ou, em casos sem infiltração, contar somente com a evaporação, evapotranspiração e transbordamento.

Figura 20 - Jardim de chuva



Fonte: Autora (2023)

Segundo Yazaki et al. (2013a), os fluxos de água se acumulam nas depressões, formando pequenas poças, e de forma gradual a água penetra no solo. Os poluentes são removidos por adsorção, filtração, volatilização, troca de íons e decomposição. Os autores afirmam ainda que a água limpa pode ser infiltrada no terreno para a devida recarga do aquífero, assim como também pode ser coletada em um dreno e descarregada no sistema de microdrenagem. Já nos casos de eventos de chuva que venham a exceder a capacidade para a qual a estrutura foi projetada, o fluxo extra é desviado da área e enviado diretamente para o sistema de drenagem.

As vantagens e as desvantagens associadas a esse dispositivo estão apresentadas no quadro 6 a seguir:

Quadro 6 - Vantagens e desvantagens dos jardins de chuva

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade de redução ou eliminação dos custos de implantação dos sistemas de drenagem tradicional.	Possibilidade de colmatção do pavimento.
Melhoria na segurança e conforto em virtude da redução da formação de poços de água, além da melhoria da aderência no viário.	Necessita de manutenções periódicas para evitar entupimento ou colmatção dos poros das camadas permeáveis.
Não requerem espaços específicos para sua implantação.	Apresenta riscos de contaminação das águas subterrâneas.
Possibilita a recarga das águas subterrâneas, além da melhoria da qualidade das águas por ação de filtração no corpo do pavimento.	Em casos de ocorrência de colmatção da estrutura, os custos de reparo são elevados.

Fonte: Adaptado pela autora

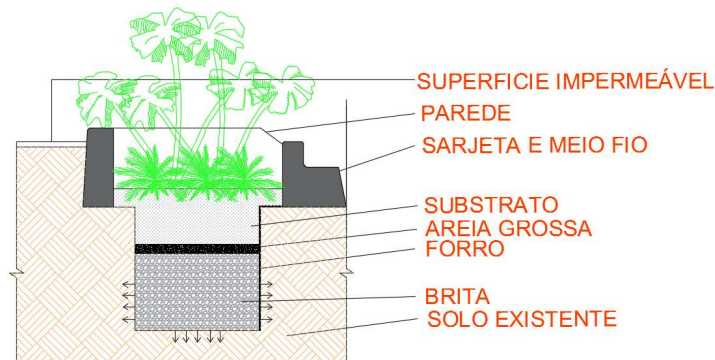
Ainda que tenham sua capacidade reduzida pelo espaço disponível e pelas condições geotécnicas locais, mesmo pequenos jardins de chuva são muito eficientes quanto à melhoria da qualidade da água, visto que é no período inicial de uma chuva que a maioria dos poluentes é carregada. O correto dimensionamento de um jardim de chuva deve também levar em consideração o fato de que não pode haver água parada em sua superfície após algumas horas de um evento (CORMIER; PELLEGRINO, 2008).

Yazaki et al. (2013a) sugerem que esse tipo de técnica é mais indicada para ser aplicada em ruas largas que tenham baixo tráfego de veículos, em ruas próximas a locais em que se deseja reduzir a velocidade dos veículos, como escolas, hospitais e bairros residenciais, em calçadas largas, pátios e estacionamentos, assim como dentro do próprio lote, independentemente de serem comerciais, residenciais ou públicos.

2.4.3.4 Canteiros Fluviais

Para Cormier e Pellegrino (2008), canteiros centrais são jardins de chuva em formatos menores. No entanto, os canteiros podem dispensar a infiltração, executando apenas a evaporação e a evapotranspiração do escoamento superficial que é armazenado durante os eventos de chuva, ao contrário dos jardins de chuva, que buscam fazer a infiltração no solo. A figura 21 demonstra a seção de um canteiro pluvial.

Figura 21 - Canteiro Pluvial



Fonte: Autora (2023)

A utilização desse mecanismo contribui com o ambiente urbano ao diminuir a contaminação das águas subterrâneas. Além disso, permite uma maior permeabilidade das águas pluviais e contribui para a ambiência do espaço através da inserção de vegetação na paisagem. Isso reduz o risco de inundações, melhora a qualidade da água e diminui o custo da infraestrutura de drenagem (TEIXEIRA; SILVA, 2019).

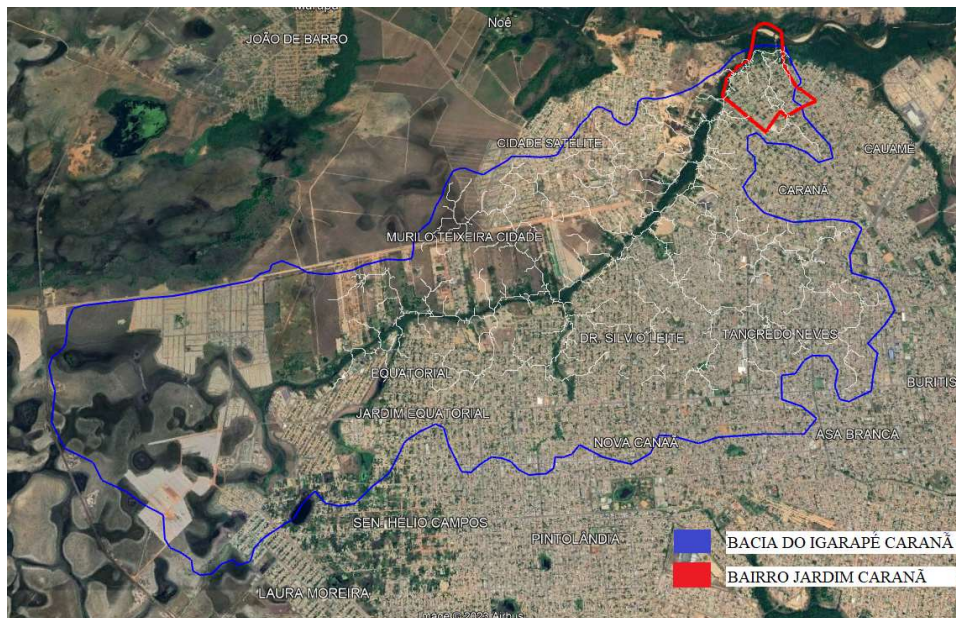
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO LÓCUS DA PESQUISA

A cidade de Boa Vista, situada no estado de Roraima, encontra-se na região Norte do Brasil, especificamente na porção centro-oriental do estado. Suas coordenadas geográficas são Latitude $02^{\circ} 49' 12''$ N e Longitude $60^{\circ} 40' 23''$ W. A cidade possui uma área territorial de $5.687,037 \text{ km}^2$ e uma população estimada em 436.591 habitantes no ano de 2021, de acordo com o IBGE, sendo a capital menos populosa do país. O estado de Roraima é conhecido por ser o mais setentrional da região norte e faz fronteira com a Venezuela ao norte e noroeste, a Guiana a leste, o Pará a sudeste e o Amazonas a sudeste e oeste.

A área de estudo em questão faz parte da bacia hidrográfica Caraná e está localizada na zona oeste do município de Boa Vista. A bacia drena uma área de $38,72 \text{ km}^2$ e, segundo Sander et al. (2012a), abrange os bairros Laura Moreira, Murilo Teixeira Cidade, Equatorial, Alvorada, Dr. Silvio Leite, Jardim Primavera, Piscicultura, Cidade Satélite, com sua foz localizada no bairro Jardim Caraná, conforme mostrado na figura 22.

Figura 22 - Imagem atualizada da bacia Caraná



Fonte: Autora (2023) adaptado de Google Earth

A microbacia em questão possui a mesma denominação do igarapé Caraná. De acordo com Veras e Souza (2012), o igarapé recebeu esse nome em homenagem a uma palmeira comum na região, chamada Caraná (*Mauritiella aculeata*). Com uma extensão de 9,5 km, o

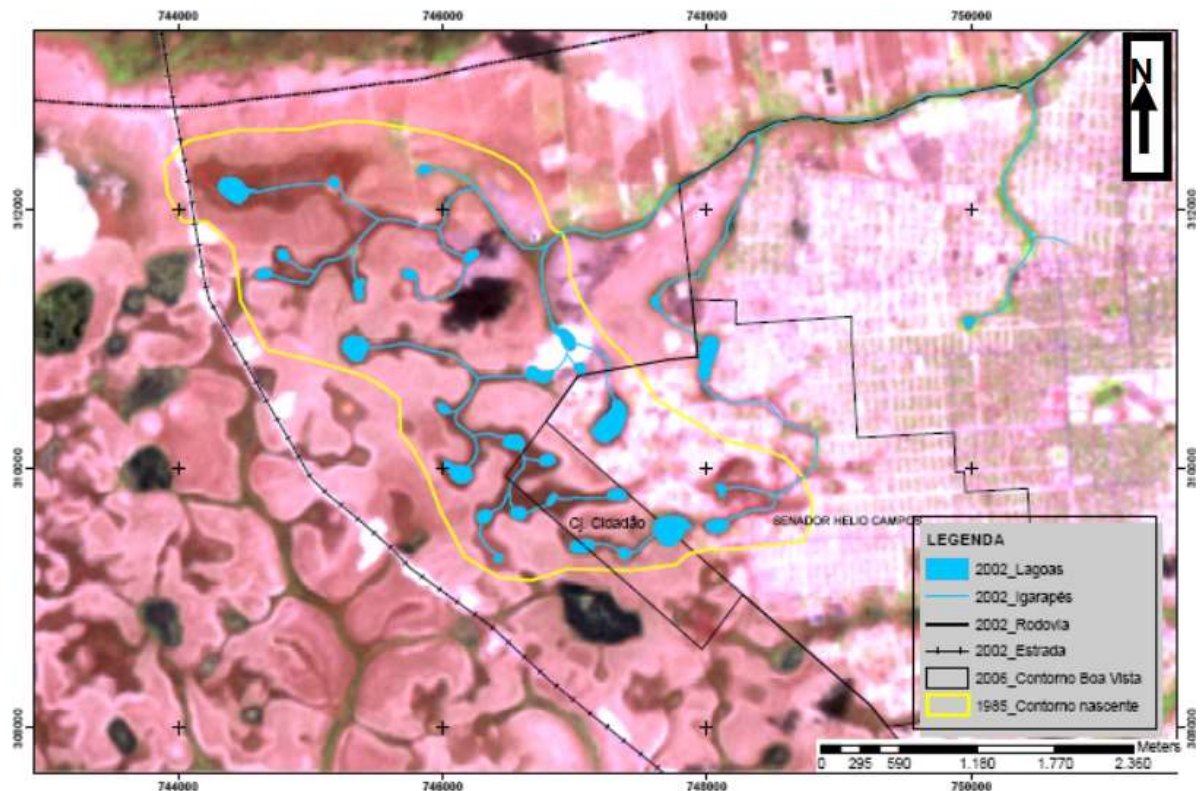
igarapé possui três afluentes secundários, denominados Tauari, Fogoió e um terceiro sem nome específico, que, segundo os autores, é conhecido pela população como "a vala do bairro Santa Tereza". Os autores destacam que esse último afluente estava praticamente extinto devido ao processo descontrolado de ocupação e urbanização.

A nascente do igarapé, conforme mencionado por Veras e Souza (2012), está localizada próxima à RR-205, em uma região de chácaras e fazendas. O curso do igarapé atravessa vários bairros até desaguar em sua foz, que se encontra no rio Cauamé. Segundo os autores, o igarapé Caranã é considerado um dos principais afluentes da margem direita do rio Cauamé.

Carvalho e Araújo (2009) relatam que na área das nascentes do igarapé Caranã foi implantado um loteamento chamado Conjunto Cidadão, o qual teve um impacto significativo nessas nascentes. Mais recentemente, a situação se agravou com o início de outro loteamento nas proximidades, denominado Caburaí, que ocupa uma grande área que, segundo os autores, anteriormente era composta por sítios que represavam os lagos, removiam a vegetação ciliar e causavam erosão e assoreamento. Os autores também mencionam que as nascentes do igarapé Caranã eram compostas por lagos perenes e intermitentes, muitos dos quais já foram impactados pela ocupação urbana.

A figura 23 delimita a área da nascente do igarapé Caranã, que, segundo Veras e Souza (2012), é constituída por dois braços principais originados de uma sequência de lagos à direita e à esquerda do canal principal. Os autores destacam a fragilidade do sistema hídrico dessas nascentes, que possuem características de solo arenoso, pobre e frágil.

Figura 23 - Delimitação da nascente do Igarapé Caranã



Fonte: Veras e Souza (2012 apud Carvalho 2007)

Carvalho e Araújo (2009) destacam que a nascente do igarapé Caranã é uma área de preservação permanente (APP), independentemente de ser perene ou não, como é comum nas nascentes desse igarapé. Durante o período chuvoso, que ocorre de abril a setembro, os lagos se interligam formando o canal principal dos igarapés. No entanto, durante o período considerado seco, de outubro a março, alguns desses lagos secam devido ao rebaixamento do lençol freático.

Devido ao crescimento urbano, a área da nascente do igarapé tem sofrido vários impactos, como ilustrado na figura 24, uma imagem panorâmica mais recente da nascente da bacia. Essa imagem mostra a proximidade da área urbana em relação às nascentes do principal corpo hídrico, o igarapé Caranã. Santos (2019) afirma que nessa área está ocorrendo um processo intenso de ocupação que está afetando significativamente esse sistema de nascentes.

Figura 24 - Área de nascente do Igarapé Caranã



Fonte: Santos (2019)

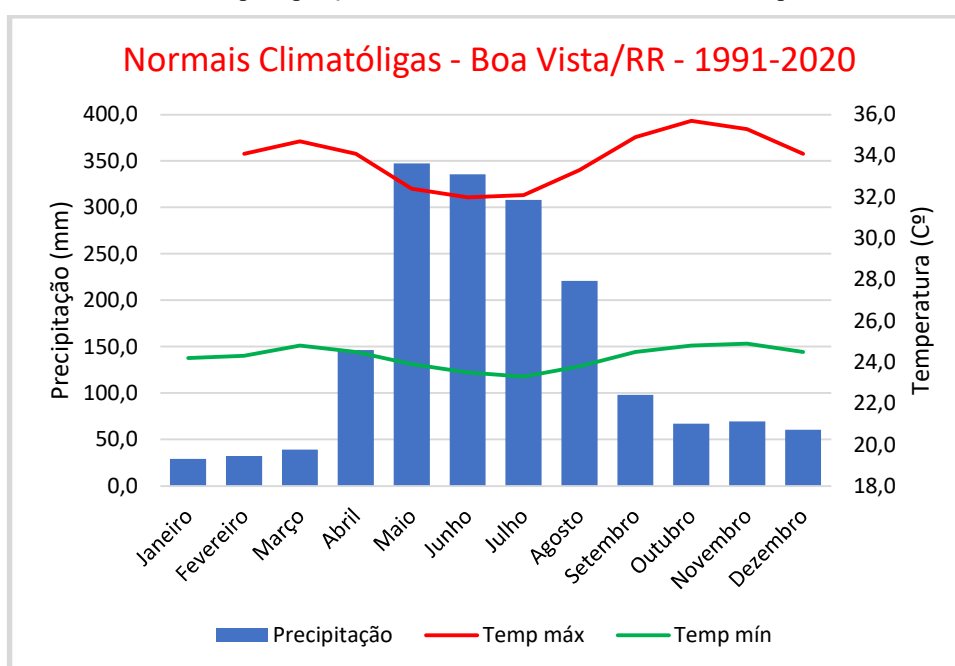
No que diz respeito à ocupação da área da microbacia do Igarapé Caranã no município de Boa Vista, a ocupação teve início no final do século XX. Até o final da década de 1970, essa área era principalmente composta por fazendas e chácaras. No entanto, a partir da década de 1990, Veras e Souza (2012) relatam um aumento significativo na migração, com motivações eleitorais, o que resultou no surgimento de vários projetos habitacionais para essas famílias. Essa expansão demográfica acelerada levou ao aumento da ocupação de áreas de Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Nesse contexto, Santos (2019) afirma que o ordenamento da bacia do Caranã foi baseado na política de doação de lotes e conjuntos habitacionais durante campanhas eleitorais, no período de 1985 a 1995, em áreas dentro da planície de inundação. Essas áreas posteriormente se tornaram problemáticas para essas pessoas. O autor destaca também que a implementação de políticas públicas ocorreu em detrimento dos interesses de outros agentes sociais.

Carvalho e Araújo (2009) afirmam que a implementação desse programa habitacional também teve motivação eleitoral e, ao ser construído próximo às nascentes, não considerou a fragilidade ou inadequação dessas áreas para a habitação. Os autores mencionam que o período de estiagem, quando o terreno estava seco e propício para a ocupação, foi aproveitado, o que contribuiu para a degradação do ecossistema desses ambientes e, conseqüentemente, resultou em problemas de alagamento na área urbana.

Quanto ao clima, Veras e Souza (2012) classificam como tropical úmido do tipo "A", subtipo "AW", de acordo com a classificação de Köppen. Apresenta um clima úmido predominante, com temperatura variando entre 26°C e 38°C. Possui um período chuvoso bem definido, que ocorre de abril a setembro, com os meses de junho e julho registrando as maiores precipitações. O regime pluviométrico anual é em torno de 2.500 mm. O gráfico 1 demonstra a média de precipitação e temperatura em relação aos meses do ano na cidade de Boa Vista, no período de 1991 a 2020.

Gráfico 1 - Dados de precipitação relacionado aos meses do ano e à temperatura



Fonte: Autora (2023) adaptado de INMET

Durante o período seco, de acordo com Sander et al. (2012a), que vai de outubro a março, ocorre uma significativa escassez de água, resultando em uma redução acentuada dos níveis freáticos e dos volumes de água nos cursos d'água da região.

Na área de savanas, a vegetação predominante é composta por gramíneas, localmente conhecidas como "lavrado", conforme mencionado por Veras e Souza (2012).

Em relação à tipologia do solo na área da bacia, Silva e Oliveira (2018) descrevem que o município de Boa Vista possui solos representados principalmente por Latossolos, Argissolos e Neossolos. O tipo de solo mais comum é o Latossolo Amarelo distrófico (LAd), abrangendo cerca de 85% da área total do município. Sander et al. (2012a) reforçam essa informação, mencionando a presença de Latossolos amarelos, Argissolos acinzentados e Neossolos quartzarênicos nos domínios de sedimentos arenosos da Formação Boa Vista. Os autores

destacam que esses Latossolos são profundos e bem drenados, e apresentam características como lateritas hidromórficas, plintitas e petroplintitas.

No que diz respeito à geomorfologia, de acordo com Veras e Souza (2012), a área da microbacia está inserida no contexto geomorfológico do município de Boa Vista, caracterizado por um relevo do tipo planalto dissecado e superfícies pediplanas. Essa região faz parte do Pediplano Rio Branco-Rio Negro, conhecido como "campos do Rio Branco", apresentando uma topografia plana e baixa declividade, que se acentua apenas próximo aos canais de água. Araújo Júnior (2016) descreve a área como uma extensa região plana, com variação média de altitude entre 80 e 110 metros.

3.2 ESTUDO DE CASO: BAIRRO JARDIM CARANÃ E OS IMPACTOS RELACIONADOS À OCUPAÇÃO URBANA

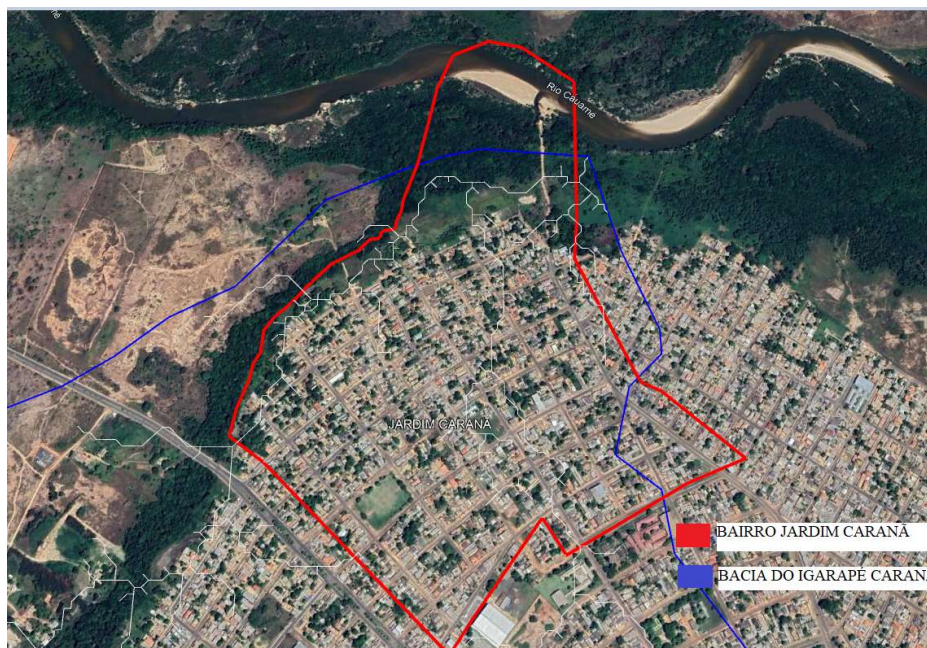
O termo sustentabilidade está em destaque globalmente, e nesse contexto, busca-se a capacidade de viver de forma a minimizar o impacto no meio ambiente. Isso envolve utilizar os recursos naturais de maneira racional e promover a sua reutilização, levando em consideração aspectos econômicos, ambientais e sociais. Nesse sentido, o presente estudo de caso tem como objetivo caracterizar a situação atual encontrada no bairro e incentivar a adoção de práticas sustentáveis, especialmente relacionadas aos recursos hídricos.

O bairro Jardim Caranã, que é o foco desta pesquisa, está localizado na zona Oeste do município. Ele foi criado a partir do desmembramento de uma parte do antigo bairro Caranã I, conforme mencionado por Vale (2007). A incorporação dessa área à zona oeste ocorreu por meio da Lei nº 483, de 09 de dezembro de 1999, que promoveu alterações nos dispositivos relacionados ao desenvolvimento urbano, zoneamento, uso e ocupação do espaço. Quanto à sua criação, Vale (2007) explica o seguinte:

“O Bairro Caranã I ficou com a nomenclatura de Bairro Caranã e o Bairro Caranã II fundiu-se ao Bairro Aeroporto. Nos anos de 1990 houve a expansão do Bairro Caranã I, nas proximidades do igarapé do Caranã desmembrou -se formando os bairros: a direta, Bairro Jardim Caranã (1992) e a esquerda Bairro União (1994).”

O bairro Jardim Caranã está delimitado pelos bairros União, Caranã, Cauamé e Cidade Satélite. Em particular, em seu limite com o bairro Cidade Satélite, encontra-se o curso da bacia do Igarapé Caranã, próximo à sua foz, que deságua no rio Cauamé. Essa informação pode ser visualizada na figura 25.

Figura 25 - Bairro Jardim Caranã

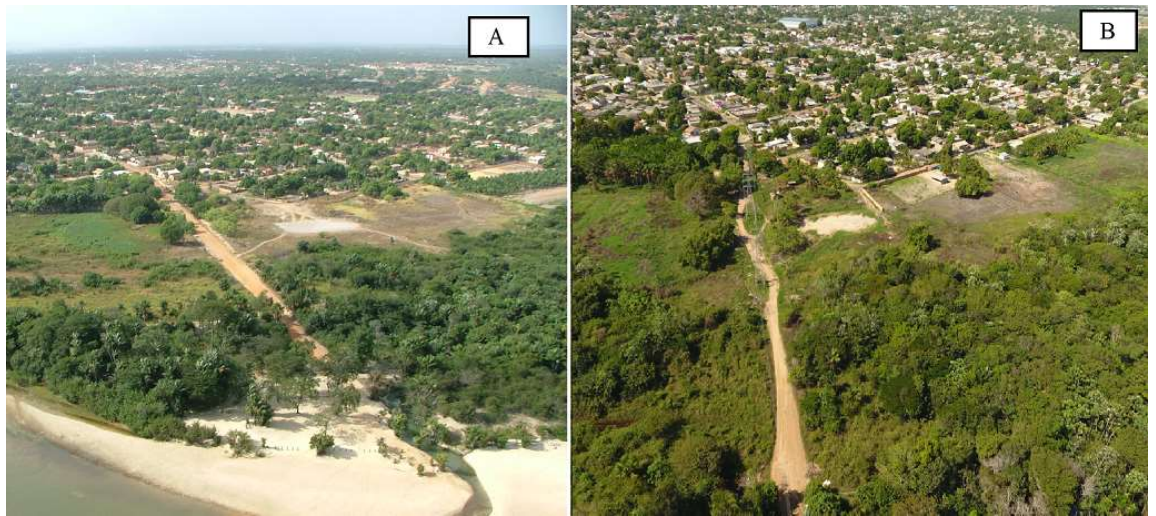


Fonte: Adaptado pela autora de Google Earth (2023)

Em relação à foz do Igarapé Caranã, Oliveira e Carvalho (2014) mencionam a presença de uma área conhecida como "Banho do Caranã", localizada no bairro Jardim Caranã, que abrange uma área de 22.510 m² durante a vazante máxima. Essa praia recebeu esse nome por estar situada nessa região, e é frequentada por pessoas principalmente dos bairros vizinhos, em busca de um local para o lazer. No entanto, os autores apontam que essa área foi considerada inadequada para essa finalidade, tanto do ponto de vista ambiental, devido à degradação da área, como socialmente, devido ao alto índice de marginalidade relatado na pesquisa.

Quanto à criação do bairro Jardim Caranã, Santos (2019) relata que ele surgiu a partir de uma invasão por grupos excluídos e posteriormente foi doado por políticos durante campanhas eleitorais. A figura 26 apresenta uma imagem aérea do bairro em 2007 (25A) e em 2023 (25B).

Figura 26 - Imagens aéreas do bairro nos anos de 2007 e 2023

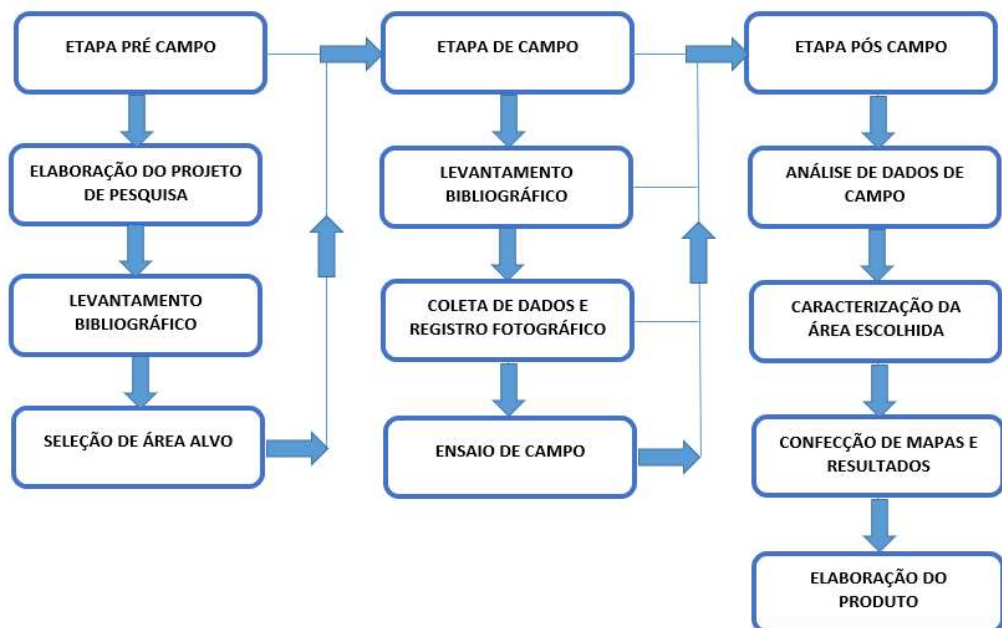


Fonte: RCCaleffi (2023)

Atualmente, estamos enfrentando um período em que há uma busca por medidas que visem mitigar os problemas associados às inundações urbanas. Nesse contexto, este estudo abordou os impactos decorrentes da ocupação urbana identificados no local, destacando os problemas mais significativos da área, que são descritos nesta seção.

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa foi dividida em três etapas distintas, como ilustrado no fluxograma apresentado na Figura 27.

Figura 27 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Autora (2023)

3.3 METODOLOGIA APLICADA À ÁREA EM ESTUDO

No que diz respeito à metodologia, para esta etapa do estudo, foi realizado um recorte específico do bairro Jardim Caranã, que é o objeto de pesquisa. Esse recorte foi feito através de um programa CAD (Computer Aided Design), e para isso, foi utilizada uma base cartográfica georreferenciada fornecida pela Secretaria Municipal de Finanças da PMBV, juntamente com uma imagem fotogramétrica do ano de 2014. A Figura 28 ilustra a delimitação da área de estudo na imagem fotogramétrica.

Figura 28 - Imagem fotogramétrica do ano de 2014 utilizada na pesquisa



Fonte: Autora (2023)

Na etapa de edição da base cartográfica utilizada, foram criados "polígonos fechados" para o bairro Jardim Caranã em suas respectivas camadas, conhecidas como layers. Cada camada representava um tipo específico de elemento, como quadras, lotes, ruas asfaltadas, ruas sem asfalto, calçadas impermeabilizadas, calçadas sem impermeabilização, edificações de 2014, edificações de 2023 e copas de árvores.

É importante destacar que, devido à utilização de uma imagem antiga, foi necessário realizar uma atualização utilizando a ferramenta Google Earth Pro, que oferece imagens de satélite atualizadas para o ano em questão. Entretanto, foram encontradas dificuldades devido à limitação da resolução espacial da imagem, o que dificultou a visualização e identificação dos elementos analisados, conforme ilustrado na Figura 29.

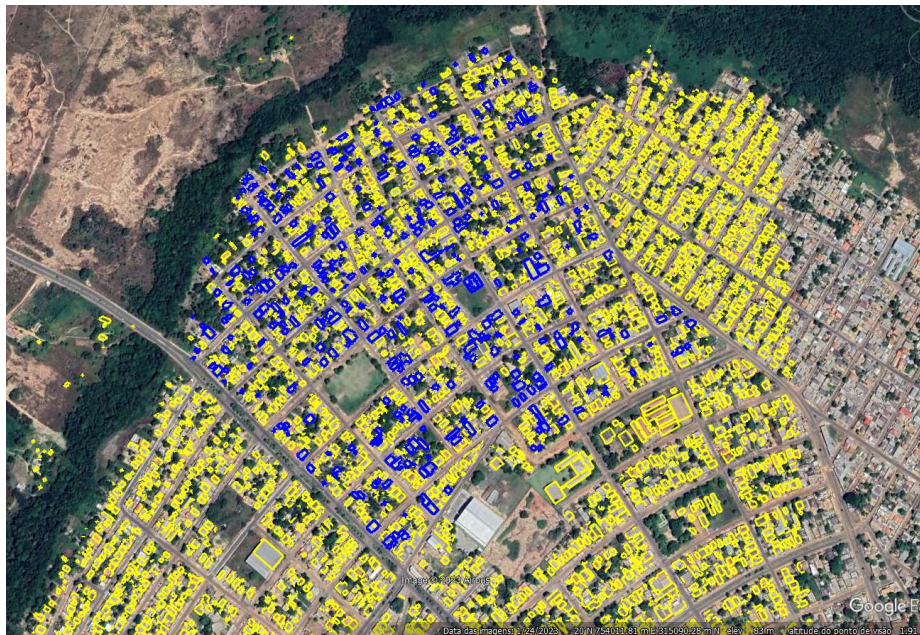
Figura 29 - Imagem fotogramétrica (1) e Imagem do Google Earth (2)



Fonte: Autora (2023)

Para obter dados mais precisos sobre as edificações, foi realizado um processo de exportação da camada das casas de 2014 (representada em amarelo) para o software Google Earth, utilizando o software topográfico Métrica TOPO. Em seguida, foram desenhados polígonos correspondentes às novas edificações presentes na imagem atualizada (representada em azul), que foram construídas no bairro após o ano de 2014 ou tiveram suas áreas de cobertura aumentadas. Além disso, foram identificados casos de demolição, removendo as respectivas áreas. A figura 30 ilustra essa atualização das casas na área em estudo.

Figura 30 - Atualização das edificações existentes no bairro

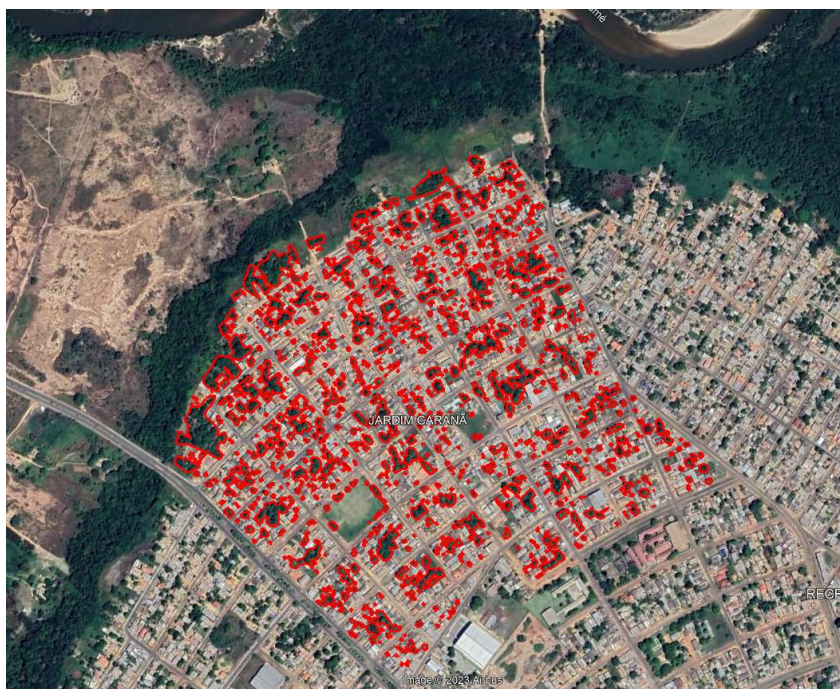


Fonte: Autora (2023)

Dessa forma, concluída a elaboração dos dados referentes à imagem, procedeu-se à criação ou exclusão dos polígonos identificados no Google Earth e ausentes na imagem

fotogramétrica. Essa verificação abrangeu todas as quadras e lotes do bairro em estudo, resultando em uma base cartográfica que reflete a situação mais atual possível. Ressalta-se que apenas o layer das copas de árvores foi extraído exclusivamente da imagem do Google Earth (figura 31), uma vez que o foco desta pesquisa era a vegetação atual do bairro. Para tanto, após a criação dos polígonos das árvores, o arquivo foi salvo em formato KML e importado para o software QGIS.

Figura 31 - Polígonos das copas de árvores da área em estudo



Fonte: Autora (2023)

Após a conclusão da etapa de edição da base cartográfica, o arquivo final foi salvo na extensão .DXF e exportado para o QGIS. Em seguida, cada camada foi convertida em arquivo shape (SHP). É importante ressaltar que todo esse trabalho de edição foi realizado com o objetivo de se obter uma maior atualidade dos dados, uma vez que a utilização de polígonos facilitaria o cálculo das áreas em cada uma das camadas trabalhadas e proporcionaria uma representação mais precisa do que realmente existe dentro da área do bairro. Vale destacar que as informações obtidas do Google Earth são referentes ao ano de 2023. A figura 32 apresenta o resultado final da atualização do mapa no software AutoCAD.

Figura 32 – Produto final obtido após atualizações



Fonte: Autora (2023)

É importante ressaltar que devido à falta de precisão na visualização da imagem do Google Earth, que não possui uma escala definida a nível de lote, não foi possível realizar uma caracterização das áreas internas dos mesmos. Por esse motivo, esta pesquisa se limitou a avaliar apenas os telhados das edificações, excluindo assim as calçadas impermeabilizadas presentes no local. Portanto, para este projeto, as camadas selecionadas foram organizadas de acordo com o bairro, quadras e lotes, como apresentado no quadro 7.

Quadro 7 -Descrição das classes de uso e ocupação do solo utilizadas

NÍVEL DE BAIRRO	Copas das árvores	Equivale à vegetação (árvores) existentes na área urbanizada dentro dos limites do bairro, não incluída a vegetação da área de proteção permanente (App).
NÍVEL DE BAIRRO	Logradouros Pavimentados	Correspondem às ruas, avenidas, becos, acessos, dentre outros, que se encontram in loco impermeabilizados, o que as tornam responsáveis pelo aumento do escoamento superficial in loco.
NÍVEL DE BAIRRO	Logradouros sem Pavimentação	Correspondem às ruas, avenidas, becos, acessos, dentre outros, que se encontram in loco sem impermeabilização, facilitando, desta forma, a infiltração da água no solo.
NÍVEL DE QUADRA	Áreas permeáveis nas quadras	Correspondem à todas as áreas sem intervenções urbanas, isto é, áreas que estão em seu estado natural, sendo gramados ou apenas cobertura vegetal, assim como as áreas de calçadas que se encontram

		permeáveis, cooperando desta forma na infiltração da água no solo, ajudando a evitar o escoamento superficial.
NÍVEL DE QUADRA	Áreas impermeáveis nas quadras	São as áreas de calçadas na área urbana que se encontram impermeabilizadas, impedindo a infiltração, causando o aumento do escoamento superficial e a redução na recarga da água subterrânea.
NÍVEL DE LOTE	Áreas impermeáveis dentro dos lotes	São as áreas de cobertura das edificações (telhados e platibandas), que contribuem para o aumento do escoamento superficial e redução na recarga da água subterrânea.

Fonte: Autora (2023)

A etapa de campo consistiu na verificação e validação dos dados, tendo como objetivo auxiliar no processo de interpretação da imagem. Nessa fase, foram realizadas visitas ao local para identificar, descrever e fotografar as características encontradas, a fim de estabelecer a associação com a imagem de satélite. Após a interpretação e vetorização dos dados, foi possível obter o mapa de uso e ocupação do solo, com a delimitação das áreas e seus respectivos percentuais.

3.3.1 Áreas verdes e retirada da cobertura vegetal

Boa Vista é uma cidade caracterizada por altas temperaturas, e ao longo do tempo tem perdido parte de sua vegetação devido ao processo de urbanização. Esse fenômeno é de suma importância para a promoção de sombreamento e conforto térmico. Nesse contexto, busca-se compreender e justificar essas alterações por meio da quantificação das áreas verdes na área em estudo.

O objetivo é obter um índice de área verde urbana para o bairro Jardim Caranã, utilizando ferramentas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, a fim de orientar as políticas públicas de gestão territorial e ocupação do solo, considerando o desenvolvimento urbano da cidade e atendendo aos valores mínimos de referência da Organização Mundial da Saúde (OMS) e da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU).

Nesta etapa do trabalho, serão determinados os índices de áreas verdes (IAV) e o índice de cobertura vegetal (ICV) na área urbana do bairro em estudo. O IAV representa a quantidade de espaços livres de uso público, expressa em quilômetros quadrados (km²) ou metros quadrados (m²), dividida pela quantidade de habitantes de uma cidade. Para obter o ICV, é necessário mapear toda a cobertura vegetal do bairro e quantificá-la em m² ou km². Após

determinar a área total estudada, em m² ou km², calcula-se a porcentagem de cobertura vegetal presente nessa área.

Os cálculos do Índice de Áreas Verdes Total (IAVT) e do Índice de Cobertura Vegetal (ICV) estão sendo realizados com base nas metodologias de Harder, Ribeiro e Tavares (2006), em seu estudo realizado no município de Vinhedo - SP, e de Silva, Santos e Oliveira (2016), realizado em praças na cidade de Gurupi - TO.

De acordo com as metodologias mencionadas, para o cálculo do IAVT, são consideradas as áreas verdes das praças existentes no bairro. No entanto, a área em estudo, apesar de ser uma área residencial, não possui praças. Portanto, para os fins desta pesquisa, foram utilizados dois espaços que não estão edificados.

Assim, para calcular o IAVT do bairro Jardim Caranã, somam-se as áreas verdes existentes no bairro, expressas em metros quadrados (m²), e divide-se pelo número de habitantes da área do bairro, conforme a seguinte equação 1:

$$\text{IAVT} = \frac{\sum \text{das áreas verdes no bairro (m}^2\text{)}}{\text{Número de habitante do bairro}} ; \text{ (Equação 1)}$$

Para calcular o índice de cobertura vegetal foi realizada a somatória das áreas de copa (m²) do bairro, dividido pelo número de habitantes da área, utilizando-se para isto da seguinte equação 2:

$$\text{ICV} = \frac{\sum \text{de áreas das copas (m}^2\text{)}}{\text{Número de habitante do bairro}} ; \text{ (Equação 2)}$$

É relevante ressaltar que a área em estudo não possui espaços públicos de uso coletivo, como praças, nem mesmo nas proximidades. Durante as visitas realizadas no local, observou-se a existência de duas áreas verdes. Uma delas é uma área institucional, onde parte do terreno abriga um posto de saúde e uma escola. A outra área é utilizada como campo de futebol, conhecido como "Campo do Careca", e possui uma extensão equivalente a uma quadra inteira.

3.3.2 Impactos na planície de inundação

A coleta e análise da quantidade de resíduos sólidos descartados no sistema de drenagem urbano desempenham um papel crucial na redução de alagamentos, enchentes e problemas relacionados, bem como na prevenção da poluição dos recursos hídricos. Conforme mencionado no item 3.1 desta pesquisa, de acordo com Santos (2019), a bacia do Caranã, assim

como a área do bairro em estudo, enfrenta desafios relacionados ao ordenamento territorial, uma vez que foi loteada em áreas dentro da planície de inundação. Essa situação tem causado transtornos aos moradores, como ilustrado na figura 33, em que se observa que parte da área de inundação da bacia do Caranã foi loteada.

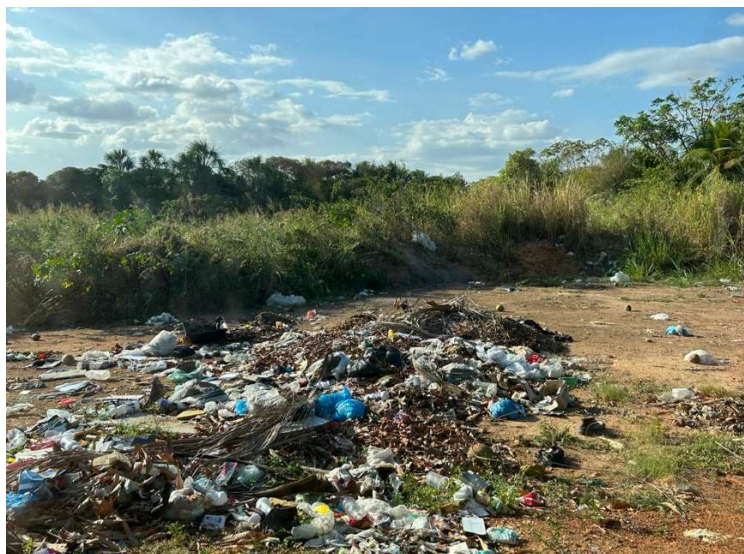
Figura 33 - área de inundação da bacia que passa dentro do bairro em estudo



Fonte: Autora (2023)

Durante a visita ao local da planície de inundação, foram identificadas duas questões problemáticas. A primeira diz respeito à ocupação inadequada da área, com a presença de lotes habitados e loteamentos implementados ou aprovados dentro da mesma. Essa situação pode representar riscos para os moradores e agravar os problemas relacionados às enchentes. A segunda questão está relacionada ao uso indevido de um local específico para o descarte de resíduos sólidos, que apresentava um considerável acúmulo de lixo no dia da visita, como evidenciado na figura 34. Ambas as questões demandam atenção e medidas adequadas para mitigar os impactos ambientais e os riscos associados.

Figura 34 - Área utilizada para descarte de lixo localizada na planície de inundação



Fonte: Autora (2023)

Nesta etapa, foi conduzido o levantamento da composição gravimétrica dos resíduos por meio da técnica de quarteamento. Conforme estabelecido na NBR 10.007/2004 (ABNT, 2004), a caracterização gravimétrica consiste em determinar os constituintes e suas respectivas proporções em peso e volume em uma amostra de resíduos sólidos, podendo ser de natureza física, química ou biológica.

Para a realização desse ensaio, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: uma lona de 4,00 x 4,00 metros, uma balança digital de piso com precisão de 200g, uma bombona de plástico com capacidade de 120 litros, pá e enxada, e uma prancheta para registrar as informações relevantes ao ensaio. Além disso, é imprescindível o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para garantir a segurança durante o procedimento. O ensaio foi realizado diretamente no local onde os resíduos são descartados, e uma lona foi utilizada para delimitar e definir a área de trabalho. Em seguida, a bombona vazia foi pesada e o valor registrado, conforme mostra a figura 35.

Figura 35 - Pesagem da bombona



Fonte: Autora (2023)

Foi delimitada uma área específica para a coleta da amostra, e utilizando uma enxada, procedeu-se à reviragem dos resíduos com o intuito de homogeneizar a amostra, conforme ilustrado na figura 36.

Figura 36 – Resíduos sólidos descartados na área da planície de inundação



Fonte: Autora (2023)

Em seguida, utilizando uma pá, foram preenchidas duas vezes consecutivas a bombona com capacidade de 120 litros cada, com o material coletado, e realizou-se a pesagem das mesmas, conforme ilustrado na figura 37. Os valores obtidos foram devidamente registrados.

Figura 37 – Etapa escolha da amostragem e sua pesagem



Fonte: Autora (2023)

Após a pesagem das amostras iniciais, os resíduos foram amontoados sobre a lona e as sacolas foram rompidas para homogeneização. Com o auxílio da enxada e da pá, os resíduos foram revolvidos, conforme ilustrado na imagem A. Em seguida, procedeu-se à aplicação do quarteamento, dividindo a pilha em quatro partes iguais, como mostrado na imagem B (figura 38).

Figura 38 - Etapa de homogeneização e quarteamento da amostragem



Fonte: Autora (2023)

Após selecionar duas partes diagonais da amostra quarteada, as mesmas foram misturadas em uma única pilha para facilitar a classificação. Caso fosse necessário reduzir ainda mais a amostra, o procedimento poderia ter sido repetido, mas o volume obtido foi considerado suficiente para prosseguir com o processo. A classificação envolveu a separação dos diferentes

tipos de resíduos presentes na amostra quarteada, criando montes distintos sobre a lona. Essa separação foi realizada manualmente por meio de triagem, conforme ilustrado na figura 39. Na imagem A, pode-se observar a quantidade de plásticos moles presentes na amostra, enquanto na imagem B é possível verificar a quantidade de resíduos provenientes de poda e galhos.

Figura 39 - Procedimento de separação dos materiais por tipo e sua pesagem



Fonte: Autora (2023)

Após concluir a separação dos resíduos de acordo com o tipo encontrado na fração de amostra selecionada, foram registrados os pesos individuais de cada tipologia, os quais serão detalhados nos resultados desta pesquisa.

3.3.3 Levantamento de dados urbanos e de impermeabilização do solo

De acordo com Costa Junior (2003), a infiltração é o processo pelo qual a água penetra nas camadas superiores do solo e se move em direção às camadas inferiores, e esse processo é influenciado por diversos fatores, como o tipo de solo, suas propriedades físicas, o grau de compactação da superfície, o teor de umidade inicial e a disponibilidade de água.

Benedetti (2007) realizou um estudo abrangente dos solos no Campus Cauamé da Universidade Federal de Roraima - UFRR e identificou o Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico (LAdx) como o solo predominante na área estudada. Com base nos parâmetros físicos obtidos por Benedetti (2007), Sanchez (2017) realizou um estudo intitulado "Avaliação da infiltração de água em três classes de solos na savana de Roraima", no qual determinou os

valores de infiltração de água e velocidade de infiltração para o solo do tipo Latossolo Amarelo distrófico (LAd) utilizando o método do infiltrômetro de anel concêntrico.

Com base nas referências bibliográficas consultadas, é possível concluir que a área em estudo é predominantemente composta por Latossolo Amarelo, que é o tipo de solo mais comum na região, conforme mencionado na seção de localização da pesquisa.

Entre os resultados obtidos por Sanchez (2017), algumas observações são relevantes para esta pesquisa. Uma delas é que, de acordo com o autor, o Latossolo apresentou o maior volume de água infiltrada entre as classes de solos estudadas, contribuindo para a redução do escoamento superficial. Em relação ao Latossolo Amarelo, os resultados mostraram uma taxa de infiltração básica (VIB) de 18,50 mm/h e uma porosidade de 52%. É importante destacar a importância da porosidade do solo, pois ela indica a presença de espaços porosos capazes de armazenar água e ar. Quanto à textura do solo, foi considerada como média e com estrutura argilosa bem desenvolvida, com valores de teor de argila entre 15% e 30%. O autor ressalta que essa característica pode resultar em maiores taxas de infiltração no solo.

Existem várias metodologias disponíveis para determinar a taxa de infiltração de água no solo, e nesta pesquisa foi utilizada a técnica do infiltrômetro de anéis concêntricos, também conhecido como infiltrômetro de duplo anel. Essa escolha foi feita devido à ampla utilização desse equipamento atualmente, além de sua simplicidade e facilidade de execução. Esse teste nos permitiu obter informações sobre a velocidade de infiltração básica da água no solo, que foram utilizadas nos cálculos das técnicas sustentáveis mencionadas na seção 3.3.4 deste estudo.

O ensaio do infiltrômetro de duplo anel foi realizado utilizando dois anéis, um com diâmetro de 15 cm e outro com diâmetro de 50 cm, ambos com 30 cm de altura. Os materiais e equipamentos utilizados para o ensaio foram cilindros de 50 cm e 15 cm de diâmetro, nível, cronômetro, sacos de lixo, marreta e pedaços de madeira para cravar os cilindros no solo, régua metálica, dois reservatórios plásticos para armazenamento de água, enxada para a limpeza superficial da área e prancheta para anotações referentes ao ensaio. Além desses itens, é fundamental o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para garantir a segurança durante a prática.

A metodologia adotada no ensaio segue as diretrizes estabelecidas por Bernardo, Soares e Mantovani (2006). A preparação consiste em cravar ambos os anéis a uma profundidade de aproximadamente 15 cm no solo, utilizando marreta e pedaços de madeira (figura 40A). É importante verificar se os anéis estão nivelados utilizando um nível (figura 40B).

Figura 40 - Processo de cravação e nivelamento dos cilindros



Fonte: Autora (2023)

Após isso, um saco de lixo foi colocado para cobrir o cilindro interno lateralmente e no fundo, com o intuito de protegê-lo e evitar a infiltração da água no solo antes do início do teste. A régua graduada foi instalada na parede interna do cilindro menor. Em seguida, água foi depositada dentro do cilindro maior (Figura 41 A e B). Esse procedimento visava neutralizar o efeito da infiltração lateral, assegurando que a água utilizada dentro do cilindro interno, que seria efetivamente ensaiada, filtrasse verticalmente. Em outras palavras, a adição de água ao cilindro externo tinha como único objetivo garantir que a entrada de água no solo do anel interno ocorresse de maneira mais vertical possível.

Figura 41 - Procedimento ensaio



Fonte: Autora (2023)

A etapa seguinte consistiu em depositar água dentro do cilindro menor (Figura 42A), que ainda estava coberto pelo saco de lixo. Nesse momento, foi realizada a leitura inicial da altura da água, denominada como minuto zero. Para iniciar efetivamente o ensaio, o saco plástico foi rasgado e removido, e nesse momento foi iniciada a contagem de tempo com o cronômetro (Figura 42B).

Figura 42 - Fases do teste de infiltração



Fonte: Autora (2023)

Em seguida, foram realizadas as leituras na régua, que indicavam o nível da água no cilindro menor, nos seguintes intervalos de tempo: 1, 3, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90,

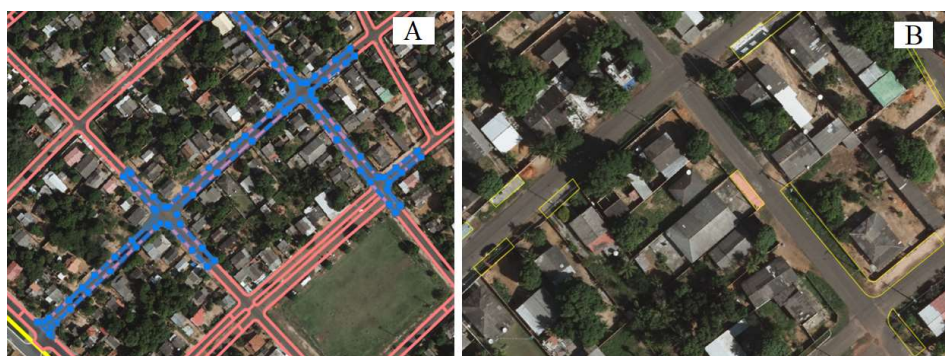
120 e 150 minutos. Foi necessário repor a água sempre que o nível nos anéis se aproximava de 10 cm de altura.

É importante destacar que, em casos de rápida infiltração, foi necessário realizar a reposição da água entre as leituras, bem como estender o período de tempo do ensaio para garantir que a velocidade de infiltração se mantivesse constante. Em ambos os casos, foi necessário anotar a leitura no momento da reposição, mesmo que estivesse fora do intervalo de tempo descrito anteriormente. Considerou-se que a infiltração estava constante, ou seja, o ensaio poderia ser encerrado, quando o valor da velocidade de infiltração se repetia por pelo menos três vezes consecutivas. Também foi importante manter a carga hidráulica no cilindro externo semelhante à do cilindro interno.

Durante a execução do ensaio, todos os dados foram registrados em uma planilha de campo, a partir da qual foram obtidas as Taxas de Infiltração Acumulada e a Velocidade de Infiltração Básica. Além disso, foi realizado o levantamento do percentual de impermeabilização da área em estudo, a nível de bairro, utilizando os resultados obtidos anteriormente e atualizados conforme descrito na seção 4.3. Esses dados foram calculados utilizando o software AutoCAD e uma planilha do Excel.

No nível do bairro, foram delimitados polígonos fechados correspondentes às ruas asfaltadas (figura 43A). Também foi realizado o levantamento das calçadas existentes que estavam impermeabilizadas (figura 43B), ou seja, revestidas com materiais impermeabilizantes como concreto, cerâmica, entre outros. Foram consideradas calçadas as áreas em frente aos lotes.

Figura 43 - Itens urbanísticos na escala de bairro



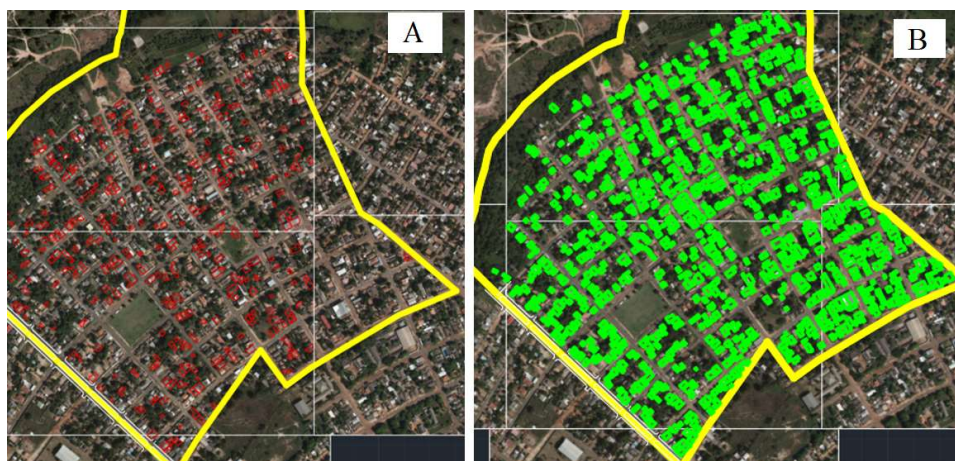
Fonte: Autora (2023)

O objetivo era obter uma estimativa aproximada das áreas impermeabilizadas em escala de lote, a fim de avaliar a conformidade da área de estudo com a legislação municipal

em relação aos parâmetros urbanísticos de taxa de ocupação máxima e taxa de permeabilidade do terreno, estabelecidas na Lei nº 926/2006 (Brasil, 2006c). Além disso, buscava-se mapear esses lotes e classificá-los de acordo com o percentual de áreas disponíveis para a aplicação das técnicas de drenagem sustentáveis calculadas nesta pesquisa.

Para realizar essa análise, como mencionado na seção 3.3 deste estudo, foi necessário atualizar as informações das edificações. Para isso, foram criadas as camadas "Casas 2023" (figura 44A), que representavam as construções realizadas após o ano de 2014, e as edificações "2014" (figura 44B), que correspondiam às construções existentes no ano de 2014, que foram utilizadas na imagem fotogramétrica empregada nesta pesquisa.

Figura 44 - Atualização das edificações do bairro



Fonte: Autora (2023)

Ao combinar os polígonos das edificações com os respectivos lotes, foram registradas as áreas impermeabilizadas dentro de cada lote. No entanto, é importante destacar que, devido à impossibilidade de obter informações atualizadas sobre o revestimento dos lotes, neste item foi considerado apenas os telhados existentes no local. Essa limitação ocorreu devido à resolução da imagem do Google Earth, que não permitia essa definição em detalhes nesta escala específica.

3.3.4 Manejo de águas pluviais ou sistema de drenagem urbana

A infiltração das águas de chuva dentro dos lotes urbanos é uma possível forma de promover o controle descentralizado do escoamento superficial na origem, com vistas ao gerenciamento das águas pluviais urbanas e consequente atenuação das cheias (GRACIOSA, 2005).

Segundo a lei municipal nº 1959/2019, que alterou os parâmetros urbanísticos constantes no anexo II da lei nº 926/2000, o município de Boa Vista considera, para a área em estudo, uma taxa máxima de ocupação do terreno de 70% e uma taxa de permeabilidade mínima de 30%.

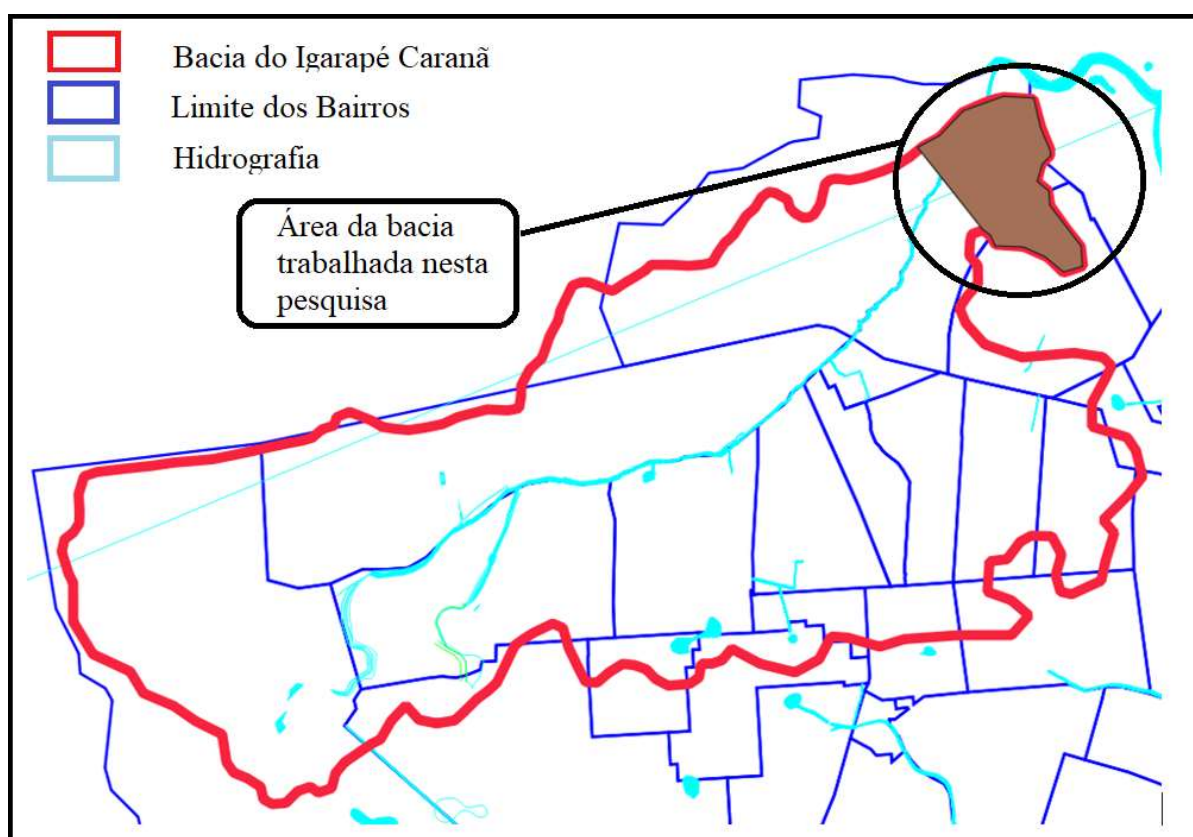
Para essa etapa do trabalho, foram considerados dois tipos de medidas compensatórias, aplicadas na escala do lote, com o objetivo de captar e direcionar as águas provenientes dos telhados e áreas impermeabilizadas. Nesse sentido, propôs-se a instalação de calhas de beiral para coletar a água dos telhados e direcioná-la para uma bacia de bioretenção. Essa bacia não apenas recebe as águas pluviais, mas também possui uma função estética, uma vez que é projetada com vegetação diversa, promovendo maior infiltração e purificação natural das águas, além de contribuir para a redução da velocidade do fluxo.

A segunda opção consistiu em utilizar uma trincheira com o mesmo propósito de coletar água proveniente do telhado. Essa opção foi projetada visando atender às pessoas que não desejam ter plantas em seu quintal, uma vez que a trincheira é composta apenas por material granular em sua superfície. Para o dimensionamento da trincheira de infiltração, foi adotado o método da curva-envelope, devido à sua simplicidade e aplicabilidade direta a partir dos dados de caracterização do local de implantação e da curva IDF. Esse método baseou-se na determinação dos volumes acumulados de entrada e saída do dispositivo.

3.3.4.1 Cálculo do Método Racional

Conforme mencionado no item 4.1 desta pesquisa, Sander et al. (2012a) mencionam que a bacia hidrográfica abrange uma área de 38,72 km², enquanto Veras e Souza (2012) relatam que o igarapé percorre uma extensão de 9,5 km, atravessando dez bairros da cidade. Dado o tamanho extenso da bacia do igarapé Caranã, neste estudo considerou-se apenas a área circundante ao bairro Jardim Caranã, abrangendo 1,3 km². Essa delimitação foi realizada utilizando o software QGIS, por meio da ferramenta calculadora de campo, como ilustrado na figura 45.

Figura 45 - Área da bacia do Igarapé Caranã trabalhada nesta pesquisa



Fonte: Autora (2023)

Para dimensionar as técnicas sustentáveis propostas, foi adotado o método racional para o cálculo do escoamento superficial. Esse método é aplicável a bacias de pequeno porte, com área igual ou inferior a 2 km².

A vazão do projeto é definida como o valor instantâneo de pico (ou o hidrograma de cheia) e é calculada indiretamente a partir da transformação da chuva de projeto em vazão de escoamento superficial. Esse cálculo é realizado utilizando a equação 3, que determina a vazão do projeto.

$$Q = \frac{C.i.A.10^{-3}}{3600}; \text{ (Equação 3)}$$

Onde,

Q = vazão máxima, em m³/s;

C = coeficiente de escoamento superficial ou de Runoff, adimensional;

i = intensidade média da chuva, em mm/h;

A = área da bacia, em m²;

O coeficiente C é baseado no tipo de superfície ou no tipo de ocupação, utiliza-se dos valores da tabela 1, devendo este ser escolhido de acordo com a superfície de cobertura do solo.

Tabela 3 - Valores de C de acordo com a superfície de revestimento

Superfície	C
Pavimento:	
Asfalto	0,70 - 0,95
Concreto	0,80 - 0,95
Calçadas	0,75 - 0,85
Telhado	0,75 - 0,95
Cobertura: grama/areia:	
Plano (declividade 2%)	0,05 - 0,10
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,10 - 0,15
Alta (declividade 7%)	0,15 - 0,20
Grama, solo pesado:	
Plano (declividade 2%)	0,13 - 0,17
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,18 - 0,22
Alta (declividade 7%)	0,25 - 0,35

Fonte: ASCE, 1969.

Um dado crucial para esta etapa é o tempo de retorno, pois, de acordo com Graciosa (2015), a primeira pergunta a ser respondida em qualquer projeto de drenagem é o período de retorno que se deseja atender. Esse período de retorno representa a média de tempo em que um determinado evento de precipitação é igualado ou superado pelo menos uma vez. Em outras palavras, ao iniciar um projeto de drenagem, é necessário determinar um intervalo de tempo para o qual o projeto será dimensionado.

A intensidade de precipitação é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação, expressa em mm/h ou mm/min. Essa intensidade é determinada por meio da curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência), que estabelece a relação entre a intensidade da precipitação, sua duração e a frequência com que ocorre. No presente estudo, a intensidade de precipitação para a área em estudo foi estimada utilizando a Equação de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) proposta por Tischer (2015) para o município de Boa Vista - RR. Essa

estimativa foi utilizada no dimensionamento de todas as técnicas sustentáveis projetadas neste trabalho, conforme demonstrado na equação 4.

$$i = \frac{813,87 \cdot T^{0,21}}{(t+9,52)^{0,72}}; \text{ (Equação 4)}$$

Sendo:

i = intensidade da precipitação, mm/h;

T = tempo de retorno, em anos; e

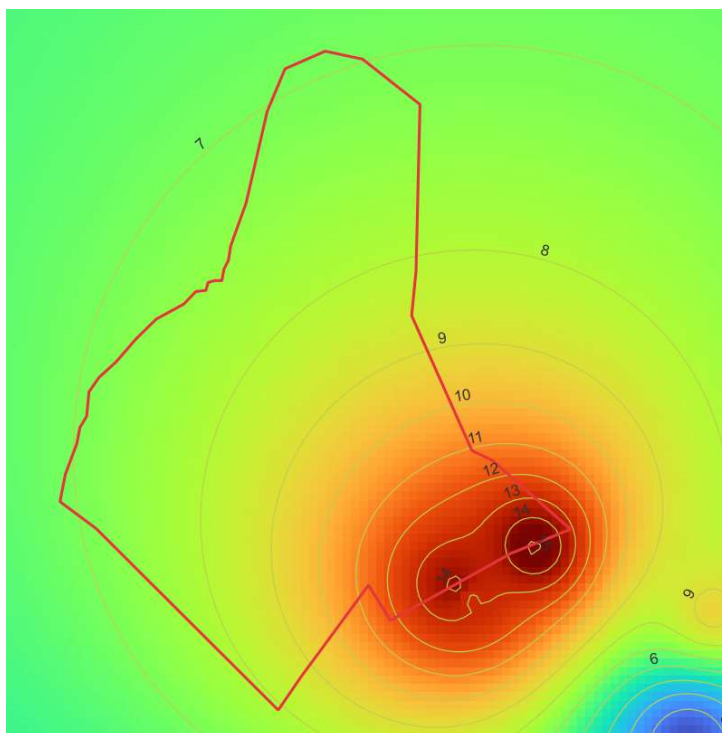
t = duração do evento (tempo de concentração), em minutos.

Os cálculos das intensidades de precipitação foram realizados considerando um tempo de retorno de 2 anos e uma duração de chuva de projeto de 15 min, valores esses adotados em obras de microdrenagem.

Um aspecto crucial que foi considerado para determinar a viabilidade das medidas de controle na fonte na área de estudo é o nível freático. Com relação à trincheira de infiltração, conforme mencionado por Melo et al. (2016), é essencial considerar a distância entre a base da trincheira e o lençol freático durante o planejamento do sistema. Isso é necessário para evitar a contaminação do lençol freático e garantir a capacidade hidráulica adequada. Já em relação ao uso de pavimento permeável, Chiappani, Pereira e Lima (2021) afirmam que não existem limitações, a menos que o nível do lençol freático seja alto. Os autores também mencionam que, no caso de um Jardim de chuva, o nível máximo do lençol freático deve ser de, no máximo, 1 metro abaixo do fundo do dispositivo.

Para a área em estudo, o nível freático (lençol freático) foi obtido por meio de um mapeamento realizado, que levantou todos os poços cadastrados no SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (BRASIL/SIAGAS) na área urbana de Boa Vista - RR. Esse mapeamento foi realizado utilizando o software QGIS, e a profundidade do nível estático dos poços está destacada na figura 46.

Figura 46 – Nível freático da área em estudo



Fonte: Autora (2023)

O SIAGAS é um sistema de informações de águas subterrâneas desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Ele consiste em uma base de dados de poços que é constantemente atualizada e possui módulos capazes de realizar consultas, pesquisas e gerar relatórios (BRASIL/SIAGAS). O sistema disponibiliza informações cadastrais, construtivas, geológicas, hidrogeológicas, testes de bombeamento e análises químicas dos poços.

Dentro da plataforma do SIAGAS, uma característica importante para esta pesquisa é o nível estático, que pode ser observado no perfil construtivo do poço, conforme demonstrado na figura 47. Na área de estudo, foram identificados três poços registrados no sistema que estão localizados nas proximidades. Esses poços são de propriedade da Companhia de Águas e Esgoto de Roraima - CAER. Os níveis estáticos registrados nesses poços foram de: 15,10 metros, 14,25 metros e 12,90 metros. Esses dados foram relevantes para a análise do nível freático na área e para o planejamento adequado das medidas de controle no local.

Figura 47 - Perfil construtivo de poço cadastrado no SIAGAS



Fonte: BRASIL/SIAGAS

A capacidade de infiltração utilizada será baseada nos valores obtidos por meio dos ensaios de anel concêntrico realizados em campo, como descrito no item 3.3.3 desta pesquisa. Esses ensaios forneceram informações precisas sobre a taxa de infiltração do solo na área em estudo, permitindo uma avaliação adequada da capacidade de absorção e armazenamento de água do solo. Esses dados são essenciais para o dimensionamento correto das técnicas sustentáveis propostas e garantem a eficácia das medidas de controle do escoamento superficial.

3.3.4.2 Cálculo do Jardim de chuva

Os jardins de chuva são sistemas recomendados para implantação em áreas residenciais, especialmente em quintais, devido à sua capacidade de receber águas provenientes de calçadas e telhados. Esses jardins são projetados considerando-se dimensões adequadas para pequenas áreas, seguindo o critério mínimo de dimensionamento de 5% da área da superfície impermeável, conforme mencionado por Li e Zhao (2008). Neste estudo, a área total do experimento foi determinada com base nessa porcentagem mínima de área impermeável adotada na literatura.

Neste estudo, a superfície impermeável foi definida como a área do telhado em metros quadrados. Em conformidade com o critério de dimensionamento de 5% estabelecido por Melo et al. (2014), foi determinada a área mínima necessária para o jardim de chuva. O cálculo do volume de água a ser direcionado para o jardim de chuva é realizado multiplicando-se a vazão pela duração, conforme indicado na equação 5.

$$V_E = Q \cdot t; \text{ (Equação 5)}$$

Sendo:

Q = vazão máxima, m³/s;

t = tempo de duração da chuva, segundos.

Após a conclusão dos cálculos, foi necessário converter o volume de entrada para litros.

Considerando que essas técnicas serão aplicadas ao nível do lote, os valores de tempo de retorno e duração da precipitação para essa técnica serão de 2 anos e 15 minutos, respectivamente.

Neste estudo, foi considerada a hipótese de que a infiltração ocorre tanto pelo fundo quanto pelas paredes da camada de armazenamento do jardim de chuva. Essa hipótese implica que a camada de armazenamento tem a capacidade de reter temporariamente a água infiltrada e distribuí-la tanto pelo fundo quanto pelas laterais da estrutura.

O volume de saída de uma estrutura de infiltração é determinado com base na superfície de infiltração. Ou seja, sua determinação é baseada na espessura acumulada de água de acordo com o teste de infiltração e no comportamento da água infiltrada no dispositivo. O volume de saída corresponde à quantidade de água que deixa o jardim de chuva e se infiltra no solo imediatamente abaixo da estrutura.

O volume de saída é calculado multiplicando-se a espessura acumulada de água no tempo t pela área de infiltração do experimento. Portanto, o cálculo da camada de armazenamento é obtido pela diferença entre o volume de entrada e o volume de saída do sistema, conforme a equação 6.

$$V_{SAÍDA} = A_{infiltração} \cdot I_{ac}; \text{ (Equação 6)}$$

Sendo:

$V_{SAÍDA}$ = volume de saída, m³;

$A_{infiltração}$ = área de infiltração, m²; e

I_{ac} = infiltração acumulada, m.

A infiltração acumulada utilizada nos cálculos deve corresponder àquela obtida no ensaio de infiltração realizado em campo. Quanto à área de infiltração, ela é determinada pela área do cilindro interno do infiltrômetro de anéis concêntricos e pode ser calculada utilizando a seguinte expressão (equação 7).

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r (r + h); \text{ (Equação 7)}$$

O volume na camada de armazenamento é o volume mínimo de água que o jardim de chuva deve ser capaz de armazenar durante e após a chuva. Ele é calculado como a diferença entre o volume de entrada e de saída do sistema, conforme demonstrado na equação 8.

$$VO_{\text{ARMAZENAMENTO}} = V_{\text{ENTRADA}} - V_{\text{SAÍDA}}; \text{ (Equação 8)}$$

Sendo:

$VO_{\text{ARMAZENAMENTO}}$ = volume de armazenamento, litros;

V_{ENTRADA} = volume de entrada, litros;

$V_{\text{SAÍDA}}$ = volume de saída, litros.

Para compor o jardim de chuva, foi planejada a inclusão de uma camada de areia entre a camada de brita e o solo natural, desempenhando a função de filtro natural no sistema.

A altura da camada de brita foi calculada de forma a garantir que possa armazenar temporariamente o volume de água infiltrada durante o tempo de retorno de 2 anos e a duração da chuva de projeto de 15 minutos. Esses valores são amplamente utilizados em obras de microdrenagem e seguem a metodologia proposta por Melo et al. (2014).

A camada de areia no jardim de chuva foi posicionada diretamente sobre o solo natural, sendo considerada uma porosidade de 25%, conforme sugerido por Urbonas e Stahre. Essa porosidade foi utilizada para calcular o volume de água retida nessa camada. A altura da camada de areia foi de 12 cm.

Assim, para determinar a altura da camada de brita, foi adotada a seguinte equação, que é resultado da combinação das Equações 3 e 8, de acordo com Melo et al. (2014). A altura da camada de brita foi determinada pela Equação 9:

$$H_b = \frac{\left(C.i.A.t \frac{10^{-3}}{3600} - I_{ac} \cdot B.L - I_{ac} \cdot L.h_A - I_{ac} \cdot B.h_A - h_A \cdot B.L.\eta_A \right)}{B.L.\eta_B + I_{ac} \cdot L + I_{ac} \cdot B}; \text{ (Equação 9)}$$

Sendo:

H_b = altura de brita, metros;

h_A = altura da camada de areia, metros;

C = coeficiente de escoamento, adimensional;

I = intensidade da precipitação, mm/h;

A = área da bacia, m²;

t = tempo do ensaio de infiltração, segundos;

B e L = largura e comprimento da base do dispositivo, metros;

I_{ac} = infiltração acumulada;

η_A = porosidade da areia, adimensional;

η_B = porosidade da brita, adimensional;

Seguindo a recomendação da literatura, o dimensionamento do jardim de chuva é adequado para áreas de pequeno porte. Conforme sugerido por Christensen e Schmidt (2008), o dimensionamento deve considerar uma proporção de 5% a 20% da superfície impermeável. Li e

Zhao (2008), na Nova Zelândia, adotaram tamanhos de jardim de chuva na faixa de 5% a 10% da área impermeável. Para este estudo, foi adotada a proporção de 20%.

A variação no armazenamento pode ser expressa pela soma dos volumes armazenados nas camadas de brita e areia, conforme definido pela Equação 10:

$$V_{\text{ARMAZENAMENTO}} = (B \cdot L \cdot H_B \cdot \eta_B) + (B \cdot L \cdot h_A \cdot \eta_A); \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo:

$V_{\text{ARMAZENAMENTO}}$ = é a variação de armazenamento, m³;

B e L = largura e comprimento da base do experimento, metros;

H_B = altura da camada de brita, metros;

h_A = altura da camada de areia, metros;

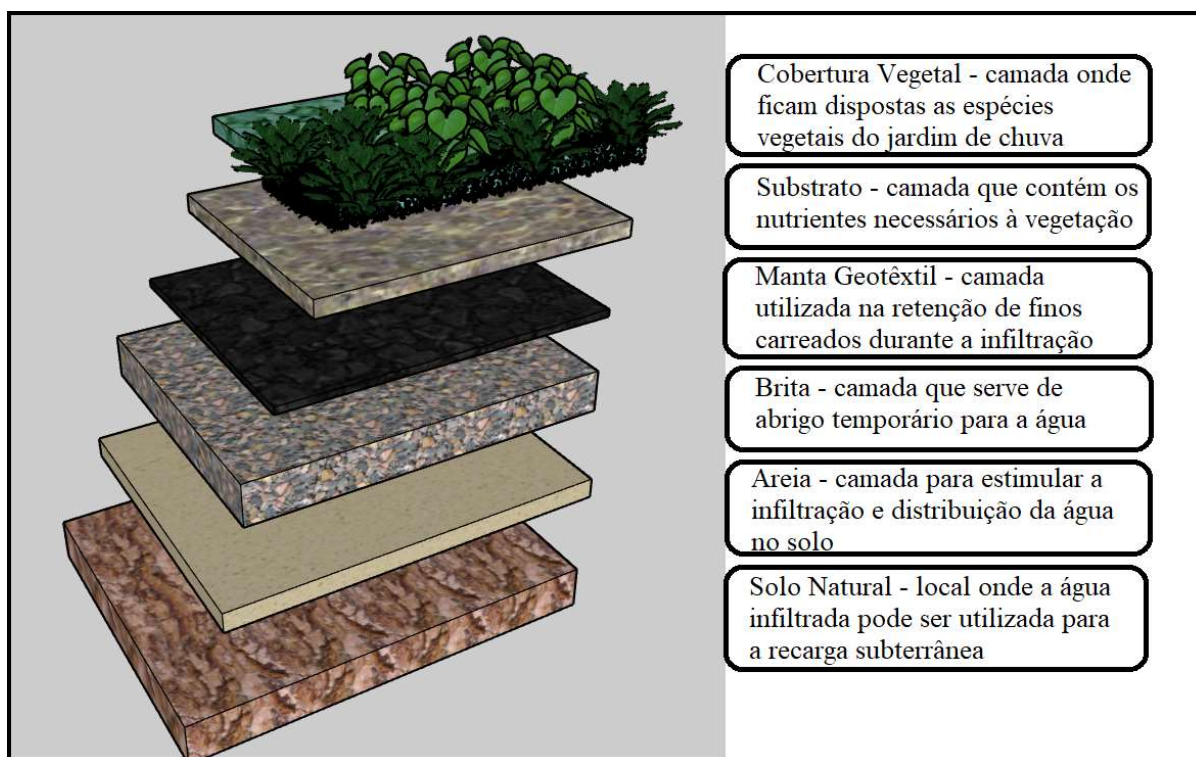
η_A = porosidade da areia (adimensional);

η_B = porosidade da brita (adimensional);

Conforme mencionado por Melo et al. (2014), recomenda-se que a camada de areia tenha uma espessura entre 10 cm e 20 cm. Para esta pesquisa, foi adotada uma camada de areia de 15 cm.

Acima da camada de brita encontra-se o substrato, que teve uma altura de 20 cm neste trabalho, a fim de acomodar as raízes da vegetação. Entre a camada de brita e o substrato, optou-se por instalar uma manta geotêxtil, seguindo a sugestão de Melo et al. (2014). Essa manta tem o objetivo de evitar a entrada de partículas finas e elementos contaminantes. A figura 48 ilustra as camadas que compõem um jardim de chuva.

Figura 48 - Estrutura básica para um Jardim de Chuva



Fonte: Autora (2023)

Nesta pesquisa, não foram abordadas as definições dos tipos de vegetações a serem aplicadas no jardim de chuva, bem como questões relacionadas ao orçamento. O foco principal foi a análise e dimensionamento das camadas e componentes estruturais do jardim de chuva, levando em consideração os aspectos hidrológicos e de drenagem.

3.3.4.3 Cálculo da Trincheira de infiltração

Existem dois tipos de trincheiras: trincheira de retenção e trincheira de infiltração, e a escolha entre elas depende do tipo de solo presente no local. Para solos mais permeáveis, a trincheira de infiltração é adequada, pois permite que a água seja infiltrada no solo. Já a trincheira de retenção é utilizada em solos com baixa permeabilidade, onde a água retida precisa ser direcionada para um exultório pré-determinado, como a rede pluvial convencional.

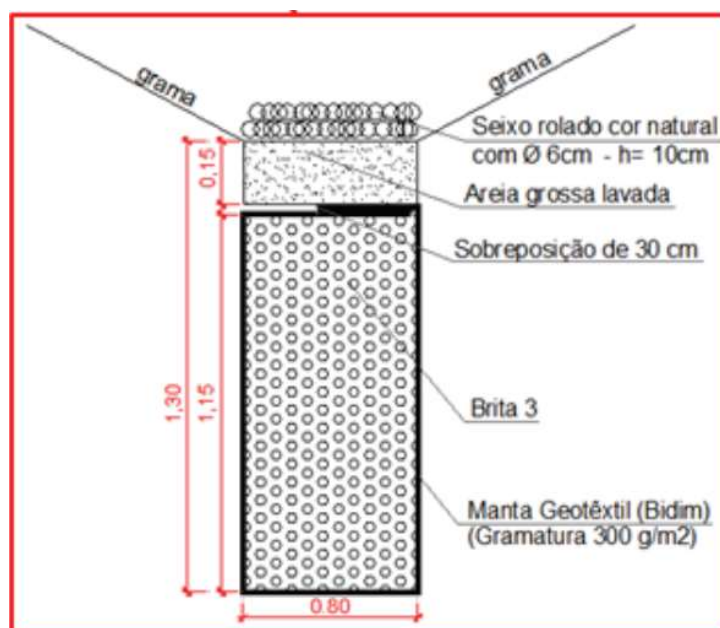
As trincheiras de infiltração são projetadas ao longo de superfícies impermeáveis para amortecer os volumes de água superficial. Essa técnica possui uma forma linear, onde o comprimento é maior do que a largura e profundidade da trincheira. Não existe um padrão específico de proporção entre as dimensões da trincheira de infiltração, podendo variar de acordo com as condições locais (Melo et al., 2016).

De acordo com Urbonas e Stahre (1993), não é recomendado o uso de estruturas de infiltração em terrenos onde o nível máximo do lençol freático esteja a menos de 1,20 m do fundo da trincheira.

Conforme mencionado por Melo (2016), as trincheiras de infiltração podem ter diferentes configurações, como superficiais ou enterradas, e formatos variados, incluindo trapezoidais ou retangulares, dependendo da disponibilidade de espaço no local.

Nesta pesquisa, foi adotado parcialmente o modelo de trincheira de infiltração proposto por Lucas et al. (2015). Nessa proposta, a fim de reduzir a colmatagem do sistema, foi incluída uma camada de manta geotêxtil instalada na superfície da trincheira. Essa camada tem como objetivo reter os finos carregados para a trincheira, que são responsáveis pela diminuição da taxa de infiltração ao longo da operação do sistema, afetando a vida útil dessas técnicas, conforme ilustrado na figura 49.

Figura 49 - Perfil de uma trincheira de infiltração



Fonte: Lucas et al. (2015)

Urbonas e Stahre (1993) definem alguns critérios para a escolha do local de sua implantação. Como restrição, os autores consideram que esses sistemas não devem ser instalados em áreas aterradas, em razão das alterações já realizadas no solo urbano. Outro fator determinante é a declividade do terreno, pois quanto mais inclinado, maior será a velocidade do escoamento superficial e menor será a captura desses volumes pela superfície da trincheira.

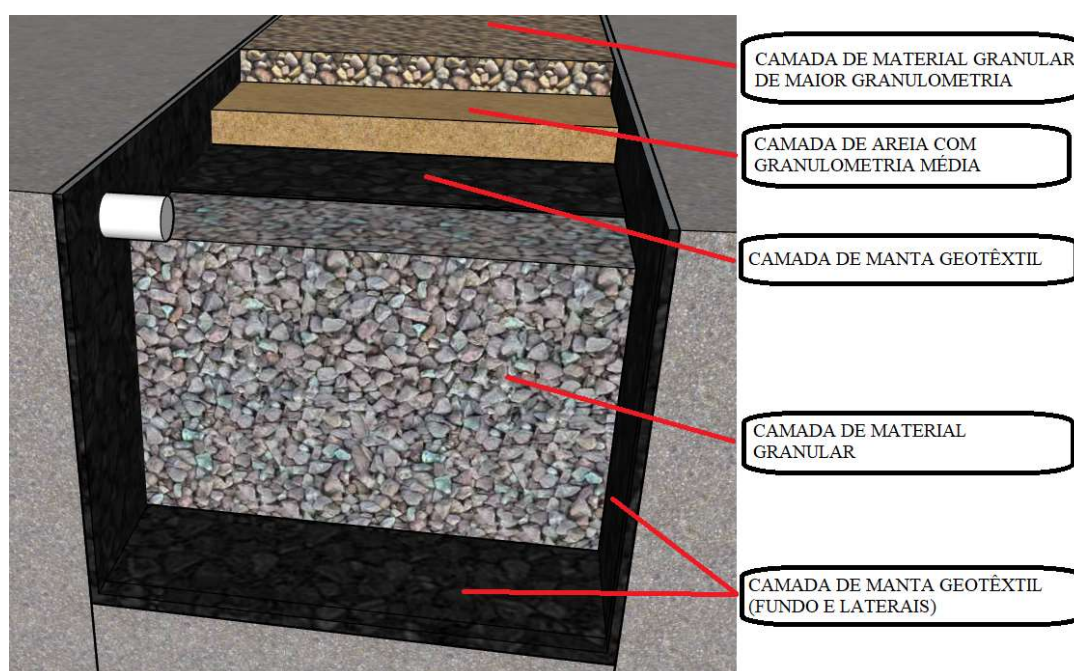
Urbonas e Stahre (1993) estabelecem critérios para a seleção do local de implantação das trincheiras de infiltração. Eles recomendam que esses sistemas não sejam instalados em áreas aterradas, devido às alterações já ocorridas no solo urbano. Além disso, a declividade do terreno é um fator determinante, pois terrenos mais inclinados resultam em maior velocidade de escoamento superficial e menor captura de água pela superfície da trincheira.

Creaco e Franchine (2012) consideram o tempo de drenagem como um dos principais parâmetros para o dimensionamento das trincheiras de infiltração, ou seja, o tempo necessário para esvaziar o sistema. De acordo com Melo et al. (2016), é desejável que esse tempo seja reduzido, especialmente considerando a frequência dos eventos de precipitação, para que o sistema tenha uma resposta de esvaziamento rápida.

Um aspecto importante mencionado por Urbonas e Stahre (1993) é que o fundo da trincheira está sujeito a uma colmatagem mais rápida devido à deposição de sedimentos. Alguns autores recomendam que o fundo seja impermeável, permitindo apenas a percolação pelas paredes verticais da trincheira.

Lucas et al. (2015) relatam que o uso de manta geotêxtil tem como objetivo conter os sedimentos carregados para o interior da trincheira. No entanto, a manta instalada na superfície de infiltração corre o risco de ser colmatada mais rapidamente. Na composição da trincheira, são utilizadas camadas de materiais granulares com diferentes granulometrias e manta geotêxtil, conforme ilustrado na figura 50.

Figura 50 - Detalhe interno de uma trincheira de infiltração



Fonte: Autora (2023)

No projeto da trincheira, utilizou-se como referência a metodologia proposta por Silveira e Goldenfum (2007), que se baseia no método da curva-envelope. A equação de chuva proposta por Tischer (2015) para o município de Boa Vista - RR foi adotada, considerando um tempo de retorno de 2 anos.

No dimensionamento de uma trincheira de infiltração, é necessário fixar o comprimento com base no traçado arquitetônico. É importante evitar projetar uma trincheira muito estreita, pois isso dificultaria sua execução. Da mesma forma, dimensioná-la muito larga pode inviabilizar sua construção, uma vez que exigiria uma área muito grande no terreno. Para este trabalho, optou-se por larguras entre 80 centímetros a 1,20 metros, medidas comumente utilizadas.

Para iniciar o cálculo, foi necessário fixar o comprimento (L) e a largura (B) da trincheira, e para se obter o valor de sua profundidade (H), assumiu-se que os valores do método racional e do cálculo de intensidade pluviométrica já tinham sido determinados, conforme indicado no início desta etapa.

Considerando a área de captação do dispositivo como BL, pode-se calcular o fator adimensional, conforme a equação 11.

$$\beta = \frac{CA}{BL}; \text{ (Equação 11)}$$

onde:

A = área contribuinte à trincheira, pavimento em m²

C = coeficiente de escoamento da área contribuinte, conforme tabela 1

B = largura da trincheira em m;

L = comprimento da trincheira em m;

Foi considerada como área de percolação, ou seja, de passagem da água da trincheira para o solo, a área das paredes laterais (o fundo não foi considerado, pois admite-se colmatação rápida). Desta forma utilizou-se a equação 12.

$$\gamma = \frac{2L}{LB} = \frac{2}{B}; \text{ (Equação 12)}$$

onde:

B em mm.

A capacidade de infiltração do solo é um elemento fundamental em um projeto de trincheira de infiltração. A vazão de saída (qs), que representa a água que percola pelas paredes da trincheira, foi calculada multiplicando a condutividade hidráulica saturada (Ksat) do solo

por um coeficiente redutor, devido ao processo de colmatção. A determinação da condutividade hidráulica saturada foi feita por meio de ensaios de infiltração, conforme especificado na seção 3.3.3 deste estudo. A equação 13 apresenta o cálculo da condutividade hidráulica saturada para a trincheira.

$$q_s = \alpha K_{sat}; \text{ (Equação 13)}$$

Para trincheiras, é recomendado que o coeficiente α esteja entre 0,1 e 0,5. Além disso, o solo utilizado não deve ser aterrado ou compactado. Outro fator importante é que a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) deve estar na faixa de 16 a 60 mm/h.

Em seguida, foram calculados os valores de K_1 e K_2 , conforme demonstram as equações 14 e 15, respectivamente.

$$K_1 = \left(\sqrt{\frac{a}{60}} \sqrt{\beta} T^{b/2} \right); \text{ (Equação 14)}$$

$$K_2 = \left(\sqrt{\frac{c}{60}} \sqrt{\gamma} \sqrt{q_s} \right); \text{ (Equação 15)}$$

No entanto, para calcular os valores de K_1 e K_2 , foi necessário determinar os parâmetros a , b e c por meio da relação entre a equação IDF (equação 4) e o método de Talbot (equação 16). Esses valores serão obtidos ao estabelecer uma correspondência entre as duas equações.

$$i = \frac{K.T^m}{(t+d)^n}; \text{ (Equação 16)}$$

Desta forma, partindo de simulações numéricas, conforme determinado por Silveira e Goldenfum (2007), as seguintes expressões de conversão foram estabelecidas para a , b e c , respectivamente, conforme equações 17, 18 e 19.

$$a = 0,68. K. \exp(0,06)n^{-0,26}d^{1,13}; \text{ (Equação 17)}$$

$$b = m; \text{ (Equação 18)}$$

$$c = 1,32. n^{-2,28}. d^{0,89}; \text{ (Equação 19)}$$

Para obter-se o cálculo da profundidade ou espessura da camada de brita na trincheira, em cm, foi utilizada a equação 20.

$$H = \frac{1}{10} \cdot \left[\frac{K_1 (K_2 - \sqrt{\eta})}{\eta - K_2^2} \right]^2 ; \text{ (Equação 20)}$$

onde:

H= Profundidade média do volume de acumulação do dispositivo, em mm;

η = porosidade do material de enchimento do dispositivo

Considera-se um valor referencial para H na ordem de 100 cm, sem que isto constitua um limite. A profundidade H, somada às camadas de fundo (em caso de filtro de areia) e de superfície (recobrimento, caso haja), foi considerada a profundidade total da trincheira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO URBANÍSTICA E OS ASPECTOS FÍSICO-TERRITORIAIS PARA O BAIRRO JARDIM CARANÃ

Após a realização das etapas anteriores temos a avaliação dos resultados a seguir.

4.1.1 Índices urbanísticos de Áreas verdes

Durante as visitas realizadas ao bairro, foi possível perceber que o mesmo era altamente urbanizado. Verificou-se a inexistência de praças na área, e apenas dois espaços livres (figura 51), ou seja, não edificadas, foram encontrados, que estavam dentro dos padrões citados anteriormente por Silva, Santos e Oliveira (2016).

Figura 51 - Áreas livres identificadas no bairro



Fonte: RCCaleffi (2023)

Para a realização do item 3.3.1 desta pesquisa, foi necessário obter alguns dados do bairro Jardim Caraná, utilizando o software AutoCad. Os dados encontrados foram os seguintes: a área total do bairro, que totalizou um valor de 925.672,62 m²; as áreas das copas, que totalizaram 138.670 m², excluindo a Área de Preservação Permanente não urbanizada; e as áreas verdes desocupadas, que mediram 9.763,63 m² e 3.532,00 m², totalizando 13.295,63 m² de áreas livres.

Outro dado utilizado foi a população do bairro, que, de acordo com o IBGE (2010b), era de 890 pessoas, com base na última pesquisa realizada in loco pelo instituto no ano de 2010.

No entanto, considerando a defasagem desses dados, optou-se por realizar uma projeção utilizando um método aritmético. O cálculo foi feito utilizando a proporção da projeção oficial estimada para o ano de 2021. Mantendo a mesma proporção da cidade aplicada ao bairro, que foi de 53,50%, obteve-se uma população estimada de 1367 pessoas para o ano de 2021.

A Tabela 4 apresenta os dados de áreas e o número de habitantes distribuídos no bairro em estudo.

Tabela 4 - Dados de áreas e população do bairro

Área do bairro (m²)	925.672,62 m ²
Área livre total desocupada do bairro (m²)	13.295,63 m ²
Área Total de Copas (m²)	138.670,00 m ²
População do bairro	1367 pessoas

Fonte: Autora (2023)

Quanto aos índices urbanísticos, obteve-se:

4.1.1.1 Índice de Área Verde Total (IAVT)

Para calcular o Índice de Área Verde Total (IAVT) do bairro Jardim Caranã, foram consideradas duas hipóteses. Na primeira hipótese, foram consideradas as duas áreas livres existentes no bairro. Na segunda hipótese, foi utilizada apenas a área de 3.532,00 m² identificada como "Área institucional".

No primeiro cálculo, somou-se as áreas verdes existentes no bairro, expressas em metros quadrados (m²), e dividiu-se pelo número de habitantes da área do bairro. Isso resultou em um valor de 9,73 m²/habitante. Na segunda hipótese, o mesmo cálculo foi realizado, porém considerando apenas a área de 3.532,00 m² do terreno identificado como "Área institucional". Esse cálculo resultou em um valor de 2,58 m²/habitante.

A Tabela 5 apresenta os dados obtidos nos cálculos dos índices.

Tabela 5 - Índice de Área Verde Total do bairro Jardim Caranã

Área Livre existente (m²)	População estimada para o bairro (hab)	IAVT (m²/hab)
13.295,63	1367	9,73
3.532,00	1367	2,58

Fonte: Autora (2023)

De acordo com a classificação proposta pela Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU), que sugere um Índice de Área Verde (IAV) de pelo menos 15 m²/habitante, nos dois casos analisados no bairro Jardim Caranã, os resultados estão abaixo do ideal.

Observou-se que quanto menor a quantidade de área livre, menor é o índice encontrado, o que está de acordo com o trabalho de Barros et al. (2015), no qual onze dos bairros estudados não possuíam área verde, contribuindo para o aumento da temperatura urbana. No entanto, mesmo sem possuir áreas de praças, o bairro Jardim Caranã pode ser considerado em uma situação relativamente boa, levando em consideração os dois espaços verdes livres existentes. Além disso, com a quantidade de área verde disponível na primeira hipótese, justificaria-se a construção de um espaço de convivência pública para a população local.

Por outro lado, na segunda hipótese, o valor obtido foi significativamente abaixo do indicado pela SBAU. No entanto, ao analisar os índices encontrados em outros estudos, percebe-se que os valores são semelhantes. Barros et al. (2015) obteve um IAVT de 1,40 m²/habitante para o total dos bairros estudados. Silva, Santos e Oliveira (2016), em um estudo realizado em praças na cidade de Gurupi, TO, encontraram um IAVT de 1,46 m²/habitante. Além disso, o estudo de Harder, Ribeiro e Tavares (2006), realizado no município de Vinhedo, SP, alcançou um valor de 2,19 m²/habitante. Esses índices demonstram uma quantidade total de área livre muito abaixo do ideal para a quantidade de população existente na área, indicando características de um local amplamente urbanizado.

4.1.1.2 Índice de cobertura vegetal (ICV)

Para calcular o Índice de Cobertura Vegetal (ICV), foi realizado o somatório das áreas de copa (em metros quadrados) do bairro, totalizando 138.670,00 m², e em seguida, dividiu-se esse valor pelo número de habitantes da área, que é 1367. Como resultado, obteve-se um ICV de 101,53 m²/habitante. É importante ressaltar que todas as áreas de copa existentes no bairro foram consideradas, incluindo aquelas dentro dos lotes, e apenas a Área de Preservação Permanente (APP) preservada foi excluída dos cálculos. A Tabela 6 apresenta o valor do Índice de Cobertura Vegetal para a área em estudo.

Tabela 6 - Índice de Cobertura Vegetal do bairro Jardim Caranã

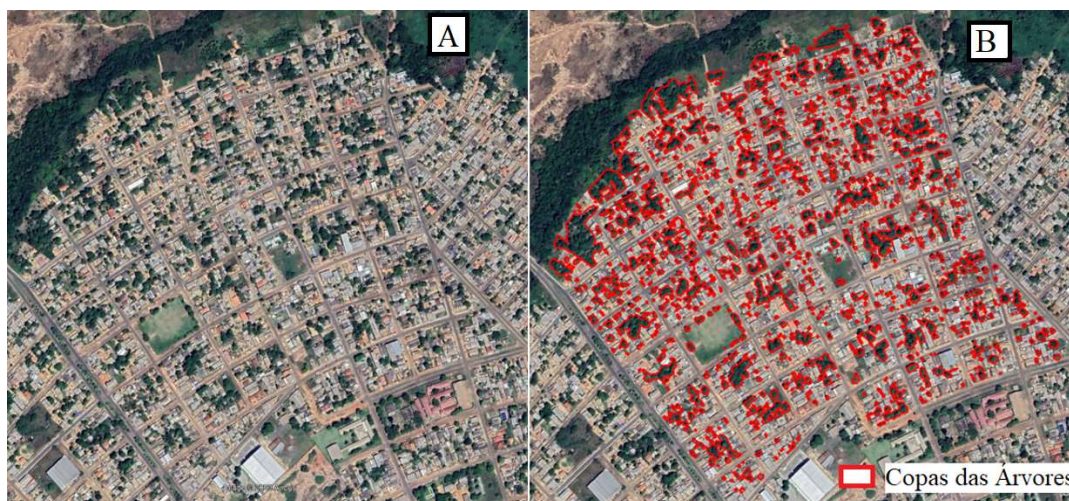
População em 2010 para o bairro (hab)	Área verde Total (m²)	ICV (m²/hab)
1367	138.670,00	101,53

Fonte: Autora (2023)

Para esse índice, foi utilizado o valor mínimo sugerido pela Organização das Nações Unidas (ONU), que é de 12 m²/habitante de cobertura vegetal. O resultado obtido mostra que o bairro apresenta um índice elevado, o que se deve não apenas à baixa densidade populacional, mas também à presença significativa de árvores na área.

Em um estudo realizado por Arruda et al. (2013), foi apresentado um valor de ICV de 9,57 m²/habitante para o centro urbano de Mossoró, considerando quatro bairros, com uma população total de 21.433 pessoas e uma área total de copas de 205.166,60 m². A Figura 52A mostra o bairro em geral, e a Figura 52B ilustra os resultados do levantamento das copas.

Figura 52 - Copas das árvores do bairro Jardim Caranã



Fonte: Autora (2023)

Durante a visita à área, foi bastante perceptível a marcante presença das árvores dentro dos lotes. Além disso, foi observada a presença de várias espécies frondosas, incluindo árvores frutíferas em muitos casos, como mostrado nas Figuras 53A e 53B.

Figura 53 - Arborização in loco



Fonte: Autora (2023)

À medida que a densidade demográfica de um bairro ou cidade aumenta, surge a necessidade de expandir as áreas verdes, preferencialmente através do plantio de espécies arbóreas com potencial de sombreamento. Isso visa alcançar um Índice de Área Verde (IAV) por habitante que contribua para a qualidade de vida da população. Nesse sentido, destaca-se a importância de um planejamento adequado das espécies vegetais que compõem esses espaços. Optar pelo uso de espécies nativas em vez de exóticas pode trazer benefícios significativos, uma vez que o plantio de plantas nativas aumenta as áreas verdes e torna o clima urbano mais agradável.

Durante o levantamento na área, foram realizados vários questionamentos aos moradores, especialmente aqueles da Rua Lucas de Matos, por estarem localizados em uma área de planície de inundação. Buscou-se obter informações sobre problemas relacionados a alagamentos e resíduos sólidos, bem como a falta de praças ou espaços públicos para o lazer das famílias. No que diz respeito às praças, todos concordaram que desejavam ter uma praça no bairro. A maioria relatou que utiliza praças em bairros vizinhos e sente falta de um espaço público onde possam conviver com suas famílias.

É importante destacar que a metodologia utilizada para calcular esses índices foi aplicada principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país. Roraima, localizado na região Norte do Brasil, na porção noroeste da Amazônia, possui características distintas das outras regiões brasileiras. Não foram encontrados trabalhos realizados especificamente na região amazônica para subsidiar esta pesquisa. No entanto, independentemente dessas diferenças, é fundamental obter esses índices, pois a pesquisa nessa área é crucial para subsidiar políticas e ações voltadas para a preservação, expansão e melhor uso das áreas verdes, contribuindo para a qualidade de vida das pessoas e a conservação do meio ambiente.

4.1.2 Impactos na planície de inundação

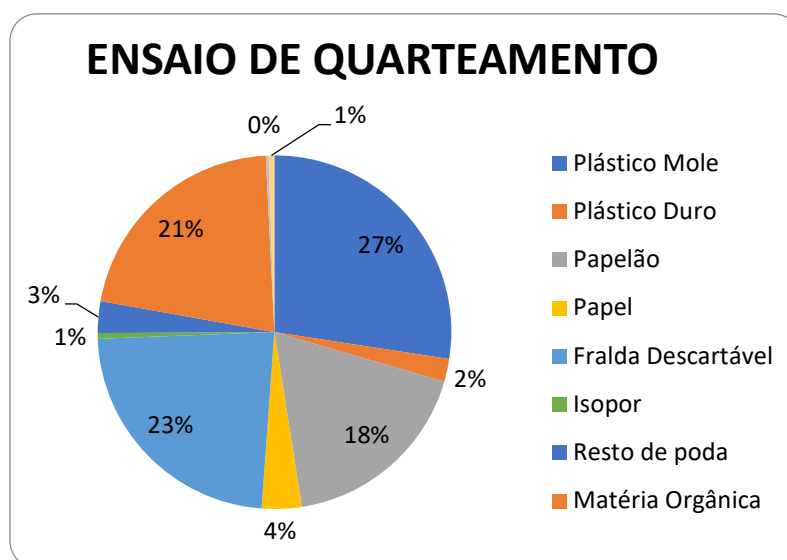
4.1.2.1 Resíduos sólidos urbanos

A gestão e o gerenciamento são elementos essenciais para minimizar o impacto ambiental causado pelos resíduos sólidos urbanos (RSU). No entanto, para que essas práticas sejam efetivas, é fundamental conhecer as características dos RSU gerados. Nesse contexto, é de grande importância obter informações sobre a origem e composição dos resíduos acumulados na área da bacia em estudo, especialmente por se tratar de uma planície de inundação.

O ensaio de composição gravimétrica desempenha um papel fundamental nessa pesquisa, pois além de classificar os tipos de materiais descartados no local, contribui para o desenvolvimento de um possível planejamento de limpeza urbana. Conforme citado pela Inea RJ (2021), a caracterização dos resíduos também é utilizada para auxiliar no planejamento, desenvolvimento de políticas públicas e tomada de decisões para uma gestão integrada de resíduos sólidos.

De acordo com a metodologia descrita, a amostra utilizada no ensaio apresentou a seguinte composição, conforme demonstrado no gráfico 2.

Gráfico 2 - Resultados do ensaio de quarteamento



Fonte: Autora (2023)

Os plásticos são polímeros que podem ser classificados em dois grupos com base no seu comportamento térmico durante o processo: termoplásticos (plásticos flexíveis) e termofixos (plásticos rígidos). Os termoplásticos, como garrafas PET e PVC, são recicláveis, enquanto os termofixos, como resina epóxi e silicone, não são recicláveis, mas podem ser reutilizados.

Após a análise qualitativa dos resíduos, observou-se que os materiais com maior percentual, ou seja, os mais representativos, foram: plástico flexível (27,42%), fralda descartável (23,24%) e matéria orgânica (21,41%). A Tabela 7 apresenta o percentual de cada tipo de resíduo, classificados em três grupos: compostáveis, recicláveis e rejeitos, com base na escala do maior para o menor percentual.

Tabela 7 - Resultado da análise gravimétrica realizada in loco

TIPO DE COMPOSIÇÃO	%	CLASSIFICAÇÃO
Plástico Mole	27,42	RECICLÁVEL
Fralda Descartável	23,24	REJEITO
Matéria Orgânica	21,41	COMPOSTÁVEL
Papelão	18,02	RECICLÁVEL
Papel	3,66	RECICLÁVEL
Resto de poda	2,87	COMPOSTÁVEL
Plástico Duro	2,09	RECICLÁVEL
Isopor	0,52	RECICLÁVEL
Vidro	0,52	RECICLÁVEL
Madeira	0,26	RECICLÁVEL

Fonte: Autora (2023)

A fração orgânica e os restos de poda foram classificados como compostáveis. Os itens como papel, papelão, plástico flexível e rígido, vidro, madeira e isopor foram considerados como recicláveis. Já as fraldas foram classificadas como rejeitos. É importante ressaltar que nem todos os resíduos classificados como rejeitos são necessariamente não recicláveis, pois cada material deve ser analisado individualmente. Além disso, é válido destacar que o isopor, que anteriormente era considerado um rejeito, passou a ser reciclável devido ao seu uso na construção civil nos últimos anos.

Durante breves conversas com os moradores, alguns relataram que parte dos materiais descartados eram provenientes de caminhões de outros bairros com resíduos de obras. No entanto, durante o ensaio realizado, não foi detectada a presença desse tipo de material, nem na amostra analisada, nem na área ao redor.

Durante as visitas à área, foram realizados três registros fotográficos em datas diferentes do local onde ocorre esse descarte. O primeiro registro foi feito em 10 de março de 2023, e pode-se observar, conforme ilustrado na figura 54 A e B, uma grande quantidade de sacos e sacolas de lixo residencial, folhagem seca e garrafas PET.

Figura 54 - Registro fotográfico do dia 10 de março de 2023



Fonte: Autora (2023)

Alguns dos moradores, quando questionados, admitiram que o lixo depositado naquela área é proveniente dos próprios habitantes da área. Além disso, relataram casos de pessoas que despejam na região veículos carregados de galhos. Essa situação foi constatada durante a visita realizada em 1º de abril de 2023, conforme ilustrado nas imagens 55 A e B.

Figura 55 - Registro da área no dia 01º de abril de 2023



Fonte: Autora (2023)

No dia 03 de maio, durante a terceira visita, verificou-se que houve chuvas quase diárias na semana anterior. Foi observado que o lixo plástico estava acumulado, dando a impressão de que a quantidade de resíduos na área havia aumentado. A figura 56 apresenta o registro fotográfico dessa data.

Figura 56 - Visita realizada no dia 03 de maio de 2023



Fonte: RCCaleffi (2023)

Durante as conversas com alguns moradores, foi relatado que animais mortos, principalmente cachorros, são frequentemente jogados na área de descarte. Isso foi evidenciado na primeira visita realizada, onde um forte odor de carniça era perceptível ao passar pela área. Os moradores também mencionaram que a Prefeitura Municipal de Boa Vista (PMBV) realiza retiradas de resíduos no local, embora não tenham certeza sobre a frequência dessas operações.

Ao realizar uma análise mais detalhada da área, foi observada uma presença significativa de materiais plásticos, como garrafas PET, sacolas e sacos de lixo (figura 57A e B), o que foi confirmado pelo ensaio realizado no local. Além disso, foram notados outros itens que não constavam na amostra analisada, como pneus, capacetes, carcaças de televisores, vasos sanitários e sofás.

Figura 57 – Volume de plástico acumulado na área em visita realizada dia 03 de maio de 2023



Fonte: RCCaleffi (2023)

Outro aspecto mencionado pelos moradores foi a prática de queima de resíduos. Embora não seja uma ocorrência frequente, há momentos em que os resíduos são incendiados. Os moradores também relataram a presença de catadores na área, principalmente em busca de

latas. Durante o ensaio de infiltração, que foi descrito posteriormente, observou-se a presença de um indivíduo aparentemente alcoolizado ou sob efeito de drogas catando lixo nesse local.

Para a área em estudo, a composição gravimétrica é importante na escolha das opções de tratamento e no dimensionamento, pois, combinada com a taxa de geração, permite estimar a quantidade de resíduos gerados por cada categoria avaliada.

É importante destacar que o local de descarte de resíduos está localizado dentro do perímetro afetado pela grande cheia de 2011, e há possibilidade de ocorrência de enchentes novamente, considerando sua recorrência nos anos de 1976 e 2011, conforme relatado por Sander et al. (2012b). A figura 58 A e B mostra uma imagem aérea atual com a delimitação (em vermelho) dessa área usada para descarte.

Figura 58 - Imagem de drone do local de descarte do lixo



Fonte: RCCaleffi (2023)

Em relação ao local de descarte, os resultados deste estudo indicaram que os resíduos encontrados nessa área são, sem dúvida, provenientes dos moradores que residem ali e de regiões próximas. Durante as visitas realizadas no local, não foram identificados resíduos de obras, pelo menos durante o período em que as visitas ocorreram.

4.1.2.2 Cheias na área de inundação

Durante as entrevistas, além da questão dos resíduos despejados na área de inundação, foram coletadas informações sobre as chuvas. De acordo com relatos dos moradores, durante os períodos chuvosos, a água costuma se aproximar da rua Lucas de Matos, que é a última rua do bairro. Segundo eles, a água chega bem perto das casas localizadas no mesmo lado onde o lixo é descartado, porém, isso não impede que continuem vivendo normalmente em suas residências. Os moradores afirmaram que nunca precisaram evacuar suas casas durante o inverno, com exceção da grande cheia ocorrida em 2011. A figura 59 apresenta uma visão aérea

atual da extremidade do bairro, destacando a área de Preservação Permanente (APP) do igarapé, que é caracterizada por uma vegetação mais densa, assim como a Rua Lucas de Matos e os lotes localizados na área de inundação.

Figura 59 - Imagem aérea feita através de drone mostrando a rua Lucas de Matos



Fonte: RCCaleffi (2023)

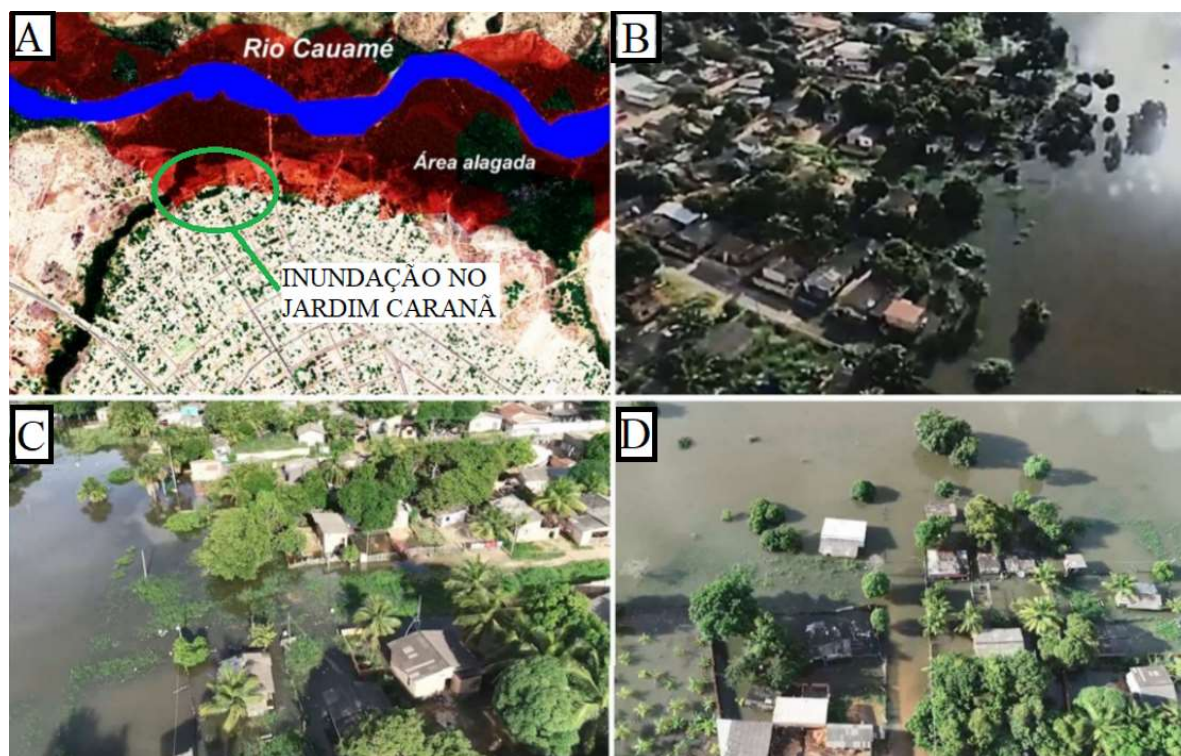
No ano de 2011, Boa Vista enfrentou uma das maiores cheias registradas na cidade. De acordo com o estudo de Souza, Barni e Galdino (2022), intitulado "Levantamento de dados espaciais da bacia do Rio Cauamé em apoio ao Ministério Público Estadual no inquérito civil - nº 025a/11/PJMA/2ºtit/MP/RR", foram utilizados dados espaciais da bacia do Rio Cauamé para delimitar, por coordenadas geográficas, e mapear o nível máximo da cheia dos rios e igarapés da área urbana de Boa Vista, levando em consideração a grande cheia de 2011.

O bairro em estudo abriga a foz do Igarapé Caranã, que deságua no Rio Cauamé. Souza, Barni e Galdino (2022) apresentam, em parte de seu artigo científico, uma simulação da área de inundação que é o foco desta pesquisa, utilizando dados da grande cheia ocorrida em 8 de junho de 2011. Sander et al. (2012b) mencionam que esse evento é considerado a maior cheia registrada do Rio Branco em Boa Vista, sendo o segundo maior evento da série ocorrido em 1976, resultando em um tempo de retorno estimado de 21 anos.

A figura 60A ilustra a área inundada simulada na margem direita do Rio Cauamé, obtida por Souza, Barni e Galdino (2022), juntamente com as imagens aéreas do bairro Jardim Caranã capturadas durante a enchente de 2011 na zona urbana de Boa Vista (Figuras 60B, 60C

e 60D). Segundo os autores, essas imagens foram obtidas por câmeras de vídeo em um sobrevoo de helicóptero realizado na área inundada e cedidas ao Ministério Público Estadual por um canal de televisão, após terem sido exibidas publicamente.

Figura 60 – Área inundável do Jardim Caranã durante a inundação no ano de 2011



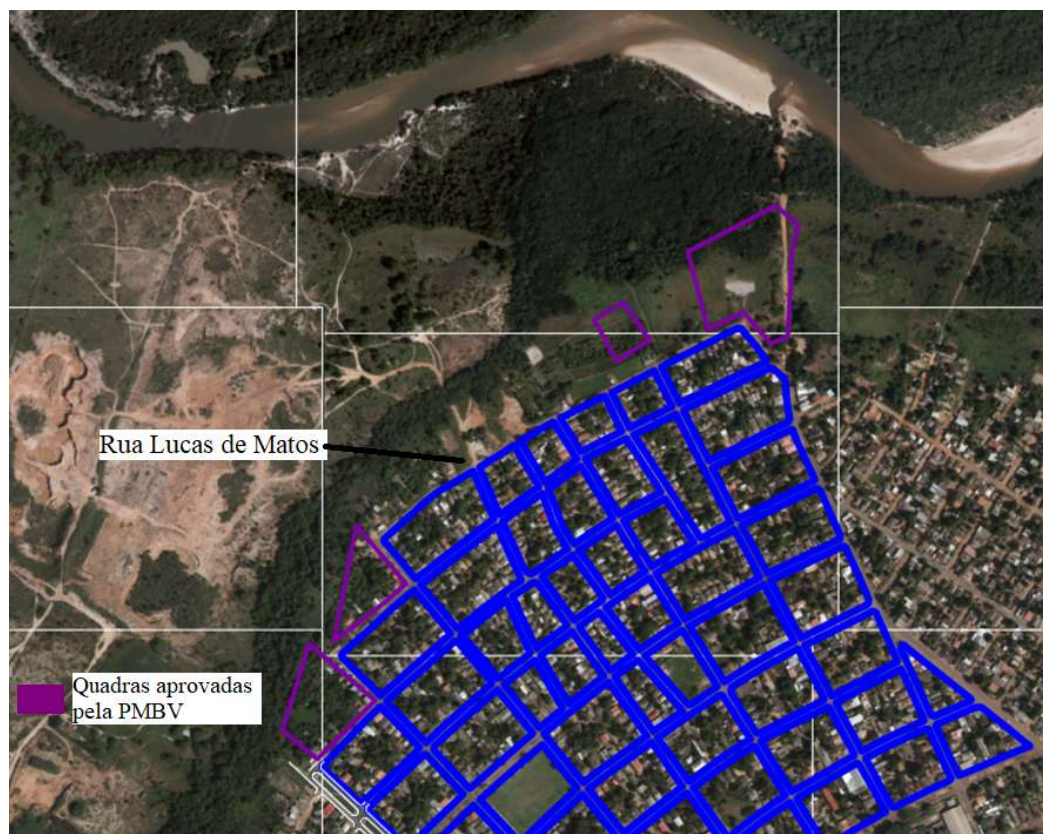
Fonte: Adaptado de Souza, Barni e Galdino (2022)

É relevante destacar que, durante as entrevistas, um dos moradores mais antigos na área em estudo, com mais de vinte anos de residência, afirmou ser um dos primeiros moradores e ainda ser proprietário de alguns terrenos na região que chamamos de planície de inunda o. Ele também mencionou que essa área surgiu por meio de uma invasão, o que justifica a presença dessas famílias em uma área propensa a inunda o. Conforme mencionado anteriormente por Sander et al. (2012), excluindo o evento de inunda o de 2011, o último evento ocorreu muito antes da invasão dessa  rea.

Durante a pesquisa, também foi abordada a questão da aquisi o dos lotes, e alguns entrevistados reconheceram que essa área foi ocupada de forma irregular. Além disso, outra constata o importante proveniente deste estudo é a presença de áreas loteadas aprovadas pela Prefeitura Municipal de Boa Vista (PMBV) dentro da área de inunda o. Essa percep o foi obtida ao comparar a imagem fotogramétrica com a base cartográfica fornecida pela Secretaria de Finanças do município para uso neste trabalho. A PMBV, por meio da Secretaria Municipal

de Finanças, é responsável pelo cadastramento dos lotes na área urbana da cidade. Ao compor as duas bases, foram identificadas essas quadras, representadas na cor roxa na figura 61.

Figura 61 - Quadras aprovadas pela PMBV dentro da área de inundação



Fonte: Autora (2023)

Observa-se também que na Rua Lucas de Matos, que marca o limite do bairro, encontram-se as últimas quadras. Em teoria, não deveriam existir lotes em frente a essas quadras, porém, durante a visita ao local, constatou-se que essa regra não está sendo seguida. Há várias residências nessa área, no entanto, é importante ressaltar que essas propriedades não são reconhecidas pela Prefeitura Municipal de Boa Vista (PMBV) e não possuem regularização. Isso fica evidente ao observar a figura 62, que apresenta uma visão aérea de toda a rua.

Figura 62 - Imagem de drone das últimas quadras do bairro, finalizando com a Rua Lucas de Matos



Fonte: RCCaleffi (2023)

No entanto, em relação ao lado não parcelado da Rua Lucas de Matos, foi observada a existência de um loteamento. A grande questão nesse caso é que, se o loteamento está presente na base cartográfica da Secretaria de Finanças, isso significa que ele foi aprovado e está apto para uso e comercialização. No entanto, durante a visita ao local e ao verificar a imagem atual do Google Earth, constatou-se que, até o final desta pesquisa, a área em questão não apresentava ocupação. A figura 63 mostra a composição dos mapas, destacando, por meio do polígono vermelho, a quadra mencionada.

Figura 63 - Loteamento aprovado pela PMBV dentro da área de inundação do bairro



Fonte: Autora (2023)

4.1.2.3 Situação do Balneário Caranã

Durante as visitas ao campo, foram realizadas inspeções no ponto onde o Igarapé Caranã deságua no Rio Cauamé. É evidente que a água na foz do Igarapé Caranã está eutrofizada, apresentando um aspecto turvo e a presença de lodo em suas margens. Conforme relatado por Sander et al. (2012a), há registros de lançamento direto de efluentes nos canais do igarapé, que percorre vários bairros da cidade antes de desaguar no Rio Cauamé. Segundo os autores, na área da bacia, não existia um sistema de coleta de esgoto, sendo comum o lançamento direto de resíduos, bem como o uso de fossas sépticas e negras para o esgoto. As figuras 64A e 64B ilustram a situação atual da foz da bacia.

Figura 64 - Foz do Igarapé Caranã



Fonte: Autora (2023)

Durante a visita à foz da bacia, também foi observada a presença de lixo dentro da água (figura 65). No entanto, não é possível determinar se esse resíduo foi trazido pela correnteza do rio ou se é resultado do descarte realizado na própria área do igarapé.

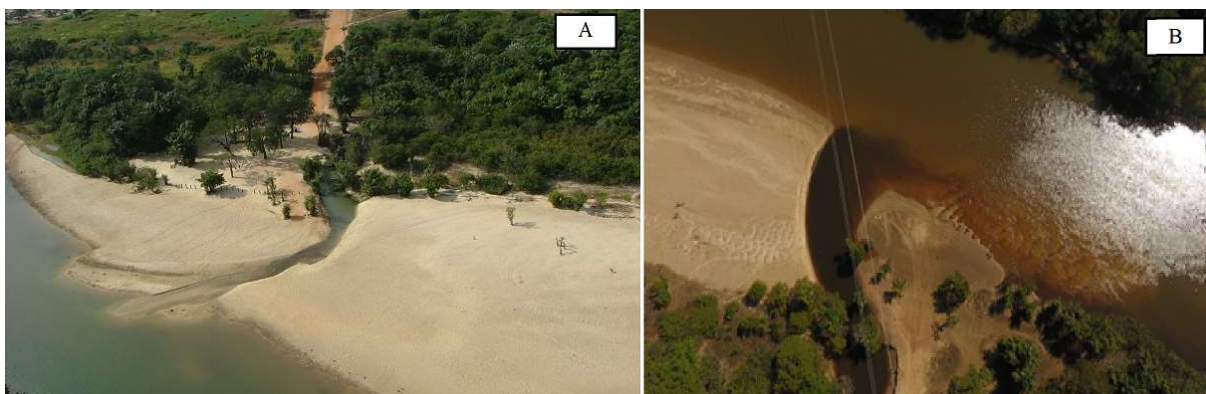
Figura 65 - Presença de lixo dentro da água do igarapé Caranã



Fonte: Autora (2023)

Uma das visitas ocorreu no domingo, dia 12 de março, com o intuito de avaliar o uso da área. Foi observado que o local está sendo utilizado como um ponto de lazer pelas famílias da região, pois muitas pessoas estavam aproveitando o rio Cauamé para tomar banho e se divertir. No entanto, notou-se que na foz do Igarapé Caranã não havia pessoas dentro da água, o que se repetiu em todas as visitas realizadas ao local. Essa ausência pode ser atribuída à coloração da água do igarapé, que apresenta uma tonalidade diferente. Essa diferença na coloração pode ser observada na figura 66, que exibe uma foto aérea tirada em fevereiro de 2007 (66A) e uma imagem capturada por drone em maio deste ano (66B).

Figura 66 - Foto de drone mostrando o encontro do Igarapé Caranã com o Rio Cauamé



Fonte: RCCaleffi (2023)

No entanto, a presença da coloração diferente na água do Igarapé Caranã não impediu que os banhistas desfrutassem das águas do rio Cauamé. Durante a visita realizada no domingo, foi observado um número considerável de veículos, incluindo carros, motos e bicicletas, além de um grande número de pessoas tomando banho na área. Isso pode ser constatado nas figuras 67 A e B, que ilustram a presença de banhistas e a animação do local.

Figura 67 - Balneário do Caranã em uso num dia de domingo



Fonte: Autora (2023)

Outro ponto interessante a ser mencionado é que a maioria das pessoas que estava na água optou por tomar banho na parte anterior ao ponto onde a foz do Igarapé Caranã deságua no rio Cauamé. No entanto, ainda havia algumas pessoas que escolhiam tomar banho na parte do rio Cauamé onde ocorria o encontro das águas, mas em menor quantidade, conforme ilustrado na figura 68.

Figura 68 - Banhistas atravessando a foz pra tomar banho



Fonte: Autora (2023)

O balneário existente na área do bairro em estudo desempenha um papel crucial como uma das poucas, ou até mesmo a única opção de lazer para as famílias locais. No entanto, sua verdadeira importância vai além disso e está relacionada principalmente às questões ambientais. Atualmente, o igarapé encontra-se em um estado de vulnerabilidade alarmante, devido ao processo de ocupação desordenada de suas margens e à contaminação causada pelo lançamento de esgoto e outros fatores. Esses impactos combinados estão contribuindo para a degradação desse recurso hídrico. É fundamental reconhecer a necessidade de tomar medidas urgentes para preservar e restaurar a qualidade do igarapé, visando proteger o meio ambiente e garantir um futuro sustentável para as comunidades locais.

4.1.3 Levantamento de infraestrutura urbana e de solo na área

4.1.3.1 Realização de ensaio de infiltração de solo no bairro

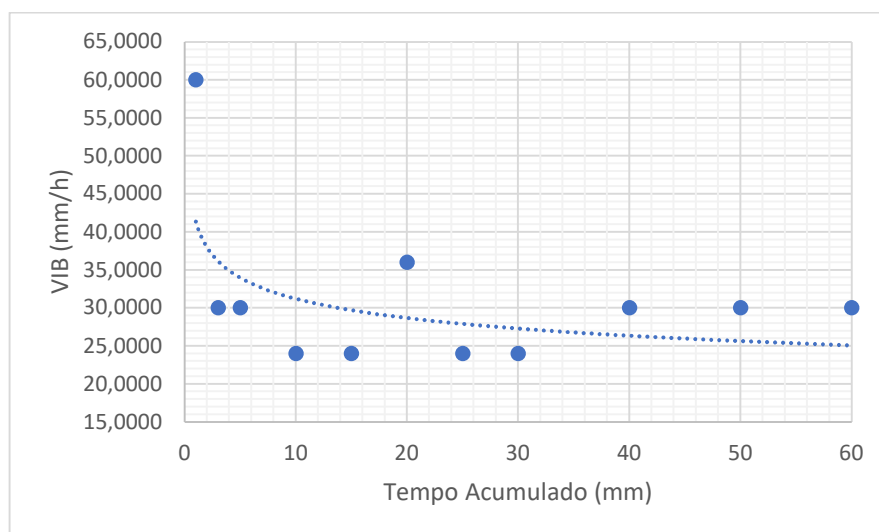
Quanto ao impacto da urbanização na bacia do igarapé Caranã, de acordo com Sander et al. (2012a), pode-se considerar que é bastante significativo. Dentre os fatores que exercem maior influência, os autores mencionam o processo de impermeabilização da bacia, o efeito da

drenagem que retira a água de forma mais rápida do sistema, além do grau de intervenção antrópica, que resultou em diferenças significativas no comportamento hidrológico. Os autores também afirmaram que o aumento do grau de impermeabilização dessa bacia, que na época do estudo era considerado incipiente, poderia intensificar os níveis de cheias, assim como ocasionar vazões muito baixas nos períodos de estiagem.

Levando em consideração essas questões mencionadas anteriormente, o objetivo foi determinar a velocidade de infiltração básica (VIB) na área em estudo. Para isso, foram realizados dois testes de infiltrômetro com anéis concêntricos no mês de abril de 2023. Dois locais distintos dentro do bairro foram escolhidos como pontos de aplicação da técnica. O primeiro foi o terreno institucional mencionado no item 5.1.1 desta pesquisa, enquanto o segundo foi o local onde ocorre o descarte de resíduos sólidos. A intenção dessa seleção foi avaliar o solo em dois pontos diferentes no bairro: um numa área mais elevada e fora da planície de inundação, e o outro com menor elevação e pertencente à área de inundação da bacia, que é a região mais afetada pelos alagamentos.

No primeiro ensaio, realizado em 20 de abril, obteve-se como resultado uma VIB de 30 mm/h, valor determinado após a estabilização da leitura, que ocorreu entre 40 e 60 minutos após o início do teste, após três repetições, conforme explicado no item 4.3.3 desta pesquisa. Ressalta-se que, nessa data, houve uma precipitação pela manhã, o que resultou em um solo levemente saturado. O gráfico 3 ilustra a curva de infiltração obtida nesse teste.

Gráfico 3 - Velocidade de infiltração no teste 01

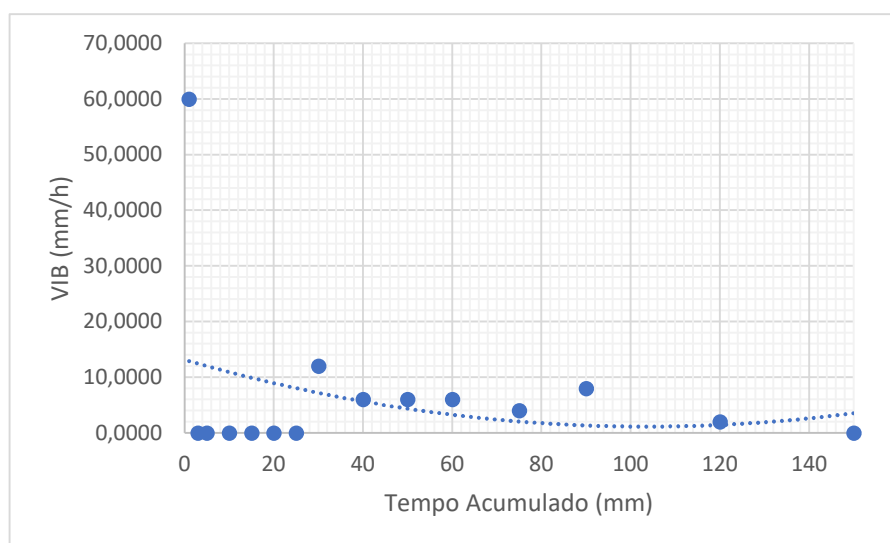


Fonte: Autora (2023)

No gráfico acima, é possível observar a diminuição da VIB ao longo do processo, evidenciando que a velocidade de infiltração tende a diminuir e estabilizar com o tempo. Sanchez (2017) também observou o mesmo comportamento em sua área de estudo e relata que, em relação à determinação da infiltração acumulada, notou um aumento constante da infiltração à medida que as leituras eram realizadas, indicando o preenchimento dos poros do solo com as partículas de água.

O segundo ensaio foi realizado em 27 de abril de 2023, no período da tarde, e resultou em uma velocidade de infiltração muito inferior à primeira, atingindo 6 mm/h. A estabilização ocorreu entre 40 e 60 minutos após o início do teste, após três repetições. Inicialmente, foi registrada uma leitura logo no primeiro minuto e, em seguida, observou-se uma estabilização que durou até o minuto 30. A partir desse ponto, houve uma leve descida na régua, porém significativamente menor em comparação ao primeiro teste. O gráfico 4 ilustra a curva de infiltração obtida nesse ensaio.

Gráfico 4 - Velocidade de infiltração no teste 02



Fonte: Autora (2023)

Segundo Sanchez (2017), a estabilização da infiltração ocorre após a saturação do solo, e em sua pesquisa ocorreu entre 215 e 230 minutos do início do teste, sendo considerada pelo autor uma estabilização demorada. Ao compararmos os testes realizados nesta pesquisa com os do autor, observamos uma diferença significativa, pois a estabilização ocorreu entre 40 e 60 minutos, sendo consideravelmente mais rápida. No entanto, a ausência das primeiras leituras no segundo ensaio pode ser justificada pela alta saturação do solo devido às últimas

precipitações. Antes da realização desse ensaio, ocorreram vários dias consecutivos de chuvas intensas, o que provavelmente influenciou nos resultados, já que o solo estava bastante saturado.

Uma outra característica importante a ser mencionada é a dificuldade encontrada para cravar os cilindros no segundo local de teste, que foi muito maior em comparação ao primeiro ensaio. Isso pode ser atribuído ao solo ter uma característica mais argilosa, além de estar localizado em uma área de planície de inundação, o que tende a torná-lo mais compacto. Portanto, essas considerações justificam a discrepância entre os resultados apresentados nos dois gráficos.

No que diz respeito à capacidade de infiltração do solo, Villela (1975) a define como a máxima razão na qual um solo, em determinada condição, é capaz de absorver água. Com base nos resultados obtidos, pode-se perceber que o solo do primeiro ensaio possui uma maior capacidade de infiltração, conforme demonstrado nos resultados dos testes de infiltração apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados dos testes de infiltração realizados no bairro Jardim Caranã

TESTE	LÂMINA INFILTRADA ACUMULADA	TAXA DE INFILTRAÇÃO	VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO BÁSICA
01	5,0 mm	0,50 mm/min	30 mm/h
02	1,0 mm	0,10 mm/min	6 mm/h

Fonte: Autora (2023)

Durante os dois testes, foi coletada uma amostra de solo para determinar sua umidade em laboratório, seguindo o método da estufa, conforme estabelecido pela norma NBR 6457/2016 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. O procedimento envolveu a determinação da massa da amostra no estado natural e, em seguida, a secagem completa em uma estufa a uma temperatura entre 105°C e 110°C para obtenção da sua massa seca. O teor de umidade foi calculado dividindo-se a massa de água contida na amostra de solo natural pela massa seca das partículas sólidas do solo, expresso em porcentagem. A tabela 9 apresenta os resultados obtidos nos testes de umidade do solo.

Tabela 9 - Resultados dos testes de umidade de solo nos dois ensaios realizados

TESTE	UMIDADE MÉDIA (%)
01	10,2
02	10,3

Fonte: Autora (2023)

A umidade do solo é um dado importante nos processos hidrológicos, pois ajuda na determinação do volume de água que infiltra e que escoia superficialmente. Nesse sentido, os resultados demonstraram que os solos das duas áreas eram equivalentes nessa característica. No procedimento de determinação da umidade, utilizou-se apenas o solo mais superficial, considerado mais arenoso. No entanto, ao remover o cilindro durante os dois ensaios, observou-se a presença de um solo mais argiloso abaixo, embora a caracterização detalhada dos solos na área não tenha sido abordada nesta pesquisa. Entretanto, conforme mencionado no item 3.3.3 desta pesquisa, Benedetti (2007) e Sanchez (2017) relataram a presença do solo tipo Latossolo Amarelo, sugerindo que esse solo com características mais argilosas estava presente in loco.

Com base nos resultados dos ensaios com anéis concêntricos, pôde-se observar que a taxa de infiltração obtida no primeiro teste foi muito superior à taxa alcançada no segundo.

Villela (1975) destaca que outros fatores relacionados ao solo, como umidade, permeabilidade, temperatura e profundidade do extrato permeável, exercem influência no fenômeno da infiltração. Nesse contexto, conforme mencionado anteriormente, a explicação para esse resultado reside no fato de que o segundo solo estava mais saturado. Além disso, é importante considerar que várias características podem afetar a velocidade de penetração da água, sendo a umidade inicial do solo uma delas. Portanto, quanto mais seco o solo estiver, maior será a taxa de infiltração inicial.

Após a determinação da velocidade de infiltração básica (VIB), o solo foi classificado de acordo com sua intensidade. De acordo com Bernardo, Soares e Mantovani (2006), os solos podem ser classificados como de VIB muito alta, alta, média e baixa. O quadro 8 apresenta essa classificação.

Quadro 8 - Classificação de solo a partir da VIB

Tipos de solo	VIB (mm/h)
Solo de VIB muito alta	> 30
Solo de VIB alta	15 - 30
Solo de VIB média	5 - 15
Solo de VIB baixa	< 5

Fonte: Bernardo, Soares e Mantovani (2006)

Neste estudo, foram obtidas velocidades de infiltração básica (VIB) de 30 mm/h para a primeira área ensaiada, classificada como "alta", e 6 mm/h para a segunda área, classificada como "média". Vale ressaltar que essas áreas estão localizadas em uma região urbana densamente povoada, onde a condição da superfície do solo desempenha um papel relevante. Nas áreas urbanas, é comum observar uma menor velocidade de infiltração devido ao grau de compactação do solo. Considerando a umidade média dos solos das duas áreas, foi observada uma proximidade nos resultados, indicando que esses solos possuem uma certa capacidade de armazenamento de água. Apesar da diferença nas taxas de infiltração obtidas, percebeu-se que é possível e viável adotar técnicas de drenagem sustentável na área em estudo, que serão calculadas no próximo estágio desta pesquisa.

4.1.3.2 Levantamento urbano e impermeabilização na escala do bairro

Os dados referentes ao percentual de impermeabilização do bairro em estudo foram compilados e organizados em uma planilha no Excel, separados por tipo de área. Em seguida, foram realizadas as somas correspondentes. Verificou-se que a área total de asfalto foi de 85.932,88 m². Durante as visitas realizadas no bairro, constatou-se que praticamente toda a região está coberta por asfalto. Observou-se apenas um pequeno trecho que não foi impermeabilizado, correspondendo a uma área permeável de 1.149,12 m². Esses dados referentes às ruas do bairro estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Quantitativo de ruas do Jardim Caranã

Ruas Asfaltadas (m²)	Ruas não asfaltadas (m²)	Total de Ruas (m²)	Percentual de ruas com pavimentação (%)	Percentual de ruas sem pavimentação (%)
85.932,88	1.149,12	87.082,00	99	1

Fonte: Autora (2023)

Ao analisar as calçadas em frente aos lotes na área em estudo, constatou-se que, diferentemente do asfalto, que foi executado em praticamente todo o bairro, as calçadas não foram implementadas por meio de ações governamentais ou municipais. Foi observado que as poucas calçadas presentes no local foram construídas pelos próprios proprietários dos lotes, resultando na ausência de padronização nesse aspecto. Além disso, foram identificados diversos materiais utilizados para a construção das calçadas, como cerâmica, e variações de altura conforme o local. A Figura 69A e B ilustra alguns exemplos de calçadas registradas no local, enquanto a Figura 69C apresenta a visão de uma rua do bairro, onde se percebe a ausência de calçadas na maioria dos lotes.

Figura 69 - Calçadas registradas in loco



Fonte: Autora (2023)

No total, a quantidade de calçadas existentes na área estudada alcançou 20.253,08 m², levando em consideração apenas aquelas em bom estado de conservação. É importante destacar que esse levantamento foi realizado por meio de um trabalho de campo específico para essa etapa. Os resultados detalhados do levantamento das calçadas no bairro podem ser encontrados na Tabela 11.

Tabela 11 - Quantitativo de calçadas do Jardim Caranã

Calçadas impermeabilizadas (m ²)	Calçadas não impermeabilizadas (m ²)	Total de Calçadas (m ²)	Total de Calçadas Permeáveis (%)	Total de Calçadas Impermeáveis (%)
20.253,08	45.200,52	65.453,60	69	31

Fonte: Autora (2023)

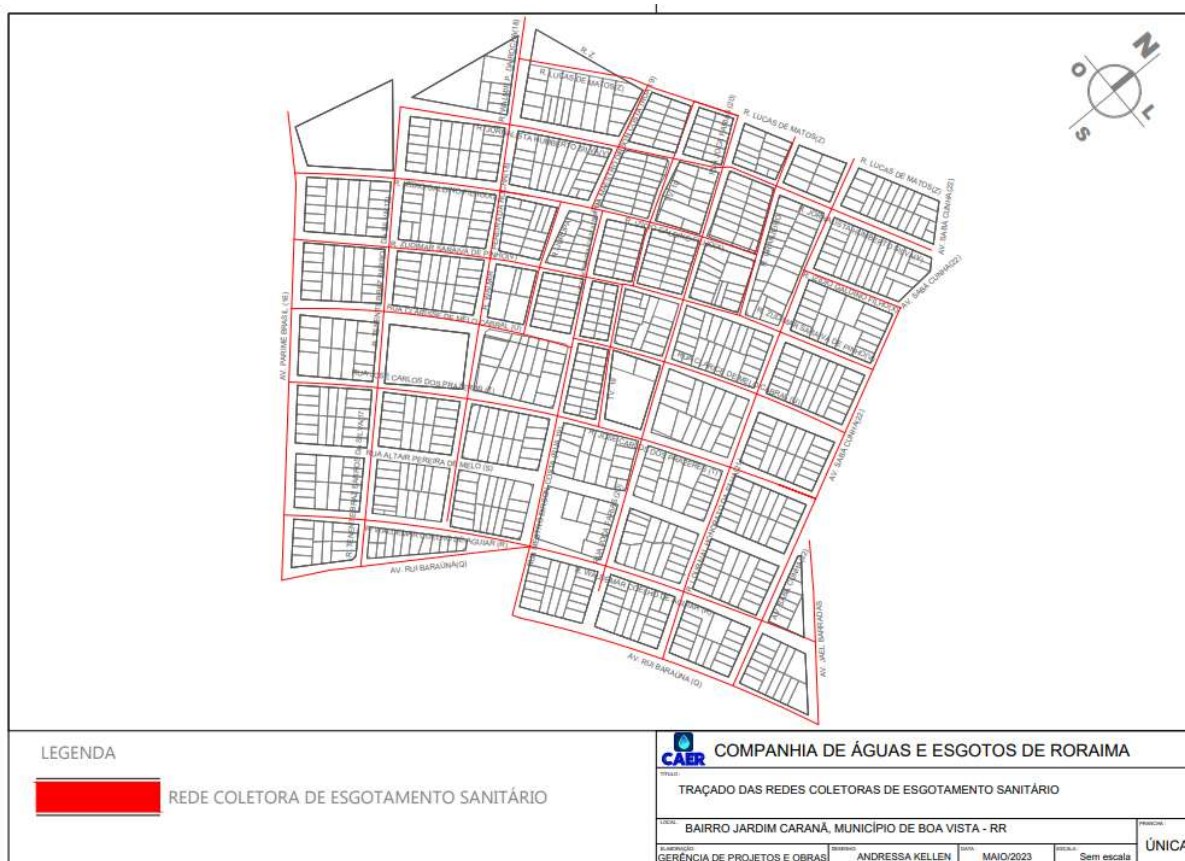
Dentre as opções de técnicas de drenagem sustentável, a implementação de calçadas permeáveis surge como uma possibilidade viável para atender às necessidades do bairro. Com 69% das calçadas em estado natural, essa escolha seria altamente benéfica, uma vez que proporcionaria não apenas a infraestrutura desejada pela população, mas também permitiria a

infiltração da água da chuva no solo. Essa abordagem traria consigo a vantagem de reduzir a sobrecarga nos sistemas de drenagem pluvial, diferenciando-se das calçadas convencionais, que utilizam materiais impermeáveis. Com a adoção de calçadas permeáveis, seria possível alcançar um equilíbrio entre as necessidades urbanas e a preservação do meio ambiente.

As calçadas permeáveis têm a capacidade de absorver a água, permitindo a recarga dos aquíferos subterrâneos e reduzindo o risco de enchentes. Essa abordagem tem se tornado cada vez mais relevante nas áreas urbanas, devido aos benefícios que oferece tanto ao meio ambiente quanto à infraestrutura urbana.

Quanto à rede coletora de esgoto, de acordo com dados fornecidos pela prestadora de serviços Caer, o bairro possui cobertura total. Essa informação pode ser visualizada no mapa fornecido pela empresa, conforme demonstrado na figura 70.

Figura 70 - Mapa de atendimento do serviço de esgoto no bairro



Fonte: Caer (2023)

Durante a análise das questões urbanas do bairro, foi observada a presença de sistemas de drenagem na área. No entanto, devido a dificuldades na obtenção de dados junto à

responsável pelo serviço, a PMBV, não foi possível delimitar o percentual exato de cobertura de drenagem na região dentro do escopo desta pesquisa.

4.1.3.3 Percentual de impermeabilização na escala do lote

Foram levantadas as áreas de cobertura dos telhados no bairro em estudo, independentemente de serem telhados convencionais ou do tipo platibanda. O levantamento abrangeu um total de 53 quadras na área. Para obter esses dados, os polígonos correspondentes aos telhados existentes foram atualizados e, suas áreas, registradas em uma planilha de Excel, a partir da qual as informações necessárias foram extraídas. No entanto, é importante ressaltar que foram encontradas dificuldades na resolução das imagens do Google Earth na escala do lote, o que resultou na impossibilidade de uma identificação precisa do tipo de piso existente e limitou a obtenção do total de área impermeabilizada nos lotes.

Além disso, um obstáculo adicional foi a falta de delimitação definida pela PMBV para os lotes na região mais próxima à área de inundação, o que impossibilitou a inclusão desses lotes na contagem. A área considerada nesse levantamento está destacada na figura 71.

Figura 71- Delimitação da área usada para obtenção do percentual de impermeabilização



Fonte: Autora (2023)

Ao analisar o bairro sob uma perspectiva urbanística, percebeu-se que os lotes possuem áreas consideráveis, o que difere do cenário atual das cidades. Isso se deve ao fato de que os terrenos mais antigos, de fato, eram maiores, em contraste com os novos bairros, onde é comum encontrar lotes cada vez menores. Essa tendência reflete o rápido crescimento das cidades e o aumento dos custos associados à aquisição de terrenos e construção. Atualmente, a lei municipal estabelece um tamanho mínimo de 180 m² para lotes em sua zona (ZR3).

Observa-se também que o bairro não possui áreas disponíveis para expansão, pois está praticamente todo ocupado, com exceção de alguns lotes vagos espalhados pontualmente. No entanto, observa-se in loco que a expansão tem ocorrido na parte final do bairro, próxima à área de inundação mencionada no item 5.1.2. Notou-se a presença de terrenos invadidos, não reconhecidos pela PMBV.

Quanto à taxa de permeabilidade, na realização do levantamento, constatou-se que, dos 901 lotes analisados, apenas 56 não atenderam aos parâmetros urbanísticos municipais, que exigem uma taxa de permeabilidade mínima de 30% para os lotes. Portanto, o bairro encontra-se em conformidade com as regulamentações estabelecidas pela lei. Os dados levantados nos lotes estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Levantamento da taxa de permeabilidade dos lotes no bairro

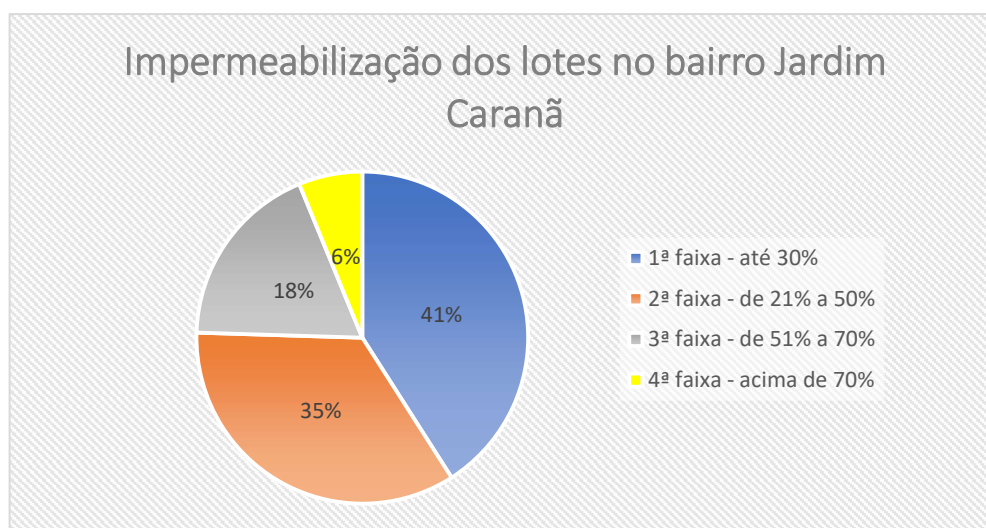
Situação dos lotes	Quantidade (unid.)	Percentual da área do bairro (%)
Regulares	845	94
Irregulares	56	6
Total de lotes levantados	901	100

Fonte: Autora (2023)

Essa informação se justifica pelo fato de o bairro apresentar lotes com áreas significativamente maiores do que o padrão atualmente adotado nos parcelamentos da cidade. Foi observado que apenas 19 dos 901 lotes possuem áreas inferiores a 180 m², o mínimo exigido por lei.

Com o intuito de evidenciar o grau de impermeabilização nos lotes, realizou-se um levantamento da taxa de ocupação na área. Essa taxa foi calculada ao dividir a área construída, obtida através do mapeamento, pela área total do terreno. No presente estudo, a taxa de ocupação foi classificada em cinco faixas, conforme ilustrado no gráfico 5.

Gráfico 5 - Levantamento da taxa de ocupação no bairro em estudo



Fonte: Autora (2023)

Da totalidade dos 901 lotes mapeados, constatou-se que 41% do bairro se enquadra na primeira faixa, que corresponde à menor taxa de ocupação e abrange a maior parte do bairro. A segunda faixa atinge 35% do bairro. Já a terceira faixa, que abrange ocupações de até 70% do lote, considerado o limite estabelecido pela lei, corresponde a 18% dos lotes. Por fim, uma minoria de 6% do bairro apresentou uma ocupação acima de 70% do lote, sendo apenas estes os que não estão atendendo ao que determina a lei. Com base nesses dados, pode-se afirmar que o bairro não está altamente impermeabilizado.

É importante ressaltar que esses resultados não consideraram as áreas de piso impermeabilizadas dentro dos lotes, conforme mencionado anteriormente. Normalmente, esses dados poderiam influenciar significativamente os resultados, aumentando os valores encontrados. No entanto, devido ao fato de o bairro em estudo possuir lotes de tamanho amplo, acredita-se que, nesse caso específico, não haveria uma alteração significativa nas faixas identificadas neste levantamento.

4.2 DRENAGEM URBANA EXISTENTE E PROPOSTAS PARA USO DE ALTERNATIVAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS - BAIRRO CARANÃ

4.2.1 Cálculos das técnicas de drenagem sustentável

O método adotado considerou que a água seria direcionada para a trincheira ou jardim de chuva a partir do telhado e de uma área específica de calçadas. Os cálculos para essas duas técnicas são descritos a seguir.

4.2.1.1 Cálculo do Método Racional e intensidade da chuva

Neste estudo de caso, foram propostas algumas situações hipotéticas que refletem cenários reais. Para cada uma dessas situações, foram realizados cálculos específicos, conforme apresentado na tabela 13.

Tabela 13 - Técnicas sustentáveis utilizadas nos cálculos

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Área de Contribuição (m ²)	Área de Contribuição utilizada
Jardim de chuva	5,00x1,00	74,11	Telhado + calçada+ grama
Jardim de chuva	2,50x2,00	44,30	Calçada (unid.)
Trincheira de Infiltração	1,00x5,00	74,11	Telhado + calçada+ grama
Trincheira de Infiltração	1,00x8,00	86,94	Calçada+ grama

Fonte: Autora (2023)

Em todos os cálculos realizados, considerou-se um tempo de retorno de 2 anos e um tempo de concentração de 15 minutos e utilizando a equação IDF de Tischer (2015), obteve-se uma intensidade média de chuva de 94,041 mm/h.

Para determinar o coeficiente de escoamento superficial (C_{pond}) das duas técnicas localizadas na parte de trás do terreno, foram utilizados os coeficientes de 0,95 para telhado, 0,85 para calçadas de concreto e 0,10 para grama. O cálculo foi realizado somando o produto de cada coeficiente pela sua respectiva área e dividindo pelo total da área trabalhada. O resultado foi um coeficiente de escoamento (C_{pond}) equivalente a 0,67.

Na parte da frente do terreno, para determinar o coeficiente de escoamento da trincheira de infiltração, foram considerados apenas os coeficientes de calçada e grama, resultando em um valor de (C_{pond}) de 0,67. Quanto ao jardim de chuva, que possui apenas

calçadas como área de contribuição, foi utilizado o valor tabelado adimensional de 0,85, indicado pela Asce (1969).

Para a determinação do método racional, após encontrados os valores de C, conforme relatado acima, juntamente com a intensidade da chuva obtida e a área, foram alcançadas as seguintes vazões, mostradas na tabela 14.

Tabela 14 - Vazões alcançadas nos cálculos

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Vazão obtida (m³/s)
Jardim de chuva	5,00x1,00	0,00130
Jardim de chuva	2,50x2,00	0,00098
Trincheira de Infiltração	1,00x5,00	0,00074
Trincheira de Infiltração	1,00x8,00	0,00167

Fonte: Autora (2023)

Ao contrário da maior parte da cidade, os lotes na área de estudo não seguem um tamanho padronizado, conforme mencionado no item 4.2 desta pesquisa, em que Santos (2019) afirma que o bairro surgiu de uma invasão e foi fruto de doações de políticos durante campanhas eleitorais. Portanto, não houve um "tamanho padrão" estabelecido para os lotes. Para efeito de dimensionamento das técnicas, foi adotado um lote com área de 400 m², que correspondeu à uma média de tamanho de lote encontrado na área.

A taxa de ocupação refere-se à proporção da área do terreno ocupada pela construção. No caso da Zona ZR-3, onde o tamanho mínimo do lote é de 180 m², se uma edificação de 100 m² fosse construída, a taxa de ocupação seria de 56%. De acordo com o limite legal estabelecido em 70%, seria possível construir uma edificação de até 126 m² dentro desse lote.

No que se refere à taxa de permeabilidade, é estabelecida a porcentagem do lote que deve ser mantida permeável, permitindo a infiltração de água no solo. De acordo com a legislação vigente, para um lote de 180 m², seria necessário reservar uma área mínima de 54 m² livre dentro do terreno para essa finalidade.

Consequentemente, as técnicas utilizadas foram dimensionadas com áreas inferiores a 54 m², o que significa que também poderiam ser aplicadas em terrenos com dimensões menores do que os 400 m² considerados neste estudo.

4.2.1.2 Cálculo do Jardim de Chuva

O volume de entrada corresponde à quantidade de escoamento superficial direto a ser armazenado pelo jardim de chuva. O cálculo do volume de entrada foi baseado na área de contribuição de cada jardim, incluindo tanto a área do telhado, cujo escoamento é captado e armazenado pelo jardim, quanto a área da calçada, que possui uma leve inclinação para direcionar a água para dentro da técnica.

Multiplicando a vazão pelo tempo em segundos, obteve-se o resultado em metros cúbicos (m^3), que foi posteriormente convertido em litros. Os resultados estão apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Volume de entrada encontrados nos cálculos

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Volume de Entrada (L)
Jardim de chuva	5,00x1,00	1172,115
Jardim de chuva	2,50x2,00	885,278

Fonte: Autora (2023)

O próximo cálculo a ser realizado é o volume de saída, para o qual foram utilizados os dados dos testes de infiltração realizados em campo. Conforme mencionado no item 4.1.3 desta pesquisa, obteve-se um resultado de 30 mm/h e 6 mm/h para a velocidade de infiltração básica. É importante ressaltar que o segundo resultado foi significativamente menor que o primeiro, devido ao solo estar altamente encharcado, sendo considerado o cenário mais pessimista. Ambos os valores foram utilizados para os dois cenários nas duas técnicas sustentáveis.

O cálculo do volume de saída foi obtido multiplicando a área de infiltração pela infiltração acumulada, representando a quantidade de água dentro do jardim de chuva que consegue infiltrar no solo, abaixo da camada de brita. Esse volume foi determinado pela lâmina de água acumulada encontrada no teste de infiltração, juntamente com o comportamento das águas infiltradas no dispositivo.

A área de infiltração foi calculada como sendo $0,177 m^2$. No primeiro ensaio de infiltração, foi obtida uma lâmina acumulada de 5,0 mm, que corresponde a 0,005 metros quando convertida. Portanto, o volume de saída calculado foi de $0,0009 m^3$, que, ao ser convertido em litros, resultou em um total de 0,884 litros. No segundo ensaio, a lâmina acumulada foi de 1,0 mm, correspondendo a 0,001 metros quando convertida. Isso resultou em um volume de saída calculado de $0,0002 m^3$,

que, ao ser convertido em litros, totalizou 0,177 litros. Esses valores foram considerados para os cálculos dos jardins de chuva.

Quanto ao comportamento das águas infiltradas, foi considerado que o processo de infiltração ocorre nas direções vertical e horizontal, levando em conta a possível interferência do processo de colmatção no fundo da técnica.

O próximo cálculo realizado foi o do volume na camada de armazenamento, que foi obtido pela diferença entre o volume de entrada e o volume de saída do sistema. Os resultados estão apresentados na tabela 16.

Tabela 16 - Volume da camada de armazenamento encontrados nos cálculos

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Infiltração (mm)	Volume de Armazenamento (L)
Jardim de chuva	5,00x1,00	5,0	1171,232
Jardim de chuva	5,00x1,00	1,0	1171,939
Jardim de chuva	2,50x2,00	5,0	884,395
Jardim de chuva	2,50x2,00	1,0	885,102

Fonte: Autora (2023)

Após a definição dos volumes de armazenamento do jardim de chuva, estabeleceu-se uma altura de 15 cm para a camada de areia. Em seguida, foram realizados cálculos para dimensionar a altura da camada de armazenamento, composta por brita. Os valores obtidos estão apresentados na tabela 17.

Tabela 17 – Alturas das camadas de armazenamento encontrados nos cálculos a 100%

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Infiltração (mm)	Altura de Brita 100% (m)
Jardim de chuva	5,00x1,00	5,0	2,923
Jardim de chuva	5,00x1,00	1,0	2,985
Jardim de chuva	2,50x2,00	5,0	2,184
Jardim de chuva	2,50x2,00	1,0	2,225

Fonte: Autora (2023)

Ao analisar os valores obtidos para a altura de brita, fica evidente que a adoção desta técnica nas condições atuais é inviável. No entanto, de acordo com as sugestões da literatura, o jardim de chuva deve ser dimensionado dentro da faixa de 5 a 20% da área impermeável. Neste estudo, optou-se pelo valor máximo, que é 20%. Ao realizar essa redução, foram obtidos os seguintes valores de altura de brita, conforme apresentado na tabela 18.

Tabela 18 - Alturas das camadas de armazenamento encontrados nos cálculos a 20%

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Infiltração (mm)	Altura de Brita 20% (m)
Jardim de chuva	5,00x1,00	5,0	0,471
Jardim de chuva	5,00x1,00	1,0	0,494
Jardim de chuva	2,50x2,00	5,0	0,323
Jardim de chuva	2,50x2,00	1,0	0,342

Fonte: Autora (2023)

Desta forma, foi considerada a altura de brita reduzida, conforme sugestão da literatura, e os valores de altura de brita encontrados anteriormente foram desconsiderados.

A camada inferior do jardim de chuva, localizada diretamente sobre o solo natural, foi composta por areia, seguida por uma camada de brita grossa. Para os cálculos, foram utilizadas as porosidades de 25% e 30%, respectivamente, conforme sugerido por Urbonas e Stare (1993).

Para concluir os cálculos dos jardins de chuva, foi necessário determinar a variação de armazenamento. Portanto, os volumes de água que as camadas de areia e brita devem acumular foram encontrados através da soma dos volumes armazenados, utilizando-se as alturas de brita reduzida determinadas anteriormente. Os valores estão demonstrados na tabela 19.

Tabela 19 - Variação do armazenamento encontrados nos cálculos

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Infiltração (mm)	Volume de Armazenamento a 100% (m³)	Volume de Armazenamento a 20% (m³)
Jardim de chuva	5,00x1,00	5,0	4,571	0,894
Jardim de chuva	5,00x1,00	1,0	4,665	0,929
Jardim de chuva	2,50x2,00	5,0	3,464	0,673
Jardim de chuva	2,50x2,00	1,0	3,525	0,701

Fonte: Autora (2023)

4.2.1.3 Cálculo da Trincheira de Infiltração

Os cálculos foram realizados considerando duas trincheiras distintas. Para uma trincheira, foram adotadas as medidas de 1 metro de largura por 5 metros de comprimento, enquanto para a outra trincheira, as medidas foram de 1 metro de largura por 8 metros de comprimento. Essas áreas foram consideradas como as áreas de captação do dispositivo. A profundidade da trincheira é determinada principalmente pelo dimensionamento da profundidade da camada de brita, representada pelo valor de H.

Para o cálculo do parâmetro β , que é adimensional, foram consideradas as áreas de contribuição dos dispositivos, juntamente com os coeficientes de escoamento listados na tabela 8, e a área de captação das trincheiras. Os valores obtidos para o parâmetro β estão apresentados na tabela 20.

Tabela 20 - Volume de entrada encontrados nos cálculos

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Vazão Obtida (L)
Trincheira de Infiltração	1,00x5,00	14,081
Trincheira de Infiltração	1,00x8,00	7,260

Fonte: Autora (2023)

Na análise dessa técnica, não foi considerada a área do fundo da trincheira devido à colmatagem que ocorre ao longo do tempo. Portanto, apenas a área das paredes laterais foi considerada como área de percolação. Com base nisso, foi determinado um valor de γ igual a 0,0020 mm, que foi utilizado para ambas as trincheiras estudadas.

Em seguida, foi calculada a vazão de saída (q_s), que corresponde à percolação através das paredes da trincheira. Esse valor foi obtido multiplicando a condutividade hidráulica saturada do solo por um coeficiente redutor, que leva em conta a colmatagem que ocorre no fundo da técnica ao longo dos anos de uso. Essa redução da condutividade hidráulica é observada em estudos que monitoram a técnica ao longo do tempo.

A capacidade de infiltração é um elemento fundamental para o projeto de uma trincheira. Nesse sentido, verificou-se que o valor da condutividade hidráulica encontrado no primeiro teste de infiltração está dentro da faixa sugerida pela literatura, que varia de 15 a 60 mm/h. No entanto, o resultado obtido no segundo ensaio estaria fora dessa faixa de aceitação para a implantação de uma trincheira. Apesar disso, optou-se por realizar os cálculos em ambas as condições, assim como na técnica anterior.

Portanto, multiplicando o valor do K_{sat} de 30 mm/h obtido no ensaio de infiltração pelo coeficiente adotado de 0,5, obteve-se uma vazão de saída constante do dispositivo equivalente a 0,0667 mm/h. Já com o K_{sat} de 6 mm/h encontrado no segundo ensaio, obteve-se uma vazão de saída constante equivalente a 0,3333 mm/h.

A próxima etapa foi determinar os valores de K_1 e K_2 , para isso foi necessário calcular os valores de a , b e c utilizando a expressão de Talbot, conforme a metodologia adotada por Silveira e Goldenfum (2007). Assim, encontrou-se $a= 1274,132$, $b= 0,210$ e $c= 20,742$. Em

seguida, substituindo os valores de "a" e "b", foi possível obter o valor de K1, e ao substituir o valor de "c", determinou-se K2, conforme demonstrado na tabela 21.

Tabela 21 - Valores de K1 e K2

Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	K1 (Adm)	K2 (30mm/h) (Adm)	K2 (6mm/h) (Adm)
Trincheira de Infiltração	1,00x5,00	11,758	0,0068	0,0272
Trincheira de Infiltração	1,00x8,00	13,354	0,0068	0,0272

Fonte: Autora (2023)

A última etapa do cálculo consistiu em determinar a profundidade da camada de brita na trincheira, utilizando os valores de K1 e K2, juntamente com a porosidade do material de enchimento. Considerou-se que a trincheira é preenchida com brita grossa e utilizou-se uma porosidade de 30% para os cálculos, assim como na técnica anterior. Dessa forma, obteve-se a altura da camada de brita, como mostrado na tabela 22.

Tabela 22 - Valores das alturas das camadas de brita

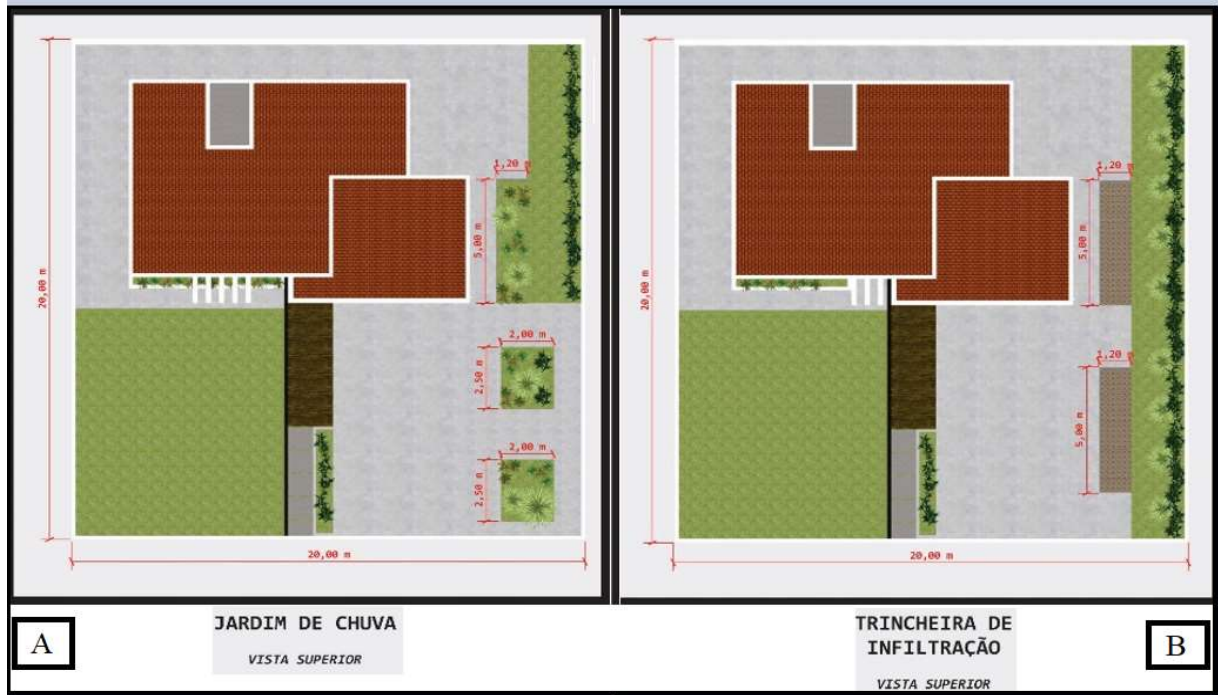
Técnica Sustentável Implementada	Tamanho da Técnica (m)	Espessura da camada de brita (cm)
Trincheira de Infiltração	1,00x5,00	44,965
Trincheira de Infiltração Ksat reduzida	1,00x5,00	41,826
Trincheira de Infiltração	1,00x8,00	57,997
Trincheira de Infiltração Ksat reduzida	1,00x8,00	53,949

Fonte: Autora (2023)

4.2.1.4 Projeto das técnicas sustentáveis

Após a conclusão dos cálculos, foi elaborada uma proposta de projeto técnico para os dois modelos em um terreno de 20x20 metros, com uma edificação de estilo platibanda, onde o telhado é escondido. A platibanda é uma faixa horizontal na parte superior da construção que tem como objetivo ocultar o telhado, calhas, rufos e outros elementos relacionados ao telhado. Atualmente, a platibanda se tornou uma tendência na modernização das fachadas das casas, inclusive em Boa Vista. As Figuras 72A e 72B apresentam a vista superior do terreno, com os dois modelos das técnicas projetadas.

Figura 72 – Vista superior dos projetos da trincheira de infiltração e do jardim de chuva



Fonte: Autora (2023)

No projeto do jardim de chuva, foram utilizadas um total de três técnicas compensatórias, localizadas no lado direito do terreno. Vale ressaltar que o lado esquerdo do terreno e o telhado maior da casa não foram considerados nos cálculos. A figura 73 apresenta uma visão geral do projeto.

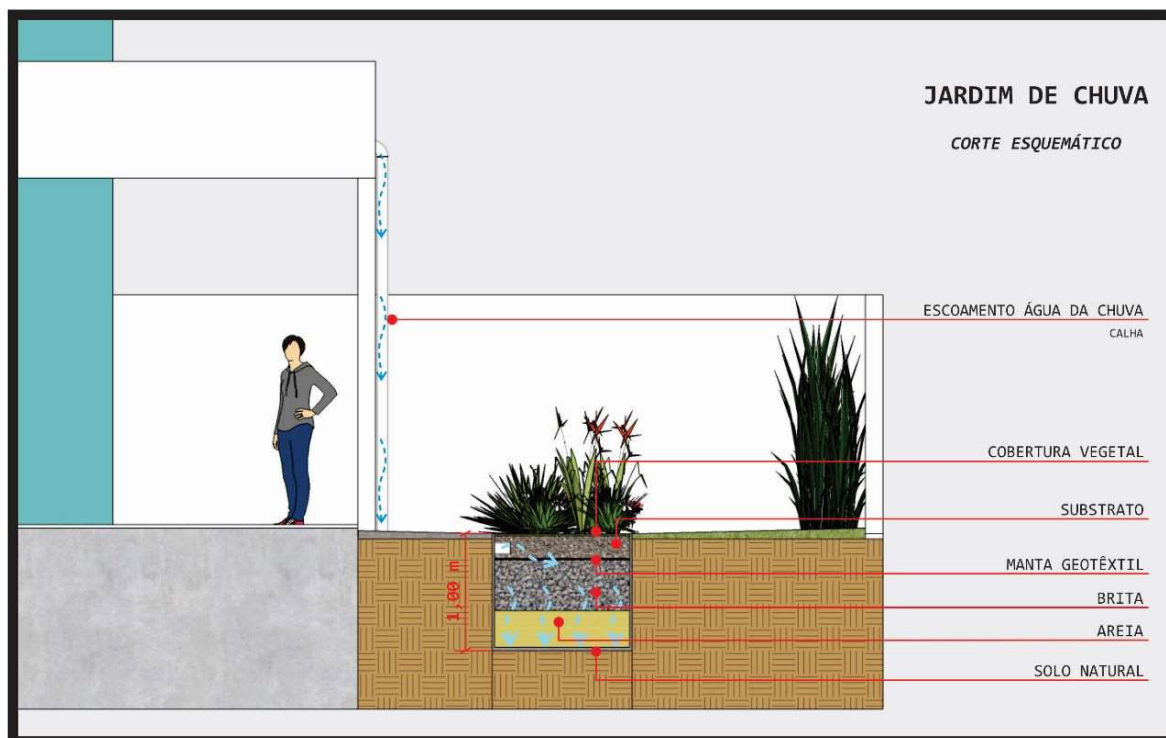
Figura 73 – Vista geral do projeto do jardim de chuva



Fonte: Autora (2023)

Na proposta, a água seria coletada por uma calha e direcionada por meio de tubos hidráulicos para a técnica do jardim de chuva. No entanto, é importante destacar que apenas uma pequena parte do telhado foi considerada nos cálculos, especificamente uma das calhas utilizadas na cobertura. A figura 74 apresenta um corte esquemático do jardim de chuva.

Figura 74 – Esquema do projeto do jardim de chuva



Fonte: Autora (2023)

No projeto, o gramado ao lado da técnica foi considerado apenas por razões estéticas, mas é importante ressaltar que, por ser uma área naturalmente permeável, contribuirá para a absorção das águas pluviais. As áreas de contribuição para o jardim de chuva que recebe as águas do telhado menor, localizado mais ao fundo do lote, são as calçadas de concreto e o gramado que cercam a técnica. A figura 75A ilustra as diferentes camadas que compõem essa técnica, enquanto a figura 75B mostra o jardim de chuva finalizado, coberto por vegetação.

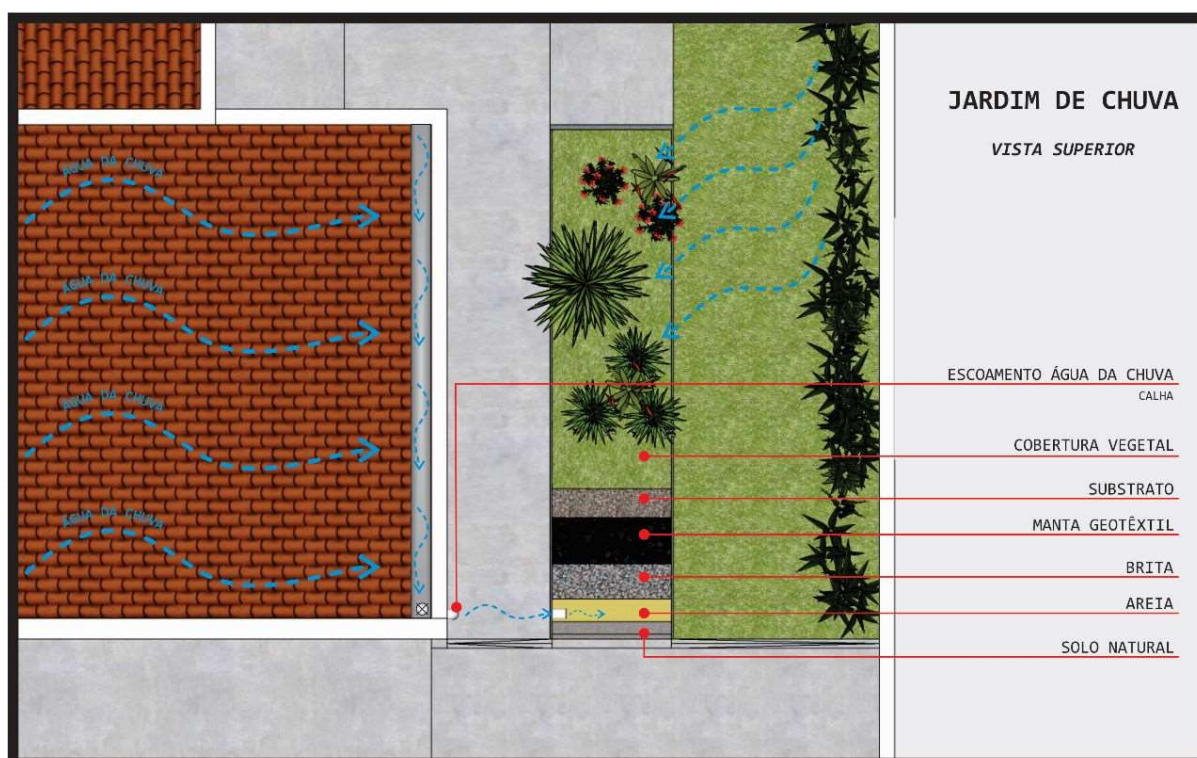
Figura 75 - Vista geral do projeto do jardim de chuva



Fonte: Autora (2023)

Além das águas provenientes do telhado, esse jardim também iria receber o escoamento superficial das calçadas ao seu redor, as quais foram impermeabilizadas para direcionar a água para o jardim por meio de uma suave inclinação no piso. A ilustração 76 demonstra a proposta de drenagem das águas.

Figura 76 - Demonstração do escoamento do jardim de chuva



Fonte: Autora (2023)

O segundo cálculo do jardim de chuva foi realizado na parte frontal direita do terreno, onde foram projetados dois jardins, cada um medindo 2,50x2,00 metros. Nessa proposta, apenas as calçadas impermeabilizadas localizadas ao redor dos jardins contribuíram para o

escoamento, sendo que a área total impermeabilizada foi dividida igualmente entre os dois jardins. A inclinação do terreno foi projetada para direcionar as águas para cada um dos jardins. A imagem 77 apresenta o detalhe de um desses jardins.

Figura 77 - Vista geral do jardim de chuva frontal



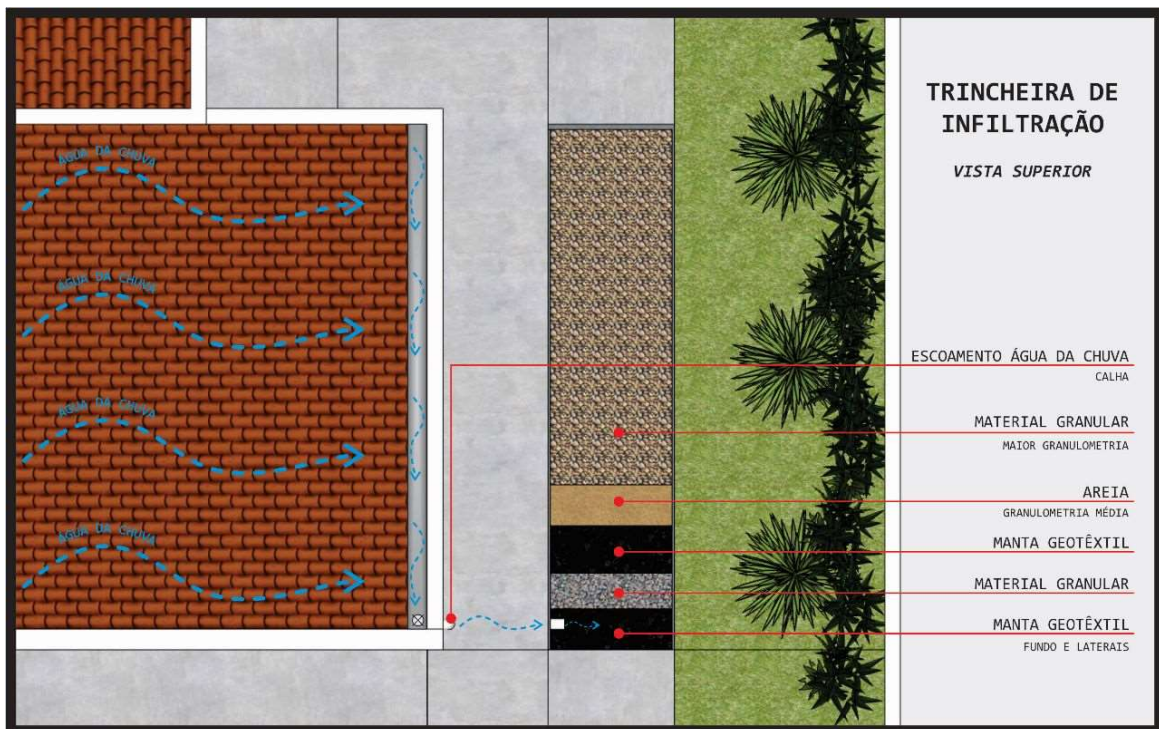
Fonte: Autora (2023)

No que diz respeito aos cálculos desses dois jardins, foi observado que, ao considerar 100% da área de contribuição, eles se mostraram inviáveis. No entanto, como mencionado anteriormente, a literatura sugere a utilização de um percentual menor, e neste projeto foi adotado o valor de 20%. No entanto, mesmo com a utilização de dois jardins com uma área total de 10 m², ainda não foi possível atender ao volume de água que a trincheira calculada é capaz de absorver.

É importante ressaltar que as espécies vegetais utilizadas nessa proposta têm apenas um propósito demonstrativo, uma vez que sua especificação não foi abordada neste projeto.

Quanto ao projeto das trincheiras de infiltração, foram implementadas um total de duas trincheiras nessa proposta. A trincheira localizada no fundo do lote possui as mesmas dimensões da técnica anterior, ou seja, uma trincheira com as medidas de 5x1 metros. Essa trincheira também iria receber o volume de água proveniente do telhado, como mostrado na vista superior (figura 78).

Figura 78 - Vista geral do projeto da trincheira de infiltração



Fonte: Autora (2023)

Na parte frontal do terreno, foi projetada uma segunda trincheira, com as dimensões de 8,00x1,00 metros, posicionada à direita do lote. Assim como na técnica anterior, o lado esquerdo do lote também não foi considerado nos cálculos, assim como o telhado maior da casa. A figura 79 apresenta uma visão geral do projeto.

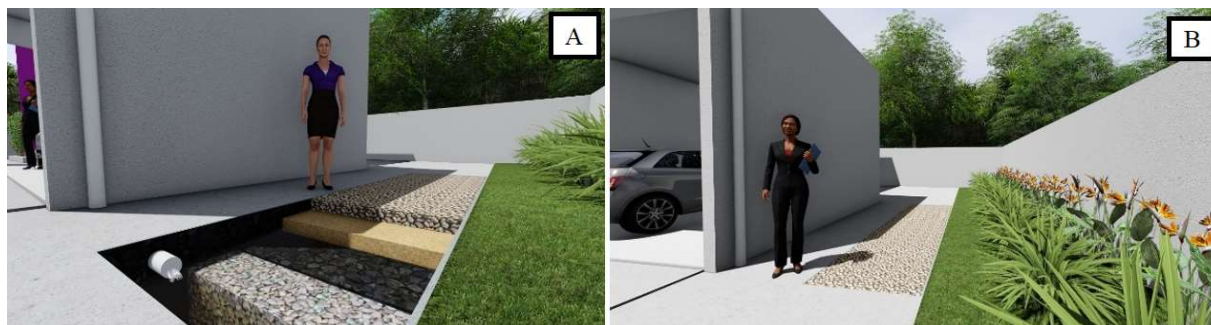
Figura 79 - Vista geral do projeto do jardim de chuva



Fonte: Autora (2023)

As áreas que contribuem para a trincheira de infiltração localizada no fundo do lote, responsável por coletar as águas do telhado menor, são as calçadas de concreto e o gramado que circundam a trincheira, da mesma forma que na técnica anterior. A figura 80A ilustra as camadas que compõem essa técnica, enquanto a figura 80B mostra a trincheira finalizada, com uma camada superior de material granular, como brita.

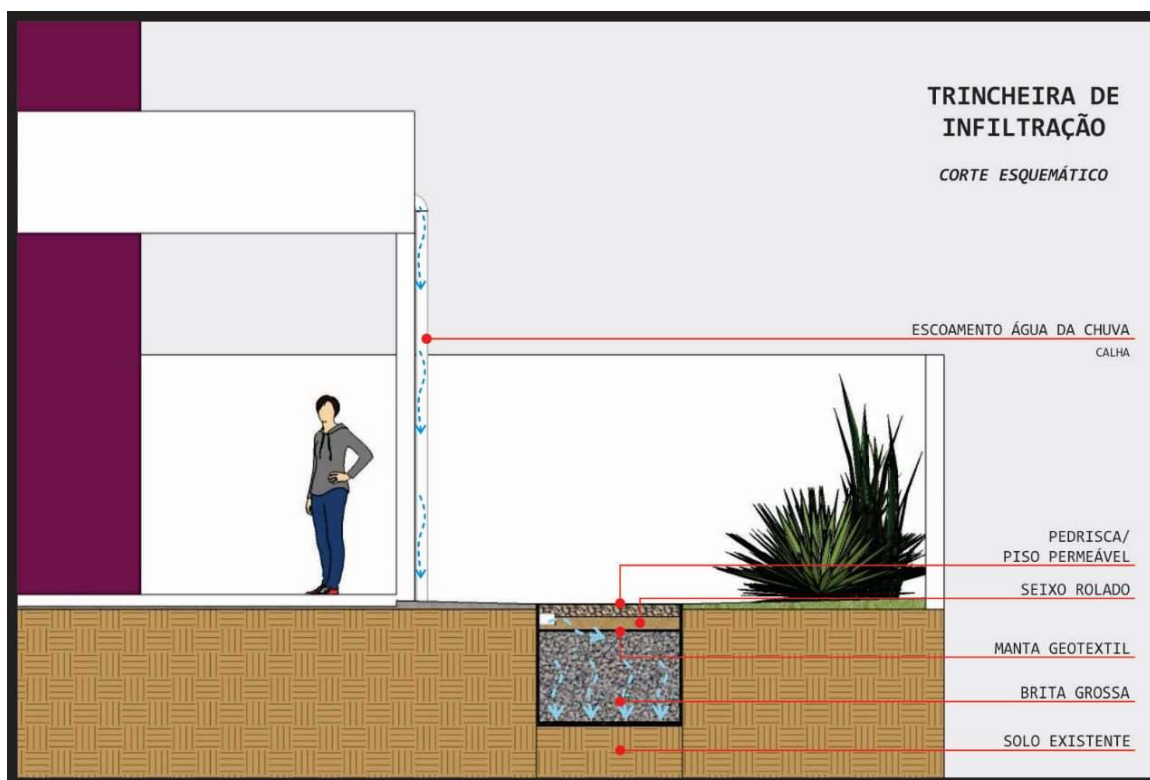
Figura 80 - Detalhe da composição da trincheira de infiltração



Fonte: Autora (2023)

Conforme os cálculos demonstraram, a trincheira se mostrou mais viável em relação ao jardim de chuva, considerando o volume de água que ela é capaz de armazenar. Enquanto o jardim de chuva calculado a 100% se tornou inviável, e o calculado a 20% não consegue absorver o volume de água de uma trincheira, levando em consideração a altura do armazenamento (com brita) calculada. O esquema em corte da trincheira pode ser visualizado na figura 81.

Figura 81 - Corte esquemático da trincheira de infiltração



Fonte: Autora (2023)

O segundo cálculo foi realizado na parte frontal direita do terreno, onde foi projetada uma trincheira com as dimensões de 1,00x8,00 metros. Nessa proposta, apenas as calçadas impermeabilizadas localizadas ao redor da trincheira contribuem para o escoamento, sendo que a área total impermeabilizada foi dividida entre as duas. A inclinação do terreno foi planejada para direcionar as águas para cada uma dessas áreas. A imagem 82 apresenta os detalhes dessa trincheira.

Figura 82 - Vista da trincheira de infiltração



Fonte: Autora (2023)

Do ponto de vista arquitetônico, em termos de estética, a trincheira de infiltração pode não ser tão chamativa em comparação a um jardim de chuva. No entanto, pelos cálculos realizados, ficou confirmado que a trincheira de infiltração foi mais eficiente, por ser capaz de armazenar um volume maior de água. Ambas as técnicas, no entanto, são consideradas adequadas para a área em estudo e podem contribuir significativamente na solução do problema de escoamento superficial dentro do lote.

É importante ressaltar que esse tipo de técnica pode ser aplicado em edificações com telhado aparente, uma vez que é possível instalar calhas de diversos materiais, como zinco ou tubos (meia cana), para direcionar a água para a técnica. Além disso, o padrão arquitetônico da residência não interfere nesse aspecto.

Quanto ao comportamento do solo na área do bairro, os resultados obtidos nos testes de infiltração indicaram uma taxa considerada boa. Pode-se afirmar que a utilização dessas técnicas na área teria um impacto positivo na redução do escoamento superficial. No entanto, para que esses benefícios sejam efetivamente alcançados para a cidade como um todo, seria necessário que a gestão municipal incentivasse a implementação dessas técnicas em escala de lote. Isso envolve não apenas fornecer o conhecimento adequado sobre os benefícios reais que essas técnicas podem trazer para as cidades, mas também incentivar os proprietários a implementá-las em seus lotes. Isso pode ser feito por meio de incentivos, como benefícios oferecidos àqueles que optarem pela utilização dessas técnicas, como descontos no IPTU, entre outras medidas.

É crucial conscientizar a população sobre sua responsabilidade social, pois muitas vezes falta conhecimento sobre o impacto ambiental que intervenções construtivas podem causar nas cidades, como o aumento de enchentes e alagamentos. As pessoas têm a falsa ideia de que, por serem donas de seus lotes, podem construir da forma que desejarem. No entanto, essa compreensão é equivocada, pois as consequências de construir sem regras ou limites afetam a todos. Portanto, é essencial realizar um planejamento adequado para lidar com as águas que são direcionadas para o sistema de drenagem urbana, e isso só é efetivamente alcançado por meio da implementação de um plano diretor de drenagem local.

A literatura indica que a utilização dessas técnicas em conjunto com o sistema de drenagem local tem se mostrado uma das melhores soluções para a gestão da drenagem urbana, sendo adotada por diversos países, bem como por algumas cidades brasileiras, como São Paulo e Porto Alegre, que já implementaram seus planos de drenagem urbana.

Portanto, diante do crescimento acelerado que está acontecendo em Boa Vista, é primordial ampliar a capacidade de retenção e reduzir a impermeabilização do solo. Torna-se

necessária a criação de medidas mitigadoras para enfrentar situações de alagamento e grandes volumes de água que, em pouco tempo de precipitação, geram problemas que afetam não apenas os proprietários de lotes, mas todos que vivem na região.

Logo, o devido planejamento em relação à drenagem urbana pode proporcionar muitos benefícios à cidade, ao meio ambiente e à população. Com um planejamento adequado, há um ganho em termos de qualidade de vida para a população, além de possibilitar a otimização dos gastos públicos. Isso ocorre porque, ao reduzir o volume de água direcionado ao sistema, o dimensionamento das obras de infraestrutura da cidade também diminui, resultando em menos custos para a municipalidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As cidades estão enfrentando um crescimento desordenado, e o bairro Jardim Caranã não é exceção a essa realidade. O processo de urbanização em constante expansão tem contribuído para alterações climáticas, especialmente em áreas com pouca vegetação e alta densidade construtiva. Nesse contexto, a criação de espaços verdes, como parques e praças, desempenha um papel crucial no aumento do Índice de Área Verde per capita, melhorando a qualidade de vida da população.

É importante destacar que essas áreas de convivência e espaços verdes são elementos essenciais para um planejamento urbano adequado, e é responsabilidade do poder público não apenas criá-los, mas também mantê-los com altos padrões de qualidade, de forma a proporcionar um ambiente agradável para os moradores da região.

O conhecimento sobre a composição gravimétrica nesse estudo tem o objetivo de relatar não apenas a situação atual da área em relação à porcentagem média das diferentes frações de resíduos gerados, mas principalmente permitir o planejamento de ações voltadas para o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos. Isso inclui ações preventivas diante do problema, uma vez que todos esses resíduos estão depositados em uma área suscetível a inundação, sem saber ao certo quando ocorrerá o próximo evento de cheia no estado. Nesse sentido, é importante ressaltar que, na atual situação dessa área de inundação, podemos prever que, caso o poder público não tome medidas para resolver esse problema, haverá um carreamento desses resíduos para o igarapé Caranã, que, por sua vez, tenderá a levá-los para o Rio Cauamé, tornando-se um fator agravante para a poluição dos mananciais do município.

A coleta dessas informações relacionadas ao bairro, tanto em termos de quantificação quanto de caracterização, é necessária não apenas para um melhor entendimento da situação atual da área, mas também para orientar possíveis propostas de melhorias urbanas no local.

O bairro Jardim Caranã, embora seja pequeno em extensão, apresenta características distintas em relação à maior parte da cidade. Seus lotes possuem áreas significativamente maiores do que os atualmente comercializados, e o bairro conta com infraestrutura completa de asfalto e esgoto. No entanto, ainda enfrenta diversas questões urbanas, como a falta de calçadas e a ausência de praças ou espaços abertos para uso público. Além disso, mesmo sem espaço físico para expansão, o bairro continua crescendo em direção à área de inundação, que deveria ser preservada. Para piorar a situação, a área enfrenta problemas relacionados ao descarte inadequado de resíduos sólidos, devido à falta de consciência da população local. Embora haja coleta constante por parte da Prefeitura Municipal de Boa Vista, os moradores insistem em

descartar lixo de forma inadequada, causando problemas para si mesmos e demonstrando despreocupação e falta de interesse na preservação da área, que poderia resultar em sérias consequências no caso de uma possível enchente.

A cidade de Boa Vista está em processo de atualização de seu plano diretor participativo, e essas informações são essenciais para orientar o planejamento da gestão urbana. Além de relatar a situação atual do bairro, o conhecimento adequado sobre o gerenciamento das águas que escoam superficialmente nos lotes pode alertar os gestores para a importância de implementar um plano diretor de drenagem urbana na capital. Nesse sentido, a proposição de um estudo de caso dentro do bairro tem como objetivo demonstrar que esse conhecimento pode trazer grandes benefícios, não apenas para o setor público, mas especialmente para a própria população, principalmente se aplicado estrategicamente nas áreas mais problemáticas da cidade em relação a enchentes.

Após realizar os cálculos relacionados à técnica de jardim de chuva, observa-se que, de acordo com as bibliografias, não é recomendado aplicá-la em 100% da área infiltrada, pois isso seria economicamente inviável devido à necessidade de uma grande área escavada, o que resultaria em altos custos. Nesse caso, uma opção mais adequada seria construir múltiplas unidades dessa técnica dentro do lote, o que aumentaria o volume de água absorvido e permitiria um trabalho urbanístico na área, uma vez que essa técnica utiliza vegetações em sua superfície. Vale ressaltar que essa técnica também contribui para amenizar as ilhas de calor comuns nas cidades e é eficiente no tratamento de poluentes presentes nas águas, que, após serem tratadas, são infiltradas no solo, ou seja, o objetivo não se resume apenas à retenção da água.

No caso da técnica de trincheira de infiltração, considera-se uma opção bastante viável para implementação em um lote, pois, levando em consideração o volume de água que uma trincheira pode armazenar e sua composição estreita, não é necessário ocupar grandes áreas do terreno. Além disso, não são necessários investimentos significativos em materiais, uma vez que a trincheira é composta principalmente por brita, que é facilmente adquirida no mercado local.

Embora o fator custo não tenha sido contemplado nesta pesquisa, pode-se observar que, entre as técnicas estudadas, a trincheira de infiltração seria a melhor opção para áreas de classe econômica mais popular, pois requer menos investimento em comparação ao jardim de chuva. É importante destacar que é possível construir uma trincheira sem o uso de manta geotêxtil, porém isso pode afetar sua vida útil, aumentando a colmatação, uma vez que não haverá nada retendo o material fino que se deposita no fundo da técnica.

Outra consideração importante é que a adoção de sistemas de drenagem sustentáveis já é uma realidade, inclusive no Brasil, e precisa ser melhor avaliada e implementada nas cidades, considerando seu objetivo de reduzir os picos de vazão conduzidos pelos sistemas convencionais de drenagem. Conforme mencionado na bibliografia, embora o custo de implementação seja equivalente ao da drenagem convencional, seu uso é considerado viável como uma alternativa para amortecer o volume de escoamento gerado dentro dessas áreas impermeabilizadas.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, M. I. L. **Pavimentos Betuminosos Permeáveis na Mitigação e Adaptação às Alterações Climáticas**. Tese de doutoramento em Engenharia Civil, 2021.
- ANDRADE, B. R. D.; LIMA, F. H.; MARCONDES, G. A.; CANHAS, J. N.; FONSECA, M. T.; BARBOSA, S. B. L., ... LEITE, E. B. **Ecosistemas e Áreas Verdes Urbanas – Um Estudo de Percepção Ambiental no Parque Julien Rien, Região Centro Sul de Belo Horizonte**. 2006.
- ARAGÃO, J. D. S. **O acesso ao saneamento urbano: os desafios da universalização no abastecimento de água e esgotamento sanitário. um estudo de caso em Manaus-Am**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia). Universidade Federal do Amazonas, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R.; TAVARES JÚNIOR, S. S. **Uso e cobertura do solo para o planejamento urbano, Boa Vista, Roraima, Brasil**. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 36-55, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R.; TAVARES JÚNIOR, S. S. **Expansão urbana e fatores de risco à inundação em Boa Vista-RR**. **Raega- O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 139-153, 2018.
- ARRUDA, L. E. V.; SILVEIRA, P. R. S.; VALE, H. S. M.; SILVA, P. C. M. **Índice de área verde e de cobertura vegetal no perímetro urbano central do município de Mossoró, RN**. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 8(2), 43. 2013.
- ASCE. **Design and Construction of Sanitary and Storm Sewers**, New York (Manuals and Reports of Engineering, 37), 1969.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10007: amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457/2016 - Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2016.
- BARBOSA, R. V. R.; BARBIRATO, G. M.; VECCHIA, F. A. S. **Vegetação Urbana: análise experimental em cidade de clima quente e úmido**. ENCAC- COTEDI, Curitiba/PR. Nov. 2003.
- BARROS, A. S.; MATOS, R. M.; SILVA, P.F.; DANTAS NETO, J. **Índices de áreas verdes públicas no perímetro central da cidade de Juazeiro do Norte – CE**. **Revista Brasileira de Geografia Física**. vol.08, n.04, p. 1273-1280, 2015.
- BASTOS, P. C. **Efeitos da urbanização sobre vazões de pico de enchente**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, 2009.

BATISTELA, T. S. **O zoneamento ambiental e o desafio da construção da gestão ambiental urbana**. 2007.

BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A.G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. **Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental**. *Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas*, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2012.

BENEDETTI, U. G. Estudo detalhado dos solos de Campus do Cauamé da UFRR, Boa Vista, Roraima. Dissertação de mestrado do Programa de Recursos Naturais - Pronat, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista. p.105. 2007.

BENINI, S. M. Infraestrutura verde como prática sustentável para subsidiar a elaboração de planos de drenagem urbana: estudo de caso da cidade de Tupã/SP. 2015.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. Ed. Atual. E Ampl. Viçosa: UFV, 625p. 2006.

BEZERRA, M. L. F. D. Taxa de (im) permeabilidade urbana intra-lote: um olhar sob a legislação. **Revista Campo do Saber**, v. 1, n. 2, 2016.

BOA VISTA. Lei n. 924, de 28 de novembro de 2006. Dispõe sobre o plano diretor estratégico e participativo de Boa Vista e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, RR, 30 out. 2006 (a).

BOA VISTA. Lei 925, de 28 de novembro de 2006. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano do Município de Boa Vista e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, Ano XII, nº1858, 30 nov. 2006 (b).

BOA VISTA. Lei 926, de 29 de novembro de 2006. Dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo do Município de Boa Vista e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, Ano XII, nº1858, de 30 nov. de 2006 (c).

BOA VISTA. Lei 2.187, de 5 de novembro de 2021. Isenta do pagamento de IPTU os imóveis considerados em área de preservação permanente (APP), e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, Ano XXVIII, nº5506 de 22 nov. de 2021(a), pág. 18. Disponível em: <<https://publicacoes.boavista.rr.gov.br/ler/diario/5506>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

BOA VISTA. Lei complementar 017, de 20 de dezembro de 2021. Acrescenta Os Arts. 16-A, 16-B, 16-C E 16-D na Lei Municipal Nº 926, De 29 De Novembro De 2006 e dá outras providências. **Diário Oficial do Município de Boa Vista**, Ano XXVIII, nº5534, de 31 dez. de 2021(b), pág. 03. Disponível em: <<https://publicacoes.boavista.rr.gov.br/ler/diario/5534>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

BORBA, A. L. S.; COSTA, M. R.; TORRES, F. S. M. **A proteção das águas: recurso natural limitado**. Águas Subterrâneas, 2018.

BRAGA, R. **Política urbana e gestão ambiental: considerações sobre o plano diretor e o zoneamento urbano. Perspectivas de gestão ambiental em cidades médias**. Rio Claro: LPM-UNESP, v. 15, n. 0, p. 17-33, 2001.

BRASIL. Lei nº 6.766, 19 de dezembro de 1979, Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências, 1979. **Diário Oficial da União**, p. 19457-19457, 1979.

BRASIL. Lei nº 9.433, 8 de janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997.

BRASIL. Lei n. 10.257, de 10 julho de 2001. Estatuto da Cidade e legislação correlata. Câmara dos Deputados – Centro de Documentação e informação. Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 11 de jul. 2002. Disponível em: < <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2002/decreto-4297-10-julho-2002-468375-publicacaooriginal-1-pe.html>>. Acesso em: 6 out. 2021.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. 2007. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm)>.htm. Acesso em: 12 jan. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.651, 25 de maio de 2012. Estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal e dá outras providências, 2012.

BRASIL. Portaria Conjunta nº 148, de 18 de dezembro de 2013. Estabelece o Protocolo de Ação Integrada para os casos de Inundação Gradual entre a Agência Nacional de Águas - ANA, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, representado pela Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento - SEPED/MCTI, o Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD, representado pela Secretaria Nacional de Defesa Civil - SEDEC/MI e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. Brasília: DOU Diário Oficial da União. p58. Publicado no D.O.U. de 24 de dezembro de 2013.

BRASIL. Lei n. 14.285, de 29 de dezembro de 2021. Altera as Leis nº 12.651, nº 11.952 e nº 6.766, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.285-de-29-de-dezembro-de-2021-370917982>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. ODS 6 no Brasil: visão da ANA sobre os indicadores. Brasília: ANA, 2019 (a).

BRASIL. M. M. A. Ministério do Meio Ambiente. Agenda ambiental na administração pública. Brasília. 2019 (b).

BRASIL. Presidência da República. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Brasília: 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm>. Acesso em: 10 jan. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Ministério do Meio Ambiente (Org.). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. 2021. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <<https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BRASIL, Serviço Geológico- Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais/CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas/SIAGAS. Disponível em: <<http://siagasweb.cprm.gov.br/pmapper/map.phtml>>. Acesso em: 06 fev. 2023.

BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2023. Disponível em: <<https://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. L. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas.** 2010. Disponível em: <http://www.nre.seed.pr.gov.br/cascavel/arquivos/File/A_urbanizacao_no_brasil.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

CALBETE, N. O.; CALBETE, S. R.; ROZANTE, J. R.; LEMOS, C. F. **Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil,** 1996. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br>. Acesso em: 15 fev. 2022.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CANHOLI, J. F. **Medidas de controle in situ do escoamento superficial em áreas urbanas: análise de aspectos técnicos e legais.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAPORUSSO, D.; MATIAS, L. F. **Áreas Verdes Urbanas: Avaliação e Proposta Conceitual.** In: Simpósio de Pós-Graduação em Geografia, 1., 2008. Rio Claro. Anais...São Paulo, 2008.

CARVALHO, J. Q. G. **Caracterização da área de nascente do igarapé Caranã e os impactos relacionados - Boa Vista-RR.** Monografia de relacionados - Boa Vista-RR. Monografia de Vista: Universidade Federal de Roraima, 2007.

CARVALHO, J. Q. G.; ARAÚJO, R. N. **Algumas Considerações sobre os impactos na nascente do Igarapé Caranã, Boa Vista –RR.** *Revista Acta Geográfica*, v. 1, n. 1, p. 95-103, 2007.

CARVALHO, R. G. **As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil.** *Caderno Prudentino de Geografia*, v. 1, n. 36, p. 26-43, 2014.

CASTRO, A. S. **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle qualitativo do escoamento superficial urbano.** 2011.

CAVALHEIRO, F.; DEL PICCCHIA, P. C. D. **Áreas verdes: conceitos, objetivos e diretrizes para o planejamento.** In: IV Encontro nacional sobre arborização urbana, 1992, Vitória. Anais... Vitória, 1992, p. 29-38.

CEPED UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012: Volume Santa Catarina,** 2013. 105 p. Disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/wp-content/uploads/2012/01/AMAZONAS_mioloWEB.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2022.

CHIAPPANI, R. M.; PEREIRA, F. B.; LIMA, D. P. Avaliação de dispositivo de drenagem sustentável na Av. Carlos Lindenberg – Jardim de chuva e pavimento permeável. **Revista acadêmica Novo Milênio**, v.3, n.2, 2021.

CHRISTENSEN, D. SCHMIDT, A. R. **An Approach to Analyze the Hydrologic Effects of Rain Gardens**. International Low Impact Development Conference. Seattle, Washington, 2008.

CHRISTOFIDIS, H. V. **Drenagem Urbana Sustentável: Análise do uso do Retrofit**. 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, 2010.

CORRÊA, C.A.; COSTA, A.J.T. Usos na bacia hidrográfica do paraíba do sul: considerações acerca da escassez de água, inundações e área de preservação permanente no trecho fluminense. **Revista de Geografia**, 33(3): 62-81. 2016.

COUCEIRO, S. R. M.; HAMADA, N. **Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos na região norte do Brasil**. Volume 15, Pags. 762-774, 2011.

CNRH. Caderno da região hidrográfica amazônica. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. MMA, Brasília, DF, 124p, 2006.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Processos hidrológicos: inundações, enchentes, enxurradas e alagamentos na geração de risco. Curso de capacitação de técnicos municipais para a prevenção e gerenciamento de riscos de desastres naturais. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Serviço Geológico do Brasil. Vitória / ES, 2017.

CONAMA. 2005. Resolução 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**. 53(1): 58-63. Brasília, 17 de março de 2005.

COSTA JUNIOR, L.L. **Avaliação do uso e ocupação do solo e do emprego de medidas de controle de inundação no lote**. São Carlos: UFSCar. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de São Carlos, 2003.

CREACO, E.; FRANCHINI, M. A Dimensionless Procedure For the Design on Infiltration Trenches. American Water Works Association, v. 104, n. 9, p. 501-509, 2012. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2012.104.0124>>, Acesso em: 09 mar. 2023.

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**, n. 51, p. 1-18, 2007.

DA PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: [s.n.] 2004. 138p.

DEP, N. J. Stormwater Best Management Practices Manual. New Jersey Department of Environmental Protection. Trenton, NJ: Division of Watershed Management. Accessed, v. 2, 2004.

DORNELES, A. C. B. O zoneamento e sua importância como um instrumento de planejamento urbano. **Cadernos da Escola de Direito**, v. 2, n. 13, 2010.

FEITOSA, S. M. R.; GOMES, J. M. A.; MOITA NETO, J. M.; Andrade, C. S. P. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina–Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, 6(2), 58-75, 2011.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Consideração sobre as inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2005.

GOMES, J. L.; BARBIERI, J. C. **Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública**. Cadernos EBAPÉ.BR [online]. 2004, v. 2, n. 3, pp. 01-21, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1679-39512004000300002>>, Acesso em: 09 fev. 2022. ISSN 1679-3951.

GUANDIQUE, M. E. G.; MORAIS, L. C. **Estudo de variáveis hidrológicas e do balanço hídrico em bacias hidrográficas**. Ecologia de reservatórios e interfaces. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 434-447, 2015.

HARDER, I. C. F.; RIBEIRO, R. C. S.; TAVARES, A. R. Índices de área verde e cobertura vegetal para as praças do município de Vinhedo, SP. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 277-282, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Estimativa Populacional 2021**. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/>>, Acesso em: 09 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2010(a)**. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/boa-vista/panorama>>, Acesso em: 22 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Domicílios particulares permanentes por situação e número de moradores - Ano 2010(b)**. Disponível em <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/185#resultado>>, Acesso em: 28 mar. 2023.

Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro – INEA RJ. Estudo da caracterização gravimétrica de resíduos sólidos urbanos: conhecendo a composição dos resíduos para aplicação na gestão municipal / Instituto Estadual do Ambiente (RJ). – Rio de Janeiro, 24 p. 2021. Disponível em <<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/Cartilha-Estudo-da-Characteriza%C3%A7%C3%A3o-Gravim%C3%A9trica-de-Res%C3%ADduos-S%C3%B3lidos-Urbanos-2.pdf>>, Acesso em: 13 abr. 2023.

JORGE, F. N. de; UEHARA, K. Águas de Superfície. in: OLIVEIRA, A. M. dos S., BRITO, S. N. A. de, (org.). Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE, 1998.

JUNIOR, R.O.; COELHO, M.F. Instrumentos legais pertinentes à gestão do solo e da água urbanos e sua inserção nas políticas públicas. **Rega – Revista de Gestão da América Latina**, Porto Alegre: Vol.2 – nº.2 - Jul./Dez. 2005.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; RUDORFF, F. D. M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p.

LI, J.Q.; ZHAO, W.W. Design and hydrologic estimation method of multi-purpose rain garden: beijing case study. In: International Low Impact Development Confer-ence, Seattle, 2008.Proceedings..., Seattle, 2008.

LIMA, A. Zoneamento Ecológico-Econômico à luz dos direitos socioambientais. Curitiba: Juruá, 288p., 2009.

LIMA NETO, E. M.; RESENDE, W. X.; SENA, M. G. D.; MELO, R. Análise das Áreas Verdes das Praças do Bairro Centro e Principais Avenidas da Cidade de Aracaju-SE. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. v. 2, n. 1, p. 17-33. 2007.

LUCAS, A. H; SOBRINHA, L.A; MORUZZI, R. B.; BARBASSA, A. P. Avaliação da Construção e Operação de técnicas Compensatórias de Drenagem Urbana: o transporte de finos, a capacidade de infiltração, a taxa de infiltração real do solo e a permeabilidade da manta geotêxtil. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 17-28, 2015.

MARICATO, E; SANTOS JUNIOR, O. A. Construindo a Política Urbana: participação democrática e o direito à cidade. In: RIBEIRO, L. C. Q.; SANTOS JUNIOR, O. A. (Org.). **As metrópoles e a questão social brasileira**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2007. p. 165-195.

MATTEDI, M.A. O significado sociológico dos desastres: a rede de gestão das enchentes em Santa Catarina. SBS - RIO DE JANEIRO JULHO/2009.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. *Ambi-Agua*, Taubaté, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011. (doi:10.4136/ambi-agua.179)

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 147-165, ISSN 1678-8621, 2014.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; SANTOS, J. B. F.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; LASSABATERE, L. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, ISSN 1678-8621, 2016. Disponível em < <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212016000300092> >, Acesso em: 16 mar. 2023.

MENEGASSE-VELÁSQUEZ, L. N. Efeitos da Urbanização Sobre o Sistema Hidrológico: Aspectos da Recarga no Aquífero Freático eo Escoamento Superficial. Tese (Doutorado em Recursos Naturais e Hidrogeologia). Instituto de Geociências-USP, 1996.

MENESES, M. E. N. S.; COSTA, M. L.; COSTA, J. A. V. Os lagos do lavrado de Boa Vista-Roraima: fisiografia, físico-química das águas, mineralogia e química dos sedimentos. **Brazilian Journal of Geology**, v. 37, n. 3, p. 478-489, 2007.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M. Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade. 1. ed. rio de janeiro: elsevier, 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS IPT. **Mapeamento de risco em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 176 p. 2007.

MOURA, M. N.; CORRÊA, A. C. S.; CHECCHIA, T.; MARINI, G. **Estudo De Viabilidade Para Implantação De Biovaletas No Sistema De Drenagem Urbana De Porto Velho-RO**. 2017.

NASCIMENTO, W. J. F.; ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Gestão do espaço urbano a partir do plano diretor: uma análise da Zona Oeste de Boa Vista-RR. **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 10, n. 24, p. 34-52, 2017.

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - ODS BRASIL. **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em <<https://odsbrasil.gov.br/home/NewHome>>, Acesso em: 16 jan. 2023.

OLIVEIRA, A. J. C.; Urbanização e os Problemas Relacionados com o Saneamento Básico e Meio Ambiente nas Cidades. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 9, n. 23, 2021.

OLIVEIRA, J.; CARVALHO, T. M. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da Expansão Urbana e uso para lazer em suas praias. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 8, n. 1, p. 61-80, 2014.

OLIVEIRA, V. M. do N.; PARANHOS, L. G.; ALVAREZ, I. A. Levantamento Qualitativo de Espécies Vegetais nos Espaços Verdes Urbanos do Centro de Petrolina, Pernambuco. In: II Jornada Científica PIBIC - FACEPE/CNPq/EMBRAPA, 2007, Petrolina. Anais da II Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semi-Árido. Petrolina : Embrapa Semi-Árido, 2007.

PARANÁ. **Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba: Manual de Drenagem Urbana**, p. 150, 2002.

PEITER, T. V.; POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. **Revista de estudos ambientais**, v. 14, n. 2, p. 56-66, 2012.

PEREIRA, R. M. V.; MEDEIROS, R. A aplicação dos instrumentos de gestão e do sistema de gerenciamento dos recursos hídricos na lagoa Rodrigo de Freitas, RJ, Brasil. **Ambi-Água**. Taubaté, v. 4, n.3, pp. 211 – 229, 2009.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PORTO ALEGRE. **Plano diretor de drenagem urbana: manual de drenagem urbana**. 2005.

RIBEIRO, A. K. D. A.; TAMAYOSI, R. Y.; PENA, S. S. C. A drenagem urbana no contexto do novo marco legal do saneamento. 2021.

SANCHEZ, A. D. R.; Avaliação da infiltração de água em três classes de solos na savana de Roraima. Trabalho de conclusão para obtenção do título de Bacharel em Agronomia na Universidade Federal de Roraima, Boa Vista -RR. 2017.

SANDER, C.; WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O.; SANTOS, M. L.; FERNANDEZ, O. V. Q. Intervenções antrópicas em canais fluviais em áreas urbanizadas: rede de drenagem do igarapé Caranã, Boa vista-rr. **Acta Geográfica**, v. 6, n.12, p. 59-84, 2012a.

SANDER, C.; WANKLER, F. L.; EVANGELISTA, R. A. O.; MORAGA, C. H.; TEIXEIRA, J. F. S. Cheias do Rio Branco e eventos de inundação na cidade de Boa Vista, Roraima, Boa Vista-RR. **Acta Geográfica**, v. 6, n.12, p. 41-57, 2012b.

SANTOS, M. F. **Políticas públicas e vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica Caranã**, Boa Vista-RR. 2019.

SANTOS, M. A urbanização brasileira. São Paulo: Edusp, 2009.

SANTOS, S. L. Sustentabilidade de cidades no contexto da integração entre a gestão de recursos hídricos e o planejamento urbano territorial. **Bahia Análise & Dados**, v. 29, n. 2, p. 55-75, 2020.

SÃO PAULO, Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciando do sistema de drenagem urbana, ed. SMdDU (SMDU), Editor, São Paulo, p. 168, 2012.

SELBORNE, L. **A ética do uso da água doce: um levantamento**. Unesco, Brasília. 80 pp, 2001

SILVA, P. R. F. Boa Vista: gênese espontânea e gênese induzida. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 1, n. 5, p. 63-71, 2009.

SILVA, A. D. P.; SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, L. M. Índices de área verde e cobertura vegetal das praças públicas da cidade de Gurupi, TO. **Floresta**, 46(3), 353-362. 2016.

SILVA, G. F. N.; OLIVEIRA, I. J. Reconfiguração da paisagem nas savanas da Amazonia. Mercator, Fortaleza, v. 17, p. e17028, 2018.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: Hidrologia: ciência e aplicação. Tucci, C. E. M. (org.) Porto Alegre: ABRH. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 35-52. 2007.

SILVEIRA, G. L. Cobrança pela Drenagem Urbana de Águas Pluviais: incentivo à sustentabilidade. **Relatório de Pós-Doutorado**, 2008.

SILVEIRA, A.L.L.; GOLDENFUM, J.A. Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**. v. 12, n. 2, p. 157-168, 2007.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ARBORIZAÇÃO URBANA – SBAU. “Carta a Londrina e Ibiporã”. Boletim Informativo, v. 3, n. 5, p.3, 1996.

SOUZA, R. O.; BARNI, P. E.; GALDINO, L. K. A. Levantamento de dados espaciais da Bacia do Rio Cauamé em apoio ao Ministério Público Estadual no inquérito civil – Nº 025A/11/PJMA/2ºTIT/MP/RR. Ambiente Gestão e Desenvolvimento. v.15, n.1, p. 49-61, 2022.

STAEVIE, P.M. Expansão urbana e exclusão social em Boa Vista – Roraima. **Oculum Ensaios**: revista de arquitetura e urbanismo, Campinas, n. 13, 2011, p. 68-87.

TEIXEIRA, B. K.; SILVA, A. S. Tipos de vegetação para medidas compensatórias de controle pluvial na fonte em zonas subtropicais. **Revista LABVERDE**, v. 9, n. 2, p. 103-127, 2019.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-19092014-120127/publico/Dissert_Tominaga.pdf> Acesso em: 28 de fev. 2022.

TONELLO, K. C.; Gasparoto, E. A. G.; Shinzato, E. T.; Valente, R. D. O. A.; Dias, H. C. T. Precipitação efetiva em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Ipanema. **Revista Árvore**, v. 38, p. 383-390, 2014.

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp, cap. 4. 1993.

_____. Inundações urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO R. L. L.; BARROS, M. T. (Org.) Drenagem urbana. Porto Alegre, RS: ABRH, cap. 1, p. 15-36, 1995.

_____. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. Rbrh: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS. vol. 2, n. 2 (jul./dez. 1997), p. 5-12, 1997.

_____. Gerenciamento da Drenagem Urbana. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V.7 n.1. Jan/Mar. 5-27, 2002.

_____. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, BRAGA, TUNDISI. Águas doces no Brasil – Capital Ecológico, usos e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, p. 399-431. 2006.

_____. Inundações urbanas. Porto Alegre: ABRH/Rhama, v. 11, 2007.

_____. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO- OESTE, 1., Brasília, 1999. Anais do I Seminário de Recursos Brasília, 2009.

_____. Gestão da drenagem urbana. CEPAL. Brasília (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48), 2012.

_____. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4 edição. Editora UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil, v. 4, 2015.

TUCCI, C.E.M.; ORSINI, L. F. Águas urbanas no Brasil: cenário atual e desenvolvimento sustentável. In: CIDADES, MINISTÉRIO DAS (Ed.). Gestão dos territórios e manejo integrado das águas urbanas. Brasília: Ministério das Cidades, p.243-268. 2005.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. In: *Jornal Ciencia Cult.* São Paulo, p. 31-33, 2003.

URBONAS, B.; STAHERE, P. Storm water Best Management Practices and Detention. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p, 1993.

VALE, A. L. F. Migração e Territorialização: as dimensões territoriais dos Nordestinos em Boa Vista/RR. 2007.

VIEIRA, Z. C.; SILVA JUNIOR, C. G.; RIBEIRO, S. N. Uso de telhados verdes em edificações de Aracaju para redução do escoamento superficial. 2015.

VIEIRA, I. Mapeamento da área de preservação permanente na margem norte do rio Itajaí-Açu em área urbana consolidada. *Metodologias e Aprendizado*, v. 1, p. 26-29, 2019.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WENDLING, K.C. S.; NASCIMENTO, F. L.; SENHORAS, E. M. A crise migratória venezuelana. **Boletim de Conjuntura (BOCA)**, v. 8, n. 24, p. 01-14, 2021.

YAZAKI, L. F. O. L. et al. Projeto Técnico: Jardins de chuva. 2013a. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/04/AF_Jardins-de-Chuva-online.pdf> Acesso em: 03 de maio 2022.

YAZAKI, L. F. O. L. et al. Projeto Técnico: Pavimentos Permeáveis. 2013b. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Pav%20Permeavel_web.pdf> Acesso em: 03 de maio 2022.

ZUCCO, Evelyn et al. Metodologia para estimativa das concentrações em cursos de água para vazões de referência: uma ferramenta de suporte e apoio ao sistema de gestão de bacias hidrográficas. *REGA*, v. 9, n. 1, p. 25-37, 2012

APÊNDICE