



Daniela Martins da Costa Neves

**Caderno de Orientação para implantação de
Soluções baseadas na Natureza no Distrito
de Baixa Emissão da cidade do Rio de Janeiro**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Sustentabilidade pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Conservação e Sustentabilidade, do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio.

Orientadora: Prof.^a Dra. Agnieszka Ewa Latawiec
Coorientadora: Prof.^a Ma. Mariela Figueredo Simões de Jesus

Rio de Janeiro,
julho de 2023

Daniela Martins da Costa Neves

**Caderno de Orientação para implantação de
Soluções baseadas na Natureza no Distrito
de Baixa Emissão da cidade do Rio de Janeiro**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Sustentabilidade pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Conservação e Sustentabilidade, do Departamento de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof.^a Dra Agnieszka Ewa Latawiec

Orientadora

Departamento de Geografia e Meio Ambiente – PUC-Rio

Prof.^a Ma. Mariela Figueredo Simões de Jesus

Coorientadora

Instituto Internacional para Sustentabilidade – IIS

Prof. Dr. Carlos Leandro de Oliveira Cordeiro

Instituto Internacional para Sustentabilidade – IIS

Prof.^a Dra. Aliny Patricia Flauzino Pires

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

Rio de Janeiro, 27 de julho de 2023.

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Ficha Catalográfica

Neves, Daniela Martins da Costa

Caderno de orientação para implantação de Soluções baseadas na Natureza no Distrito de Baixa Emissão da cidade do Rio de Janeiro / Daniela Martins da Costa Neves; orientadora: Agnieszka Ewa Latawiec; coorientadora: Mariela Figueredo Simões de Jesus. – 2023.

86 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Geografia e Meio Ambiente, 2023.

Inclui bibliografia

1. Geografia e Meio Ambiente – Teses. 2. SbN. 3. Infraestrutura verde. 4. Cidades sustentáveis. 5. Políticas públicas. 6. Mudanças climáticas. I. Latawiec, Agnieszka Ewa. II. Jesus, Mariela Figueredo Simões de. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Geografia e Meio Ambiente. IV. Título.

CDD: 910

À nossa Mãe Terra, que nos acolhe e sustenta,
Aos meus amados pais, Thomaz e Cristina e à minha querida irmã, Carol,
Ao meu amado Titi,
Aos meus afilhados queridos, Gabi e Flavinho,
Às minhas leais companheiras de quatro patas, Meg e Maya,
Às futuras gerações, merecedoras de um mundo melhor,
E a todos aqueles que dedicam seu tempo em prol do desenvolvimento sustentável.

Agradecimentos

À Deus por iluminar todos os dias todos os meus passos, a cada dia aprendo mais com o Senhor.

Ao Thomaz, à Cristina, à Carol, ao Gustavo, à Gabi e ao Rafael por serem a minha base e fonte de inspiração. Que sorte a minha de ter essa família tão maravilhosa e presente na minha vida.

Ao Tiago por todo o seu amor, carinho, amizade e apoio inestimável. Sou muito grata por ter você ao meu lado, compartilhando sonhos, desafios e vitórias.

A minha família por todo apoio, incentivo e companheirismo ao longo dessa jornada.

À Agnieszka pelo apoio, amizade e por me guiar tão bem ao longo dessa trajetória. As suas ricas contribuições e ideias inspiradoras fizeram a diferença no estudo.

À Mariela por todo o seu direcionamento assertivo e pela sua visão objetiva. Os seus conselhos, suporte e experiência foram fundamentais para o desenvolvimento do estudo.

Ao Daniel Mancebo, à Aline Xavier, à Simone Crispim e à Thaís Rennó pela confiança na elaboração do Caderno de Orientação. Agradeço por estarem presentes durante a pesquisa, pelas reuniões, apoio e por me conectarem com atores-chaves, quando precisei. Me sinto honrada e privilegiada por ter feito parte dessa parceria da PUC-Rio com o Escritório de Planejamento (EPL) e realmente acredito que o Distrito de Baixa Emissão tem o potencial de se tornar uma referência no mundo como Distrito Neutro.

Ao Felipe Mandarinho pelas reuniões, trocas, suporte e compartilhamento de dados, foram muito importantes para a realização do mapeamento de áreas prioritárias de áreas de infraestrutura verde.

Ao Gilberto Carvalho, à Patrícia Montezuma, e ao João Paulo Fraga pela parceria, disponibilidade, orientações e dicas. Foi essencial contar com vocês para a realização do estudo hidrológico.

À Barbara Barros por ter me apresentado o “Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da cidade do Rio de Janeiro” (PDS), o que me possibilitou conhecer os Programas em andamento na cidade, e pelas trocas.

Ao professores Carlos Cordeiro, à Aliny Pires e ao Fábio Scarano por terem aceitado o convite de fazer parte da banca examinadora. Vocês são referências para mim e agradeço pelas contribuições que irão enriquecer a pesquisa.

Aos professores do mestrado Bernardo Strassburg, Sergio Margulis, Carlos Scaramuzza, Rafael Gonçalves, Rogério de Oliveira, Paulo Branco, José Araruna e Aline Rodrigues por todos os ensinamentos, foi incrível ter vocês como mestres nessa jornada.

Ao Eduardo Lacerda pela sua generosidade, direcionamento e dicas, que contribuíram significativamente para o aperfeiçoamento das informações da metodologia de análise espacial em SIG no caderno de orientação.

À Ana Paula Lima por todo apoio, presença, conselhos e amizade ao longo dessa jornada.

Aos amigos do mestrado com quem tive o prazer de aprender e trocar durante e após o mestrado.

Aos meus amigos queridos pelo apoio, carinho, encorajamento e compreensão durante esse período de pesquisa.

À Yumi Sato pela sua habilidade em representar tão bem por meio de ilustrações as transformações que as SbN propostas poderão proporcionar para a área de estudo.

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

Resumo

Neves, Daniela Martins da Costa; Latawiec, Agnieszka Ewa; Simões-Jesus, Mariela Figueredo. **Caderno de Orientação para Implantação de Soluções baseadas na Natureza na cidade do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2023. 86p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A crescente ocorrência de eventos extremos, impulsionada pelas mudanças climáticas, tem um impacto direto nas cidades, onde aproximadamente 60% da população mundial reside. As Soluções baseadas na Natureza (SbN) têm se tornado importantes estratégias de adaptação e mitigação climática nas políticas públicas. Esse estudo teve como objetivo orientar a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro na implantação de SbN no Distrito de Baixa Emissão (DBE). Assim, foi elaborado um Caderno de Orientação para implantação de SbN que busca dar suporte à Prefeitura na ação estruturante de requalificação urbana do DBE. Uma ferramenta de "Seleção de SbN" foi utilizada e adaptada para o contexto do DBE e foram identificados os fatores de sucesso da capacidade institucional da Prefeitura na implementação das SbN, além da apresentação das 15 SbN recomendadas. Também foram gerados mapas de áreas prioritárias de infraestrutura verde para o distrito, baseados no “Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde”. Por fim, foram elaborados um projeto conceitual de SbN para duas avenidas localizadas no DBE, a fim de ilustrar a aplicação prática dessas ações em escala local, e um estudo hidrológico do volume de águas pluviais amortecido nas sub-bacias dessas avenidas, para avaliar o desempenho das soluções propostas. Este estudo busca auxiliar a tomada de decisão da Prefeitura na implementação das SbN no DBE. A integração de SbN em programas e a realização de parcerias-público privadas são algumas estratégias importantes a serem consideradas pela Prefeitura, bem como a realização de outras pesquisas de SbN direcionadas para o DBE.

Palavras-chave

SbN; Infraestrutura Verde; Cidades Sustentáveis; Políticas Públicas; Mudanças climáticas

Abstract

Neves, Daniela Martins da Costa; Latawiec, Agnieszka Ewa; Simões-Jesus, Mariela Figueredo. **Guidelines for the Deployment of Nature-based Solutions in the Low Emission District of Rio de Janeiro City**. Rio de Janeiro, 2023. 86p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Geografia e Meio Ambiente, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The increasing occurrence of extreme events driven by climate change has a direct impact on cities, where almost 60% of the world's population resides. Nature-based solutions (NbS) have become essential climate adaptation and mitigation strategies on public policies. This study aimed to guide the Rio de Janeiro City Hall in development of NbS in the Low Emission Zone (LEZ). Thus, a Guideline for the Deployment of NbS was formulated to support the City Hall in structuring urban renewal actions in the LEZ. An "NbS Selection" tool was used and adapted to the context of the LEZ, and the success factors of Rio's institutional capacity in implementing NbS were identified, in addition to the presentation of the 15 recommended NbS. Maps depicting priority areas for green infrastructure within the LEZ were also generated based on the "Methodological Guide for Green Infrastructure Implementation". Finally, a conceptual project of NbS was created for two avenues located in the LEZ, to illustrate the practical application of these actions on a local scale, and a hydrological study of the attenuated stormwater volume in the sub-basins of these avenues, to evaluate the performance of the proposed solutions. This study seeks to assist the City Hall's decision-making in the implementation of NbS in the LEZ. The integration of NbS in programs and the realization of public-private partnerships are some relevant strategies to be considered by the City, as well as the realization of further research on NbS directed to the LEZ.

Keywords

NbS; Green Infrastructure; Sustainable Cities; Public Policy; Climate change

Sumário

1. Introdução	16
1.1 Objetivos	19
2. Referencial Teórico	20
2.1 Soluções baseadas na Natureza	20
2.2 Infraestrutura verde	23
3. Procedimentos metodológicos	26
3.1 Diagnóstico dos fatores de sucesso para a futura implementação de SbN e ranqueamento das 15 SbN recomendadas para o Distrito	26
3.2 Mapeamento de áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde	29
3.3 Proposta de implantação de SbN no DBE	35
3.3.1 Projeto conceitual de SbN	36
3.3.2 Estudo hidrológico das sub-bacias RC e AB	39
4. Resultados e discussão.....	48
4.1 Diagnóstico dos fatores de sucesso para a futura implementação de SbN e ranqueamento das 15 SbN recomendadas para o Distrito	49
4.2 Mapeamento de áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde	53
4.3 Proposta de implantação de SbN no DBE	68
4.3.1 Projeto conceitual de SbN	68
4.3.2 Estudo hidrológico das sub-bacias RC e AB	73
4.4 Livreto da Proposta de Implantação de SbN no DBE	77
5. Conclusão	78
6. Referências bibliográficas	80

Lista de Figuras

Figura 1 – Mapa de localização do Distrito de Baixa Emissão da cidade do Rio de Janeiro.	17
Figura 2 - Infográfico das Abordagens baseadas em Ecossistemas e Desafios Sociais das SbN.	22
Figura 3 - Ilha de embarque e ciclovias no seu entorno.....	39
Figura 4 -Localização da bacia do Centro na Bacia da Baía de Guanabara.	40
Figura 5 - Mapa da bacia do Centro e sub-bacias das avenidas da área de estudo.	42
Figura 6 - Figura 36: Mapa das áreas de contribuição das avenidas República do Chile e Almirante Barroso e caminhamento da água.	43
Figura 7 - Mapa do indicador áreas verdes e número de habitantes classificado.....	54
Figura 8 - Mapa do indicador áreas verdes e número de habitantes reclassificado.....	55
Figura 9 - Mapa do indicador Índice de Desenvolvimento Social classificado.....	56
Figura 10 - Mapa do indicador Índice de Desenvolvimento Social reclassificado.....	57
Figura 11 - Mapa do indicador Temperatura de Superfície classificado...	58
Figura 12 - Mapa do indicador Temperatura de Superfície reclassificado.	59
Figura 13 - Mapa do indicador Densidade de Alagamentos classificado.	60
Figura 14 - Mapa do indicador Densidade de Alagamentos reclassificado.	61
Figura 15 - Áreas demarcadas em vermelho representam os setores censitários com valor nulo do IDS.....	62
Figura 16 - Cenário 1: Mapa síntese áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE. Foram considerados os seguintes percentuais para os indicadores: 50% para o IDS, 25% para Áreas Verdes e Número de Habitantes, 15% para Temperatura de Superfície e 10% para Densidade de Alagamento.	65
Figura 17 - Cenário 2: Mapa síntese áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE. Foram mantidos os mesmos percentuais do primeiro cenário, entretanto o peso atribuído à camada do IDS para as áreas de alta prioridade foi reduzido de 5 para 1.....	66

Figura 18 - Cenário 3: Mapa síntese áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE. Foram atribuídos os mesmos percentuais de 28% para os indicadores: Áreas verdes e número de habitantes; Temperatura de superfície; e Densidade de alagamentos. No entanto, foi reduzido o percentual do IDS para 16%, com o intuito de compensar a falta de variabilidade de entrada.	67
Figura 19 - Projeto conceitual de SbN e estratégias de elementos urbanos na Av. República do Chile e Av. Almirante Barroso e de caminhamento da água.	69
Figura 20 - Diagrama propositivo representando os elementos de infraestrutura verde e de elementos urbanos em trecho da Av. República do Chile.	71
Figura 21 - Diagrama propositivo representando os elementos de infraestrutura verde e de elementos urbanos em trecho da Av. Almirante Barroso.	72

Lista de quadros

Quadro 1 - Desafios urbanos selecionados na ferramenta para o DBE...	27
Quadro 2 - Tipologias de SbN que foram consideradas para o DBE.	28
Quadro 3 - Atribuição de peso na função Weighted Overlay para os valores reclassificados.....	34
Quadro 4 - Cenário 1: Definição dos percentuais de influência dos indicadores.....	34
Quadro 5 - Cenário 2: Adequação do peso da camada do indicador IDS.	35
Quadro 6 - Cenário 3: Definição dos percentuais de influência dos indicadores.....	35
Quadro 7 - Diagnóstico dos fatores de sucesso para a implementação de SbN	49
Quadro 8 – Recomendações de SbN para o DBE	52

Lista de tabelas

Tabela 1 - Coeficientes de escoamento superficial “c”	44
Tabela 2 - Parâmetros da equação de chuvas intensas.	45
Tabela 3 - Intensidade de precipitação em mm/h para a região de Sabóia Lima.	46

Lista de abreviaturas e siglas

AB - Almirante Barroso

CNP - Contribuições da Natureza para as Pessoas

DBE - Distrito de Baixa Emissão

GEE - Gases de efeito estufa

IPP - Instituto Pereira Passos

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IV - Infraestrutura Verde

NAU - Nova Agenda Urbana

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PDS - Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da cidade do Rio de Janeiro

RC - República do Chile

SbN - Soluções baseadas na Natureza

SE - Serviços Ecossistêmicos

SIG - Sistema de Informações Geográficas

"Observe profundamente a natureza,
e então você entenderá tudo melhor."
Albert Einstein

1. Introdução

No período compreendido entre 1970 e 2021, foi observado um crescimento expressivo na população urbana mundial, que foi quadruplicada de 1,2 bilhão para 4,4 bilhões de pessoas (“Thriving: Making Cities Green, Resilient, and Inclusive in a Changing Climate”, 2023). Simultaneamente, ocorreu um aumento de cerca de 1,2 °C na temperatura média da superfície terrestre em relação aos níveis pré-industriais, resultante das atividades humanas nesse mesmo período (“Summary for Policymakers: Global Warming of 1.5°C”, 2018).

As cidades desempenham um papel essencial nesse contexto, sendo atualmente habitadas por cerca de 60% da população global (UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT), 2022). Além disso, aproximadamente 78% do consumo mundial de energia é atribuído às áreas urbanas, que também são responsáveis por cerca de 60% das emissões de CO₂ (UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT), 2018).

As áreas urbanas têm enfrentado os impactos decorrentes do aumento na frequência dos eventos extremos causados pelas mudanças climáticas (UNITED NATIONS, [S.d.]). Dentre esses eventos, podem ser citados, o aumento do nível do mar, a ocorrência de precipitação extrema, a intensificação da seca, a escassez de água e a poluição do ar. Essas ocorrências, por sua vez, geram impactos negativos sobre as pessoas, os ecossistemas e economias locais e nacionais (REVI, D.E. SATTERTHWAITE, *et al.*, 2014).

Diante desse cenário, foram estabelecidos diversos acordos globais entre os países membros das Nações Unidas para o desenvolvimento de cidades resilientes e sustentáveis, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a Nova Agenda Urbana (NAU) da Organização das Nações Unidas (ONU), o Marco de Sendai e o Acordo de Paris (UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT), 2020).

A cidade do Rio de Janeiro desempenha um papel de relevância no cenário político internacional, tendo sediado a Eco-92, a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Em 2007, ela tornou-se

afiliada à Rede C40¹. Posteriormente, em 2019, a Prefeitura do Rio de Janeiro reforçou o seu compromisso para aumentar a resiliência climática com a assinatura da “Declaração de Ruas Verdes e Saudáveis” da Rede C40. Esse documento determina que é preciso definir uma área relevante da cidade para alcançar a neutralidade de emissões de gases de efeito estufa (GEE) até 2030. Dessa forma, em 2022, foi criado o Distrito de Baixa Emissão (DBE), que se localiza no Centro do Rio (Figura 1), e abrange uma área de cerca de 2,3 km². Essa localidade é reconhecida por ser um polo comercial relevante e pela presença de várias empresas. Além disso, essa região engloba patrimônios históricos, como a Praça XV de Novembro, o Paço Imperial, os Arcos da Lapa, o Theatro Municipal, a Biblioteca Nacional, a Igreja da Candelária e o Polo Saara.



Figura 1 – Mapa de localização do Distrito de Baixa Emissão da cidade do Rio de Janeiro.

Fonte: Elaboração pela autora.

¹ A Rede C40 é uma organização global composta por cerca de 100 cidades em todo o mundo que se uniram com o compromisso de combater os efeitos das mudanças climáticas. Entre os principais objetivos da rede estão a redução das emissões de GEE, a implementação de medidas de adaptação às mudanças climáticas e a criação de planos de ação climáticas (C40 CITIES, 2022).

O DBE é regulamentado pelo Decreto Municipal “Ruas Verdes e Saudáveis”. Além disso, ele está inserido no “Plano de Desenvolvimento Sustentável e de Ação Climática da cidade do Rio de Janeiro²” (PDS). Adicionalmente, ele foi instituído no Programa Reviver Centro³ e a regulamentação e gestão para implementação das ações no Distrito foram estabelecidas pelo Decreto Rio nº 51047. Essas ações foram estruturadas em nove áreas: 1. Requalificação Urbana; 2. Mobilidade Ativa; 3. Tecnologia Limpa; 4. Qualidade do Ar; 5. Resíduos; 6. Edificações; 7. Comunicação e Participação; 8. Monitoramento; 9. Normativa (RIO DE JANEIRO, 2022). Dentre essas ações estruturantes, destaca-se a requalificação urbana, que compreende a implementação de Soluções baseadas na Natureza (SbN) e Infraestrutura Verde.

As SbN são abordagens que empregam a natureza e os seus processos para promover a resiliência urbana. Essas ações oferecem múltiplos benefícios, como a promoção da biodiversidade, a redução de riscos de desastres e a melhoria da qualidade de vida das comunidades (WORLD BANK, 2021).

Nesse contexto, foi estabelecida uma parceria entre a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e a Prefeitura do Rio de Janeiro com o intuito de apoiar a implantação de SbN no DBE, por meio da elaboração de um caderno de orientação. Além disso, essa colaboração proporcionará aos alunos da universidade a oportunidade de desenvolver trabalhos finais de graduação e pós-graduação, assim como produzir artigos científicos em temas relacionados ao distrito, que possui uma ligação intrínseca com o campo da sustentabilidade.

² O PDS tem como objetivo apresentar estratégias de mitigação e adaptação para a cidade aumentar a sua resiliência climática até o ano de 2050 (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2021).

³ O Reviver Centro é um plano voltado para a região do Centro do Rio que busca expandir a oferta de moradias, promovendo a requalificação urbana, cultural, social e econômica (SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO, INSTITUTO RIO PATRIMÔNIO DA HUMANIDADE, *et al.*, 2022).

1.1 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é orientar e contribuir, junto à Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, com a elaboração de um Caderno de Orientação para implantação de SbN que dará suporte a ação estruturante de requalificação urbana do DBE do Rio de Janeiro. E os objetivos intermediários para a realização desse projeto são:

- Apoiar a Prefeitura do Rio de Janeiro no uso da ferramenta “Seleção de SbN” e análise dos fatores de sucesso para implementação de SbN no Distrito de Baixa Emissão.
- Desenvolver um projeto conceitual de SbN e estudo hidrológico para as avenidas República do Chile e Almirante Barroso, visando contribuir com o aumento da resiliência climática na área urbana e a sua replicabilidade em contextos locais similares.
- Mapear as áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde no Distrito de Baixa Emissão junto à Prefeitura do Rio de Janeiro.
- Elaborar um Caderno de Orientação para propor soluções de SbN junto ao Escritório de Planejamento (EPL) da Prefeitura do Rio de Janeiro e disseminá-lo junto a atores-chave.

2. Referencial Teórico

Neste capítulo são apresentados de forma concisa os referenciais teóricos relacionados às Soluções baseadas na Natureza e Infraestrutura Verde. No entanto, para uma compreensão completa e aprofundada desses temas, é recomendado consultar o capítulo 3 do "Caderno de Orientação para implantação de Soluções baseadas na Natureza para o Distrito de Baixa Emissão da cidade do Rio de Janeiro”.

2.1 Soluções baseadas na Natureza

O termo “Soluções baseadas na Natureza” (SbN) foi introduzido em 2008, a partir de uma publicação do Banco Mundial. No ano seguinte, na COP-15⁴, a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) empregou o conceito de SbN em um *position paper* e o integrou nos planos de adaptação e mitigação climática (STEWART, NINNI, *et al.*, 2009). Posteriormente, o termo foi disseminado na política, como oportunidade de promover o crescimento econômico (EGGERMONT, BALIAN, *et al.*, 2015).

Em 2015, o relatório “*Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*” foi desenvolvido para a Comissão Europeia e Estados-membros, apresentando conceitos, objetivos e recomendações para incorporação de SbN na economia. A partir disso, as SbN foram incorporadas pela Comissão como parte do Programa *Horizon 2020*⁵ (EUROPEAN COMMISSION, 2015). Após isso, em 2019, na Cúpula do Clima da ONU (The UN Climate Action Summit) foi dada ênfase à importância das SbN para o clima e o desenvolvimento sustentável (UN ENVIRONMENT PROGRAMME, 2019).

No ano de 2021, a relevância das SbN para a mitigação e adaptação das mudanças climáticas, preservação da biodiversidade e melhoria do bem-estar das pessoas foi reconhecida pelos líderes do G7 (GOV.UK, 2021).

⁴ A Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2009 foi realizada em dezembro de 2009 em Copenhague, na Dinamarca.

⁵ Maior programa de financiamento nas áreas de inovação e pesquisa da União Europeia (“What is Horizon 2020?,” [S.d.]).

No ano subsequente, durante a 27ª Conferência das Partes das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP-27) no Egito, foi lançada uma coalizão voluntária, denominada *Enhancing Nature-based Solutions for an Accelerated Climate Transformation* (ENACT), que, por meio de SbN, busca conduzir ações globais frente às mudanças climáticas, à degradação de ecossistemas e à perda de biodiversidade. No mesmo ano, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre Biodiversidade (COP 15), em Montreal, onde foi adotado o “Quadro Global de Biodiversidade Kunming-Montreal”, que destacou a importância das SbN em duas de suas metas (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2022).

Mas afinal, o que são SbN? Em 2022, durante a Assembleia do Meio Ambiente das Nações Unidas em Nairóbi, foi estabelecida a última definição acordada multilateralmente entre os 193 países-membros:

“SbN são ações para proteger, conservar, restaurar, usar e gerenciar de forma sustentável os ecossistemas terrestres, de água doce, costeiros e marinhos, naturais ou modificados, que abordam os desafios sociais, econômicos e ambientais de forma eficaz e adaptável, ao mesmo tempo em que proporcionam bem-estar humano, serviços ecossistêmicos, resiliência e benefícios à biodiversidade” (UNITED NATIONS ENVIRONMENT ASSEMBLY OF THE UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2022).

De acordo com a IUCN, para que essas ações sejam classificadas como SbN, é necessário que elas abordem um ou mais desafios sociais: 1. adaptação e mitigação das mudanças climáticas; 2. redução do risco de desastres; 3. reversão da degradação do ecossistema e perda de biodiversidade; 4. saúde humana; 5. desenvolvimento socioeconômico; 6. segurança alimentar e segurança hídrica (Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: first editions, 2020). Essas ações podem ser classificadas em cinco categorias distintas: restauração; problema específico; infraestrutura natural e infraestrutura verde (IV); gerenciamento; e proteção, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 - Infográfico das Abordagens baseadas em Ecossistemas e Desafios Sociais das SbN.

Fonte: (COHEN-SHACHAM, WALTERS, *et al.*, 2016)

Além disso, há outros aspectos importantes a serem considerados para que uma ação seja categorizada como SbN, como a contribuição para a manutenção ou aumento da biodiversidade, a participação ativa e transparente de todas as partes interessadas e a adaptação da abordagem às condições específicas do contexto local (SOWIŃSKA-ŚWIERKOSZ, GARCÍA, 2022).

Nas áreas urbanas, as SbN contribuem para a provisão de vários serviços ecossistêmicos⁶, como redução dos efeitos da ilha de calor, diminuição da poluição, controle de enchentes, aumento da biodiversidade e melhoria do bem-estar. Nesse contexto, a sua efetividade é aumentada quando adotada de maneira holística, considerando todas as partes interessadas (WORLD BANK, 2021). E em termos de escala, essas ações podem ser implementadas para as escalas da bacia hidrográfica, cidade e bairro (WORLD BANK, 2021).

⁶ Os SE são os benefícios que os seres humanos obtêm da natureza, resultantes direta ou indiretamente do funcionamento dos ecossistemas, podendo ser classificados em quatro categorias: provisão, regulação, cultural e suporte (BPBES - PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS, [S.d.], SUKHDEV, WITTMER, *et al.*, 2010).

As SbN estão diretamente relacionadas ao Acordo de Paris e também apoiam o alcance de metas de outras agendas globais, como ODS, NAU, Marco de Sendai e Metas de Aichi. Embora essas ações ofereçam inúmeros benefícios, a sua implementação também enfrenta desafios e limitações. Em projetos de SbN, é frequente ocorrerem cenários nos quais a diversidade de opções resulta em *trade-offs* e sinergias em vários aspectos, como os custos envolvidos e os riscos associados (CROESER, GARRARD, *et al.*, 2021, NESSHÖVER, ASSMUTH, *et al.*, 2017).

Outro desafio identificado está relacionado à complexidade de valorar os benefícios das SbN, o que pode impactar a sua capacidade de atrair investimentos e promover sua escalabilidade.

De forma adicional, a infraestrutura cinza, que são as soluções desenvolvidas por meio da engenharia civil, pode inicialmente parecer mais atrativa em termos de custo-efetividade, uma vez que suas externalidades não são adequadamente consideradas (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2022).

Por fim, a escalabilidade das SbN também enfrenta limitações, uma vez que essas soluções geralmente requerem projetos de longo prazo e ocupam áreas maiores em comparação com soluções convencionais (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2022).

2.2 Infraestrutura verde

O termo "infraestrutura verde" foi introduzido pela primeira vez em 1994 em um relatório que definiu estratégias de conservação do solo no estado da Flórida, nos Estados Unidos (FIREHOCK, 2010). No decorrer dos anos, o conceito foi disseminado com a publicação de centenas de artigos publicados com diferentes abordagens (MONTEIRO, C. FERREIRA, *et al.*, 2020). De acordo com Tzoulas *et al.*, a infraestrutura verde compreende:

“Pode-se considerar que a infraestrutura verde compreende todas as redes naturais, seminaturais e artificiais de sistemas ecológicos multifuncionais dentro, ao redor e entre áreas urbanas, em todas as escalas espaciais. O conceito de Infraestrutura Verde enfatiza a qualidade e a quantidade de

espaços verdes urbanos e periurbanos (TZOULAS, KORPELA, *et al.*, 2007).”

A sua abordagem se fundamenta nos princípios da ecologia da paisagem e da ecologia urbana, que consideram a cidade de forma sistêmica (HERZOG, 2013). Nesse conceito, os espaços são transformados em áreas multifuncionais capazes de atuar em escalas diferentes, e inclusive de se integrar com a infraestrutura cinza (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020).

O planejamento de infraestrutura verde (IV) é constituído por oito princípios: 1. Conectividade; 2. Multifuncionalidade; 3. Multiescala; 4. Integração; 5. Diversidade; 6. Aplicabilidade; 7. Governança; e 8. Continuidade (MONTEIRO, C. FERREIRA, *et al.*, 2020).

A IV desempenha um papel crucial na segurança e no bem-estar das comunidades nas áreas urbanas, proporcionando uma variedade de Contribuições da Natureza para as Pessoas (CNP)⁷ (BRONDÍZIO, SETTELE, *et al.*, 2019). Além disso, ela é reconhecida como uma das abordagens mais custo-efetivas e integradas para garantir a adaptação local às mudanças climáticas e promover cidades com baixas emissões de carbono (SANTIAGO FINK, 2016).

Existem diferentes tipologias de infraestruturas verdes, como jardins de chuva, canteiros pluviais, biovaletas, jardins verticais, alagados construídos (*wetlands*), telhados verdes e florestas urbanas. Essas tipologias, por sua vez, podem ser classificadas segundo alguns critérios, permitindo uma compreensão mais abrangente e o planejamento integrado das áreas urbanas (BARTESAGHI KOC, OSMOND, *et al.*, 2017).

A implementação dessas soluções enfrenta desafios, como o limitado apoio institucional e as preocupações com o aumento dos custos de manutenção. Ademais, como a maioria das pesquisas é realizada em países desenvolvidos, há dificuldades na transferência de conhecimento e adoção de pesquisas nos países em desenvolvimento (BRONDÍZIO, SETTELE, *et al.*, 2019).

⁷ A CNP são as contribuições, tanto positivas quanto negativas, que as pessoas recebem da natureza. Essa definição se baseia no conceito de serviços ecossistêmicos e é classificada em três grupos: Contribuições Regulatórias (por exemplo: sequestro de carbono); Contribuições Materiais (por exemplo: ornamentação); e Contribuições Não Materiais (por exemplo: recifes de corais que oferecem oportunidade de recreação) (BRONDÍZIO, SETTELE, *et al.*, 2019).

Por último, a sobreposição de terminologias entre as tipologias de IV, comprometem a clareza na identificação e classificação dessas abordagens, prejudicando a replicação de projetos e o engajamento da comunidade (BARTESAGHI KOC, OSMOND, *et al.*, 2017, CASTELLAR, POPARTAN, *et al.*, 2021).

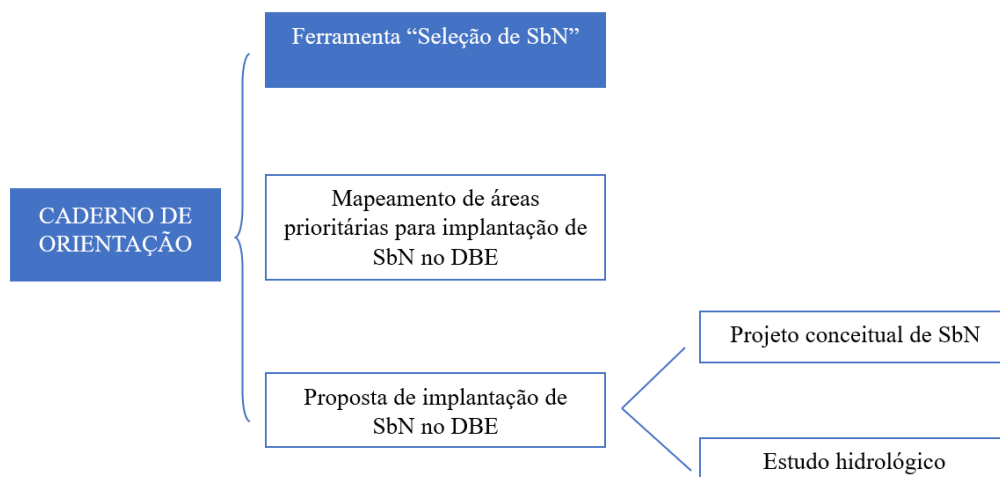
3. Procedimentos metodológicos

Os capítulos 4 e 5 do “Caderno de Orientação para implantação de Soluções baseadas na Natureza no Distrito de Baixa Emissão da cidade do Rio de Janeiro” abordam as metodologias utilizadas na ferramenta “Seleção de SbN” do Projeto *URBAN GreenUP*, no mapeamento de áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde do Instituto de Pesquisas Tecnológicas e na proposta de implantação de SbN no Distrito de Baixa Emissão (DBE).

Neste capítulo da dissertação são apresentados de forma resumida os procedimentos metodológicos adotados. Adicionalmente, é relevante ressaltar que, para a elaboração do caderno, ocorreram diversas reuniões com colaboradores do Escritório de Planejamento (EPL), com o objetivo de alinhar o escopo do trabalho. Ademais, foram realizadas reuniões com representantes do Instituto Pereira Passos (IPP) e da Fundação Rio-Águas, nas quais foram discutidos de forma mais aprofundada alguns dos temas abordados no estudo.

3.1 Diagnóstico dos fatores de sucesso para a futura implementação de SbN e ranqueamento das 15 SbN recomendadas para o Distrito

Com o propósito de aprimorar a compreensão da leitura nos capítulos de metodologia e resultados desta dissertação, devido à diversidade de subprodutos desenvolvidos, optou-se por criar um fluxograma que identifica o tópico em análise. Esse fluxograma será exibido no início de cada subitem desses capítulos.



A ferramenta “Seleção de SbN”⁸ (*Nbs Selection Tool*) é um dos produtos que foram desenvolvidos pelo projeto europeu *URBAN GreenUp*⁹. O seu objetivo é apoiar a tomada de decisão na definição das SbN em cidades. Para isso, essa ferramenta considera os benefícios gerados pelos serviços ecossistêmicos (SE) de cada SbN, além da capacidade institucional da prefeitura necessária para a implementação dessas soluções. Ela foi aplicada em sete cidades, que fazem parte desse programa: Liverpool (Inglaterra), Medellín (Colômbia), Mântua (Itália), Qui Nhon (Vietnã), Valladolid (Espanha), Esmirna (Turquia) e Ludwigsburgo (Alemanha).

A metodologia utilizada na criação dessa ferramenta é baseada em análise multicritério. Os pesos empregados nos cálculos foram previamente estabelecidos por especialistas, considerando a provisão dos SE de cada SbN e o nível de dificuldade de implementação dessas soluções em relação aos fatores de sucesso. Esses fatores representam áreas da capacidade institucional que frequentemente podem apresentar problemas em projetos de SbN (CROESER, GARRARD, *et al.*, 2021). Diante disso, com o intuito de analisar a futura implementação das SbN no DBE, a ferramenta foi traduzida para o português e preenchida pelo Escritório de Planejamento da Prefeitura do Rio de Janeiro.

O primeiro passo consistiu na seleção e priorização dos quatro principais desafios urbanos enfrentados pelo DBE, a partir de oito opções disponíveis, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Desafios urbanos selecionados na ferramenta para o DBE.

DESAFIOS
1. Saúde pública e bem-estar;
2. Provisão de espaço verde;
3. Regeneração urbana;
4. Calor extremo.

⁸ Para obter mais informações sobre a ferramenta, é possível acessar o link: <<https://www.urbangreenup.eu/resources/nbs-selection-tool/nbs-selection-tool.kl>>.

⁹ O projeto *URBAN GreenUP*, financiado pelo Programa *Horizon 2020*, foi um projeto que teve como objetivo de desenvolver e apoiar a implementação de SbN de forma eficiente em cidades, a fim de reduzir os efeitos das mudanças climáticas e melhorar a qualidade de vida dos habitantes. Ele contou com a participação de 25 organizações parceiras, teve duração de cinco anos e foi concluído em 2022 (“ABOUT URBAN GREENUP”, [S.d.]).

O próximo passo, que é opcional, envolveu a escolha das cinco tipologias de SbN que estavam sendo consideradas para o distrito (Quadro 2), de um total de 42 opções disponíveis.

Quadro 2 - Tipologias de SbN que foram consideradas para o DBE.

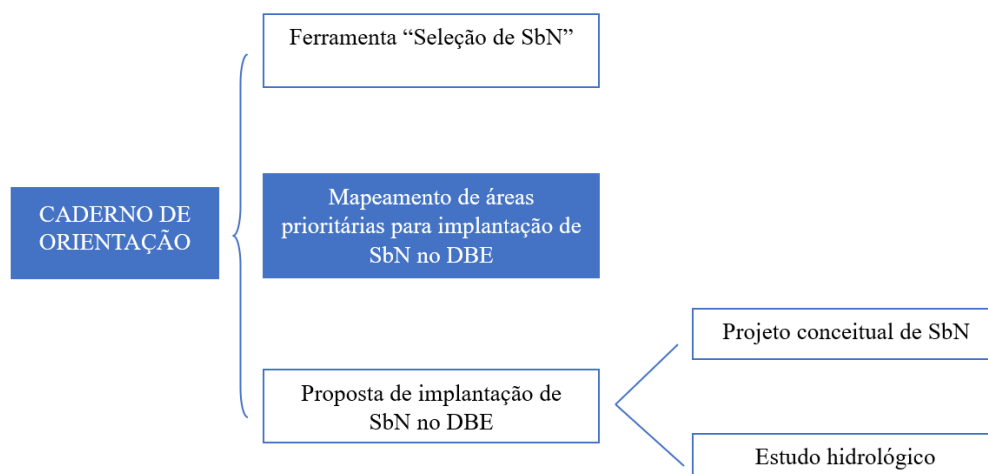
IDEAS DE SBN PARA O DBE
1. Pavimento frio;
2. Rotas verdes de ciclismo e pedestres;
3. Árvores urbanas;
4. Estruturas sombreadas verdes;
5. Jardins de chuva.

O terceiro e último passo compreendeu o preenchimento de um questionário presente na ferramenta, realizado pelos colaboradores do Escritório de Planejamento. Esse questionário incluía 31 perguntas e respostas pré-definidas, referentes aos oito fatores de sucesso para a implementação de SbN, que estão listados abaixo:

1. Apoio político e executivo estável;
2. Processos/ padrões/ regulamentos/ políticas internas adequadas;
3. Tempo e motivação da equipe;
4. Habilidades avançadas de engajamento da comunidade;
5. Alinhamento de departamentos internos;
6. Cultura de inovação e tolerância ao risco;
7. Departamentos de apoio em outros níveis de governo;
8. Acesso a habilidades técnicas adequadas.

Após a conclusão dessa etapa de preenchimento, os resultados da ferramenta foram gerados e posteriormente analisados, como será descrito na seção 4.1 desta dissertação.

3.2 Mapeamento de áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde



Com o intuito de oferecer subsídios para a tomada decisão no planejamento urbano utilizando a abordagem de SbN, foi realizado o mapeamento de áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde no DBE. Os procedimentos metodológicos adotados seguiram, em grande parte, as diretrizes recomendadas pelo "Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde" desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Esse guia propõe a análise de treze indicadores¹⁰, os quais correspondem a nove serviços ambientais e quatro funções ambientais. Esses indicadores estão diretamente relacionados aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Primeiramente, foi estabelecido contato com o Coordenador Técnico de Informações da Cidade no Instituto Pereira Passos para apresentar o Guia Metodológico do IPT e obter orientações sobre a seleção dos indicadores aplicáveis à realidade da cidade do Rio de Janeiro. Durante as reuniões, ele realizou uma consulta ao banco de dados do Data.Rio para verificar os dados disponíveis. Posteriormente, foram identificadas as instituições da Prefeitura do Rio de Janeiro que poderiam fornecer informações relevantes dos indicadores que foram determinados. Com isso, foram conduzidas reuniões com representantes da

¹⁰ Os treze indicadores são: 1. Nascentes impermeabilizadas; 2. Geração de sedimento; 3. Área desprotegida dos cursos d'água; 4. Áreas impermeáveis; 5. Densidade de alagamentos; 6. Potencial de inundação; 7. Potencial de inundação e alagamentos; 8. Cobertura vegetal nativa; 9 Corredores ecológicos; 10. Áreas verdes e números de habitantes; 11. Índices de vulnerabilidade social; 12. Temperatura da superfície; e 13. Arborização em vias movimentadas.

Fundação Rio-Águas e do Centro de Operações Rio (COR), a fim de solicitar os dados necessários para a análise dos indicadores. Dessa maneira, foi possível chegar a um total de quatro indicadores: Índice de Desenvolvimento Social (IDS); Temperatura da Superfície; Áreas Verdes e Número de Habitantes; e Densidade de Alagamentos.

No presente estudo, a aquisição, manipulação, processamento e análise dos dados foram conduzidos por meio do uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo o software ArcGIS Pro (versão 2.9.3) utilizado para essas finalidades. Os mapas elaborados foram georreferenciados e projetados no sistema de coordenadas Universal Transverso de Mercator (UTM), com o Datum SIRGAS 2000 e a zona 23 Sul. Seguem abaixo os passos adotados para a obtenção dos mapas com áreas prioritárias de cada indicador:

1. Áreas Verdes e Número de Habitantes

O mapeamento das áreas verdes, segundo o Guia Metodológico do IPT, envolve o uso de imagens disponíveis e o mapeamento dos setores censitários com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A etapa seguinte consiste na geração de *buffer*¹¹ de 200 metros¹² nos limites das áreas verdes identificadas, que foram consideradas como espaços com predominância de vegetação arbórea, tais como praças, jardins públicos e parques urbanos, desempenhando funções tanto estéticas quanto ecológicas (LIMA, CAVALHEIRO, et al., 1994). Dessa forma, os setores censitários localizados nas regiões próximas as áreas verdes, foram classificados como de baixa prioridade, enquanto aqueles mais distantes receberam uma priorização maior, visto que as áreas verdes possuem um impacto significativo no controle térmico.

Foi optado por adotar a abordagem de vetorização com interpretação de imagem devido à presença de diversos ruídos na área do DBE, como edifícios, veículos e sombras. Esses elementos dificultam a aplicação da classificação supervisionada, podendo introduzir erros no processo. Dessa forma, foi realizado o

¹¹ O *buffer* delimita uma área ao redor de elementos, como pontos ou polígonos a uma dada distância.

¹² O Guia Metodológico do IPT sugere uma faixa de 300 metros, que inclusive foi utilizada no exemplo da área piloto de uma subprefeitura da cidade de São Paulo, que abrange uma área significativamente maior. No entanto, para o DBE, optou-se por reduzir o valor para 200 metros, com o objetivo de adotar uma abordagem mais adequada às características locais.

traçado manual de vetores para identificar as áreas verdes em uma ortofoto¹³ de alta resolução (0,15 m x 0,15 m) datada de 2019, fornecida pelo Instituto Pereira Passos. Em seguida, foi utilizada a função de *Euclidean Distance* para realizar a interpolação¹⁴ e classificar as áreas em cinco classes, seguindo o método de intervalos equivalentes. Por fim, a função de reclassificação¹⁵ foi aplicada, resultando na definição de cinco níveis de prioridade: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

2. Índice de Desenvolvimento Social (IDS)

No Guia Metodológico do IPT, é recomendada a utilização do Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), disponibilizado pelo IPEA, como indicador de vulnerabilidade social. No entanto, ao acessar o site < <http://ivs.ipea.gov.br/index.php/pt/mapa> >, foi verificado que a região central do Rio de Janeiro apresentava apenas uma única classificação, não oferecendo o nível de detalhamento necessário. Diante dessa limitação, foi sugerida a adoção do Índice de Desenvolvimento Social (IDS), que avalia o nível de desenvolvimento social de uma região em comparação com outras áreas similares. Esse índice considera as dimensões de educação, renda, saúde e características urbanas específicas (CAVALLIERI, LOPES, 2008). Para a região metropolitana do Rio de Janeiro, o IDS foi elaborado pelo IPP a partir do Censo Demográfico de 2010 do IBGE. O instituto calculou o IDS para todos os setores censitários urbanos do município do Rio de Janeiro, atribuindo valores que variam de 0 a 1, sendo 1 indicativo de maior desenvolvimento social. No contexto deste projeto, foi solicitado ao IPP o envio do *shapefile*¹⁶ do IDS.

¹³ Ortofoto é uma imagem aérea digitalizada que passou por correções para eliminar distorções, como a orientação da câmera ou o relevo do terreno. Essa imagem é utilizada com a mesma escala de um mapa (ESRI, [S.d.]).

¹⁴ Na pesquisa, foi escolhido substituir o método de *buffer* proposto no Guia do IPT pela interpolação. A interpolação é um método que utiliza dados obtidos em pontos conhecidos para estimar valores em pontos desconhecidos, gerando uma superfície contínua da variável em análise.

¹⁵ A reclassificação foi realizada com o objetivo de converter as unidades de medida originais em unidades comuns.

¹⁶ O *shapefile* é um formato de armazenamento de dados geoespaciais utilizado para representar informações sobre a localização, forma e atributos de feições geográficas, como pontos, linhas e polígonos. Ele consiste em um conjunto de arquivos relacionados que fornecem uma estrutura organizada e padronizada para a manipulação e análise desses dados (ARCGIS ENTERPRISE, [S.d.]).

Após adquirir o arquivo no software de SIG, o processo de classificação foi conduzido, dividindo os dados em cinco classes com base no método do quantil¹⁷. Como os dados do IDS são vetoriais, foi necessária a transformação em formato matricial (*raster*) por meio da função *Feature to Raster*. Em seguida, o mapa foi reclassificado em cinco níveis de prioridade.

3. Temperatura da Superfície

Para a análise do indicador de temperatura de superfície foi acessado o aplicativo da web *Climate Engine*, que utiliza o *Google Earth Engine*. Esse aplicativo permite o acesso gratuito pelos usuários para observação terrestre de satélite e dados climáticos para monitoramento ambiental (“Climate Engine”, [S.d.]). Dessa maneira, foi acessado o site <<https://app.climateengine.com/climateEngine>> e localizada a área do Distrito de Baixa Emissão no mapa. Em seguida, foram selecionadas as opções de dados disponíveis no site para as seções de variáveis, processamento e período. Na seleção foi optado o uso do satélite Landsat 9 (SR – reflectância da superfície) com o sensor *Thermal Infrared Sensor 2* (TIRS-2) (NASA, USGS, [S.d.]). A unidade de temperatura adotada foi graus Celsius (°C) com a resolução computacional configurada para 30 metros. O período de referência englobou o verão do ano de 2021/2022 (21/12/2021 a 20/03/2022).

Após o preenchimento dos dados, as informações foram processadas e o resultado em formato *raster* foi gerado no site. Em seguida, a área de estudo foi delimitada e realizou-se o download do *raster* em formato .TIF.

O *raster* foi adicionado ao projeto no software de SIG e a função *Clip raster* foi utilizada para recortar os dados matriciais para a área de estudo. Após essa etapa, os dados foram divididos em cinco classes, utilizando o método de intervalos equivalentes¹⁸. A reclassificação foi realizada em cinco prioridades, seguindo uma lógica em que as áreas com temperaturas mais altas foram consideradas de maior prioridade e vice-versa.

¹⁷ O método do quantil distribui os dados nas classes contendo a mesma quantidade de amostras. Inicialmente foi testado o método de intervalo equivalente para esse indicador, entretanto, duas classes não foram representadas no mapa. Por esse motivo, foi decidido utilizar o quantil para obter uma melhor distribuição.

¹⁸ O método de intervalo equivalentes é mais eficaz quando aplicado a faixas de dados que são bem conhecidas e familiares, como, por exemplo, porcentagens e temperaturas (ESRI, [S.d.]).

4. Densidade de Alagamentos

O Guia Metodológico do IPT recomenda a espacialização dos locais com histórico de alagamento pelos órgãos da Defesa Civil para a geração do mapa desse indicador. Desse modo, foi obtido um arquivo vetor em *shapefile* contendo os pontos críticos e observados da cidade do Rio de Janeiro, através da Gerência de Pesquisas e Gestão Costeira da Fundação Rio-Águas, que fazem parte do Plano Verão 2021/2022 da Prefeitura da cidade. Os pontos críticos correspondem a áreas com problemas de drenagem e já possuem propostas de intervenção, enquanto os pontos observados estão em fase de estudo para identificação de soluções. Após o recebimento do arquivo, foi feita uma seleção por atributos no software de SIG, filtrando os pontos críticos e observados que se localizam no DBE.

Além disso, foi compartilhado pelo Centro de Operações (COR) um *shapefile* contendo os pontos de ocorrências relacionadas a alagamentos, classificados como lâminas d'águas, bolsões e alagamentos. Esses dados foram adicionados no software do SIG e recortados com a função *Clip Raster* para a área de estudo.

Após a adição dos dois *shapefiles* no projeto, foi utilizada a função *Merge* para a união dos arquivos. Conforme sugerido no guia, um mapa de densidade de ocorrências foi gerado utilizando a função *Kernel Density*, que converteu o *shapefile* em *raster*. O resultado foi então classificado em cinco classes, utilizando o método quantil. Por fim, foi feita a reclassificação para priorização em cinco classes.

- Mapas prioritários de infraestrutura verde

Após a geração dos mapas dos quatro indicadores, foi realizado o processo de integração em um mapa síntese utilizando a função *Weighted Overlay*, que permite a sobreposição ponderada das camadas *raster*. Foram definidos percentuais de influência para cada camada e atribuídos pesos de 1 a 5 aos valores resultantes da reclassificação de cada camada *raster* (Quadro 3), levando em consideração sua relevância. Nesse método, os valores das células (pesos) são multiplicados pelos percentuais de influência e somados para criar o mapa síntese final, que representa a contribuição combinada de todos os *rasters* de entrada.

Quadro 3 - Atribuição de peso na função Weighted Overlay para os valores reclassificados.

VALOR RECLASSIFICADO	PRIORIDADE	PESO ATRIBUÍDO NA FUNÇÃO WEIGHTED OVERLAY
1	Muito alta	5
2	Alta	4
3	Média	3
4	Baixa	2
5	Muito baixa	1

Foram gerados três cenários para a priorização de áreas de infraestrutura verde nesse estudo. No primeiro cenário, os quatro indicadores foram correlacionados com os desafios identificados pela Prefeitura do Rio de Janeiro na ferramenta “Seleção de SbN”. Em seguida, os percentuais de cada camada foram definidos com base nos percentuais apresentados no artigo "*Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges*" (CROESER, GARRARD, *et al.*, 2021), conforme descrito no Quadro 4.

Quadro 4 - Cenário 1: Definição dos percentuais de influência dos indicadores.

DESAFIOS URBANOS DO DBE	PRIORIDADE ORIGINAL (FERRAMENTA)	PRIORIDADE READEQUADA (MAPA)	PERCENTUAL DE INFLUÊNCIA	INDICADOR IPT
Saúde pública e bem-estar	1	1	50%	IDS
Provisão de área verde	2	2	25%	Áreas verdes e nº de habitantes
Renovação urbana*	3	-	-	-
Calor	4	3	15%	Temperatura de superfície
Enchente	-	4	10%	Densidade de alagamento**

* O desafio renovação urbana foi excluído da análise por não se relacionar com nenhum dos quatro indicadores do IPT.

** O indicador densidade de alagamento se relaciona diretamente com o desafio urbano “enchente”, listado na ferramenta, mas que não se encontra entre as quatro prioridades. Para se ajustar com os dados existentes, foi feita uma readequação, no qual esse desafio foi listado como prioridade 4, e dado a ele um percentual de influência de 10%. E o de calor que inicialmente era considerado como prioridade 4, se tornou prioridade 3.

No segundo cenário, os mesmos percentuais do primeiro cenário foram mantidos, porém, houve uma redução no peso atribuído à camada do IDS para as áreas de prioridade muito alta, de 5 para 1. Essa modificação foi realizada com o

intuito de diminuir a influência dessa camada na ponderação final. Dessa forma, a área que antes era classificada como de alta prioridade foi reclassificada como de baixa prioridade, conforme descrito no Quadro 5.

Quadro 5 - Cenário 2: Adequação do peso da camada do indicador IDS.

VALOR	PRIORIDADE	PESO ATRIBUÍDO NA FUNÇÃO WEIGHTED OVERLAY
1	Muito alta	1
2	Alta	4
3	Média	3
4	Baixa	2
5	Muito baixa	1

Por fim, um terceiro cenário foi estabelecido, seguindo a abordagem proposta por (LOURDES, HAMEL, *et al.*, 2022) de manter os mesmos percentuais para cada um dos indicadores. Contudo, houve uma exceção para o indicador IDS, no qual o seu percentual foi reduzido para 16%. Os valores sugeridos para esse cenário estão apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Cenário 3: Definição dos percentuais de influência dos indicadores.

INDICADOR IPT	PERCENTUAL DE INFLUÊNCIA
IDS	16%
Áreas verdes e nº de habitantes	28%
Temperatura de superfície	28%
Densidade de alagamento	28%

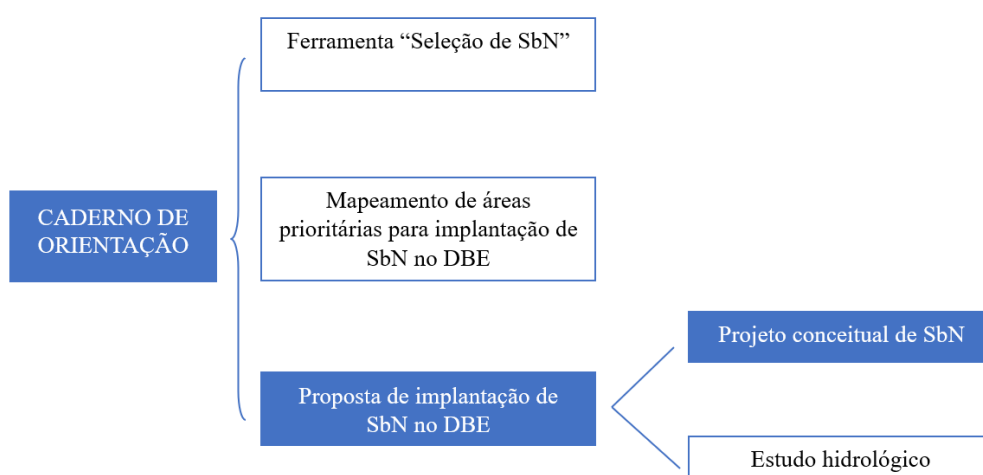
3.3 Proposta de implantação de SbN no DBE

Na definição do escopo do Caderno de Orientação, foi decidido incluir, em um dos capítulos do estudo, uma proposta de implantação de tipologias de SbN para uma área a ser determinada no Distrito de Baixa Emissão (DBE). Durante uma reunião com os representantes do Escritório de Planejamento (EPL), foi acordado

que as avenidas República do Chile e Almirante Barroso seriam selecionadas como área piloto. Essa escolha foi realizada pelos representantes, que identificaram um grande potencial de transformação nesse eixo, incluindo a redução do número de faixas automotivas e o acréscimo de elementos verdes. É importante destacar que a seleção das vias não foi feita com base no mapeamento de áreas prioritárias de infraestrutura verde realizado nesse estudo.

Nesse contexto, no capítulo 5 do Caderno de Orientação, foi desenvolvido um projeto conceitual de SbN, juntamente com as diretrizes de projeto para as tipologias propostas na área de estudo do DBE. Além disso, foi realizado um estudo hidrológico para calcular o volume de amortecimento de água da chuva utilizando as tipologias propostas.

3.3.1 Projeto conceitual de SbN



Em primeiro lugar, foram realizadas três visitas em campo para uma melhor compreensão da área de estudo, com identificação do uso e ocupação do solo, potenciais áreas subutilizadas para implantação de SbN, aspectos relacionados à mobilidade urbana, áreas tombadas e caminhamento da água.

O próximo passo foi a identificação de possíveis interferências das redes de infraestrutura subterrânea na área de estudo. Isso somente seria possível a partir do acesso ao Sistema de Gestão de Obras em Vias Públicas (GEOVIAS) do município do Rio de Janeiro, que integra as informações dessas redes, como água, drenagem, esgoto, gás e energia elétrica.

Entretanto, em agosto de 2022, o sistema intranet da Prefeitura do Rio de Janeiro, incluindo o desse sistema, foi alvo de um ataque *hacker*, o que resultou na indisponibilidade do seu acesso. Como consequência, não foi possível realizar a compatibilização das redes infraestrutura com a implantação das SbN. Diante disso, foi adotada uma estratégia para minimizar as possíveis incompatibilidades, que consistiu em realizar um levantamento visual de possíveis interferências na superfície, tais como banca de revistas, poços de visita (PV), árvores e sinalização vertical, entre outros elementos a partir das visitas em campo e do acesso a funcionalidade do *Google Street View*.

Posteriormente, foram identificados os serviços ambientais promovidos pelas 15 tipologias de SbN, resultantes do ranqueamento para o DBE, através da consulta da Matriz de Correlação¹⁹, contida no Guia Metodológico do IPT. Dessa forma, após serem considerados os aspectos de disponibilidade de espaço nas vias e as localizações sugeridas para as tipologias, foram selecionadas quatro SbN: canteiro pluvial, jardim de chuva, Floresta de Bolso (ou *SUGi Pocket Forest*) e biovaleta.

A elaboração do projeto conceitual teve início com a criação dos traçados das SbN, no ambiente SIG, em uma imagem de alta resolução (0,15 m x 0,15 m) fornecida pelo IPP. Em seguida, a planta baixa do Centro do Rio de Janeiro foi disponibilizada pela Fundação Rio-Águas no formato .dwg, e, a partir dela, foi feito um recorte da área de estudo. Foi optado por apresentar o projeto conceitual no formato .dwg, exportando os dados vetoriais das SbN para o mesmo formato.

Levando em consideração que os objetivos do DBE incluem não apenas a implantação de SbN, mas também a redução de vias e a priorização da mobilidade para pedestres e ciclistas, foi consultado o "Guia Global de Desenho de Ruas" (KUMAR, SINGH, 2021). Esse guia adota uma abordagem holística e inclusiva no planejamento urbano, e oferece diretrizes específicas para aprimorar o desenho das ruas. Com base nisso, foram propostas medidas visando criar um ambiente propício para a segurança e mobilidade de pedestres e ciclistas, as quais incluem restrições ao tráfego de veículos. No projeto conceitual, foram sugeridos elementos como

¹⁹ A matriz de correlação presente no Guia Metodológico avalia o potencial das diferentes tipologias de infraestrutura verde na promoção de serviços ambientais (potencial nulo ou não se aplica; menor; maior).

extensões de calçadas (canteiros pluviais), ciclovia unidirecional, amortecimento por plantio e faixas exclusivas para ônibus.

No contexto da ciclovia proposta, que atualmente não está presente nas avenidas, o processo de demarcação teve início com uma consulta no Data.Rio para verificação de rotas cicloviárias planejadas para essas vias. Durante a pesquisa, foi constatada a presença do “Ciclo-Rio - Plano de Expansão Cicloviária”, que visa ampliar e aprimorar a rede cicloviária do município do Rio de Janeiro. Em vista disso, foi identificada uma rota planejada para as avenidas, denominada Henrique Valadares. Dessa forma, foi projetada uma ciclovia unidirecional no sentido da Av. República do Chile para a Av. Almirante Barroso e uma zona de amortecimento por plantio para proporcionar uma separação física entre o leito viário e a ciclovia, assegurando assim a segurança do ciclista.

No que diz respeito ao transporte público de ônibus, atualmente há uma faixa exclusiva no sentido da Av. República do Chile à Av. Almirante Barroso, estendendo-se até o cruzamento com a Av. Rio Branco. Levando em consideração a presença de diversas linhas de ônibus nas avenidas, foi sugerida a criação de corredores exclusivos para ônibus nos dois sentidos das vias. Essa ação teve como principal objetivo otimizar o tempo de viagem dos ônibus, contribuindo para aprimorar o serviço prestado aos passageiros.

Nos trechos em que foi verificada a existência de ponto de ônibus nas calçadas das vias onde as ciclovias foram projetadas, foi necessário implementar uma solução que assegurasse a integração segura e eficiente entre ciclistas e passageiros de ônibus. Para isso, foi adotada a criação de uma ilha de embarque, onde o ponto de ônibus é alocado, enquanto a ciclovia foi projetada para contornar essa ilha por trás, conforme Figura 3.

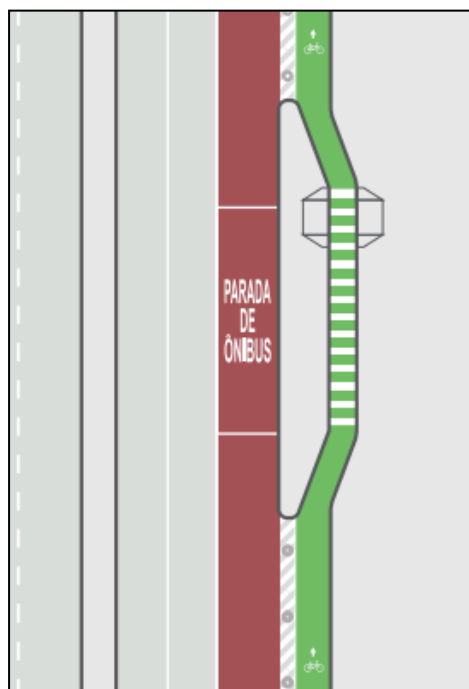
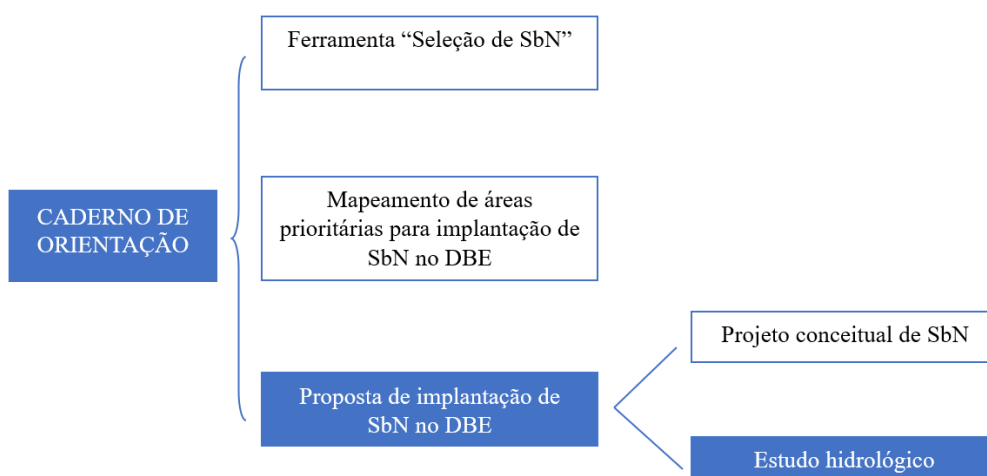


Figura 3 - Ilha de embarque e ciclovias no seu entorno.
 Fonte: (GLOBAL DESIGNING CITIES INITIATIVE,
 NACTO, 2016)

Por fim, foram realizadas consultas em manuais, artigos científicos e publicações de organizações e universidades para obter informações relevantes sobre considerações de projeto das tipologias de SbN que foram propostas na área de estudo, assim como composição das camadas, local de aplicação, benefícios e limitações.

3.3.2 Estudo hidrológico das sub-bacias RC e AB



O município do Rio de Janeiro é composto por três bacias hidrográficas: a Bacia da Baía de Guanabara, a Bacia da Baía de Sepetiba e a Bacia Oceânica. A bacia da Baía de Guanabara, por sua vez, abrange uma extensa área de 4.080 km² (FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS, 2020), abriga cerca de 10 milhões de habitantes e engloba parcial ou totalmente doze municípios (“Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da cidade do Rio de Janeiro - Bacia hidrográfica do Centro”, 2012). Dentro dessa área, se localiza o centro histórico da cidade do Rio de Janeiro, que ao longo do tempo passou por diversas intervenções no uso do solo para atender às demandas urbanas. Essas alterações resultaram na canalização da maioria dos rios e comprometeram a qualidade da água devido ao lançamento clandestino de esgoto e resíduos sólidos nos sistemas de drenagem (FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS, 2020).

A Bacia do Centro é uma das bacias contribuintes da Bacia da Baía de Guanabara e se localiza no centro urbano do município. Ela abrange uma área de 9,9 km² (Figura 4) e é composta por várias sub-bacias, que direcionam suas águas diretamente para a Baía de Guanabara, principalmente nas regiões da Marina da Glória e portuária. (“Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da cidade do Rio de Janeiro - Bacia hidrográfica do Centro”, 2012).



Figura 4 -Localização da bacia do Centro na Bacia da Baía de Guanabara.
Fonte: (“Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da cidade do Rio de Janeiro - Bacia hidrográfica do Centro”, 2012)

As avenidas República do Chile e Almirante Barroso estão localizadas na área da Bacia do Centro, e para viabilizar o seu estudo hidrológico, foi necessário

delimitar as sub-bacias que as compõem. Esse processo foi realizado no software ArcGIS Pro e dividido nas seguintes etapas:

1. Obtenção do Modelo Digital de Elevação²⁰ (MDE): O primeiro passo foi a obtenção do MDE da área de estudo, o que possibilitou uma representação detalhada da elevação e topografia da região em análise.
2. Transformação do MDE em curvas de nível: A partir do MDE, foi possível gerar as curvas de nível. Foi utilizada a função *Countour* e estabelecido um intervalo de 50 cm entre as curvas, uma vez que a área possui relevo plano.
3. Traçado das bacias de contribuição²¹: Foi identificado os pontos mais elevados da área de estudo com as curvas de nível e traçadas as linhas que delimitam as sub-bacias, que são as áreas que contribuem para o escoamento de água em direção a um determinado curso de água. Nesse estudo, foram traçadas onze sub-bacias nas áreas de contribuição das avenidas, sendo cinco sub-bacias na República do Chile (RC) e seis na Almirante Barroso (AB).
4. Representação gráfica do fluxo de água: A direção e o sentido do fluxo de água na rede de drenagem foram desenhados, levando em consideração as curvas de nível e o segmento de fluxo.

Para representar as informações geográficas da área de estudo foram gerados dois mapas. O primeiro mapa (Figura 5) representa a localização das sub-bacias RC e AB inseridas na Bacia do Centro, enquanto o segundo mapa (Figura 6) aponta as delimitações das sub-bacias. Os dois mapas foram elaborados utilizando o software ArcGIS Pro. Os dados foram referenciados geograficamente e projetados no sistema de coordenadas UTM, utilizando o Datum SIRGAS 2000, na zona 23 Sul.

²⁰ MDE é uma representação digital da superfície topográfica da Terra, fornecendo informações sobre as variações de altitude do terreno e elementos geográficos. Ele é utilizado em aplicações de SIG para análise e visualização precisa do terreno em diferentes contextos (IBGE, [S.d.], SENTINEL HUB, [S.d.]).

²¹ A bacia de contribuição é a área delimitada em que toda a precipitação que ocorre é direcionada para um ponto de saída específico, como um rio, lago ou exutório.



Figura 5 - Mapa da bacia do Centro e sub-bacias das avenidas da área de estudo.
Fonte: Elaboração pela autora.

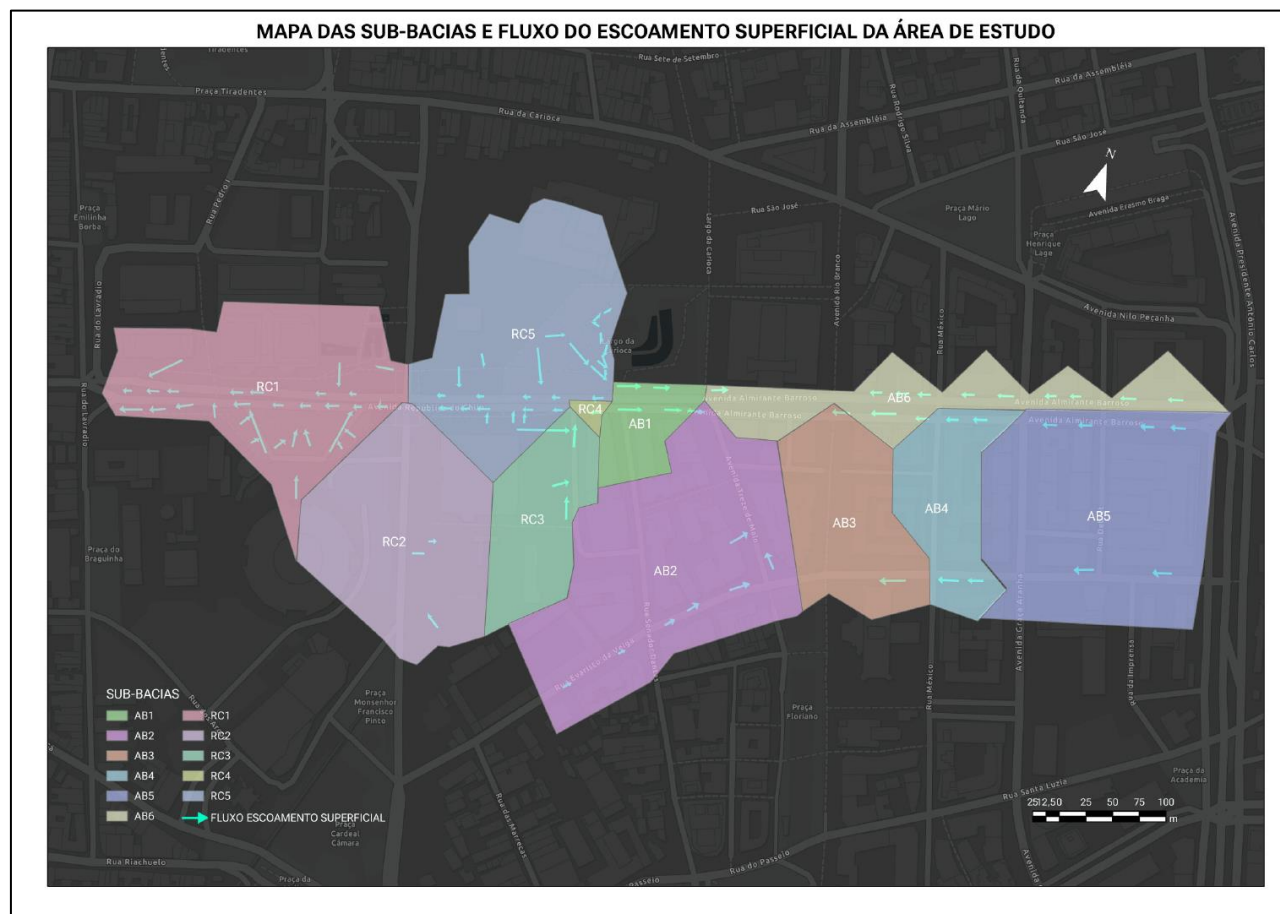


Figura 6 - Figura 36: Mapa das áreas de contribuição das avenidas República do Chile e Almirante Barroso e caminhamento da água.

Fonte: Elaboração pela autora com orientação da Fundação Rio-Águas.

Para a determinação dos cálculos dos volumes efetivos das sub-bacias RC e AB e da capacidade de reserva das tipologias propostas é necessário a utilização dos parâmetros de coeficiente de escoamento e chuva de projeto.

a) Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento superficial ou *runoff*, é a relação entre o volume de água escoado na superfície e o volume de água precipitado. Ele possui uma função essencial na caracterização e nos cálculos hidrológicos de uma bacia hidrográfica. Ao analisar uma bacia com diferentes usos e cobertura do solo, o coeficiente de escoamento superficial é obtido a partir da média ponderada dos coeficientes associados às subáreas. A tabela abaixo (Tabela 1) apresenta os coeficientes de escoamento adotados para o município do Rio de Janeiro pela Fundação Rio-Águas.

Tabela 1 - Coeficientes de escoamento superficial “c”.

Tipologia da área de drenagem	Coeficiente de escoamento superficial
Áreas Comerciais	0,70 – 0,95
áreas centrais	0,70 – 0,95
áreas de bairros	0,50 – 0,70
Áreas Residenciais	
residenciais isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
áreas com lotes de 2.000 m ² ou maiores	0,30 – 0,45
áreas suburbanas	0,25 – 0,40
áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
Áreas Industriais	
área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
área com ocupação densa	0,60 – 0,90
Superfícies	
asfalto	0,70 – 0,95
concreto	0,80 – 0,95
blocket	0,70 – 0,89
paralelepípedo	0,58 – 0,81
telhado	0,75 – 0,95
solo compactado	0,59 – 0,79
Áreas sem melhoramentos ou naturais	
solo arenoso, declividade baixa < 2 %	0,05 – 0,10
solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 – 0,15
solo arenoso, declividade alta > 7 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade baixa < 2 %	0,15 – 0,20
solo argiloso, declividade média entre 2% e 7%	0,20 – 0,25
solo argiloso, declividade alta > 7 %	0,25 – 0,30
grama, em solo arenoso, declividade baixa < 2%	0,05 – 0,10
grama, em solo arenoso, declividade média entre 2% e 7%	0,10 – 0,15
grama, em solo arenoso, declividade alta > 7%	0,15 – 0,20
grama, em solo argiloso, declividade baixa < 2%	0,13 – 0,17
grama, em solo argiloso, declividade média 2% < S < 7%	0,18 – 0,22
grama, em solo argiloso, declividade alta > 7%	0,25 – 0,35
florestas com declividade < 5%	0,25 – 0,30
florestas com declividade média entre 5% e 10%	0,30 – 0,35
florestas com declividade > 10%	0,45 – 0,50
capoeira ou pasto com declividade < 5%	0,25 – 0,30
capoeira ou pasto com declividade entre 5% e 10%	0,30 – 0,36
capoeira ou pasto com declividade > 10%	0,35 – 0,42

Fonte: (“Instruções Técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana”, 2019)

b) Chuva de projeto

A equação de chuvas intensas permite caracterizar a relação entre a intensidade das chuvas, a duração e a frequência de ocorrência. Essa equação fornece informações fundamentais para a previsão de eventos extremos e o entendimento do comportamento hidrológico de uma região específica.

A intensidade pluviométrica do DBE foi calculada aplicando a equação IDF específica para o município de Rio de Janeiro. Essa equação considera as características climáticas da região de Sabóia Lima (Tabela 3), que engloba a área central da cidade. A partir da aplicação dessa equação, foi possível realizar a estimativa da intensidade das chuvas para diferentes durações e frequências.

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

Equação IDF para o município do Rio de Janeiro

i = intensidade pluviométrica (mm/h)

TR = tempo de retorno ou recorrência (anos)²²

t = duração da precipitação (minutos)

a , b , c e d = parâmetros da equação

Tabela 2 - Parâmetros da equação de chuvas intensas.

PLUVIÔMETRO	a	b	c	d	Fonte
Santa Cruz	711,3	0,18	7,0	0,687	PCRJ- Cohidro
Campo Grande	891,6	0,18	14,0	0,689	PCRJ- Cohidro
Mendanha	843,7	0,17	12,0	0,698	PCRJ- Cohidro
Bangu	1.208	0,17	14,0	0,788	PCRJ- Cohidro
Jardim Botânico	1.239	0,15	20,0	0,740	Ulysses Alcantara
Capela Mayrink	921,3	0,16	15,4	0,673	Rio-Águas (2003)
Via11	1.423	0,19	14,5	0,796	Rio-Águas (2005)
Sabóia Lima	1.782	0,17	16,6	0,841	Rio-Águas (2006)
Realengo	1.164	0,14	7,0	0,769	Rio-Águas (2006)
Irajá	5.986	0,15	29,7	1,050	Rio-Águas (2007)
Eletrobrás -Taquara	1.660	0,15	14,7	0,841	Rio-Águas (2009)

Fonte: (“Instruções Técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana”, 2019)

Após os valores serem inseridos na fórmula, a Tabela 3 apresenta a intensidade de precipitação em mm/h para diferentes combinações de TR e t .

²² O Tempo de Retorno (TR) de um evento de chuva é um conceito empregado na hidrologia para indicar a probabilidade de ocorrência desse evento em qualquer ano específico. Por exemplo, em um evento com um TR de 100 anos, a probabilidade de sua ocorrência em um único ano é de 1% (1/100).

Tabela 3 - Intensidade de precipitação em mm/h para a região de Sabóia Lima.

Duração (min)	Equação de chuva IDF						
	Precipitação (mm/h)						
	TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 15 anos	TR 25 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
10	126,99	148,39	166,95	178,86	195,09	219,49	246,93
15	109,86	128,38	144,43	154,74	168,78	189,89	213,63
30	79,24	92,60	104,18	111,62	121,74	136,97	154,10
45	62,67	73,23	82,39	88,27	96,28	108,32	121,86
60	52,17	60,97	68,59	73,49	80,15	90,18	101,45

- Volumes efetivos nas sub-bacias da área de estudo

Neste estudo foi adotado o termo volume efetivo, que é o produto calculado pela área de contribuição, precipitação total e a média ponderada dos coeficientes de escoamento superficial de cada sub-bacia. E para a sua determinação foram necessários a realização de alguns passos, que seguem abaixo.

As áreas das sub-bacias RC1 a RC5 e AB1 a AB6 foram classificadas conforme o uso do solo. Os coeficientes de escoamento superficial foram determinados para os cenários de pré e pós urbanização da região de estudo. Dessa forma, no cenário de pré-urbanização, o coeficiente de escoamento adotado foi de 0,25. No segundo cenário de pós-urbanização, os coeficientes foram definidos de acordo com o uso do solo, conforme os dados apresentados na Tabela 01.

Diante dessas informações, foi criada uma tabela comparativa de volumes efetivos nos dois cenários de urbanização. Esses dados podem ser encontrados nas tabelas 04 e 05 do Caderno de Orientação. O volume precipitado foi calculado pelo produto da intensidade de chuva, considerando uma duração de precipitação (t) de 60 minutos e tempo de retorno (TR) de 2 anos, 5 anos e 10 anos, pelas áreas de contribuição de cada sub-bacia. A escolha desses valores de TR e t foi embasada na consideração de eventos de chuvas mais recorrentes e intensos. Além disso, o TR de 10 anos é o padrão adotado para projetos de microdrenagem.

- Capacidade de reservação das infraestruturas verdes

Foram elaboradas duas tabelas para comparar a capacidade de reservação²³ das tipologias de infraestrutura verde propostas nas avenidas em relação ao volume efetivo de chuva nas suas respectivas áreas de contribuição - conforme pode ser

²³ A reservação das tipologias de infraestrutura verde compreende a capacidade dessas estruturas de armazenar ou reter água temporariamente.

verificado nas Tabelas 7 e 8 do Caderno de Orientação. Dessa forma, foi possível verificar quais soluções propostas apresentavam maior eficácia.

O passo inicial, foi a adoção de uma profundidade de 30 cm para as camadas de armazenamento temporário de água da chuva (borda livre) das tipologias de infraestrutura verde. A partir desse valor, foi calculado o volume de cada tipologia multiplicando a profundidade pela área projetada.

No próximo passo, foram calculadas as áreas de contribuição das soluções e o volume efetivo, considerando três cenários, todos com duração de precipitação (t) de 60 minutos e diferentes tempos de retorno (TR), 2 anos, 5 anos e 10 anos.

Finalmente, para determinar o volume efetivo, foi multiplicada a intensidade de precipitação, em metros/hora, pelas áreas de contribuição da solução e pela média ponderada do coeficiente de escoamento.

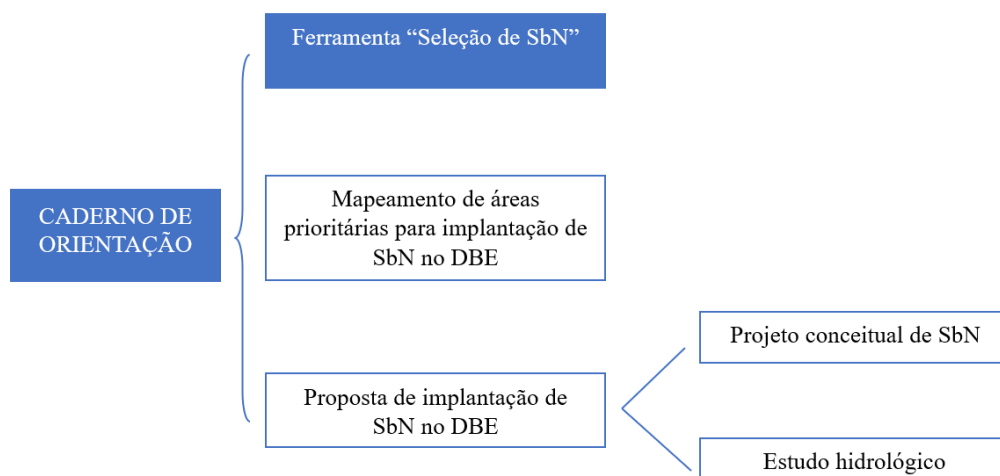
4. Resultados e discussão

O “Caderno de Orientação para implantação de Soluções (SbN) no Distrito de Baixa Emissão (DBE) da cidade do Rio de Janeiro” é um produto técnico-tecnológico desta dissertação. Ele foi diagramado, ilustrado e estruturado em sete capítulos. No primeiro capítulo, é feita uma breve contextualização das temáticas abordadas no estudo. No segundo capítulo, são apresentados assuntos relacionados às cidades sustentáveis. O próximo capítulo aborda o conceito das SbN, assim como o conceito de Infraestrutura Verde. Além disso, são descritos exemplos de projetos implementados de SbN. No quarto capítulo é dado um enfoque no DBE, fornecendo uma contextualização do distrito, análise dos resultados obtidos pelo preenchimento da ferramenta de Seleção de SbN e também o mapeamento de áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde. O capítulo cinco descreve a proposta de implantação de SbN para o DBE nas Avenida República do Chile e Avenida Almirante Barroso. No sexto capítulo são feitas as conclusões trazendo os principais insights, recomendações, próximos passos e limitações. E por fim, o último capítulo disponibiliza as referências bibliográficas para consulta.

Como desdobramento da elaboração do Caderno de Orientação, foi o criado um livreto ilustrado que aborda o projeto conceitual referente a proposta de implantação de SbN no DBE.

Dessa maneira, neste capítulo da dissertação é apresentado um resumo dos resultados obtidos, bem como as discussões realizadas acerca desses resultados, que estão presentes no Caderno de Orientação.

4.1 Diagnóstico dos fatores de sucesso para a futura implementação de SbN e ranqueamento das 15 SbN recomendadas para o Distrito



Após o preenchimento da ferramenta “Seleção de SbN”, as pontuações dos oito fatores de sucesso foram apresentadas, acompanhadas da avaliação da capacidade institucional da Prefeitura na implementação de SbN para o Distrito de Baixa Emissão (DBE) e da identificação de pontos de atenção. Com base nos resultados gerados pela ferramenta, foram identificados dois fatores que obtiveram baixa pontuação. Em contrapartida, foi obtida uma alta pontuação de 8,0/10 em três fatores de sucesso, o que foram considerados como ponto forte da organização. Esses resultados são apresentados no Quadro 7:

Quadro 7 - Diagnóstico dos fatores de sucesso para a implementação de SbN para o DBE no Rio de Janeiro.

FATORES DE SUCESSO	PONTUAÇÃO	CAPACIDADE INSTITUCIONAL	PONTOS CRÍTICOS
Apoio político e executivo estável	6,7/10	Oportunidades para melhoria	Sem problemas críticos
Processos/ padrões/ regulamentos/ políticas internas adequadas	2,9/10	Isso pode se tornar um sério problema	Falta de apoio político suficiente
Tempo e motivação da equipe	8,0/10	Isso é um ponto forte da organização	Sem problemas críticos
Habilidades avançadas de engajamento da comunidade	8,0/10	Isso é um ponto forte da organização	Sem problemas críticos
Alinhamento de departamentos e disciplinas internas	7,0/10	Competente	Sem problemas críticos
Cultura de inovação e tolerância ao risco	8,0/10	Isso é um ponto forte da organização	Sem problemas críticos

Departamentos de apoio em outros níveis de governo	3,5/10	Isso pode ser um problema	Aprovações externas podem ser uma barreira
Acesso a habilidades técnicas adequadas	7,0/10	Competente	Sem problemas críticos

Após a identificação das baixas pontuações dos fatores de sucesso, foram conduzidas análises visando aumentar a sua efetividade.

- **Fator de sucesso: Processos/ padrões/ regulamentos/ políticas internas adequadas.**

A integração do conceito de SbN em políticas, programas e projetos em todas as esferas do poder público é de suma importância (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2022). Dessa maneira, é relevante considerar como estratégia, parcerias com organizações do terceiro setor, parcerias público-privadas (PPP) e colaboração com prefeituras que já adotaram as SbN em suas políticas públicas. Nesse sentido, a Aliança Bioconexão Urbana²⁴ pode desempenhar uma posição importante ao cooperar com a Prefeitura do Rio na formulação de políticas públicas. A integração de SbN na estruturação de PPPs tem o potencial de aumentar a resiliência e impulsionar economias, contemplando tanto os custos de investimento quanto os custos operacionais ao longo da vida útil do projeto (“Climate-Resilient Infrastructure Officer Handbook - Knowledge Module on Public-Private Partnerships for Climate-Resilient Infrastructure”, 2021).

A incorporação das SbN no âmbito municipal pode ser feita a partir de políticas municipais existentes, devido a sua transdisciplinaridade ou com a elaboração de uma política específica (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2022).

Um outro fator relevante a ser considerado é a adoção de diretrizes práticas para a implementação de SbN. No capítulo 5 do Caderno de Orientação foram apresentadas essas diretrizes para as tipologias de SbN propostas para duas avenidas do DBE. Porém, devido a transdisciplinaridade e complexidade desse tema, é

²⁴ A Aliança Bioconexão Urbana busca disseminar o conceito de SbN e demonstrar a sua importância nas políticas públicas. Ela foi criada em 2021 e é composta por oito organizações: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), Fundação Grupo Boticário, Rede Brasil do Pacto Global da ONU, ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES), WRI Brasil, Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) e *The Nature Conservancy* Brasil.

necessário elaborar outros manuais e diretrizes, que também atendam necessidades específicas da Prefeitura do Rio.

Por fim, a participação de todas as partes interessadas na co-criação dos projetos de implementação de SbN é fundamental afim de garantir uma abordagem integrada e holística, considerando aspectos técnicos, ambientais, sociais e econômicos.

- **Fator de sucesso: Departamentos de apoio em outros níveis de governo.**

A implementação das SbN requer a colaboração e engajamento de diferentes setores e partes interessadas, devido à sua natureza transdisciplinar e multisetorial. Com isso, a fim de promover o reconhecimento dessas soluções como estratégias efetivas para o atingimento de objetivos, é preciso adotar abordagens integradas, incluindo políticas e estratégias financeiras para mobilizar recursos e fomentar a colaboração entre os setores. A criação de plataformas intersetoriais dedicadas às SbN é uma forma efetiva de envolver diversos atores (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2022).

Igualmente, é essencial que o direcionamento e o aumento do financiamento para essas soluções sejam priorizados, de forma a garantir a adequada alocação e utilização dos recursos necessários. Algumas estratégias podem ser adotadas nesse sentido, como o desenvolvimento de mecanismos de financiamento específicos para as SbN e a revisão e realocação de recursos existentes (United Nations Environment Programme 2022).

- **Fatores de sucesso considerados como pontos fortes**

Por outro lado, foi identificado que a instituição obteve uma alta pontuação em três fatores de sucesso: “Tempo e motivação da equipe”; “Habilidades avançadas de engajamento da comunidade”; e “Cultura de inovação e tolerância ao risco”. Nesse sentido, é essencial buscar potencializar essas vantagens, buscando aprimorá-las e expandi-las. Para o fator de sucesso "Habilidades avançadas de engajamento da comunidade", foram sugeridas estratégias que visam estimular uma mudança cultural e comportamental da comunidade em relação à implementação de SbN. Algumas dessas estratégias incluem: a realização de campanhas que contribuam com o reconhecimento por parte da população sobre a importância da adoção de SbN para melhoria da qualidade de vida (CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2022), bem como a promoção de oficinas, mutirões

de plantio de mudas e outras atividades educativas envolvendo especialistas, pesquisadores e a participação ativa da população.

O envolvimento da comunidade desempenha um papel crucial na implementação bem-sucedida de SbN. Ele possibilita a co-criação de soluções adaptadas às necessidades específicas do contexto local e fortalece o senso de pertencimento dos cidadãos.

É recomendável que as orientações dos fatores de sucesso sejam discutidas internamente na Prefeitura do Rio de Janeiro para avaliar a sua aplicabilidade no contexto do município.

Finalmente, outro resultado decorrente do preenchimento da ferramenta “Seleção de SbN” foi o ranqueamento das 15 SbN mais adequadas para o DBE (Quadro 8). Esse processo se baseou na provisão dos benefícios dos serviços ecossistêmicos; na capacidade institucional da Prefeitura do Rio de Janeiro na implementação de cada tipologia de SbN; e na dificuldade de implementação de cada solução. Além disso, foram identificados eventuais obstáculos para cada SbN.

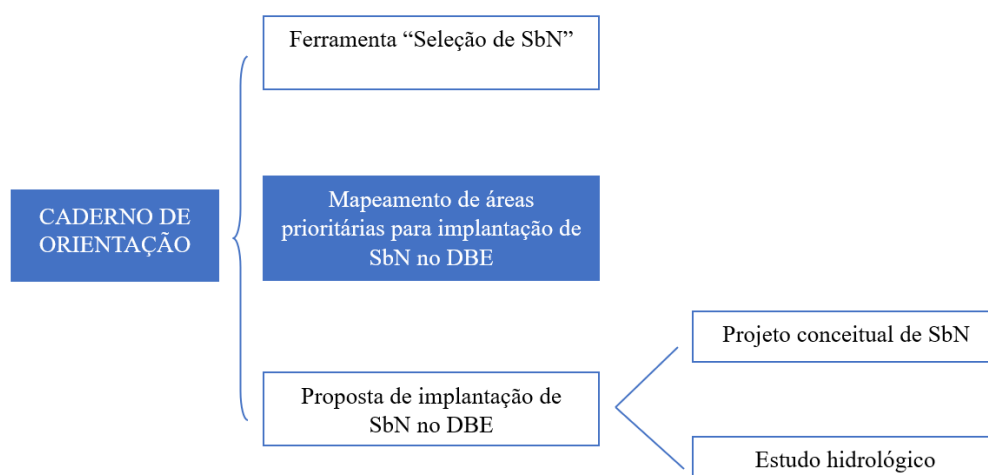
Quadro 8 – Recomendações de SbN para o DBE

POSIÇÃO	15 SbN SELECIONADAS PELA FERRAMENTA
1	Árvores urbanas
2	Sumidouro de carbono urbano
3	Silvicultura urbana
4	Áreas de descanso verde
5	Espaços e beiras polinizadoras
6	Pavimentos verdes para ciclistas e pedestres
7	Jardins de chuva
8	Biovaletas e lagoas de retenção de água
9	Horta urbana
10	Parklets
11	SUDS (Sistemas de Drenagem Sustentável) ²⁵
12	Módulos de Polinizadores Naturais
13	Jardins flutuantes
14	Fachada verde
15	Áreas de filtro verde

²⁵ SUDs são soluções de gerenciamento de águas superficiais em ambientes urbanos, que visam: minimizar a poluição; controlar o volume de escoamento para reduzir os riscos de inundação e proteger o ciclo natural da água; manter espaços melhores para as pessoas e natureza (CAR, SGR, *et al.*, 2018, WOODS-BALLARD, WILSON, *et al.*, 2015).

Em conclusão, a ferramenta aplicada assumiu um papel essencial para o desenvolvimento do caderno. Além dos resultados e análises discutidos nesse item, os pesos atribuídos pela ferramenta - para os desafios identificados no contexto do DBE - foram adotados ao mapa síntese de áreas prioritárias de infraestrutura verde, conforme apresentado no item 3.2 desta dissertação. Adicionalmente, foram selecionadas quatro tipologias de SbN, resultantes das recomendações de SbN para o DBE (Quadro 8), para o projeto conceitual das Avenida República do Chile e Avenida Almirante Barroso, que serão abordadas na seção 4.3.1.

4.2 Mapeamento de áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde



Nesta seção serão apresentados os mapas produzidos para os quatro indicadores, bem como os mapas dos três cenários elaborados para identificar as áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE. Adicionalmente, serão discutidos de forma sucinta os resultados obtidos, as limitações encontradas ao longo do processo e proposições para os próximos passos a serem seguidos.

- Mapas dos quatro indicadores

As figuras Figura 7 a Figura 14 apresentam os mapas classificados e reclassificados que foram gerados dos quatro indicadores: Áreas verdes e número de habitantes; Índice de Desenvolvimento Social (IDS); Temperatura de superfície; e Densidade de alagamentos.

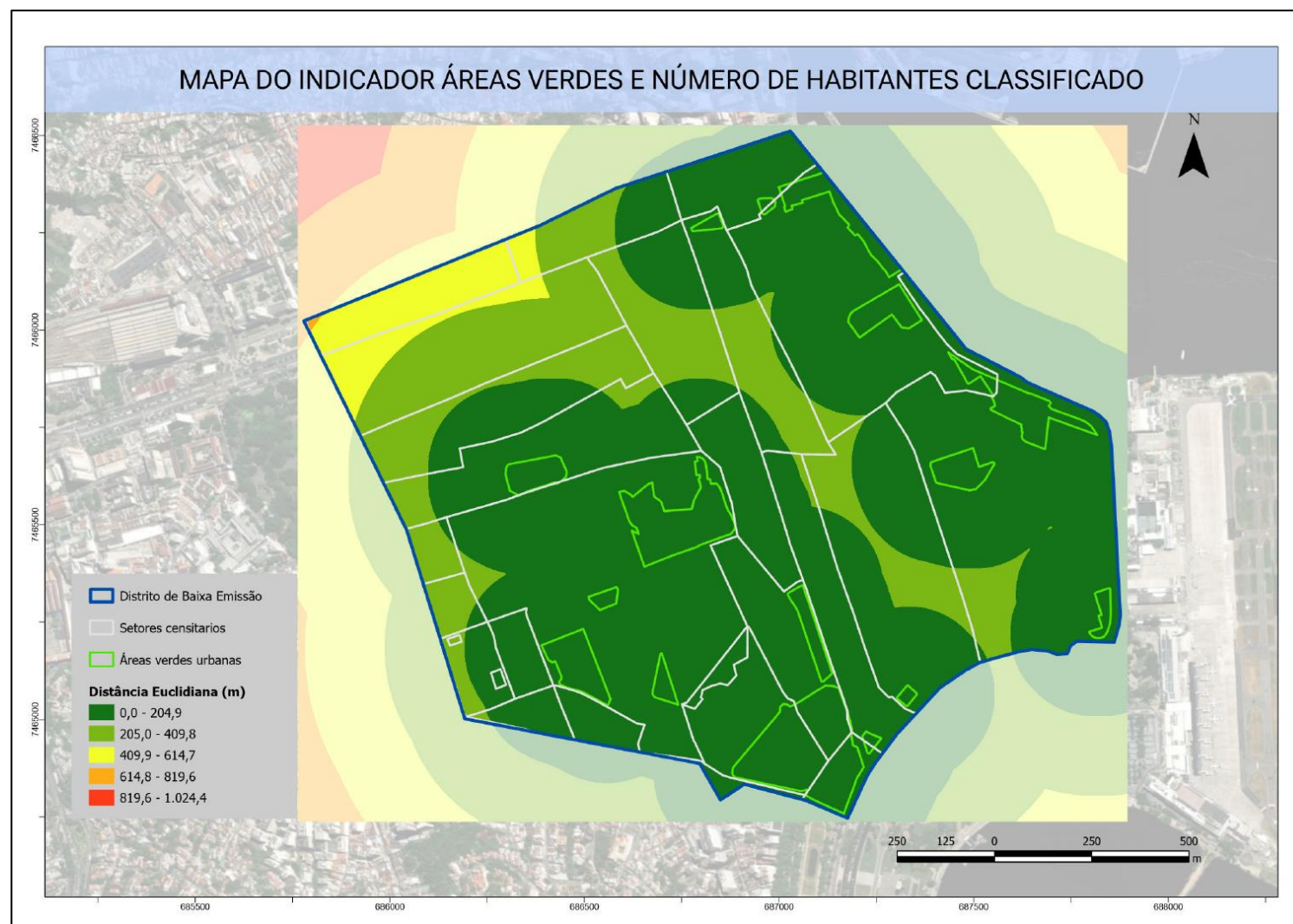


Figura 7 - Mapa do indicador áreas verdes e número de habitantes classificado.

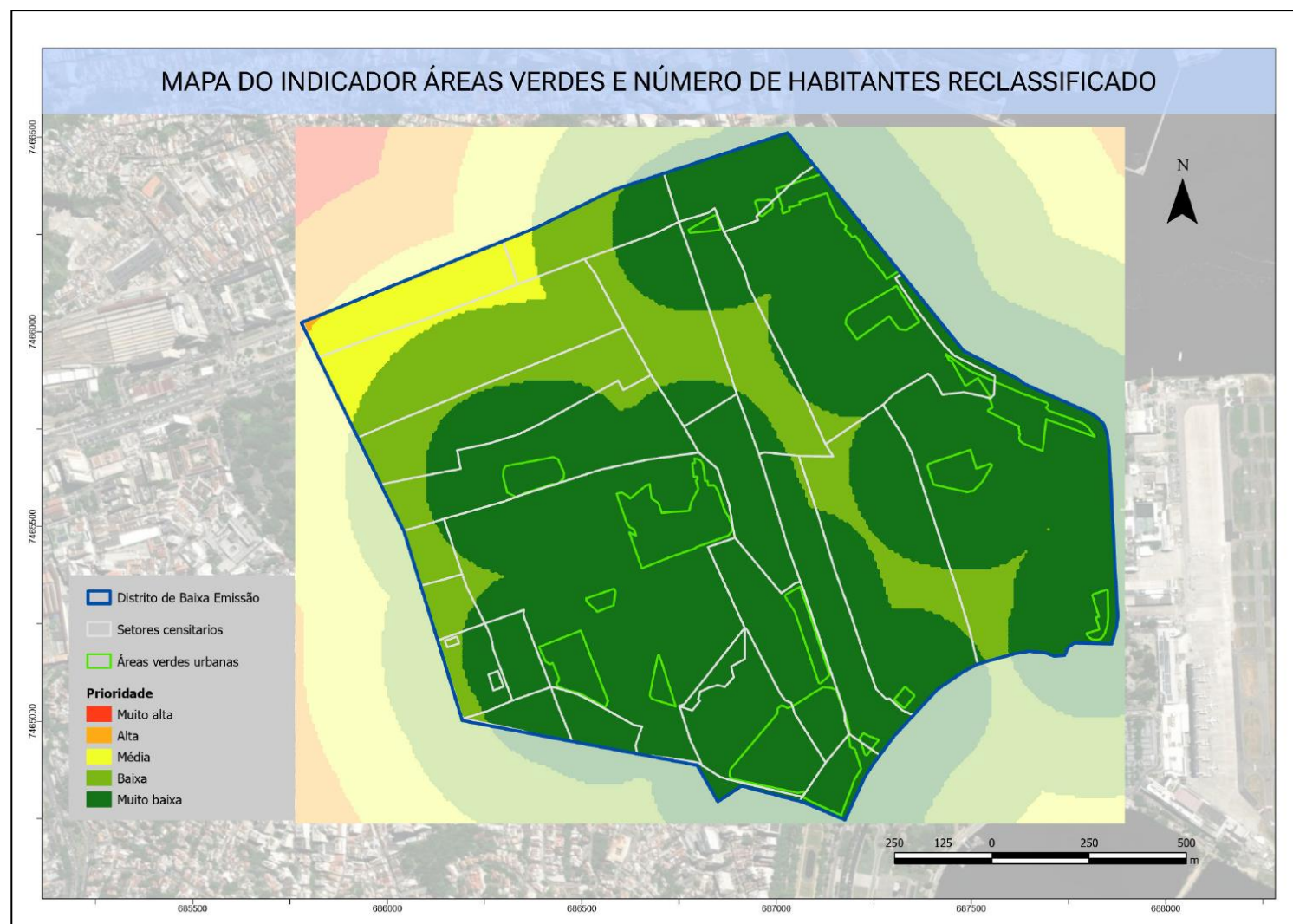


Figura 8 - Mapa do indicador áreas verdes e número de habitantes reclassificado.

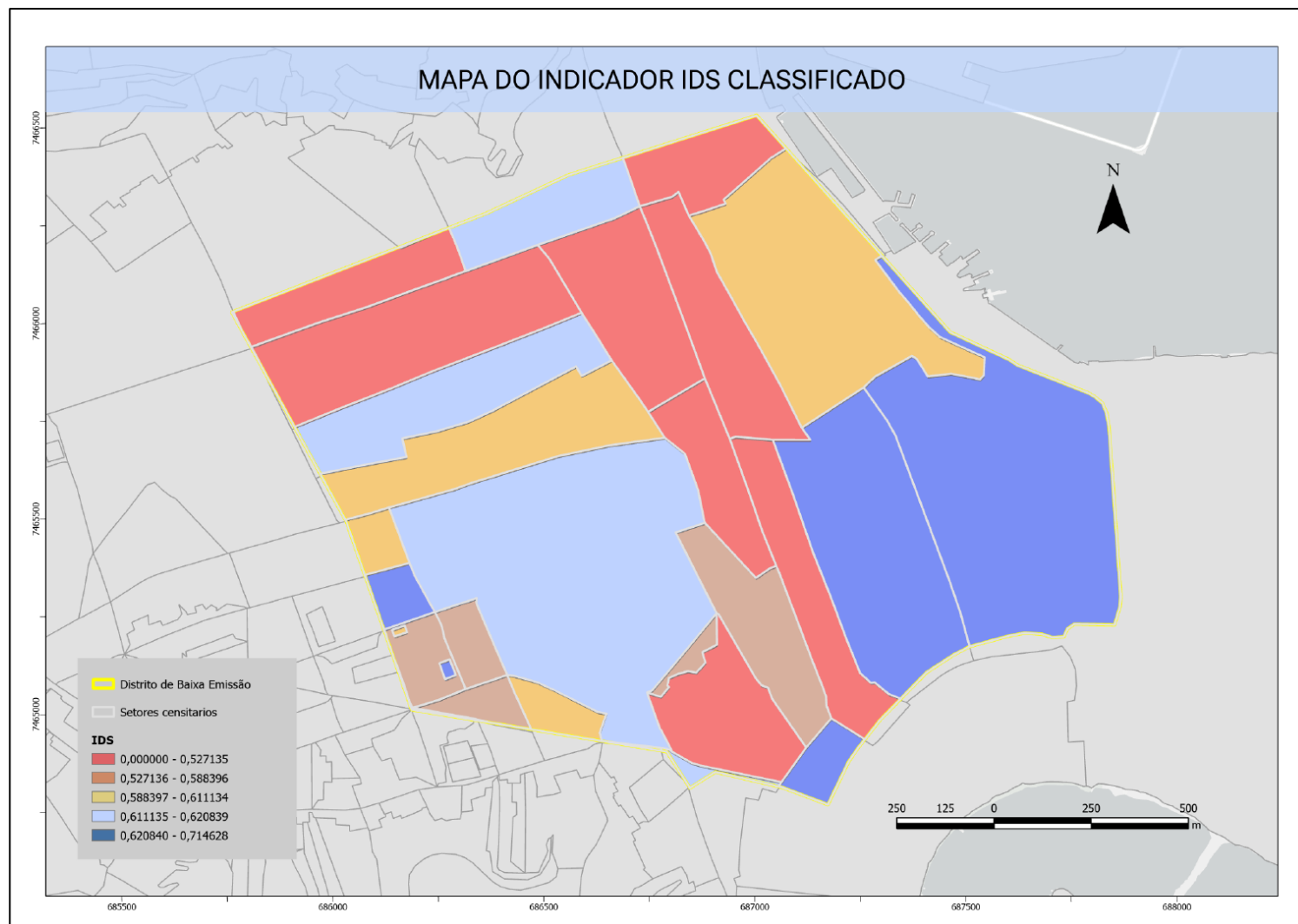


Figura 9 - Mapa do indicador Índice de Desenvolvimento Social classificado.

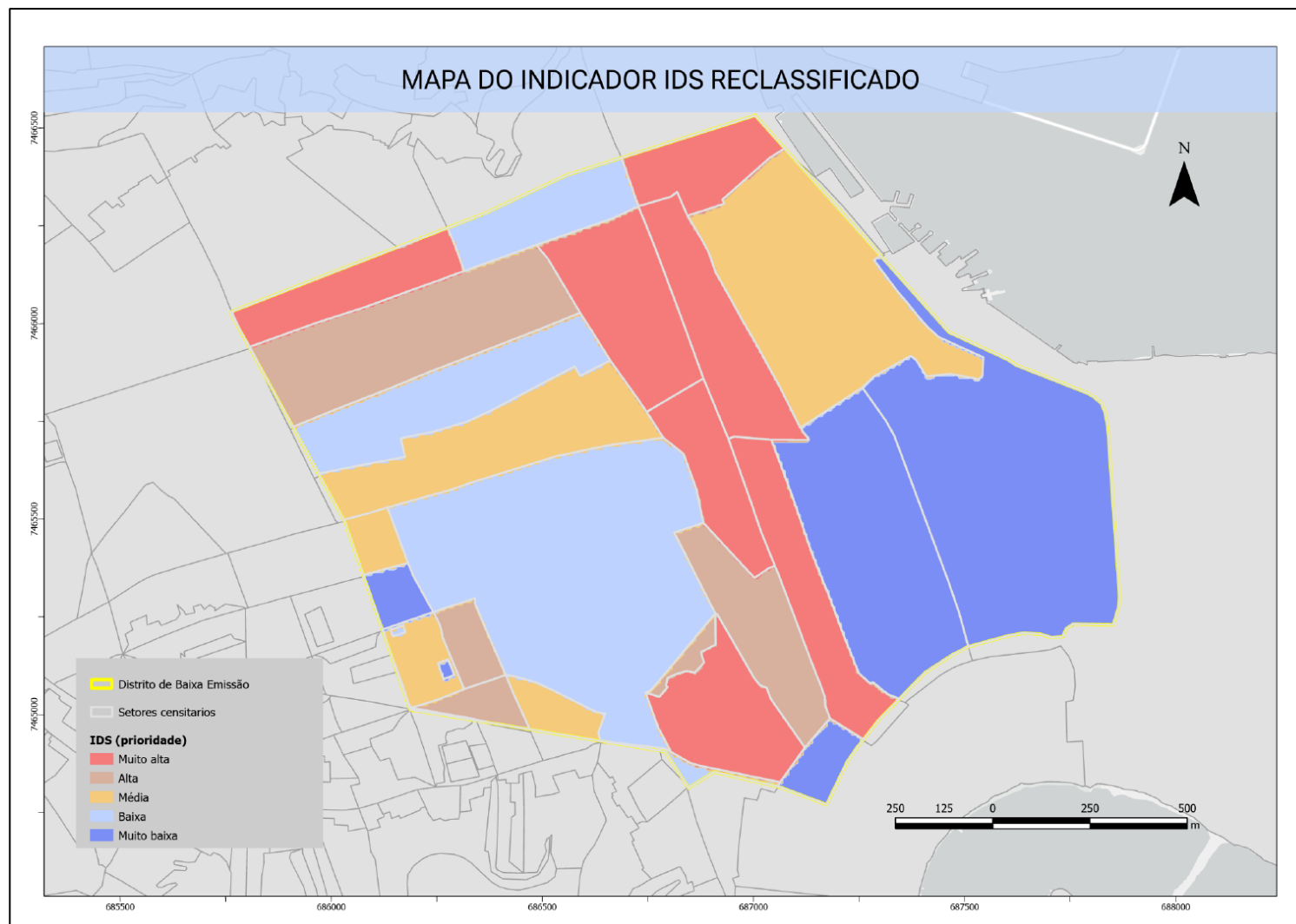


Figura 10 - Mapa do indicador Índice de Desenvolvimento Social reclassificado.

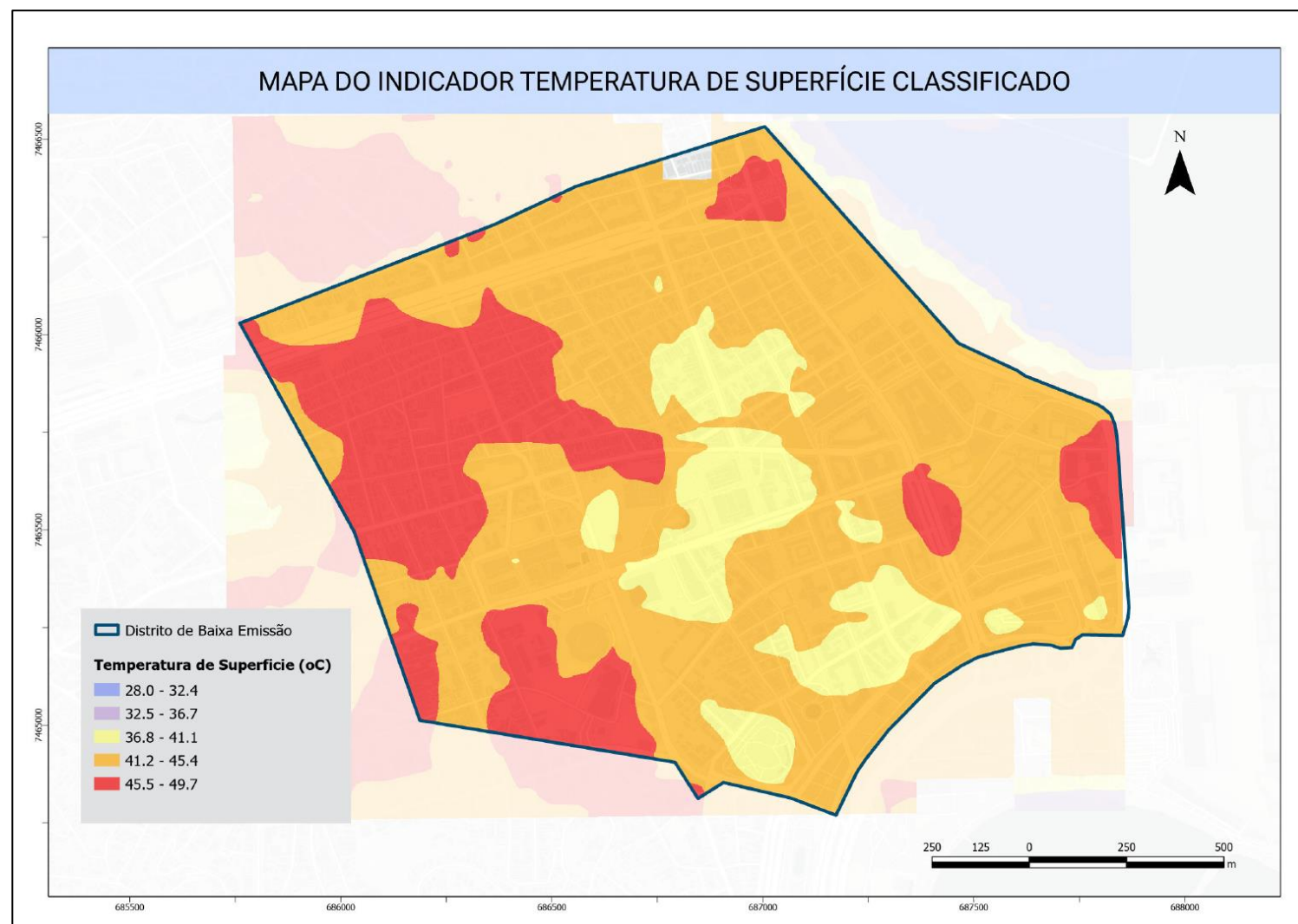


Figura 11 - Mapa do indicador Temperatura de Superfície classificado.

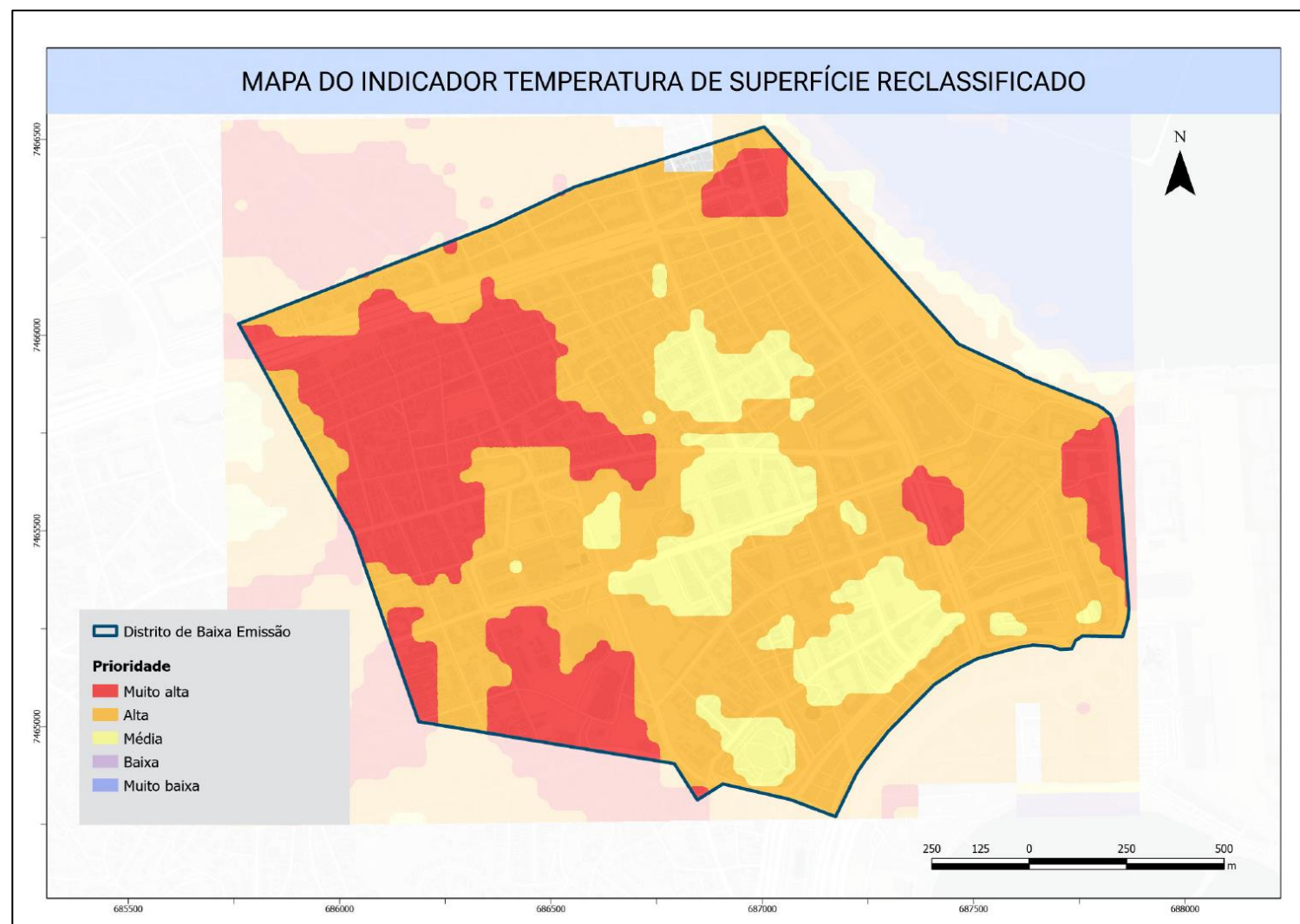


Figura 12 - Mapa do indicador Temperatura de Superfície reclassificado.

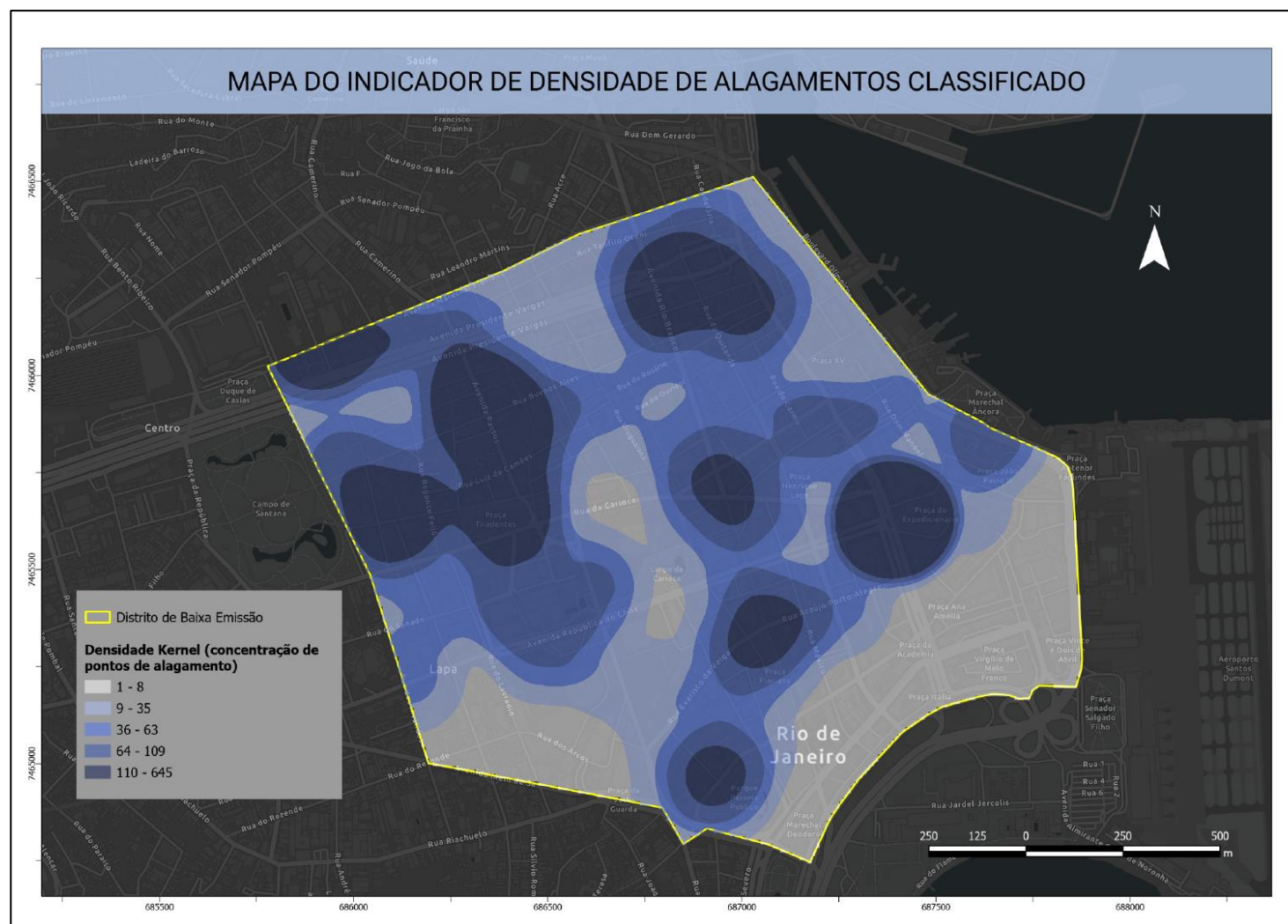


Figura 13 - Mapa do indicador Densidade de Alagamentos classificado.

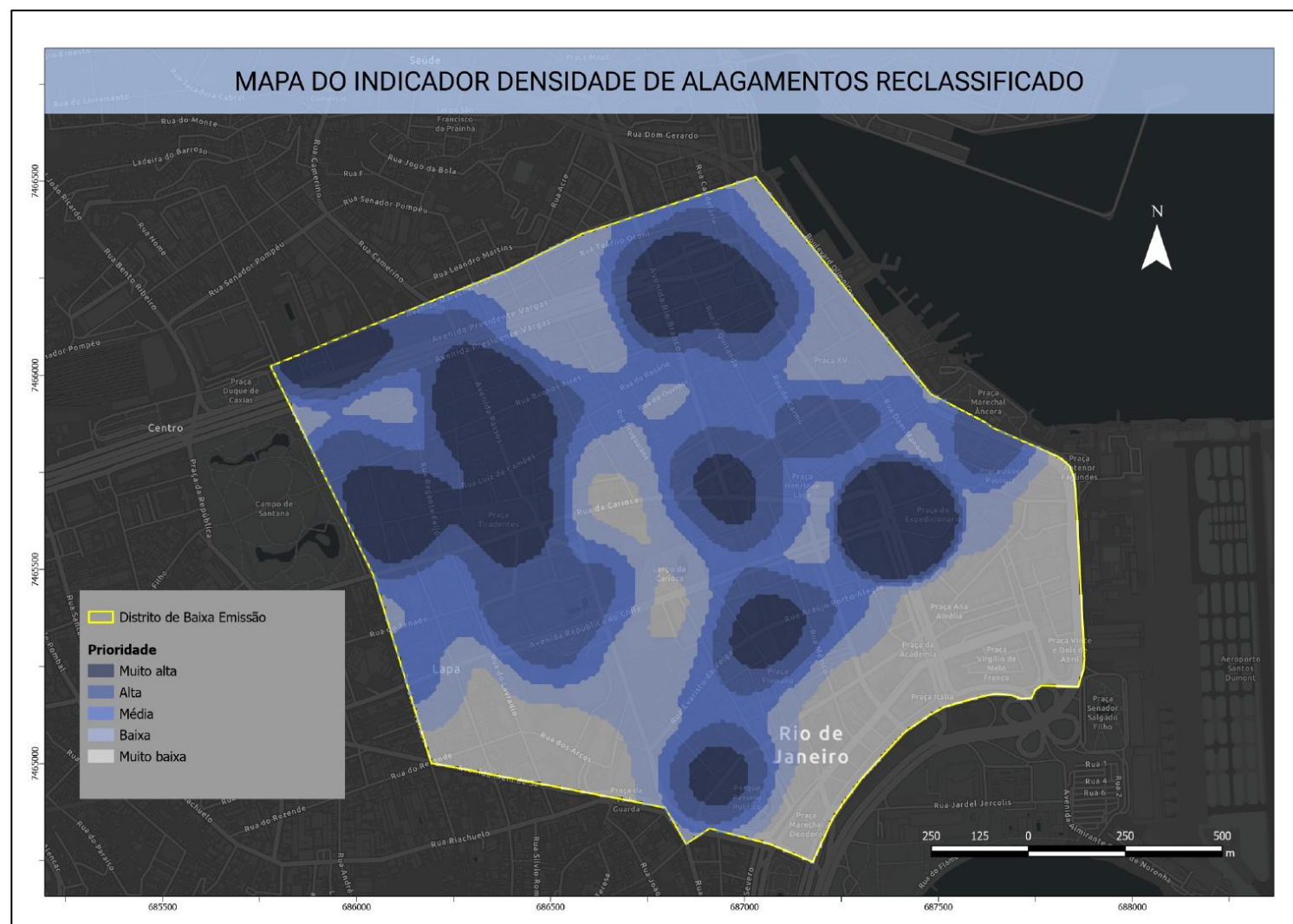


Figura 14 - Mapa do indicador Densidade de Alagamentos reclassificado.

- Limitação do mapa do indicador IDS

Foi identificada uma limitação no mapa reclassificado do IDS (Figura 10) para o DBE devido a presença de valores nulos em seis setores censitários, conforme ilustrado na Figura 15, na tabela de atributos dos dados recortados. Essa circunstância pode ser atribuída pelo fato de que o levantamento realizado pelo Censo Demográfico, sendo domiciliar, pode não representar adequadamente a realidade desses setores censitários, que são, em sua maioria, compostos por estabelecimentos comerciais e institucionais.

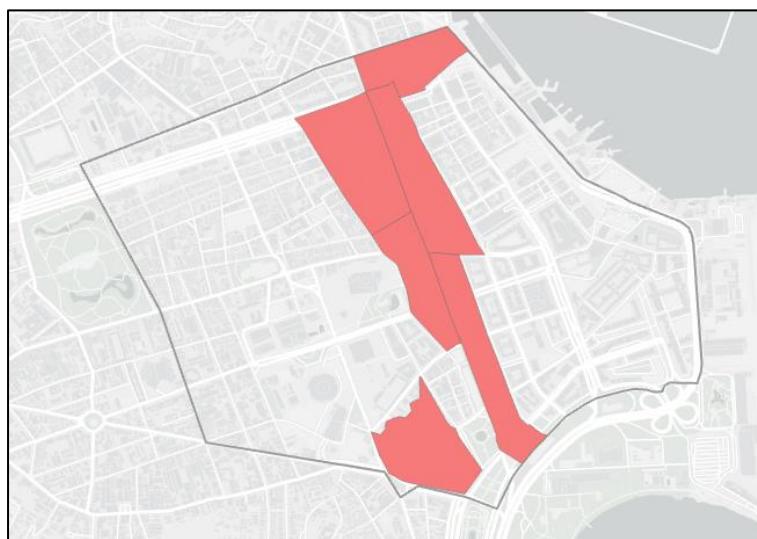


Figura 15 - Áreas demarcadas em vermelho representam os setores censitários com valor nulo do IDS.

Um aspecto adicional a ser considerado é que, em escalas maiores, como regiões de planejamento, a ausência de dados em alguns setores censitários pode ter uma relevância menor em comparação com o presente estudo, que se concentra na área do DBE. Isso ocorre porque, em áreas de maior abrangência, a influência desses setores em questão tende a se atenuar, reduzindo, assim, sua importância na análise global dos dados.

- Análise espacial de potenciais áreas para implantação de infraestrutura verde e recomendações

Durante o processo de classificação supervisionada de imagem e traçado manual de vetores de áreas verdes, foi possível identificar locais subutilizados na no DBE, tais como estacionamentos, coberturas de edificações e praças, que apresentam um considerável potencial para a implantação de IV. Esses locais têm

a capacidade de serem transformados por meio da implementação de tipologias de infraestrutura verde, como canteiros pluviais, jardins de chuva e telhados verdes. Com isso, para estimular a adoção dessas ações, uma estratégia é a criação de políticas públicas que ofereçam incentivos fiscais, como o IPTU Verde.

Na cidade do Rio de Janeiro, foi criada a certificação Qualiverde, que tem como objetivo promover a adoção de práticas sustentáveis em empreendimentos, abrangendo as áreas de gestão de água; eficiência energética e desempenho térmico; projeto; e bonificações (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2012). A participação nesse programa é opcional, e atualmente encontra-se em tramitação na Câmara dos Vereadores, a Lei de Benefícios Fiscais (Prefeitura do Rio de Janeiro 2013), que busca viabilizar benefícios para os projetos qualificados no Qualiverde. Dentro desse contexto, o DBE é um dos projetos que compõe o Reviver Centro, um plano que estabelece diretrizes para a requalificação urbana, ambiental, cultural, social e econômica da região central do Rio de Janeiro. Uma alternativa a ser estudada seria incluir as tipologias de infraestrutura verde, como as supracitadas, nas dimensões de Gestão de Água e Projeto. No entanto, para garantir uma boa adesão, é fundamental que os incentivos fiscais estejam vigentes e ofereçam vantagens atrativas, de forma a estimular a participação tanto da população quanto das empresas.

Uma opção adicional é disseminar os princípios da infraestrutura verde entre a população e integrar as tipologias correspondentes ao Programa “Adote. Rio - bens públicos de uso comum do povo”²⁶. Isso permitirá que os cidadãos compreendam a importância dessas áreas para melhorar a qualidade de vida da comunidade e desenvolvam um senso de pertencimento, promovendo uma maior valorização e cuidado com esses espaços.

- Cenários de áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE

Foram criados três cenários de priorização de áreas para implantação de infraestrutura verde no DBE. Dessa forma, um dos objetivos com a geração desses mapas é fornecer informações relevantes para o planejamento da ampliação dos serviços ambientais e auxiliar na tomada de decisão.

²⁶ Adote Rio é um programa criado em 2014 que tem como objetivo engajar empresas, associações de moradores e cidadãos na gestão ambiental da cidade, por meio da adoção de áreas públicas como praças, parques, largos, jardins, canteiros.

No primeiro cenário (Figura 16) foram verificadas limitações em sua representação devido à falta de variabilidade de entrada do indicador IDS. Isso pode ser evidenciado no mapa devido ao alto percentual de influência desse indicador, uma vez que a maioria das áreas com alta prioridade correspondem as áreas com IDS nulo. Dessa forma, foi gerado um segundo cenário para aumentar a precisão do resultado.

No segundo cenário (Figura 17), foi optado por reduzir o peso atribuído à camada do Índice de Desenvolvimento Social (IDS) de 5 para 1, mantendo o percentual de influência de 50%. Como resultado dessa alteração, no mapa gerado, a área previamente classificada como de alta prioridade foi reclassificada como de baixa prioridade. Adicionalmente, foi observado que as áreas prioritárias no mapa síntese foram delimitadas exatamente nos limites dos setores censitários, devido ao elevado percentual do IDS, o que pode gerar uma distorção do resultado. Assim, foi elaborado um terceiro cenário como o objetivo de reduzir esse viés.

No terceiro cenário (Figura 18), foi aplicada a abordagem de serem mantidos os mesmos percentuais para os indicadores (LOURDES, HAMEL, *et al.*, 2022). No entanto, houve uma redução no percentual atribuído ao indicador IDS, que passou a ser de 18%, a fim de compensar a falta de variabilidade de entrada. O mapa de áreas prioritárias desse cenário se aproxima mais da realidade, uma vez que as áreas ultrapassaram as delimitações dos setores censitários. Algumas áreas identificadas como de alta prioridade foram: o Polo Saara, as áreas adjacentes à Praça Mário Lago, a Praça Floriano Peixoto (também conhecida como Cinelândia) e a região da Candelária.

É relevante ressaltar que não foi possível priorizar nenhum indicador específico, conforme o objetivo inicial. Além disso, vale destacar que a inclusão de dados de outros indicadores do Guia Metodológico do IPT permitiria a geração de um mapa para o DBE que aumentaria a oferta de serviços ambientais em comparação ao que foi gerado pelo cenário 3.

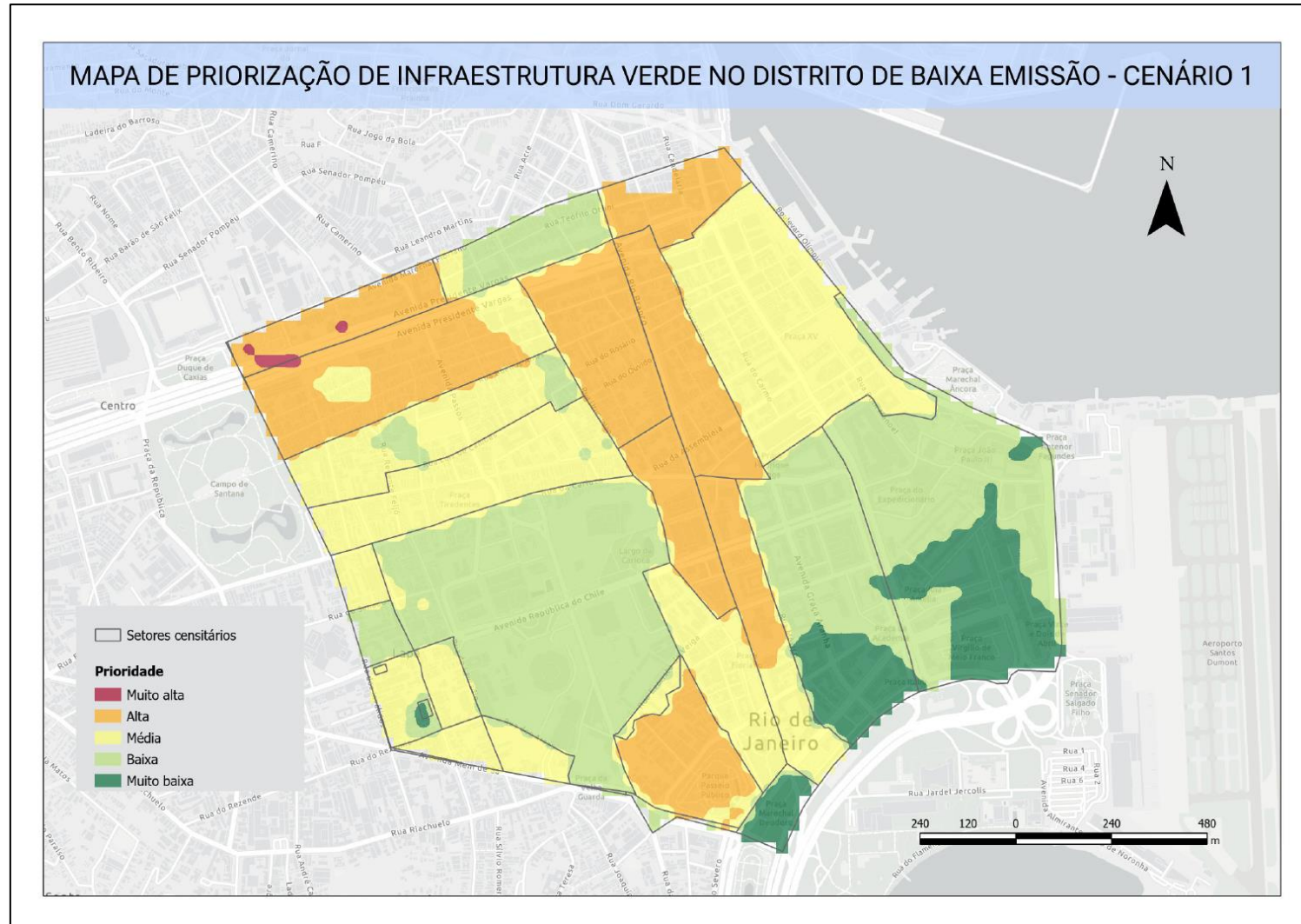


Figura 16 - Cenário 1: Mapa síntese áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE. Foram considerados os seguintes percentuais para os indicadores: 50% para o IDS, 25% para Áreas Verdes e Número de Habitantes, 15% para Temperatura de Superfície e 10% para Densidade de Alagamento.

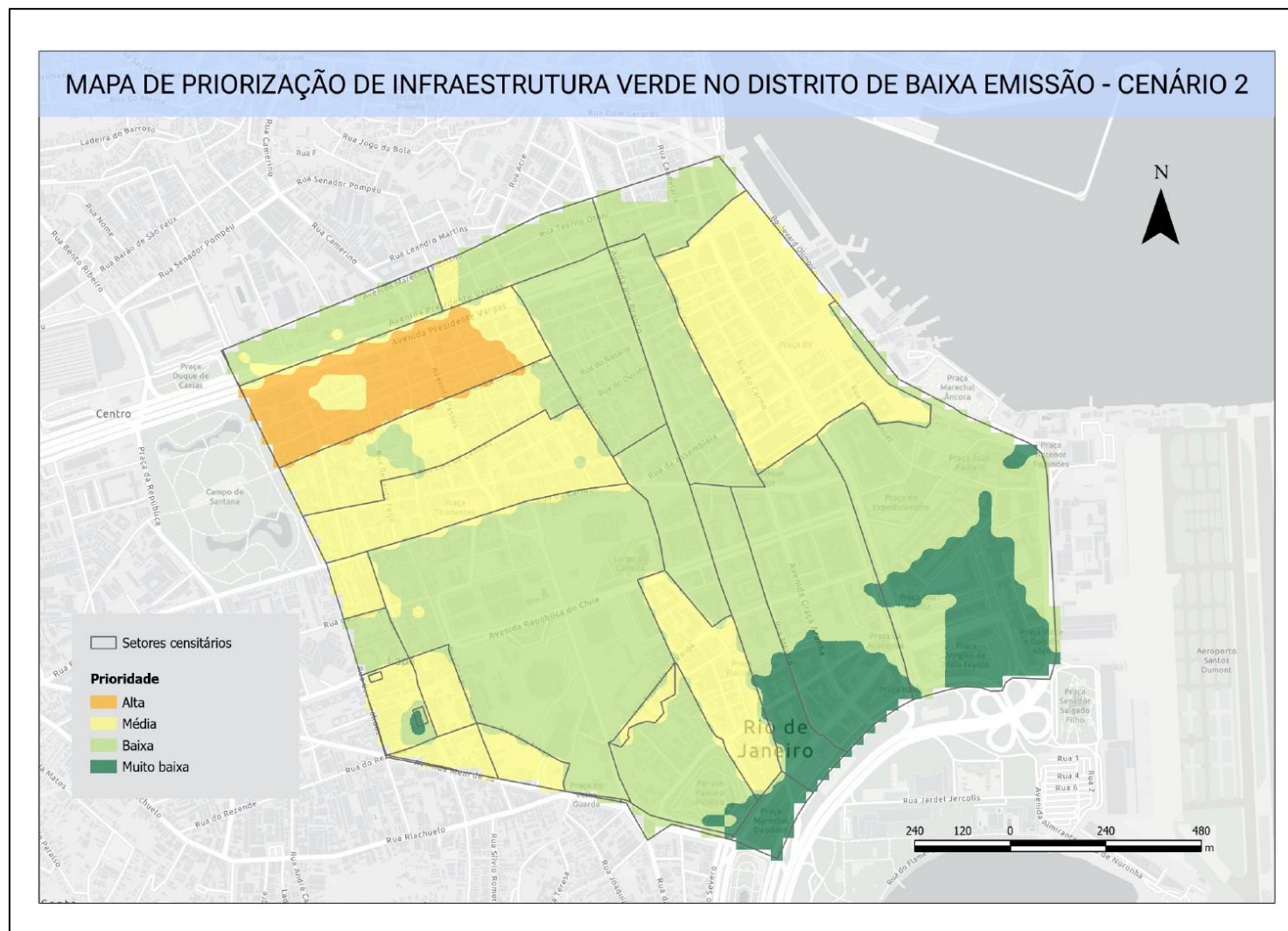


Figura 17 - Cenário 2: Mapa síntese áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE. Foram mantidos os mesmos percentuais do primeiro cenário, entretanto o peso atribuído à camada do IDS para as áreas de alta prioridade foi reduzido de 5 para 1.

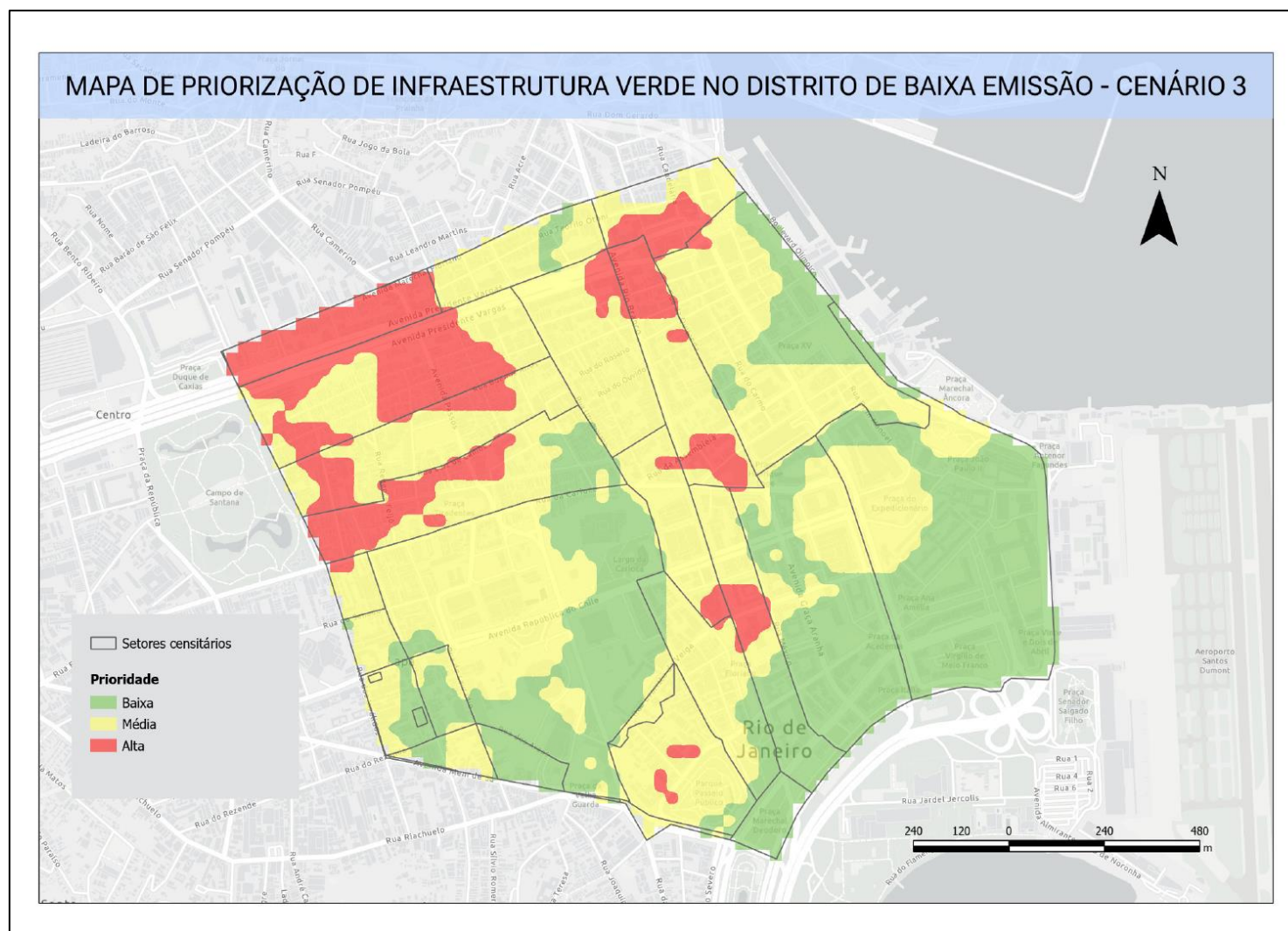
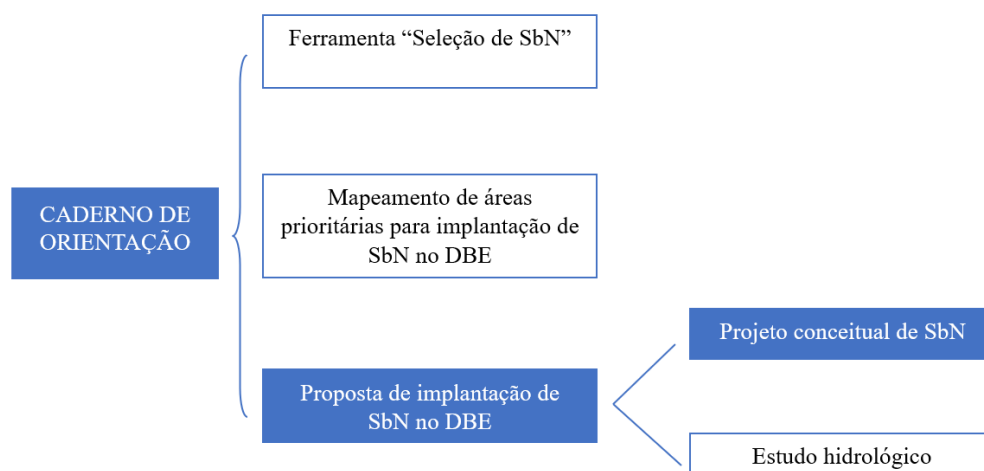


Figura 18 - Cenário 3: Mapa síntese áreas prioritárias de infraestrutura verde no DBE. Foram atribuídos os mesmos percentuais de 28% para os indicadores: Áreas verdes e número de habitantes; Temperatura de superfície; e Densidade de alagamentos. No entanto, foi reduzido o percentual do IDS para 16%, com o intuito de compensar a falta de variabilidade de entrada.

4.3 Proposta de implantação de SbN no DBE

4.3.1 Projeto conceitual de SbN



No projeto conceitual de SbN proposto para a Av. República do Chile foram propostas as seguintes tipologias:

- duas biovaletas no canteiro central;
- 17 canteiros pluviais, sendo nove localizados na calçada, sete em áreas de vagas de estacionamento e um na esquina, como uma extensão de calçada;
- três jardins de chuva, sendo dois posicionados sob o viaduto da Av. República do Paraguai e um em frente à Catedral Metropolitana.

Além das proposições acima, o projeto também incluiu as seguintes tipologias de SbN para a Avenida Almirante Barroso:

- quatro Florestas de Bolso ou *SUGi Pocket Forest* nos canteiros centrais;
- 27 canteiros pluviais, sendo 17 ocupando a faixa de estacionamento, dois localizados na calçada e oito como extensões de calçada.

A seguir está disponibilizado o projeto conceitual de SbN elaborado no formato .dwg (Figura 19).



Figura 19 - Projeto conceitual de SbN e estratégias de elementos urbanos na Av. República do Chile e Av. Almirante Barroso e de caminhamento da água.
Fonte: Elaboração pela autora.

Um jardim de chuva foi proposto na praça em frente à Catedral Metropolitana, onde existe uma extensa área gramada subaproveitada, como uma abordagem para contribuir no manejo das águas pluviais e promover a biodiversidade local, sem comprometer a fachada da igreja. Além disso, foram projetados outros dois jardins de chuva nas calçadas sob o viaduto da Av. República do Paraguai, para melhor aproveitamento dos seus 11,0 metros de largura.

Já os canteiros pluviais foram alocados na área de estacionamento, denominados no estudo como vagas verdes, e propostos como estratégia para a redução da faixa do sistema viário, sem excluir totalmente o espaço destinado aos veículos. Adicionalmente, foram posicionados canteiros pluviais em esquinas, nas calçadas e como extensão de calçada. Entre os benefícios proporcionados por essa tipologia podem ser citados a redução da velocidade do escoamento superficial e a melhoria da qualidade do ar.

Outra tipologia adotada para a Av. República do Chile foram as biovaletas. Elas foram posicionadas no canteiro central e desempenham um papel significativo na captação, tratamento e direcionamento das águas pluviais, promovendo o aumento da resiliência contra enchentes.

Por fim, as Florestas de Bolso ou *SUGi Pocket Forest* foram alocadas nos canteiros centrais da Av. Almirante Barroso, que possuem extensas larguras e oferecem inúmeros benefícios, como captura de CO₂, melhoria do microclima e promoção do bem-estar da comunidade.

Foram desenvolvidas renderizações²⁷ do projeto em alguns trechos das avenidas visando proporcionar uma melhor visualização e compreensão das soluções adotadas (Figura 20Figura 21).

A indisponibilidade do acesso ao GEOVIAS, devido ao ataque hacker no sistema intranet da Prefeitura do Rio de Janeiro, foi identificada como uma limitação do projeto. Essa situação impossibilitou a compatibilização entre as SbN propostas e as redes de infraestrutura subterrânea existentes, que é essencial para assegurar a viabilidade dos projetos de SbN.

²⁷ Para visualizar todas as renderizações e obter mais detalhes sobre o projeto, é recomendado consultar o Caderno de Orientação.

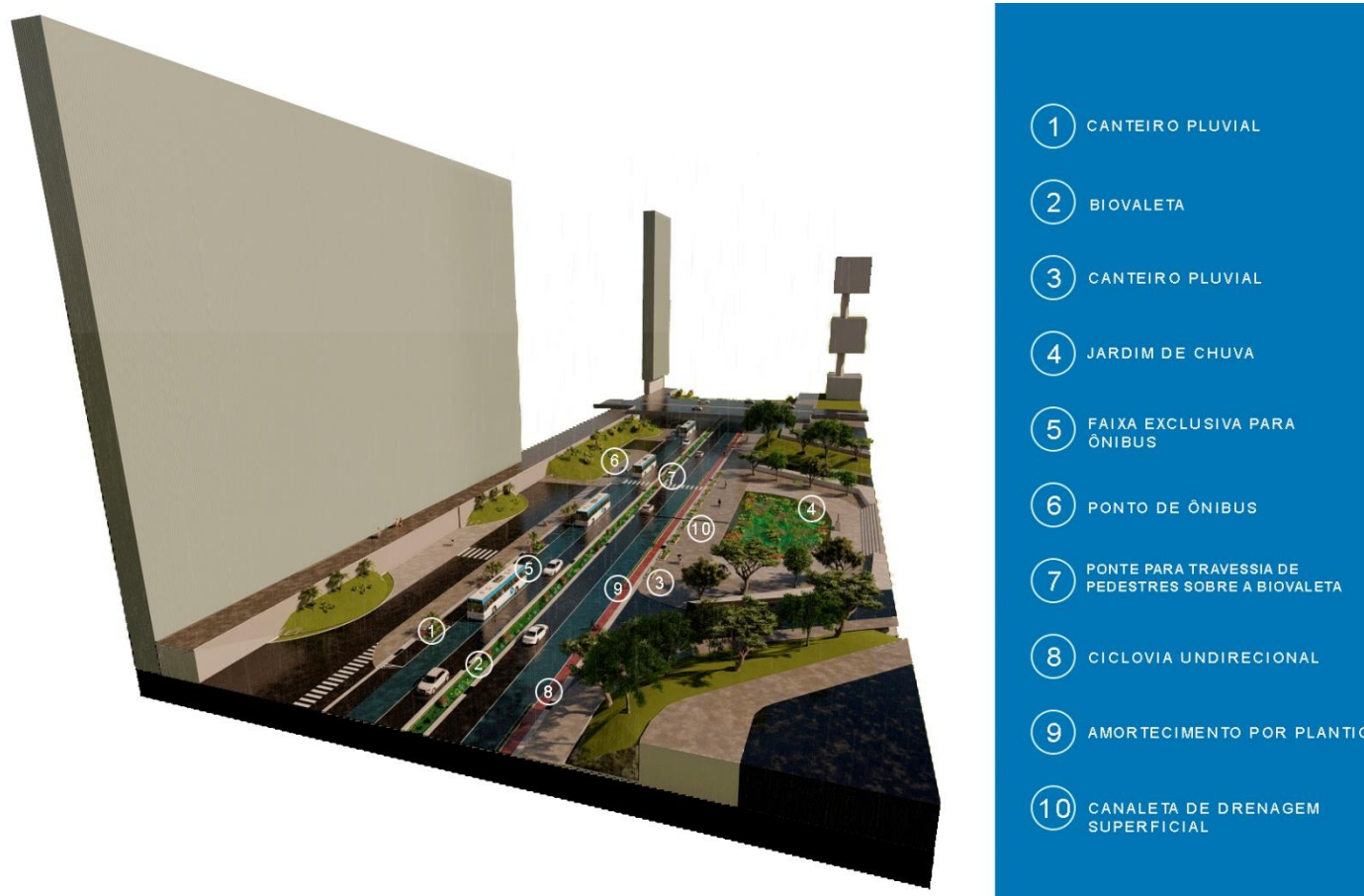


Figura 20 - Diagrama propositivo representando os elementos de infraestrutura verde e de elementos urbanos em trecho da Av. República do Chile.

Fonte: Ilustração por Yumi Sato.

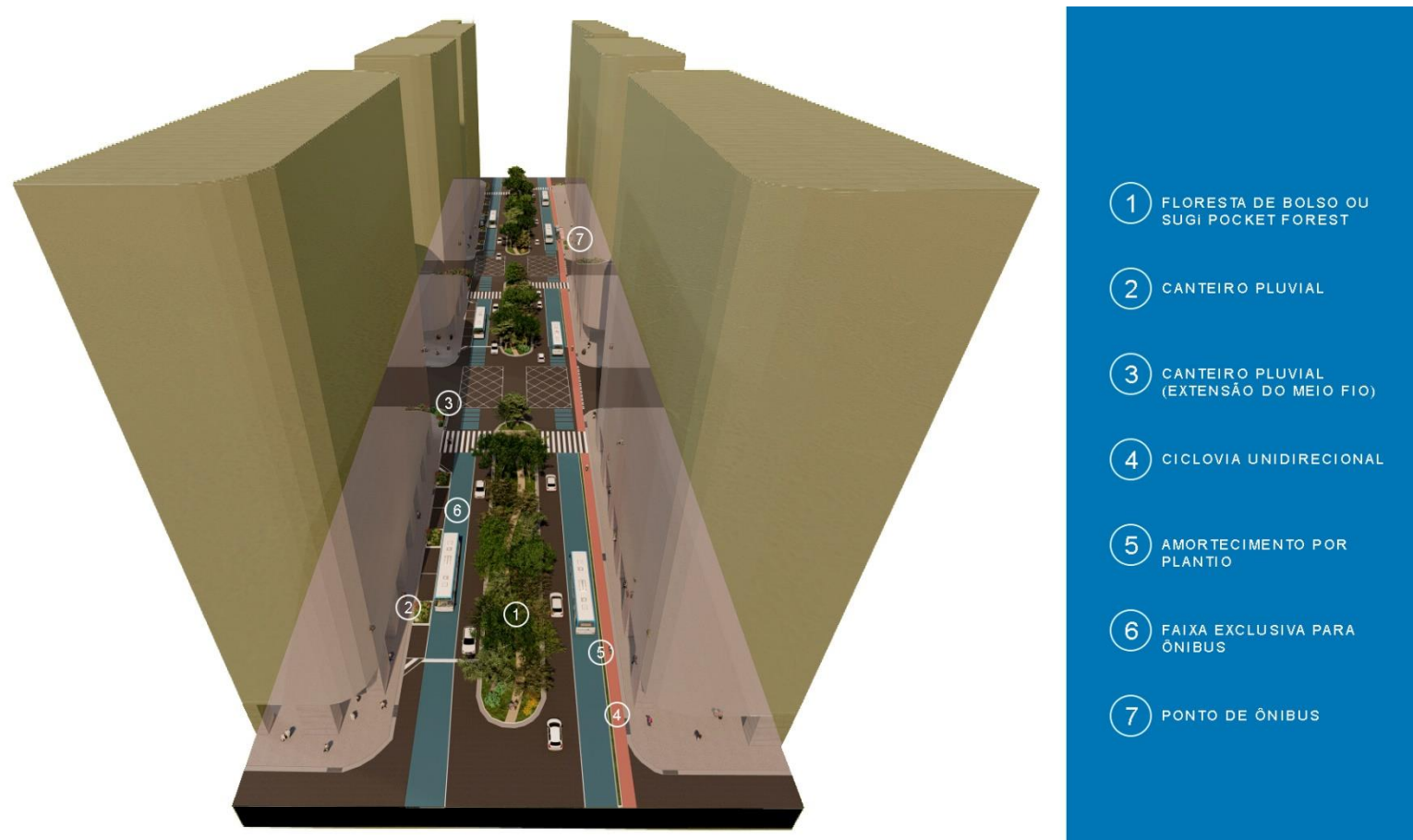
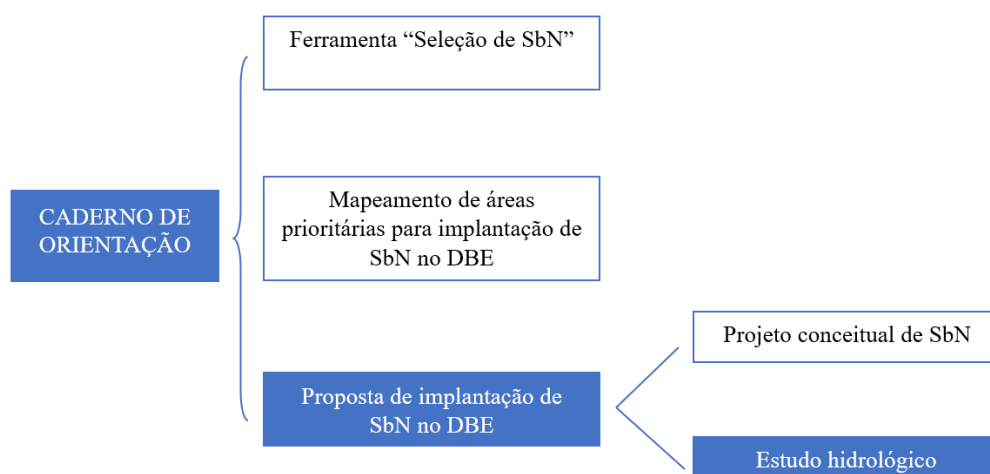


Figura 21 - Diagrama propositivo representando os elementos de infraestrutura verde e de elementos urbanos em trecho da Av. Almirante Barroso.
Fonte: Ilustração por Yumi Sato.

Como resultado das pesquisas realizadas sobre as quatro tipologias de SbN propostas nas avenidas do DBE, foram apresentadas diretrizes de projeto para cada uma delas. Nessas diretrizes, foram abordadas as definições de cada tipologia, incluindo sua escala de aplicação e relação com os ODS. Além disso, foram apresentadas renderizações que ilustram o corte das tipologias e a composição das camadas. Também foram fornecidas considerações específicas de projeto, bem como informações sobre os benefícios, a vegetação recomendada e as limitações. O objetivo dessas diretrizes é orientar as partes interessadas envolvidas no projeto, garantindo uma abordagem eficaz na implantação das SbN na área de estudo.

4.3.2 Estudo hidrológico das sub-bacias RC e AB



- Amortecimento total necessário para o alcance de cenário de pós-urbanização com infraestrutura verde

Após a análise dos dados apresentados nos Tabelas 07 e 08 do Caderno de Orientação, foram determinados os volumes requeridos para o amortecimento total do escoamento superficial nas áreas de contribuição das avenidas República do Chile e Almirante Barroso, levando em consideração uma duração de chuva de 60 minutos. Os valores identificados foram os seguintes:

- No cenário de TR de 2 anos:

4.225 m³ (Av. República do Chile) e 6.147 m³ (Av. Almirante Barroso);

- No cenário de TR de 5 anos:

4.937,0 m³ (Av. República do Chile) e 7.183,2 m³ (Av. Almirante Barroso);

- No cenário de TR de 10 anos:

5.554,4 m³ (Av. República do Chile) e 8.081,5 m³ (Av. Almirante Barroso).

Nos cenários abordados, os cálculos demonstraram que as estratégias propostas de infraestrutura verde nas avenidas seriam capazes de amortecer, respectivamente, 15% e 10% dos volumes de água pluvial das sub-bacias, para um TR de 2 anos e a mesma duração de chuva mencionada anteriormente.

- Tempo de armazenamento temporário

Foi estimado, com base nas tipologias de infraestrutura verde adotadas no projeto conceitual, que a capacidade de retenção de águas pluviais pela camada de armazenamento temporário seria de aproximadamente 1.260 m³. Essa retenção temporária permitiria que a água fosse liberada gradualmente na rede de drenagem ao longo de um período de 48 a 72 horas (NYC ENVIRONMENTAL PROTECTION, 2021).

- Tipologias mais eficazes na área de estudo

Após realização de análise, foram identificadas as três tipologias propostas de infraestrutura verde na República do Chile que demonstrariam maior efetividade na retenção do volume do escoamento superficial. Essas soluções incluem o jardim de chuva, localizado próximo à Catedral Metropolitana, o canteiro pluvial, com a extensão de calçada no Largo da Carioca, e a biovaleta 2, situada no canteiro central.

O jardim de chuva obteve uma reservação de 60% em relação à sua área de contribuição para um para um período de retorno de 2 anos, 51% para um TR de 5 anos e 45% para um TR de 10 anos. Já o canteiro pluvial apresentou taxas de retenção de 13%, 12% e 10% para os mesmos TR mencionados. Quanto a biovaleta 2, foi observada uma capacidade de armazenamento de volume de 8%, 7% e 6% em relação aos mesmos TR citados.

Os resultados obtidos para a Avenida Almirante Barroso revelaram que as soluções de maior eficiência foram, em ordem de desempenho, o canteiro pluvial (extensão de calçada 8), seguido pelo canteiro pluvial (vagas 8 a 11) e pela floresta de bolso D.

O canteiro pluvial (extensão de calçada 8) revelou uma capacidade de armazenamento de volume de 48%, 41% e 36% para TR de 2 anos, 5 e 10 anos, respectivamente. Por sua vez, os canteiros pluviais (vagas de estacionamento 8 a 11) demonstraram uma capacidade de reservação de 27%, 23% e 20% para os mesmos TR. Por fim, a floresta de bolso evidenciou uma capacidade de reservação de 19%, 16% e 14% para os TR mencionados.

Os cálculos simplificados realizados neste estudo permitiram estimar a capacidade de armazenamento das tipologias projetadas, a sua efetividade na redução do escoamento superficial e a sua adequação aos diferentes cenários hidrológicos. Entretanto, é preciso ressaltar que as SbN possuem múltiplas funcionalidades, fornecendo uma ampla gama de benefícios além do manejo das águas pluviais.

- Indicadores para tipologias de infraestrutura verde

Ao desenvolver um projeto de implementação de SbN no DBE, é fundamental a identificação e mensuração de indicadores para as soluções propostas. O artigo intitulado "*Developing a sustainability indicator set for measuring green infrastructure performance*" (PAKZAD, OSMOND, 2016) propõe a adoção de indicadores-chave nas áreas ecológica, de saúde, sócio-cultural e econômica para infraestrutura verde, os quais podem servir como referência para o projeto piloto. No entanto, é importante considerar as particularidades do contexto local do DBE e definir as prioridades na escolha dos indicadores.

A utilização de indicadores possibilita a realização da avaliação do desempenho e dos resultados alcançados pela implementação das SbN, além de permitir a identificação das áreas de sucesso, bem como oportunidades de melhoria. Os indicadores também fornecem uma linguagem comum para comunicar os resultados da implementação das SbN a diferentes partes interessadas, facilitando a compreensão dos benefícios gerados pelas SbN e promovendo o engajamento pela comunidade.

- Integração com a drenagem convencional

A integração da infraestrutura verde com a drenagem convencional em áreas urbanas consolidadas é uma prática que está sendo adotada em algumas cidades brasileiras. O Rio de Janeiro ainda não implementou essa abordagem, o que representa uma oportunidade para melhorar a drenagem urbana existente e em

novos empreendimentos. Nesse contexto, a incorporação dessa solução multifuncional pode contribuir para o manejo das águas pluviais urbanas, além de promover diversos benefícios socioambientais para a população e aumentar a resiliência das cidades frente aos eventos extremos climáticos.

- Reservatórios de retardo de águas pluviais em empreendimentos

A Prefeitura do Rio de Janeiro estabeleceu por meio de decretos a exigência da adoção de reservatórios para retardar o escoamento das águas pluviais em empreendimentos com área impermeável superior a 500 m². Essa medida visa prevenir inundações e controlar o fluxo das águas. A implementação de infraestrutura verde, por sua vez, pode potencializar esses benefícios, oferecendo um tratamento mais eficiente da qualidade da água, melhoria do microclima urbano, melhoria do bem-estar e promoção de outros serviços ecossistêmicos. Diante disso, é importante realizar estudos técnicos de viabilidade e dimensionamento para a inclusão de tipologias de infraestrutura verde como alternativa a ser adotada pelos empreendimentos, com o intuito de aprimorar a resiliência urbana.

- Limitações

Após o desenvolvimento do projeto, foram observadas algumas limitações. A primeira é sobre os percentuais de amortecimento das águas pluviais, que poderiam ser significativamente aumentados, se as tipologias de infraestruturas verdes fossem projetadas e implementadas em toda a extensão das sub-bacias, abrangendo não apenas as áreas de estudo das avenidas. Para futuros estudos, é crucial considerar soluções abrangentes para toda a extensão das sub-bacias.

Uma limitação adicional se relaciona ao cálculo do volume armazenado, que não levou em conta o potencial de infiltração das soluções de infraestrutura verde. A capacidade de infiltração dessas estruturas pode variar de acordo com diversos fatores, como o tipo de solo, a permeabilidade e o tipo de vegetação presente. Portanto, é recomendável que futuras pesquisas e projetos considerem esses aspectos para uma avaliação mais precisa das propostas.

- Próximos passos

Foram conduzidas reuniões com os técnicos da Fundação Rio-Águas para discutir o estudo de caso, e estabelecer os próximos passos relacionados aos estudos de infraestrutura verde no DBE. Os pontos a serem adotados seguem abaixo:

- Calcular a capacidade do sistema de drenagem existente da área de estudo do DBE será um passo importante para verificar a eficiência do sistema.
- Considerar as taxas estimadas de infiltração no dimensionamento de projetos de dispositivos de IV do tipo infiltração.
- Modelar as tipologias de IV no software Storm Water Management Model - SWMM²⁸ (Modelo de Gestão de Drenagem Urbana) para avaliar a eficácia dessas soluções na gestão de águas pluviais na área.
- Simular cenários e projetar as infraestruturas verdes levando em conta tempos de recorrência de 25, 50 e 100 anos para planejar e projetar infraestruturas verdes eficazes frente aos eventos extremos causados mudanças climáticas, que cada vez mais se tornarão eventos mais frequentes (“IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, 2014, SENEVIRATNE, X. ZHANG, *et al.*, 2021).

4.4 Livroto da Proposta de Implantação de SbN no DBE

O livreto intitulado “Caminhos para a Sustentabilidade: Inspirando um novo futuro para o Rio de Janeiro através das SbN no Distrito de Baixa Emissão” foi desenvolvido como desdobramento do Caderno de Orientação. Ele é composto por doze páginas, foi diagramado e contém ilustrações referentes à seção 5.6 do caderno. Esse material tem o propósito de sintetizar e comunicar as informações relacionadas ao projeto conceitual de SbN no contexto das avenidas República do Chile e Almirante Barroso no DBE para os representantes da Prefeitura do Rio de Janeiro.

²⁸ O SWMM é um modelo computacional de simulação hidrológica que permite avaliar o comportamento do sistema de drenagem em diferentes condições climáticas e de uso do solo.

5. Conclusão

A assinatura da “Declaração de Ruas Verdes e Saudáveis” pela Prefeitura do Rio de Janeiro e a criação do Distrito de Baixa Emissão (DBE) é um importante marco para o aumento da resiliência da cidade frente aos impactos das mudanças climáticas. Nesse contexto, a implementação de Soluções baseadas na Natureza (SbN) e infraestrutura verde, que são ações estruturantes do DBE, apresentam um papel fundamental nesse processo.

O Caderno de Orientação é resultado da parceria estabelecida entre a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e a Prefeitura do Rio de Janeiro, atendendo a uma demanda da instituição municipal. O estudo desenvolvido buscou apoiar e orientar a prefeitura na implantação de SbN para o DBE. Com o intuito de atingir esse objetivo, o caderno abordou conceitos relevantes e exemplificou casos bem-sucedidos de SbN implementadas. Além disso, foram realizadas análises da capacidade institucional da prefeitura na implementação de SbN no DBE, identificação de áreas prioritárias para a implantação de infraestrutura verde no distrito, elaboração de um projeto conceitual de SbN para duas avenidas no DBE, estabelecimento de diretrizes de projeto para as tipologias propostas e um estudo hidrológico para estimar o volume de água pluvial retido pelas soluções. O estudo também incluiu recomendações e próximos passos, juntamente com uma descrição das limitações encontradas ao longo da pesquisa.

Adicionalmente, foi elaborado um livreto com a proposta do projeto conceitual de SbN desenvolvido para as avenidas República do Chile e Almirante Barroso para ser apresentado na defesa da dissertação e distribuído para os representantes da prefeitura. Essa iniciativa visa contribuir para a disseminação da abordagem de SbN e conscientizar as partes interessadas sobre os benefícios e possibilidades oferecidos por essa solução.

Após a defesa, está prevista uma apresentação do caderno de orientação para gestores da Prefeitura, na qual será entregue o material elaborado. Durante essa ocasião serão destacados os principais pontos do estudo, com o objetivo de oferecer uma visão geral do conteúdo e ressaltar a relevância das SbN e infraestrutura verde para a administração municipal.

O Caderno de Orientação consiste em um documento com 167 páginas. Dessa forma, para facilitar a sua consulta, será sugerido aos representantes da Prefeitura do Rio de Janeiro a elaboração de um Sumário Executivo para proporcionar uma forma mais ágil de encontrar as informações.

Por fim, a partir da parceria estabelecida e do caderno elaborado, é esperado que ocorram desdobramentos que impulsionem o desenvolvimento de novos estudos e pesquisas, visando a incorporação das SbN no planejamento e projeto urbano no DBE, e, futuramente, em toda a cidade do Rio de Janeiro.

6. Referências bibliográficas

ABOUT URBAN GREENUP. [S.d.]. Disponível em: <https://www.urbangreenup.eu/about/about.kl>.

ARCGIS ENTERPRISE. Shapefiles. [S.d.]. Disponível em: <https://enterprise.arcgis.com/pt-br/portal/latest/use/shapefiles.htm>.

BARTESAGHI KOC, C., OSMOND, P., PETERS, A. "Towards a comprehensive green infrastructure typology: a systematic review of approaches, methods and typologies", **Urban Ecosystems**, v. 20, n. 1, p. 15–35, 9 fev. 2017. DOI: 10.1007/s11252-016-0578-5. .

BPBES - PLATAFORMA BRASILEIRA DE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS. **Serviços Ecosistêmicos e Contribuições da Natureza para as Pessoas.** [S.d.]. Disponível em: <https://www.bpb.es.net.br/servicos-ecossistemas/>.

BRONDÍZIO, E. S., SETTELE, J., DÍAZ, S., *et al.* **IPBES: Global assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Service.** . [S.l: s.n.], 2019.

C40 CITIES. **C40 Annual Report 2022.** . [S.l: s.n.], 2022.

CAR, SGR, ACC, *et al.* **Urban Green Up: D1.1: NBS Catalogue.** . [S.l: s.n.], 2018.

CASTELLAR, J. A. C., POPARTAN, L. A., PUEYO-ROS, J., *et al.* "Nature-based solutions in the urban context: terminology, classification and scoring for urban challenges and ecosystem services", **Science of The Total Environment**, v. 779, p. 146237, 20 jul. 2021. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.146237. . Acesso em: 13 jun. 2023.

CAVALLIERI, F., LOPES, G. **Índice de Desenvolvimento Social - IDS: comparando as realidades microurbanas da cidade do Rio de Janeiro.** . Rio de Janeiro, [s.n.], 2008.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. **Políticas e soluções para cidades sustentáveis: Soluções baseadas na Natureza (SbN). Resumo Executivo.** . Brasília, DF, [s.n.], 2022.

Climate Engine. [S.d.]. Disponível em: <https://www.un-spider.org/links-and-resources/gis-rs-software/climate-engine>.

Climate-Resilient Infrastructure Officer Handbook - Knowledge Module on Public-Private Partnerships for Climate-Resilient Infrastructure. . [S.l: s.n.], 2021.

COHEN-SHACHAM, E., WALTERS, G., JANZEN, C., *et al.* **Nature-based Solutions to address global societal challenges.** . Gland, Switzerland, [s.n.], 2016.

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **COP15: Nations adopt four goals, 23 targets for 2030 in landmark UN Biodiversity Agreement.** 2022. Disponível em: <https://www.cbd.int/article/cop15-cbd-press-release-final-19dec2022>.

CROESER, T., GARRARD, G., SHARMA, R., *et al.* "Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges", **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 65, 1 nov. 2021. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127337. .

EGGERMONT, H., BALIAN, E., AZEVEDO, J. "Nature-based Solutions: New Influence for Environmental Management and Research in Europe", **GAIA: Ecological Perspectives for Science and Society**, v. 24, n. 4, p. 243–248, 2015. .

ESRI. **Data classification methods.** [S.d.].

ESRI. **GIS Dictionary.** [S.d.]. Disponível em: <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/orthophotograph>.

EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION. **Towards an EU research and innovation policy agenda for nature-based solutions & re-naturing**

cities : final report of the Horizon 2020 expert group on 'Nature-based solutions and re-naturing cities' : (full version). [S.l.], Publications Office of the European Union, 2015.

EUROPEAN UNION. **What is Horizon 2020?** [S.d.]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/what-horizon-2020>.

FIREHOCK, K. **A Short History of the Term Green Infrastructure and Selected Literature.** . [S.l: s.n.], 2010.

FUNDAÇÃO RIO-ÁGUAS. **Rios de Janeiro - Um manual dos rios, canais e corpos hídricos da cidade do Rio de Janeiro.** . [S.l: s.n.], 2020.

GLOBAL DESIGNING CITIES INITIATIVE, NACTO. **Global Street Design Guide.** . [S.l: s.n.], 2016.

GOV.UK. **G7 Climate and Environment: Ministers' Communiqué.** maio 2021. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/publications/g7-climate-and-environment-ministers-meeting-may-2021-communique/g7-climate-and-environment-ministers-communique-london-21-may-2021>.

Guidance for using the IUCN Global Standard for Nature-based Solutions: first editions. [S.l.], IUCN, International Union for Conservation of Nature, 2020. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/node/49071>.

HERZOG, C. **Cidades para todos : (re) aprendendo a conviver com a natureza.** . [S.l: s.n.], 2013.

IBGE. **MDE - Modelo Digital de Elevação.** [S.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/modelos-digitais-de-superficie/modelos-digitais-de-superficie/10856-mde-modelo-digital-de-elevacao.html?=&t=o-que-e>.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Guia Metodológico para Implantação de Infraestrutura Verde.** . [S.l: s.n.], 2020.

Instruções Técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana. . Rio de Janeiro, [s.n.], 2019.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. . Geneva, [s.n.], 2014.

KUMAR, S., SINGH, K. K. "Rain garden infiltration rate modeling using gradient boosting machine and deep learning techniques", **Water Science and Technology**, v. 84, n. 9, p. 2366–2379, 1 nov. 2021. DOI: 10.2166/wst.2021.444. .

LIMA, A., CAVALHEIRO, F., NUCCI, J., *et al.* "Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlato". 1994. **Anais [...]** São Luís, [s.n.], 1994. p. 539–553.

LOURDES, K. T., HAMEL, P., GIBBINS, C. N., *et al.* "Planning for green infrastructure using multiple urban ecosystem service models and multicriteria analysis", **Landscape and Urban Planning**, v. 226, p. 104500, 1 out. 2022. DOI: 10.1016/J.LANDURBPLAN.2022.104500. . Acesso em: 28 abr. 2023.

MONTEIRO, R., C. FERREIRA, J., ANTUNES, P. "Green Infrastructure Planning Principles: An Integrated Literature Review", 2020. .

NASA, USGS. **LANDSAT 9**. [S.d.]. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2020-11/Landsat%209%20brochure%20final%20508%20compliant.pdf>.

NESSHÖVER, C., ASSMUTH, T., IRVINE, K. N., *et al.* "The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective", **Science of The Total Environment**, v. 579, p. 1215–1227, 1 fev. 2017. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2016.11.106. . Acesso em: 30 maio 2023.

NYC ENVIRONMENTAL PROTECTION. **NYC Green Infrastructure - On-site Design Manual**. . [S.l: s.n.], 2021.

PAKZAD, P., OSMOND, P. "Developing a Sustainability Indicator Set for Measuring Green Infrastructure Performance", **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 216, p. 68–79, 6 jan. 2016. DOI: 10.1016/J.SBSPRO.2015.12.009. . Acesso em: 18 maio 2023.

Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais da cidade do Rio de Janeiro - Bacia hidrográfica do Centro. . Rio de Janeiro, [s.n.], 2012.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro.** . [S.l: s.n.], 2021.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. "Decreto nº 35.745, de 06 de junho de 2012. Cria a Qualificação Qualiverde e estabelece critérios para sua obtenção." . , 2012. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a1/rj/r/rio-de-janeiro/decreto/2012/3574/35745/decreto-n-35745-2012-cria-a-qualificacao-qualiverde-e-estabelece-criterios-para-sua-obtencao?r=p>.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Qualificação QUALIVERDE.** 2013. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smu/exibeconteudo?id=4368435>.

REVI, A., D.E. SATTERTHWAITE, F. ARAGÓN-DURAND, *et al.*, "Urban areas. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, [s.n.], 2014. .

RIO DE JANEIRO. "Decreto Rio nº 51047 de 28 de junho de 2022". , 2022.

SANTIAGO FINK, H. "Human-Nature for Climate Action: Nature-Based Solutions for Urban Sustainability", **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 254, 15 mar. 2016. DOI: 10.3390/su8030254. .

SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO URBANO, INSTITUTO RIO PATRIMÔNIO DA HUMANIDADE, INSTITUTO PEREIRA PASSOS.

REVIVER CENTRO - Relatório Anual 2021/2022. . Rio de Janeiro, [s.n.], 2022.

SENEVIRATNE, S. I., X. ZHANG, M. ADNAN, *et al.* **2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** . Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, [s.n.], 2021.

SENTINEL HUB. **Digital Elevation Model (DEM) Data.** [S.d.]. Disponível em: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/dem/>.

STEWART, M., NINNI, I., CLAIRE, P. **Position Paper - No time to lose-make full use of nature-based solutions in the post-2012 climate change regime Recommendations for COP 15.** . Gland, Switzerland, [s.n.], 2009. Disponível em: www.iucn.org.

SUKHDEV, P., WITTMER, H., SCHRÖTER-SCHLAACK, C., *et al.* **A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade: Integrando a Economia da Natureza. Uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB.** . [S.l: s.n.], 2010.

"Summary for Policymakers: Global Warming of 1.5°C", **Global Warming of 1.5°C**, [S.l.], Cambridge University Press, 2018. p. 1–24. DOI: 10.1017/9781009157940.001. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>.

Thriving: Making Cities Green, Resilient, and Inclusive in a Changing Climate. . Washington, DC, [s.n.], 2023.

TZOULAS, K., KORPELA, K., VENN, S., *et al.* "Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review", **Landscape and Urban Planning**, v. 81, n. 3, p. 167–178, 20 jun. 2007. DOI: 10.1016/J.LANDURBPLAN.2007.02.001. . Acesso em: 4 jun. 2023.

UN ENVIRONMENT PROGRAMME. **Nature-Based Solutions for Climate**. 2019. Disponível em: <https://www.unep.org/nature-based-solutions-climate>.

UNITED NATIONS. **The Climate Crisis – A Race We Can Win**. [S.d.]. Disponível em: <https://www.un.org/en/un75/climate-crisis-race-we-can-win>.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT ASSEMBLY OF THE UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022 5/5. Nature-based solutions for supporting sustainable development**. . Nairóbi, [s.n.], 2022.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Nature-based Solutions: Opportunities and Challenges for Scaling Up**. . Nairobi, [s.n.], 2022.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). **International Conference on Climate Change and Cities**. . [S.l: s.n.], 2018.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). **World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization**. . [S.l: s.n.], 2020.

UNITED NATIONS HUMAN SETTLEMENTS PROGRAMME (UN-HABITAT). **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities**. . [S.l: s.n.], 2022.

WOODS-BALLARD, B., WILSON, S., UDALE-CLARKE, H., *et al.* **The SuDS Manual**. . London, [s.n.], 2015.

WORLD BANK. **A Catalogue of Nature-based Solutions for Urban Resilience**. . Washington, D.C., [s.n.], 2021. Disponível em: www.worldbank.org.