

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA AMBIENTAL**

**MAÍRA DARONCO TERUYA**

**A AMPLIAÇÃO DA OFERTA DE INFRAESTRUTURA VERDE COMO FATOR DE  
AUMENTO DA RESILIÊNCIA ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE  
SÃO PAULO**

SÃO PAULO

2023

**MAÍRA DARONCO TERUYA**

**A AMPLIAÇÃO DA OFERTA DE INFRAESTRUTURA VERDE COMO FATOR DE  
AUMENTO DA RESILIÊNCIA ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE  
SÃO PAULO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP) para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli.

Versão Corrigida  
(Versão original disponível na Biblioteca do Instituto de Energia e Ambiente e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO

2023

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

### FICHA CATALOGRÁFICA

Teruya, Máira Daronco.

A ampliação da oferta de infraestrutura verde como fator de aumento da resiliência às mudanças climáticas do Município de São Paulo. / Máira Daronco Teruya; orientador: Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli. – São Paulo, 2023.

95 f.: il; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Elaborado por Maria Penha da Silva Oliveira CRB-8/6961



## Universidade de São Paulo

### ATA DE DEFESA

Aluno: 106132 - 10833697 - 2 / Página 1 de 1

Ata de defesa de Dissertação do(a) Senhor(a) Maíra Daronco Teruya no Programa: Ciência Ambiental, do(a) Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Aos 04 dias do mês de abril de 2023, no(a) IEE/USP realizou-se a Defesa da Dissertação do(a) Senhor(a) Maíra Daronco Teruya, apresentada para a obtenção do título de Mestra intitulada:

"A ampliação da oferta de infraestrutura verde como fator de aumento da resiliência às mudanças climáticas do Município de São Paulo"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli	Presidente	EACH - USP	Não Votante
Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo	Titular	EP - USP	<u>APROVADA</u>
Wilson Cabral de Sousa Júnior	Titular	ITA - Externo	<u>APROVADA</u>
Pedro Henrique Campello Torres	Titular	PosDoc-IEA	<u>APROVADA</u>

Resultado Final: APROVADA

#### Parecer da Comissão Julgadora \*

Eu, Adriana Fatima Pelege , lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). São Paulo, aos 04 dias do mês de abril de 2023.

Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo

Wilson Cabral de Sousa Júnior

Pedro Henrique Campello Torres

Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli  
Presidente da Comissão Julgadora

\* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em 05/04/23 e, portanto, o(a) aluno(a) foz jus ao título de Mestra em Ciências obtido no Programa Ciência Ambiental.

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Prof. Dr. Carlos Henrique Grohmann de Carvalho  
Presidente da CPG  
Instituto de Energia e  
Ambiente da USP

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos e todas que contribuíram de alguma forma na construção desta dissertação, e que me incentivaram a fazer este mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Antonio de Almeida Sinisgalli, pela confiança, pelas reuniões e conversas, e pelas contribuições que iluminaram o caminho quando as coisas pareciam complicadas.

À Profa. Dra. Katia Canil (in memoriam) e ao Prof. Dr. José Alberto Quintanilha, que compuseram a banca da minha qualificação, e que deram opiniões e sugestões valiosas para o desenvolvimento do trabalho.

À Profa. Dra. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo, ao Prof. Dr. Wilson Cabral de Sousa Junior e ao Dr. Pedro Henrique Campello Torres, que fizeram parte da banca de defesa desta dissertação, e que contribuíram para uma melhor compreensão do potencial deste trabalho, para ampliar sua discussão e torná-lo mais consistente.

Às empresas em que trabalhei por permitirem que eu me dedicasse às disciplinas e demais atividades.

Aos colegas e professores do PROCAM que compartilharam seus conhecimentos, dificuldades, conquistas e toda experiência deste processo de pesquisa.

A toda a equipe da pós-graduação do IEE, que sempre me auxiliou quando precisei de informações e orientações sobre as questões burocráticas e administrativas.

Aos meus pais, por investirem na minha educação e sempre darem importância aos meus estudos. Ao meu marido Eduardo, pelo apoio técnico e emocional, ao me acompanhar nesta caminhada no meio de uma pandemia e ainda com a chegada do nosso primeiro filho. E ao meu filho Caíque, que nasceu logo após minha qualificação e me fez mudar a forma de lidar com as questões deste mestrado.

## RESUMO

Efeitos das mudanças climáticas que eram previstos para as próximas décadas já estão acontecendo e nas cidades estes efeitos se intensificam pelas alterações locais do clima. No município de São Paulo já é observado o aumento de chuvas intensas e a previsão é que tais eventos sejam ainda mais frequentes até o final de 2100. Para São Paulo, que se consolidou em grande parte sobre sua rede hídrica e que possui grande parte de sua superfície impermeabilizada, o prognóstico é de aumento de desastres. Neste contexto, este estudo analisou a resiliência do município de São Paulo a eventos de precipitação intensificados pelas mudanças climáticas, considerando a ampliação de infraestrutura verde em áreas com maior vulnerabilidade. Foi adotada uma abordagem por serviços ecossistêmicos, vinculada ao planejamento urbano, em que foram mapeados: problemas reais e potenciais de escoamento superficial (pressão ecológica), e oferta e demanda do serviço ecossistêmico de retenção do escoamento superficial. Nos setores censitários com pressão ecológica, foi realizada priorização da demanda do serviço em análise, enquanto a oferta foi mapeada através da ferramenta InVEST, no submodelo Mitigação de Risco de Inundação Urbana. Esta modelagem permitiu aferir a influência da implantação de infraestrutura verde na retenção do escoamento superficial. Foram simulados seis cenários diferentes, três deles considerando a manutenção do uso do solo atual, e os outros três considerando um aumento da oferta de infraestrutura verde. Para cada cenário de uso do solo, foram simuladas três chuvas: uma considerando a série histórica; e as outras duas considerando as mudanças climáticas – com duas possibilidades de concentração de gases do efeito estufa - RCP de 4.5 e 8.5. Os resultados demonstraram que se o uso do solo for mantido da forma que está e, portanto, não houver aumento da capacidade de retenção, haverá uma piora dos problemas de inundação. Se houver aumento da oferta de infraestrutura verde, haverá aumento da retenção da água de chuva e redução do escoamento superficial, entretanto, não é possível afirmar que isto será suficiente para evitar eventos de inundação. Assim, concluiu-se que a ampliação de oferta de infraestrutura verde e seus serviços ecossistêmicos aumenta a retenção das chuvas nas bacias, e que os usos a serem substituídos influenciam no tamanho deste aumento. Isto reduzirá os picos de vazão de escoamento superficial, que significa que o município absorverá melhor os impactos das chuvas, implicando em um aumento da resiliência do município neste aspecto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Infraestrutura verde; serviços ecossistêmicos; redução do escoamento superficial; planejamento urbano; Adaptação baseada em ecossistemas.

## ABSTRACT

Effects of climate change that were predicted for the coming decades are already happening, and in the cities, they are intensified by local climate changes. In the municipality of São Paulo, an increase in heavy rainfall has already been observed, and the forecast is that such events will be even more frequent by the end of 2100. In São Paulo, a city that was largely consolidated on its hydric network, with rectified and canalized rivers and streams and which large part of its surface sealed, the prognosis is for disasters increasing. In this context, this study proposes to analyze the resilience of São Paulo to precipitation events intensified by climate change, considering the expansion of green infrastructure in areas with more significant vulnerability in the municipality. An ecosystem service approach was adopted, linked to urban planning, in which the following were mapped: actual and potential runoff problems (ecological pressure), supply and demand of runoff retention ecosystem service. In the census tracts with ecological pressure, the mapping and prioritization of the demand for the studied service was carried out, which generated a map of priority areas in the sub-basins of the city. The service supply was mapped using the tool InVEST, in the Urban Flood Risk Mitigation submodel. This modeling allowed to measure the influence of green infrastructure implementation on runoff retention. Six scenarios were simulated, three considering the maintenance of the current land use and the other three considering an increase of green infrastructure provision. For each land use scenario, three rainfall events were simulated: one considering the historical series; and the other considering climate change - with two possibilities of greenhouse gas concentration - RCP of 4.5 and 8.5. The results showed that flooding problems will worsen if land use is maintained as it is and there is no increase in retention capacity, flooding problems will worsen. If green infrastructure provision increases, there will be an expansion in rainwater retention and a reduction in surface runoff. However, it is impossible to state that this will be sufficient to prevent flooding. Thus, the conclusion is that with increasing green infrastructure supply and its ecosystem services, the rainfall retention will grow, and the land uses to be replaced have influenced the size of this increase. These aspects will reduce runoff peaks, which means that the municipality will better absorb the impacts of rainfall, implying a more significant resilience in this regard.

**KEY WORDS:** Green Infrastructure; ecosystem services; superficial runoff retention; urban planning; ecosystem-based solutions.

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AbE - Adaptação baseadas em Ecossistemas  
AHP - *Analytic Hierarchy Process*  
APP – Área de Preservação Permanente  
CEAGESP - Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo  
CF 88 - Constituição Federal do Brasil de 1988  
CGE - Centro de Gerenciamento de Emergências  
FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo  
FUNAI - Fundação Nacional dos Povos Indígenas  
GCM – Modelos de Circulação Global  
GEE - Gases do Efeito Estufa  
HAND - *Height Above Nearest Drainage*  
IAG-USP - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo  
IDF - Intensidade, Duração e Frequência  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
InVEST - *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*  
IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*  
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
IUCN - *International Union for Conservation of Nature*  
IV - Infraestruturas Verdes  
MEA - *Millennium Ecosystem Assessment*  
PANPLAVEL - Plano Municipal de Áreas Protegidas e Áreas Verdes e Espaços Livres  
PDE - Plano Diretor Estratégico  
PDMAT 3 - Terceiro Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê  
PIB – Produto Interno Bruto  
PNA - Plano Nacional de Adaptação  
RCP - *Representative Concentration Pathways*  
SAPAVEL - Sistema de Áreas Protegidas, Áreas Verdes e Espaços Livre  
SbN - Soluções baseadas na Natureza  
SE - Serviços Ecossistêmicos  
SEHAB - Secretaria Municipal de Habitação  
SEMPLA - Secretaria Municipal de Planejamento  
SCS-CN - *Soil Conservation Service - Curve Number*  
SIG – Sistema de Informações Geográficas  
SMUL - Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano  
SVMA – Secretaria do Verde e Meio Ambiente  
TNC - *The Nature Conservancy*  
TPCL - Cadastro Territorial Predial de Conservação e Limpeza  
TR – Tempo de Retorno  
UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima  
UNISDR - Escritório das Nações Unidas para a Redução de Risco de Desastres  
ZEP - Zona Especial de Preservação  
ZEPAM - Zona Especial de Proteção Ambiental  
ZPDS - Zona de Preservação e Desenvolvimento Sustentável



## Sumário

<b>1. Introdução.....</b>	<b>11</b>
<b>2. Hipótese.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>15</b>
<b>4. Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>16</b>
4.1. Adaptação às Mudanças Climáticas .....	16
4.2. Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE).....	19
4.3. Serviços Ecossistêmicos .....	20
4.4. Serviços ecossistêmicos de regulação hídrica e infraestrutura verde.....	25
4.5. Drenagem Superficial Urbana .....	28
4.6. Implantação de Áreas Verdes e o Planejamento Urbano .....	32
<b>5. Metodologia .....</b>	<b>38</b>
5.1. Caracterização da pressão ecológica .....	41
5.2. Caracterização da demanda atual do SE .....	43
5.3. Caracterização da oferta .....	51
5.3.1. Escolha das sub-bacias para aplicação da modelagem.....	56
5.3.2. Definição dos Cenários para Modelagem.....	58
<b>6. Resultados e Discussão.....</b>	<b>63</b>
6.1. Caracterização da pressão ecológica .....	63
6.2. Caracterização da demanda pelo SE .....	68
6.3. Caracterização da Oferta dos SE .....	77
<b>7. Conclusões .....</b>	<b>85</b>
<b>8. Bibliografia .....</b>	<b>89</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 - Abordagens de adaptação e gestão de risco de desastres para clima em mudança .	18
Figura 2 - Estrutura em cascata para a representação das funções e serviços ecossistêmicos e seus benefícios ao ser humano .....	25
Figura 3 - Perfil esquemático dos processos de enchente e inundação .....	29
Figura 4 - Hidrograma Tipo .....	31
Figura 5 - Estrutura de trabalho proposta por Cortinovis & Geneletti (2019) .....	39
Figura 6 - Plano esquemático da pesquisa .....	41
Figura 7 - Fluxo para definição da demanda atual - Áreas prioritárias para implantação de Infraestrutura Verde .....	48
Figura 8 – Localização das duas sub-bacias escolhidas para a modelagem.....	57
Figura 9 – Mapas de uso do solo atual (acima) e futuro simulado (abaixo) da bacia do cór. Apereiba .....	60
Figura 10 – Mapas de uso do solo atual (acima) e futuro simulado (abaixo) da bacia cór. Apucás .....	61
Figura 11 - Mapa de localização das sub-bacias hidrográficas do município e principais cursos d'água.....	64
Figura 12 - Mapa de Localização das Subprefeituras .....	65
Figura 13 - Dados que serviram de base para classificação da pressão ecológica .....	66
Figura 14 - Mapa da Pressão Ecológica - Classificação por Setor Censitário .....	67
Figura 15 - Mapas parciais de vulnerabilidade social por setor censitário .....	69
Figura 16 - Mapa de prioridade para proteção da população socialmente vulnerável por setor censitário .....	70
Figura 17 - Mapa de prioridade para proteção das edificações existentes por setor censitário	72
Figura 18 - Mapa dos setores censitários prioritários para proteção contra inundações - Por Subprefeitura .....	75
Figura 19 - Mapa dos setores censitários prioritários para proteção contra inundações - Por Sub-bacia .....	76
Figura 20 - Resultados gráficos do InVEST para escoamento superficial –Bacia do Córrego Apereiba (s/ escala) .....	78
Figura 21 - Resultados gráficos do InVEST para retenção – Bacia do Córrego Apereiba (s/ escala).....	79
Figura 22 - Resultados gráficos do InVEST para escoamento superficial – Bacia do Córrego Apucás (s/ escala).....	80

Figura 23 - Resultados gráficos do InVEST para retenção – Bacia doCórrego Apucás (s/ escala)  
..... 81

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1- Escala de Saaty para análise AHP.....	46
Tabela 2- Exemplo de uma matriz para análise AHP com n critérios .....	46
Tabela 3 - Composição dos grupos das pessoas e bens impactados .....	47
Tabela 4 - Cálculo dos pesos, com base na matriz de Saaty, para critérios socioeconômicos.	49
Tabela 5 - Cálculo dos pesos, com base na matriz de Saaty, para as edificações susceptíveis a inundações.....	50
Tabela 6 - Cálculo dos pesos, com base na matriz de Saaty, para o cálculo da prioridade .....	51
Tabela 7 - Valores de CN em função do uso e cobertura do solo e do tipo hidrológico de solo, considerando condição de umidade média do solo .....	53
Tabela 8 - Parâmetros de entrada utilizados no modelo do InVEST .....	55
Tabela 9 – Cenários de precipitação e uso do solo utilizados para a modelagem.....	58
Tabela 10 – Resultados numéricos das simulações feitas no InVEST.....	77
Tabela 11 – Impacto do aumento da precipitação, com a manutenção do uso do solo atual...	82
Tabela 12 – Impacto do aumento da infraestrutura verde nos quantitativos de retenção e escoamento superficial .....	83
Tabela 13 - Áreas substituídas por infraestrutura verde em cada bacia.....	84

## 1. Introdução

As mudanças climáticas são talvez o maior desafio da humanidade nos próximos anos. Efeitos que eram previstos para as próximas décadas já estão acontecendo, o que torna a redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE) e a adaptação ao novo clima objetos de grandes esforços (JACOBI; TRANI, 2019). Em muitas megacidades os efeitos das mudanças climáticas se intensificam pelas alterações do clima local, especialmente com as "ilhas de calor", o aumento da impermeabilização e do escoamento superficial, da poluição urbana, da emissão de particulados e retirada da vegetação.

Todos estes fenômenos são observados na macrometrópole de São Paulo<sup>1</sup>, em que houve um rápido processo de urbanização, quase sempre sem um planejamento adequado. Nos últimos 80 anos, a média de temperatura nesta região subiu 3° C e a diferença entre as áreas urbanas e as com vegetação alcançou 7° C em dias ensolarados, além de um aumento de chuvas intensas (acima de 100 mm em 24 horas) de uma vez por década em 1940, para uma vez por ano em 2020 (NOBRE, 2020).

Nos últimos anos, as áreas urbanas passaram a ocupar um papel central no debate internacional sobre as mudanças climáticas. Estima-se que em 2050, 68% da população mundial residirá em cidades, sendo que em 1950 este percentual era de 30%. São Paulo é considerada uma megacidade, com sua região metropolitana sendo a mais populosa da América Latina, e a 4ª mais populosa do mundo (ONU, 2019).

Os impactos das mudanças climáticas nas áreas urbanas da América Latina podem agravar as pressões associadas ao desenvolvimento, e há risco que se produzam desastres vinculados a fenômenos hidrometeorológicos e climáticos, em nível local, regional e nacional. Assim, a gestão e prevenção do risco de desastres em cidades deve ser tratada como um processo social estreitamente vinculado ao desenvolvimento local em todas as suas dimensões. Por isso é importante apoiar e fortalecer as capacidades dos governos locais, de acordo com seus contextos e prioridades, no sentido de buscar medidas capazes de minimizar estes efeitos (RODRIGUEZ, 2013).

Segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), estudos apontam que haverá uma elevação média de 2 a 3° C na temperatura do ar na Região Metropolitana de

---

<sup>1</sup> Macrometrópole paulista é uma extensa região urbana que concentra 172 municípios situados a um raio de aproximadamente 200 km de São Paulo, considerado seu principal núcleo. Seu sistema urbano abrange as Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas, Baixada Santista, Vale do Paraíba e Litoral Norte e Sorocaba, e as Aglomerações Urbanas não metropolitanas de Jundiaí e Piracicaba, além da Microrregião de Bragantina (EMPLASA, 2014).

São Paulo entre 2070 e 2100, o que pode dobrar o número de dias com chuvas intensas (considerado no relatório como acima de 10 mm). Com isso, estima-se que haverá mais enchentes, inundações com alta energia de escoamento, enxurradas com intenso potencial de arraste, além de alagamentos, escorregamentos de massas em encostas e eventos pluviométricos mais severos. Além disso, estudos empíricos demonstraram que chuvas acima de 55 mm/dia na cidade de São Paulo têm se tornado mais frequentes desde 1960, devido aos efeitos da urbanização, assim como foi verificado que, entre o período de 1931 e 2010, houve tendência positiva de aumento para evolução dos extremos na precipitação diária, podendo ter relação com fatores urbanos, como ilhas de calor e poluição do ar.

Dados da Estação Meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), corroboram com tais informações. Localizada no Parque CienTec (Parque de Ciência e Tecnologia da Universidade de São Paulo, no Parque Estadual Fontes do Ipiranga, região sudeste da cidade de São Paulo), esta estação possui monitoramento das precipitações desde 1933. As chuvas diárias máximas absolutas em cada mês foram todas registradas após a década de 1960. As máximas de março (145,9mm) e dezembro (111,5) foram aferidas nos anos de 1966 e 1960, respectivamente. No ano de 1971, houve o registro da máxima de fevereiro (131,6mm), em 1987 da máxima de junho (78,8mm), em 1993 a de agosto (52,3mm), enquanto que a partir dos anos 2000 foram registradas as maiores precipitações diárias para os meses de janeiro (2000 - 117,1mm), abril (2017 - 90,8mm), maio (2005 - 96,3 mm), julho (2019 - 79,2mm), setembro (2009 - 85 mm), outubro (2001 - 103,6mm) e novembro (2004 - 100,6mm), ou seja, parece haver um aumento das chuvas intensas, ainda que pontuais, com o passar das décadas, especialmente nas duas últimas (IAG-USP, 2017).

Além disto, nesta mesma estação meteorológica, durante todo seu tempo de operação, houve o registro de 15 eventos de chuva diária acima de 100 mm, sendo que apenas um ocorreu antes de 1960, mais precisamente no ano de 1948, e sete ocorreram após os anos 2000, o que também indica um aumento na frequência das precipitações intensas nas últimas décadas, afetando diretamente a área urbana de São Paulo (IAG-USP, 2017).

A consolidação urbana no município de São Paulo ocorreu em grande parte sobre sua rede hídrica. Seus rios e córregos foram retificados, canalizados e/ou tamponados, e houve a impermeabilização das superfícies pelas construções e obras de infraestrutura. Assim, a cidade perdeu sua capacidade de reter as águas das chuvas, e as lançam rapidamente e com grande volume para um sistema de drenagem não dimensionado para tal desempenho, que muitas vezes se encontra assoreado ou cheio de resíduos urbanos (SANTOS, 2017).

Para ilustrar este problema, de acordo com os dados disponibilizados no Portal GEOSAMPA, da Prefeitura da Cidade de São Paulo, foram 390 ocorrências de alagamentos e inundações distribuídos por todo o município<sup>2</sup> em 2022, 252 em 2021, 633 em 2020 e 756 em 2019 .

O município de São Paulo é pobre em áreas verdes urbanas, e sua distribuição não é equitativa, resultando em bairros inteiros sem quase nenhuma árvore no viário, o que influencia diretamente na impermeabilização do solo. Quando chuvas intensas atingem a cidade, a drenagem pela rede de águas pluviais e seus bueiros no meio-fio das calçadas não são suficientes para o seu escoamento. A água então é conduzida pelas ruas do sistema viário e fatalmente desce no sentido dos vales, onde se encontram boa parte das vias de tráfego estruturais.

Neste sentido, o desafio consiste, portanto, em remediar a construção inadequada do palco urbano, em reter ao máximo a água das chuvas, em regular os cursos d'água, em reforçar o sistema de informação prévia à população, assim como retirar ou minimizar o número de habitantes em áreas de risco, sujeitas a inundações e deslizamentos (WILHEIM, 2011).

Considerando a previsão de que os eventos climáticos extremos serão mais intensos e mais frequentes, é necessário que as cidades se adaptem frente a esse novo contexto, uma vez que serão muito afetadas, principalmente pela concentração populacional urbana e as diversas formas de ocupação do solo. Estes fatores podem favorecer ou reduzir o risco aos desastres. Conforme PBM (2016), como a maioria das atividades humanas atualmente está concentrada nas cidades, os centros urbanos têm um papel fundamental no enfrentamento às mudanças climáticas.

Assim, a melhor defesa contra a natureza é justamente a própria natureza. Infelizmente, com o crescimento das cidades, as defesas naturais têm sido destruídas, superfícies permeáveis são transformadas em impermeáveis, com concreto, pedras e ferro. Quando se fala sobre municípios mais verdes, geralmente se refere a reduzir impactos das mudanças climáticas através da redução das emissões de GEE, mas isto pode ser feito através da transformação do comportamento das cidades para serem mais parecidas com paisagens naturais (BLOOMBERG; POPE, 2017).

Medidas de Adaptação baseadas em Ecossistemas (AbE) são formas alternativas de lidar com a questão das inundações e de ampliar a resiliência das cidades frente a este aspecto. Soluções tradicionais de drenagem urbana podem acabar contribuindo para o agravamento dos

---

<sup>2</sup> Disponível em <[http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx)>. Acessado em 18/03/2020.

problemas, ao transferir alagamentos de montante para jusante, além de aumentar a velocidade de escoamento das águas (PBMC, 2016). Neste contexto, como uma opção à infraestrutura cinza (que são as soluções tradicionais da engenharia civil) há a infraestrutura verde, que inclui componentes que podem ser naturais ou projetados pelo ser humano, e que fornecem diversos serviços ecossistêmicos (SE), inclusive os que auxiliam na mitigação do escoamento superficial, com infiltração, interceptação pela vegetação e retenção da água.

Para a implantação de infraestrutura verde é necessário analisar onde está a demanda dos SE por ela oferecidos, e onde já há oferta suficiente destes serviços. Como ferramenta capaz de organizar este balanço entre oferta e demanda está o planejamento urbano (CORTINOVIS; GENELETTI, 2019).

No caso de São Paulo, há o Plano Diretor Estratégico (PDE), que é obrigatório para municípios com mais de vinte mil habitantes. Sua última revisão ocorreu em 2014, através da Lei Municipal 16.050/2014, e previu a elaboração de planos e programas que conectam as temáticas de drenagem de águas pluviais, áreas verdes e recuperação de fundos de vale.

Neste contexto, é de suma importância que os gestores públicos municipais tenham claras quais são as áreas mais vulneráveis e potencialmente mais impactadas pelas precipitações intensas, escolhidas a partir de critérios claros e objetivos. Além disso, tendo em vista que o conceito de serviços ecossistêmicos é algo relativamente novo na administração pública, em que a aplicação de infraestrutura cinza ainda é predominante, torna-se essencial demonstrar que modificações na oferta de infraestrutura verde e, conseqüentemente, nos serviços ecossistêmicos por ela oferecidos, podem auxiliar no combate aos problemas enfrentados pelas cidades, inclusive os gerados pelo excesso de escoamento superficial.

Assim, coloca-se o problema deste estudo: como a resiliência do município de São Paulo pode ser impactada frente aos eventos de chuvas intensas e num contexto de mudanças climáticas, através da expansão da infraestrutura verde e conseqüente aumento da oferta do serviço ecossistêmico de mitigação do escoamento superficial?

Vale mencionar que houve um convênio entre IEE/PROCAM e Secretaria Municipal de Verde e Meio Ambiente que pode propiciar que os dados e propostas gerados por esta pesquisa possam ser aproveitados nas políticas públicas do município, ou pelo menos sirvam como início de uma discussão técnica.

A presente pesquisa está englobada no Projeto Temático FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) "Governança Ambiental da Macrometrópole Paulista face à variabilidade climática" (Processo FAPESP nº 15/03804-9).



## **2. Hipótese**

Este estudo parte da hipótese de que num contexto de mudanças climáticas, em que há necessidade de medidas de adaptação das cidades aos impactos decorrentes do novo cenário do clima, o aumento da resiliência do município de São Paulo, com a expansão da infraestrutura verde, pode proporcionar a ampliação da oferta do serviço ecossistêmico de mitigação do escoamento superficial.

## **3. Objetivos**

### **a) Objetivo Geral**

Analisar a resiliência do município de São Paulo a eventos de precipitação intensificados pelas mudanças climáticas, com base na ampliação de infraestrutura verde e em áreas com maior vulnerabilidade no município de São Paulo.

### **b) Objetivos Específicos**

- Em uma escala municipal, mapear as áreas com maior vulnerabilidade a inundação, considerados como locais com maior demanda por serviços ecossistêmicos de mitigação do escoamento superficial;
- Levantar e propor cenários futuros de aumento da oferta do serviço ecossistêmico de escoamento superficial e de precipitações intensas;
- Avaliar os impactos da mitigação do escoamento superficial causada pelo aumento de infraestrutura verde, através da modelagem hidrológica da situação atual e de cenários futuros, em escala de microbacia hidrográfica.

## 4. Revisão Bibliográfica

### 4.1. Adaptação às Mudanças Climáticas

É inequívoco que as atividades humanas aqueceram a atmosfera, o oceano e a terra. Evidências de mudanças observadas em eventos extremos, como ondas de calor, precipitação intensa, secas e ciclones tropicais, atribuídas à influência humana, tem se fortalecido a cada relatório do IPCC. O aumento previsto na frequência e intensidade de precipitações intensas aumentará as inundações locais geradas por chuvas (IPCC, 2022).

Assim, as mudanças climáticas ampliarão os riscos existentes e criarão novos, de forma a afetar sistemas humanos e naturais. O risco de ocorrência de um desastre, de acordo com o Escritório das Nações Unidas para a Redução de Risco de Desastres (UNISDR, 2012), é uma função cujas variáveis são: a ameaça ou perigo (um ciclone, uma chuva torrencial, uma seca prolongada, uma queimada etc.); a exposição de pessoas e bens a esta ameaça; as condições de vulnerabilidade destas populações e bens expostos; e a resiliência ou capacidade de enfrentamento (IPCC, 2014).

Segundo IPCC (2012) as características e severidade dos impactos provenientes dos extremos climáticos<sup>3</sup> dependem também da exposição e vulnerabilidade. As definições destes conceitos utilizadas no presente estudo foram obtidas do mesmo relatório, e colocadas a seguir:

a) exposição é a presença de pessoas, meios de subsistência, serviços e recursos ambientais, infraestrutura ou bens econômicos, sociais ou culturais em locais que possam ser adversamente afetados;

b) vulnerabilidade é a propensão ou predisposição para ser afetado negativamente; e

c) resiliência é a capacidade de um sistema e seus componentes de antecipar, absorver, acomodar ou se recuperar dos efeitos de um evento perigoso de forma oportuna e eficiente, inclusive através da garantia da preservação, restauração ou melhoria das suas estruturas e funções básicas essenciais. Possui relação estreita com a capacidade adaptativa, que é a combinação de forças, atributos e recursos disponíveis a um indivíduo, comunidade, sociedade ou organizações, que podem ser utilizados para sua adaptação às mudanças climáticas.

Os impactos causados pelos fenômenos climáticos podem ser diretos, através da perda de vidas humanas e prejuízos materiais, ou indiretos, através, por exemplo, do agravamento de

---

<sup>3</sup> O IPCC (2012) define extremos climáticos como condição meteorológica extrema ou evento climático extremo.

doenças de transmissão vetorial e veiculação hídrica por conta de enchentes ou secas, que são fenômenos que afetam a qualidade e acesso à água (PBMC, 2014). Os desastres naturais também ocasionam deslocamentos populacionais temporários ou permanentes, estresse, depressão e problemas sociais, econômicos e psicológicos (IPEA, 2016).

A vulnerabilidade para o gerenciamento do risco de desastres inclui aspectos sociais para a constituição do risco, deixando este de ser algo estritamente físico. Assim, diferentes níveis de vulnerabilidade levarão a diferentes níveis de danos e perdas, mesmo sob condições similares de exposição aos extremos climáticos, o que torna abordagens integradas e multidimensionais importantes para seu entendimento. Atualmente, portanto, para a construção de uma sociedade mais resiliente e para elaborar estratégias de adaptação, é necessário que o foco das análises deixe de ser os perigos naturais e extremos climáticos, e passe a ser a identificação e avaliação da vulnerabilidade (IPCC, 2012).

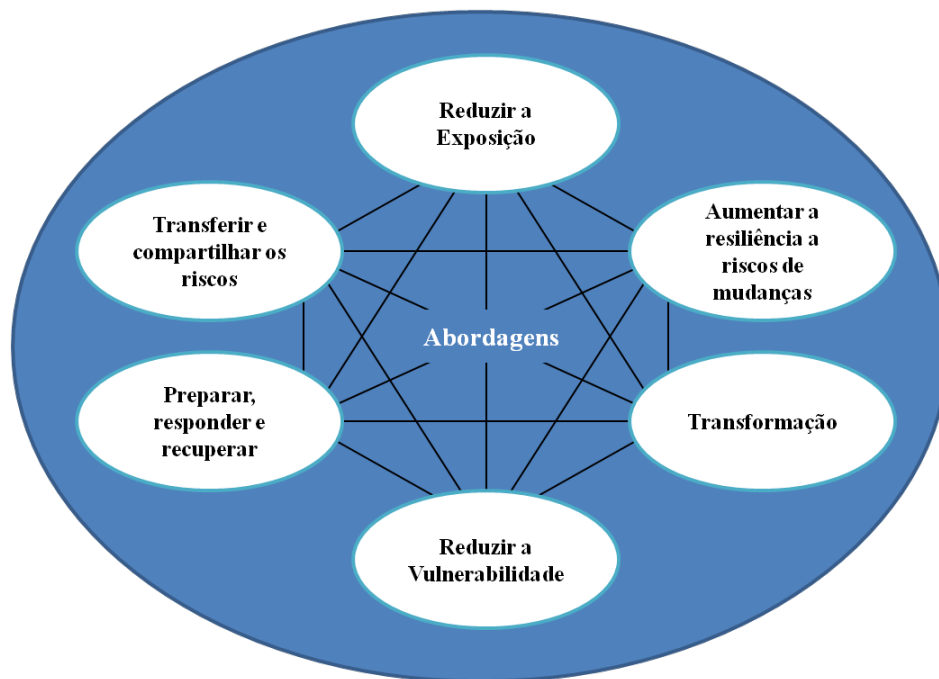
Em outras palavras, a vulnerabilidade e a exposição devem ser analisadas em relação a três dimensões: ambiental, social e econômica. A ambiental está relacionada a questões geográficas e locais, e envolve o tipo da moradia, as atividades produtivas, as formas de uso da terra e a degradação do meio ambiente. Por exemplo, a ocupação de encostas íngremes, planícies fluviais, ou outras áreas mais expostas aos efeitos de eventos climáticos extremos. A social inclui demografia, migração e deslocamento, grupos sociais, educação, saúde e bem-estar, cultura, instituições e aspectos governamentais. Por exemplo, o crescimento populacional aumenta o número de pessoas expostas aos distúrbios e pode criar tensões sociais, enquanto a proporção de idosos e crianças influencia na vulnerabilidade a doenças. Por fim, a dimensão econômica relaciona-se com a susceptibilidade de um sistema econômico a danos e perdas provenientes de um desastre, além da inabilidade de indivíduos, comunidades, negócios e governos afetados de absorver estes danos.

O gerenciamento de desastres naturais envolve pelo menos três etapas: *i)* antes do desastre, com ações de prevenção (evita que o desastre ocorra), de mitigação (quando não é possível evitar a ocorrência do desastre), de preparação (estruturação da resposta ao desastre) e de alerta (notificação do perigo iminente); *ii)* durante o desastre, com a execução das atividades de resposta ao desastre, como evacuação, busca e resgate, assistência e alívio à população afetada; e *iii)* depois do desastre, através da reabilitação (restabelecimento dos serviços vitais e indispensáveis e dos sistemas de abastecimento da comunidade afetada) e da reconstrução, com a reparação da infraestrutura danificada e restauração do sistema de produção, da economia, buscando alcançar o nível de desenvolvimento prévio ao desastre (IG, 2012). Tais ações aumentam a resiliência das populações envolvidas e sua capacidade adaptativa e possuem

relação com a possibilidade de inovação, aprendizado e auto-organização de um sistema (PBMC, 2014).

Assim, a gestão do risco de desastres e a adaptação às mudanças climáticas reduzem a exposição e vulnerabilidade, e aumentam a resiliência aos impactos adversos dos extremos climáticos. Vale ressaltar que a exposição e a vulnerabilidade são características dinâmicas e variam temporal e espacialmente. A Figura 1 a seguir ilustra os tipos de abordagem propostas pelo IPCC para reduzir e gerenciar os riscos de desastres para um clima em modificação (IPCC, 2012). Observa-se que todas estão interligadas e, portanto, devem ser realizadas de forma integrada.

**Figura 1 - Abordagens de adaptação e gestão de risco de desastres para clima em mudança**



Fonte: Adaptado de IPCC (2012).

O aumento da resiliência foi a principal abordagem escolhida neste estudo. Segundo UNISDR (2012), manter o equilíbrio entre as ações humanas e os ecossistemas é uma boa estratégia para a resiliência e sustentabilidade, tendo em vista que os ecossistemas servem como barreiras de proteção natural contra as ameaças. Assim, há uma tendência nas ações de mitigação e adaptação climática de reintegrar o ambiente natural ao espaço urbano, adotando Soluções baseadas na Natureza (SbN) e serviços ecossistêmicos (SE) urbanos, o que inclui as infraestruturas verde e azul, que são alternativas às obras civis tradicionalmente escolhidas para

lidar com problemas que surgem da degradação dos ecossistemas, chamadas de infraestrutura cinza (JACOBI; TRANI, 2019).

## **4.2. Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE)**

O estudo dos ecossistemas e seu potencial de proteção do ambiente e das populações gerou uma abordagem alternativa chamada de Adaptação baseada em Ecossistemas - AbE, que se encontra sob o guarda-chuva das Soluções baseadas na Natureza (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2015). A introdução do conceito de AbE na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), principal ferramenta de resposta global ao desafio representado pela mudança climática, foi efetivada em 2008, estimulada por organizações não governamentais internacionais, como a IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) e a TNC (*The Nature Conservancy*) (GIZ, 2015) (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE., 2016a).

Esta estratégia utiliza a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos para auxiliar as pessoas a se adaptarem aos impactos adversos das mudanças climáticas, e reduzir os riscos de desastres, através de um gerenciamento sustentável e conservação e restauração dos ecossistemas. Isto visa manter ou aumentar a resiliência e reduzir a vulnerabilidade das pessoas e sistemas ecológicos. A AbE se propõe a integrar aspectos da adaptação às mudanças climáticas, gestão do risco de desastres, gestão dos ecossistemas e planejamento do desenvolvimento socioeconômico (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, 2019).

O Plano Nacional de Adaptação (2016) adotou como um de seus princípios a promoção e integração da metodologia de Adaptação baseada em Ecossistemas de maneira transversal em suas estratégias setoriais, visando o uso dos serviços ecossistêmicos como uma alternativa e/ou complemento de outras medidas de adaptação. Uma de suas metas prevê uma estratégia de medidas de AbE em áreas de risco a eventos extremos e outros impactos da mudança do clima, com apoio a políticas existentes do governo para: recuperação e conservação de ecossistemas e vegetação nativa; identificação, promoção e conservação de serviços ecossistêmicos; e fomento ao aumento da resiliência à mudança do clima nas cidades e regiões metropolitanas, em especial aos impactos das inundações e deslizamentos. Para uma adaptação efetiva, a estratégia deve integrar a gestão do risco à mudança climática nos planos e políticas públicas setoriais e temáticas. E os governos locais estão na linha de frente quando se trata de antecipar, gerenciar e reduzir o risco de desastres (UNISDR, 2012).

### 4.3. Serviços Ecológicos

O conceito de serviços ecossistêmicos (SE) parte da década de 1970 e de um novo paradigma econômico, com principal contribuição de Nicholas Georgescu-Roegen, que integrou as leis da física termodinâmica com as teorias econômicas, e deu início ao que é hoje chamada de Economia Ecológica (FAUCHEUX; NÖEL, 1995). A economia neoclássica, que é a corrente principal (*mainstream*) do pensamento econômico no Brasil e no mundo, baseia-se em uma visão de que o processo econômico é um fenômeno mecânico, independente do local e do tempo histórico em que ele ocorre. Em termos físicos, a Mecânica é indiferente ao lugar e ao tempo cronológico em que o fenômeno estudado acontece (CECHIN, 2008).

A discussão proposta por Georgescu-Roegen foi de substituir este pensamento da física mecânica pela termodinâmica, através da incorporação nos processos econômicos da primeira e segunda lei da termodinâmica, isto é, Lei da Conservação da Energia e Lei da Entropia, respectivamente. A 1ª Lei determina que energia nunca é criada ou destruída, somente transformada. Assim, num processo termodinâmico em um sistema fechado, a energia total é conservada, de modo que a variação de energia interna é a diferença entre o calor trocado com o meio e o trabalho realizado. Já a 2ª Lei enuncia que toda transformação de energia produz calor, que é considerada uma forma degradada de energia (por não ter grande utilidade para os seres humanos), ou seja, o calor é uma forma de energia não utilizável plenamente. Este processo é irreversível, pois não é possível transformar o calor na energia que lhe deu origem, o que contraria o paradigma da mecânica na economia, em que o tempo cronológico não é relevante. No bojo dessa irreversibilidade, a segunda lei da termodinâmica ainda determina que a entropia de um sistema isolado nunca diminui. Há, portanto, uma transformação qualitativa da energia, de uma forma aproveitável (baixa entropia) para uma menos aproveitável (alta entropia). Num contexto econômico, as atividades extraem do meio ambiente energia e matéria-prima de baixa entropia, e a transforma em matéria e energia de alta entropia, ou seja, altamente desorganizada (FAUCHEUX; NÖEL, 1995).

Para os economistas neoclássicos, de forma simplificada, os processos econômicos operam em um sistema fechado onde circulam somente bens e valores monetários, e no qual não há a entrada de recursos e energia e nem a saída de resíduos e efluentes, de maneira a funcionar como um moto-perpétuo, ou seja, uma máquina capaz de produzir trabalho ininterruptamente utilizando a mesma energia, o que contradiz a 2ª Lei da Termodinâmica (CECHIN; VEIGA, 2010) (CAVALCANTI, 2010).

Nesta visão não existem limites biofísicos para o crescimento da economia, já que ela é tida como um sistema isolado da natureza, e que os processos econômicos seriam independentes da entrada (insumos) e saída de energia e materiais (rejeitos). Além disso, o *mainstream* acredita que o capital natural pode ser substituído pelo capital gerado pelo homem, que por sua vez depende exclusivamente do desenvolvimento tecnológico. Portanto, o único obstáculo ao aumento econômico é a tecnologia (DALY; FARLEY, 2004).

A tentativa destes economistas convencionais de incorporar as questões ambientais no sistema econômico deu origem à Economia Ambiental, baseada nos pressupostos da Economia Neoclássica, e que busca internalizar os custos de meio ambiente, já que a natureza é tida como externalidade. Assim, a preocupação desta teoria se restringe em encontrar os preços corretos para a melhor alocação possível dos recursos, sem considerar a capacidade de suporte dos sistemas naturais. A internalização dos impactos negativos é realizada pelo agente causador a partir do pagamento pelos danos provocados. Nesta lógica, o poluidor pagará para poluir até o ponto em que tal valor seja equivalente ao custo para evitar a poluição. Verifica-se, portanto, que a economia ambiental busca dar preços à natureza, dentro de uma lógica de mercado, com tendência a considerar questões ambientais como amenidades (CAVALCANTI, 2010).

Estes preceitos estão relacionados com a chamada Sustentabilidade Fraca, que estabelece, justamente, a substituição do capital natural pelo capital feito pelos humanos. Assim, o capital econômico produzido atualmente poderia compensar as perdas ou reduções de capital natural para as gerações futuras. Além disso, os recursos naturais são vistos essencialmente como fator de produção e não são considerados em suas funções ecossistêmicas, como suporte das ações sociais e econômicas (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012).

Como contraponto, há a Sustentabilidade Forte, que conversa com a Economia Ecológica, e determina que os estoques físicos de capital natural devem ser mantidos, pois estes não podem ser consumidos ou destruídos sem comprometer os interesses das gerações futuras, visto que a tecnologia não produzirá substitutos para todas as funções desenvolvidas pelos ecossistemas (CAVALCANTI, 2010). A natureza possui características que a distingue de outras formas de capital, pois nem sempre pode ser restaurada e reposta, e devido à sua complexidade e ao fato de que cada elemento é parte de um sistema maior, a degradação de suas condições pode ocasionar a perda de capacidade desses ecossistemas de prover serviços. Assim, ações humanas ocorrem nos limites do Planeta (ou biosfera), o que inclui a vida social e as atividades econômicas, tornando o crescimento econômico limitado pelas questões socioecológicas (BURSZTYN; BURSZTYN, 2012).

Neste contexto, a economia é um sistema aberto dentro da biosfera, e a matéria e energia de baixa entropia entram no sistema econômico, passam pelo "transumo" (ou *throughput* em inglês, algo como a soma de transformação e consumo) e retornam como matéria e energia degradada, ou resíduos e efluentes (CAVALCANTI, 2010). Como o planeta é um sistema fechado, no ritmo de crescimento ilimitado promovido atualmente pelos sistemas econômicos no mundo, a entropia só aumentará, o que pode originar um colapso na sociedade ou no sistema de suporte à vida neste planeta, situação que parece já estar ocorrendo (FARLEY; VOINOV, 2016).

A Economia Ecológica entende que a atribuição dos recursos pode ser feita pelo mercado (como acreditam os neoclássicos), mas não somente por ele. O bem-estar não está vinculado somente ao consumo de bens e serviços produzidos pelo homem, mas também aos oferecidos pelos ecossistemas, para os quais muitas vezes não são atribuídos valores de mercado de forma que possam ser incorporados no modelo de mercado da economia neoclássica, como, por exemplo, o ar respirado, a purificação deste ar pelos vegetais, a polinização feita pelas abelhas, o prazer de olhar um monumento ecológico. Assim, originou-se o termo *serviço ecossistêmico*, como forma de integrar as funções prestadas pelos ecossistemas na economia, partindo da premissa de que as atividades socioeconômicas têm suporte nos ecossistemas (DALY; FARLEY, 2004).

A definição e classificação de serviços ecossistêmicos possui algumas pequenas variações de autor para autor (TEEB, 2010) (COSTANZA, 2008). Neste trabalho serão adotadas a definição e a classificação propostas pelo *Millennium Ecosystem Assessment* – MEA (MEA, 2005), que foi a primeira avaliação global das consequências das mudanças dos ecossistemas no bem-estar humano, com intuito de estabelecer uma base científica para ações necessárias para alcançar a conservação e sustentabilidade do uso dos ecossistemas. O trabalho começou em 2001 e envolveu mais de 1.300 especialistas internacionais, culminando na publicação de diversos relatórios em 2005, que descrevem as condições e tendências dos maiores ecossistemas do planeta e dos serviços por eles prestados (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2010).

O relatório do MEA (2005) considera como serviços ecossistêmicos os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, com o entendimento de que os ecossistemas vão desde florestas naturais até ecossistemas manejados e modificados intensivamente pelos seres humanos, como áreas urbanas e de agricultura. Esta conceituação parte do princípio de que os seres humanos são partes integrantes dos ecossistemas, portanto, há uma interação dinâmica entre pessoas e os outros componentes, e suas ações impactam no funcionamento dos



ecossistemas, e tais mudanças ocasionam alterações no bem-estar das populações. Percebe-se, portanto, os pressupostos da Economia Ecológica na base conceitual dos SE, isto é, as questões ambientais não são externalidades, mas sim participantes do sistema.

Quanto à classificação dos serviços ecossistêmicos, MEA (2005) adotou quatro classes:

i) Serviços de provisão, que consistem nos produtos obtidos dos ecossistemas, como comida, água, fibras, combustíveis etc.;

ii) Serviços de regulação, que são os obtidos da regulação dos processos ecossistêmicos, como regulação da qualidade do ar, regulação climática, regulação hídrica, regulação da erosão, purificação da água, polinização, regulação de pragas etc.;

iii) Serviços culturais, que consistem nos benefícios não materiais que as pessoas obtêm dos ecossistemas, através de elevação espiritual, desenvolvimento cognitivo, recreação etc.;

iv) Serviços de suporte, que são os serviços necessários para a produção de todos os outros SE. Seu impacto sobre as pessoas geralmente é indireto (diferentemente dos outros três tipos) e ocorre ao longo do tempo. Os exemplos são: formação do solo; fotossíntese; ciclagem de nutrientes; ciclagem de água etc.

Os serviços de suporte são parte de um complexo mecanismo e processos que geram outros serviços, como colocado acima, o que é considerado ambíguo por alguns autores, em função da dificuldade de diferenciar os mecanismos pelos quais os serviços são gerados (chamados de funções ecossistêmicas por parte deles) dos serviços propriamente ditos. Assim, existem autores, como Wallace (2007) e Boyd & Banzhaf (2007), que entendem que um serviço ecossistêmico é algo consumido ou vivenciado pelo ser humano. Para o primeiro, a classificação do MEA confunde os fins com os meios, ou seja, mistura o benefício com o mecanismo que o possibilita e os mecanismos que permitem chegar a este item de consumo ou vivência são processos e estruturas e não outros serviços.

Em contraponto, Costanza (2008) coloca que os benefícios podem ser percebidos ou não pelas pessoas e que, no geral, as informações que a população possui sobre serviços ecossistêmicos são muito limitadas, portanto, é de se esperar que muitos SE passem despercebidos pela grande maioria das pessoas, especialmente quando estes serviços são públicos, não excludentes e que nunca entrarão no mercado privado. Para ele, os serviços ecossistêmicos são, por definição, meios para o objetivo final do bem-estar humano sustentável, e abre uma discussão sobre serviços intermediários e finais. Os intermediários são os de suporte, conforme as tipologias do *Millennium Ecosystem Assessment*, mas ainda assim são considerados serviços. Ressalta-se que Costanza et al. (1997) já havia definido que bens e

serviços ecossistêmicos representam os benefícios que a população humana obtém, direta ou indiretamente, das funções ecossistêmicas.

Para De Groot et al (2002), os bens e serviços ecossistêmicos são resultados de funções ecossistêmicas, que por sua vez envolvem uma tradução de estruturas e processos ecológicos de grande complexidade. Eles definem que função ecossistêmica é a capacidade dos processos e componentes naturais de prover bens e serviços para satisfazer as necessidades humanas, direta ou indiretamente. Daly e Farley (2004) vão em uma direção semelhante, dividindo os ecossistemas em estrutura e função, em que a primeira tem a ver com os indivíduos e comunidades de plantas e de animais que compõem o ecossistema, e a segunda se refere aos fenômenos que emergem da dinâmica entre os componentes da estrutura. Para eles, um serviço ecossistêmico é uma função ecossistêmica com valor para os seres humanos.

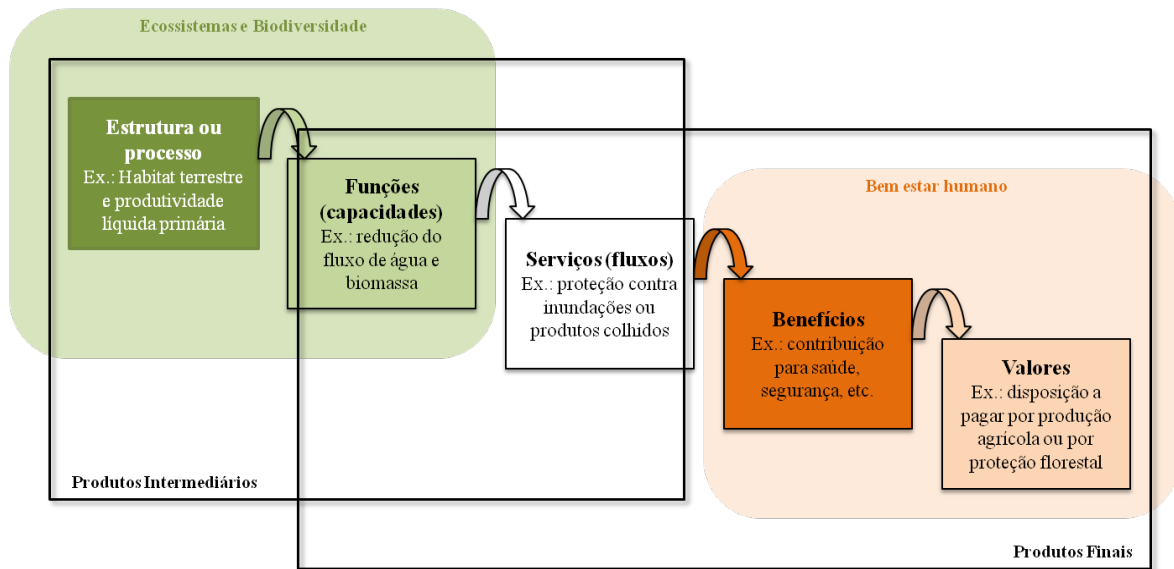
O relatório de TEEB (2010) vai ao encontro da linha de pensamento destes autores, e especifica que as funções ecossistêmicas consistem em um conjunto de interações entre estruturas e processos naturais (que podem ser físicos, químicos ou biológicos) que sustentam a capacidade de um ecossistema de prover bens e serviços, ou seja, são os fenômenos ecológicos que existem independentemente da existência humana. Os serviços são as contribuições diretas e indiretas dos ecossistemas para o bem-estar humano. Os ganhos de bem-estar gerados pelos serviços ecossistêmicos são os benefícios. Para os autores, apesar da distinção entre funções, serviços e benefícios serem importantes, especialmente para valoração econômica, não é possível elaborar uma classificação totalmente consistente para todos os usos, especialmente para os serviços de regulação. Portanto, cada estudo deve sempre ser transparente em relação ao que considera como serviços ecossistêmicos e sua mensuração. No presente estudo, pontua-se novamente que a definição e classificação desta pesquisa serão baseadas em MEA (2005).

Uma das maneiras de estruturar o paradigma dos serviços ecossistêmicos foi desenvolvida na forma de cascata, como apresentado na Figura 2 a seguir, através da distinção entre estruturas ecológicas, processos criados por organismos vivos e benefícios eventualmente obtidos pelas pessoas. Esta representação é bastante simplificada, entretanto, sua importância se dá por mostrar a conexão entre os dois elos desta "cadeia produtiva", ou seja, os ecossistemas e a biodiversidade no lado produtivo e o bem-estar humano no lado do consumo. Fica evidenciado que nesta estrutura o conceito de serviço ecossistêmico só tem sentido se houver uma necessidade humana, portanto, um beneficiário deste serviço (HAINES-YOUNG; POTSCHIN, 2010).

A Figura 2 coloca as estruturas e funções dos ecossistemas como predecessores dos SE, portanto, evidencia a importância da manutenção do funcionamento destes ecossistemas e na

manutenção da biodiversidade, principalmente para os tomadores de decisão. Ilustram-se ainda os serviços ecossistêmicos como conexão entre os o meio natural e o bem-estar humano.

**Figura 2 - Estrutura em cascata para a representação das funções e serviços ecossistêmicos e seus benefícios ao ser humano**



Fonte: Adaptado de TEEB (2010), Haines-Young e Potschin (2010) e Potschin e Haines-Young (2011).

#### 4.4. Serviços ecossistêmicos de regulação hídrica e infraestrutura verde

Na presente pesquisa serão analisados os serviços ecossistêmicos de regulação relacionados à água. A partir de listas de classificação dos SE de MEA (2005), BPBES (2020), Costanza et al. (1997), De Groot et al (2002), TEEB (2010) e Haines-Young e Potschin (2018), os serviços regulatórios hídricos podem ser enquadrados em: regulação dos fluxos hídricos; regulação e prevenção dos perigos naturais (ou de perturbações ou de distúrbios, a depender do autor); e purificação da água (qualidade da água).

Ao conservar ou propiciar o desenvolvimento de um ecossistema, todos estes serviços descritos acima podem ser prestados às populações atingidas (beneficiárias), pois não são excludentes, e ocorrem ao mesmo tempo em muitas situações. Por exemplo, ao implantar uma área verde na cidade, esta irá colaborar com a regulação do ciclo hidrológico, já que permitirá a infiltração de água e recarga do aquífero, com a regulação dos fluxos, pois ao reter água e reduzir a velocidade do escoamento superficial, diminuirá o fluxo superficial da água e sua

força de arraste, que mitiga processos erosivos, enxurradas e inundações, que indiretamente podem impactar na qualidade da água à jusante.

Como as mudanças climáticas ocasionarão o aumento da frequência e intensidade das precipitações na Região Metropolitana de São Paulo e nas cidades em geral, como visto no Item 4.1, os SE a serem focados nesta pesquisa serão os relacionados com a regulação e prevenção dos perigos naturais, ou seja, dos eventos extremos. Assim, prevê-se a adoção de medidas de adaptação baseadas em ecossistemas que possuem relação com esta ameaça prevista (chuvas intensas), a fim de aumentar a resiliência e evitar desastres ou, pelo menos, reduzir seus impactos adversos. Salienta-se que dentre os trabalhos supracitados de classificação dos SE, parte deles consideram o combate a inundações como regulação hídrica e parte como prevenção/regulação de perigos naturais, distúrbios ou perturbações.

As características dos ecossistemas que contribuem para a prevenção/regulação de perigos naturais ocasionados por chuvas intensas são relacionadas com conceitos estudados na hidrologia. Assim, a probabilidade de ocorrência de inundação, enchente e alagamento é analisada sob aspectos naturais e antrópicos. Os naturais são: formas de relevo; características da rede de drenagem da bacia hidrográfica; intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas; características do solo e o teor de umidade; e presença de cobertura vegetal. E os antrópicos são: uso e ocupação irregular nas planícies e margens dos cursos d'água; disposição irregular de resíduos nas proximidades dos cursos d'água; alterações nas características da bacia hidrográfica e nos cursos d'água, como impermeabilização do solo e retificação e canalização de rios; processos erosivos e consequente assoreamento dos cursos d'água (IG, 2012).

A descrição do ciclo hidrológico pode ser iniciada a partir da formação das nuvens na atmosfera, que se tornam precipitações, cuja forma mais comum é a chuva. Portanto, neste estudo, precipitações serão sempre chuvas. No trajeto em direção à superfície terrestre a precipitação já sofre evaporação, a ponto de que em algumas regiões a precipitação é totalmente vaporizada. Caindo sobre um solo com cobertura vegetal, parte do volume precipitado sofre *interceptação* pelas folhas e caules, de onde evapora. Uma porção deste volume pode ainda ser reprecipitado para o solo, em função de ventos ou quando a capacidade de armazenamento de água nas superfícies vegetais é excedida. A água que atinge o solo segue diversos caminhos, começando pela *infiltração*, que ocorre quando a superfície é porosa, até um ponto que tal solo atinge sua saturação. Com a saturação no nível mais superficial, à medida que o solo vai sendo saturado a maiores profundidades, a infiltração decresce até uma taxa residual, e a partir daí o excesso de água não infiltrada vira *escoamento superficial*. A umidade do solo realimentada pela água infiltrada é aproveitada parcialmente pelas raízes dos vegetais, que devolvem quase

toda água para atmosfera através da *transpiração*, na forma de vapor. O que não é aproveitado pelas plantas percola até o lençol freático, que normalmente contribui para o escoamento de base dos rios (TUCCI, 2004).

Em outras palavras, interceptação corresponde à retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo e funciona como um reservatório parcial das chuvas. Na vegetação a interceptação depende de características da precipitação (intensidade, volume e chuva antecedente), outras condições climáticas, tipo e densidade da vegetação e do período do ano. Já a infiltração varia com a natureza do solo (condutividade hidráulica), estado da superfície (represamento) e quantidade inicial de água e ar presentes no solo. Por fim, o escoamento superficial é a quantidade da água que chega num ponto do solo, através da chuva ou do escoamento de montante, que é maior que a capacidade de infiltração daquele local (TUCCI, 2004).

As águas das chuvas escoam por gravidade para as cotas mais baixas das bacias hidrográficas, vencendo o atrito com a superfície do solo. A presença de vegetação na superfície do solo contribui para criar obstáculos ao escoamento, reduzindo a velocidade da água e favorecendo a infiltração. Além disso, a vegetação também reduz a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão (TUCCI, 2004). Verifica-se, portanto, a contribuição sobre a redução da velocidade e da vazão do escoamento superficial que a vegetação proporciona.

Neste contexto, inserem-se as infraestruturas verdes (IV), que proporcionam uma gama de serviços que contribuem para uma adaptação às mudanças climáticas baseada em ecossistemas. Conforme o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP, 2014), a infraestrutura verde refere-se a ecossistemas naturais ou seminaturais que proporcionam serviços de utilidade hídrica que complementam, aumentam ou substituem aqueles fornecidos pela infraestrutura cinza. Para mitigar eventos extremos em ambiente urbano, tais como inundações, podem ser aplicadas soluções de IV tais como telhados verdes, espaços verdes (para retenção e infiltração), captação de água e pavimentos permeáveis, sendo estes dois últimos elementos construídos (infraestrutura cinza, portanto), que interagem com recursos naturais e buscam aumentar os SE prestados.

A Diretoria Geral de Meio Ambiente da Comissão Europeia (2016) (2016) define infraestrutura verde de uma forma menos utilitarista, e considera que IV é uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais e seminaturais com outros recursos desenhados e gerenciados para entregar uma grande gama de serviços ecossistêmicos. Também é colocado que IV é uma ferramenta que oferece benefícios ecológicos, econômicos e sociais através de

soluções naturais, de forma a evitar dependência da infraestrutura cinza, que são mais caras de construir, enquanto a natureza pode fornecer soluções alternativas mais baratas e duráveis.

As soluções de infraestrutura cinza são atrativas, pois elas oferecem impactos imediatos e de alta visibilidade. Entretanto, sua construção, operação, manutenção e substituição costuma ser cara. Além disso, infraestruturas convencionais de controle de inundações podem desconectar os rios de suas planícies de inundação e reduzir serviços ecossistêmicos, tais como controle de enchentes, recarga de aquíferos, controle de poluição e regulação do suprimento de água (UNEP, 2014).

#### **4.5.Drenagem Superficial Urbana**

A forma de ocupação urbana no município de São Paulo tem influência direta nos riscos associados às mudanças climáticas, como a urbanização de fundos de vales, bairros com alta densidade demográfica com escassas áreas verdes e alta impermeabilização do solo. Para absorver e transferir para jusante os escoamentos excedentes gerados por esta impermeabilização, as cidades canalizaram seus cursos d'água e muitas vezes colocaram ruas sobre eles. Assim, quando ocorrem precipitações intensas, a resposta vem em forma de inundações bruscas ou enxurradas, durante as quais o sistema viário torna-se o caminho preferencial de escoamento com elevada energia (MMA, 2016b).

Enchentes ou cheias são definidas pela elevação do nível da água no canal de drenagem devido ao aumento temporário da vazão, sem extravasar. Já inundação é o fenômeno do transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo as planícies de inundação (ou área de várzea ou leito maior), ou seja, a vazão atinge uma magnitude que supera a capacidade de descarga da calha do curso d'água e extravasa para áreas marginais, habitualmente não ocupadas pelas águas. Enquanto isso, o alagamento tem relação com uma deficiência no sistema de drenagem urbano, e é o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área que pode ter ou não relação com processos de natureza fluvial. Por fim, enxurrada é o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. É comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre cursos d'água em terrenos com alta declividade natural (IPT, 2007). A Figura 3 ilustra a diferença entre enchente e inundação.

**Figura 3 - Perfil esquemático dos processos de enchente e inundação**



Fonte: Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios (IPT, 2007).

Neste contexto, vales encaixados (em V) possuem vertentes com altas declividades, ocasionando velocidades maiores das águas de origem pluvial, com maior potencial de inundações bruscas e mais destrutivas. Vales mais abertos, que possuem planícies mais extensas e terraços fluviais indicam inundações mais lentas e graduais (IG, 2012). Rios com talvegues de baixa declividade procuram leitos maiores durante as chuvas. Todavia, no contexto urbano, suas áreas marginais encontram-se ocupadas pela cidade, como é o caso, por exemplo, do rio Tietê. A declividade média de seu talvegue é de 15 cm/km (0,015%) e antes da urbanização de suas margens, ele exibia uma vasta planície de inundação. Como hoje o rio está contido em um canal estreito, há grande risco de extravasamento. Os principais afluentes do rio Tietê possuem talvegues de elevada declividade, ou seja, estes tributários descarregam suas cheias rapidamente no Tietê, que é mais lento e não suporta grandes cheias. Assim, uma cheia leva de dois a três dias para passar pelo rio Tietê em São Paulo, enquanto seus afluentes levam poucas horas para lançar suas cheias nele (JUNIOR, 2018).

Os sistemas de drenagem urbana são dinâmicos e devem quase que obrigatoriamente, passar por ampliações ou renovações ao longo do tempo, em função da intensa dinâmica de mudança do uso do solo das cidades, de forma que em poucos anos as obras de drenagem (infraestrutura cinza) podem se tornar obsoletas. Esta situação só pode ser alterada com políticas públicas de controle de urbanização, cujo principal instrumento é o plano diretor, e que considere de forma técnica e apropriada a drenagem urbana (JUNIOR, 2018).

As medidas de controle de inundações podem ser classificadas em estruturais, em que se modifica o rio, e não-estruturais, em que se convive com o rio. As estruturais são divididas em intensivas e extensivas. As primeiras são as obras hidráulicas que atuam diretamente no curso d'água, e podem ser separadas em três grupos: *i*) que aceleram o escoamento e diminuem a lâmina d'água, como as retificações e canalizações, que podem transferir a enchente de uma área para a outra, mas podem ser benéficas se utilizadas em conjunto com outras ações; *ii*) as

que retardam o escoamento, como barragens, diques, reservatórios; *iii*) e as que desviam o escoamento, como canais e desvios. As extensivas são aquelas que agem na área toda da bacia, buscando modificar as relações entre precipitação e vazão, através do aumento da infiltração e percolação, como a implantação de pavimentos permeáveis, valas de infiltração, armazenamento em telhados e alteração da cobertura vegetal, a qual diminui e retarda os picos de vazão e ainda controla a erosão. As medidas não-estruturais são por natureza extensivas, portanto, atuam em toda a bacia e podem ter caráter institucional, administrativa ou financeira. São exemplos o zoneamento de áreas de inundação, sistema de alerta, programas de educação e sensibilização e seguros (TUCCI, 2006).

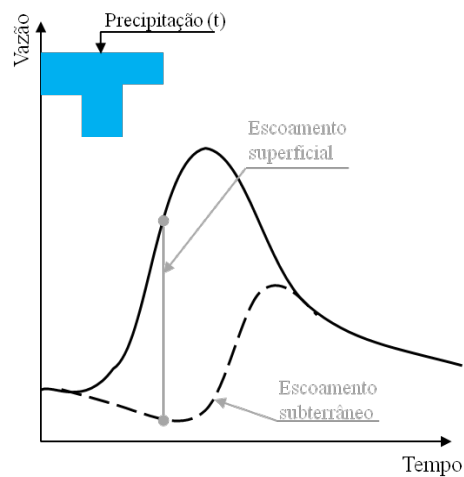
O zoneamento baseia-se em mapear as áreas de inundação considerando uma cheia de 100 anos ou a maior já registrada. Depois são definidas áreas de acordo com o risco e com a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e a jusante. Este zoneamento deve ser incorporado ao plano diretor da cidade e regulamentado por legislação municipal ou código de obras. Entretanto, para áreas já consolidadas em zonas de risco de inundação, outra possibilidade é implantar um sistema de alerta, que pode mitigar eventuais desastres, tanto em relação a perda de vidas, como impactos financeiros. A solução ideal deve ser verificada caso a caso, e há possibilidades de combinação entre medidas do tipo estrutural e não-estrutural. De qualquer forma, a regulamentação do uso do solo urbano é a primeira atitude que deve ser adotada em um processo de controle das enchentes (TUCCI, 2006).

Em relação à escala de atuação, são quatro os níveis de controle de drenagem, o maior composto por grandes barramentos e reservatórios, que são utilizados para usos múltiplos, como abastecimento urbano, recreação, transporte e controle de cheias. Depois há a macrodrenagem, que abrange grandes bacias (principais cursos d'água), a microdrenagem, que comporta pequenas bacias (age sobre hidrograma de um ou mais loteamentos) e o controle na fonte ou distribuído, que é o nível de lote, praças e passeios (TUCCI, 2006).

O hidrograma é um gráfico que representa a vazão de um curso d'água com o tempo. A distribuição da vazão no tempo resulta da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico. Um típico hidrograma está ilustrado na Figura 4, no qual se observa que há um pequeno intervalo de tempo entre o início da precipitação e o começo da elevação do escoamento superficial. Este tempo deve-se às perdas iniciais por interceptação vegetal e depressões no solo, além da demora da própria bacia devido ao tempo de deslocamento da água da chuva nela mesma. Na elevação da vazão até seu pico, o processo predominante é o de escoamento superficial. Na descida do gráfico, quando a vazão está reduzindo, o escoamento subterrâneo passa a abastecer a vazão superficial (TUCCI, 2004).



**Figura 4 - Hidrograma Tipo**



Fonte: Adaptado de TUCCI (2004).

O escoamento de uma bacia costuma ser estudado em duas partes: geração e propagação do escoamento. Durante as chuvas intensas, a maior parte da vazão que passa por um rio é a água da própria chuva que não consegue penetrar no solo e escoar imediatamente. Assim que se formam os picos de vazão e as cheias. Existem dois processos reconhecidos na formação do escoamento superficial: precipitação de intensidade superior à capacidade de infiltração e precipitação sobre solos saturados. Em hidrologia, a parcela da chuva que se transforma em escoamento superficial é chamada de chuva efetiva (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015).

Os métodos para estimativa das vazões máximas nos cursos d'água a partir das chuvas dependem do tamanho da bacia. Como as bacias existentes em áreas urbanas, no geral, não possuem dados observados de vazão e nível d'água e, portanto, não é possível estimar as vazões máximas utilizando métodos estatísticos baseados em séries observadas de vazão, são necessários cálculos baseados nas características locais das chuvas intensas. Tais precipitações podem ser chamadas de chuvas de projeto, que é um evento idealizado de chuva, associado a um tempo de retorno, ou uma probabilidade de que este evento venha a ser igualado ou superado em um ano qualquer. Assim, o tempo de retorno da vazão máxima gerada por uma chuva de projeto é igual ao tempo de retorno da própria chuva de projeto. Tais chuvas são normalmente obtidas a partir das curvas que relacionam a intensidade, duração e frequência das chuvas, as chamadas curvas IDF, as quais são obtidas a partir de uma análise estatística das precipitações mais intensas observadas em pluviógrafos, ou a partir de dados de pluviômetros desagregados para duração menor que um dia (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015).

A duração da chuva de projeto deve ser, no mínimo, igual ao tempo de concentração<sup>4</sup> da bacia, porém, a intensidade das precipitações diminui com o aumento da duração das chuvas. Assim, admite-se que as chuvas que causam situações mais críticas em uma bacia têm duração igual, ou muito semelhante, ao tempo de concentração da bacia. A intensidade média das chuvas de projeto é obtida através das curvas IDF, para um determinado tempo de retorno (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015).

Como as chuvas de projeto determinadas a partir de IDF consideram o histórico de chuvas, ou seja, os dados passados, em um contexto de mudanças climáticas, a melhor ferramenta para projetar cenários prováveis de alterações climáticas para o futuro são os modelos matemáticos do sistema climático global, que levam em conta o comportamento dos compartimentos climáticos, vegetação e de suas interações. Estes modelos permitem que se simulem prováveis cenários da evolução do clima para outras tantas simulações de emissões dos gases de efeito estufa (GEE). Entretanto, tais modelos possuem duas grandes fontes de incertezas: não se sabe a trajetória futura das emissões de GEE e, sendo modelos matemáticos, representam imperfeitamente a natureza, o que incorre em diferenças substanciais entre diferentes modelos climáticos, dado um mesmo cenário de concentrações de GEE. Assim, devem ser utilizados vários cenários de emissão de GEE em diferentes modelos climáticos (NOBRE, 2005).

#### **4.6. Implantação de Áreas Verdes e o Planejamento Urbano**

As mudanças do clima implicam na acentuação dos riscos de desastres em áreas de urbanização desordenada, ocupadas pela parcela mais vulnerável da população, historicamente não atendida de forma plena pelas políticas públicas de acesso à moradia. Um dos maiores desafios ambientais das cidades brasileiras é de equacionar este problema das ocupações em áreas de risco ambiental. Para tanto, é necessária a observância dos zoneamentos ambientais existentes, como forma de resgatar e incorporar a visão ecossistêmica no tecido urbano (IPEA, 2016).

O Plano Nacional de Adaptação - PNA (2016) previu diretrizes setoriais específicas para as cidades, com o objetivo de desenvolver a resiliência e capacidade de adaptação dos

---

<sup>4</sup> O tempo de concentração é definido como o tempo de viagem de uma gota de água da chuva que atinge a região mais remota da bacia, desde o início de seu escoamento, até o momento em que atinge o exutório (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015).

municípios, e por considerar que políticas de desenvolvimento urbano podem estar entre os meios mais efetivos de adaptação às mudanças climáticas. Deficiências no planejamento da cidade, em habitação, infraestrutura e oferta de serviços, são fatores que contribuem de forma significativa ao aumento de risco de desastres.

O planejamento urbano pode ser definido como um campo de atuação que auxilia aos líderes das cidades na transformação de uma visão de desenvolvimento sustentável em realidade, utilizando o espaço como recurso chave para o desenvolvimento e engajamento das diversas partes interessadas neste processo. Um bom planejamento formula objetivos de médio e longo prazo, que concilia uma visão coletiva com uma organização racional dos recursos. Neste contexto, o planejamento e design urbano tem um papel crítico nas respostas às mudanças climáticas. Ações que simultaneamente reduzem a emissão de gases do efeito estufa e constroem resiliência aos riscos climáticos devem ser priorizadas em todas as escalas (metrópole, cidade, distrito, bairro, quadra e edificação) (RAVEN et al., 2018).

Em termos de aparato institucional, com a promulgação da Constituição Federal do Brasil de 1988 (CF 88), os municípios passaram a ser considerados entes federativos, juntamente com a União, Estados e Distrito Federal, com autonomia para organizar e gerir uma série de serviços públicos que passaram para sua competência (IPEA, 2016). Em seu Art. 182, a CF 88 determina sobre "a política de desenvolvimento urbano, executada pelo poder público municipal", com objetivo de ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes, e obriga que as cidades com mais de vinte mil habitantes tenham um plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.

Os planos diretores e as leis de uso do solo decorrentes deles são instrumentos importantes para efetivar a proteção ambiental no âmbito municipal, de forma articulada e coordenada com as demais disciplinas, pois ele integra todo o espaço municipal e seus diversos componentes (JUNIOR et al., 1999). O Estatuto da Cidade, promulgado pela Lei Federal nº10.257 de 10 de julho de 2001, foi o marco jurídico que transformou o plano diretor municipal no instrumento central da política urbana, reafirmando a função social da propriedade urbana, que abarca elementos como equidade e justa distribuição dos benefícios da urbanização em prol de uma cidade feita para todos.

O crescimento das cidades brasileiras, que de forma geral, ocorreu rápido e desordenado, evidenciou o problema da modificação nos fluxos de energia e de materiais, como os alimentos que entram e o lixo que se acumula, a água tratada e aduzida que chega e sai como esgoto. Assim, os planos diretores devem ser coerentes e sinérgicos com os planos de gestão

ambiental, pois o disciplinamento do uso do solo também abrange itens de proteção ambiental. Eles são instrumentos que permitem a articulação e coordenação de diversas matérias de interesse local, especialmente porque não se limitam às áreas urbanas, mas consideram todo o espaço municipal e seus diversos componentes, de ordem ecológica, econômica, social, sanitário etc. (JUNIOR et al., 1999).

No Brasil, destacam-se as metrópoles, como é o caso da Grande São Paulo, que concentram cerca de 50% da população do país e produzem a maior parte da riqueza, em termos de produto interno bruto. As regiões metropolitanas passaram a concentrar não apenas pessoas, mas também investimentos, tornando-se espaços de riqueza e pobreza, onde a segregação socioespacial se revela de maneira mais intensa (IPEA, 2016).

A legislação, portanto, é uma medida não-estrutural de gestão das águas, pois permite determinar aspectos do uso e ocupação do solo, tais como: impedir ocupações de áreas de risco; planejar locais para implantação ou conservação de áreas verdes e com vegetação, que propicia o aumento da infiltração e o aumento do tempo de retenção; intervir em áreas urbanas consolidadas, através de redução de densidade habitacional e aumento de permeabilidade em nível de lote (DAEE, 2014).

No município de São Paulo, o último plano diretor estratégico (PDE) foi promulgado através da Lei Municipal nº 16.050 de 31 de julho de 2014. Um dos elementos estruturantes do ordenamento territorial considerado no PDE foi o da rede hídrica e ambiental, composta pelo conjunto de cursos d'água, cabeceiras de drenagem, parques urbanos, lineares e naturais, áreas verdes significativas, áreas protegidas e espaços livres. Com base nestas classificações do território, o PDE determinou que o zoneamento municipal (que foi definido em lei posterior) deveria incluir, pelo menos, três tipos de zonas que possuem um enfoque na proteção ambiental, quais sejam: ZPDS - Zona de Preservação e Desenvolvimento Sustentável, destinadas a conservação da paisagem e a implantação de atividades compatíveis com a manutenção dos recursos ambientais; ZEPAM - Zona Especial de Proteção Ambiental, destinada à proteção de áreas que prestam serviços ambientais; e ZEP - Zona Especial de Preservação, destinada à preservação de Unidade de Conservação de Proteção Integral (conforme definição da Lei Federal nº 9985/2009). O Mapa 5 e Quadro 7 do Plano Diretor ainda definiram as áreas consideradas como prioritárias para implantação de novos parques no município.

O capítulo II do PDE se refere à política ambiental do município, com caráter transversal e que tem entre seus principais objetivos reduzir as enchentes, minimizar a impermeabilização do solo e conservar e recuperar o meio ambiente e a paisagem. Já seu capítulo IV fala sobre a Política e Sistema de Saneamento Ambiental, que inclui os sistemas de abastecimento de água,

esgotamento sanitário, drenagem e gestão integrada de resíduos sólidos. No Sistema de Drenagem previsto no PDE, seus componentes são definidos como: fundos de vale, linhas e canais de drenagem, planícies aluviais e talwegues; elementos da microdrenagem, como vias, sarjetas, meio-fio, bocas de lobo, galerias de água pluvial, entre outros; elementos da macrodrenagem, como canais naturais e artificiais, galerias e reservatórios de retenção ou contenção; sistema de áreas protegidas, áreas verdes e espaços livres, em especial os parques lineares. Os objetivos da política de drenagem incluem a redução dos riscos de inundação e alagamento, recuperação ambiental de cursos d'água e dos fundos de vale e, como ação prioritária, a elaboração de um Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais.

Tal plano foi publicado pela Secretaria de Infraestrutura e Obras da Prefeitura Municipal de São Paulo (SIURB) em conjunto com a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da USP (FCTH, 2022) e é constituído por um conjunto de documentos que apresenta as ações de planejamento e gestão e os programas de ações, envolvendo medidas estruturais e não-estruturais de controle do escoamento superficial. O município foi dividido em 50 áreas de drenagem, o que resultará em 50 cadernos de Bacia Hidrográfica. Até o dezembro/2022, foram publicados ou estão em elaboração 22 cadernos. Foi feita uma hierarquização das obras pelo Plano, com base nos seguintes critérios: danos evitados; social; ambiental; econômico; construtivo; vulnerabilidade técnica; repercussão; e impacto na infraestrutura urbana. Ao todo e até o momento, foram selecionadas e hierarquizadas 56 obras para elaboração de um Plano de Ação.

Os Cadernos de Drenagem de Bacia Hidrográfica apresentam o diagnóstico das bacias e as medidas para o controle de cheias, num horizonte de planejamento de 40 anos. Neles são adotadas medidas utilizadas tradicionalmente, como reforço de galeria, canalizações, reservatórios de armazenamento e polderes, assim como medidas mais atuais e não estruturais, como parques lineares com ou sem reservação, abertura de canais, revitalização de cursos d'água, infraestrutura verde, convivência com as cheias e sistema de alerta a inundação. Estas alternativas propõem a redução dos volumes de escoamento superficial com alternativas que se integram harmoniosamente com a paisagem.

No Capítulo VI do PDE é descrito o Sistema de Áreas Protegidas, Áreas Verdes e Espaços Livre (SAPAVEL), que possui, dentre outros objetivos, o de conservar as áreas prestadoras de serviços ambientais e, entre suas diretrizes, ampliar a oferta de áreas verdes públicas, implantar ações de recuperação ambiental e ampliar áreas permeáveis e vegetadas nas áreas de fundo de vale e em cabeceiras de drenagem e planícies aluviais, em consonância com o Programa de Recuperação de Fundos de Vale, além de conservar áreas permeáveis, com

vegetação significativa em imóveis urbanos e proteção da paisagem. São componentes do SAPAVEL:

- Áreas públicas: a) Unidades de Conservação de Proteção Integral que compõem o Sistema Nacional de Unidades de Conservação; b) parques urbanos; c) parques lineares da rede hídrica; d) outras categorias de parques a serem definidas pelo Executivo; e) espaços livres e áreas verdes de logradouros públicos, incluindo praças, vias, vielas, ciclovias, escadarias; f) espaços livres e áreas verdes de instituições públicas e serviços públicos de educação, saúde, cultura, lazer, abastecimento, saneamento, transporte, comunicação e segurança; g) espaços livres e áreas verdes originárias de parcelamento do solo; h) Áreas de Preservação Permanente inseridas em imóveis de propriedade pública; i) cemitérios públicos;

- Áreas Privadas: a) Unidades de Conservação de Uso Sustentável; b) Áreas de Preservação Permanente inseridas em imóveis privados; c) espaços livres e áreas verdes de instituições e serviços privados de educação, saúde, cultura, lazer, abastecimento, saneamento, transporte, comunicação, segurança e cemitérios; d) espaços livres e áreas verdes com vegetação nativa em estágio avançado em imóveis residenciais e não residenciais isolados; e) espaços livres e áreas verdes com vegetação nativa em estágio avançado em imóveis residenciais e não residenciais em condomínios; f) clubes de campo; g) clubes esportivos sociais; h) cemitérios particulares; i) sítios, chácaras e propriedades agrícolas;

- Terras Indígenas: a) terras indígenas homologadas; e b) terras indígenas delimitadas pela FUNAI em análise no Ministério da Justiça.

Já o Programa de Recuperação de Fundos de Vale é composto por intervenções urbanas nos fundos de vales, articulando ações de saneamento, drenagem, implantação de parques lineares e urbanização de favelas. Entre seus objetivos, encontra-se o de ampliar progressiva e continuamente as áreas verdes permeáveis ao longo dos fundos de vales, criando progressivamente parques lineares e minimizando os fatores causadores de enchentes. Dentro deste programa são previstos os parques lineares, que consistem em intervenções urbanísticas associadas aos cursos d'água, principalmente aqueles inseridos em área urbanizada.

No Plano Diretor foram previstos quatro planos relacionadas com a temática ambiental, quais sejam: Plano Municipal de Áreas Protegidas e Áreas Verdes e Espaços Livres (PLANPLAVEL); Plano Municipal de Conservação e Recuperação de Áreas Prestadoras de

Serviços Ambientais (PMSA); Plano Municipal de Arborização Urbana (PMAU); e Plano Municipal da Mata Atlântica (PMMA)<sup>5</sup>.

O PLANPLAVEL (SVMA, 2022) possui maior relação com o presente estudo, pois tem entre seus objetivos o de ampliar e qualificar as áreas verdes, protegidas e espaços livres, o de maximizar os SE e o de minimizar os impactos da urbanização, portanto, na mesma linha desta dissertação.

Este Plano adotou a abordagem ecossistêmica, com foco em ações pontuais ou compartilhadas que ampliem os benefícios diretos ou indiretos que os ecossistemas fornecem à sociedade, por meio da manutenção, recuperação ou melhoria dos serviços ambientais de provisão, suporte, regulação e culturais, partindo do reconhecimento e da valoração desses benefícios e buscando sua expansão no território da cidade.

Além disso, foram propostos diversos planos de ação que conversam com a ampliação de infraestrutura verde, tais como: Ação nº 01 de “Elaborar programa de conservação e recuperação de APP de cursos d’água e nascentes de titularidade pública”; Ação 14 de “Criar programa de incentivos para preservação e ampliação da cobertura vegetal em imóveis particulares”; Ação 20 de “Criar programa de permeabilização das calçadas e vias carroçáveis”; Ação 21 de “Promover a implantação de medidas alternativas de retenção e infiltração das águas pluviais e de controle da poluição difusa”; Ação 37 de “Delimitar os parques e definir ou revisar suas categorias (incluindo os propostos pelo PLANPAVEL) e estabelecer quais parques deverão ser incluídos na revisão do PDE”; e a Ação 53 de “Elaborar termo de referência para contratação de obras de recuperação de margens dos cursos d’água em parques municipais, com SbN, como piloto, para adoção em outras situações similares”.

Estes são exemplos de que existem políticas públicas traçadas no caminho para a ampliação da infraestrutura verde na cidade e, conseqüentemente, da oferta de seus serviços ecossistêmicos, dentre eles o de redução do escoamento superficial. Portanto, há respaldo legal e institucional para a proposta de implantação de infraestrutura verde, e verifica-se que desde o PDE já era previsto o fortalecimento da gestão ambiental do município e sua interação com as políticas de saneamento ambiental e de drenagem urbana.

Fora do âmbito do município existe a chamada Lei das Piscininhas, que é a lei estadual do Estado de São Paulo nº 12.526/2017, que obriga a construção e implantação de um sistema de captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, terraços e pavimentos

---

<sup>5</sup> Todos os planos já foram elaborados pela Prefeitura Municipal de São Paulo. O PMAU foi publicado em 2020, o PMMA em novembro de 2017, o PMSA aprovado em 2019 e o PANPLAVEL em maio de 2022.

descobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m<sup>2</sup>. Possui objetivo de reduzir a velocidade de escoamento de águas pluviais; controlar a ocorrência de inundações, amortecer e minimizar os problemas das vazões de cheias e, conseqüentemente, a extensão dos prejuízos; e contribuir para a redução do consumo e o uso adequado da água potável tratada.

## 5. Metodologia

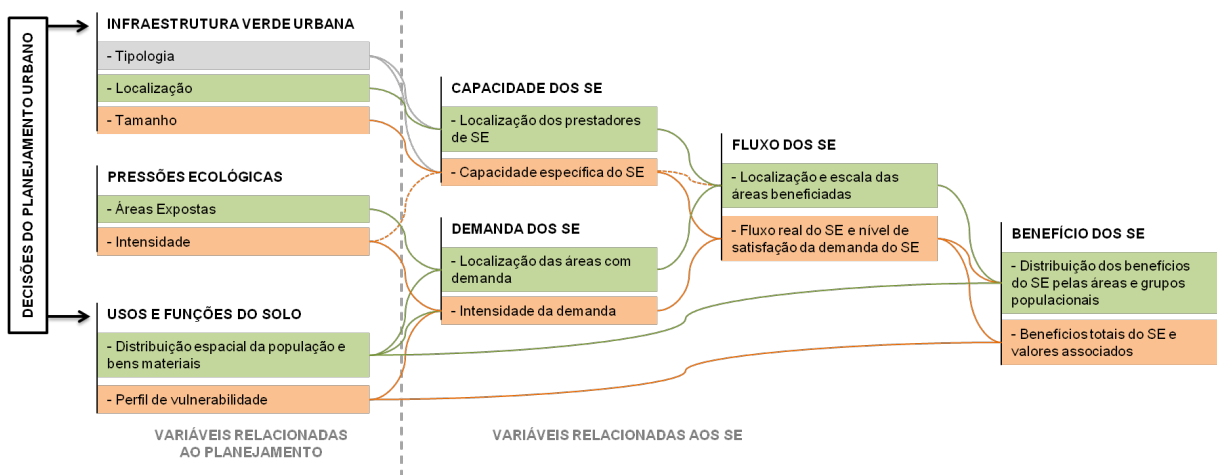
A estrutura de trabalho desta pesquisa foi baseada, principalmente, na publicação de Cortinovis e Geneletti (2019), que relacionou as decisões tomadas no âmbito do planejamento urbano com serviços ecossistêmicos de regulação e seus benefícios. Os autores consideraram o modelo conceitual em cascata dos SE, que foi descrito no Item 4.3, no qual há um fluxo entre as características estruturais e funcionais dos serviços, até chegar ao nível dos benefícios produzidos por eles. Além disso, incorporaram uma abordagem de oferta-demanda dos SE, com análise de sua distribuição espacial, promovendo uma interface direta com o planejamento territorial.

Os autores (op. cit.) partiram da premissa de que o planejamento urbano decide sobre a implantação da infraestrutura verde (oferta de SE), e organiza o uso e ocupação do solo (demanda pelos SE). Eles consideraram que a quantidade de SE ofertados depende diretamente da capacidade específica de cada estrutura biofísica em fornecê-los, tamanho, distribuição espacial e tipos (estrutura biofísica, como folhas, copas de árvores, solo permeável etc.). Já a demanda pelos SE seria o resultado da conexão entre o uso e ocupação do solo e a exposição à pressão ecológica. Todos estes componentes devem ser analisados sob uma perspectiva de distribuição espacial e de quantidade, formando, portanto, um banco de dados em SIG, conforme ilustra a Figura 5.

De acordo com os autores (op. cit.), pressões ecológicas são definidas como as condições que são reguladas pelos respectivos serviços ecossistêmicos. Seu papel mais importante está na definição da demanda pelos SE pois, esta pressão incorrerá na necessidade de proteção e mitigação. No caso do serviço de mitigação do escoamento superficial e controle de inundações, a pressão ecológica foi estabelecida pelos autores como o próprio escoamento superficial. Sob um contexto de análise do risco ou de gerenciamento de desastres, pode-se relacionar tal terminologia com a ameaça ou perigo, já que o escoamento superficial está diretamente relacionado aos eventos de inundações.



Figura 5 - Estrutura de trabalho proposta por Cortinovis & Geneletti (2019)



Fonte: adaptado de Cortinovis e Geneletti (2019)

Considerando o SE de mitigação do escoamento superficial, foco do presente estudo, de acordo com Cortinovis e Geneletti (2019), as funções ecossistêmicas abrangidas são as de infiltração de água, interceptação da chuva, redução da velocidade de escoamento e armazenamento de água. Um maior detalhamento sobre SE de regulação hídrica foi abordado no item 4.4. Estas funções dependem da superfície permeável, copas das árvores, vegetação e planícies alagáveis, cada uma com uma capacidade específica de fornecer o serviço ecossistêmico. Por exemplo, as superfícies permeáveis possuem um potencial de infiltração, a depender do tipo do solo no local em análise, assim como as diferentes espécies de árvores possuem potencial de interceptação diferentes.

A análise da demanda envolve o levantamento dos beneficiários do serviço ecossistêmico. Cortinovis e Geneletti (2019) colocam que deve ser realizada uma análise combinada das áreas expostas às pressões ecológicas e a distribuição espacial e quantitativa da população e bens físicos. A proposta dos autores para cálculo da intensidade da demanda é o resultado de um conjunto de três variáveis: *i*) intensidade local das pressões ecológicas; *ii*) quantidade de pessoas e bens expostos; e *iii*) sensibilidade e resiliência da população e bens físicos expostos.

Com base na estrutura apresentada, o plano da pesquisa foi desenhado conforme Figura 6. A pressão ecológica (escoamento superficial) foi obtida de dados secundários provenientes de registros históricos de alagamento e inundação, complementados pelo mapeamento de áreas susceptíveis a inundações do município de São Paulo. Assim, foi gerado um mapa com os locais

onde o escoamento superficial já ocasiona ou tem potencial para ocasionar problemas de inundação. Esta etapa está detalhada no Item 5.1.

A demanda atual foi definida também a partir de dados secundários, com base em mapeamentos existentes, assim como de dados demográficos e socioeconômicos provenientes do CENSO 2010 (IBGE, 2012). Houve a classificação e hierarquização da vulnerabilidade desta demanda, de forma a determinar locais prioritários para implantação de infraestrutura verde, com é explicado no Item 5.2.

Posteriormente, a partir de um modelo desenvolvido pelo *Natural Capital Project*<sup>6</sup>, chamado *InVEST*, foram calculadas as quantidades de retenção do escoamento superficial em duas sub-bacias do município em seis cenários diferentes de uso do solo e precipitação.

O *InVEST - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* consiste em um conjunto de modelos que explora os benefícios dos serviços ecossistêmicos entre cenários de ordenamento do território a uma escala regional, indicados principalmente para aplicação em políticas públicas e tomadas de decisão. Os organizadores disponibilizam um fórum online, no qual são sanadas as dúvidas e problemas observados nos modelos (SHARP et al., 2020).

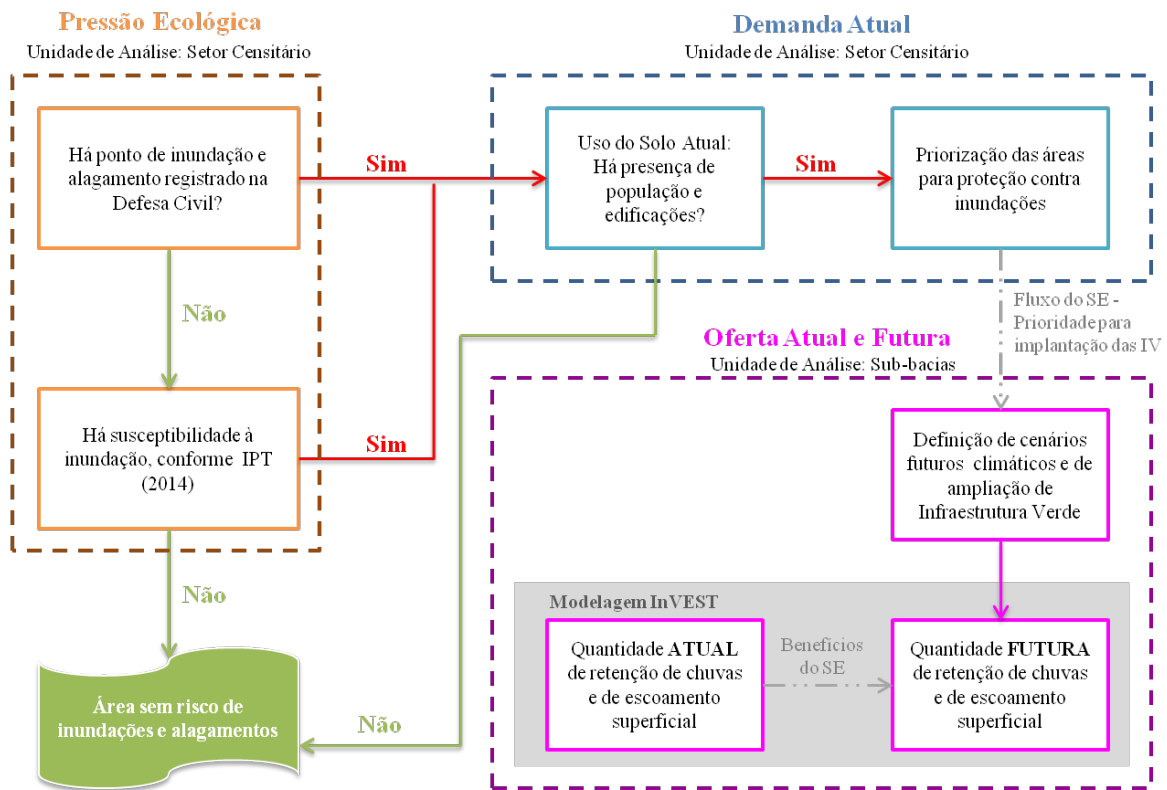
A partir dos resultados de hierarquização da demanda, em conjunto com os instrumentos de planejamento existentes, como o plano diretor e lei de zoneamento, e de proteção ambiental, como as Áreas de Preservação Permanente, foram estabelecidos cenários futuros de implantação de IV, que também foram modelados no *InVEST*. Os resultados forneceram qual o impacto na prestação do SE de mitigação do escoamento superficial com o aumento de áreas prestadoras deste serviço. O detalhamento de cada macroitem (pressão ecológica, oferta e demanda) foi realizado nos itens a seguir.

Os softwares utilizados para o tratamento e análise dos dados foram: QGis 3.10.10; Microsoft Office Excel; e *InVEST* 3.8.1. O QGis é um software livre com código-fonte aberto, de sistema de informação geográfica (SIG), que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados, portanto, os mapas foram trabalhados e gerados por ele. O Microsoft Office Excel foi utilizado no tratamento e compilação dos dados em planilhas. O modelo utilizado do *InVEST* será descrito no Item 5.3.

---

<sup>6</sup> Sediado na Universidade de Stanford (EUA), com parceria entre a Academia Chinesa de Ciências, Universidade de Minnesota, Centro de Resiliência de Estocolmo, e as ONGs The Nature Conservancy (TNC) e World Wildlife Fund (WWF).

**Figura 6 - Plano esquemático da pesquisa**



Fonte: elaborado pela autora.

Vale notar que um risco só existe se houver uma ameaça (pressão ecológica), vulnerabilidade e exposição, como foi visto no item 4.1. É com base nisto que as áreas serão consideradas sem risco de inundações e alagamentos, isto é, nos setores censitários em que não há pressão ecológica ou agentes expostos, não há risco.

## 5.1. Caracterização da pressão ecológica

A pressão ecológica, que neste estudo é o escoamento superficial, foi mapeada através das áreas que já possuem problemas de inundação e alagamento, e das áreas com potencial para tal. As que já tem problemas foram identificadas através do registro dos pontos de inundação e alagamento no município em 2019, obtidos através do Centro de Gerenciamento de Emergência (CGE)<sup>7</sup> da Prefeitura de São Paulo. As regiões com susceptibilidade a inundações foram identificadas através do mapeamento realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)

<sup>7</sup> O CGE é um órgão da Prefeitura de São Paulo criado em 1999, que monitora e coleta as condições meteorológicas da cidade. Registros referentes as ocorrências da Defesa Civil extraídos do Sistema Integrado de Gestão do Relacionamento com o Cidadão (SIGRC).

em conjunto com o Serviço Geológico do Brasil (CPRM), que gerou a "Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações" (IPT, 2014).

Neste mapeamento, as manchas de suscetibilidade à inundação foram classificadas em nível baixo, médio e alto, com base em atributos morfométricos de cada sub-bacia (área de contribuição, relação de relevo, densidade de drenagem, índice de circularidade e índice de sinuosidade) e em um modelo numérico do terreno chamado HAND (*Height Above Nearest Drainage*), que indica áreas susceptíveis a inundações pela análise dos desníveis topográficos e da proximidade relativa dos rios. Sua metodologia não utiliza dados de precipitação e de estruturas hidráulicas, ou seja, não envolve modelos de chuva-vazão para simular o comportamento dos escoamentos, seja para uma análise unidimensional (canal) ou em duas dimensões (planície de inundação). Por este motivo é chamada de carta de suscetibilidade e não de perigos ou riscos (IPT, 2014). Esta carta abrange os cursos d'água de todo o município e está disponibilizada em arquivo vetorial georreferenciado<sup>8</sup> (*shapefile*).

O Terceiro Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê - PDMAT 3 (DAEE, 2014) identificou manchas de inundação para o município de São Paulo com base em estudos hidrológicos e hidrodinâmicos, uni e bidimensionais, através de modelagem de chuva-vazão em software específico. Entretanto, a modelagem foi feita somente para os principais cursos d'água do município, os quais foram chamados de 1ª camada (rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí e Juqueri) e seus contribuintes mais relevantes, colocados como 2ª camada (rios Aricanduva, Baquirivu, Cabuçu de Baixo, Cabuçu de Cima, Cotia, Mandaqui, Pirajuçara, São João do Barueri, ribeirões dos Couros e dos Meninos, Vermelho e córrego Oratório). Por isso optou-se por utilizar a carta de suscetibilidade do IPT (2014), que considerou todos os cursos d'água do município.

O mapa da pressão ecológica foi confeccionado a partir da sobreposição dos *shapefiles* dos setores censitários (ano base: 2010), primeiramente, com os pontos de ocorrência de alagamento e inundações de 2019 e, posteriormente, com a carta de suscetibilidade a inundações do IPT. Com isso foi obtido um mapa com os setores censitários que possuem algum registro de ocorrência, ou algum grau de suscetibilidade à inundação (baixo, médio ou alto).

---

<sup>8</sup> Arquivo disponível para download em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Sao-Paulo-5088.html>>. Acessado em 13/05/2020.

## 5.2. Caracterização da demanda atual do SE

Considerando a abordagem descrita nos itens anteriores, a demanda pelos SE foi avaliada considerando dois aspectos: a pressão ecológica e o uso e ocupação do solo atual, a partir da distribuição espacial e vulnerabilidade da população e bens físicos expostos à pressão. Para tanto, foram adaptados os procedimentos de Li, Uyttenhove & Vaneetvelde (2020), que realizaram uma análise quantitativa para identificar áreas prioritárias para implantação de infraestrutura verde, considerando a escala de uma cidade, que no caso foi Ghent, na Bélgica.

Para a classificação da vulnerabilidade dos receptores das inundações, os autores utilizaram três categorias de critérios: grupos socialmente vulneráveis a inundações; proteção de infraestrutura rodoviária em áreas sensíveis a inundações; e proteção de edifícios em áreas sensíveis a inundações.

Na categoria dos grupos socialmente vulneráveis a inundações, foram utilizadas as seguintes variáveis: percentual de mulheres; percentual de menores de 5 anos; percentual de maiores de 65 anos; percentual de estrangeiros; e percentual de desempregados.

A presente pesquisa adaptou tais variáveis, devido aos dados disponíveis para o município de São Paulo e de forma a se tornar mais aplicável à realidade paulistana. Segundo Cutter et al. (2003) há um consenso na comunidade de ciências sociais sobre quais os fatores mais influentes na vulnerabilidade social num contexto de perigos ambientais, que incluem: falta de acesso a recursos (como informação, conhecimento e tecnologia); acesso limitado a poder político e representação; capital social, inclusive conexões e rede social; crenças e costumes; patrimônio imobiliário e idade; limitações individuais físicas; e tipo e densidade de infraestrutura e linhas de vida. Há, porém, discordância sobre quais variáveis representam estes fatores.

Entre as características mais utilizadas como influenciadoras da vulnerabilidade social estão idade, gênero, raça e situação socioeconômica. Outras poderiam ser listadas, que identificam necessidades específicas da população ou daqueles que não possuem redes sociais que lhes proporcionem segurança para a recuperação de um desastre, como portadores de deficiência física ou mental, sem-teto, imigrantes que não falam a língua local, entre outros. A qualidade da moradia e seu local de instalação também são características importantes para compreender a vulnerabilidade social (CUTTER et al., 2003).

Dentro deste contexto, optou-se neste estudo por critérios de ordem demográfica e socioeconômica, quais sejam:

- a) Percentual de crianças menores de 5 anos;
- b) Percentual de adultos maiores que 65 anos;
- c) Mulheres responsáveis pelo domicílio;
- d) Percentual de domicílios com rendimento médio mensal per capita de até meio salário-mínimo;
- e) Presença de favela.

Os critérios de caráter demográfico correspondem aos percentuais de crianças menores de 5 anos, adultos maiores que 65 anos e mulheres responsáveis pelo domicílio. As crianças e idosos são considerados mais dependentes de cuidados e com condições físicas que dificultam lidar com inundações, tanto na fase de resposta ao evento (quando ele está acontecendo), como na de recuperação (RUFAT et al., 2015). Pais precisam gastar mais tempo e dinheiro cuidando de crianças quando creches e escolas são afetadas e idosos podem ter restrições de mobilidade ou aumento na necessidade de cuidados, além de falta de resiliência. São também dois grupos mais vulneráveis a eventuais doenças provocadas pelas inundações. O percentual de mulheres responsáveis pelo domicílio é considerado como indicador demográfico, pois elas são as maiores responsáveis pelo cuidado da família e, ainda assim, ganham menos e possuem menores oportunidades econômicas do que os homens, o que pode definir maiores dificuldades durante os períodos de preparação e recuperação de um desastre (CUTTER et al., 2003).

Como indicador de âmbito socioeconômico foi considerado um vinculado à renda, que consiste no percentual de domicílios com rendimento médio mensal per capita de até meio salário-mínimo. Os mais pobres possuem menos recursos para se preparar para eventos de inundação e alagamento, moram em regiões marginalizadas, com menos opções de emprego e de moradia, e possuem menos proteção formal das instituições. Além disso, na fase de recuperação dos eventos extremos eles são mais prejudicados, pois dependem de assistência externa, para a qual o acesso depende de relações, conexões e arranjos sociais, que estão muitas vezes além do alcance das populações mais pobres (RUFAT et al., 2015).

Como o município de São Paulo possui o mapeamento das favelas existentes, foi também considerado como indicador de vulnerabilidade socioeconômica a presença de favela dentro do setor censitário. Favelas são os assentamentos irregulares e precários que surgem de ocupações espontâneas feitas de forma desordenada, sem definição prévia de lotes e sem arruamento, em áreas públicas ou particulares, com redes de infraestrutura insuficientes, em que as moradias são predominantemente autoconstruídas e com elevado grau de precariedade, por famílias de baixa renda em situação de vulnerabilidade (SEHAB, 2016).

Conforme Ross (2001), existem duas alternativas principais para as famílias pobres residirem na Região Metropolitana de São Paulo, ou escolhem morar nas áreas periféricas e constroem casas de alvenaria (auto-construção), ou se instalam mais próximas do centro e de bairros de maior poder aquisitivo em barracos de madeira, metal, plástico, montados sob viadutos, pontes, margens de rios, entre vias de tráfego e leitos fluviais, ou ainda em terrenos extremamente inclinados, que foram impedidos legalmente de serem ocupados, por oferecerem altos riscos geotécnicos.

Loteamentos irregulares e ocupações espontâneas foram feitos em áreas periféricas ou com restrição à urbanização (como áreas de risco e de proteção ambiental), dando origem também às favelas. Em locais de urbanização mais antiga, este modelo evoluiu para um superadensamento, ocorrendo ainda a locação informal de barracos, a subdivisão dos lotes e a venda ou cessão de lajes para a produção de novas unidades, o que agrava as condições de habitabilidade (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009).

Os impactos das inundações e alagamentos sobre bens físicos podem causar grande transtorno ao funcionamento da cidade, incorrendo em perdas materiais indiretas, como o trânsito, fechamento de lojas, redução da produtividade de uma empresa, além de perdas materiais diretas, correspondentes aos danos ocasionados nestes bens. Assim, em relação às edificações em áreas susceptíveis a inundações, para fins de simplificação, ao considerar o tamanho do município de São Paulo e a falta de um mapa atualizado de uso e ocupação do solo, foi considerada que a área urbana prevista no Plano Diretor Estratégico de São Paulo de 2014 está toda edificada.

Os impactos sobre a infraestrutura viária não foram contemplados na presente análise da demanda pelos SE, a fim de dar um foco maior nos impactos das inundações na presença populacional e não na circulação das pessoas, tendo em vista que a intenção é adaptar a cidade num sentido de, prioritariamente, desocupar e dar novos usos para as áreas com pressão ecológica, ou seja, áreas com problemas de inundações e alagamento, ou com susceptibilidade a inundações.

Para transformar as variáveis acima em números e permitir uma observação quantitativa, foi utilizada uma análise multi-critério por AHP (*Analytic Hierarchy Process*), que é uma estrutura de análise que carrega tanto pensamentos indutivos como dedutivos, utilizando diversos fatores em consideração simultaneamente e permitindo dependências e *feedbacks*, e organizando trocas numéricas para alcançar uma síntese ou conclusão. Uma pontuação é dada para cada variável em relação a outra variável, conforme a importância entendida pelos pesquisadores, com base na escala proposta por (SAATY, 1987), apresentada

na Tabela 1. Os julgamentos são dados por pares de comparação, o que permite focar separadamente em cada propriedade essencial, sem se preocupar com outras propriedades ou elementos, para tomar uma decisão maior (SAATY, 1987).

**Tabela 1- Escala de Saaty para análise AHP**

<b>Intensidade da importância em uma escala absoluta</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Moderada importância de um em relação ao outro	Experiência e julgamento favorecem uma atividade sobre a outra
5	Importância forte ou essencial	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade sobre a outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida e sua dominância é demonstrada na prática
9	Importância extrema	A evidência favorecendo uma atividade sobre a outra é uma das maiores possibilidades de afirmação
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre dois julgamentos adjacentes	Quando é necessário comprometimento

Fonte: Adaptado de (SAATY, 1987).

Assim, em uma análise com  $n$  critérios (C1 a Cn), é construída uma matriz com as pontuações (P1 a Pn) para cada par de critérios, como ilustra a Tabela 2.

**Tabela 2- Exemplo de uma matriz para análise AHP com n critérios**

<b>CRITÉRIOS</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>Cn</b>
C1	$P1/P1 = 1$	$P1/P2$	$P1/P3$	$P1/Pn$
C2	$P2/P1$	$P2/P2=1$	$P2/P3$	$P2/Pn$
C3	$P3/P1$	$P3/P2$	$P3/P3=1$	$P3/Pn$
Cn	$Pn/P1$	$Pn/P2$	$Pn/P3$	$Pn/Pn=1$

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Os pesos foram calculados através da normalização das pontuações da matriz, dividindo cada pontuação pela soma das colunas. O peso de cada critério é igual à média aritmética dos valores normalizados (da linha da matriz). Aplicou-se o peso em cada critério e, por fim, os resultados foram padronizados em valores de 0 a 10, para que fosse possível comparar os resultados obtidos para os critérios com naturezas diferentes (LI; UYTENHOVE; VANEETVELDE, 2020).



A maior base de dados demográficos e socioeconômicos com distribuição espacial é do CENSO de 2010 (IBGE, 2012), e seus dados estão disponíveis por setor censitário<sup>9</sup>, que será a unidade geográfica a ser adotada neste estudo para a presente análise. No município de São Paulo são 18.363 setores censitários definidos através do referido CENSO. A lista de indicadores utilizados consta na Tabela 3 a seguir, com as fontes de informações e o formato dos dados.

**Tabela 3 - Composição dos grupos das pessoas e bens impactados**

<b>Impactados</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Formato de origem</b>	<b>Fonte</b>
<b>População socialmente vulnerável</b>	% Crianças com idade menor ou igual a 5 anos	Tabela	CENSO 2010
	% Idosos com idade maior ou igual a 65 anos	Tabela	CENSO 2010
	% Mulheres responsáveis pelo domicílio	Tabela	CENSO 2010
	% Domicílios com renda per capita até 1/2 salário mínimo	Tabela	CENSO 2010
	Presença de favelas	Shapefile	Portal HABITASAMPA <sup>10</sup>
<b>Edificações</b>	Área urbana	Shapefile	Portal GEOSAMPA

Fonte: Elaborado pela autora.

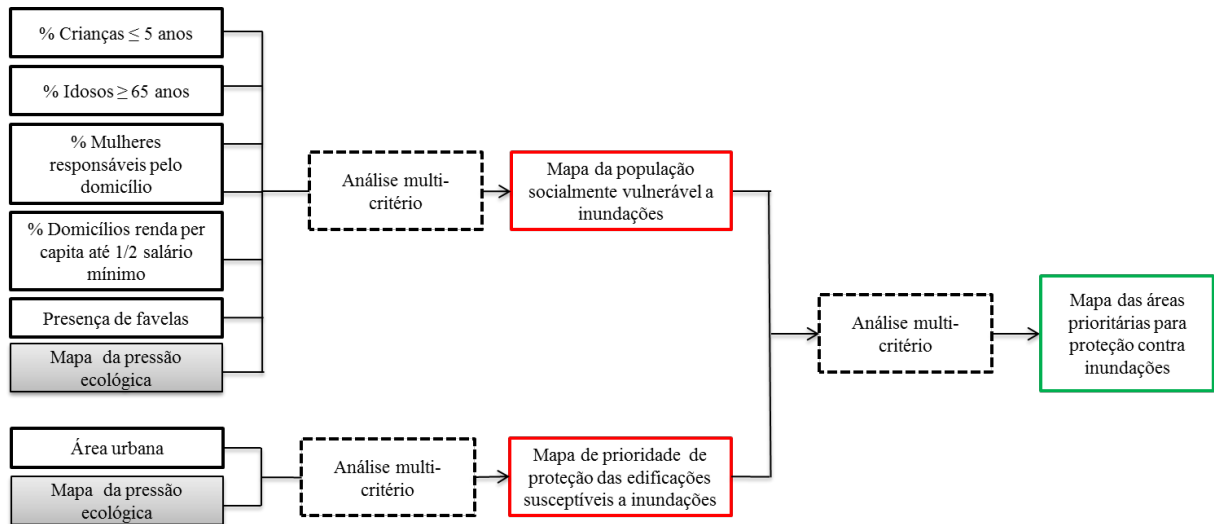
Os dados de população socialmente vulnerável e edificações foram sobrepostos ao mapa da pressão ecológica gerado e, retomando ao processo definido na Figura 6, foram considerados setores censitários sem risco de ocorrência de inundações e alagamentos os que não estão sob ameaça (pressão ecológica) ou que não tiverem presença de população e edificações.

Foi realizada uma análise AHP para cada setor censitário, com pontuação da matriz de Saaty, para definição de prioridades para implantação de infraestrutura verde, que guiará a definição de cenários futuros da oferta do SE. Esta análise foi realizada conforme fluxograma da Figura 7

<sup>9</sup>O setor censitário é a unidade de controle cadastral formada por área contínua, integralmente contida em área urbana ou rural, cuja dimensão, número de domicílios e de estabelecimentos permitem ao recenseador cumprir suas atividades, portanto, o setor censitário é a área de trabalho do recenseador.

<sup>10</sup>Disponível em <<http://www.habitasampa.inf.br>>. Acessado em 09/05/2020. Esta plataforma possui uma funcionalidade de mapa online, com a opção de download das bases cartográficas. As informações são criadas e gerenciadas pela Secretaria Municipal de Habitação - SEHAB.

**Figura 7 - Fluxo para definição da demanda atual - Áreas prioritárias para implantação de Infraestrutura Verde**



Fonte: elaborado pela autora.

Ressalta-se que a opção por trabalhar com setores censitários e não com bacias hidrográficas nesta etapa se dá em função das unidades administrativas do município, que são as subprefeituras, abrangerem os limites dos setores, isto é, as subprefeituras são um conjunto de setores censitários, enquanto os limites das microbacias do município não coincidem com limites administrativos, por serem delimitações físicas. Além disso, os dados do CENSO estão disponíveis somente por setor censitário, e não por bacia hidrográfica.

Assim, o mapeamento da demanda atual, ou seja, definição das áreas prioritárias para proteção contra eventos de inundação, foi realizado em algumas etapas. Para a vulnerabilidade socioeconômica, considerando os cinco critérios já listados, os dados brutos do CENSO 2010 foram tratados e agrupados em uma só planilha, com a divisão por setor censitário. A análise AHP foi executada considerando as relações entre os fatores apresentadas na Tabela 4.

Quanto aos pesos escolhidos, a presença de favela no setor censitário foi considerada como o critério mais importante, pois a vulnerabilidade pode ser analisada em relação a três dimensões: ambiental, social e econômica (explicação mais aprofundada no Item 4.1). As favelas são vulneráveis considerando os três aspectos, pois são locais com edificações precárias, alto adensamento populacional, que ocupam o solo de forma desordenada e, muitas vezes, em locais de risco ambiental, e onde as famílias possuem rendas baixas.

O percentual de domicílios com renda per capita até  $\frac{1}{2}$  salário mínimo foi considerado mais importante que os critérios demográficos, pois menores rendas indicam condições piores para lidar com as fases de preparação e recuperação dos eventos de alagamento, independentemente da faixa etária ou gênero, enquanto que, tanto crianças, idosos e mulheres que possuem maior renda, conseguem morar em edificações melhores e localidades com menor

exposição à inundações, e ainda possuem uma maior rede de assistência social e de saúde do que a população mais pobre.

**Tabela 4 - Cálculo dos pesos, com base na matriz de Saaty, para critérios socioeconômicos**

	% Crianças ≤ que 5 anos	% Idosos ≥ que 65 anos	% Mulheres responsáveis pelo domicílio	% Domicílios renda per capita até 1/2 SM	Presença de favelas
% Crianças ≤ que 5 anos	1	1/3	1/9	1/5	1/7
% Idosos ≥ que 65 anos	3	1	1/7	1/5	1/7
% Mulheres responsáveis pelo domicílio	9	7	1	1/3	1/5
% Domicílios renda per capita até 1/2 SM	5	5	3	1	1/3
Presença de favelas	7	7	5	3	1
Soma	25	61/3	583/63	71/15	191/105

CRITÉRIOS	% Crianças ≤ que 5 anos	% Idosos ≥ que 65 anos	% Mulheres responsáveis pelo domicílio	% Domicílios renda per capita até 1/2 SM	Presença de favelas	Peso Final
% Crianças ≤ que 5 anos	0,04	0,02	0,01	0,04	0,08	0,04
% Idosos ≥ que 65 anos	0,12	0,05	0,02	0,04	0,08	0,06
% Mulheres responsáveis pelo domicílio	0,36	0,34	0,11	0,07	0,11	0,20
% Domicílios renda per capita até 1/2 SM	0,20	0,25	0,32	0,21	0,18	0,23
Presença de favelas	0,28	0,34	0,54	0,63	0,55	0,47

Fonte: Elaborado pela autora.

Cada peso foi aplicado aos valores de cada critério em cada setor censitário, e foi realizada a somatória dos produtos entre cada critério e seu peso por setor censitário, cujos resultados variaram entre 0 e 81,53. Estes valores foram então padronizados entre 0 a 10, considerando intervalos iguais.

No mapeamento das edificações susceptíveis a inundações, considerou-se que toda a Zona Urbana prevista no Plano Diretor Estratégico de 2014 é edificada, para fins de simplificação, como já comentado. Assim, por sobreposição de mapas, foram identificados os setores censitários inseridos em zona urbana<sup>11</sup>, os quais então foram novamente sobrepostos ao mapa de pressão ecológica. A partir disso, os setores foram divididos em quatro classes diferentes: *a.* edificações existentes em setor censitário com ocorrência de inundação ou

<sup>11</sup>shapefile disponível no Portal GEOSAMPA <[http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx)>. Acessado em 06/10/2020.

alagamento; *b.* edificações existentes em setor censitário com alta susceptibilidade à inundação; *c.* edificações existentes em setor censitário com média susceptibilidade à inundação; e *d.* edificações existentes em setor censitário com baixa susceptibilidade à inundação. Foi realizada uma análise AHP considerando estas classes, que gerou a Tabela 5.

Os pesos foram aplicados a cada setor censitário, cujos resultados variaram entre 0 e 0,56. Estes valores foram então padronizados entre 0 e 10, considerando intervalos iguais.

**Tabela 5 - Cálculo dos pesos, com base na matriz de Saaty, para as edificações susceptíveis a inundações**

<b>CRITÉRIOS</b>	Edificações existentes com ocorrência de inundação ou alagamento	Edificações existentes com alta susceptibilidade à inundação	Edificações existentes com média susceptibilidade à inundação	Edificações existentes com baixa susceptibilidade à inundação	
Edificações existentes com ocorrência de inundação ou alagamento	1	3	5	7	
Edificações existentes com alta susceptibilidade à inundação	1/3	1	3	5	
Edificações existentes com média susceptibilidade à inundação	1/5	1/3	1	3	
Edificações existentes com baixa susceptibilidade à inundação	1/7	1/5	1/3	1	
Soma	176/105	68/15	28/3	16	
<b>CRITÉRIOS</b>	Edificações existentes com ocorrência de inundação ou alagamento	Edificações existentes com alta susceptibilidade à inundação	Edificações existentes com média susceptibilidade à inundação	Edificações existentes com baixa susceptibilidade à inundação	<b>Peso Final</b>
Edificações existentes com ocorrência de inundação ou alagamento	0,60	0,66	0,54	0,44	0,56
Edificações existentes com alta susceptibilidade à inundação	0,20	0,22	0,32	0,31	0,26
Edificações existentes com média susceptibilidade à inundação	0,12	0,07	0,11	0,19	0,12
Edificações existentes com baixa susceptibilidade à inundação	0,09	0,04	0,04	0,06	0,06

Fonte: Elaborado pela autora.

Neste ponto do estudo, cada setor censitário possui um valor de 0 a 10 para cada grupo de variáveis (vulnerabilidade social e edificações susceptíveis a inundações). A fim de chegar a um único valor, foi novamente realizada uma análise AHP para definir os pesos de cada um dos grupos, como apresentado na Tabela 6. A vulnerabilidade social foi o critério com maior importância, pois é o que está diretamente relacionado à população e suas moradias, enquanto as edificações são relativas a bens materiais e não diretamente a seres humanos.

**Tabela 6 - Cálculo dos pesos, com base na matriz de Saaty, para o cálculo da prioridade**

CRITÉRIOS	Vulnerabilidade Social	Edificações susceptíveis a inundações	
Vulnerabilidade Social	1	5	
Edificações susceptíveis a inundações	1/5	1	
Soma	6/5	6	

CRITÉRIOS	Vulnerabilidade Social	Edificações susceptíveis a inundações	Peso Final
Vulnerabilidade Social	0,83	0,83	0,83
Edificações susceptíveis a inundações	0,17	0,17	0,17

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3. Caracterização da oferta

Para a caracterização da oferta do serviço ecossistêmico em estudo, optou-se pela modelagem proposta pelo InVEST, no submodelo chamado Mitigação de Risco de Inundação Urbana (*Urban Risk Flood Mitigation*). O software do InVEST explora como as mudanças nos ecossistemas podem afetar populações humanas. Assim, seus submodelos utilizam as funções ecossistêmicas e as especificam, tornando possível quantificar os impactos sobre SE e, posteriormente, sua valoração, de forma a inserir esta problemática na tomada de decisões de forma mais objetiva (SHARP et al., 2020).

Este modelo foi escolhido pois trabalha em um ambiente SIG, o que é essencial para o desenvolvimento da metodologia proposta no item anterior. Além disso, o modelo de Mitigação de Risco de Inundação Urbana é baseado no Método SCS-CN (*Curve Number*) do antigo Serviço de Conservação de Solo dos EUA (*Soil Conservation Service* atual *National Resources Conservation Center*), que se fundamenta em estudos que relacionam a precipitação total com a precipitação efetiva, que é a precipitação que de fato se transforma em escoamento superficial. Este método considera que em cada chuva ocorrem "perdas" iniciais de água com evapotranspiração, infiltração e interceptação. Estas "perdas" são exatamente os serviços ecossistêmicos de interesse desta pesquisa, ou seja, que auxiliarão na mitigação do escoamento superficial, e que são prestados pelas infraestruturas verdes (TUCCI, 2004). Portanto, o uso desta modelagem permite aferir, de forma relativamente simples, a influência da implantação de IV na retenção do escoamento superficial, o que reflete a oferta do serviço ecossistêmico em análise.

Para estimar tais "perdas", foi estabelecida uma relação com o fator chamado *Curve Number (CN)*, que possui valores tabelados entre 0 e 100 em função do tipo do solo, da umidade antecedente do solo (condições de umidade do solo anteriormente à ocorrência da precipitação em análise) e do tipo de uso e ocupação do solo na bacia. Quanto maior o CN, menos permeável é o local. São considerados 4 tipos de solo (TUCCI, 2004) (SMDU, 2012):

a) Tipo A: produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. São solos arenosos profundos, com pouco silte e argila, sem rochas ou camadas argilosas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é baixo, não atingindo 1%;

b) Tipo B: menos permeáveis do que o anterior. Solos arenosos menos profundos que do tipo A e com permeabilidade superior à média. Maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Os teores de húmus podem subir e não pode haver pedras nem camadas argilosas até 1,5m, mas é quase sempre presente camada mais densificada que a camada superficial;

c) Tipo C: geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média. Contém percentual considerável de argila e é pouco profundo. São solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

d) Tipo D: contém argilas expansivas, são pouco profundos e com baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial. Percentuais de argila total entre 30 e 40% e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados.

Em relação à umidade antecedente do solo, o método SCS distingue três condições (SMDU, 2012):

- i) solos secos - chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassam 15 mm;
- ii) situação média na época de cheias - chuvas nos últimos 5 dias totalizam entre 15 e 40 mm;
- iii) solo úmido (próximo à saturação) - chuvas nos últimos 5 dias superiores a 40 mm e condições meteorológicas desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

E por fim, cada uso e cobertura do solo determina um valor diferente de CN, relacionado com os tipos hidrológicos de solo. Há tabelas definidas pelos autores do método SCS para bacias urbanas e suburbanas, que relacionam o uso e cobertura do solo com as tipologias hidrológicas do solo, gerando um valor de CN, como mostra a Tabela 7.

**Tabela 7 - Valores de CN em função do uso e cobertura do solo e do tipo hidrológico de solo, considerando condição de umidade média do solo**

Uso e Cobertura do Solo	Tipo Hidrológico do Solo			
	A	B	C	D
<b>ZONAS CULTIVADAS</b>				
sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
BALDIOS / boas condições	39	61	74	80
PRADOS/boas condições	30	58	71	78
<b>BOSQUES OU ZONAS FLORESTAIS</b>				
cobertura ruim	45	66	77	83
cobertura boa	25	55	70	77
<b>ESPAÇOS ABERTOS/RELVADOS/PARQUES/boas condições</b>				
com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas Industriais	81	88	91	93
<b>ZONAS RESIDENCIAIS</b>				
Lotes de área (m <sup>2</sup> )	% impermeável	-	-	-
< 500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos etc.		98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89
Terra		72	82	87

Fonte: Tucci (2004)

O método SCS-CN parte de duas hipóteses. A primeira é de que a razão entre o escoamento superficial ( $Q$ ) e o escoamento superficial máximo potencial ( $P-Ia$ ) é igual à razão entre a infiltração acumulada no solo ( $F$ ) e a máxima infiltração acumulada potencial ( $S$ ), dando origem a seguinte equação (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015):

$$\frac{Q}{P-Ia} = \frac{F}{S} \quad (\text{Eq. 01})$$

Onde

$P$  = intensidade da precipitação ao longo de um evento de chuva (mm)

$Q$  = chuva efetiva ou escoamento superficial ao longo do evento (mm)

$F$  = infiltração acumulada ao longo do evento de chuva (mm)

$Ia$  = perdas iniciais, que incluem acúmulo de água na superfície, interceptação e infiltração no solo antes do início a geração de escoamento superficial (mm)

A segunda hipótese é de que as perdas iniciais ( $Ia$ ) correspondem a 20% da máxima infiltração acumulada potencial ( $S$ ), isto é:

$$Ia = 0,2 \cdot S \quad (\text{Eq. 02})$$

O método SCS-CN é criticado em função destas duas hipóteses, pois a primeira leva à situação em que a chuva efetiva prevista pelo método para uma dada chuva  $P$  é independente da duração da chuva, visto que o valor previsto de  $Q$  é igual, independentemente se a chuva  $P$  ocorre ao longo de um período de 10 minutos ou de 24 horas. Já a segunda hipótese possui uma base física discutível e, se fosse modificada, os valores de CN, que são empíricos também teriam que ser modificados. Ainda assim, este é um dos métodos mais utilizados na engenharia hidrológica em todo o mundo, muito por conta de sua simplicidade, que permite o cálculo direto da chuva efetiva utilizando apenas um parâmetro (CN). Seus autores ainda argumentam que ele é apoiado por dados experimentais e é reconhecido pelo grande número de usuários e agências governamentais (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015).

O InVEST atua em ambiente SIG, como já comentado, e seus cálculos para este modelo se dão em pixels. Para cada pixel, portanto, é aplicada a fórmula final do método SCS-CN (Equação 03 abaixo) e para o qual deve haver informações sobre uso do solo e suas características hidrológicas (SHARP et al., 2020).

$$Q_{p,i} = \frac{(P - \lambda \cdot S_{max,i})^2}{P + (1 - \lambda)S_{max,i}} \text{ se } P > \lambda \cdot S_{max,i}; Q = 0 \text{ quando } P \leq \lambda S_{max,i} \quad (\text{Eq. 03})$$

Onde:

$i$  = pixel

$Q$  = escoamento superficial (mm)

$P$  = intensidade da precipitação (mm)

$\lambda$  = intensidade da precipitação necessária para iniciar o escoamento superficial. Por padrão é 0,2 mm (como na eq. 02)

$S_{max}$  = retenção potencial no pixel (mm) - máxima infiltração acumulada potencial, que se relaciona com o fator *curve number* (CN):

$$S_{max,i} = \frac{25400}{CN_i} - 254 \cdot S_{max} \quad (\text{Eq. 04})$$



O cálculo da retenção do escoamento superficial por pixel é feito pelo modelo a partir da seguinte fórmula (Eq. 05):

$$R_i = 1 - \frac{Q_{p,i}}{P} \quad (\text{Eq. 05})$$

E o volume de escoamento retido é dado pela Equação 06 abaixo, com a área do pixel dada em m<sup>2</sup>.

$$R_{m3i} = R_i \cdot P \cdot \text{pixel.area} \cdot 10^{-3} \quad (\text{Eq.06})$$

O volume de escoamento superficial é calculado através da Eq. 07, com a área do pixel dada em m<sup>2</sup>.

$$Q_{m3i} = Q_i \cdot P \cdot \text{pixel.area} \cdot 10^{-3} \quad (\text{Eq. 07})$$

A Tabela 8 a seguir apresenta os parâmetros de entrada, seu formato e sua fonte, que serão utilizados no modelo de Mitigação de Risco de Inundação Urbana.

**Tabela 8 - Parâmetros de entrada utilizados no modelo do InVEST**

<b>Dados</b>	<b>Formato dos Dados</b>	<b>Escala das Referências</b>	<b>Referência</b>
Bacia hidrográfica	Shapefile (vetor)	1:5.000	Portal GEOSAMPA
Intensidade da precipitação em mm (P)	Valor numérico	Não se aplica	Silva et al. (2018)
Uso e Cobertura do Solo	Raster (1m)	1:1.000 e 1:5.000 (dependendo da região da cidade)	Vide item 5.3.2
Grupo Hidrológico do Solo	Raster (1m)	1:750.000	Adaptação do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017)
Tabela Biofísica	Arquivo em formato .csv	Não se aplica	Elaborada pela autora, com base nos dados de uso e cobertura do solo e grupo hidrológico do solo, com base na Tabela 7.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para determinação dos grupos hidrológicos do solo foi utilizado o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017), no qual a zona urbanizada do município de São Paulo foi classificada como “área urbana”. A influência antrópica nos solos no contexto urbano pode ocasionar em alterações morfológicas deles, como, por exemplo, remoção do horizonte superficial em regiões de corte e sobreposição de camadas superficiais em áreas de aterro, que

podem ser constituídas dos mais variados materiais, com diferentes texturas, como entulho. A transição entre as camadas deste solo também deixa de ser plana ou ondulada para ser irregular e descontínua. A compactação destes solos também modifica as características originais do solo. Esta heterogeneidade na formação do solo interfere no regime hídrico e térmico dele, na capacidade de sustentação das plantas e na resistência à erosão e deslizamentos. Considerando ainda que as mudanças nas cidades ocorrem de forma muito veloz, a urbanização não assume um caráter pedogenético, pois a escala temporal das mudanças promovidas pelo ser humano é muito mais veloz do que a escala temporal do processo de formação de um solo (PEDRON et al., 2004). Desta forma, o grupo hidrológico considerado foi o de maior impermeabilização (Grupo D), que é o que possui características mais parecidas de um solo em área urbanizada.

Vale salientar que as escalas das bases cartográficas utilizadas neste estudo variam bastante, por exemplo, a do Mapa Pedológico é de 1:100.000, enquanto o uso do solo a escala é de quadras fiscais. Isto se dá pela falta de bases cartográficas oficiais em escalas mais detalhadas.

Através do modelo do InVEST foram obtidos os valores de escoamento superficial efetivo (ou precipitação efetiva) e da retenção do escoamento gerada pelos diversos tipos de uso e cobertura do solo.

### **5.3.1. Escolha das sub-bacias para aplicação da modelagem**

Em função da falta de um mapa de uso e ocupação do solo atualizado do município de São Paulo e da limitação de tempo desta dissertação, para a caracterização da oferta, optou-se por priorizar duas sub-bacias para aplicação da modelagem, utilizando o critério de percentual de setores censitários com maior prioridade em cada bacia.

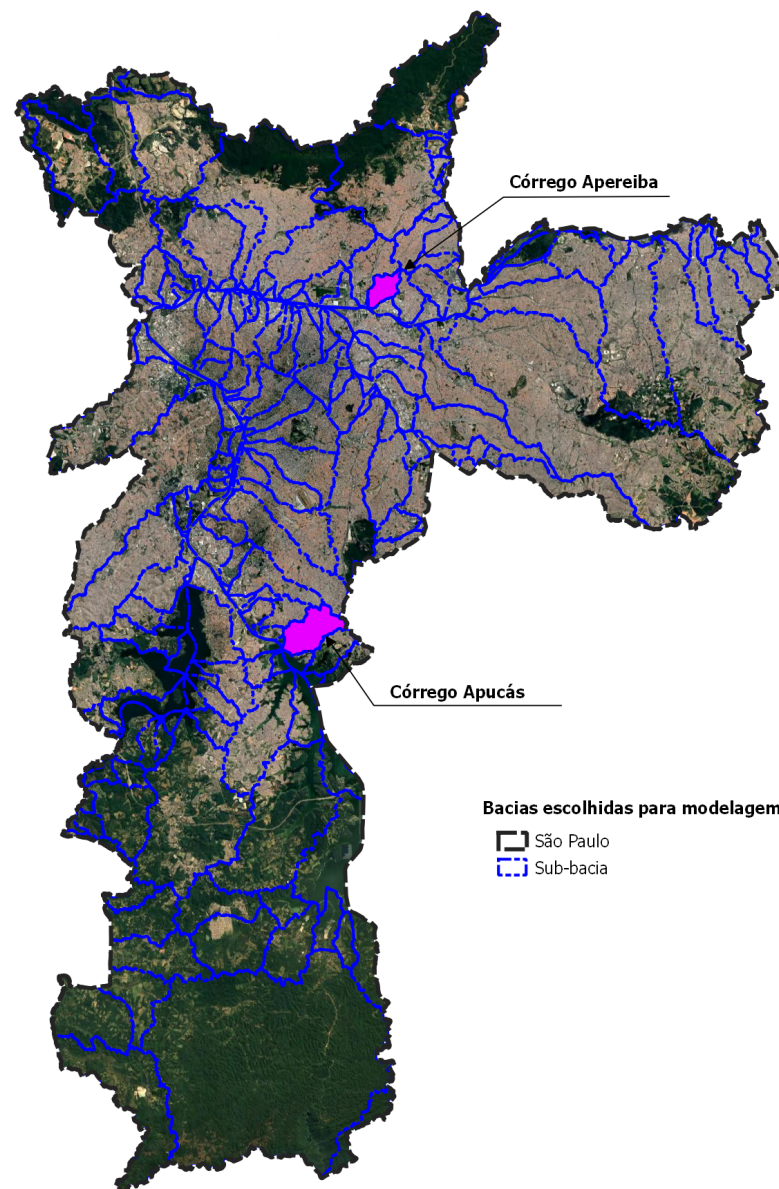
Para tanto, através da sobreposição de mapas, foi calculada a quantidade de setores censitários em cada sub-bacia. Quando um setor censitário estava em mais de uma bacia, este foi contabilizado nas duas sub-bacias. Depois foi obtida a quantidade de setores censitários com alta prioridade por sub-bacia, sendo considerada alta prioridade o valor maior que 5 (após padronização).

As bacias que estão parcialmente inseridas no município de São Paulo não foram consideradas e nem as bacias de contribuição direta dos rios Pinheiros e Tietê. Com isso, as duas sub-bacias com maior porcentagem de setores censitários classificados como alta prioridade foram as dos córregos Apucás (afluente direto da Billings na Zona Sul –

Subprefeitura de Cidade Ademar) e Apereiba (afluente da margem direita do rio Tietê na Zona Norte – Subprefeitura da Vila Maria – Vila Guilherme), ilustradas na Figura 8.

Vale pontuar que esta foi a forma de conciliar os dados socioeconômicos disponíveis por setor censitário com as informações biofísicas, avaliadas nos limites de bacia hidrográfica. Destaca-se ainda que, em função da indisponibilidade de dados de monitoramento de vazão dos cursos d'água para as sub-bacias do município, o InVEST não pode ser calibrado e validado, pois seriam necessários dados históricos das duas sub-bacias escolhidas neste estudo, e estes inexistem.

**Figura 8 – Localização das duas sub-bacias escolhidas para a modelagem**



### 5.3.2. Definição dos Cenários para Modelagem

Foram escolhidos 6 cenários para aplicação do modelo do InVest, considerando dois cenários de uso do solo e três de precipitação, conforme Tabela 9 abaixo.

**Tabela 9 – Cenários de precipitação e uso do solo utilizados para a modelagem**

Precipitação*	Código dos Cenários	
	Uso Atual	Uso Futuro
Curva IDF IGC/USP	1.1	2.1
ENS RCP 4.5	1.2	2.2
ENS RCP 8.5	1.3	2.3

\* Tempo de retorno de 100 anos<sup>12</sup>

A situação atual do uso e ocupação do solo foi elaborada com base no Mapeamento da Cobertura Vegetal da SVMA e do Uso Predominante do Solo - TPCL<sup>13</sup> obtidos através do GEOSAMPA. Como o TPCL foi elaborado em 2016, foi necessário atualizar seu mapeamento, o que foi feito pela autora através de visita à região e pelo Google Street View e Google Earth. Desta forma, foi estimado o uso do solo predominante nas quadras atingidas pela bacia hidrográfica.

O Mapeamento da Cobertura Vegetal da Secretaria do Verde e Meio Ambiente foi utilizado para complementar o mapa de uso do solo. Nele foi realizada a vetorização da vegetação de todo o município de São Paulo através de fotointerpretação de imagens aéreas ortorretificadas do ano de 2017/2018, apoiada por dados LIDAR, dividida em 15 categorias distintas (SVMA, 2020).

O cenário futuro de uso do solo foi baseado em três critérios, com intuito de prever o aumento da oferta de infraestrutura verde e, conseqüentemente, dos serviços ecossistêmicos em análise:

<sup>12</sup> O TR de 100 anos foi escolhido com base nas diretrizes de Tucci (2006), em que é colocado que o zoneamento de áreas de inundação deve ser obtido a partir de Tempo de Retorno de 100 anos ou maior chuva registrada.

<sup>13</sup> Tipo de uso do solo predominante (maior ou igual a 60%) por quadra fiscal. Com a finalidade de análise do espaço urbano, a Secretaria Municipal de Planejamento (Sempla), hoje Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMUL) estabeleceu uma metodologia de agregação resultante do cruzamento entre os valores USO e PADRÃO atribuídos pelo TPCL, para cada imóvel cadastrado, gerando as 16 tipologias de uso. Data base do levantamento: 01/01/2016.

- a) 1º critério: substituição por gramado<sup>14</sup> as áreas previstas para os parques no Mapa 5 e Tabela 7 do Plano Diretor Estratégico, ou seja, cumprimento mínimo do que prevê o PDE (Lei Municipal 16.050/2014);
- b) 2º critério: recuperação das APPs dos cursos d'água com canal aberto (os canalizados fechados não foram considerados), dentro das possibilidades da configuração urbana, utilizando o viário como limitador, através da substituição de áreas edificadas e ocupadas pela população por gramado. Neste ponto também foi considerado o PDE, que prevê um Programa de Recuperação de Fundos de Vale, com o objetivo de ampliar as áreas verdes destes locais;
- c) 3º critério: substituição por gramado os usos dos setores censitários com maior prioridade, conforme resultados de vulnerabilidade, com intuito de reduzir a exposição das pessoas mais vulneráveis à ameaça e reduzir o risco ao desastre (ver item 4.1). Ou seja, remover a população e as edificações dos setores censitários mais vulneráveis.

A aplicação dos critérios acima resultou nos mapas da Figura 9 e Figura 10. Ressalta-se que na bacia do córrego Apereiba não há nenhum parque previsto no plano diretor do município. Já na do córrego Apucás, existem os parques Mar Paulista Fases 1 e 2, Aterro Itatinga e Jardim Apurá (popularmente conhecido como Parque dos Búfalos). Este último, apesar de previsto no PDE, foi substituído parcialmente por um conjunto habitacional do Programa Minha Casa Minha Vida, chamado Residencial Espanha.

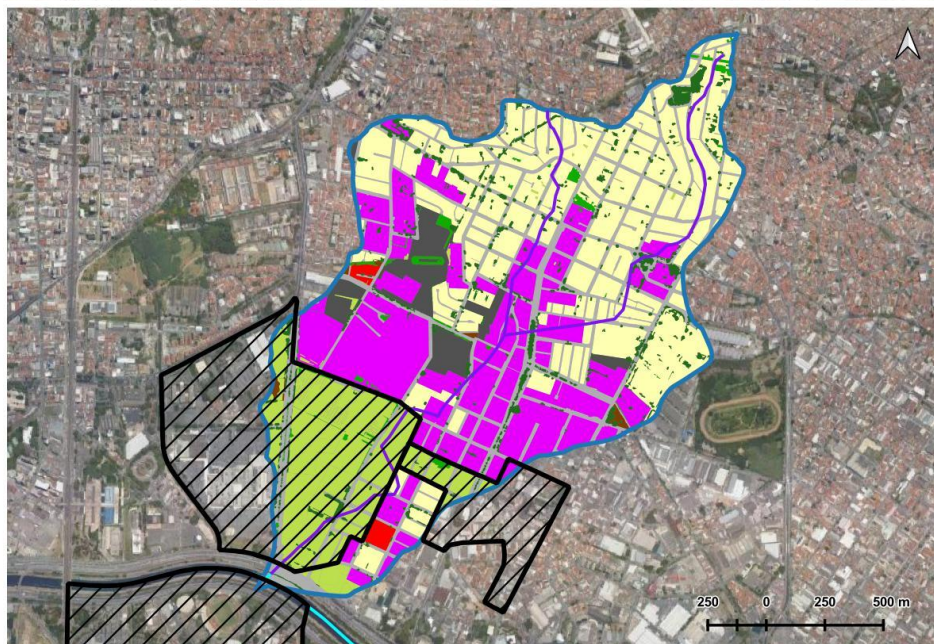
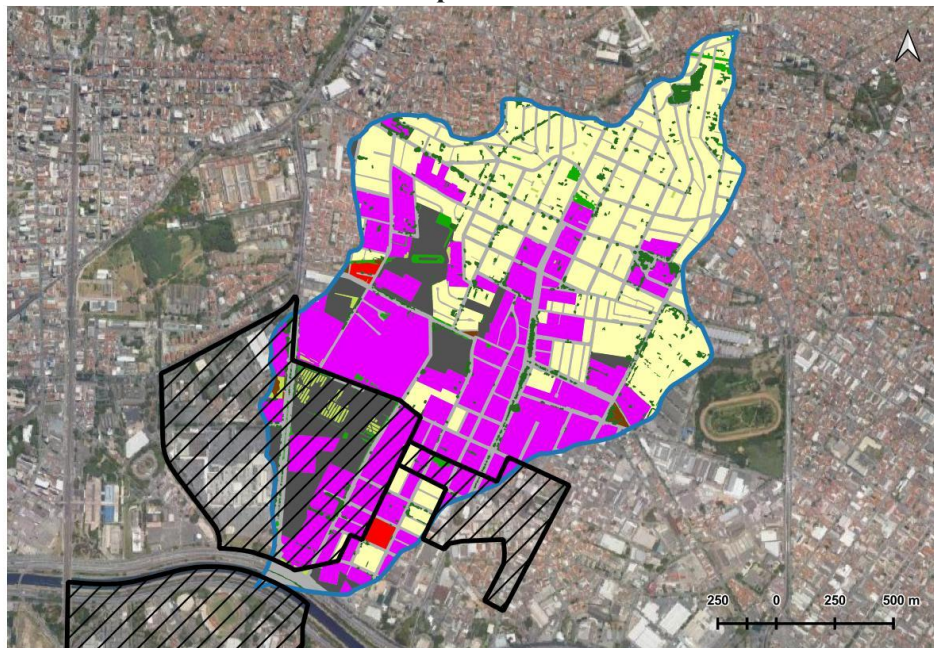
É interessante observar neste caso do Residencial Espanha que mesmo havendo a indicação da área pelo Plano Diretor como com aptidão para implantação de um parque municipal, outras pressões e demandas sociais e políticas levaram a uma modificação do planejada inicialmente. Isto exemplifica a dificuldade de se implementar uma política pública.

A substituição dos usos do solo com maior impermeabilização pelo de “Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições com relva em mais de 75% da área” (vide Tabela 7) foi feita para simplificar a metodologia, isto é, não abrir opções de mudança de uso do solo para floresta ou bosques, por exemplo, que são alternativas possíveis no método SCS. Além disso, num contexto de urbanização consolidada, que é o caso das sub-bacias estudadas, considerou-se que gramados seriam cenários mais realistas do que florestas.

---

<sup>14</sup> A palavra gramado será utilizada para simplificar o nome “Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições com relva em mais de 75% da área”, que é um dos usos do solo previstos na Tabela 7.

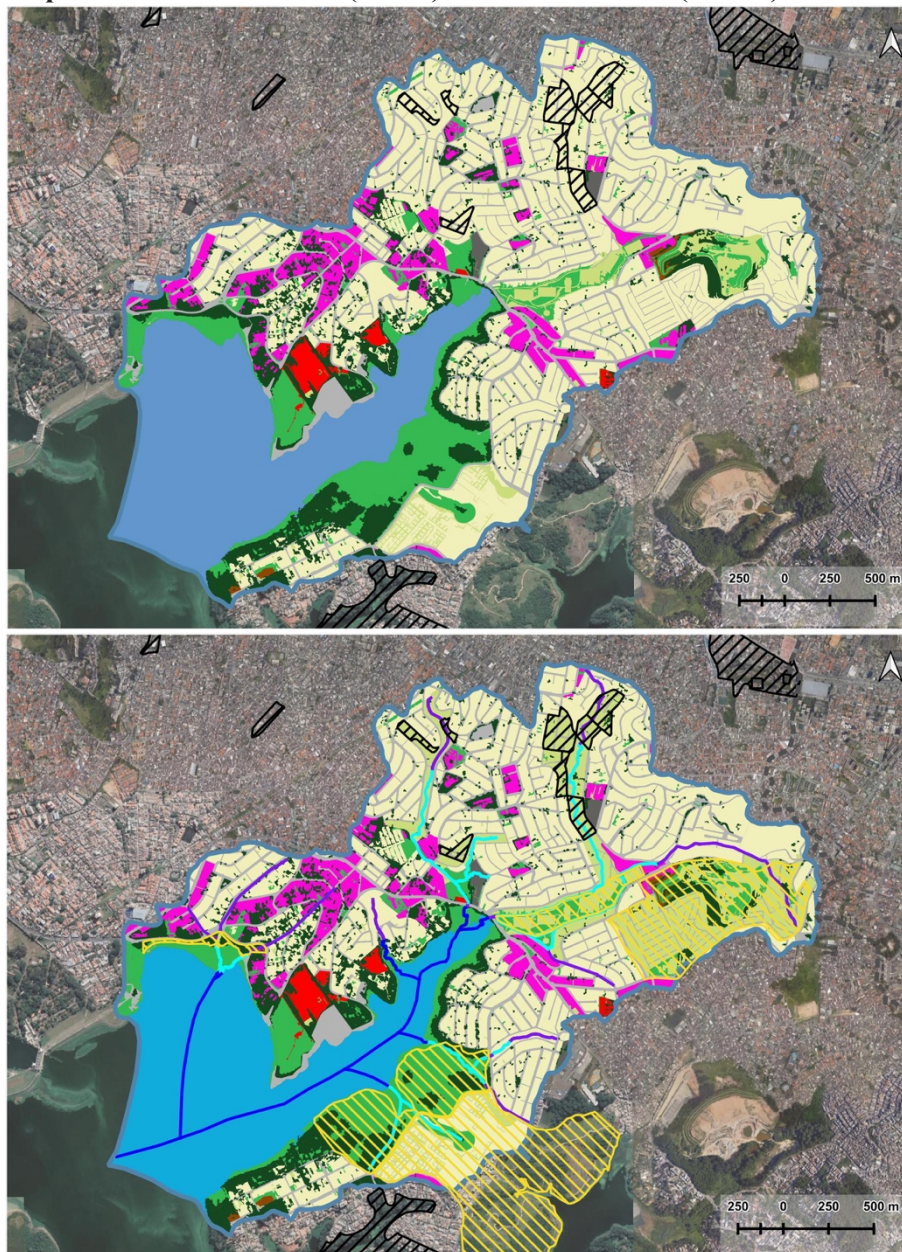
Figura 9 – Mapas de uso do solo atual (acima) e futuro simulado (abaixo) da bacia do córrego Apereiba



**Legenda**

- Município de São Paulo
- Bacia Córrego Apereiba
- Setores censitários prioritários
- Cursos d'água**
- Linha de talvegue/canal subterrâneo
- Canal aberto
- Uso do Solo**
- Floresta - cobertura boa
- Bosques ou zonas com cobertura ruim
- Zonas comerciais e de escritórios
- Parques de estacionamento
- Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições
- Zonas industriais
- Zonas residenciais com lotes < 500m<sup>2</sup>
- Terra
- Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais

Figura 10 – Mapas de uso do solo atual (acima) e futuro simulado (abaixo) da bacia córreg. Apucás



#### Legenda

--- MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

▨ Setores Censitários Prioritários

▨ Parques previstos no PDE

▭ Bacia Córrego Apucás

#### Cursos d'água

— Linha de talvegue/canal subterrâneo

— Canal Aberto

— Trecho de drenagem em represa

#### Uso do solo

■ Arruamentos e estradas asfaltadas com drenagem de águas pluviais

■ Floresta - cobertura boa

■ Bosques ou zonas com cobertura ruim

■ Zonas comerciais e de escritórios

■ Parques de estacionamento

■ Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições com relva em mais de 75% da área

■ Zonas industriais

■ Zonas residenciais - Lote < 500 m<sup>2</sup>

■ Terra

■ Represa

Observa-se que parte da bacia do córrego Apucás está coberta pela represa Billings, que é um reservatório artificial e, portanto, existia uma rede de drenagem superficial anteriormente à sua construção. O mapeamento dos recursos hídricos adotado no presente estudo foi obtido através do Portal GEOSAMPA, que delineou esses cursos d'água cobertos pela represa, com base nas linhas definidas a partir dos vetores provenientes do Mapa Digital da Cidade, da base do Plano Diretor de Drenagem. Este mapeamento foi realizado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da USP (FCTH) e Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU, atual SMUL). Entretanto, o uso como represa ou algo semelhante não é previsto no método SCS (conforme Tabela 7) e, portanto, não será utilizado na modelagem com o InVEST, sendo feito um recorte da bacia para ser possível aplicar o modelo.

Já os três cenários de precipitação foram obtidos de Silva et al. (2018), em que foram calculadas as curvas IDF para a estação hidrológica E3-035 IAG/USP, situada em São Paulo, (nas coordenadas 23°39' S e 46°38' O), para chuvas com duração de 120 minutos, para o contexto histórico e futuro, em que considerou as mudanças climáticas em dois cenários de concentração de gases do efeito estufa, ou seja, *Representative Concentration Pathways – RCP* de 4.5 e 8.5, sendo o último mais pessimista que o primeiro.

Dentre todos os cenários de chuvas futuras obtidos por Silva et al (2018), optou-se, no presente estudo, pelo uso das simulações com Tempo de Retorno<sup>15</sup> de 100 anos, por serem as mais críticas; e das precipitações do modelo disponibilizado pela Universidade Ocidental de Ontário, no Canadá, chamado de IDF\_CC<sup>16</sup> (SIMONOVIC et al., 2015), que considera na sua modelagem o conjunto de 24 GCM - *General Circulation Models* (Modelos de Circulação Global).

Desta forma, os dados de chuva utilizados para a aplicação no InVest foram os seguintes:

- Histórico (baseado na curva IDF): 104 mm;
- IDF\_CC para RCP 4.5: 131,2 mm;
- IDF\_CC para RCP 8.5: 140,4 mm.

---

<sup>15</sup> Na análise das chuvas máximas, Tempo de Retorno é interpretado como o número médio de anos durante o qual espera-se que a precipitação analisada seja igualada ou superada (TUCCI, 2004)

<sup>16</sup> IDF\_CC é uma ferramenta baseada na internet para modelagem das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) em um contexto de mudança do clima. Está na sua 6ª versão e foi desenvolvida pelo Departamento de engenharia civil e ambiental e pelo Instituto para Redução de Perdas por Catástrofes, da Universidade Ocidental de Ontário, no Canadá. Disponível em < <https://www.idf-cc-uwo.ca/home>>, acesso em julho/2022. Software para desenvolvimento de curvas IDF sob efeito das mudanças climáticas, que permite aos usuários selecionar múltiplos cenários futuros de concentração de gases com efeito de estufa (RCPs) e aplicar os resultados de uma seleção de 24 Modelos de Circulação Global (GCMs) e 9 GCMs reduzidos que simulam várias condições climáticas a dados de precipitação local.



## 6. Resultados e Discussão

### 6.1. Caracterização da pressão ecológica

A seguir será apresentado o mapa de localização das sub-bacias hidrográficas do município e os principais cursos d'água na Figura 11, e o mapa de localização das subprefeituras na Figura 12, que possuem referências locais para as explicações e discussões dos resultados obtidos até o momento.

O mapeamento da pressão ecológica indica quais setores censitários apresentam algum problema real ou potencial identificado de alagamento ou inundação, seja por ocorrências mapeadas pela Prefeitura de São Paulo (real), seja pelo mapeamento de áreas com susceptibilidade a inundações (potencial). A Figura 13 exibe os dados que originaram o Mapa da Pressão Ecológica, o qual foi apresentado na Figura 14.

Verifica-se que os locais com maiores pressões do escoamento superficial e risco de inundação são os eixos dos rios Tietê e Pinheiros, além de alguns de seus principais afluentes, já conhecidos por problemas de drenagem, como os rios Tamanduateí, Aricanduva e Jacu (tributários do Tietê) e córregos Pirajussara e Jaguaré (tributários do Pinheiros). O Rio Tremembé (divisa com Guarulhos, subprefeitura de Jaçanã-Tremembé) e o Ribeirão Perus (divisa com Caieiras, subprefeitura de Perus), que não são afluentes diretos do Tietê, também merecem destaque.

É necessário fazer a ressalva em relação ao tamanho dos setores censitários, que podem dar a impressão de que uma região apresenta um maior problema do que realmente existe, ou vice-versa, ou seja, na área urbanizada do município, no "miolo" dos bairros, em que há mais população e, portanto, os setores censitários são menores, as pressões por inundação e alagamento parecem menores ou passam uma sensação de menor importância do que as em setores censitários maiores, que estão situados em sua grande maioria nas regiões mais periféricas e rurais (extremos norte, leste e sul). Exemplo disso são grandes áreas em Parelheiros e beirando as represas Billings e Guarapiranga com alta susceptibilidade a inundações, que foram assim definidas em função de pequenas manchas mapeadas por IPT (2014). Esta é uma distorção que foi reduzida quando estes dados foram cruzados com os fatores socioeconômicos e edificações existentes.

Figura 11 - Mapa de localização das sub-bacias hidrográficas do município e principais cursos d'água

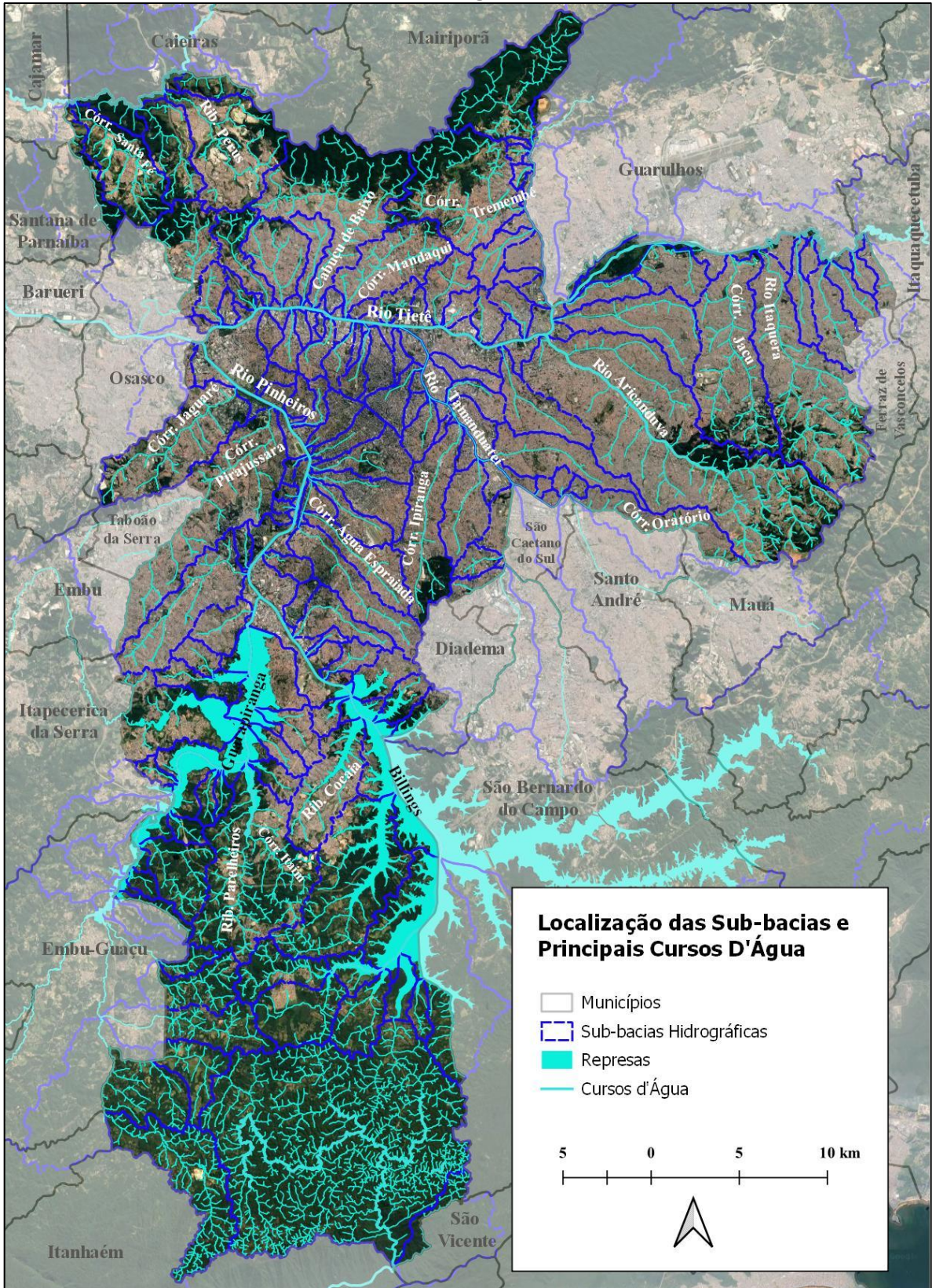


Figura 12 - Mapa de Localização das Subprefeituras

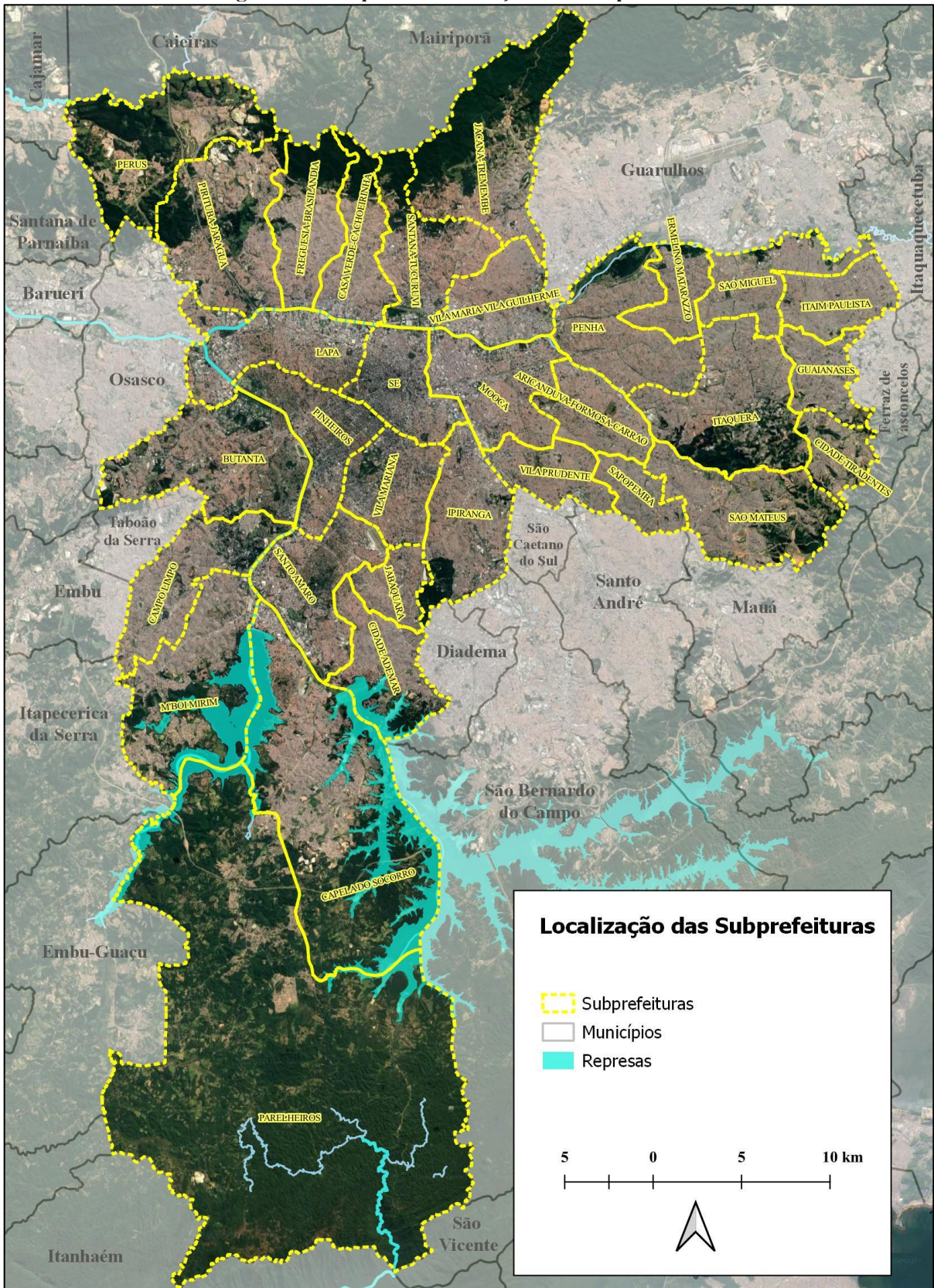


Figura 13 - Dados que serviram de base para classificação da pressão ecológica

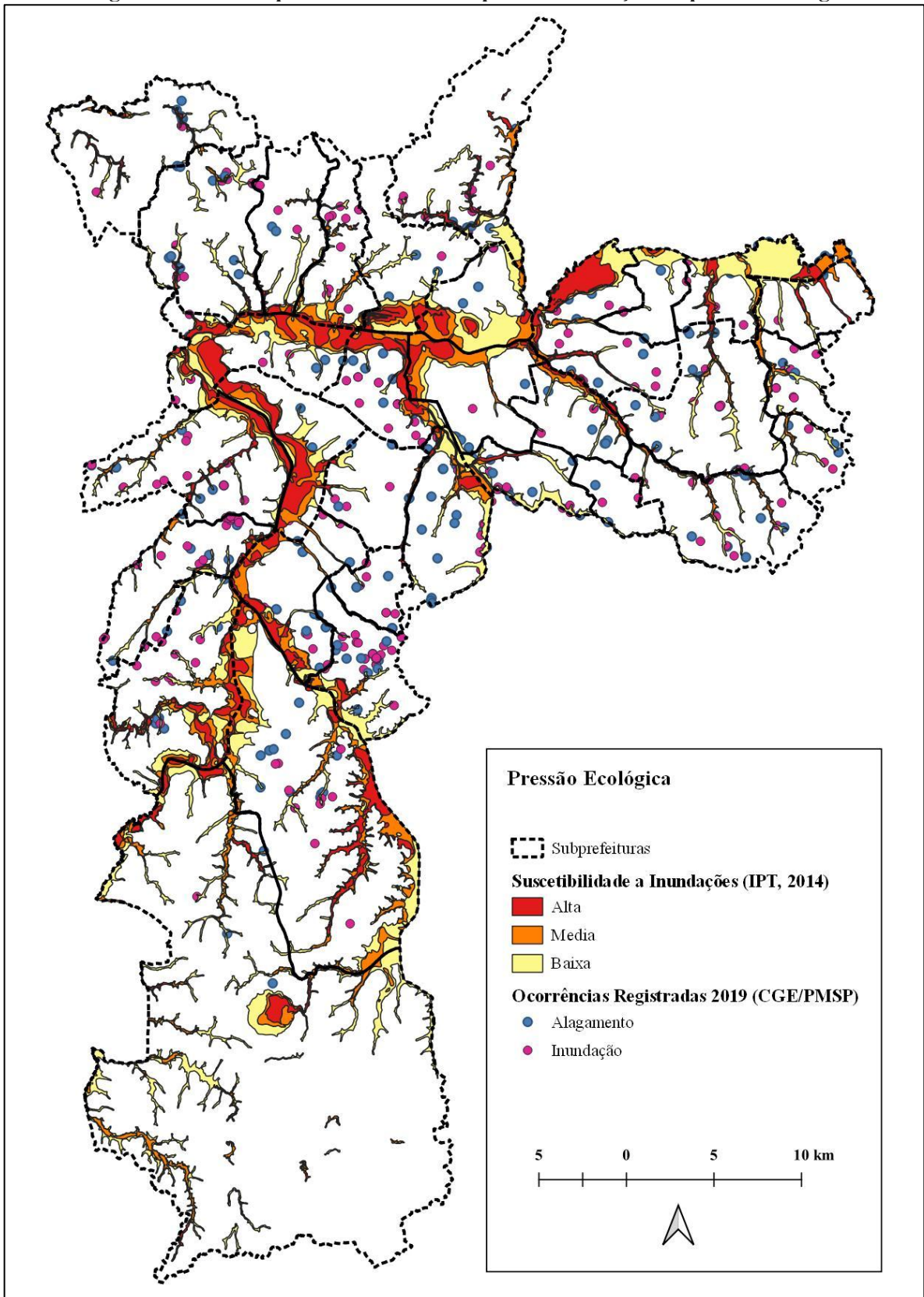
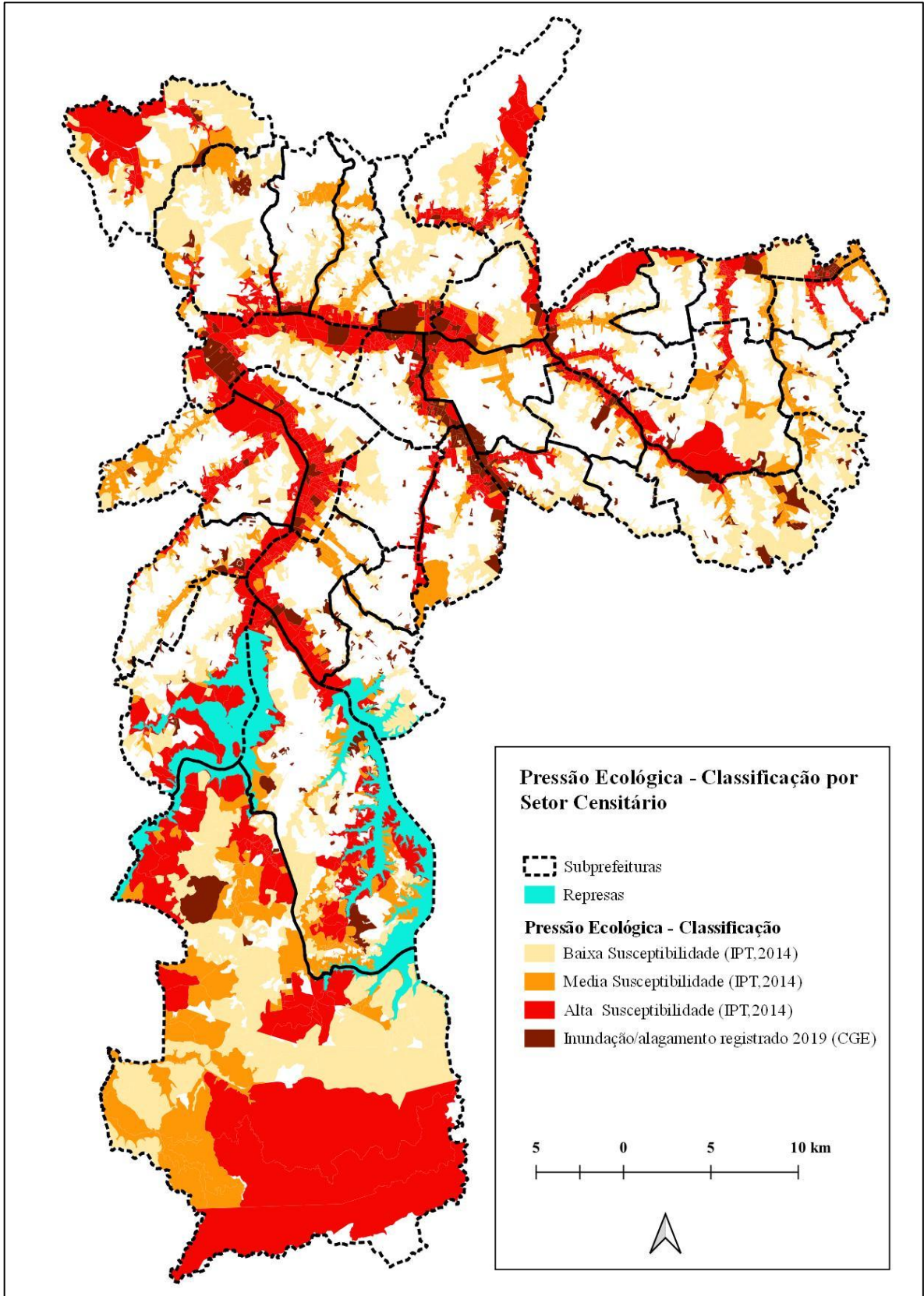


Figura 14 - Mapa da Pressão Ecológica - Classificação por Setor Censitário



## 6.2. Caracterização da demanda pelo SE

A Figura 15 a seguir apresenta os mapas parciais de vulnerabilidade social, conforme indicadores para população socialmente vulnerável escolhidos e explicados no item 5.2, quais sejam: a) % de crianças com idade menor ou igual a 5 anos; b) % idosos com idade maior ou igual a 65 anos; c) % mulheres responsáveis pelo domicílio; d) presença de favelas e; e) % domicílios com renda per capita até 1/2 salário-mínimo.

A existência de favela é um indicador que não é percentual como os outros e, por isso, ele foi tratado como um indicador tipo binário, ou seja, se existe favela num setor censitário, mesmo que esta esteja somente parcialmente inserida nele, o valor para este indicador foi considerado como 100%. Da mesma forma, se não houver nenhum trecho de favela no setor censitário, o indicador foi colocado como 0%. Ressalta-se que este critério é espacializado através de um arquivo *shapefile* de polígonos.

Observa-se na Figura 15, mapa "a", que há uma maior população de crianças com idade menor ou igual a 5 anos nas regiões mais periféricas da cidade, ao contrário do que se verifica no mapa "b", em que as áreas mais centrais da cidade concentram percentualmente mais pessoas idosas, com idade maior ou igual a 65 anos. O mapa "e" apresenta um padrão semelhante de distribuição dos dados, isto é, fica bem definido que as periferias apresentam maiores percentuais de domicílios com renda per capita até 1/2 salário mínimo, especialmente nas subprefeituras de Parelheiros e Capela do Socorro na zona sul, e nas de São Mateus e Itaquera na zona leste. De forma geral, através do mapa "d", pode-se dizer que a distribuição de favelas na cidade também obedece a esta divisão centro-periferia, onde as franjas da área urbana concentram as favelas, o que já era esperado, conforme visto nas referências bibliográficas. O único indicador que destoia é o de percentual de mulheres responsáveis pelo domicílio, cuja distribuição pode ser considerada mais homogênea pelo município.

Vale mencionar que no limite norte do município está localizado o Parque Estadual da Cantareira, o que justifica os baixos percentuais em todos os indicadores, assim como a área do Parque do Carmo, na subprefeitura de Itaquera, na zona leste.

Após a aplicação da análise multicritério com os cinco indicadores de vulnerabilidade social, foi gerado o mapa da Figura 16. Como os maiores pesos foram dados para os indicadores de presença de favelas e percentual de domicílios com renda per capita até 1/2 salário mínimo, o mapa de prioridade para proteção da população socialmente vulnerável concentrou os maiores valores nas regiões urbanas periféricas.

Figura 15 - Mapas parciais de vulnerabilidade social por setor censitário

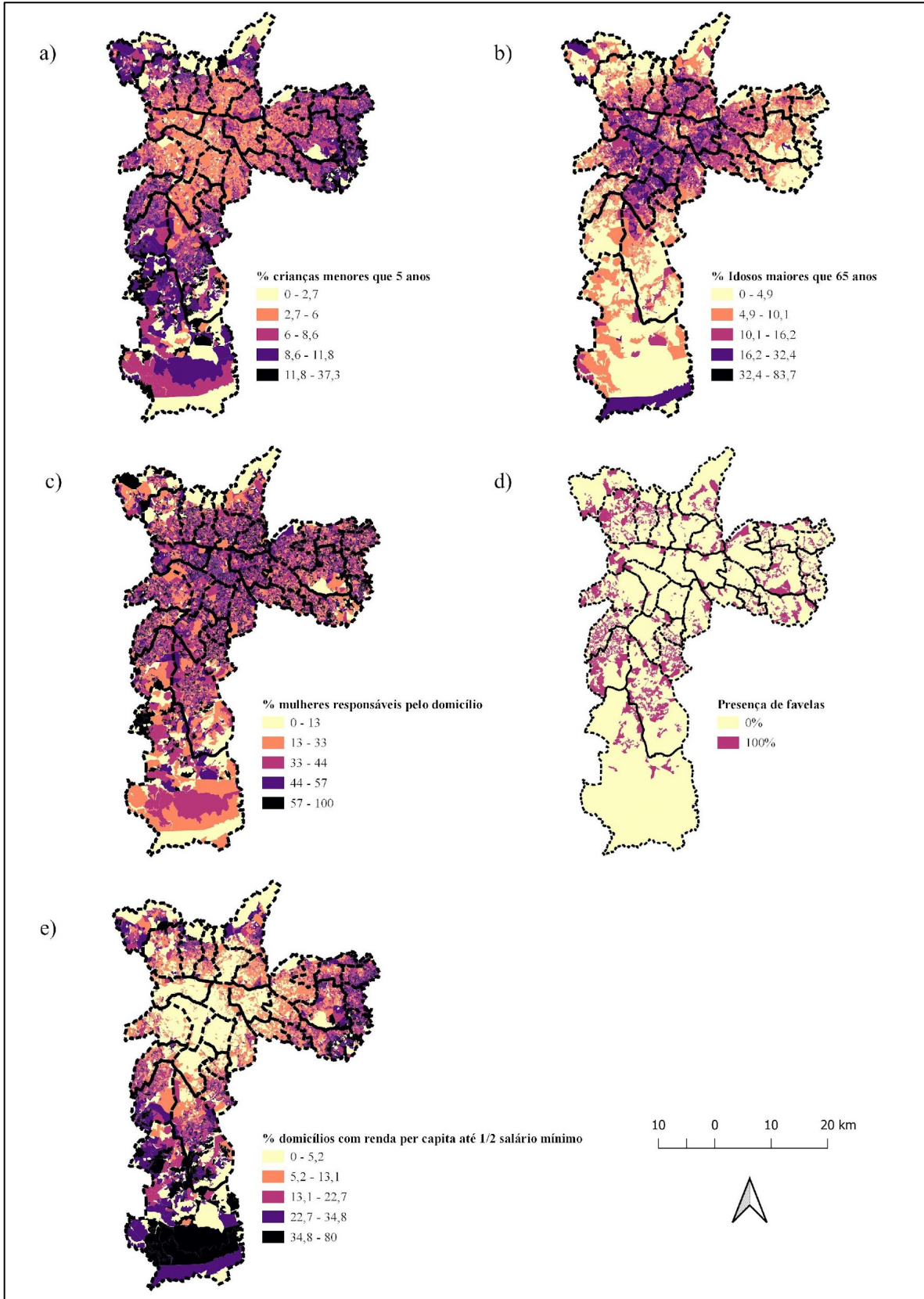
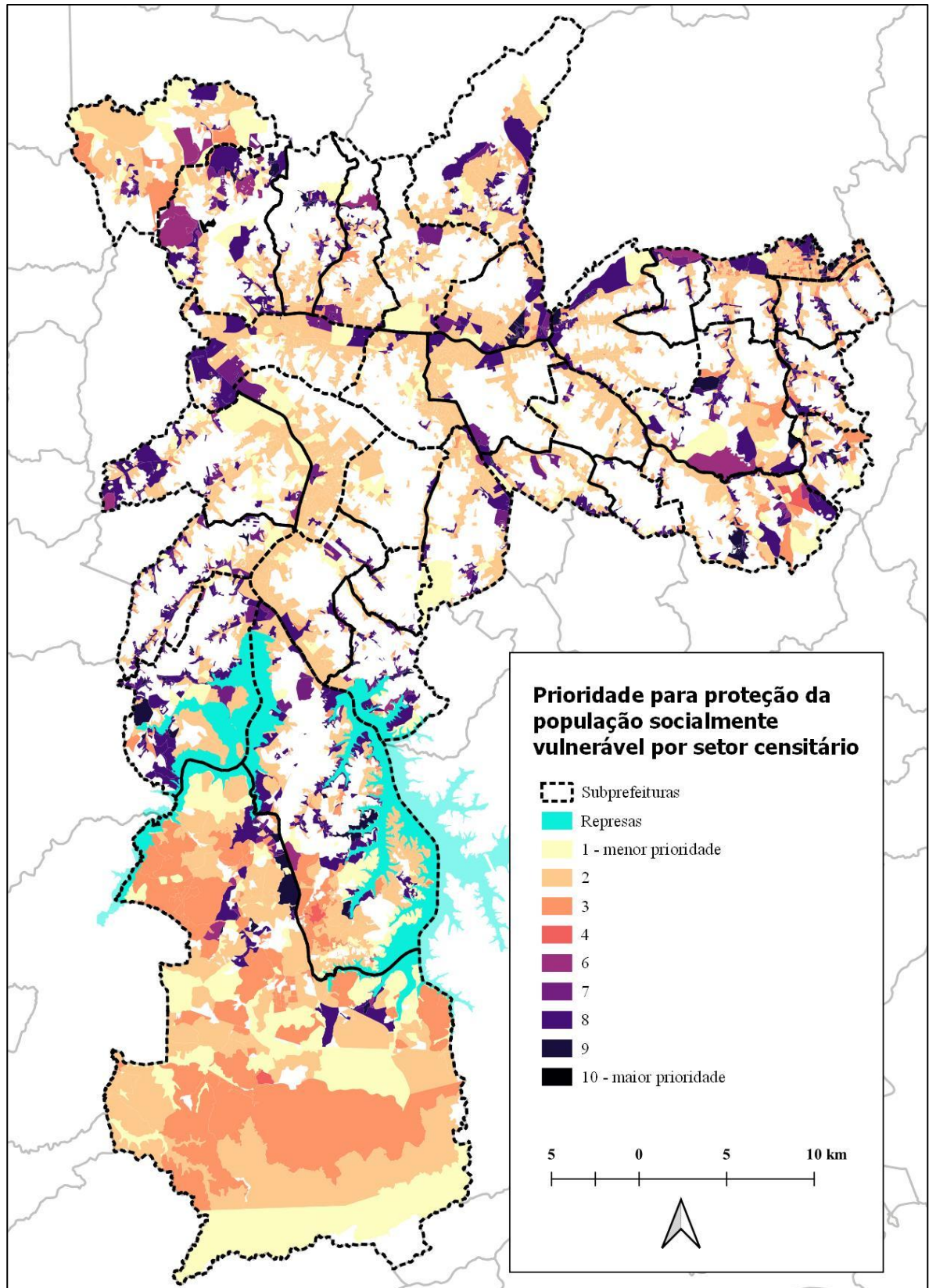


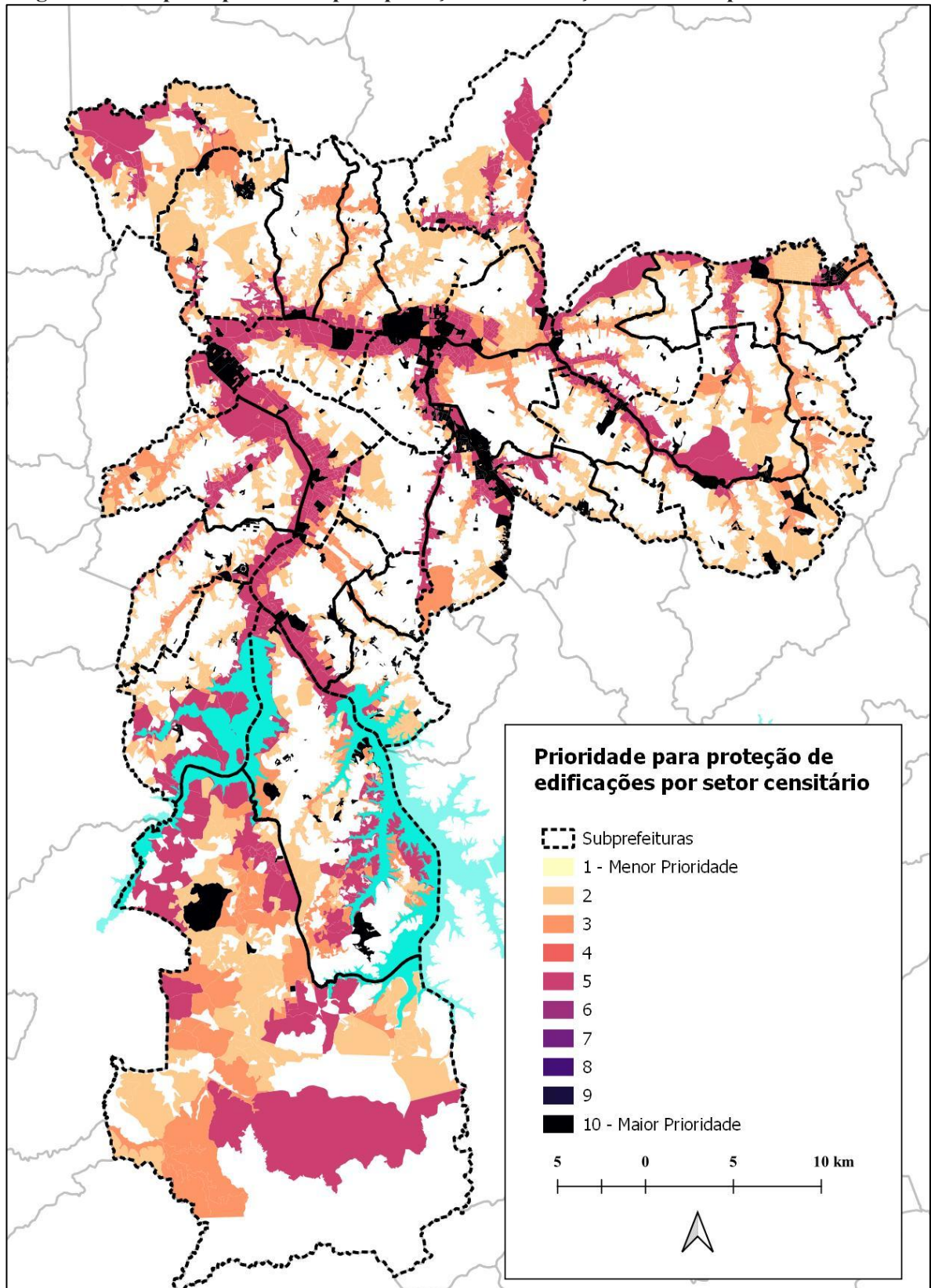
Figura 16 - Mapa de prioridade para proteção da população socialmente vulnerável por setor censitário





A seguir é apresentado o mapa de prioridade para proteção de edificações, na Figura 17, como já explicado, por questões de simplificação, foi considerada que toda a área urbana prevista no Plano Diretor Estratégico está edificada. Com isto, tendo em vista que grande parte do município está dentro da zona urbana, este mapa indica que os locais de maior prioridade são os mais susceptíveis a inundações, semelhante ao Mapa da Pressão Ecológica, ou seja, os setores com ocorrência registrada são os de maior prioridade, enquanto os setores com baixa vulnerabilidade às inundações são os de menor prioridade.

Figura 17 - Mapa de prioridade para proteção das edificações existentes por setor censitário



Os dados dos mapas apresentados na Figura 16 e Figura 17 passaram por nova análise de prioridade pelo método AHP, gerando um mapa final, exposto na Figura 18 dos setores censitários prioritários para proteção contra inundações (que consiste na demanda do SE de mitigação do escoamento superficial, ou seja, onde estão os maiores beneficiários do referido serviço). Tal mapa mostra os setores censitários mais problemáticos em relação a inundação e alagamento com base nos critérios escolhidos.

Observa-se que as grandes áreas de Parelheiros já não aparecem como maior prioridade, mesmo tendo sido avaliadas como com alta susceptibilidade à inundação no Mapa da Pressão Ecológica. Os eixos dos rios Tietê e Tamanduateí continuam tendo destaque como áreas com alta prioridade, assim como o rio Pinheiros na altura do Cebolão, na região do CEAGESP (quando encontra com o rio Tietê), o que era esperado, pois são áreas com problemas históricos de inundação, e são bacias hidrográficas relativamente grandes, que recebem o escoamento de boa parte das sub-bacias presentes no município. Além disso, são cursos d'água (pelo menos seus trechos que estão no município) inseridos totalmente na malha urbana, portanto, com edificações em praticamente toda sua extensão. Outro ponto a salientar é que os eixos destes rios concentram diversas favelas, construídas em antigos terrenos baldios e/ou abandonados, ou em locais de restrição ambiental / legal, ocupados irregularmente pela população, como foi observado na Figura 15d.

Na região entre os rios Tietê e Pinheiros, nas subprefeituras da Lapa, Pinheiros, Sé e Vila Mariana, praticamente não há setores censitários com alta prioridade que não sejam vinculados aos rios Pinheiros e Tietê, o que era esperado, por ser uma região de menor vulnerabilidade social e com menor pressão ecológica.

Saindo da área central, verificam-se na região norte (acima do rio Tietê), setores com maior prioridade nas subprefeituras de Vila Maria – Vila Guilherme e na de Pirituba – Jaraguá, principalmente. Já quando são analisadas as sub-bacias, destacam-se, as dos ribeirões Vermelho (divisa com Osasco) e Perus (que deságua no rio Juqueri), dos córregos Carandiru e Apereíba (afluentes diretos do Tietê), e rio Tremembé (tributário do rio Cabuçu de Cima).

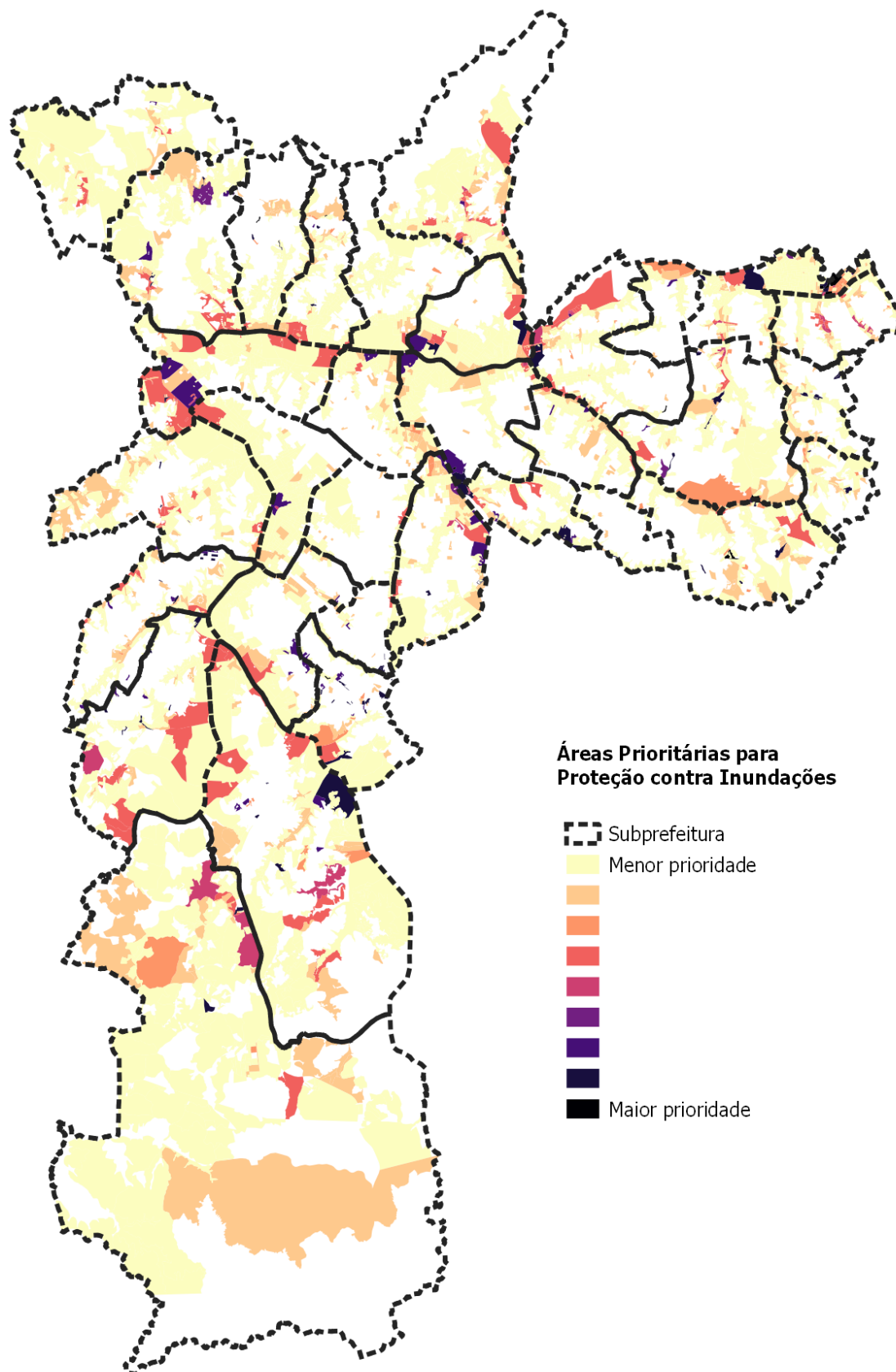
Na região leste, as bacias do rio Aricanduva e do córrego Jacu possuem regiões classificadas com maior prioridade, assim como o córrego Itaim e o ribeirão Lageado, no extremo leste, já na divisa com Guarulhos e Ferraz de Vasconcelos.

Na região oeste, os maiores destaques estão justamente na região do CEAGESP, portanto, nas margens do rio Pinheiros quando este encontra o Tietê. E no córrego Pirajussara, que é um afluente da margem esquerda do Pinheiros, e cuja bacia está parcialmente inserida no município de São Paulo.

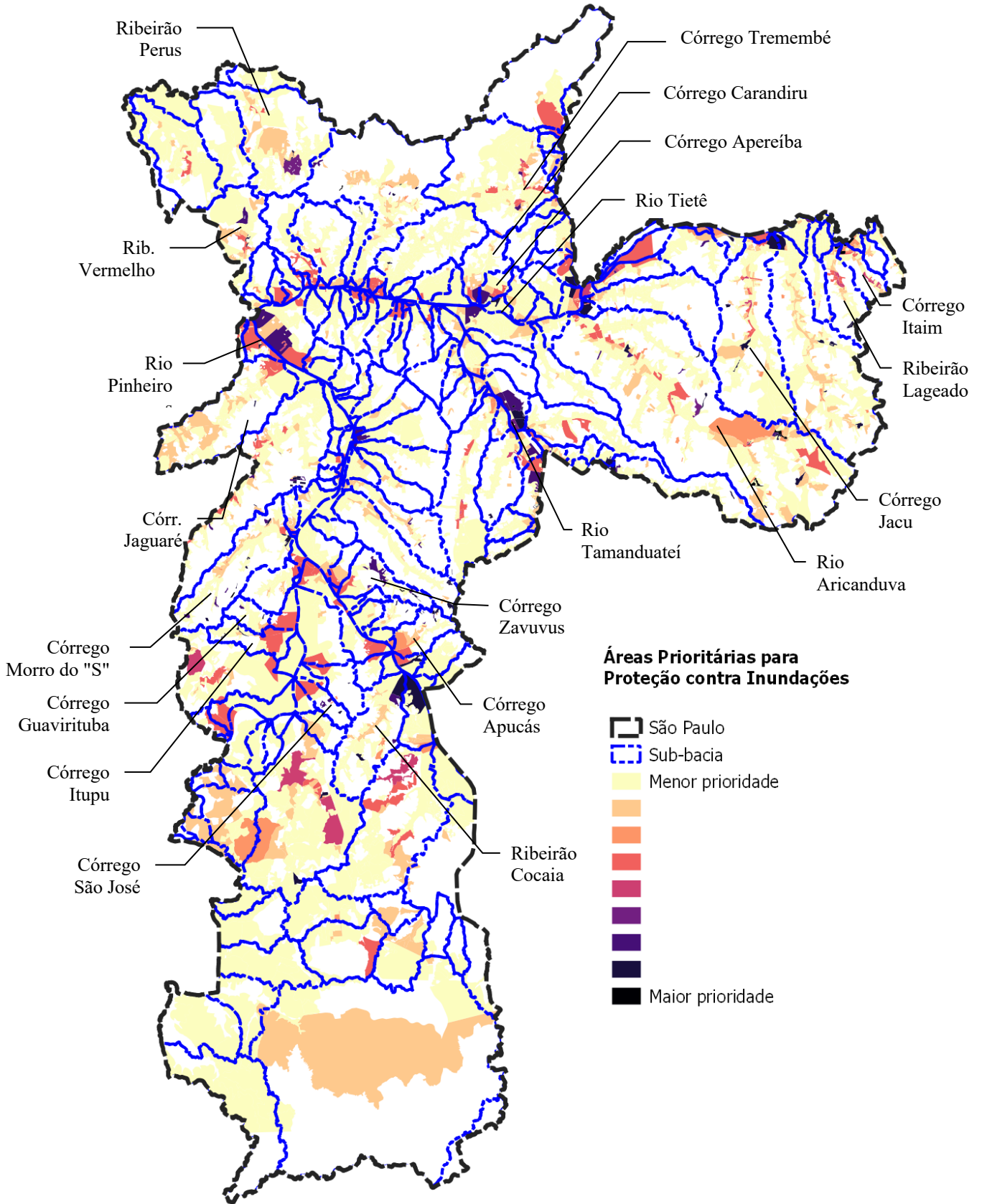
Na zona sul, os setores mais prioritários se concentram nas bacias dos córregos Zavuvus, Apucás, Pedreiras, Morro do S, São José, Itupu e Guavirituba. Destaca-se que na subprefeitura de Parelheiros quase não houve SC classificado com alta prioridade.

Ressalta-se que os setores censitários utilizados são do CENSO de 2010, o último disponível, o que pode não refletir mais a realidade atual, já que a dinâmica urbana é intensa e pode alterar bastante o uso e ocupação de um local após mais de uma década. Isto implica em possíveis distorções dos tamanhos dos setores censitários com a situação atual, pois locais que eram pouco ocupados em 2010 podem estar mais povoados atualmente. Além disso, alguns setores censitários são territorialmente grandes e foram classificados com alta prioridade, o que pode aparentar que uma bacia tem mais problemas do que outras, simplesmente porque um setor censitário de grandes dimensões foi classificado como mais prioritário. Um exemplo disso encontra-se na subprefeitura de Pinheiros, onde há uma grande mancha de alta prioridade na confluência do córrego Sapateiro (que passa pelo Parque do Ibirapuera) com o rio Pinheiros, mas esta sensação é ocasionada por um setor censitário somente, e que não necessariamente reflete num problema tão grande na região.

**Figura 18 - Mapa dos setores censitários prioritários para proteção contra inundações - Por Subprefeitura**



**Figura 19 - Mapa dos setores censitários prioritários para proteção contra inundações - Por Sub-bacia**



### 6.3.Caracterização da Oferta dos SE

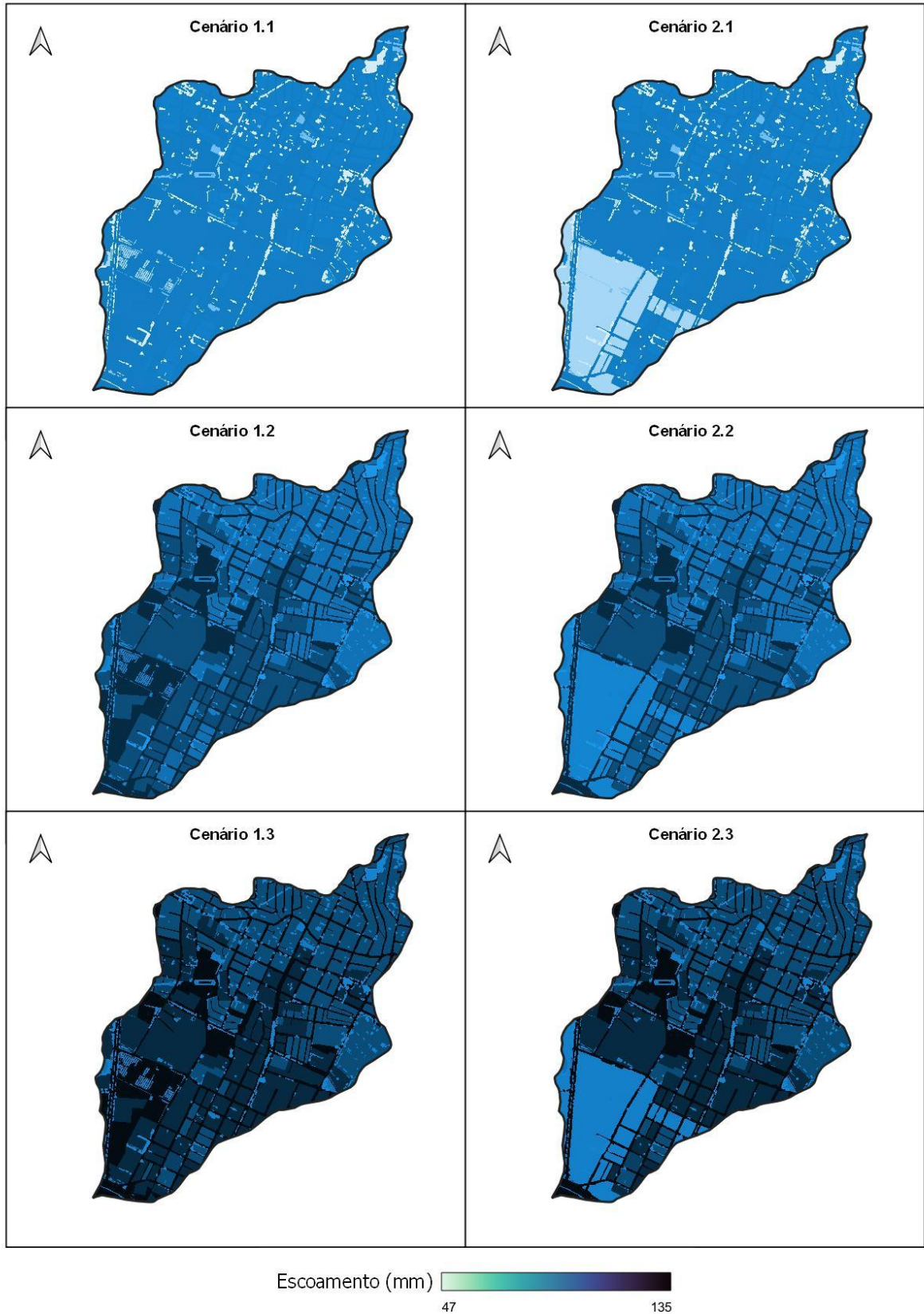
Os resultados obtidos nos seis cenários analisados para as duas sub-bacias escolhidas para a modelagem, ou seja, bacias dos córregos Apucás e Apereiba, estão apresentados quantitativamente na Tabela 10, e graficamente na Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23 (os valores das legendas nestas figuras são relacionados a cada pixel de 1 x 1m).

**Tabela 10 – Resultados numéricos das simulações feitas no InVEST**

Variável	Uso do Solo Atual			Uso do Solo Futuro (com aumento da Infraestrutura Verde)		
	Cenário 1.1	Cenário 1.2	Cenário 1.3	Cenário 2.1	Cenário 2.2	Cenário 2.3
<b>Precipitação (mm)</b>	104	131,2	140,4	104	131,2	140,4
<b>Bacia Apereiba</b>						
<b>Retenção (m<sup>3</sup>)</b>	50.371	52.371	52.907	64.185	67.487	68.380
<b>Escoamento (m<sup>3</sup>)</b>	244.250	319.305	344.833	230.437	304.189	329.359
<b>Bacia Apucás</b>						
<b>Retenção (m<sup>3</sup>)</b>	151.798	160.329	162.642	165.585	175.687	178.435
<b>Escoamento (m<sup>3</sup>)</b>	425.640	568.131	616.899	411.853	552.773	601.106

Como já explicado no item 5.3.3, salienta-se que o recorte da bacia do córrego Apucás está diferente do apresentado anteriormente, em função da construção do reservatório da Billings, que ocupa parte da bacia original desse curso d'água e cujo uso não é previsto no método SCS. Para que fosse possível manter as bases vetoriais de delimitação de sub-bacias e de cursos d'água que já vinham sendo utilizadas no estudo, e considerando que a modelagem do InVEST adotada aplica as fórmulas em cada pixel, e um pixel não influencia no seu vizinho, optou-se por fazer este recorte.

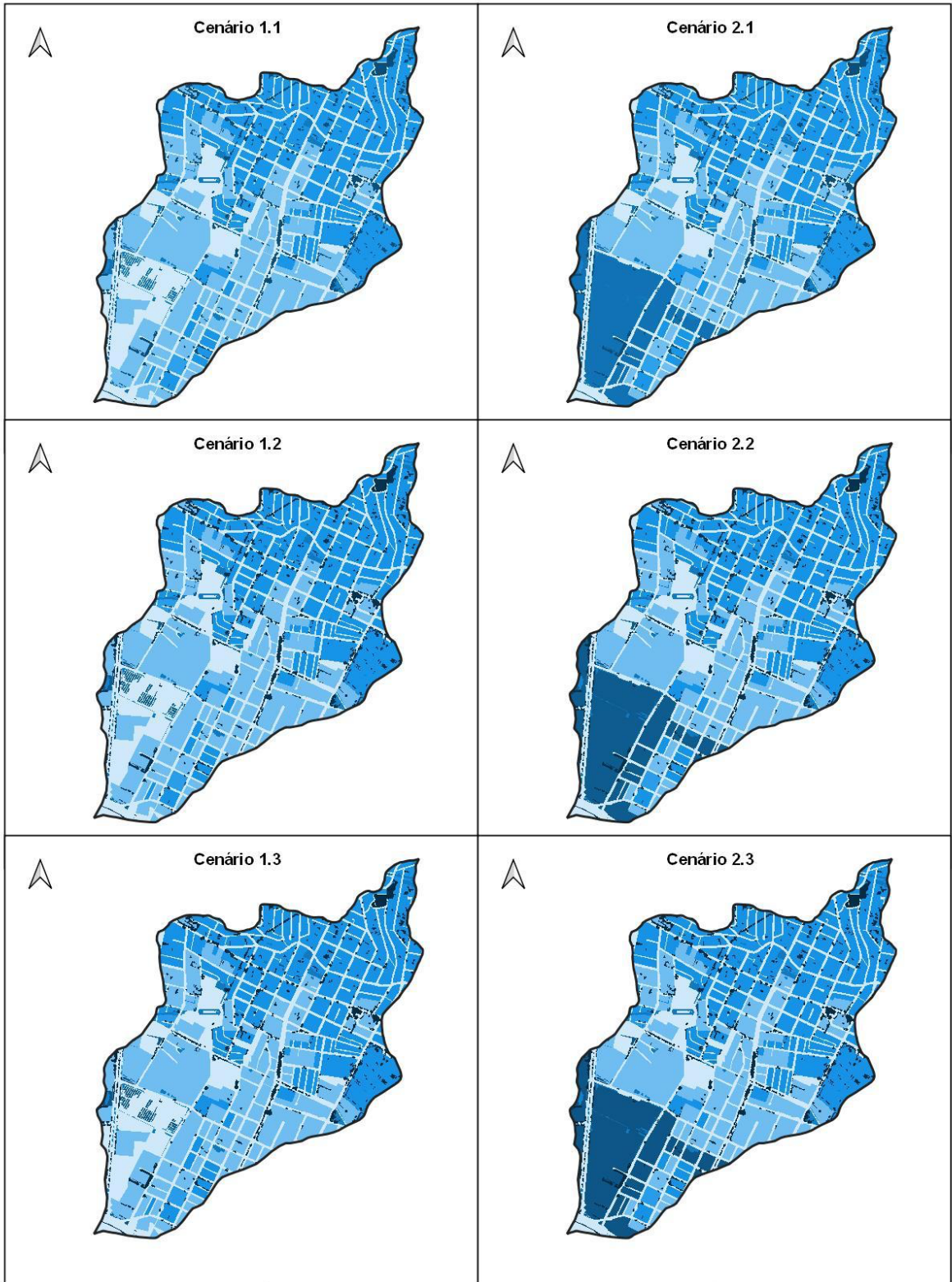
Figura 20 - Resultados gráficos do InVEST para escoamento superficial –Bacia do Córrego Apereiba (s/ escala)<sup>17</sup>



<sup>17</sup> Os resultados numéricos do InVEST são em  $m^3$  para escoamento superficial, como mostra a Tabela 10. Já os gráficos são dados em mm (em arquivo *raster*), por isto haverá esta diferença de unidade do quadro e figuras.



Figura 21 - Resultados gráficos do InVEST para retenção – Bacia do Córrego Apareiba (s/ escala)



Retenção (m<sup>3</sup>)  0,005 0,07

Figura 22 - Resultados gráficos do InVEST para escoamento superficial – Bacia do Córrego Apucás (s/ escala)

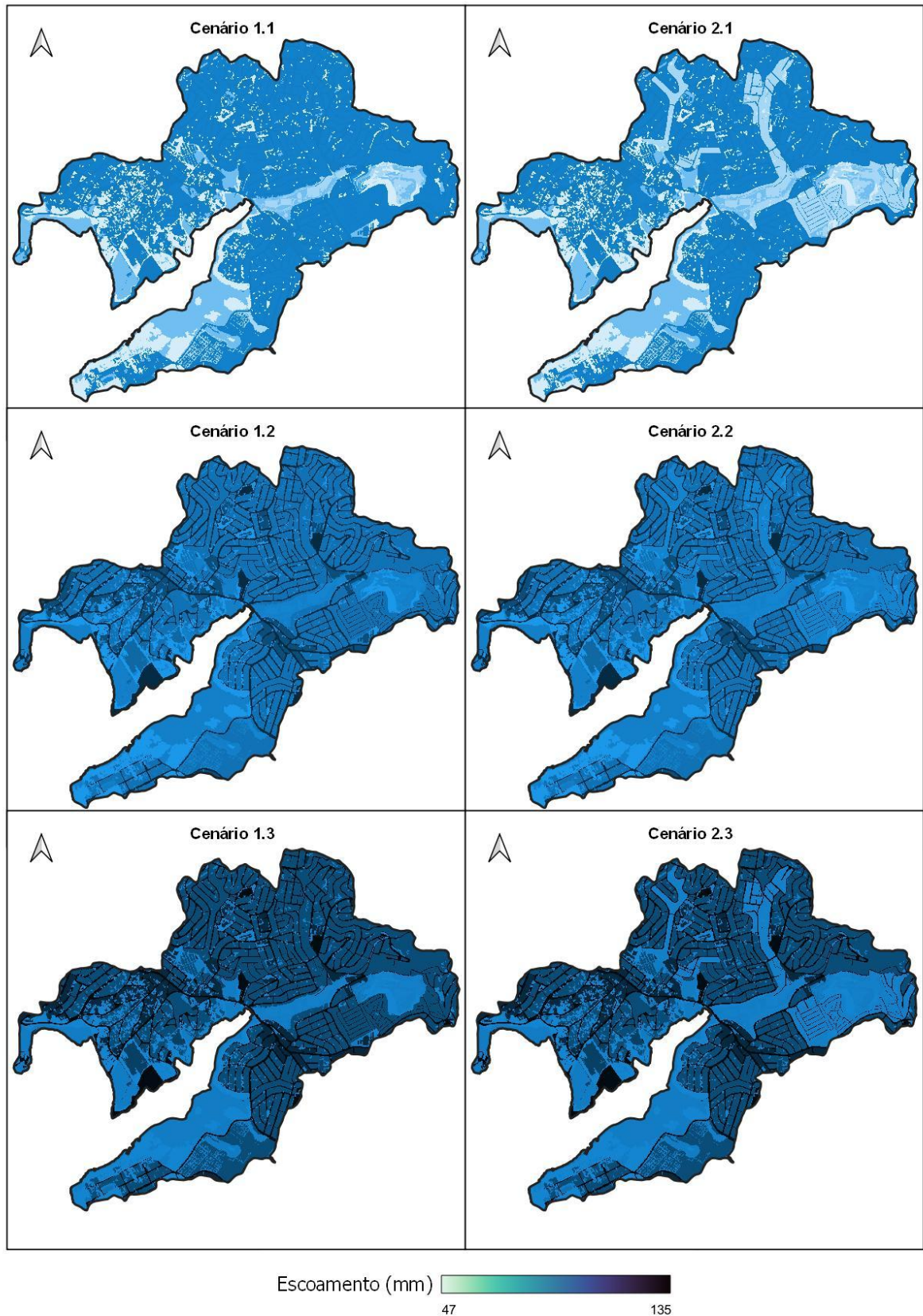
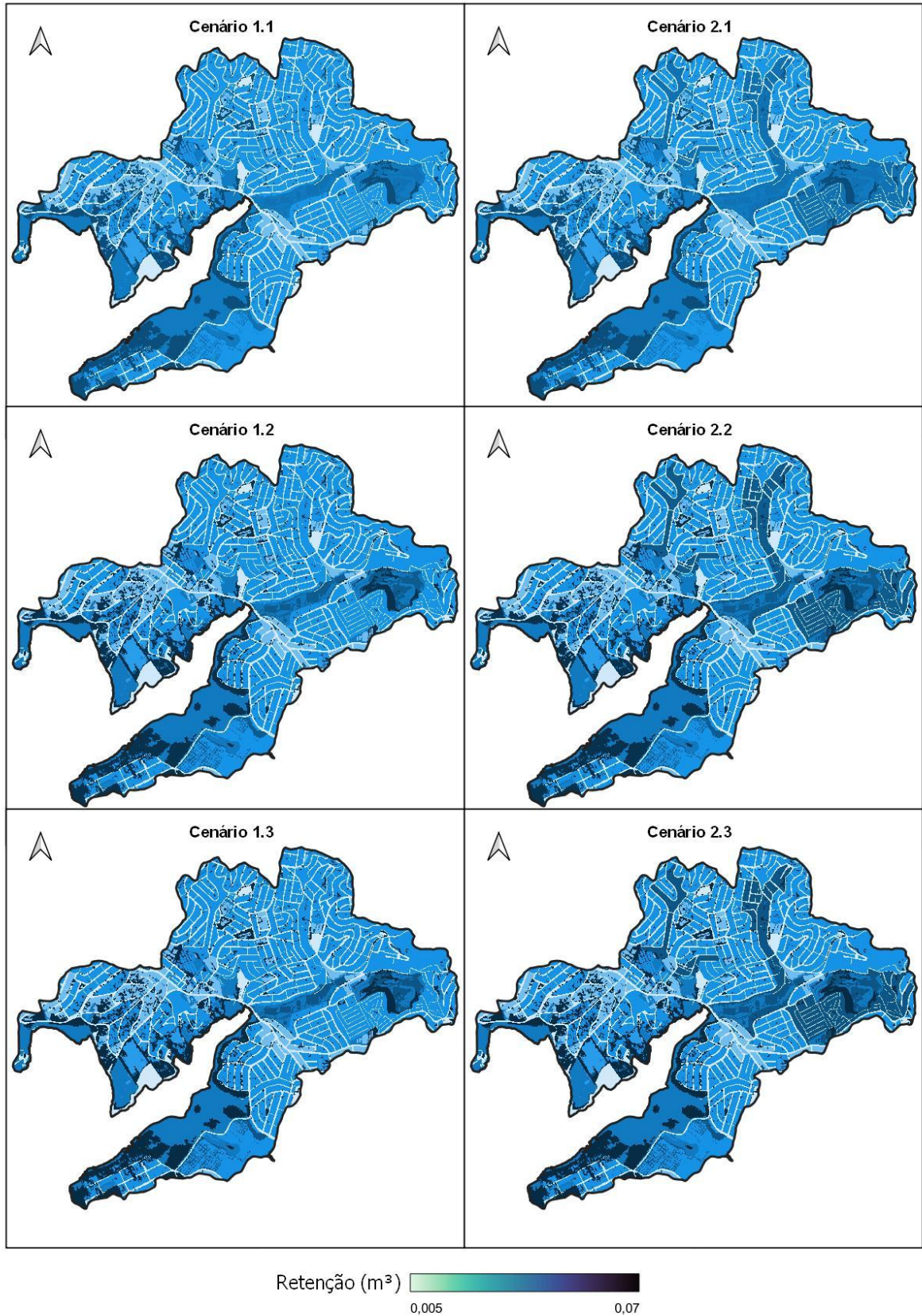


Figura 23 - Resultados gráficos do InVEST para retenção – Bacia doCórrego Apucás (s/ escala)



Ao comparar os cenários 1.2 e 1.3 com o 1.1, ou seja, considerando que o uso do solo atual é mantido e as chuvas se intensificam, verifica-se que a retenção não aumentou significativamente, quando comparada com o aumento da precipitação, conforme mostra a Tabela 11. Enquanto a precipitação aumentou 26% na Comparação 1 e 35% na Comparação 2, a retenção aumentou somente 3,97% e 5,03% na bacia do córrego Apereiba, e o escoamento superficial subiu 30,73% e 41,18%, respectivamente. Na bacia do córrego Apucás observa-se uma situação semelhante, com crescimento de 5,62% e 7,14% da retenção e 33,48% e 44,93% do escoamento superficial na Comparação 1 e 2, respectivamente.

Os resultados gráficos deixam isto evidente, visto que na Figura 21 e na Figura 23, as imagens à esquerda demonstram a manutenção do uso do solo atual com o aumento da precipitação, e visualmente quase não se percebe variação nos valores de retenção.

Ao aplicar a modelagem do InVEST para o uso futuro com o aumento de chuva, os resultados comparativos foram semelhantes ao uso do solo atual e, por isso, não serão discutidos, entretanto, as comparações realizadas estão apresentadas na Tabela 11.

Neste contexto, infere-se que a retenção se encontra muito próxima ao seu limite máximo, visto que ela aumentou muito pouco em comparação com o escoamento. Isto é, caso os usos atuais ainda tivessem capacidade de retenção “sobrando”, a intensificação das chuvas refletiria em valores maiores de retenção e menores de escoamento. Assim, se o uso do solo for mantido da forma que está e, portanto, não houver aumento da capacidade de retenção, haverá uma piora dos problemas de inundação.

**Tabela 11 – Impacto do aumento da precipitação, com a manutenção do uso do solo atual**

Variável	Uso do solo atual, com aumento da precipitação		Uso do solo futuro, com aumento da precipitação	
	Comparação 1 (Cenário 1.2 / Cenário 1.1)	Comparação 2 (Cenário 1.3 / Cenário 1.1)	Comparação 3 (Cenário 2.2 / Cenário 2.1)	Comparação 4 (Cenário 2.3 / Cenário 2.1)
<b>Precipitação</b>	26%	35%	26%	35%
<b>Bacia Apereiba</b>				
<b>Retenção</b>	3,97%	5,03%	5,15%	6,54%
<b>Escoamento</b>	30,73%	41,18%	32,01%	42,93%
<b>Bacia Apucás</b>				
<b>Retenção</b>	5,62%	7,14%	6,10%	7,76%
<b>Escoamento</b>	33,48%	44,93%	34,22%	45,95%

A Tabela 12 a seguir apresenta a comparação entre os cenários de uso do solo atual com os de uso do solo futuro, mantidas as quantidades de chuva, portanto, cenário 2.1 com cenário 1.1 (Comparação 5), cenário 2.2 com cenário 1.2 (Comparação 6) e cenário 2.3 com cenário 1.3 (Comparação 7). Observa-se um aumento da retenção e uma redução do escoamento superficial, como era esperado. As Figuras 20 a 23 também demonstram isto, através das quais fica evidente que há aumento da retenção e redução do escoamento superficial somente onde ocorreu a alteração do uso do solo, em função do método utilizado (SCS-CN). Em valores absolutos (vide Tabela 10), o escoamento mantém valores altos, mas não é possível indicar que isto ocasionará maiores eventos de inundações.

**Tabela 12 – Impacto do aumento da infraestrutura verde nos quantitativos de retenção e escoamento superficial**

<b>Variável</b>	<b>Comparação 5 Cenário 2.1 / Cenário 1.1</b>	<b>Comparação 6 Cenário 2.2 / Cenário 1.2</b>	<b>Comparação 7 Cenário 2.3 / Cenário 1.3</b>
<b>Bacia Apereiba</b>			
<b>Retenção</b>	27,42%	28,86%	29,25%
<b>Escoamento</b>	-5,66%	-4,73%	-4,49%
<b>Bacia Apucás</b>			
<b>Retenção</b>	9,08%	9,58%	9,71%
<b>Escoamento</b>	-3,24%	-2,70%	-2,56%

Percentualmente, o aumento da retenção na bacia do córrego Apereiba foi muito maior que na bacia do Apucás. Isto se deu em função dos usos que foram substituídos por IV em cada bacia, isto é, na bacia do córrego Apereiba 12,45% da área total da bacia foi substituída por gramado, dos quais 5,15% eram comércios e escritórios, 6,74% eram estacionamentos e 0,56% residenciais. Enquanto na bacia do córrego Apucás houve uma troca de 8,9% de usos para gramado, sendo somente 0,15% de comércios e escritórios e 8,74% de residências. Como o uso residencial possui menor valor de CN que os usos comercial e de serviços e o de estacionamento, o que implica que o primeiro é mais favorável à retenção da água das chuvas do que os últimos, a mudança de áreas residenciais para gramados impactou menos na retenção do que a mudança de usos ocorrida na bacia do córrego Apereiba. Estes dados são vistos na Tabela 13

Tabela 13 - Áreas substituídas por infraestrutura verde em cada bacia

Uso do Solo Substituído por IV	Córrego Apereiba*		Córrego Apucás*	
	m <sup>2</sup>	%	m <sup>2</sup>	%
Zonas comerciais e de escritórios	145.985	5,15	8.550	0,15
Zonas Residenciais	15.968	0,56	487.904	8,74
Parques de Estacionamento	190.926	6,74	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>352.879</b>	<b>12,45</b>	<b>496.454</b>	<b>8,9</b>

\* Área total da bacia do córrego Apereiba é 2.834.106 m<sup>2</sup> e do córrego Apucás é 5.580.637 m<sup>2</sup>

Como já colocado no item 5.3, o modelo do InVEST possui limitações em função de sua simplicidade, que também o faz ser um modelo bastante utilizado. Como não foi possível calibrar e validar o modelo para as sub-bacias avaliadas, os valores absolutos de escoamento superficial e retenção não foram considerados nesta análise como algo determinante, entretanto, a comparação entre os cenários se mostrou bastante oportuna.

Esta comparação deixa claro que a adoção de medidas de adaptação baseada em ecossistemas na bacia, como a sugerida por este estudo, que foi a ampliação de oferta de infraestrutura verde e seus serviços ecossistêmicos, aumenta a retenção das chuvas, e que os usos a serem substituídos influenciam bastante neste aumento (demonstrado nas Tabelas 12 e 13). Isto refletirá na redução dos picos de vazão de escoamento superficial, que implica na diminuição dos eventos de inundação em chuvas menos intensas, ou seja, com menor tempo de retorno, resultando em um aumento da resiliência do município neste aspecto.

Entretanto, as comparações realizadas também mostraram que a ampliação de IV não reduzirá significativamente o escoamento superficial das chuvas intensas futuras (considerando as mudanças climáticas), como foi verificado na Tabela 11, o que sugere que os problemas de inundação e alagamento não serão totalmente solucionados.

Assim, considerando uma análise com olhar de prevenção de desastres, a infraestrutura verde, além de ter que ser ampliada, precisa também ser implantada em locais específicos das bacias hidrográficas, os quais devem ser avaliados caso a caso. Esta IV deve substituir a ocupação humana das áreas de risco de inundação, pois as precipitações intensas ainda terão grande potencial para inundações, ou seja, mesmo que haja um aumento da oferta de IV, esta não será suficiente para evitar eventos de inundação em áreas mais susceptíveis nas precipitações mais críticas.

No município de São Paulo existem dois instrumentos que atuam diretamente nesta questão: o Plano Municipal de Habitação de São Paulo e o Plano Diretor de Drenagem. O primeiro, elaborado em 2016, prevê em sua Primeira Linha Programática o Serviço de Moradia Social, que é um quadro permanente de demandas de atendimento a famílias retiradas de áreas de risco, atingidas por incêndios, deslizamentos, enchentes; entre outros.

Portanto, a remoção de população de áreas de risco de enchentes já era previsto e deve ser realizado pelo poder público. Já o Plano Diretor de Drenagem, introduzido no capítulo 4.6, também prevê o reassentamento populacional como critério de priorização de suas obras, o que demonstra a preocupação com este problema no âmbito do planejamento da drenagem urbana.

Há ainda o PLANPLAVEL, também já apresentado no capítulo 4.6, onde foram propostas diversas ações de planejamento e implantação de infraestrutura verde, como a Ação 21 de “Promover a implantação de medidas alternativas de retenção e infiltração das águas pluviais e de controle da poluição difusa” e a Ação 37 de “Delimitar os parques e definir ou revisar suas categorias (incluindo os propostos pelo PLANPAVEL) e estabelecer quais parques deverão ser incluídos na revisão do PDE”.

Verifica-se, portanto, a preocupação institucional do município de São Paulo sobre a questão das inundações e alagamentos, e este estudo vai ao encontro desta preocupação, demonstrando que a implantação de infraestrutura verde deve ser realizada de forma estratégica e, se possível, conjugada com outras soluções, pois sozinha não resolverá os desafios do município frente a um clima em mudança.

Ainda é válido notar que foi analisado somente um serviço ecossistêmico prestado pelas infraestruturas verdes, enquanto estas prestam diversos deles, que podem melhorar diferentes aspectos das condições da cidade e da vida da população.

## **7. Conclusões**

O presente estudo analisou como a ampliação de infraestrutura verde no município de São Paulo poderia reduzir o escoamento superficial, aumentando a sua resiliência a eventos de precipitação intensificados pelas mudanças climáticas. Para tanto, foi utilizada uma abordagem por serviços ecossistêmicos vinculada ao planejamento urbano.

A pressão ecológica, tida neste estudo como sendo o escoamento superficial, foi mapeada com base na ocorrência de eventos de inundação e alagamento, e nas áreas

susceptíveis à inundação, considerando os setores censitários como unidade territorial de análise.

Nos setores censitários com pressão ecológica, foi realizado o mapeamento e priorização da demanda do SE de retenção do escoamento superficial. Esta demanda teve como critérios a vulnerabilidade socioeconômica da população e a exposição de bens físicos às inundações. Os resultados mostraram que os eixos dos rios Tietê e Tamandateí possuem destaque como locais com concentração de áreas com alta prioridade, assim como o rio Pinheiros na altura do Cebolão. Entretanto, foram mapeadas áreas mais prioritárias em diversas sub-bacias, principalmente fora do centro expandido, o que demonstra ser um problema disperso no município.

A oferta do SE de retenção do escoamento superficial foi mapeada através da modelagem do InVEST, no submodelo chamado Mitigação de Risco de Inundação Urbana, em duas sub-bacias hidrográficas do município, escolhidas pelo critério de maior percentual de setores censitários prioritários. As escolhidas foram as dos córregos Apereiba, na região norte, e Apucás, no extremo sul. Esta modelagem permitiu aferir a influência da implantação de IV na retenção do escoamento superficial.

Foram simulados seis cenários diferentes no modelo do InVEST, três deles considerando a manutenção do uso do solo atual, e os outros três considerando um aumento da oferta de infraestrutura verde. Para cada cenário de uso do solo, foram simuladas três chuvas: uma considerando a série histórica (a partir da curva IDF com tempo de retorno de 100 anos); e as outras duas considerando as mudanças climáticas – com duas possibilidades de concentração de gases do efeito estufa - *RCP* de 4.5 e 8.5.

A partir da modelagem dos cenários em que o uso do solo é mantido e as chuvas se intensificam, verificou-se que a retenção nas duas sub-bacias já está muito próxima ao seu limite máximo. Com isso, se o uso do solo for mantido da forma que está e, portanto, não houver aumento da capacidade de retenção, haverá uma piora dos problemas de inundação, seja nas microbacias estudadas ou nas jusantes a elas, o que torna urgente a implantação de medidas que aumentem a capacidade de retenção das bacias. Já na modelagem dos cenários em que é proposto o aumento da oferta de IV, foi observado o aumento da retenção e redução do escoamento superficial, como era esperado, entretanto, não é possível afirmar que isto será suficiente para evitar eventos de inundação, pois para isso seria necessária uma modelagem hidrológica e hidráulica.

Assim, a partir destes resultados, conclui-se que a ampliação de oferta de infraestrutura verde e seus serviços ecossistêmicos aumenta a retenção das chuvas nas bacias, e que os usos a



serem substituídos influenciam no tamanho deste aumento. Isto reduzirá os picos de vazão de escoamento superficial, que significa que o município absorverá melhor os impactos das chuvas, ampliando a resiliência dele neste aspecto. Para as precipitações com menor tempo de retorno isto pode ocasionar na eliminação de eventos de inundação e alagamento, e a redução da dimensão dos impactos negativos para as chuvas mais intensas. Desta forma, a escolha dos locais de implantação da infraestrutura verde é muito importante, pois é imprescindível que as ocupações humanas das áreas de risco sejam substituídas por usos compatíveis, como parques, por exemplo.

Ressalta-se ainda que a aplicação da metodologia proposta resultou em uma maior concentração de áreas a serem substituídas por infraestrutura verde nas regiões mais baixas das sub-bacias, próximas aos pontos de deságue nos cursos d'água maiores, como os rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí. Entretanto, como a IV presta diversos outros serviços ecossistêmicos, sua implantação em locais mais altos (mais próximos às cabeceiras) das bacias também pode melhorar a qualidade de vida da população e mitigar outros efeitos das mudanças climáticas, como ilhas de calor.

Por fim, a implantação de infraestrutura verde é uma medida de adaptação baseada em ecossistemas possível de ser implementada e com retorno certo, do ponto de vista do serviço ecossistêmico analisado neste estudo. Foi levantado que há no município instrumentos legais e administrativos que dão o arcabouço institucional para que estas IV sejam implantadas e o presente estudo vai ao encontro destas preocupações. Além disso, consorciada a outras medidas não estruturais, como as piscininhas previstas em lei estadual, são medidas que ampliam a capacidade de adaptação do município em suas bacias com maiores problemas de inundações e alagamentos, o que pode evitar ou reduzir a necessidade de investimentos em infraestrutura cinza.

A localização exata destas infraestruturas deve ser pensada estrategicamente pelas diversas pastas do município e, possivelmente, com o auxílio de estudos acadêmicos, através de pesquisas futuras que tenham o objetivo de levantar mais informações e demandas dos diversos órgãos envolvidos, população afetada e eventuais modelagens com maior detalhamento.

A construção metodológica deste estudo permite replicá-lo para outros municípios, por possuir bases de dados comuns a diversas outras localidades, e uma escala de análise municipal, ainda que alguns dados secundários tenham que ter sido adaptados para permitir sua aplicação neste estudo. A metodologia proposta ainda fornece uma nova forma de enxergar a

problemática de inundações e alagamentos, por integrar dados socioeconômicos e modelos hidrológicos em tomadas de decisão.

Como fechamento, as recomendações deste estudo são as seguintes:

- Realocar a população das áreas definidas como de maior prioridade, e prever a implantação de infraestrutura verde no local;

- Aplicar a modelagem proposta neste estudo para outras bacias do município de São Paulo, podendo ser ajustada considerando a implantação da IV em regiões mais altas das sub-bacias (de montante) e, se possível, a inclusão de outros serviços ecossistêmicos na escolha dos locais, ou seja, adotar outros critérios para substituição dos usos do solo existentes por infraestrutura verde, incluindo temas que não foram abordados no atual estudo, como qualidade da água e justiça climática;

- Atualizar os dados socioeconômicos utilizados na presente pesquisa quando forem publicados os resultados do novo CENSO do IBGE;

- Compatibilizar os diversos estudos e planos já elaborados pela Prefeitura Municipal de São Paulo e demais órgãos e entidades em relação aos temas abordados neste relatório, como habitação, drenagem urbana, parques urbanos, áreas verdes públicas e privadas.

## 8. Bibliografia

- BLOOMBERG, M.; POPE, C. **Climate of hope**. 1ª Edição ed. Nova Iorque: St. Martin's, 2017.
- BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological Economics**, v. 63, n. 2–3, p. 616–626, 1 ago. 2007.
- BPBES. **Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil**. Aliny P. F. Pires; Vinicius F. Farjalla; Bias M. Faria; Daniel A. Rodriguez; Eli A. T. Gomes; Eldis C. Santos; Federica N. G. A. Sodré; José Sabino. 1ª ed. São Carlos - SP: Editora Cubo, 2020.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Habita o**. Brasília: [s.n.].
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios / Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura, organizadores**. Brasília: Ministério das Cidades. Brasília, DF: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/acessibilidade-e-programas-urbanos/acoes-e-programas-snapu/prevencao-de-riscos/136-secretaria-nacional-de-programas-urbanos/prevencao-e-erradicacao-de-riscos/1855-material-basico-para-o-mapeamento-e-gerenciamento-de-areas-de-risc>>.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Adapta o   Mudança do Clima: volume 1 : estratégia geral : portaria MMA n  150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, DF: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/PNA\\_Volume I.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80182/PNA_Volume I.pdf)>.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Adapta o   Mudança do Clima : volume 2 : estratégias setoriais e temáticas : portaria MMA n  150 de 10 de maio de 2016 / Ministério do Meio Ambiente**. Brasília, DF: [s.n.].
- BURSZTYN, M.; BURSZTYN, M. A. **Fundamentos de política e gestão ambiental: caminhos para a sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Garamond, 2012.
- CAVALCANTI, C. Concep es da economia ecológica: suas rela es com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 53–67, 2010.
- CECHIN, A. D. **Georgescu-Roegen e o desenvolvimento sustentável : diálogo ou anátema?** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2008.
- CECHIN, A. D.; VEIGA, J. E. DA. A economia ecológica e evolucion ria de Georgescu-Roegen. **Revista de Economia Política**, v. 30, n. 3, p. 438–454, 2010.

- CORTINOVIS, C.; GENELETTI, D. A framework to explore the effects of urban planning decisions on regulating ecosystem services in cities. **Ecosystem Services**, v. 38, n. March, p. 100946, 2019.
- COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 1997.
- COSTANZA, R. Ecosystem services: Multiple classification systems are needed. **Biological Conservation**, v. 141, p. 350–352, 2008.
- CUTTER, S. L. et al. Social Vulnerability to Environmental Hazards n. **Social science quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242–261, 2003.
- DALY, H.; FARLEY, J. **Economia Ecológica: Princípios e Aplicações**. Lisboa: Instituto Piaget, 2004.
- DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393–408, 2002.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA - DAEE. **Terceiro Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia do Alto Tietê - PDMAT 3**. São Paulo/SP: [s.n.]. Disponível em:  
<[http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1364&Itemid=77](http://www.dae.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1364&Itemid=77)>.
- DIRECTORATE-GENERAL FOR ENVIRONMENT; TRINOMICS. **Supporting the Implementation of Green Infrastructure - Final Report**. Rotterdam: [s.n.]. Disponível em:  
<[https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green\\_infrastructures/GI\\_Final\\_Report.pdf](https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructures/GI_Final_Report.pdf)>.
- DORNELLES, F.; COLLISCHONN, W. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2ª impress ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015.
- EMPLASA. **Plano de Ação da Macrometrópole Paulista 2013-2040: política de desenvolvimento da macrometrópole**. São Paulo: [s.n.]. v. 1
- FARLEY, J.; VOINOV, A. Economics, socio-ecological resilience and ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 389–398, 2016.
- FAUCHEUX, S.; NÖEL, J.-F. **Economia dos recursos naturais e do meio ambiente**. 2ª ed. Lisboa: Instituto Piaget, 1995.
- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA. **PLANO DIRETOR DE DRENAGEM-PDD: plano de ações**. São Paulo: [s.n.]. . Acesso em: 30 set. 2022.

FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO. **Adaptação Baseada em Ecossistemas: oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas.** Curitiba, PR: [s.n.].

GIZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT. **Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE).** Eschborn, Alemanha: [s.n.].

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. Em: RAFFAELLI, D. G.; FRID, C. L. J. (Eds.). **Ecosystem Ecology: a new synthesis.** [s.l.] Cambridge University Press, 2010. p. 110–139.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.cices.eu>.

IAG-USP. **Boletim climatológico anual da estação meteorológica do IAG/USP/ Seção Técnica de Serviços Meteorológicos – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo.** São Paulo: [s.n.].

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, , 2012.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Relatório brasileiro para o Habitat III.** Brasília: [s.n.].

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais 1:25.000: nota técnica explicativa Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo - IPT; Serviço Geológico do Brasil – CPRM.** São Paulo/SP: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologicos/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-3507.html%5Cnbr/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Riscos-Geologico>>.

INSTITUTO GEOLÓGICO. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir / Organizadores Lídia Keiko Tominaga, Jair Santoro, Rosangela do Amaral.** 2ª ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2012.

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: [s.n.].

IPCC. **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**

[Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Genebra, Suíça: [s.n.]. Disponível em:

<[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>.

IPCC. **Summary for Policymakers** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Morgan Wairiu, 2022. Disponível em: <[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf)>. Acesso em: 15 maio. 2023.

JACOBI, P. R.; TRANI, E. **Planejando o futuro hoje: ODS 13, Adaptação e Mudanças Climáticas em São Paulo**. 1. ed. São Paulo: [s.n.].

JUNIOR, ARLINDO P. **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. 2ª ed. Barueri: Manole, 2018.

JUNIOR, A. P. et al. **Municípios e Meio Ambiente: Perspectiva para a Municipalização da Gestão Ambiental no Brasil**. 1. ed. São Paulo: Associação Nacional de Municípios e Meio Ambiente, 1999.

LI, L.; UYTENHOVE, P.; VANEETVELDE, V. Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk – A methodology to identify priority areas applied in the city of Ghent. **Landscape and Urban Planning**, v. 194, n. November 2019, p. 103703, 2020.

MEA. **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis**. Washington, DC: [s.n.]. Disponível em: <<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>.

NOBRE, C. **Cadernos NAE nº 3: Mudança do Clima - Volume I - Negociações internacionais sobre a mudança do clima - Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima**. Brasília: [s.n.].

NOBRE, C. Adaptation and public policies in the São Paulo Macro Metropolis: A science-policy approach. Em: TORRES, P. H. C. et al. (Eds.). São Paulo: IEE-USP, 2020. p. 146.

ONU - DEPARTAMENTO DE ASSUNTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS - DIVISÃO DE POPULAÇÃO. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. Nova Iorque: Organização das Nações Unidas, 2019.

- PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas.** Rio de Janeiro, RJ, Brasil: [s.n.].
- PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)].** Rio de Janeiro, RJ, Brasil: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/publicacoes/relatorios-especiais-pbmc/item/relatorio-especial-mudancas-climaticas-e-cidades>>.
- PEDRON, F. DE A. et al. *Ciência Rural*, v.34, n.5, set-out. **Ciência Rural**, n. 5, p. 1647–1653, 2004.
- POTSCHIN, M. B.; HAINES-YOUNG, R. H. Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. **Progress in Physical Geography**, v. 35, n. 5, p. 575–594, 2011.
- RAVEN, J. et al. **Urban planning and design.** In Rosenzweig, C., W. Solecki, P. Romero-Lankao, S. Mehrotra, S. Dhakal, and S. Ali Ibrahim (eds.), **Climate Change and Cities: Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network** **Climate Change and Cities.** Nova Iorque: [s.n.].
- RODRIGUEZ, R. S. **Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina.** Santiago de Chile: Organização das Nações Unidas, 2013.
- ROSS, J. L. S. Inundações e deslizamentos em São Paulo . **Territorium**, v. 8, p. 15–24, 2001.
- ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado.** São Paulo: [s.n.].
- RUFAT, S. et al. Social vulnerability to floods: Review of case studies and implications for measurement. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 14, p. 470–486, 1 dez. 2015.
- SAATY, R. W. The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.
- SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9–26, 1990.
- SANTOS, Á. R. DOS. **Cidades & Geologia: discussão técnica e proposição de projetos de lei de grande interesse para as populações urbanas.** 1. ed. São Paulo: Editora Rudder, 2017.
- SÃO PAULO (CIDADE). SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana.** São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/biblioteca\\_digital/manual\\_de\\_drenagem/index.php?p=49018](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/urbanismo/biblioteca_digital/manual_de_drenagem/index.php?p=49018)>.

SÃO PAULO (CIDADE). SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO. **Plano Municipal de Habitação de São Paulo**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/08/20161221\\_PMH\\_PL\\_bxa.pdf](https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/08/20161221_PMH_PL_bxa.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2022.

SÃO PAULO (CIDADE). SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE. **Plano Municipal de Áreas Protegidas, Áreas Verdes e Espaços Livres - PLANPAVEL**. São Paulo: [s.n.].

SÃO PAULO (CIDADE). SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE / COORDENAÇÃO DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL. **Mapeamento Digital da Cobertura Vegetal do Município de São Paulo. Relatório Final**. São Paulo: [s.n.]. Disponível em: <[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio\\_ambiente/RelCobVeg2020\\_vFINAL\\_compressed\(1\).pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/meio_ambiente/RelCobVeg2020_vFINAL_compressed(1).pdf)>.

SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. **Voluntary guidelines for the design and effective implementation of EbA to climate change adaptation and disaster risk reduction and supplementary information**. Montreal: Technical Series No. 93., 2019.

SHARP, R. et al. **InVEST 3.8.0.post29+ug.g0215cb1 User's Guide**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/#>>.

SILVA, C. V. F. DA et al. Climate change impacts and flood control measures for highly developed urban watersheds. **Water (Switzerland)**, v. 10, n. 7, p. 1–18, 2018.

SIMONOVIC, S. P. et al. **DF\_CC Web-based Tool for Updating Intensity-Duration-Frequency Curves to Changing Climate – ver 6.0**. Western University Facility for Intelligent Decision Support and Institute for Catastrophic Loss Reduction, , 2015. Disponível em: <<https://www.idf-cc-uwo.ca>>. Acesso em: 10 jul. 2022

TEEB. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. Em: **The Economics of Ecosystems and Biodiversity Ecological and Economic Foundations**. Edited by Pushpam Kumar. Earthscan, London and Washington: [s.n.]. p. 1–422.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

TUCCI, C. E. M. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. Em: REBOUÇAS, ALDO DA CUNHA; BRAGA, BENEDITO; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas**



**doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** 3ª ed ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. p. 748.

UNEP. **Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects.** [s.l: s.n.].

UNISDR. **Como Construir Cidades Mais Resilientes - Um Guia para Gestores Públicos Locais. Tradução de: How to Make Cities More Resilient - A Handbook for Mayors and Local Government Leaders.** Genebra, Suíça: [s.n.]. Disponível em: <[http://www.unisdr.org/files/26462\\_guiagestorespublicosweb.pdf](http://www.unisdr.org/files/26462_guiagestorespublicosweb.pdf)>.

WALLACE, K. J. **Classification of ecosystem services: Problems and solutions. Biological Conservation**, out. 2007. . Acesso em: 25 mar. 2020

WILHEIM, J. **São Paulo - Uma interpretação.** São Paulo: Ed. SENAC, 2011.