



# JARDIM MARAVILHA

Quantificação dos Riscos e Benefícios  
Ambientais, Econômicos e Sociais da  
Implantação do Parque Fluvial





GIZ- Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit.

Projeto: Support for Project Preparation for Urban Progress (SuPPUrbP).

## Produto 5

### Quantificação dos Riscos e Benefícios Ambientais, Econômicos e Sociais da Implantação do Parque Fluvial do Bairro Jardim Maravilha

Esse relatório integra material de elaboração de Metodologia para quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de Soluções baseadas na Natureza (SbN) adotadas na implantação de Parques Lineares e Fluviais; Projeto Básico do Parque Linear do Córrego Bandeirantes, no município de Campinas- SP e Modelagem econômico financeira para manutenção do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, no município do Rio de Janeiro- RJ.

Essa ação foi financiada com recursos do The City Climate Finance Gap Fund (“Gap Fund Initiative”), uma iniciativa entre Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza, Segurança Nuclear e Proteção ao Consumidor da Alemanha (BMUV), Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) e o Ministério do Meio Ambiente, Clima e Desenvolvimento Sustentável de Luxemburgo, e implementada por meio do projeto SuPPUrbP - City Climate Finance Gap Fund, pelo Banco Europeu de Investimento em parceria com a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), e Banco Mundial. Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Secretaria Municipal do Ambiente e Clima - SMAC, Rio de Janeiro - RJ) e da Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável- SVDS, Campinas - SP) e da GIZ. Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ, da SMAC, da SVDS ou dos financiadores. Este documento não foi submetido à revisão editorial da GIZ.

A duplicação ou reprodução de partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o The City Climate Finance Gap Fund (“Gap Fund Initiative”) seja citado como fonte da informação.



**Apresentado por:**

Guajava- Arquitetura da Paisagem e Urbanismo | Aquaflora  
Meio Ambiente | Kralingen Economia Ambiental

**Coordenação do produto:** João Luis Bittencourt Guimarães  
e Daniel Tha

**Coordenação geral dos produtos:** Adriana Afonso Sandre e  
Riciane Pombo

**Autores:**

Adriana Afonso Sandre; Catharina Lima; Daniel Thá; Dulce  
Ferreira de Moraes; Erika Naomi de Souza Tominaga; Filipe  
Chaves Gonçalves; Hanna Nahon Casarini; Jerusa Polo;  
João Luis Bittencourt Guimarães; Marco Antonio Loschiavo  
Leme de Barros; Mônica Bertoldi André; Reinaldo Pacheco;  
Riciane Pombo; Sarah Daher.

**Para:**

The City Climate Finance Gap Fund / Deutsche Gesellschaft  
für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ana Carolina Câmara – Diretora de projetos  
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas – Assessora técnica  
Kadri Sternberg – Gestora de projetos  
Vanessa Bauer – Gestora de projetos

**Ano:**

Julho de 2023.

Equipe: Prefeitura Municipal de Campinas/SP

Secretaria Municipal do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável- SVDS

Rogério Menezes, Secretário Municipal

Diretoria do Verde e Desenvolvimento Sustentável- DVDS

Ângela Cruz Guirao, Diretora

Alexandre Ariolli Nascimento, Arquiteto

Diretoria de Licenciamento Ambiental- DLA

Leandro André Silveira de Arruda Melo, Assessor Técnico

Rebeca Veiga Barbosa, Coordenadora

Rafaela Bonfante Lançone, Coordenadora

Gabriel Dias Mangolini Neves, Chefe de Setor

Geraldo Magela Martins Caldeira, Engenheiro Civil

Equipe: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro/RJ

Secretaria Municipal do Ambiente e Clima- SMAC

Tainá de Paula, Secretária Municipal

Subsecretaria de Meio Ambiente e Mudanças Climáticas- MA/SUBMC

Artur Miranda Sampaio, Subsecretário

Coordenadoria de Mudanças Climáticas

Tatiana Castelo Branco Dornellas

Gerência de Mudanças Climáticas- GMC, Coordenação do Projeto

José Miguel Osório de Castro Carneiro Pacheco, Gerente

Marcos Borges Pereira, Engenheiro Civil

Gerência de Restauração Ambiental- GRA

Jeferson Pecin Bravim, Gerente

Fundação Instituto das Águas do Município do Rio de Janeiro / RIO-ÁGUAS

Wanderson José dos Santos, Presidente de Fundação

Diretoria de Estudos e Projetos

Georgiane Costa, Diretora

Marlon Giovanni Lopes Alvarez, Engenheiro Civil

Bruno Costa Assunção, Engenheiro Civil

Rodrigo Oliveira do Nascimento, Engenheiro Civil

Ana Cristina Rodrigues Lopes, Engenheira Civil

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>5</b>
	<b>SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E SEUS BENEFÍCIOS</b>	<b>7</b>
1.1	Desdobramentos dos Serviços Ecossistêmicos	10
1.2	Modelagem de Serviços Ecossistêmicos	12
1.3	Valoração econômica	12
<b>2</b>	<b>PARQUE FLUVIAL DO JARDIM MARAVILHA</b>	<b>15</b>
2.1	O Jardim Maravilha de Hoje	15
2.1.1	Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas no Jardim Maravilha	19
2.2	O Jardim Maravilha de Amanhã	22
2.2.1	Concepção do Parque Fluvial do Jardim Maravilha	22
2.2.2	Sugestões de SbN no Parque Fluvial do Jardim Maravilha	23
2.2.3	O Projeto de SbN no Parque Fluvial do Jardim Maravilha	24
<b>3</b>	<b>QUANTIFICAÇÃO DOS RISCOS E BENEFÍCIOS AMBIENTAIS</b>	<b>26</b>
3.1	Modelagem de Serviços Ecossistêmicos	26
3.1.1	Serviços Ecossistêmicos de Regulação Hídrica	27
3.1.2	Serviços Ecossistêmicos de Mitigação de Inundações	29
3.1.3	Serviços Ecossistêmicos de Retenção de Sedimentos	30
3.1.4	Obtenção e pré-processamento de dados	30
3.1.5	Dados geográficos e tabulares utilizados para a modelagem	31
3.1.6	Definição de parâmetros	32
3.1.7	Cenários modelados	37
3.1.8	Calibração dos modelos	42
3.2	Quantificação da Variação dos Fluxos de Serviços Ecossistêmicos	46
3.2.1	Serviço ecossistêmico de regulação hídrica	46
3.2.2	Serviço ecossistêmico de mitigação de inundação	51
3.2.3	Serviço ecossistêmico de Regulação de erosão/sedimentação	54
3.3	Valoração dos Benefícios dos Serviços Ecossistêmicos	56
3.3.1	Valoração dos benefícios dos SE de retenção de sedimentos	56
3.3.2	Valoração dos benefícios dos SE de regulação hídrica	58
3.3.3	Valoração dos benefícios dos SE de retenção de nutrientes	70
3.3.4	Valoração dos benefícios dos SE qualidade cênica	73

## 4 *QUANTIFICAÇÃO DOS RISCOS E BENEFÍCIOS SOCIAIS* 76

---

- 4.1 Saúde associada à atividade física e ao lazer 76
- 4.2 Coesão comunitária e redução de criminalidade 84

## 5 *QUANTIFICAÇÃO DOS RISCOS E BENEFÍCIOS ECONÔMICOS* 87

---

- 5.1 Valorização imobiliária 87
- 5.2 Atração de empresas e empregos 89

## 6 *CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RISCOS E BENEFÍCIOS* 91

---

*REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS* 93

## INTRODUÇÃO

Este produto faz parte do escopo do Projeto Support for Project Preparation for Urban Progress (SuPPUrbP) - PN 202091189, referente à elaboração de Metodologia para quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de Soluções baseadas na Natureza (SbN) adotadas na implantação de Parques Lineares e Fluviais; Projeto Básico do Parque Linear do Córrego Bandeirantes, no município de Campinas - SP e Modelagem econômico-financeira para manutenção do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, no município do Rio de Janeiro - RJ.

A realização do projeto é fruto de uma parceria entre as empresas Guajava Arquitetura da Paisagem e Urbanismo, Aquaflora Meio Ambiente e Kralingen Economia Ambiental, que reúnem uma equipe de especialistas composta por advogados, arquitetos e urbanistas, biólogos, cientistas sociais, economistas, engenheiros civis e ambientais, publicitários e topógrafos. Trata-se de um time interdisciplinar habilitado a desenvolver produtos técnicos, de modo a atender a SbN e infraestrutura verde e azul para os espaços livres desde a escala do lote até a escala das bacias hidrográficas e cidades.

O presente produto decorre da aplicação prática de uma metodologia para quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de Soluções baseadas na Natureza (SbN) adotadas na implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, a ser localizado no bairro Guaratiba, na zona oeste do município do Rio de Janeiro - RJ.

A metodologia utilizada para a quantificação dos benefícios ambientais do Parque Fluvial do Jardim Maravilha é aquela que consta do Produto 3-A – Metodologia para quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de Soluções Baseadas na Natureza (SbN) adotadas na implantação de parques lineares e fluviais; trata-se da aplicação de modelos para avaliação de serviços ecossistêmicos hídricos da ferramenta InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*) com finalidade de mensuração e benefícios decorrentes da potencial implementação do parque fluvial do Jardim Maravilha com SbN a ele associadas.

Segundo as definições mais usualmente difundidas, Serviços Ecossistêmicos são “Os benefícios para populações humanas que derivam, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas” (Costanza et al., 1997), ou “Condições e processos provenientes dos ecossistemas naturais e das espécies que os compõem que sustentam e mantêm a vida humana” (Daily, 1997).

No âmbito da elaboração deste produto foi realizado um levantamento bibliográfico das principais metodologias (nacionais e internacionais) de quantificação de impactos de benefícios de SBN, assim como de possíveis riscos associados. Ao fim deste levantamento, selecionou-se a metodologia que foi avaliada como mais adaptada aos requisitos deste estudo, considerando-se as oito diretrizes do Padrão Global da IUCN sobre Soluções baseadas na Natureza (IUCN, 2020), para identificar se uma ação pode ser classificada como SbN. Estas diretrizes são:

**Diretriz 1:** A SbN enfrenta de forma eficaz os desafios sociais.

**Diretriz 2:** O planejamento da SbN é baseado na escala de intervenção (biofísica, geográfica, econômica, política e cultural).

**Diretriz 3:** A SbN resulta em um ganho líquido para a biodiversidade e integridade dos ecossistemas.

**Diretriz 4:** A SbN é economicamente viável.

**Diretriz 5:** A SbN é baseada em processos de governança inclusivos, transparentes e empoderadores.

**Diretriz 6:** A SbN equilibra de forma equitativa as compensações entre a realização de seu(s) objetivo(s) primário(s) e o fornecimento contínuo de múltiplos benefícios.

**Diretriz 7:** A SbN é gerenciada de forma adaptativa, com base em evidências.

**Diretriz 8:** A SbN é sustentável e integrada dentro de um contexto jurisdicional apropriado.

A metodologia selecionada é capaz de considerar os impactos diretos e indiretos da implementação das SbN, em diferentes fases e prazos, e se presta para avaliar a área de influência do território que receberá intervenções de SbN, neste caso a área definida como Parque Fluvial do Jardim Maravilha. Da mesma forma, os indicadores propostos no citado produto são capazes de possibilitar monitoramento de serviços ecossistêmicos ao longo do tempo (a partir de uma linha de base pré-implementação), ou modelagem de serviços ecossistêmicos (considerando um cenário de linha de base e cenários alternativos).

# 1 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA E SEUS BENEFÍCIOS

O Produto 2 - *Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza para Espaços livres* da presente consultoria aborda em detalhes as tipologias de SbN e também aponta brevemente os seus benefícios. Enfoca-se, aqui, as SbN correlatas aos sistemas de drenagem urbana, foco da intervenção do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (apresentado no próximo capítulo). O objetivo não é ser exaustivo nesta discussão, mas sim acrescentar os elementos de contexto essenciais para que se proceda a quantificação e valoração dos benefícios das SbN associadas ao Parque.

As cidades brasileiras estão experimentando um aumento constante na intensidade e frequência de inundações, parte devido às altas densidades urbanas combinadas com solos excessivamente impermeabilizados, parte à ocupação de áreas impróprias, e parte devido ao efeito da mudança do clima (IICA, no prelo). O manejo das águas pluviais se torna a cada dia um desafio urbano mais premente, com os sistemas de drenagem tradicionais se tornando incapazes de atender as necessidades e evitar eventos adversos.

Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, referentes a 2020, apontam que 28,6% dos municípios brasileiros contam com vias públicas com canais pluviais subterrâneos, sendo que outros 14,7% contam com soluções de drenagem natural tais como valas de infiltração, e ainda outros 5% contam com reservatórios de água tais como lagos ou piscinões. Segundo levantamento recente, o país investe cerca de R\$ 4 bilhões por ano nos serviços de drenagem urbana quando o necessário seria algo em torno de R\$ 17,6 bilhões (IICA, no prelo).

A questão que se coloca é como investir os quase R\$ 14 bi de déficit, uma vez que é constatada a limitação das soluções de infraestrutura tradicionais para o gerenciamento de riscos de inundações. Estas soluções tradicionais (barragens, diques, piscinões, drenos, estações de bombeamento etc.) têm sido as ferramentas padrão, se mostrando necessárias em diversas situações. Não obstante, as soluções de infraestrutura tradicionais não são uma panaceia - em alguns casos podem até aumentar o risco de inundações ao desviarem cursos d'água de suas planícies de inundações circundantes (TNC, 2014).

Em casos menos dramáticos, as infraestruturas cinzas podem gerar a perda de serviços ecossistêmicos, tal como a purificação da água pelo solo, perda de área de infiltração que retém água e a "produz" em momentos de menor precipitação, perda de valor paisagístico, dentre outros. A infraestrutura cinza, ademais, proporciona pouca flexibilidade/adaptabilidade para lidar com incertezas futuras. Dito isto, é importante ressaltar que a infraestrutura cinza é também necessária e, em muitas situações, terá importante papel de complementar sistemas integrados de gerenciamento de inundações ao lado das infraestruturas naturais. Lições do Vietnã, ressaltadas pelo Banco Mundial (2012), sugerem uma abordagem de mitigação de riscos que incorpora flexibilidade para lidar com incertezas no crescimento populacional e de ativos, combinando infraestrutura verde e cinza.

As Soluções baseadas na Natureza, que abarcam a infraestrutura verde de uma cidade, como parques e praças, mas que no contexto da drenagem urbana também é conhecida como SUDS (da sigla inglesa para sistemas sustentáveis de drenagem urbana)<sup>1</sup>, surgem como alternativa

---

<sup>1</sup> Existem ainda diversas outras nomenclaturas, como aponta a taxonomia de Fletcher et al. (2015).

empolgante para o gerenciamento de riscos de inundação, dentre diversas outras aplicações e benefícios, como aponta Evers (2022), no contexto de cidades brasileiras. Seu princípio subjacente é considerar os processos hidrológicos que ocorrem em toda a bacia hidrográfica, ou seja, no total da área de captação de um curso d'água, para fomentar a prestação dos serviços ecossistêmicos naturais de retenção e filtragem de águas pluviais (Ballard et al., 2015).

Ao fomentar serviços ecossistêmicos, os sistemas sustentáveis de drenagem urbana oferecem benefícios adicionais, incluindo a melhoria na qualidade da água, e podem estar associados a intervenções que promovem ainda outros benefícios de cunho social e econômico, tais como a melhora nas condições de saúde, promoção de oportunidades de lazer e outros. Abaixo apresentam-se os principais benefícios associados às SbN urbanas, também discutindo os desafios e abordagens para superar as barreiras sociais e políticas existentes para sua adoção mais ampla.

Primeiramente, as SbN vinculadas aos sistemas de drenagem urbana atendem aos objetivos de reduzir o risco de inundações e enxurradas ao auxiliar no controle dos fluxos de escoamento das águas superficiais. As SbN também favorecem processos de infiltração das águas, gerando maiores taxas de recarga de águas subterrâneas (UN-WATER, 2018). Geralmente, a implantação de SbN é associada a custos menores do que infraestruturas cinzas. Segundo Kloss e Calarusse (2006), corroborados posteriormente por Garrison e Hobbs (2011), as SbN podem ser até 30% mais baratas para construir e 25% menos custosas para manter e operar do que infraestruturas tradicionais comparáveis.

Além dos benefícios econômicos, as SbN podem fornecer importantes benefícios para a saúde humana, ambiental e para o bem-estar de forma geral. Em áreas urbanas, a água de melhor qualidade é associada a usos recreativos e de contemplação. Telhados verdes, como outro exemplo, trazem a possibilidade de economizar energia como resultado do seu efeito de isolamento térmico. A captação de água pluvial não apenas pode reduzir as contas de água para os consumidores, mas também pode reduzir as pressões de demanda enfrentadas pelos serviços públicos de abastecimento de água. Outros benefícios potenciais incluem a melhoria na qualidade do ar, a redução do efeito de ilha de calor, a criação de espaços habitáveis agradáveis, mais espaços recreativos para os residentes e disponibilidade de habitat para a vida selvagem nas proximidades dos centros urbanos.

Existem, ainda, benefícios econômicos e sociais tangíveis em se incluir as SbN como parte de estratégias gerais de desenvolvimento e planejamento urbano, pois favorecem diferentes aspectos da vida urbana, como a qualidade da água, saneamento e qualidade do ar, assim como a redução de riscos climáticos. Segundo Molla (2015), as SbN podem auxiliar na promoção de um ambiente econômico que atrai negócios e profissionais de alto valor, relação em cadeia da redução da poluição do ar e da água, processos que criam espaços de vida mais agradáveis. A revitalização do crescimento econômico pode criar oportunidades de emprego e reduzir as desvantagens econômicas que tão frequentemente acompanham a rápida urbanização (Forest Research, 2010).

As SbN também podem compor esforços de redução dos impactos da pobreza decorrentes da rápida urbanização. Com o crescimento de habitantes em condições subnormais, como em comunidades de baixa renda, as privações econômicas habituais das populações urbanas de

baixa renda serão agravadas por um risco desproporcional associado a desastres naturais, particularmente inundações e enxurradas (Banco Mundial, 2015). Na medida em que os investimentos em SbN podem mitigar o risco de inundação em comunidades vulneráveis, o impacto positivo nas camadas da população menos favorecidas é claro. Mesmo com o impacto positivo esperado para comunidades menos favorecidas, a maior parte da literatura sobre benefícios das SbN se baseia na experiência de países desenvolvidos.

Os benefícios econômicos mais substanciais para a população urbana de baixa renda podem advir dos custos evitados com desastres, bem como das economias de custo para os governos locais, que têm orçamentos liberados para outros fins, como a provisão de outros serviços básicos, como segurança e educação. Diversos estudos apontam para a relação que existe entre a redução do risco de enxurradas e inundações e o consequente aumento no valor das propriedades (American Rivers et al., 2012; Johnston, Braden e Price, 2006).

Benefícios para a saúde também são gerados na forma de bens públicos. Aqui também se nota que os benefícios para as camadas mais vulneráveis da população podem ser desproporcionalmente maiores - devido ao próprio *status quo* de ambientes urbanos em rápida expansão e não planejados, que sempre contam com menos opções de lazer e equipamentos públicos que fomentam uma vida saudável para a periferia em relação às opções nos bairros de maior renda e mais consolidados.

Apesar dos diversos benefícios associados às SbN, os sistemas de drenagem urbana sustentável não são ainda explorados ou implementados em seu potencial máximo. Ainda pairam incertezas quanto à manutenção a longo prazo, desempenho e custo-eficácia - tanto independentemente quanto em comparação com soluções puramente de infraestrutura. Essas limitações informativas são desafiadoras, já que requerem exemplos e estudos comparativos.

No capítulo que aborda o panorama das SbN no Brasil, seus desafios de implantação e estudos de caso, no Produto 2 desta consultoria (*Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza para Espaços livres*), tece-se uma discussão pormenorizada sobre estes desafios, que também são abordados a seguir, de forma sucinta.

Especificamente no Brasil, ainda são restritos os dados e a quantificação dos aspectos de desempenho referentes às SbN, ainda mais em escala urbana. Dado que os sistemas de drenagem urbana sustentável estão em rápida evolução e são muito específicos ao local de implementação, outra complicação é que os níveis de eficiência variam muito de caso para caso (Nylen e Kiparsky, 2015). As barreiras técnicas, institucionais/políticas, financeiras e sociais relacionadas às SbN são impedimentos adicionais, que se materializam na obtenção da receita para realizar as manutenções, a potencial ocupação de terra e os requisitos físicos envolvidos em novos desenvolvimentos, bem como no papel da regulamentação (Ashley et al., 2015).

Estratégias, estruturas regulatórias e metas em nível nacional que existem para apoiar a implementação de SbN são, no mais das vezes, dispersas. Um exemplo pioneiro nesse campo é o Reino Unido, que possui legislação de SbN como parte do *National Planning Policy Framework*, que exige que as autoridades locais as incluam em novos desenvolvimentos. Outra iniciativa de destaque, implementada para apoiar uma abordagem mais integrada e parcerias inovadoras para as SbN, é a australiana *Cooperative Research Centre for Water Sensitive Cities*, que une mais de 70 parceiros interdisciplinares para fornecer estratégias sustentáveis em planejamento

hídrico<sup>2</sup>. Outro exemplo advém da cidade alemã de Hamburgo, com o projeto RISA - uma cooperação entre o conselho municipal e uma empresa privada de água, cujo objetivo é identificar respostas sustentáveis para evitar inundações, bem como abater a poluição da água gerada por sistemas unitários (coleta de esgoto nas mesmas redes que a drenagem de águas pluviais)<sup>3</sup>.

O objetivo dessas iniciativas é não apenas sistematizar e tornar as SbN *mainstream*, mas também superar o pensamento de que são apenas correlatas às questões de manejo de águas superficiais e inundação, apesar de seu potencial para abordar desafios de qualidade da água e fornecer benefícios mais amplos em paralelo.

### 1.1.1 Desdobramentos dos Serviços Ecosistêmicos

O projeto do Parque Fluvial do Jardim Maravilha deverá promover intervenções que desencadeiam modificações no regime de vazão do rio Piraquê-Cabuçu e na sua produção de sedimentos - efeitos hídricos positivos sob o ponto de vista quali-quantitativo das águas. As intervenções do Parque aplicam conceitos de Soluções baseadas na Natureza (SbN) e de Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE)<sup>4</sup>, e se justificam sob a ótica do clima e da resiliência à sua maior variação futura. O parque traz, como objetivo principal, a redução dos efeitos nocivos de casos de variabilidade hídrica de alagamentos e inundações.

Sabe-se por inferência das relações de causa-efeito, mas também pela observação empírica, que o acréscimo nos serviços ecossistêmicos gera uma série de benefícios. Existem desafios em quantificar tais benefícios sob o ponto de vista físico e econômico, mas metodologias recentes, tais como a aqui utilizada já conseguem dar respostas robustas a esta importante demanda. A tabela a seguir vincula os serviços ecossistêmicos aos seus efeitos físicos, às suas consequências e, por fim, aos benefícios que podem ser valorados economicamente, notando-se que nem todos foram, de fato, valorados.

**Tabela 1 - Canais de impacto dos serviços ecossistêmicos correlatos à infraestrutura natural hídrica**

Serviço Ecosistêmico	Efeito Físico	Consequência	Benefício
Retenção de sedimentos	Redução de sedimentos carregados aos corpos d'água	Menor turbidez da água	Menores custos de tratamento de água
		Menor aporte de sedimentos	Menores custos com dragagem
Regulação hídrica	Mais infiltração e armazenamento de água no solo	Estabilidade de vazões durante secas	Melhor disponibilidade hídrica para captação
		Redução de picos de vazão nas cheias	Menores riscos de enxurradas e inundações

<sup>2</sup> Water Sensitive Cities Global Partnerships. Disponível em: <https://watersensitivecities.org.au/collaborate/global-partnerships/>

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.risa-hamburg.de/english.html>

<sup>4</sup> Ações de Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE) promovem o “uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos como parte de uma estratégia integral de adaptação, a fim de ajudar as pessoas a se adaptarem aos efeitos adversos da mudança do clima” (CBD, 2009, apud FGB & ICLEI, 2015).

<b>Retenção e sequestro de carbono</b>	Manutenção e sequestro de carbono na biomassa florestal (conservada e restaurada, respectivamente)	Menores concentrações de dióxido de carbono na atmosfera	Redução dos efeitos deletérios causados pelas mudanças globais do clima
<b>Retenção de nutrientes</b>	Redução de aporte de nutrientes como fósforo e nitrogênio	Maior atividade de biota do solo	Maior fertilidade, menor necessidade de fertilizantes
		Melhor qualidade de água	Menores custos de tratamento de água
<b>Redução de erosão</b>	Menor movimento de massas	Redução de processos erosivos	Redução dos custos de combate a erosão e reposição da fertilidade do solo

A disparidade entre a quantidade de benefícios gerados e valorados é oriunda da dificuldade intrínseca em se quantificar os aspectos físicos e derivar mensurações econômicas críveis. Salienta-se, portanto, que os benefícios valorados devem sempre ser tidos como conservadores frente ao que se espera de fato gerar.

Como faz-se claro, os aprimoramentos na prestação dos serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica podem derivar diversos benefícios para diversos usuários, sendo importante destacar quais são os beneficiários de cada um, assim como o que se aplica ao caso específico das SbN geradas pelo Parque Fluvial do Jardim Maravilha.

Eis que a implantação do parque não se restringe à geração de benefícios de cunho hídrico-hidrológicos, mas também por uma miríade de efeitos subjetivos que tangenciam a percepção acerca da qualidade de vida da população em seu entorno.

Como por exemplo, pode-se citar o estudo de Ferreira (2005) em relação ao papel desempenhado pelo Passeio Público da cidade do Rio de Janeiro, onde os efeitos positivos desse parque se desdobram:

- Na área social: o parque é considerado um local de lazer e convivência, favorecendo a interação entre pessoas de diferentes idades e classes sociais;
- Na área ambiental: o parque apresenta benefícios como a redução de ilhas de calor e a melhoria da qualidade do ar; e
- Na área econômica: o parque contribui para a valorização dos imóveis próximos e para o turismo na região.

Para quantificar os riscos e benefícios gerados pelo Parque Fluvial do Jardim Maravilha, suas SbN e seus efeitos mais amplos, o primeiro passo é quantificar os efeitos físicos e suas consequências. No caso dos serviços ecossistêmicos, adota-se a modelagem com apoio na ferramenta InVEST, detalhada no tópico abaixo. No caso dos benefícios sociais e econômicos mais amplos, aplicam-se técnicas de valoração econômica de bens e serviços de não-mercado para desvendar o valor econômico associado aos benefícios (abordado em mais detalhes no tópico subsequente).

### 1.1.2 Modelagem de Serviços Ecosistêmicos

Os canais de impacto dos serviços ecosistêmicos correlatos à infraestrutura natural hídrica requerem, no mais das vezes, modelagens numéricas que desvendam seus serviços ecosistêmicos. Para tanto, é utilizada a ferramenta InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)<sup>5</sup> para a região do Jardim Maravilha, com ênfase na área prevista para implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha.

A ferramenta InVEST é um pacote de modelos para mapeamento e quantificação de SE desenvolvido pelo Natural Capital Project (Universidade de Stanford, Califórnia-EUA e parceiros como TNC e WWF). Os SE avaliados foram:

- Retenção de sedimentos (por meio do modelo *Sediment Delivery Ratio*);
- Infiltração da chuva no solo (por meio do modelo *Seasonal Water Yield*); e
- Mitigação de inundações (por meio do modelo *Urban Flood Risk Mitigation*);

A área de abrangência geográfica da modelagem de serviços ecosistêmicos englobou os limites de toda a bacia hidrográfica do rio Piraquê-Cabuçu.

### 1.1.3 Valoração econômica

A quantificação dos serviços ecosistêmicos prestados por meio das Soluções baseadas na Natureza evidencia o valor que estes agregam para a sociedade. Estes valores não são associados a valores econômicos percebidos, o que contribui para sua subutilização e apreciação (a tomada de decisão é, no mais das vezes, baseada em valores pecuniários). Pode-se, no entanto, trazer à tona os valores com base em técnicas que ilustram, por exemplo, a eventual perda de sua provisão. Essa quantificação demanda o emprego de técnicas de valoração econômica de bens e serviços de não-mercado<sup>6</sup>.

O pressuposto básico para a valoração de bens e serviços de não-mercado é o de custo de oportunidade, ou seja, as repercussões do que ocorreriam na ausência ou em alternativa ao bem ou serviço valorado. Os benefícios, dessa forma, devem refletir os menores custos da alternativa mais factível para a modificação da realidade sendo analisada. Diversas técnicas conseguem quantificar valores de não-mercado, variando em abordagem, complexidade e custo de aplicação. Podem ser agrupadas e tipificadas conforme abaixo<sup>7</sup>:

- Relações físico-econômicas (instrumentos de mercado) que utilizam dos métodos de valor de reposição, valor de substituição, valor de danos evitados em função da produção;
- Preferências atestadas que utilizam dos métodos de valoração contingente (disposição a pagar ou a receber compensações) e modelagem de escolha;

<sup>5</sup> Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

<sup>6</sup> Bens e serviços de não-mercado são aqueles que não são transacionados no mercado e, portanto, não têm um preço observável. São bens e serviços geralmente associados a atributos ambientais ou fornecidos pelo poder público, tais como os próprios parques públicos, a segurança pública, a educação pública, um meio ambiente saudável, o patrimônio cultural etc.

<sup>7</sup> Com ênfase na captura dos valores de uso (direto e indireto), que é apenas um dos componentes do valor econômico total.

- Preferências reveladas que utilizam dos métodos de custo de viagem, preços hedônicos e comportamento defensivo ou de aversão; e
- Transferência de benefícios que, como indica seu nome, realiza a adoção de valores referenciados em outros estudos, porém nos mesmos contextos, para o caso a ser valorado. Sinteticamente, tem-se o uso de uma boa estimativa em um local controlado como *proxy* para o local desejado, método que se torna possível quando há uma base consistente e abrangente de estudos que fizeram uso das demais metodologias de valoração.

O emprego de cada caso de valoração deve se adequar ao contexto do bem ou serviço, de forma a tornar tangível seu valor para um determinado emprego, em um determinado local - ou seja, é dependente do contexto. Cada técnica apresenta vantagens e desvantagens, mas na maior parte das vezes, é a própria disponibilidade de dados e seu grau de confiabilidade que condicionam o uso de uma ou outra.

Ao implantar Soluções baseadas na Natureza, espera-se a geração de benefícios oriundos da melhoria na qualidade de vida e do bem-estar de forma geral. São co-benefícios: efeitos positivos que uma política ou medida destinada a um dado objetivo tem sobre um outro objetivo, aumentando assim o benefício total para a sociedade ou o meio ambiente. Por mais desejáveis, importantes e de grande impacto econômico que possam vir a ser, estes co-benefícios devem ser contabilizados com bastante cautela quando associados a avaliação de viabilidade socioeconômica (análise de custo-benefício), pois geralmente incutem duplas contagens. A dupla contagem ocorre quando duas métricas de valoração capturam o mesmo efeito e, caso sejam consideradas conjuntamente, aumentam de forma artificial os resultados.

Alguns benefícios, ademais, são facilmente identificados, mas dificilmente quantificados e/ou valorados. A quantificação, afinal, requer a realização de inferência e de conhecimento sobre a realidade local em nível microeconômico - principalmente pelo grau de elasticidade dos efeitos a serem gerados, a exemplo de um acréscimo de  $x\%$  no nível de atividade física dos  $y$  moradores que passarão a utilizar do Parque Fluvial do Jardim Maravilha. Para cada um dos benefícios identificados, deve ser assinalada a possibilidade de quantificação ou não, a depender do conhecimento local e da literatura de suporte, que pode ou não trazer parâmetros confiáveis de relação entre as variáveis analisadas.

A valoração econômica deve, adicionalmente, se apoiar em evidências empíricas que sejam tanto robustas quanto confiáveis sobre os reais benefícios das modificações ao ambiente, almejando-se encontrar relações que vão além da simples associação entre a modificação no ambiente e seus benefícios. O que se pretende, portanto, é utilizar de parâmetros causais que indiquem em que magnitude a modificação (efeito) gera os benefícios esperados.

Segundo as conclusões de Baum-Snow e Ferreira (2014), a causalidade é peça fundamental para entender as relações entre variáveis urbanas e regionais, tais como as políticas públicas, de infraestrutura e de desenvolvimento econômico. Os autores revisam algumas das principais abordagens e técnicas estatísticas para a realização da inferência causal, destacando a importância de identificar corretamente as variáveis causais e as fontes de variação, bem como a necessidade de controlar os efeitos de vieses, dentre eles o de seleção, tão comum em estudos de economia urbana.

Nota-se que benefícios não quantificáveis não são, por isso, benefícios desprezíveis. Muito embora apenas os quantificáveis possam servir de input para a análise de viabilidade socioeconômica e privada (objeto do Produto 6), a identificação dos não quantificáveis pode servir de base para futuras análises qualitativas.



O bairro de Guaratiba é o mais extenso, em termos territoriais, do município do Rio de Janeiro, abrangendo 139 km<sup>2</sup>. Seu crescimento e adensamento se deu, em parte, pelo processo de gentrificação gerado por empreendimentos e infraestruturas nos demais bairros da Zona Oeste, tais como: Barra da Tijuca, que é a área mais valorizada e apresenta uma grande variedade de opções de lazer, incluindo praias, shoppings, restaurantes e parques; o Recreio dos Bandeirantes, área residencial com praias menos movimentadas e mais preservadas que conta com uma boa infraestrutura de comércio e serviços; e mais recentemente Jacarepaguá, que é área mais diversificada e abriga tanto bairros residenciais como grandes empreendimentos comerciais, industriais e esportivos, incluindo o Autódromo Internacional e o Parque Olímpico, construído para os Jogos Olímpicos de 2016.

No bairro de Guaratiba, o Índice de Desenvolvimento Social calculado com base nas informações do Censo Demográfico de 2010, foi bastante baixo, de 0,487, e o menor registrado para a Região Administrativa, que foi da ordem de 0,493. Enquanto historicamente Guaratiba possuía uma vocação agrícola que a caracterizava como uma região periurbana, a expansão urbana vem modificando essa realidade, aportando uma certa diversidade de atividades econômicas, mas que não conferem uma característica específica à economia local. Assim, além de atividades agrícolas, ocorrem comércios e serviços voltados à demanda local.

Segundo o diagnóstico dos estudos de redução da mancha de inundação do Jardim Maravilha, em desenvolvimento pela Prefeitura do Rio de Janeiro, o loteamento está localizado em uma área de planície aluvial, com ocorrência original de áreas de várzeas. Atualmente, a várzea é dominada pela ocupação urbana, o que faz com que ocorram constantes eventos de alagamentos, principalmente devido às cheias do rio Piraquê-Cabuçu e canais que ali desaguam, havendo concomitantemente intensa interferência da maré da baía de Sepetiba.

A ocupação do loteamento foi realizada sobre a várzea do rio Cabuçu em sua margem direita e à esquerda da Vala José Sena e Ribeirão dos Porcos, já nas proximidades da foz do rio na baía de Sepetiba. Ou seja, o loteamento é seccionado/margeado por estes cursos d'água.

Observando-se que o Jardim Maravilha está localizado, em grande parte, em uma área de cotas baixas (inferiores a 3 m), a subida do nível do rio decorrente da associação entre a maré e a chuva, torna-se um dos fatores para a ocorrência frequente tanto de inundações (elevação do nível dos rios) quanto de alagamentos (associado à drenagem urbana). Afinal, o Jardim Maravilha combina:

- Relevo plano: a conformação geomorfológica é de planície aluvial, sendo que cerca de 63% da área total apresenta declividades muito baixas (abaixo de 2 graus) e quase 89% da área têm declividades inferiores a 5 graus.
- Predominância de solos com baixa taxa mínima de infiltração: predominam na porção norte e central os gleissolos háplicos, solos minerais hidromórficos, de textura argilosa a muito argilosa; a vegetação original ocorrente nestes solos é de campo higrófilo de várzea (EMBRAPA, 2017). Já ao sul do parque ocorrem gleissolos sálicos, de características semelhantes aos gleissolos háplicos, mas onde ocorriam originalmente campos halófilos de várzea. Nesta porção também ocorrem intrusões de solos indiscriminados de mangue, com vegetação original de manguezal. Os gleissolos podem ser classificados em relação a seus aspectos hidrológicos (Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros) como Grupo D: são

solos mal drenados, com taxa de infiltração muito baixa, oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão, mas os processos erosivos ocorrem menos por questões de declividade e mais por força mecânica dos rios que atravessam essas regiões.

- Localização próxima à foz do rio, com efeito de maré: devido aos itens anteriores, o nível do lençol freático na área é alto, o que faz com que loteamento apresente áreas alagadas em diversos pontos (a ponto que inúmeras construções apresentam fundações em níveis mais elevados ao se comparar ao nível da rua).

Os principais formadores do rio Piraquê são o rio da Prata do Cabuçu e o rio Cabuçu, sendo que o afluente mais caudaloso é o rio da Prata do Cabuçu (situado na extremidade nordeste da bacia), que, apesar de drenar uma área de apenas 28% da área total da bacia, concentra cerca de 45% da vazão média de longo período registrada na foz do rio Piraquê. Enquanto a sub-bacia do Cabuçu é bastante urbanizada, a sub-bacia do Prata do Cabuçu é uma das porções mais preservadas da bacia do Piraquê-Cabuçu, principalmente devido ao relevo mais montanhoso dessa região. As nascentes do rio da Prata do Cabuçu estão localizadas na parte Noroeste da Área de Proteção Ambiental da Pedra Branca.

A região do Jardim Maravilha é classificada como uma área de vulnerabilidade social, ambiental e econômica, contando com ocupações irregulares e pouca ou total ausência do poder público. As ligações elétricas das residências no Jardim Maravilha são realizadas de maneira improvisada e irregular. Há carência de equipamentos de cultura e lazer à população e as vias, embora ordenadas, não são pavimentadas e não contam com calçamento adequado.

Ademais, a região não conta com a prestação de serviços de saneamento básico: a falta de abastecimento regular de água e de sistema de esgotamento sanitário resultou na improvisação da maioria das ligações, o que é evidenciado pela presença de diversas tubulações dentro das valas de esgoto. As valas foram abertas pelos próprios moradores para evitar que o esgoto se acumulasse na frente das casas, uma vez que a área é plana e de baixa permeabilidade. Todo o esgoto produzido é despejado no rio Piraquê-Cabuçu.

Ribeiro (2017) se debruçou sobre a bacia do rio Piraquê-Cabuçu como estudo de caso de sua dissertação sobre a relação da população com os rios urbanos, desvendando que este, em específico, vem sendo negligenciado não apenas pelos agentes públicos e privados, como por toda população. Quando se dá as costas para os cursos d'água, há danos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população que movimentam um ciclo vicioso: a contaminação (por esgotos e resíduos sólidos) compromete a saúde, causa inundações e desvaloriza o ambiente que, por sua vez, atrai mais poluição e assim por diante. Adicionalmente, identificou-se que o expressivo crescimento populacional é objeto de políticas públicas, mesmo que pontuais e geralmente por meio de projetos de urbanização de lotes irregulares (Ribeiro, 2017). Não obstante, não há um controle efetivo deste crescimento, ou mesmo preocupação pelos conflitos socioambientais que dele decorrem.

Já Cortado (2018) investiga a etnográfica acerca do movimento de moradores do Jardim Maravilha, destacando a intrincada rede de favores e controles que permeiam a alocação e comercialização de seus lotes, o que denominou de "agenciamentos políticos" que sustentam as práticas de urbanização.

Mesmo com a situação de vulnerabilidade e fragilidade ambiental, o crescimento recente da área ocupada é vertiginoso, estimando-se ter passado de 2,18 km<sup>2</sup> para os atuais 3,54 km<sup>2</sup> em vinte anos (62% de aumento na mancha, sem contar o acréscimo de densidade).

Utilizou-se do polígono do loteamento Jardim Maravilha para realizar sua caracterização. De acordo com os setores censitários do IBGE, delineados para fins do recenseamento de 2010<sup>8</sup>, são 30 os setores que recaem sob o polígono do Jardim Maravilha, cuja área total recobre 523,78 hectares. A informação do setor censitário é relevante pois permite acessar os dados discretizados a esse nível, pelo Censo de 2010, para a quantidade de domicílios, sua população e renda.

Dessa forma, procedeu-se com a identificação destas informações para os setores censitários, obtendo-se um total de 5.904 domicílios particulares permanentes (0,2451% do total da cidade do Rio de Janeiro) e 19.395 moradores em domicílios particulares permanentes (0,3069% da cidade). A renda nominal média mensal das pessoas responsáveis pelos domicílios particulares permanentes, ponderada pelo resultado de cada setor, foi de R\$ 791 (ou seja, rendimento anual de R\$ 9.496 em 2010).

Desvendou-se uma taxa de ocupação (moradores por domicílio) de 3,29, o que evidencia a diferença entre este loteamento de ocupação de baixa renda com a média do município do Rio de Janeiro: 2,94 moradores por domicílio particular ocupado.

Para atualizar esses dados para o ano de 2021, primeiramente se aplicou a taxa de crescimento populacional de 1,83% ao ano. Essa taxa é equivalente a taxa estimada pelo Instituto Pereira Passos<sup>9</sup> para o crescimento populacional do município do Rio de Janeiro, de 0,63% ao ano, acrescida da estimativa de crescimento adicional do bairro de Guaratiba. Esta última, por sua vez, foi obtida pela diferença de densidade da mancha de uso do solo entre os mesmos anos, que passou de 2,90 para 3,54 km<sup>2</sup>.

Com essa correção demográfica, estima-se 25.381 moradores no loteamento Jardim Maravilha. Assumindo-se que a densidade de moradores por domicílio permaneceu constante, estimam-se ao todo 7.726 domicílios particulares no loteamento.

Quanto à renda, aplicou-se a correção monetária de 107,53% pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor<sup>10</sup> entre Jul/10 e Jul/22<sup>11</sup>, resultando em um rendimento nominal médio mensal das pessoas responsáveis pelos domicílios particulares permanentes de R\$ 1.643,44. O valor é equivalente a 1,33 salários mínimos estadual (R\$ 1.238,00 por mês).

---

<sup>8</sup> Em março de 2023, ainda não haviam sido publicados os resultados do Censo de 2022. Os resultados do Censo Demográfico de 2010 estão disponíveis em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/inicial>

<sup>9</sup> Disponível em: <https://www.data.rio/documents/populacao-residente-estimada-e-projetada-por-sexo-e-grupos-etarios-do-brasil-estado-do-rj-e-municipio-do-rio-de-janeiro-entre-1980-1991-2000-2065/about>

<sup>10</sup> O INPC (Índice Nacional de Preços ao Consumidor) é um índice calculado pelo IBGE, tal qual o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo). Por medir a variação de preços de um conjunto de produtos e serviços consumidos por famílias com renda de até 5 salários mínimos, torna-se mais adequado para mensurar as variações das populações de menor renda em detrimento ao IPCA, cuja cesta de produtos e serviços é maior do que a do INPC e inclui despesas de famílias com renda até 40 salários mínimos. Por isso, o IPCA é utilizado como índice de referência para a política monetária do governo e para o reajuste de tarifas públicas, enquanto o INPC é mais utilizado para o reajuste de salários e benefícios previdenciários.

<sup>11</sup> Técnica conhecida como *mid-year*, que na ausência de maiores detalhes sobre o mês exato da tomada de preços, considera a variação entre os meses de julho dos anos. Essa técnica é replicada no restante das correções monetárias deste documento.

Para se ter uma estimativa do que essa renda representa por domicílio, ou mesmo em termos de renda geral do loteamento, deve-se estimar qual é a fração das pessoas com renda (seja ela oriunda de atividades formais ou não, ou qualquer outro tipo de rendimento). Para isso, recorre-se novamente ao Censo Demográfico (2010) e sua distribuição da população por faixa etária: segregando-se as que têm de 20 a 64 anos, faixa etária onde se concentra a população em idade ativa, tem-se 66,05% da população total. Como houve mudança no perfil demográfico entre 2010 e 2020, adota-se uma correção baseada na fração de crescimento por faixa populacional entre as projeções por faixa etária do IBGE para o estado do Rio de Janeiro e aplica-se aos resultados censitários do município do Rio de Janeiro. Com essa atualização, desvenda-se que 67,50% da população se encontra em idade ativa e, supõe-se, tem algum rendimento.

Com base na população estimada de 25.381 moradores e 67,50% deles com rendimento, chega-se então a 15.620 pessoas com renda. Dada a renda mensal nominal média de R\$ 1.643,00 por pessoa com renda, ao total tem-se R\$ 308,05 milhões gerados anualmente no loteamento Jardim Maravilha (a preços de 2022). Outra métrica derivada é de R\$ 43.744 por ano por domicílio. Em relação ao salário mínimo estadual, esse rendimento corresponde a 2,94 vezes. Para fins de comparação, tem-se que o salário médio mensal dos trabalhadores formais no município do Rio de Janeiro é de 4 salários mínimos (em 2020, segundo o IBGE).

Para a estimativa da área construída, com base nas informações atualizadas, aplicou-se o rateio proporcional à fração de área de cada setor censitário dentro dos limites do polígono do Jardim Maravilha, que é de 375,17 hectares. Dos 30 setores, 16 recaem totalmente dentro dos limites do polígono do loteamento e não requerem ajustes, pois todas as informações censitárias estão abrangidas na área de análise. Os demais setores recaem parcialmente sobre o polígono, com 10 deles contendo mais de 90% de suas áreas no polígono e 4 setores com frações menores. Supondo-se que o domicílio médio tem área de 60 m<sup>2</sup>, espelhando a menor área de imóvel residencial possível de ser construída pelo Programa Federal Minha Casa Minha Vida, pode-se estimar a área construída mínima.

**Tabela 2 - Dados demográficos estimados para o Loteamento Jardim Maravilha em 2022**

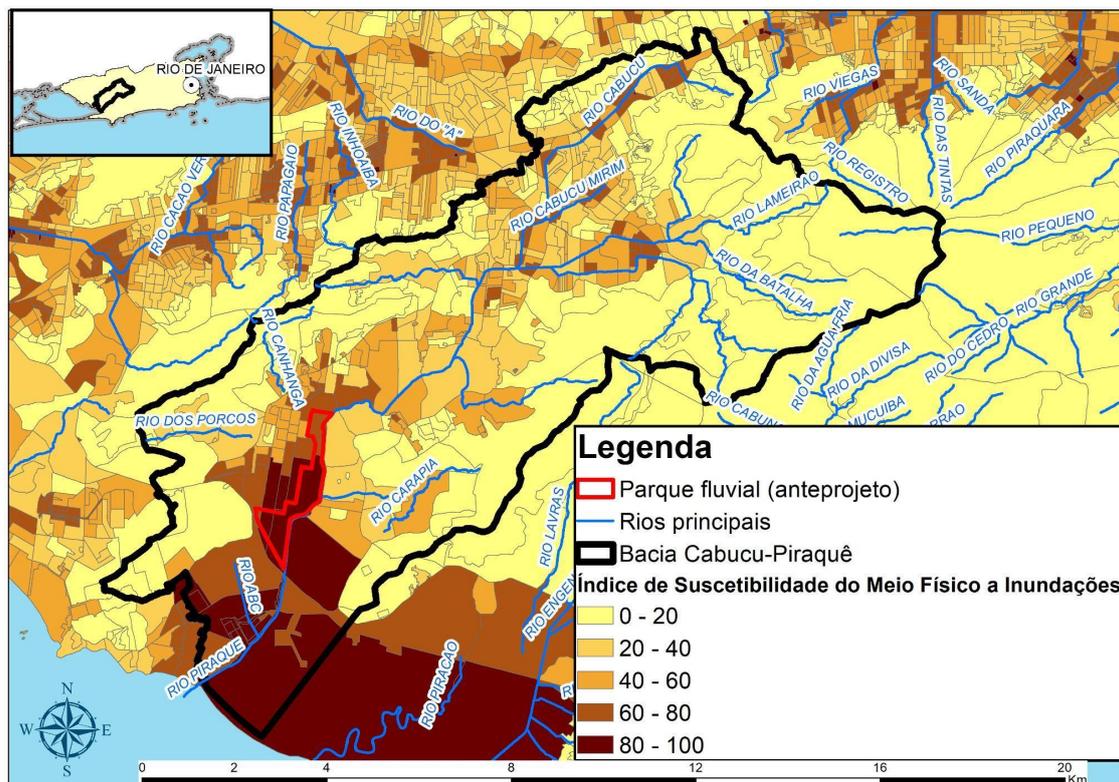
Domicílios	Moradores	Moradores / Domicílio	Área construída	Renda Anual por Domicílio
7.042	23.142	3,29	422,52 mil m <sup>2</sup>	R\$ 43.744

### 2.1.1 Vulnerabilidade às Mudanças Climáticas no Jardim Maravilha

Como torna-se claro pela análise acima, um dos principais problemas no Jardim Maravilha é a recorrência de desastres naturais de inundação e alagamento. Embora detenham uma classificação distinta como tipologia de desastres naturais, inundações e alagamentos afetam o local de forma concomitante (ver tópico 'a' do subitem "Valoração dos benefícios dos SE de regulação hídrica" para detalhe). Estes eventos são ambos de cunho hidrológico e podem se tornar mais intensos e/ou mais frequentes frente à mudança do clima.

Nesse contexto, a Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC/COPPE-UFRJ, 2016) destaca a importância de preencher lacunas de conhecimento sobre os perigos relacionados às mudanças climáticas para poder tomar medidas de resposta efetivas.

Dentre as ameaças apresentadas que são relevantes ao Jardim Maravilha, estão elevação do nível médio do mar e inundação. No primeiro caso, a Estratégia de Adaptação destaca que há conhecimento insuficiente para uma avaliação precisa, afirmando que "a ignorância sobre o ambiente costeiro da CRJ constitui, certamente, o maior risco e obstáculo ao planejamento de respostas às mudanças climáticas." (SMAC/COPPE-UFRJ, 2016, página 27). Informações mais recentes disponibilizadas pela plataforma Climate Central (<https://coastal.climatecentral.org/>), com base em projeções de elevação do nível do mar embasadas por consenso recente do IPCC (Sixth Assessment Report, IPCC (2021)), indicam que até o fim do século XXI a maior parte do Jardim Maravilha estaria submersa pela ação conjunta da elevação do nível do mar e dos efeitos de marés<sup>12</sup>.



**Figura 2 - Índice de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI), evidenciando que a região proposta para o parque fluvial é uma das mais suscetíveis a inundações na bacia do Rio Cabucu-Piraquê (Fonte: SMAC/COPPE-UFRJ, 2016).**

No segundo caso, abordando a ameaça de inundação, a Estratégia de Adaptação apresenta o Índice de Suscetibilidade do Meio Físico a Inundações (ISMFI), criado para representar as regiões mais suscetíveis a falhas na rede de drenagem, uma vez que não há dados robustos para avaliar o risco de inundações em cada bacia hidrográfica (PMRJ, 2016). O ISMFI leva em consideração aspectos do meio físico, como declividade do terreno, proximidade de cursos d'água, influência da maré e nível de impermeabilização do solo, e é usado como uma indicação qualitativa da propensão à inundação nas bacias hidrográficas, sem levar em conta o fenômeno físico das chuvas e processos hidrodinâmicos. Com base no ISMFI, a região do Jardim Maravilha foi classificada como "Muito Alta", a mais grave de cinco classes (ver figura 2).

<sup>12</sup> Notícia do Diário do Rio (09/06/2021) traz detalhes sobre estas projeções: <https://diariodorio.com/sepetiba-guaratiba-e-reserva-podem-ficar-debaixo-de-agua-em-2030/>

Ademais, a Estratégia de Adaptação (SMAC/COPPE-UFRJ, 2016) enfatiza que para a ameaça de inundação em situação atual e futura, é necessária *"uma adequada base de dados pluviométricos e fluviométricos, de modo que cada bacia hidrográfica seja tratada de maneira individualizada (...) com aplicação de ferramentas de modelagem hidrológico-hidrodinâmica, para diferentes tempos de retorno (...)"* (PMRJ, 2016, página 32).

A Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro (SMAC/COPPE-UFRJ, 2016) apresenta temas chave para a compreensão da exposição e vulnerabilidade sob os aspectos de urbanização e habitação, mobilidade urbana, saúde e infraestruturas estratégicas para cada uma das cinco Áreas de Planejamento (AP) do referido Plano. A AP 5 engloba as regiões administrativas de Guaratiba, Santa Cruz, Campo Grande, Bangu e Realengo, destacando-se que:

- Atualmente, a área é altamente povoada e suscetível a eventos climáticos extremos, como inundações, deslizamentos de terra e altas temperaturas. A expansão urbana dispersa e de baixa densidade é intensa, com crescimento das favelas e loteamentos clandestinos. A área é a que abriga o maior número de empreendimentos do Programa Minha Casa Minha Vida em zonas propensas a esses perigos. No futuro, os vetores de crescimento continuarão a ameaçar áreas naturalmente sensíveis, o que pode aumentar a vulnerabilidade das pessoas, patrimônios e ecossistemas locais. Além disso, a elevação do nível médio do mar poderá representar uma ameaça adicional para as áreas urbanizadas na Baía de Sepetiba.
- A área apresenta combinação pouco favorável de alta vulnerabilidade na mobilidade urbana e muitas infraestruturas de suporte potencialmente expostas, dado que os grandes corredores rodoviários são muito demandados por conta da grande distância entre as residências, as estações dos transportes estruturantes e os centros geradores de emprego. Com as vias estruturantes e arteriais em áreas de potencial exposição, há relevante ameaça à mobilidade por conta de inundações. No futuro, as inundações devem prejudicar os acessos ao sistema de BRT e Trem.
- Dentre todas as Área de Planejamento, a AP 5 possui a população mais vulnerável em termos de saúde. No futuro, a saúde da população pode ser ainda mais afetada, especialmente na região administrativa de Guaratiba, que já possui alta vulnerabilidade para doenças como leptospirose, leishmaniose tegumentar americana e doenças cardiovasculares. A região é suscetível a ocorrências de inundação e outros perigos climáticos, o que pode agravar ainda mais a situação. Além disso, Guaratiba possui uma população significativa de menores de cinco e maiores de 65 anos, o que aumenta ainda mais a preocupação com a saúde da população.
- A área apresenta exposição a diferentes perigos climáticos, destacando-se a inundação. No futuro, espera-se um aumento na exposição.

Dentre a visão de futuro estabelecida pela Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro, destaca-se a atuação do Eixo Estratégico D: Conduzir a ocupação e uso do território, de forma a promover a qualidade ambiental e urbana. Nesse eixo, as linhas de ação visam: (i) conter a expansão urbana e controlar o adensamento; (ii) promover a urbanização de favelas; (iii) promover espaços livres verdes e multifuncionais; e (iv) promover a

adaptação e eficiência energética e hídrica em edificações. Nota-se que o Parque Fluvial do Jardim Maravilha se insere no Eixo D, tópico iii, que contribui também para os tópicos i e ii.

No detalhamento da linha de ação de promover espaços livres verdes e multifuncionais, destaca-se a iniciativa de "promover espaços livres públicos multifuncionais nas margens inundáveis de rios e faixas costeiras em áreas urbanizadas", que conta com as seguintes atividades (conforme SMAC/COPPE-UFRJPMRJ, 2016, página 63): (i) elaborar estudos de viabilidade e identificação de potenciais locais para a implantação; (ii) elaborar projetos urbanos integrados que abordem conceitos de desenho sensível à água (*water sensitive urban design*), como amortecimento de inundações, lazer e recreação; (iii) propor ações de revitalização nos rios que possam receber a ação e implementar projeto-piloto; e (iv) divulgar ações para população.

Mais uma vez, observa-se que o Parque Fluvial do Jardim Maravilha se insere na linha de ação da Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro, endereçando as vulnerabilidades crescentes.

O Produto 6 desta consultoria aborda com detalhes o perigo hidrometeorológico crescente trazido pela mudança do clima, permitindo articular os resultados de quantificação e valoração deste benefício do Parque Fluvial do Jardim Maravilha obtidos no Capítulo IV deste relatório.

Por fim, cabe destacar a importância do suporte jurídico, inserido no Produto 7 desta consultoria, para subsidiar políticas públicas que sejam efetivas no enfrentamento aos efeitos das variações climáticas, dando o apoio necessário para a implementação destas infraestruturas e demais ações para mitigar tais efeitos. Não só o Jardim Maravilha, como também outras localidades do município estão sujeitas aos riscos citados anteriormente, portanto as iniciativas quanto às políticas públicas irão beneficiar não apenas pontualmente a escala local como também a municipal.

## 2.2 O Jardim Maravilha de Amanhã

### 2.2.1 Concepção do Parque Fluvial do Jardim Maravilha

Com o objetivo de reduzir as inundações e conter a mancha de inundação recorrente na região do Jardim Maravilha, considerou-se a necessidade da elaboração de um projeto para obras de drenagem e/ou macro e microdrenagem, de forma a proporcionar segurança e melhoria na qualidade de vida da população, mediante a implantação de um equipamento urbano que proporcionará uma maior sustentabilidade ao loteamento Jardim Maravilha.

A intervenção se abriga no Plano Rio Futuro (PMRJ, 2021), que tem no programa de Criação de Territórios Sociais e Áreas Verdes um conjunto de ações que combinam saneamento, infraestrutura, acesso à saúde e educação, sustentabilidade e engajamento das comunidades.

O Projeto do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, que se estende ao longo do rio Piraquê-Cabuçu, é idealizado com base na aplicação de técnicas urbanísticas e de drenagem sustentáveis, proteção de margens contra erosão, recomposição da vegetação ciliar, redução da poluição difusa, controle de cheias, e integração comunitária. Seus objetivos são o de promover

a melhoria da qualidade de vida via incremento da área verde, ações de mobilidade, recreação e redução de efeitos de inundações.

Assim, a Prefeitura do Rio de Janeiro, por meio da Fundação Instituto das Águas do Rio de Janeiro (Rio-Águas), contratou a elaboração de "estudos hidrológicos e hidráulicos para o projeto de redução do impacto da mancha de inundação e requalificação ambiental, urbanística e paisagística da região do Jardim Maravilha". Estes estudos, ainda em elaboração, apontam para a formação de um Parque Fluvial com intervenções de infraestrutura cinza e verde, como é descrito no item subsequente. Deverão ser executados:

- Serviços de saneamento básico;
- Desassoreamento do rio Cabuçu;
- Implantação de canais internos de drenagem;
- Área de espraiamento do rio e dique de barramento.

Também está prevista a instalação de equipamentos de lazer e criação de novas áreas comunitárias, embora não se tenha, ainda, detalhes acerca destes investimentos complementares. Pode-se assumir, no entanto, que a implantação do Parque Fluvial concomitante às demais interferências urbanísticas, de aporte de equipamentos urbanos, das ações de cunho comunitário e do incremento dos serviços públicos, irão modificar o bairro e suas condições de vida. Isso desencadeará uma possível nova dinâmica econômica e novos padrões de vida, que são associados a inúmeros benefícios.

### **2.2.2 Sugestões de SbN no Parque Fluvial do Jardim Maravilha**

O Produto 2 - *Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza para Espaços Livres* da presente consultoria explana que a definição das SbN para cada caso específico de parque linear deve passar por uma análise de caracterização ambiental (a exemplo de localização, pedologia e hidrologia) e de aspectos socioeconômicos de forma a subsidiar as mais viáveis para implantação.

Como exemplo de subsídios para o processo de definição e delimitação de potenciais SbN no parque fluvial do Rio de Janeiro, as seguintes SbN foram retiradas do catálogo - que detalha 24 tipologias que podem ser replicáveis no contexto das cidades brasileiras - e sugeridas para o Jardim Maravilha:

- Canteiro Pluvial, principalmente em calçadas, vagas de estacionamento em vias, leito carroçável;
- Biovaleta, principalmente em canteiros centrais, estacionamentos, locais estreitos para condução da água ou ainda locais amplos associados a outro dispositivo como *polder*;
- Bacia de Detenção, principalmente a partir de parque inundável e área destinada a reservação a montante da bacia, quadras esportivas, praças e parques;

- Bacia de Retenção, na localização estratégica de parque inundável, lâmina d'água permanente e inundável em época de cheia;
- Reservatório Anfíbio, para reservação e lazer;
- *Wetlands* Construídos, na região do parque;
- Ilhas Filtrantes Flutuantes, ao longo do rio Piraquê-Cabuçu e nos canais de águas residuais abertos;
- *Polder* Vegetado, inserido em planície aluvial com ocorrências de inundações, entre a área urbanizada e curso de rio existente ou entre área urbanizada e o parque fluvial (inundável);
- Estruturas de Contenção, tais como muro de contenção com pedras, muro de pedra com vegetação, muro de gabiões com vegetação; e
- Restauração ecológica (por plantio total, ou isolamento e condução da regeneração natural) nas matas ciliares do rio Piraquê-Cabuçu, removida ao longo de alguns trechos, especialmente entre a Estrada Aterrado do Rio e a Av. Dom João VI, que é justamente o trecho no qual deve ser instalado o novo parque fluvial.

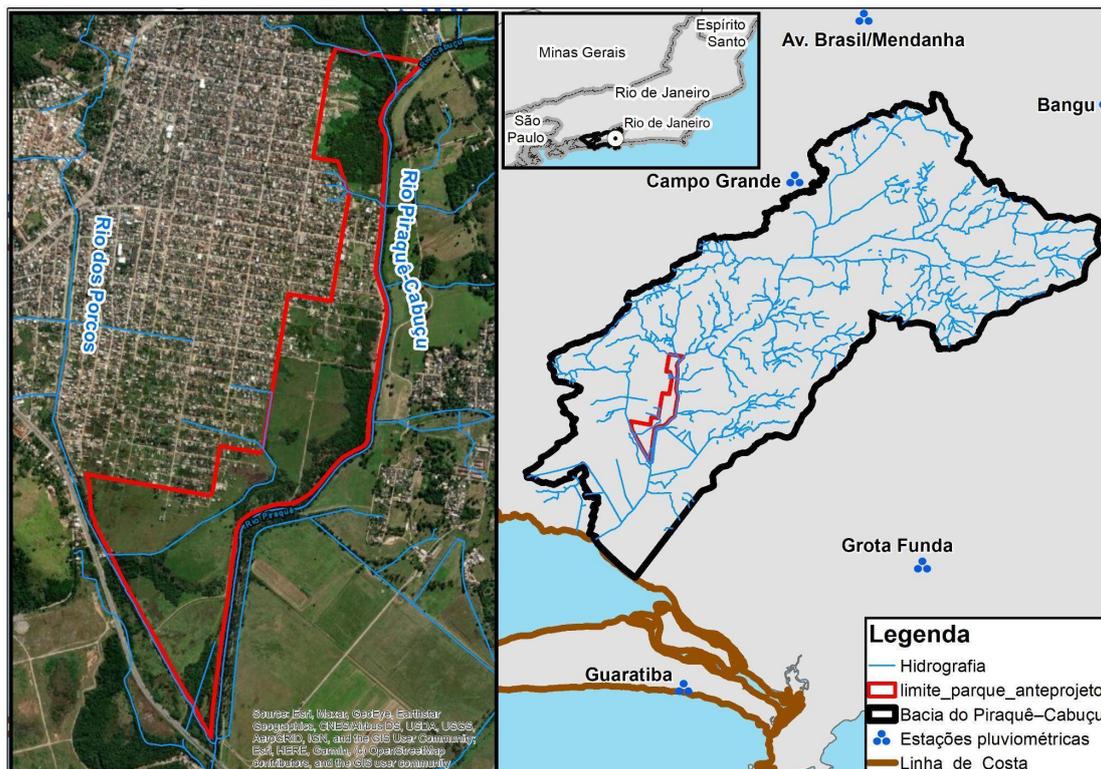
### **2.2.3 O Projeto de SbN no Parque Fluvial do Jardim Maravilha (Pref. do Rio de Janeiro)**

Ainda em fase de finalização pela Prefeitura do Rio de Janeiro, por meio da Fundação Instituto das Águas do Rio de Janeiro (Rio-Águas), apresenta-se abaixo o projeto de SbN no Parque Jardim Maravilha, utilizado como base para a quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de sua implementação.

O projeto conta com uma solução mista entre naturais e cinza, sendo que as SbN complementam o projeto de dique e de áreas não alagáveis:

- Dique de barramento com aproximadamente 3,6 km de extensão;
- Parque inundável com 808,55 mil m<sup>2</sup>;
- Parque não inundável com 47,67 mil m<sup>2</sup>;
- Reservatório anfíbio (*detention pond*) com 87,59 mil m<sup>2</sup>;
- *Wetlands* construídos com 31,35 mil m<sup>2</sup>; e
- Jardins de chuva em 42 pontos ao longo do loteamento (fora da área do parque).

A figura a seguir apresenta a localização proposta para o Parque Fluvial.



**Figura 3 - Área proposta para o Parque Fluvial do Jardim Maravilha na bacia do rio Piraguê-Cabuçu**

Dada a ausência, até o momento, de maiores detalhamentos sobre as características urbanísticas da área não alagável, supõe-se que abrigará ao menos 5 praças de 762 m<sup>2</sup> cada, abrigando equipamentos de lazer e mobiliário urbano. No restante dessa área, pressupõe-se que haja a recomposição vegetal e urbanização com iluminação pública, calçamento, ciclovias e outros equipamentos afins.

Por fim, assume-se que haverá a execução de Trabalho Técnico Social ao menos durante a fase de obra do Parque.

### 3 QUANTIFICAÇÃO DOS RISCOS E BENEFÍCIOS AMBIENTAIS

Com base na avaliação de metodologias para quantificação de benefícios gerados por SbN, realizada no âmbito do Produto 3 desta mesma consultoria, e também na própria experiência do consórcio Guajava-Aquaflora-Kralingen na aplicação prática de algumas destas metodologias (Guimarães e Thá, 2018; Aquaflora, 2021; Kralingen; 2021), definiu-se como a metodologia mais adequada para a mensuração de benefícios ambientais advindos da implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha a realização de modelagem de serviços ecossistêmicos, com a avaliação de dois cenários; o cenário atual ("Jardim Maravilha de Hoje") e o cenário que considera já implementado o Parque Fluvial em uma configuração que abrange a utilização de SbN associadas a estruturas de engenharia convencional, tal como descrito no capítulo anterior, e doravante denominado de "Jardim Maravilha de Amanhã". A seguir esta metodologia e sua aplicação no presente caso são descritos.

#### 3.1 Modelagem de Serviços Ecossistêmicos

A compreensão do efeito da gestão da paisagem sobre os fluxos hídricos e seus efeitos sobre as pessoas e as atividades econômicas é de suma importância em termos de gestão das bacias hidrográficas. A contribuição de uma dada parcela de terra para os fluxos hídricos depende de fatores ambientais que definem o comportamento do ciclo hidrológico, como clima, solo, vegetação, declividade, e a posição ao longo do caminho do fluxo (NATURAL CAPITAL PROJECT, 2022).

Algumas ferramentas baseadas no cálculo de balanço hídrico são capazes de quantificar a separação da água da chuva nos diferentes componentes do ciclo hidrológico (processos de infiltração, escoamento superficial, infiltração e recarga) e foram desenvolvidas a fim de avaliar como a cobertura vegetal e o uso da terra influenciam na disponibilidade de água para o ser humano e suas atividades, nas formas de água superficial e subterrânea.

Os modelos utilizados para a simulação de serviços ecossistêmicos hídricos (regulação hídrica, retenção de sedimentos, mitigação de enchentes) na bacia do Rio Cabuçu-Piraquê foram construídos mediante uso da ferramenta InVEST (*Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs*)<sup>13</sup> (NATURAL CAPITAL PROJECT, 2022), desenvolvida pela iniciativa Natural Capital Project<sup>14</sup>, coordenada pela Universidade de Stanford - EUA (com parceiros como Academia Chinesa de Ciências, Academia Real Sueca de Ciências, Centro de Resiliência de Estocolmo, Universidade do Minnesota, TNC e WWF).

A ferramenta InVEST é um conjunto de modelos desenvolvidos para quantificar, mapear e valorar os serviços ecossistêmicos que sustentam a vida e as atividades humanas. Seu funcionamento é baseado em funções de produção que definem como as mudanças na estrutura e/ou função de um ecossistema afetam os fluxos e disponibilidade dos serviços ecossistêmicos, entre eles serviços como a regulação do ciclo hidrológico, a regulação de processo erosivos, a polinização por insetos, entre outros (NATURAL CAPITAL PROJECT, 2022).

<sup>13</sup> Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest>

<sup>14</sup> Disponível em: <https://naturalcapitalproject.stanford.edu>

Com uso de três modelos da ferramenta InVEST (versão Workbench 3.12.1) foram simulados os seguintes serviços ecossistêmicos:

- Regulação de fluxos hídricos, tais como escoamento superficial e subterrâneo, por meio do modelo *InVEST Seasonal Water Yield*;
- Mitigação de enchentes, por meio do modelo *InVEST Urban Flood Risk Mitigation*.
- Regulação da produção e exportação de sedimentos aos corpos hídricos, por meio do modelo *InVEST Sediment Delivery Ratio*; e

Os cenários modelados quanto à oferta de serviços ecossistêmicos e sua variação (a partir da implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha) foram os seguintes:

- Cenário de linha de base (situação pré-intervenção, aqui denominada Jardim Maravilha de Hoje);
- Cenário pós-implementação do projeto: situação na qual o uso da terra dentro dos limites do parque é simulado considerando-se o projeto preliminar do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, desenvolvido pela consultoria HidroStudio sob orientação da Fundação Rio-Águas (comunicação pessoal, 2023), no qual são previstas intervenções de SBN (descritas mais a seguir), aqui denominada Jardim Maravilha de Amanhã.

A área de abrangência geográfica da modelagem de serviços ecossistêmicos engloba os limites do Parque Fluvial e todo o seu entorno, sendo o limite espacial da modelagem a bacia do rio Piraquê-Cabuçu. A correta simulação de processos hidrológicos em um ambiente de modelagem numérica requer a representação de todo o território da bacia na qual se encontra a área de interesse do estudo (parque fluvial).

### **3.1.1 Serviços Ecossistêmicos de Regulação Hídrica**

O modelo *InVEST Seasonal Water Yield* - SWY calcula índices espacialmente distribuídos e gera mapas, quantificando a contribuição relativa de cada parcela de terra para a geração de escoamento superficial, vazão de base e recarga, podendo representar o comportamento hidrológico de uma paisagem, condicionado por mudanças no uso e cobertura da terra e/ou no regime climático. Em suma, o modelo quantifica e representa espacialmente os volumes de água em cada parcela do balanço hídrico ao longo da paisagem, levando em conta sempre o percurso que a água da chuva vai fazer depois que atinge o solo, e os tipos de uso/cobertura e de solos que cada diferente fluxo de água vai atravessar (sendo que as características de rugosidade e permeabilidade do conjunto "uso/cobertura + solo" influenciam em grande parte se este fluxo de água será infiltrado ou se prosseguirá seu caminho como escoamento superficial).

Um dos maiores diferenciais do modelo *InVEST SWY* em relação a outros modelos hidrológicos é sua capacidade de levar em conta o caminho provável dos fluxos de água, com base em informações de relevo, obtidas do modelo digital de terreno, usando uma técnica de geoprocessamento conhecida como "*routing*". Por meio de dados espaciais de entrada do modelo como precipitação mensal e evapotranspiração potencial mensal, além de bases geográficas de uso da terra, solos e relevo, o modelo *Seasonal Water Yield* aplica uma

abordagem de "roteamento" da água da chuva, para levar em conta a trajetória dos fluxos de água na bacia analisada.

O modelo usa uma abordagem simples, baseada no método do "número de escoamento" ("curve number", NRCS, 2004), desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (*Soil Conservation Service, SCS*), atual *Natural Resource Conservation Service (NRCS/USDA)*. O método leva em conta o potencial de geração de escoamento superficial de diferentes combinações de uso da terra e solos. As diferenças de potencial de escoamento e de infiltração entre coberturas naturais ou semi-naturais e usos da terra antrópicos (urbanos e agropecuários) são geralmente bem capturadas por essa abordagem, ou seja, o efeito da infraestrutura natural é bem representado qualitativamente nos resultados do modelo.

O método do "número de escoamento" é aplicado para estimar o escoamento superficial direto da água (chuva excedente, parte da precipitação que não se infiltra no solo) de pequenas e médias bacias hidrográficas. Esta metodologia parte do princípio de que o escoamento superficial direto corresponde à função entre a precipitação e a infiltração promovida pelo complexo hidrológico "solo-cobertura do solo", além das condições de umidade antecedente (NRCS, 2004). Os solos e sua cobertura (vegetal ou não) são entendidos nesta metodologia como complexos integrados, que proporcionam diferentes comportamentos de escoamento superficial, sendo possível atribuir diferentes taxas de escoamento superficial a tais complexos, que variam de 0 a 100, conforme seu potencial de escoamento superficial.

Um valor de "número de escoamento" (CN) mais elevado indica um maior potencial de escoamento (e conseqüentemente uma menor infiltração) enquanto valores de CN baixos são relacionados a complexos "uso da terra + solo" que apresentam menores taxas de escoamento superficial, onde prevalecem os processos de infiltração. Esta metodologia é reconhecida por ser largamente utilizada (Lombardi Neto et al., 1989; Tucci, 2000; Sartori, 2004) para estimar a relação entre as propriedades do solo e de cobertura da terra que influenciam o escoamento superficial (e a infiltração, por consequência). Solos cobertos por vegetação (natural ou não) são geralmente mais permeáveis, apresentando valores de CN consideravelmente mais baixos que usos antrópicos como áreas urbanas ou agropecuárias.

Este método de modelagem do balanço hídrico, desenvolvido por NATURAL CAPITAL PROJECT, (2022), ainda leva em conta o coeficiente de evapotranspiração mensal (coeficiente  $K_c$ ), que é a taxa de água no solo que cada uso ou cobertura da terra libera para a atmosfera pelos processos de evaporação ou de transpiração das plantas (que, combinados, são denominados de evapotranspiração). O fator  $K_c$  funciona como um fator de correção da evapotranspiração potencial (ETP, informação inserida no modelo por meio de mapas de evapotranspiração para cada mês do ano), de forma se obter valores de evapotranspiração ajustados aos diferentes tipos de uso e cobertura da terra ocorrentes ao longo da paisagem.

Desta forma o modelo pode quantificar o potencial incremento de serviços ecossistêmicos hídricos como aumento de infiltração profunda ou percolação (favorecimento de recarga) e redução de escoamento superficial (mitigação de enxurradas), em decorrência da expansão da vegetação natural e de técnicas de SbN para aumento da macro e microdrenagem.

Por meio da execução do modelo SWY são obtidos valores para três índices: (i) "*quickflow*" (fluxo rápido), que vem a ser o escoamento superficial (expresso em mapas que indicam valores de

mm/mês ou mm/ano); (ii) o "*local recharge*", o qual faz menção à totalidade do escoamento subterrâneo profundo (expresso em valores tabulares de mm/ano/sub-bacia, e em mapas que indicam valores de mm/ano); (iii) e o "*baseflow*" (fluxo de base), sendo esta a parte do fluxo subterrâneo que alimenta os rios em épocas secas (expresso em mapas que indicam valores de mm/ano).

Uma descrição mais detalhada das premissas, do funcionamento, e do tipo de resultados gerados pelo modelo SWY pode ser encontrada no manual online do modelo<sup>15</sup>.

### **3.1.2 Serviços Ecosistêmicos de Mitigação de Inundações**

A infraestrutura natural atua na mitigação de inundações principalmente reduzindo a produção de escoamento superficial (*runoff*) causado por águas pluviais, aumentando a capacidade de infiltração da água no solo e criando espaço para a água se acomodar em planícies aluviais.

O modelo InVEST de Mitigação de Risco de Inundações (InVEST *Urban Flood Risk Mitigation - UFRM*) calcula a redução do escoamento superficial (indutor de enxurradas e inundações), ou seja, a quantidade de escoamento retido por pixel em comparação com o volume da tempestade. Pode, de forma opcional, calcular, ao nível da bacia hidrográfica, o dano econômico potencial, sobrepondo informações sobre a extensão potencial de inundação e a infraestrutura construída (residencial, institucional, comercial ou industrial).

Assim como o modelo SWY, anteriormente descrito, este modelo se baseia no potencial de escoamento superficial (e, por consequência, no potencial de infiltração) que diferentes tipos de uso e cobertura da terra possuem; também utiliza o método da "curva número" (fator CN, NRCS, 2004) para simular os diferentes comportamentos hidrológicos de cada uso/cobertura da terra. Mas, ao contrário do modelo anterior, não possui a capacidade de "roteamento" dos fluxos de água, sendo esta uma limitação que deve ser superada nas próximas versões do modelo (conforme informações do manual online)<sup>16</sup>.

Outra diferença entre os dois modelos é que neste modelo de mitigação de inundações é feita uma simulação para um evento de chuva em especial, a partir da informação da "chuva de projeto"; as chuvas de projeto são representações simplificadas da distribuição temporal da precipitação, utilizadas basicamente como entrada em modelos de simulação chuva-vazão, geralmente usada para dimensionamento de estruturas hidráulicas, para que suportem eventos de precipitação intensa. A chuva de projeto é definida para uma determinada duração (em horas) e um determinado período de retorno (tempo de recorrência do evento com mesma magnitude, em anos) (Bemfica et al., 2000).

Outra vantagem em relação ao modelo que simula escoamento superficial e subterrâneo (SWY), é que este modelo permite a valoração de danos econômicos potenciais a áreas com construções (residenciais, comerciais, industriais ou governamentais), desde que se forneça informações geográficas dos limites destas áreas construídas e o valor médio de dano econômico (por metro quadrado) de inundações.

<sup>15</sup> Disponível em: [https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/seasonal\\_water\\_yield.html](https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/seasonal_water_yield.html)

<sup>16</sup> Disponível em: [https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/urban\\_flood\\_mitigation.html#](https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/urban_flood_mitigation.html#)

### 3.1.3 Serviços Ecosistêmicos de Retenção de Sedimentos

O modelo InVEST *Sediment Delivery Ratio* - SDR estima a exportação de sedimentos e o serviço ecossistêmico (SE) de retenção de sedimentos ao mapear e calcular a erosão, o transporte de sedimentos por meio do escoamento superficial, e a exportação de sedimentos para rios ou outros corpos d'água. A exportação de sedimentos equivale à carga de partículas de solo erodido que é aportada aos rios e reservatórios, sendo a fração da erosão total que efetivamente chega aos corpos d'água, já que a maior parte do solo desprendido por processos erosivos acaba se acomodando em partes mais planas das encostas e não atinge rios e lagos. O aporte de sedimentos geralmente corresponde a uma fração de 10 a 40% do total de solo erodido em uma bacia, segundo Walling (1983). O modelo consegue simular e quantificar o incremento do SE de retenção de sedimentos quando se adiciona hipoteticamente vegetação natural em áreas hidrologicamente estratégicas, como APP hídricas e áreas de encostas.

O modelo SDR é baseado em dois componentes principais: a estimativa de perda do solo em cada parcela do terreno, e a taxa de exportação de sedimentos (*sediment delivery ratio*). Para cada pixel que representa uma unidade básica da paisagem analisada, o modelo primeiro calcula a quantidade de perda anual de solo desse pixel e, em seguida, calcula a taxa de exportação de sedimentos, que é a proporção da perda de solo que realmente atinge o córrego. De maneira semelhante ao modelo *Seasonal Water Yield* (SWY), o modelo SDR aplica uma abordagem de roteamento dos fluxos de carreamento de sedimentos gerados pelo escoamento superficial, avaliando o percurso destes fluxos e simulando o barramento de parte dos sedimentos, quando um fluxo encontra uma parcela de paisagem que é suficientemente eficaz em reter essas partículas de solo (como no caso de áreas de vegetação natural ou áreas agrícolas com boas práticas de conservação de solos). Assim, o modelo leva em conta aspectos de "conectividade hidrológica" (Borselli et al., 2008, apud NATURAL CAPITAL PROJECT (2022)), que é o grau de ligação entre fontes de sedimentos (área terrestre da bacia) e seus receptores (rios e lagos).

O modelo *Sediment Delivery Ratio* produz estimativas de erosão (em toneladas/ano/sub-bacia no caso dos resultados tabulados por sub-bacia, e em toneladas/ano/pixel no caso de resultados representados em mapas) e de exportação de sedimentos, sendo esta a parcela da erosão que efetivamente atinge os corpos hídricos superficiais (sendo expressa nas mesmas unidades dos resultados de erosão). Uma descrição mais detalhada das premissas, do funcionamento, e do tipo de resultados gerados pelo modelo SDR pode ser encontrada no website<sup>17</sup>.

### 3.1.4 Obtenção e pré-processamento de dados

Os três modelos de serviços ecossistêmicos da plataforma InVEST foram alimentados com dados geográficos referentes a características de topografia, solos, clima, e uso/cobertura da terra, assim como receberam parâmetros específicos a cada modelo, sendo alguns parâmetros gerais e outros relacionados a cada tipo de uso/cobertura da terra. Buscou-se obter dados com a escala mais detalhada possível, e mais recentes (principalmente nos casos de informações que variam ao longo do tempo, como uso e cobertura da terra e dados climáticos).

Quando necessário, os dados foram convertidos nos formatos de entrada exigidos pelos modelos; na maioria dos casos os modelos da plataforma InVEST trabalham com dados

<sup>17</sup> Disponível em: <http://releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/sdr.html>

ambientais (terreno, solos, uso da terra, precipitações e outros) no formato *raster*, mas algumas entradas devem estar em formato *shapefile* (como a representação geográfica das áreas de interesse, tais como bacias hidrográficas). Todas as tabelas de parâmetros biofísicos (relativos a cada classe de uso/cobertura da terra) foram elaboradas em formato CSV UTF-8, padrão para entrada na versão Workbench. E todos os dados geográficos foram padronizados para um mesmo sistema de coordenadas baseado em projeções cartográficas, neste caso UTM, com datum SIRGAS 2000 fuso 23.

### **3.1.5 Dados geográficos e tabulares utilizados para a modelagem**

A seguir são descritos os dados geográficos e tabulares utilizados para a modelagem de serviços ecossistêmicos, assim como para a calibração dos modelos (estes últimos são dados provenientes de monitoramento ambiental ou de outros modelos, para verificar a acurácia das simulações executadas pelos modelos InVEST).

#### **3.1.5.1 Dados para construção dos modelos**

- Modelo Digital de Superfície, fornecido pela Rio-Águas, hidrologicamente condicionado e com resolução espacial (tamanho do pixel) de 1 m x 1 m, fornecido pela Fundação Rio-Águas; base original *raster* (formato tif);
- Base cartográfica georeferenciada de uso e cobertura do solo (ano base 2019): Mapeamento de Uso do Solo da Cidade do Rio de Janeiro (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2021), obtida no website Data.Rio<sup>18</sup>; base original vetorial (formato *shapefile*), escala cartográfica 1:10.000;
- Base cartográfica georeferenciada de solos: Mapa semidetalhado de solos do município do Rio de Janeiro (Embrapa Solos, 2017), obtida no website Geoinfo/Embrapa; base original vetorial (formato *shapefile*), escala cartográfica 1:75.000;
- Base cartográfica georeferenciada de hidrografia: Base geográfica da rede hidrográfica da Cidade do Rio de Janeiro (Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2014), obtida no website Data.Rio; base vetorial (formato *shapefile*), escala cartográfica 1:2.000;
- Bases cartográficas georreferenciadas de manchas potenciais de inundação obtidas por modelagem hidrodinâmica: a) Mancha de inundação com Tempo de Retorno (TR) de 25 anos e duração de 6 horas, na situação atual, b) Mancha de inundação com mesmo TR e duração que a anterior, no cenário de implementação projeto de redução do impacto da mancha de inundação; dados produzidos pela empresa Hidrostudio e fornecidos pela Fundação Rio-Águas, base vetorial (formato *shapefile*), escala cartográfica 1:9.000;
- Dados espaciais georreferenciados de precipitação mensal: *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations* (CHIRPS) - Média 2000-2021/2022; base original *raster* com resolução espacial aproximada de 5 km x 5 km (formato tif);

---

<sup>18</sup> Plataforma de dados do município do Rio de Janeiro-RJ, gerenciada pelo Instituto Pereira Passos e disponível em: <https://www.data.rio/>

- Valor de erosividade média anual (potencial erosivo das chuvas) para a bacia do Piraquê-Cabuçu: Valor calculado por Machado (2011) para a estação pluviométrica Eletrobrás (código 02243083);
- Dados espaciais georreferenciados de evapotranspiração potencial média mensal: *Global Potential Evapotranspiration (ET0) Database: Version 3* (Trabuco & Zomer, 2022); base original *raster* com resolução espacial aproximada de 900 m x 900 m (formato tif);
- Valor de "chuva de projeto" (valor numérico, mm/evento), tempo de retorno de 25 anos e duração de 6 horas (Hidrostudio, 2022a).

### 3.1.5.2 Dados para calibração dos modelos

- Calibração do modelo InVEST *Seasonal Water Yield*: Vazão média do rio Piraquê- Cabuçu: Vazão média de longo termo, obtida no Diagnóstico (Tomo II) do Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim (CBH Guandu, 2017);
- Calibração do modelo InVEST *Urban Flood Risk Mitigation*: Vazão do rio Piraquê simulada para o tempo de retorno de 25 anos e duração de chuva de 6 horas (Hidrostudio, 2022);
- Calibração do modelo InVEST *Sediment Delivery Ratio*: Dados de Concentração de Sólidos Suspensos Totais, provenientes do Monitoramento estadual de qualidade de água (INEA, 2012-2020).

### 3.1.6 Definição de parâmetros

#### 3.1.6.1 Modelo *Seasonal Water Yield* - SWY (Serviço ecossistêmico de regulação de vazão)

A parametrização deste modelo é feita por meio de uma "tabela biofísica" na qual os valores dos parâmetros CN (curva número) e Kc (coeficiente de cultura) relativos a cada tipo de uso e cobertura da terra devem ser atribuídos, inclusive os usos/coberturas que representam as SbN a serem simuladas.

Os valores de CN utilizados para as tipologias de uso e cobertura da terra da base cartográfica utilizada para a modelagem (base cartográfica oficial do município do Rio de Janeiro, ano base 2019), associadas a diferentes grupos hidrológicos de solos (Sartori, 2004), foram definidos a partir dos coeficientes regionalizados definidos pela Fundação Rio-Águas no manual de "Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana - 2ª. versão" (Rio-Águas, 2019).

Já os valores de CN referentes às SbN a serem potencialmente implementadas foram obtidas em literatura especializada sobre efeitos das SbN no ciclo hidrológico, tais como Maidment (2015), Shade (2019), mas também de valores fornecidos por Rio-Águas (2019) para classes similares às SbN potencialmente implantadas (classes como "Espaços abertos, parques e jardins"). Os valores para o parâmetro CN e suas respectivas fontes estão descritos na tabela a seguir.

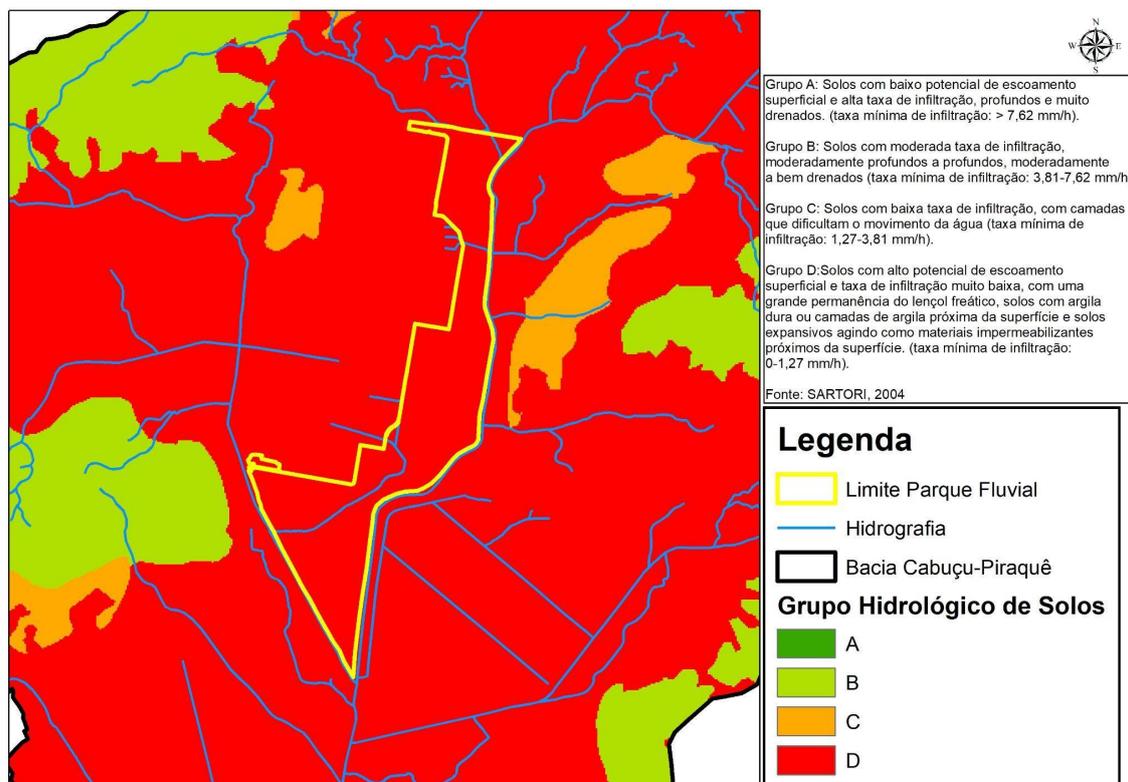
**Tabela 3 - Valores do parâmetro CN adotados para as classes de uso e cobertura da terra do Mapeamento de Uso do Solo da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ, 2021)**

<b>Classe de Uso/Cobertura</b>	<b>Fonte CN</b>	<b>CN_A</b>	<b>CN_B</b>	<b>CN_C</b>	<b>CN_D</b>
Afloramentos rochosos	Rio-Águas, 2019/Estacionamento pavimentados, telhados	98	98	98	98
Cobertura arbórea e arbustiva	Rio-Águas, 2019/Florestas, médias condições	36	60	73	79
Cobertura gramíneo lenhosa	Rio-Águas, 2019/Pasto, médias condições	49	69	79	84
Corpos hídricos	InVEST, 2020/Água	99	99	99	99
Favela	Rio-Águas, 2019/Tamanho médio do lote impermeável - 500m2 (65% imperm.)	77	85	90	92
Áreas agrícolas	Rio-Águas, 2019/Terreno preparado para plantio, descoberto, Cultura em fileira, linha reta, condições ruins	72	81	88	91
Áreas de comércio e serviços	Rio-Águas, 2019/Áreas comerciais (85% de impermeabilização)	89	92	94	95
Áreas de educação e saúde	Rio-Águas, 2019/Tamanho médio do lote impermeável - 1500m2 (30% imperm.)	57	72	81	86
Áreas de exploração mineral	Rio-Águas, 2019/Ruas e estradas de terra	72	82	87	89
Áreas de lazer	Rio-Águas, 2019/Espaços abertos, parques e jardins: Condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
<b>Classe de Uso/Cobertura</b>	<b>Fonte CN</b>	<b>CN_A</b>	<b>CN_B</b>	<b>CN_C</b>	<b>CN_D</b>
Áreas de transporte	Rio-Águas, 2019/Ruas e estradas pavimentadas, com guias e drenagem	98	98	98	98
Áreas industriais	Rio-Águas, 2019/Estacionamento pavimentados, telhados	98	98	98	98
Áreas institucionais e de infraestrutura pública	Rio-Águas, 2019/Tamanho médio do lote impermeável - 1500m2 (30% imperm.)	57	72	81	86
Áreas não edificadas	Rio-Águas, 2019/Pasto, condições ruins	68	79	86	89
Áreas residenciais	Rio-Águas, 2019/Tamanho médio do lote impermeável - 500m2 (65% imperm.)	77	85	90	92
Áreas sujeitas a inundação	Rio-Águas, 2019/Estacionamento pavimentados, telhados	98	98	98	98

**Tabela 4 - Valores do parâmetro CN adotados para as classes de SbN propostas para o Parque Fluvial**

Classe de Uso/Cobertura	Fonte CN	CN_A	CN_B	CN_C	CN_D
Wetland	Shade, 2019/Wetland	80	80	80	80
Parque inundável	Rio-Águas, 2019/Espaços abertos, parques e jardins, Condições médias, cobertura de grama > 50%	49	69	79	84
Parque não inundável	Rio-Águas, 2019/Espaços abertos, parques e jardins, Boas condições, cobertura de grama > 75%	39	61	74	80
Dique	Rio-Águas, 2019/Estacionamento pavimentados, telhados	98	98	98	98
Reservatório de detenção	Hydraulic Engineering Design, 2015/Detention Pond	80	80	80	80

O mapa a seguir ilustra as características hidrológicas dos solos ocorrentes na região específica da futura implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha. Todos os solos da área do parque (Gleissolos háplicos e sálicos) são pertencentes ao grupo hidrológico D, ou seja, são solos de alto escoamento superficial e baixo potencial de infiltração, sendo que um dos fatores que impedem a infiltração neste tipo de solos é justamente o nível do lençol freático próximo à superfície dos solos (Sartori, 2004).



**Figura 4 - Classificação hidrológica dos solos ocorrentes na área do Parque Fluvial do Jardim Maravilha.**

Ou seja, ainda que algumas SbN possam promover melhores condições de infiltração na camada superficial dos solos, os impedimentos hidrológicos citados não permitirão um acréscimo

significativo em termos de escoamento subterrâneo (principalmente no que tange à percolação<sup>19</sup>).

Já o parâmetro Kc (coeficiente de evapotranspiração) foi definido a partir dos valores de publicação considerada como a principal referência técnica para a atribuição do potencial de evapotranspiração de diferentes culturas agrícolas e outros usos/cobertura da terra, o manual "Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements" da FAO (Allen et al., 1998). Nos casos onde esta publicação continha valores muito genéricos para certos usos, principalmente os usos urbanos, utilizou-se a fórmula proposta por NATURAL CAPITAL PROJECT, (2022) para calcular o fator Kc a partir da percentagem de área impermeável ( $f*0.1 + (1-f)*0.6$ , onde  $f$  é a fração de área impermeável, variando de 0 a 1).

**Tabela 4 - Valores do parâmetro Kc adotados para as classes de uso e cobertura da terra do Mapeamento de Uso do Solo da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ, 2021) e para as classes de SnN propostas para o Parque Fluvial**

Classe de Uso/Cobertura	Fonte Kc	Kc mensal
Afloramentos rochosos	InVEST, 2020/Solo nu	0,5 (jan-dez)
Cobertura arbórea e arbustiva	Allen (1998) Florestas tropicais	1,1 (jan-dez)
Cobertura gramíneo lenhosa	Allen (1998) Pastagens	0,95 (jan-dez)
Corpos hídricos	InVEST, 2020/Água<2m prof.	1 (jan-dez)
Favela	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,275 (jan-dez)
Áreas agrícolas	Allen (1998) Mandioca 2 anos	0,5 (jan-mar); 0,3 (abr-jul); 1,1 (ago-dez)
Áreas de comércio e serviços	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,175 (jan-dez)
Áreas de educação e saúde	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,45 (jan-dez)
Áreas de exploração mineral	InVEST, 2020/Solo nu	0,5 (jan-dez)
Classe de Uso/Cobertura	Fonte Kc	Kc mensal
Áreas de lazer	Pastagens degradadas (adaptado de Allen, 1998)	0,75 (jan-dez)
Áreas de transporte	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,1 (jan-dez)
Áreas industriais	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,175 (jan-dez)
Áreas institucionais e de infraestrutura pública	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,45 (jan-dez)
Áreas não edificadas	Pastagens degradadas	0,75 (jan-dez)
Áreas residenciais	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,275 (jan-dez)
Áreas sujeitas a inundação	InVEST, 2020/Wetlands (Kc = 1,0 -1,2)	1,1 (jan-dez)
Wetland	InVEST, 2020/Wetlands (Kc = 1,0 -1,2)	1,1 (jan-dez)
Parque inundável	InVEST, 2020/Wetlands (Kc = 1,0 -1,2)	1,1 (jan-dez)
Parque não inundável	Pastagens	0,95 (jan-dez)
Dique	InVEST, 2020/fórmula Kc áreas construídas	0,175 (jan-dez)
Reservatório de detenção	InVEST, 2020/Água<2m prof.	1 (jan-dez)

<sup>19</sup> movimento descendente e lento da água no interior do solo, de cima para baixo.

### 3.1.6.2 Modelo *Urban Flood Risk Mitigation* - UFRM (Serviço ecossistêmico de mitigação de inundação)

Conforme mencionado anteriormente na descrição do modelo de mitigação de risco de inundações (UFRM), aqui também é utilizado o parâmetro CN (*curve number*, coeficiente de escoamento superficial). Assim como no modelo anterior, a principal referência para a definição dos valores de CN foi a publicação da Fundação Rio-Águas para orientação técnica de estudos hidrológicos para o município do Rio de Janeiro (Rio-Águas, 2019). Os valores utilizados para este parâmetro também são os mesmos aplicados ao modelo SWY, e encontram-se na tabela aposta no tópico acima.

O outro parâmetro que deve alimentar este modelo é o valor (em mm) da chuva de projeto, sendo que a configuração desta chuva foi definida pela Rio-Águas, com base em estudos da empresa HidroStudio (2022a); o valor informado foi de 144,23 mm, referente a uma chuva com tempo de retorno de 25 anos e duração de 6 horas (sendo este o tempo de retorno padrão recomendado para estudos de macrodrenagem, segundo Rio-Águas (2019)).

### 3.1.6.3 Modelo *Sediment Delivery Ratio* - SDR (Serviço ecossistêmico de Regulação de erosão/sedimentação)

Para a customização do modelo SDR para o caso do Jardim Maravilha foram definidos os valores do parâmetro de cobertura do solo, o fator "C" do método de estimativa de perda de solo mais largamente utilizado em estudos sobre erosão e sedimentação, que é a Equação Universal de Perda de Solo - EUPS, ou USLE, em inglês (Wischmeier e Smith, 1965). Este fator vai determinar como o modelo calcula a suscetibilidade à erosão de cada classe de uso ou cobertura da terra, em decorrência da sua capacidade de proteger o solo do efeito cinético das chuvas.

Para definição dos valores do parâmetro C da USLE foi utilizado como referência o estudo de pesquisadores da Embrapa Solos denominado "Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro" (Costa et al., 2005), tendo sido feita uma equivalência entre as classes de uso/cobertura da terra do mapa base (Mapeamento de Uso do Solo da Cidade do Rio de Janeiro - ano base 2019) e as classes de uso/cobertura definidas por Costa et al., 2005. Esta equivalência entre os dois mapeamentos, assim como o valor atribuído ao fator C de cada classe encontram-se expostos na tabela abaixo.

**Tabela 5 - Valores do parâmetro C da USLE adotados para as classes de uso e cobertura da terra do Mapeamento de Uso do Solo da Cidade do Rio de Janeiro (PCRJ, 2021) e para as classes de SbN propostas para o Parque Fluvial**

Classe de Uso/Cobertura	FONTE	USLE_C
Afloramentos rochosos	Costa et al., 2005	0,01
Cobertura arbórea e arbustiva	Costa et al., 2005	0,0001
Cobertura gramíneo lenhosa	Costa et al., 2005	0,0288
Corpos hídricos	Costa et al., 2005	0
Favela	Costa et al., 2005	0,01
Áreas agrícolas	Costa et al., 2005	0,255882
Áreas de comércio e serviços	Costa et al., 2005	0,0075
Áreas de educação e saúde	Costa et al., 2005	0,0075

Áreas de exploração mineral	Costa et al., 2005	1
Áreas de lazer	Costa et al., 2005	0,0075
Áreas de transporte	Costa et al., 2005	0,0075
Áreas industriais	Costa et al., 2005	0,0075
Áreas institucionais e de infraestrutura pública	Costa et al., 2005	0,0075
Áreas não edificadas	Costa et al., 2005	0,0288
Áreas residenciais	Costa et al., 2005	0,01
Áreas sujeitas à inundação	Costa et al., 2005	0,005
<i>Wetland</i> construído	Média entre Costa et al., 2005; Borges (2009); Oliveira et al. (2007); Chupiquiondo (2007); Hilu (2003); Rodrigues et al. (2009); Santos et al. (1999); Lanza (2011); Matos (2015)	0,0014
Parque inundável	Média entre Costa et al., 2005; Borges (2009); Oliveira et al. (2007); Chupiquiondo (2007); Hilu (2003); Rodrigues et al. (2009); Santos et al. (1999); Lanza (2011); Matos (2015)	0,0014
Parque não inundável	Costa et al., 2005	0,0288
Dique	Costa et al., 2005	0,01
Reservatório	Costa et al., 2005	0

### 3.1.7 Cenários modelados

Os cenários modelados quanto à oferta de serviços ecossistêmicos e sua variação (a partir da implementação do Parque Fluvial Jardim Maravilha), no qual os usos e coberturas da terra do Jardim Maravilha de Hoje e do Jardim Maravilha de Amanhã foram representados de forma computacional foram os seguintes:

- Cenário de linha de base (situação pré-intervenção): Jardim Maravilha de Hoje;
- Cenário pós-implementação do projeto: Jardim Maravilha de Amanhã, cenário onde o uso da terra dentro dos limites do parque é simulado considerando-se o projeto preliminar do parque desenvolvido pela consultoria HidroStudio sob orientação da Fundação Rio-Águas, no qual são previstas intervenções de SbN (descritas mais a seguir).

A seguir estes cenários são descritos em mais detalhes.

#### a. **Cenário Jardim Maravilha de Hoje**

Cenário Jardim Maravilha de Hoje (linha de base, situação pré-intervenção): este é o cenário a partir do qual os diferentes modelos de serviços ecossistêmicos foram calibrados, de forma a poder gerar estimativas quantitativas, que também podem ser representadas de forma espacial, com uma produção de dados georreferenciados que informam as variações de diferentes fluxos de serviços ecossistêmicos ao longo da paisagem.

A calibragem destes modelos envolve avaliar a capacidade de cada modelo em simular a realidade atual com um bom nível de precisão, utilizando-se indicadores que podem ser aferidos por meio de dados de monitoramento, tais como vazão, concentração de sedimentos, cotas de inundação. Quando são obtidas estimativas quantitativas utilizando-se modelagem de processos biofísicos, deve-se realizar análises comparativas entre as estimativas geradas pelo modelo e os valores médios de parâmetros calculados a partir de séries temporais de dados observados, para a verificação da acurácia do modelo em simular o comportamento médio da bacia, e a necessidade de ajustes de parâmetros, para fins de calibração; isto é importante para garantir a robustez do modelo em representar de forma satisfatória a realidade das funções ecológicas da bacia em uma situação pré-intervenções (linha de base), assegurando também que o modelo responderá de forma coerente a hipotéticas alterações de uso/cobertura do solo ou de clima, quando da simulação de cenários alternativos.

Para o processo de calibração dos modelos relacionados a SE hídricos (*Sediment Delivery Ratio*, *Seasonal Water Yield* e *Urban Flood Risk Mitigation*) foram obtidos valores de referência, com base em dados de monitoramento ou estimativas por outros métodos, para comparação com os valores das variáveis biofísicas mensuradas pelos modelos InVEST. Quando verificadas discrepâncias significativas entre os valores inicialmente modelados e aqueles valores observados ou estimados por outros estudos, os modelos tiveram seus parâmetros de calibração ajustados, e foram submetidos a novas rodadas, até que fosse atingido um grau de acurácia superior àquele recomendado como mínimo por Moriasi et al. (2015) para modelos que simulam fluxos hídricos.

#### **b. Cenário Jardim Maravilha de Amanhã**

Cenário Jardim Maravilha de Amanhã (pós-implementação): cenário construído a partir de modificações na base de uso do solo atual (base oficial do município do Rio de Janeiro, ano base 2019), com a inserção de polígonos que representam as áreas do novo parque que receberão as SbN. Este cenário permite simular o potencial comportamento dos serviços ecossistêmicos avaliados em uma situação na qual o projeto do Jardim Maravilha já teria sido implementado.

Como referência para construção deste cenário que incorpora Soluções baseadas na Natureza associadas ao Parque Fluvial do Jardim Maravilha, foi utilizado o projeto fornecido pela Fundação Rio-Águas na primeira quinzena de janeiro de 2023. Faz-se aqui uma ressalva de que o projeto considerado não necessariamente será aquele efetivamente implementado, pois no momento da elaboração deste relatório (abril de 2023) o projeto do parque fluvial ainda está em fase de aperfeiçoamento pela empresa contratada para sua elaboração, seguindo recomendações de ajustes feitas pela Fundação Rio-Águas.

Ainda assim, acredita-se que os resultados obtidos refletem satisfatoriamente as ordens de grandeza de incremento de fluxos de serviços ecossistêmicos que poderão ser verificadas em indicadores-chave (por meio de monitoramento) após a efetiva implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha.

A tabela a seguir ilustra de forma quantitativa as mudanças de uso/cobertura da terra simuladas mediante a implementação hipotética do parque fluvial e das SbN a ele associadas. (Tabela 6). Observa-se que as maiores mudanças seriam: 1) **de** Áreas sujeitas à inundação **para** Parque

inundável (33,37 hectares), 2) de Cobertura arbórea arbustiva para Parque inundável (29,18 ha) e 3) de Áreas residenciais para Parque inundável (11,21 ha)

*Tabela 6 - Mudanças de uso/cobertura da terra e de escoamento superficial (fator CN) simuladas com a implementação hipotética de SbN no parque fluvial.*

USO/COBERTURA	CN	SbN	CN	ÁREA (Ha)
Áreas sujeitas à inundação	98	Parque inundável	84	33,37
		Reservatório	80	1,59
		Wetland	80	1,49
		Parque não inundável	80	1,16
		Dique	98	1,09
USO/COBERTURA	CN	SbN		ÁREA (Ha)
Áreas residenciais	92	Parque inundável	84	11,21
		Reservatório	80	2,79
		Parque não inundável	80	1,99
		Dique	98	1,90
		Wetland	80	0,87
USO/COBERTURA	CN	SbN		ÁREA (Ha)
Áreas não edificadas	89	Reservatório	80	4,01
		Parque inundável	84	3,12
		Parque não inundável	80	1,36
		Dique	98	0,80
		Wetland	80	0,77
USO/COBERTURA	CN	SbN		ÁREA (Ha)
Cobertura arbórea arbustiva	79	Parque inundável	84	29,18
		Dique	98	0,34
		Parque não inundável	80	0,20
		Reservatório	80	0,18
USO/COBERTURA	CN	SbN		ÁREA (Ha)

Cobertura gramíneo lenhosa	84	Parque inundável	84	1,38
		Reservatório	80	0,20
		Dique	98	0,16
		Parque não inundável	80	0,06
<b>USO/COBERTURA</b>	<b>CN</b>	<b>SbN</b>	<b>CN</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>
Corpos hídricos	99	Parque inundável	84	0,92
Áreas de lazer	84	Parque inundável	84	0,86
Áreas agrícolas	91	Parque inundável	84	0,80

*Tabela 7 - Mudanças de uso/cobertura da terra e de evapotranspiração (fator Kc mensal) simuladas com a implementação hipotética de SbN no parque fluvial.*

USO/COBERTURA	Kc	SbN	Kc	ÁREA (Ha)
Áreas sujeitas à inundação	1,1 (jan-dez)	Parque inundável	1,1	33,37
		Reservatório	1,0	1,59
		Wetland	1,1	1,49
		Parque não inundável	0,95	1,16
		Dique	0,175	1,09
USO/COBERTURA	Kc	SbN	Kc	ÁREA (Ha)
Áreas residenciais	0,275 (jan-dez)	Parque inundável	1,1	11,21
		Reservatório	1,0	2,79
		Parque não inundável	0,95	1,99
		Dique	0,175	1,90
		Wetland	1,1	0,87
USO/COBERTURA	Kc	SbN	Kc	ÁREA (Ha)
Áreas não edificadas	0,75 (jan-dez)	Reservatório	1,0	4,01
		Parque inundável	1,1	3,12
		Parque não inundável	0,95	1,36

		Dique	0,175	0,80
		Wetland	1,1	0,77
<b>USO/COBERTURA</b>	<b>Kc</b>	<b>SbN</b>	<b>Kc</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>
Cobertura arbórea arbustiva	1,1 (jan- dez)	Parque inundável	1,1	29,18
		Dique	0,175	0,34
		Parque não inundável	0,95	0,20
		Reservatório	1,0	0,18
<b>USO/COBERTURA</b>	<b>Kc</b>	<b>SbN</b>	<b>Kc</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>
Cobertura gramíneo lenhosa	0,95 (jan- dez)	Parque inundável	1,1	1,38
		Reservatório	1,0	0,20
		Dique	0,175	0,16
		Parque não inundável	0,95	0,06
<b>USO/COBERTURA</b>	<b>Kc</b>	<b>SbN</b>	<b>Kc</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>
Corpos hídricos	1,0(jan-dez)	Parque inundável	1,1	0,92
Áreas de lazer	0,95 (jan- dez)	Parque inundável	1,1	0,86
<b>USO/COBERTURA</b>	<b>Kc</b>	<b>SbN</b>	<b>Kc</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>
Áreas agrícolas	0,5 (jan- mar); 0,3 (abr-jul); 1,1 (ago-dez)	Parque inundável	1,1	0,80

Nas tabelas 8 e 9, apresenta-se a área total das tipologias de uso/cobertura da terra na área a de implementação do parque fluvial, e a área de cada SbN a ser implementada, respectivamente.

**Tabela 8 - Uso/cobertura da terra original nas áreas com hipotética implementação de SbN**

<b>USO/COBERTURA</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>
Áreas sujeitas à inundação	38,73
Cobertura arbórea e arbustiva	29,90
Áreas residenciais	18,82
Áreas não edificadas	10,06
Cobertura gramíneo lenhosa	1,79
Corpos hídricos	0,92
Áreas de lazer	0,86
Áreas agrícolas	0,80
<b>TOTAL</b>	<b>101,88</b>

**Tabela 9 - Extensão territorial das SbN simuladas**

<b>SbN</b>	<b>ÁREA (Ha)</b>
Parque inundável	80,83
Reservatório	8,76
Parque não inundável	4,77
Dique	4,30
Wetland	3,13
<b>TOTAL</b>	<b>101,78<sup>20</sup></b>

### **3.1.8 Calibração dos modelos**

Os resultados quantitativos produzidos pelos modelos de serviços ecossistêmicos (SE), para alguns indicadores-chave, e relação ao cenário de linha de base (situação atual de uso/cobertura da terra, ano base 2019), foram verificados mediante a comparação dos resultados simulados com dados de monitoramento. Quando os resultados modelados apresentaram diferenças menores que aquelas consideradas como o máximo aceitável por Moriasi et al. (2015) para

<sup>20</sup> A diferença de 0,1% entre a área total dos usos/coberturas originais e das SbN se deve apenas a questões de arredondamento.

classificar uma modelagem como "satisfatória", considerou-se os modelos suficientemente calibrados e aptos a simularem tanto o comportamento hidrológico atual da bacia do Piraquê-Cabuçu, como as modificações deste comportamento decorrentes de mudanças de uso da terra (como a implementação de SbN).

### 3.1.8.1 Modelo SWY (Serviço ecossistêmico de regulação hídrica)

No caso do modelo de vazão sazonal (SE de regulação hídrica), o indicador de referência foi a vazão média, obtida a partir dos resultados do modelo SWY mediante o somatório da vazão de base (escoamento subterrâneo, saída  $Q_b$  do modelo) e da vazão superficial (escoamento superficial, saída  $Q_f$ ). Este resultado de vazão média modelada foi comparada com a mais atual referência de vazão média encontrada na literatura, já que não existe uma estação de monitoramento de vazão em operação no rio Piraquê.

Esta referência é a vazão média de longo termo para o rio Piraquê apresentada no Diagnóstico do Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim (CBH Guandu, 2017), na seção 6.1.4.3.1. (Resultados da disponibilidade por UHP), que foi calculada por meio da aplicação de um modelo de balanço hídrico (SIGBAH). Segundo a referida publicação, a vazão média de longo termo estimada para o rio Piraquê é de 2,04 m<sup>3</sup>/s.

Esta estimativa de vazão média foi comparada à somatória dos valores médios anuais de escoamento superficial (*Quickflow*,  $Q_f$ ) e de escoamento subterrâneo (*Local recharge*,  $Q_b$ ), produzidos pelo modelo SWY. O escoamento superficial médio foi estimado pelo modelo em 1,14 m<sup>3</sup>/s, enquanto o escoamento subterrâneo médio foi calculado como sendo de 0,58 m<sup>3</sup>/s; a somatória destes dois tipos de fluxos hídricos, o que corresponde a uma *proxy* da vazão média simulada para o rio Piraquê na sua foz, é equivalente a 1,72 m<sup>3</sup>/s. Sendo assim o resultado de vazão média estimada pelo modelo SWY para a foz do rio Piraquê foi apenas 15% inferior ao valor calculado pelo processo de regionalização hidrológica.

- **Vazão média (2000-2022) - modelo InVEST SWY: 1,72 m<sup>3</sup>/s.**
- **Vazão média de longo termo - estimativa PERH-Guandu: 2,04 m<sup>3</sup>/s.**
- **Diferença percentual entre o valor "observado" e o valor modelado: 15%.**

Para avaliação da performance do modelo SWY na simulação da vazão média do Rio Piraquê, foram tomados como parâmetros de acurácia as recomendações técnicas de Moriasi et al. (2015) para avaliação de performance de modelos hidrológicos, por meio da mensuração do viés percentual (*percent bias*, em inglês) entre as estimativas obtidas pelo modelo no presente estudo, em relação àquela apresentada no PERH-Guandu (CBH-Guandu, 2017).

De acordo com Moriasi et al (2015), um modelo de simulação de fluxos hídricos em escala temporal anual pode ter sua performance considerada "satisfatória" se o viés percentual se situar entre 10% e 15%; se esta diferença percentual ficar entre 5% a 10% o modelo pode ser classificado como de "boa" performance; já se a diferença entre o valor modelado e o observado for inferior a 5%, o modelo hidrológico pode ser classificado como de "muito boa" performance.

Como a diferença entre a vazão média de longo termo estimada nos estudos do PERH-Guandu (2,04 m<sup>3</sup>/s, obtida por modelo de balanço hídrico) e a vazão média estimada pelo modelo InVEST SWY para o período 2000-2022 (1,72 m<sup>3</sup>/s) é de 15%, a performance do modelo em simular a vazão média de longo período pôde ser classificada como "satisfatória" (viés percentual entre 10% e 15%). Esta avaliação indica que o modelo foi eficaz em simular corretamente o comportamento médio das vazões do rio Piraquê no período analisado.

### 3.1.8.2 Modelo UFRM (Serviço ecossistêmico de mitigação de inundação)

Para a calibração do modelo UFRM procedeu-se ao método sugerido no website da comunidade de usuários do InVEST, na qual os desenvolvedores dos modelos prestam suporte técnico para usuários<sup>21</sup>. Seguindo esta orientação, utilizou-se o valor calculado pelo modelo como "volume de inundação" (*flood volume*) para o evento de chuva avaliado, correspondente à "chuva de projeto" calculada por HidroStudio (2022a), com tempo de retorno de 25 anos e duração de 6 horas, com efeito de maré (valor precipitado = 144,23 mm).

O valor de volume de inundação calculado pelo modelo para a condição de linha de base (10.591.547 m<sup>3</sup>) foi dividido pela duração da chuva simulada (6 horas ou 21.600 segundos), obtendo-se assim uma vazão de projeto (referente a um evento TR25 com 6 horas) de 490,3 m<sup>3</sup>/s. Consultando-se o relatório de Estudos Hidrológicos para desenvolvimento de projetos para redução do impacto da mancha de inundação, elaborado por HidroStudio (2022), verifica-se que a vazão simulada por meio do modelo de simulação hidrológica HEC-HMS para o tempo de retorno de TR = 25 anos e para a duração de chuva de 6 horas foi estimada em 450,6 m<sup>3</sup>/s.

Comparando-se os valores estimados pelo modelo InVEST Urban Flood Risk Mitigation e pelo modelo HEC-HMS tem-se:

- **Vazão de projeto TR25 - 6hs - modelo InVEST UFRM: 490,3 m<sup>3</sup>/s.**
- **Vazão de projeto TR25 - 6hs - modelo HEC-HMS: 450,6 m<sup>3</sup>/s.**
- **Diferença percentual entre o valor "observado" e o valor modelado: 9%.**

De acordo com Moriasi et al. (2015), um modelo de simulação de fluxos hídricos em escala temporal sazonal (a escala que seria mais próxima a uma simulação de evento isolado, entre as escalas temporais indicadas pelos autores) pode ter sua performance considerada "satisfatória" se o viés percentual se situar entre 15% e 45%; se esta diferença percentual ficar entre 10% a 15% o modelo pode ser classificado como de "boa" performance; já se a diferença entre o valor modelado e o observado for inferior a 10%, o modelo hidrológico pode ser classificado como de "muito boa" performance.

Considerando-se esta classificação de performance de Moriasi et al. (2015) para a já mencionada avaliação de performance de modelos hidrológicos, um viés percentual inferior a 10% entre a estimativa de referência (HEC-HMS) e o modelo avaliado (InVEST UFRM), como foi o caso desta modelagem (diferença de 9%) pode conferir a este último uma classificação de performance "muito boa".

<sup>21</sup> Disponível em: <https://community.naturalcapitalproject.org/t/urban-flood-risk-mitigation-calibration/2200/2>

Sendo assim, pode-se inferir que o modelo InVEST *Urban Flood Risk Mitigation* se apresenta suficientemente calibrado para a simulação do comportamento hidrológico da bacia em questão em um evento de chuva intensa, assim como para a avaliação do possível aumento de resiliência da bacia a eventos desta natureza, quando se simula um cenário de implantação de Sbn, associadas ao Parque Fluvial do Jardim Maravilha.

### 3.1.8.3 Modelo SDR (Serviço ecossistêmico de Regulação de erosão/sedimentação)

Conforme a orientação do manual do usuário dos modelos InVEST (NATURAL CAPITAL PROJECT, 2022), os dados de saída da ferramenta InVEST SDR utilizados para verificação de acurácia e calibração do modelo foram os dados de exportação de sedimentos (que consideram o volume total anual de sedimentos que atingem os rios da área de drenagem analisada), identificados como "*sed\_export*" na tabela de resultados quantitativos para o conjunto de sub-bacias avaliadas. Estes resultados podem ser comparados com informações de monitoramento sedimentométrico (quando disponíveis) ou dados de Sólidos em Suspensão Totais (SST), disponibilizados por monitoramento de qualidade de água.

Devido à inexistência de estação de monitoramento sedimentométrico no Rio Piraquê, os resultados do modelo InVEST SDR foram comparados ao valor médio das estimativas de descarga fluvial anual de sólidos totais para a única estação de monitoramento de qualidade de água em operação neste rio, a estação Piraquê (código PR000), relativos ao período 2012-2020 (todos os dados disponibilizados para a referida estação<sup>22</sup>).

A seguir são apresentadas a estimativa de carga total de sedimentos calculada pelo modelo InVEST SDR, e a estimativa de descarga sólida anual média calculada com base em dados de monitoramento de Sólidos em Suspensão Totais (SST). Para a comparação das estimativas, procedeu-se ao cálculo da diferença percentual entre o valor de exportação anual de sedimentos modelado (InVEST SDR) para a bacia do Rio Piraquê e o valor obtido a partir de dados de monitoramento hidrológico; a diferença percentual entre o valor modelado e aquele obtido por meio de dados de monitoramento foi de 5%.

- **Exportação de sedimentos anual média - modelo InVEST SDR: 57.164,1 ton./ano.**
- **Exportação de sedimentos anual média (2012-2020) - Monitoramento de SST na estação PR-000: 54.361,8 ton./ano (correspondente a uma concentração mediana de SST de 845 mg/l)<sup>23</sup>.**
- **Diferença percentual entre o valor "observado" e o valor modelado: 5%.**

Para avaliação da performance do modelo SDR na simulação dos processos atuais de exportação de sedimentos, foram tomados como parâmetros de acurácia as recomendações técnicas de Moriasi et al. (2015) para avaliação de performance de modelos sedimentológicos, por meio da mensuração do viés percentual (*percent bias*, em inglês) entre as estimativas obtidas pelo modelo no presente estudo, em relação àquelas obtidas a partir dos dados de monitoramento já citados. De acordo com Moriasi et al. (2015), um modelo de simulação de fluxos de

<sup>22</sup> Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/rh-ii-guandu/>

<sup>23</sup> O uso da mediana para estimar o comportamento médio de parâmetros influenciados pela chuva é considerado mais adequado que o uso da média deste parâmetro, pois a mediana é pouca influenciada pelos valores extremos (*outliers*) de produção de sedimentos, que geralmente ocorrem em eventos de chuva intensos (Alves et al., 2015).

sedimentos pode ter sua performance considerada "satisfatória" se o viés percentual estiver em uma faixa entre 10% e 20% (para mais ou para menos, em relação ao valor de referência); se esta diferença percentual ficar entre 1 a 10% o modelo pode ser classificado como de "boa" performance; já se a diferença entre o valor modelado e o observado for inferior a 1%, o modelo de sedimentos pode ser classificado como de "muito boa" performance.

Utilizando-se as recomendações técnicas de Moriasi et al. (2015) para avaliação da performance de modelos de sedimentos, foi possível verificar que a performance da estimativa realizada com o uso do modelo InVEST SDR podem ser classificadas como "Boa" (viés percentual entre 1% e 10%), considerando-se então o modelo suficientemente calibrado para representar o regime médio de produção de sedimentos no período avaliado.

Constatando-se que os modelos SWY, UFRM e SDR simulavam satisfatoriamente a realidade atual da região de interesse, seguiu-se para a próxima etapa do processo de modelagem de serviços ecossistêmicos hídricos, a simulação de um cenário alternativo de uso/cobertura da terra que incorpore as mudanças de uso da terra promovidas pela implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (e as SbN associadas ao mesmo).

## 3.2 Quantificação da Variação dos Fluxos de Serviços Ecossistêmicos

De modo a se obter previsões de mudanças no comportamento ecossistêmico da área de interesse em relação a variação do fluxo de SE, os resultados dos cenários de linha de base (Jardim Maravilha de Hoje) e pós-implantação (Jardim Maravilha de Amanhã) foram comparados, e as diferenças absolutas e percentuais dos indicadores dos modelos foram calculadas, obtendo-se assim estimativas quantitativas de ganhos (benefícios) ou perdas (riscos), em termos de oferta de SE. Posteriormente, os resultados quantitativos obtidos nas análises comparativas entre cenário "linha de base" e pós-implantação foram convertidos em variáveis a serem utilizadas na valoração econômica de SE.

### 3.2.1 Serviço ecossistêmico de regulação hídrica

A seguir, são apresentados os indicadores hidrológicos do serviço ecossistêmico de regulação hídrica para a bacia do rio Piraquê-Cabuçu, utilizados para verificar se a implementação do parque fluvial e as SbN a ele associadas realmente proporcionam benefícios hídricos. Estes indicadores são o escoamento hídrico superficial (água da chuva que não se infiltra e corre sobre o terreno, chegando mais rapidamente aos corpos d'água ou se acumulando em situações de inundação) e o escoamento subterrâneo, chamado também de fluxo de base, água que se infiltra e que alimenta lençóis freáticos (que por sua vez alimentam os corpos d'água superficiais, contribuição fundamental em épocas de pouca pluviosidade), ou que proporciona recarga de aquíferos subterrâneos.

Para facilitar a avaliação de benefícios de regulação hídrica para esta bacia, os valores de escoamento de água obtidos mediante uso do modelo InVEST SWY (fornecidos em mm/ano) são também apresentados na unidade padrão de medição de vazão ( $m^3/s$ ), e também em volumes acumulados anuais ( $m^3/ano$ ). Os resultados são apresentados para a totalidade da bacia do Rio Piraquê-Cabuçu (tabela 6) e também para a região específica onde será instalado o parque fluvial do Jardim Maravilha (tabela 7).

Em relação ao escoamento superficial, onde o regime mais recente de precipitações na região de interesse indica aportes crescentes de fluxos superficiais intensos na forma de enxurradas (situação preocupante em áreas sujeitas a inundações, como é a maior parte do bairro Jardim Maravilha), o cenário de implementação do parque fluvial indica uma significativa amortização dos volumes de escoamento superficial de forma localizada (na região específica de implementação do parque), possivelmente reduzindo os efeitos degradantes de inundações à população e à economia local; esta redução de escoamento superficial na área prevista para a instalação do parque fluvial e de suas SbN seria da ordem de 39%, considerando-se todo o fluxo hídrico superficial ao longo de um ano.

Quando comparado à linha de base (uso/cobertura atuais) o cenário de implementação de SbN ao longo do rio Piraquê não permitiria incrementar os volumes de infiltração e de escoamento subterrâneo. Mesmo com o aumento da cobertura vegetal natural na região de implementação do parque fluvial, os solos da região (principalmente gleissolos háplico e sálico) não são favoráveis para o processo de infiltração, e a maior disponibilidade de água na camada mais superficial do solo favorece muito mais o processo de evapotranspiração. O modelo SWY estima um volume bastante baixo de escoamento subterrâneo a nível local atualmente (apenas 84 mm/ano, ou 6% da precipitação média anual), e este escoamento ficaria ainda menor com a implementação das SbN previstas, pois deve haver um aumento significativo da evapotranspiração nas áreas hoje ocupadas por moradias (na região entre a Rua Oitenta e Sete e o Rio Piraquê), por meio da hipotética recuperação de várzeas nos locais onde estão estas casas. A média de evapotranspiração nas áreas que seriam objeto da implementação de SbN é atualmente da ordem de 655 mm/ano, sendo que, mediante simulação da existência destas SbN, este valor subiria para 945 mm/ano), um aumento de 44% na evapotranspiração local.

Sendo assim, observa-se que a redução expressiva do escoamento superficial na região onde deve ser implantado o Parque Fluvial do Jardim Maravilha, se deve em muito maior parte ao aumento de evapotranspiração pela restituição de vegetação nativa a áreas hoje ocupadas por urbanização. As melhores condições de infiltração que as SbN, em especial as áreas de “parque inundável”, deverão ter em relação às “áreas sujeitas a inundação” ou a usos residenciais, não se traduzem em aumento de escoamento subterrâneo profundo (visto que os solos locais tem baixa permeabilidade e o lençol freático é raso, conforme atestado pelo diagnóstico ambiental elaborado por Hidrostudio (2022b)), mas possibilitam um expressivo aumento de evapotranspiração, pois a vegetação existente nestas SbN funcionaria como uma “bomba d'água” natural, retirando água da camada superior do solo (que fica rapidamente saturada de água em condições de umidade alta ou em eventos de chuva) e lançando esta água na atmosfera. Isto é mais significativo nas áreas atualmente destinadas à habitação nos limites previstos para o parque; o fator de evapotranspiração ( $K_c$ ) nestas áreas é bastante baixo (0,275), sendo que o valor deste fator para *wetlands* (o tipo de cobertura interpretado como mais próximo à tipologia de SbN “parque inundável”) se situa entre 1,0 e 1,2, segundo NATURAL CAPITAL PROJECT (2022), tendo sido utilizado na modelagem o valor intermediário de 1,1; ou seja o coeficiente de evapotranspiração é 4 vezes maior quando o modelo simulou a substituição de “áreas residenciais” por “parque inundável”. Também há um expressivo aumento na evapotranspiração nas áreas atualmente ocupadas por “áreas não edificadas” (conforme visita em campo, estas áreas são cobertas usualmente por campos antrópicos), pois estas passam de um coeficiente  $K_c$  de 0,75 para um  $K_c$  de 1,1 (coeficiente de evapotranspiração da classe “parque

inundável”, que ocupa quase 80% da área que receberá SbN (ver tópico “Definição de parâmetros”).

**Tabela 10 - Comparativo entre os valores de escoamento superficial e escoamento subterrâneo calculados pelo modelo SWY para a linha de base e para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (Área total da bacia Piraquê-Cabuçu, 10.547 ha)**

CENÁRIO	PROCESSO	VAZÃO (mm/ano)	VAZÃO (m³/ano)	DIFER. ABSOL. (m³/ano)	DIFER. (%)
USO ATUAL	Escoamento superficial	327,3	34.524.045,30	-	-
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		324,2	34.193.831,62	-330.213,67	-1,0%
USO ATUAL	Escoamento subterrâneo	166,8	17.592.447,25	-	
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		166,0	17.511.196,34	-81.250,91	-0,5%
USO ATUAL	Vazão (escoamentos superficial e subterrâneo)	494,2	52.116.492,55	-	
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		490,3	51.705.027,96	-411.464,59	-0,8%
USO ATUAL	Evapotranspiração	901,1	95.040.060,35	-	
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		905,0	95.449.342,55	409.282,20	0,4%

**Tabela 11 - Comparativo entre os valores de escoamento superficial e escoamento subterrâneo calculados pelo modelo SWY para a linha de base e para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (Área do parque, 142 ha)**

CENÁRIO	PROCESSO	VAZÃO (mm/ano)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /ano)	DIFER. ABSOL. (m <sup>3</sup> /ano)	DIFER. (%)
USO ATUAL	Escoamento superficial	606,4	859.512,87	-	-
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		370,7	525.454,26	-334.058,60	-38,9%
USO ATUAL	Escoamento subterrâneo	70,9	100.498,81	-	-
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		14,4	20.354,91	-80.143,90	-79,7%
USO ATUAL	Vazão (escoamentos superficial e subterrâneo)	677,3	960.011,67	-	-
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		385,1	545.809,17	-414.202,51	-43,1%
USO ATUAL	Evapotranspiração	654,9	69.068.550,97	-	-
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		945,2	99.681.077,66	30.612.526,69	44,3%

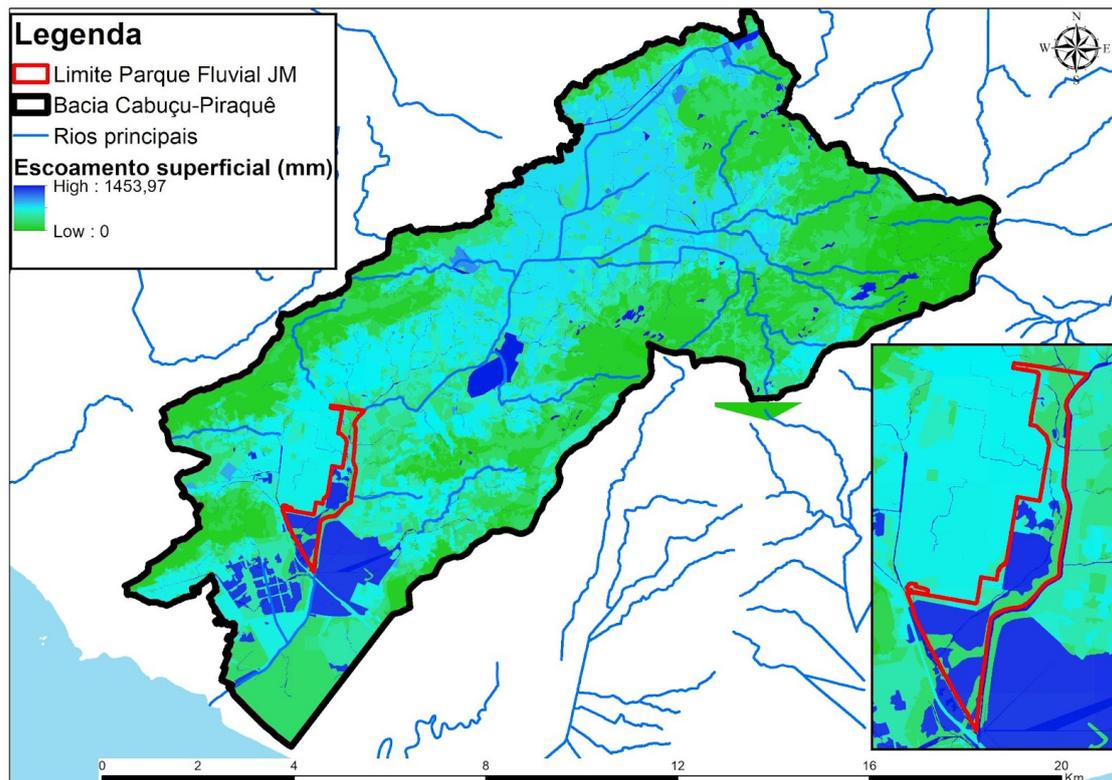


Figura 5 - Escoamento superficial (total anual) simulado para a situação atual da bacia do rio Piraguê-Cabuçu (detalhe para a área do parque fluvial)

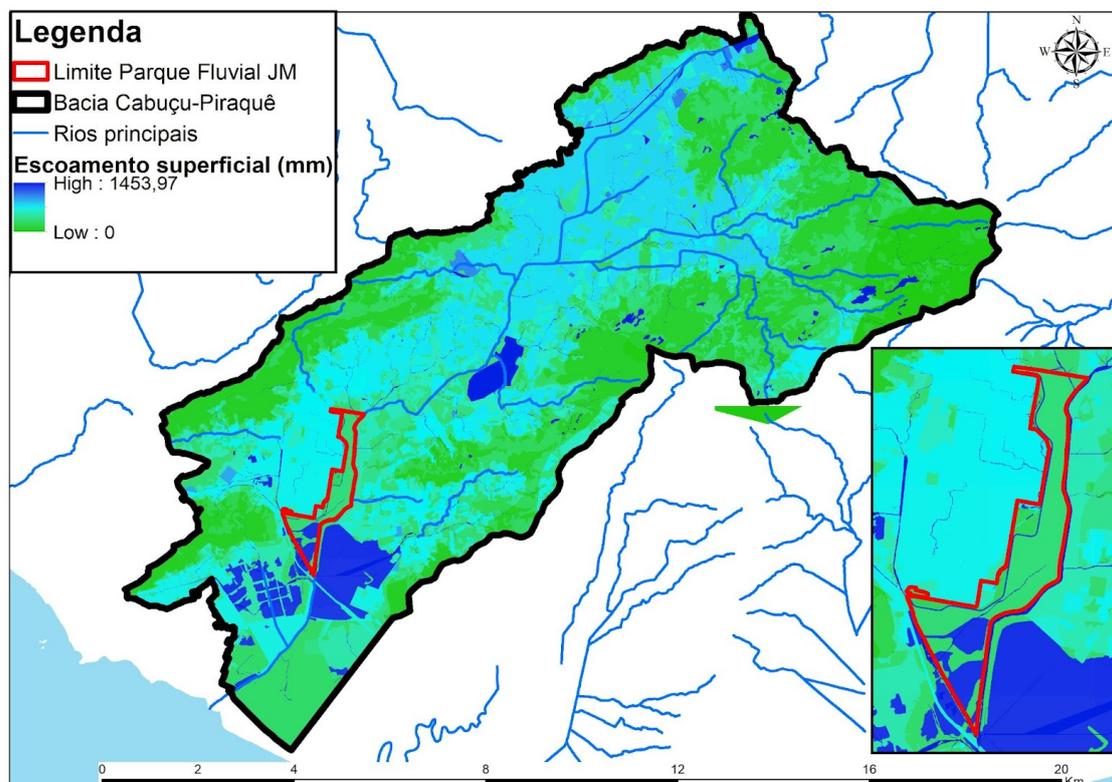


Figura 6 - Escoamento superficial (total anual) simulado para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (e Sbn associadas) na bacia do rio Piraguê-Cabuçu

### 3.2.2 Serviço ecossistêmico de mitigação de inundação

Dois indicadores foram utilizados para a quantificação de benefícios decorrentes do serviço ecossistêmico de mitigação de inundações, proporcionados pela implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha: o volume de escoamento superficial que gera a inundação, e o volume de escoamento superficial retido na paisagem. A diferença entre este indicador de escoamento superficial e aquele apresentado em relação ao serviço ecossistêmico de regulação hídrica, é que aqui se trata do escoamento ocorrido em apenas um evento (o da chuva de projeto, TR25 - 6 horas), enquanto no caso anterior se tratava do escoamento superficial ocorrido ao longo de um ano completo.

Os resultados são apresentados para a totalidade da bacia do rio Piraquê-Cabuçu e também para a região específica onde será instalado o Parque Fluvial do Jardim Maravilha; porém, no caso do indicador do volume de escoamento superficial, como o modelo gera um único resultado numérico para toda a bacia (sem indicar a distribuição espacial deste processo hidrológico), não é possível apresentar o resultado deste indicador na escala da região do parque fluvial.

Quando os resultados são apresentados na escala da bacia hidrográfica do rio Piraquê-Cabuçu, o benefício em termos de retenção do escoamento superficial em um evento extremo de chuva parece ser bem discreto (aumento de apenas 0,5% neste serviço em relação à linha de base); porém, quando este resultado é regionalizado para a escala do parque fluvial, percebe-se um expressivo benefício, pois o serviço ecossistêmico se torna 61% maior do que na situação atual. Esta grande diferença se torna compreensível pelo fato de que a área do parque fluvial responde por menos de 1% da área total da bacia.

Assim como foi explanado antes em relação ao serviço ecossistêmico de regulação hídrica, este expressivo aumento na retenção de escoamento superficial em decorrência da implantação de SBN está relacionado principalmente ao aumento da evapotranspiração, que transfere a água acumulada no horizonte A dos solos locais para a atmosfera.

Ou seja, os incrementos em serviço ecossistêmico de mitigação de inundação são bastante expressivos com a implantação de SBN, no entanto, devido a questões de escala, estes benefícios hidrológicos estão limitados a região que sofre as intervenções e o seu entorno imediato. No caso do bairro Jardim Maravilha, que se encontra na vizinhança imediata do futuro parque, os impactos positivos na forma de redução de danos materiais por inundações deverão ser inequívocos.

**Tabela 12 - Comparativo entre os valores de volume de inundação e de retenção de escoamento superficial calculados pelo modelo UFRM para a linha de base e para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (Área total da bacia Piraquê-Cabuçu, 10.547 ha)**

CENÁRIO	PROCESSO	VOLUME (m <sup>3</sup> /evento)	DIFER. ABSOL. (m <sup>3</sup> /ano)	DIFER. (%)
USO ATUAL	Volume de inundação	10.591.547,19	-	
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		10.570.913,42	-20.633,78	-0,2%
USO ATUAL	Retenção de Escoamento superficial	4.441.313,58	-	
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		4.461.937,98	20.624,40	0,5%

**Tabela 13 - Comparativo entre os valores de volume de inundação e de retenção de escoamento superficial calculados pelo modelo UFRM para a linha de base e para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (Área do parque, 142 ha)**

CENÁRIO	PROCESSO	VOLUME (m <sup>3</sup> /evento)	DIFER. ABSOL. (m <sup>3</sup> /ano)	DIFER. (%)
USO ATUAL	Retenção de Escoamento superficial	33.905,21	-	-
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		54.527,17	20.621,95	60,8%

(figuras na próxima página)

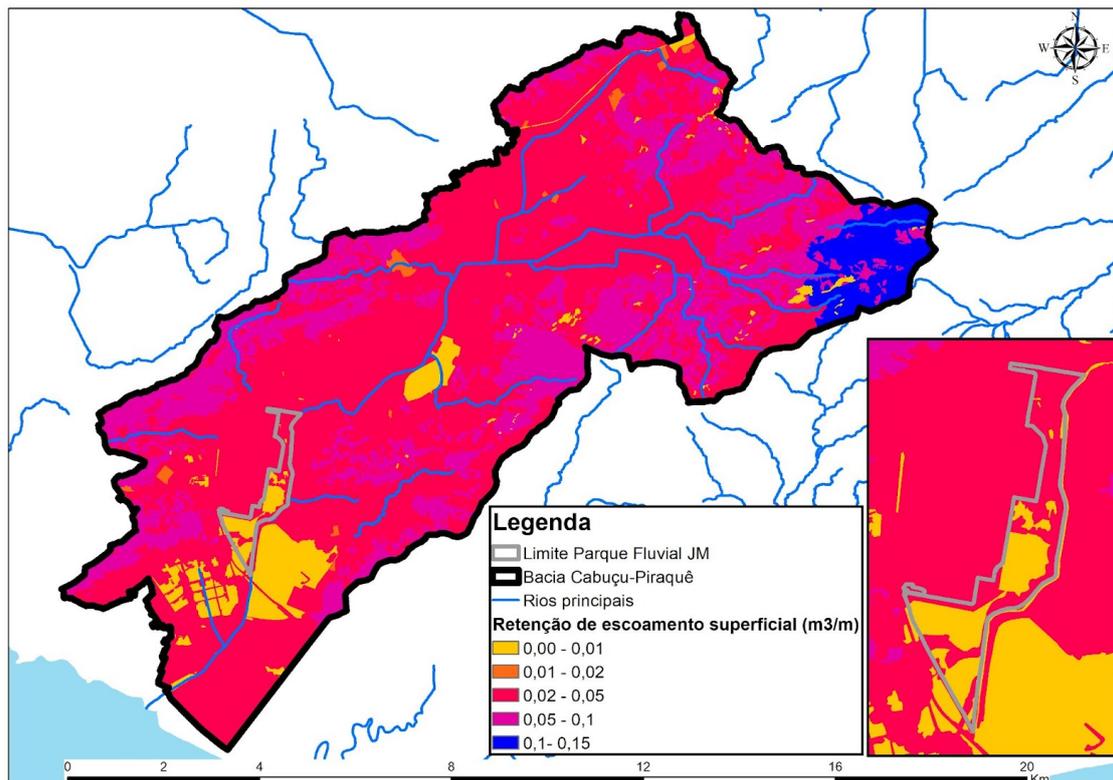


Figura 7 - Serviço ecossistêmico de retenção de escoamento superficial simulado para a situação atual da bacia do rio Piraquê-Cabuçu (detalhe para a área do parque fluvial).

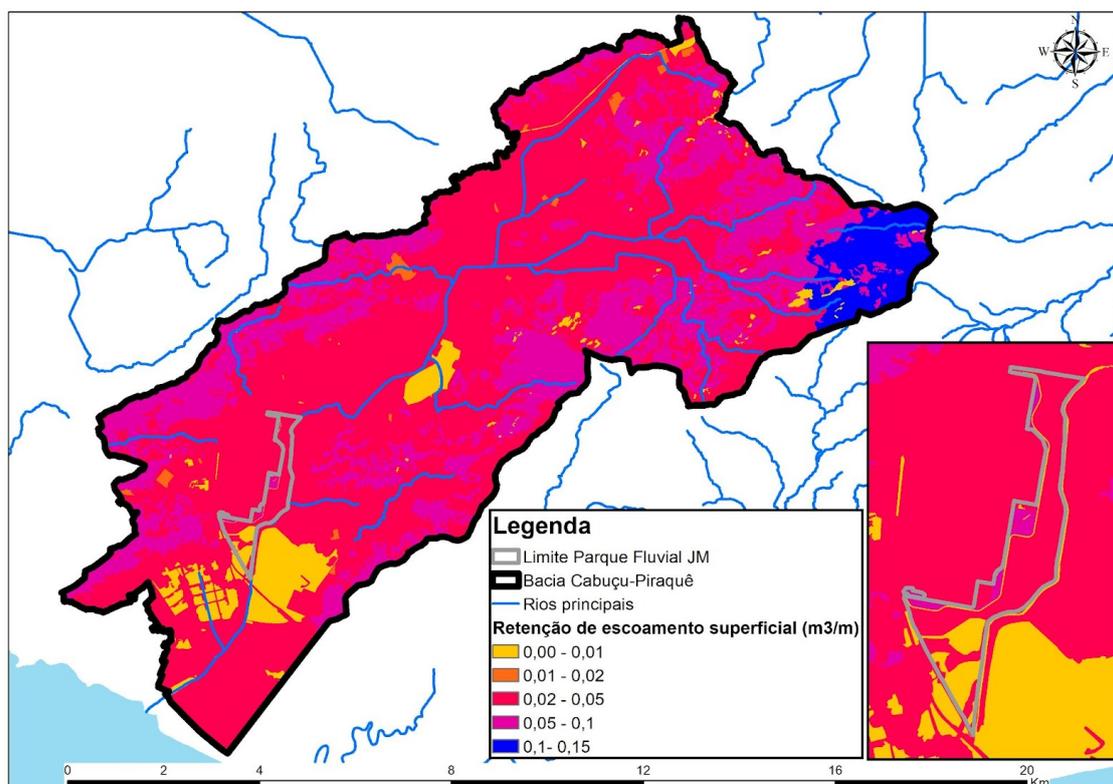


Figura 8 - Serviço ecossistêmico de retenção de escoamento superficial simulado para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (e SbN associadas) na bacia do rio Piraquê-Cabuçu

### 3.2.3 Serviço ecossistêmico de Regulação de erosão/sedimentação

A simulação de um cenário alternativo de uso/cobertura da terra que incorpora a operação de um Parque Fluvial ao Jardim Maravilha, composto por um conjunto de SbN, não proporcionou um efeito de mitigação dos processos erosivos da região de interesse, e, em última análise, em reduzir o aporte de sedimentos ao rio Piraquê a outros rios da região. Quando este cenário modulado pelas SbN associadas ao parque foi comparado à linha de base, não foi possível quantificar variações expressivas nas cargas de sedimentos aportadas aos corpos d'água.

Esta ausência de efeito redutor dos processos erosivos e de sedimentação nem mesmo em nível local (parque fluvial e entorno imediato) se deve possivelmente ao já baixo potencial de erosão da região, caracterizada por declividades muito baixas (típicas de planície fluvial) e pelos solos de baixa erodibilidade (gleissolos).

*Tabela 14 - Comparativo entre os valores de exportação de sedimentos calculados pelo modelo UFRM para a linha de base e para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (Área total da bacia Piraquê-Cabuçu, 10.547 ha)*

CENÁRIO	PROCESSO	CARGA DE SEDIMENTO S (ton/ano)	CARGA ESPECÍFICA (ton/ha/ano)	DIFER. ABSOL. (ton/ano)	DIFER. (%)
USO ATUAL	Exportação de sedimentos	57.164,06	5,42	-	
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		57.164,07	5,42	0,00	0,00002 %

*Tabela 15 - Comparativo entre os valores de exportação de sedimentos calculados pelo modelo UFRM para a linha de base e para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (Área do parque, 142 ha)*

CENÁRIO	PROCESSO	CARGA DE SEDIMENTO S (ton/ano)	CARGA ESPECÍFICA (ton/ha/ano)	DIFER. ABSOL. (ton/ano)	DIFER. (%)
USO ATUAL	Exportação de sedimentos	0,165568	0,00117	-	
USO ATUAL + PARQUE C/SBN		0,165451	0,00117	0,00	0,0000%

(figuras na próxima página)

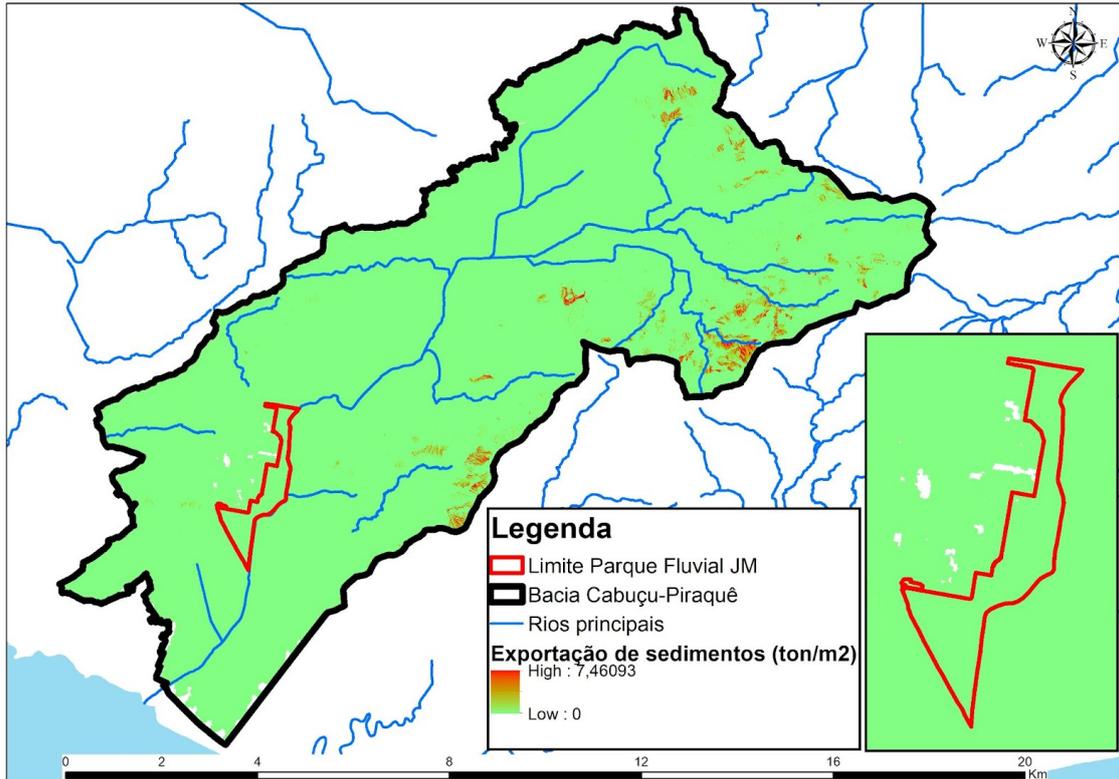


Figura 9 - Exportação de sedimentos (total anual) simulada para a situação atual da bacia do rio Piraguê-Cabuçu (detalhe para a área do parque fluvial).

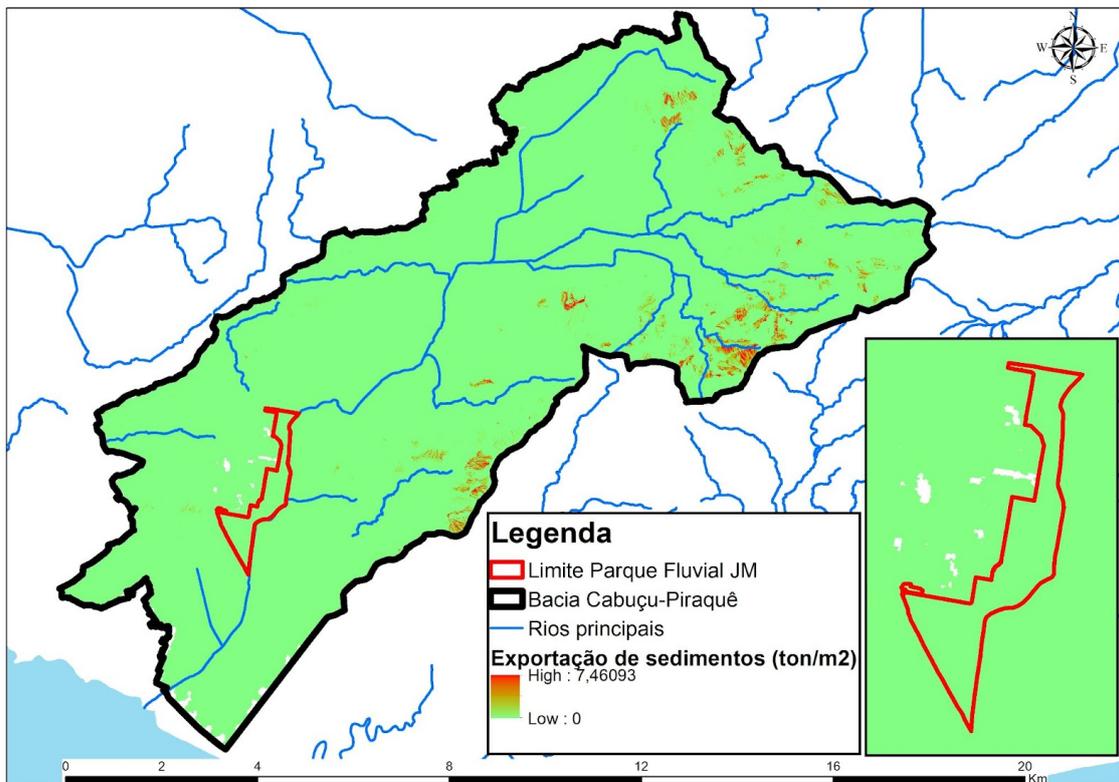


Figura 10 - Exportação de sedimentos (total anual) simulada para o cenário de implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha (e SBN associadas) na bacia do rio Piraguê-Cabuçu

### 3.3 Valoração dos Benefícios dos Serviços Ecosistêmicos

#### 3.3.1 Valoração dos benefícios dos SE de retenção de sedimentos

A retenção de sedimentos promove diversos impactos positivos para a gestão de recursos hídricos, contribuindo para a melhoria da qualidade da água, a proteção da biodiversidade, o controle da erosão do solo e a redução dos custos de tratamento de água. Afinal, quando ocorre o carreamento de sedimentos para os corpos d'água, o resultado é uma água mais turva do que seria em relação à sua linha de base (sem efeitos antrópicos), com mais elevada concentração de sólidos em suspensão. Isso afeta diretamente a qualidade da água, prejudicando sua potabilidade e sua utilização para diversos fins, como abastecimento público, irrigação e recreação.

Com a retenção de sedimentos, a menor turbidez faz com que os serviços de captação e tratamento de água para fins de abastecimento humano sejam beneficiados. Além disso, a redução da turbidez e da concentração de sólidos em suspensão também melhora a qualidade da água para outros usos, como a recreação em rios, lagos e praias, e para a pesca e a agricultura. A presença de sedimentos - notadamente quando carreados de áreas urbanas - está associada à uma piora na qualidade da água, o que pode prejudicar essas atividades, podendo inclusive afetar a saúde e a produtividade dos organismos aquáticos e das plantas.

Diversos benefícios econômicos derivam deste serviço ecossistêmico, destacando-se:

- Redução dos custos de tratamento de água: a retenção de sedimentos ajuda a reduzir a quantidade de sólidos em suspensão na água, o que facilita o processo de tratamento de água. Isso pode resultar em uma redução nos custos associados à remoção desses sólidos, tais como o uso de produtos químicos, a manutenção dos equipamentos de tratamento de água e o tratamento e disposição final do lodo.
- Melhoria da qualidade da água: além de beneficiar o abastecimento humano, a retenção de sedimentos também contribui para o equilíbrio ecológico, que beneficia tanto os organismos aquáticos, como a recreação, a pesca e a agricultura, caso as águas sejam usadas para esse fim.
- Prevenção de inundações: a retenção de sedimentos também pode ajudar a prevenir inundações ao limitar a quantidade de sedimentos que eventualmente se depositam nos canais e rios, gerando assoreamento. Isso ajuda a proteger especialmente as áreas urbanas, reduzindo os custos associados a danos causados por inundações.

Nota-se que no contexto do rio Piraquê-Cabuçu, não se identificam repercussões quanto ao benefício de melhor qualidade da água para fins de abastecimento humano e sequer para equilíbrio ecológico. Dos benefícios físicos gerados, aquele que se traduz em valor econômico (externalidade positiva) no contexto do parque é a prevenção de inundações devido ao assoreamento evitado. Afinal, enquanto parte do aporte dos sedimentos se mantém na coluna d'água (gerando turbidez), outra decanta e gera assoreamento (acúmulo de material sólido).

O assoreamento, paulatinamente, reduz a profundidade dos cursos d'água. Uma forma de se mensurar o valor do serviço ecossistêmico, portanto, é com base na dragagem evitada. Para

valorar esse benefício, é necessário conhecer o volume de sedimentos que deixou de ser aportado e o custo de sua eventual retirada. Nota-se que, para fins de expressão do valor social do serviço ecossistêmico, pouco importa quando ou até mesmo se, na realidade, o sedimento será retirado: trata-se da baliza de valor utilizada.

De fato, estes serviços são contratados quando as condições de assoreamento se aproximam de limites de aumento brusco de vazão dos rios urbanos. O Canal de Sernambetiba e do Rio Morto, no Recreio dos Bandeirantes, por exemplo, estão passando por limpeza e desassoreamento, com a expectativa de se retirarem mais de 90 mil toneladas de material para fins de prevenção de alagamentos<sup>24</sup>.

No caso do rio Piraquê-Cabuçu, especificamente na altura do Jardim Maravilha, a Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro contratou serviços de “manutenção da calha de corpos hídricos” em 2021. Com base nas informações do Termo de Referência (Processo 06/600.183/2020) e no contrato doravante assinado com a empresa vencedora (disponíveis no Portal de Transparência do município)<sup>25</sup>, para os serviços em 5,85 km, prevê-se o desembolso de R\$ 4,24 milhões.

**Tabela 16 - Serviços de manutenção da calha de corpos hídricos no Jardim Maravilha (2021-2024)**

Rio / Trecho	Extensão (m)	Transversal aprox. da calha (m)
Rio Piraquê-Cabuçu	1.150	20,0
Rio dos Porcos	500	6,0
Rio Canhangá	1.000	6,0
Vala Jose Sena	1.500	6,0
Canal Barão de Cocais	1.700	6,0
<b>TOTAL</b>	<b>5.850</b>	-

Assumindo-se uma lâmina de meio metro para a retirada de sedimentos, chega-se a um volume total de 25,60 mil m<sup>3</sup> a serem retirados. Isso se converte em cerca de 38,40 mil toneladas, pois segundo Sousa Junior (2011), a cada 1,5 toneladas de sedimentos retidos correspondem a um metro cúbico. O custo unitário de referência, com base no contrato vigente, é de cerca de R\$ 165,80/m<sup>3</sup>.

Com base nos quantitativos acima, pode-se estimar o valor monetário do serviço ecossistêmico gerado pelas SbN do Parque, com base na retenção de sedimentos por ele promovida. Eis que, conforme observado pelos resultados da modelagem de serviços ecossistêmicos, as SbN do parque estão na sua parte baixa (já nas proximidades de sua foz, inclusive sofrendo influência da maré). As partes baixas são planas, o que não gera muita erosão superficial a ser retida pelas SbN, cuja diferença no cenário sem projeto para o cenário com projeto foi de apenas 0,07%. Não se tem, portanto, uma apropriação em medida econômica de tal efeito.

<sup>24</sup> Disponível em: <https://fundacaorioaguas.prefeitura.rio/noticias/servicos-de-limpeza-e-desassoreamento-prosseguem-no-canal-de-sernambetiba/>

<sup>25</sup> Disponível em: <http://rio.rj.gov.br/web/transparencia>

Caso fossem implantadas SbN nas partes altas e médias da bacia, entretanto, certamente esse serviço ecossistêmico se mostraria bastante relevante.

### **3.3.2 Valoração dos benefícios dos SE de regulação hídrica**

O serviço ecossistêmico de regulação hídrica ocorre tanto pela garantia de vazão de base (escoamento subterrâneo) quanto na atenuação das vazões de escoamento superficial. Cada um desses efeitos traz consequências particulares, como se mostra a seguir, pois enquanto o primeiro gera, potencialmente, maiores volumes de água para captação e uso; o segundo atenua a ocorrência de eventos de enxurradas e inundações.

Uma vez sendo a bacia hidrográfica uma área drenada por determinados cursos d'água que funcionam como unidade de captação e processamento de água de chuva, ela pode, dependendo de sua composição e estado, levar essa água rapidamente para o curso d'água (escoamento superficial), armazená-la em forma de umidade do solo, armazená-la em lençóis subterrâneos (escoamento subterrâneo) ou, então, devolvê-la à atmosfera por evapotranspiração. Claramente, o caminho virtuoso é aquele que privilegia o sentido chuva -> lençol -> nascente -> curso d'água.

Com isso os picos de vazão são diminuídos a favor dos lençóis freáticos abastecidos o suficiente para garantir vazões regulares, mesmo nos períodos de seca. A ocorrência de áreas permeáveis favorece a infiltração e faz com que os picos de vazão se reduzam, atenuando os efeitos deletérios das enxurradas e inundações.

#### **a. Serviço ecossistêmico mitigação do risco de inundação**

Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade)<sup>26</sup> os eventos naturais hidrológicos podem ser de três tipos:

- Enxurradas - escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado, caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial e com grande poder destrutivo;
- Inundações - submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, com transbordamento de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície; e
- Alagamentos - extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Enquanto as inundações e enxurradas decorrem do comportamento dos cursos d'água em casos de chuvas intensas - que se tornam mais frequentes e amplas devido à mudança do clima -, os

---

<sup>26</sup> Classificação elaborada a partir do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) e da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU), com o propósito de adequar a classificação brasileira às normas internacionais.

alagamentos, por sua vez, decorrem da extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana.

A ocupação do loteamento, pois, foi realizada sobre a várzea do rio Cabuçu em sua margem direita e à esquerda da Vala José Sena e Ribeirão dos Porcos, já nas proximidades da foz do rio na baía de Sepetiba. Observando-se que o Jardim Maravilha está localizado, em grande parte, em uma área de cotas abaixo de 3 m, a subida do nível do rio decorrente da associação entre a maré e a chuva, torna-se um dos fatores para o surgimento das ocorrências de inundações e alagamentos. Eventos de inundação e de alagamento, portanto, se sobrepõem e se complementam no Jardim Maravilha em ciclo vicioso no qual as eventuais inundações geram alagamentos e vice-versa.

Acerca das áreas suscetíveis a inundação na área proposta pelo Parque, simulações hidrodinâmicas realizadas pela empresa contratada pela Prefeitura do Rio de Janeiro no âmbito dos estudos do Parque, utilizando diferentes períodos de retorno (ou TR - tempo de retorno) e durações de chuva (levando em conta também os efeitos da maré), permitiram um mapeamento preciso das áreas que geralmente são alagadas em chuvas intensas.

Quando se simula uma chuva com TR de 10 anos e duração de 12 horas, a mancha de inundação abarca a porção sul do parque proposto, na região de interflúvio entre os rios Piraquê-Cabuçu e dos Porcos; a área inundável calculada tem cerca de 35 hectares, sendo quase 31 hectares inundados com profundidades de alagamento inferiores a 1 metro. Já quando a chuva simulada tem TR de 25 anos e duração de 12 horas, cerca de 64 hectares dos 137 hectares que compõem a área proposta pelo parque seriam alagados, dos quais cerca de 59 hectares teriam profundidades de alagamento inferiores a 1 metro; neste caso a mancha de inundação também atingiria as porções central e norte do parque, além da porção sul.

Um dos eventos marcantes de inundação ocorreu no início de fevereiro de 2019, identificada com base na série diária sintética CHIRPS, detalhada em Funk et al. (2015), consultada no ponto da estação de monitoramento da Escola Municipal Tatiana Chagas Memória entre janeiro de 1985 e dezembro de 2021<sup>27</sup>. Com base nessa longa série de precipitação, observa-se que o citado evento corresponde a um período de retorno de 250 anos<sup>28</sup>.

Segundo os estudos "hidrológicos e hidráulicos para o projeto de redução do impacto da mancha de inundação e requalificação ambiental, urbanística e paisagística da região do Jardim Maravilha", em desenvolvimento pela Prefeitura do Rio de Janeiro, a situação de criticidade do Jardim Maravilha em relação aos eventos de inundações é tamanha que, mesmo com uma chuva associada ao período de retorno de 25 anos, a água atinge mais de meio metro, gerando danos e prejuízos locais. A ocorrência de eventos de menor probabilidade é também associada a geração de danos significativos, uma vez que a lâmina de água não é tão menor, embora se espraie por uma área (mancha) mais reduzida.

---

<sup>27</sup> Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) e CHIRTSdaily, produzido pelo Climate Hazards Center. Trata-se de dados globais de precipitação e temperaturas máximas e mínimas diárias estimadas, utilizadas em modelagens climatológicas. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

<sup>28</sup> Estimativa do intervalo de tempo médio entre as ocorrências de um evento (ex. inundação ou chuva extrema) de (ou abaixo/acima) de um tamanho ou intensidade definidos (IPCC, 2022).

Como resultado da modelagem dos efeitos da implementação das SbN no Parque Fluvial do Jardim Maravilha, revela-se que o aporte de infraestrutura natural reduzirá o escoamento superficial em 38,9% na área do loteamento e a jusante, com a vazão saindo de 27,25 l/s para 16,66 l/s. Simplificando-se a relação chuva-vazão para uma razão unitária, pode-se supor, portanto, que com a implementação do Parque, um mesmo nível de pluviosidade corresponderá a uma menor contrapartida em escoamento superficial do que seria esperado sem o aporte das Soluções baseadas na Natureza.

Conforme apontam os resultados da modelagem do serviço ecossistêmico de mitigação de inundação, a redução no escoamento superficial está associada de forma direta à uma forte atenuação dos eventos de inundação e alagamento, reduzindo as inundações em 20,63 mil m<sup>3</sup> para o período de retorno de projeto, que para uma chuva máxima de 6 horas em 25 anos. O desafio da valoração desse importante serviço ecossistêmico no contexto do Jardim Maravilha é traduzir a redução dos danos evitados por essa retenção.

De forma pragmática, a implementação do projeto visa essencialmente deslocar a curva de probabilidade de eventos e seus danos associados, ou seja, fazer com que os impactos de eventos com período de retorno maiores sejam nulos ou reduzidos. A intervenção total (soluções baseadas na natureza combinadas com as intervenções cinza) irá garantir que, até o TR de projeto, não haja eventos extremos na localidade como antes havia.

Quanto maior o período de retorno que se almeja evitar, maior será o custo da intervenção, pois maior serão as estruturas associadas. É comum projetos não abaterem todos os TR possíveis, pois os custos seriam demasiados para o grau de risco. Qualquer evento antes da TR de projeto passará a ter dano ou prejuízo nulo. Para os eventos que superem a TR do projeto, no entanto, pode-se considerar danos e prejuízos minorados, amortecidos pelas intervenções.

Nota-se que as SbN complementam o projeto de infraestrutura cinza (dique e áreas não alagáveis) para compor uma solução mista efetiva para a complexa situação do Jardim Maravilha. Como já se deu ênfase anteriormente, observa-se que a modelagem dos serviços ecossistêmicos de regulação hídrica aqui valorada é exclusiva para as SbN, isso é, sem contar com os efeitos do dique de barramento. Reforça-se: o volume de retenção de águas no TR de projeto, de 20,63 mil m<sup>3</sup>, é resultado exclusivo das SbN na área do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, a saber:

- 808,55 mil m<sup>2</sup> de parque inundável;
- 87,59 mil m<sup>2</sup> de reservatório anfíbio (*detention pond*); e
- 31,35 mil m<sup>2</sup> de *wetlands* construídos.

É esperado, portanto, que a mancha de inundação com apenas esses componentes não seja suficientemente reduzida ao ponto de zerar o risco do TR de projeto. Observa-se, não obstante, que o modelo de serviços ecossistêmicos utilizado apresentou um abatimento significativo.

Para estimar os danos e prejuízos evitados com a implementação das SbN e a retenção de volume de água decorrente, parte-se da curva de dano do cenário sem projeto e aplica-se a curva de dano com o projeto, gerando a nova curva de perdas em função da probabilidade de

eventos de inundação. Na diferença entre as curvas, lê-se o benefício, que equivale ao custo evitado.

Geralmente, em abordagens com enfoque público, os danos são considerados como perdas de vidas, influência negativa no bem-estar, além do valor perdido em mercadorias e serviços. Pode-se, sob a ótica do setor público, contabilizar os dispêndios com o restabelecimento de serviços essenciais, reconstrução de infraestrutura comprometida, medidas assistenciais e medidas de recuperação. Trata-se, em qualquer caso, de abordagem de cunho econômico.

Muito embora o termo "dano" represente a categoria de "danos e prejuízos", trata-se de duas perdas distintas que podem decorrer de um mesmo evento adverso:

- Danos são referentes às perdas materiais, ou seja, as perdas incutidas em habitações, infraestruturas de forma geral e em instalações públicas e privadas. Danos materiais podem ser reconstruídos ou reparados.
- Prejuízos são referentes às perdas que acometem as atividades econômicas que deixaram de ocorrer, tanto pelo setor público (escolas, postos de saúde e demais serviços) quanto pelo setor privado (agricultura, pecuária, indústria, comércio e serviços). Prejuízos não podem ser reconstruídos, mas sim compensados.

É pertinente avaliar, dessa forma, tanto os danos (materiais) quanto os prejuízos (atividades econômicas cessantes). Os danos, por serem materiais, trazem uma forma de mensuração bastante correlacionada ao desdobramento físico da inundação, qual seja, a elevação do nível de água.

O método de avaliação dos benefícios segue o Manual de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício para de Projetos de Infraestrutura Hídrica (PNUD e ME, 2021a e 2021b), que requer a elaboração da curva de probabilidade de excedência de danos. Essa curva relaciona os dados históricos de eventos de cheias e seus danos e/ou prejuízos, associando-os aos eventos hidrológicos correspondentes. Foram diversas as informações para a construção dessa curva no caso do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, iniciando-se pela identificação do dano esperado para o TR de projeto. Na ausência de informações de prejuízo que correlacionam o nível da inundação com a atividade cessante, adotam-se os passos metodológicos abaixo para valorar o custo evitado com danos materiais apenas.

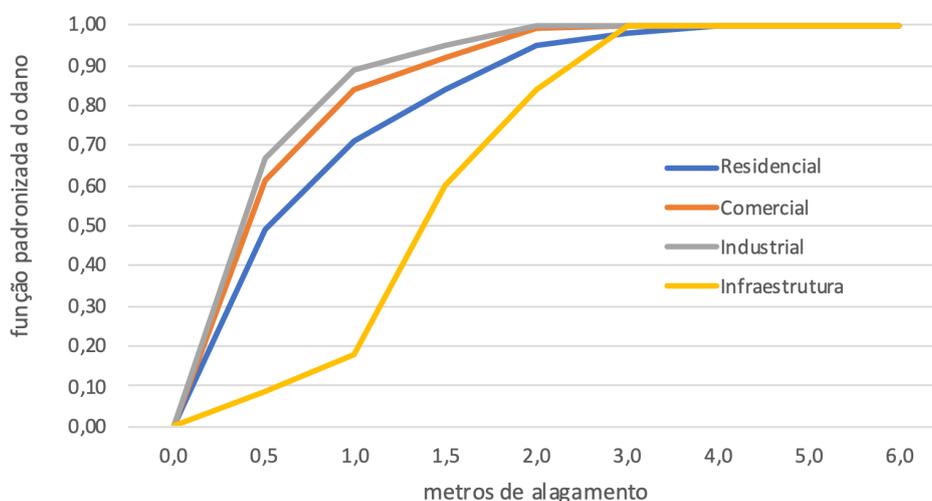
**Tabela 17 - Dados demográficos sob a mancha de inundação de projeto**

	<b>Domicílios</b>	<b>Moradores</b>	<b>Área construída</b>
Mancha de inundação de projeto no Lot. Jardim Maravilha	2.312	7.655	138,72 mil m <sup>2</sup>
Mancha de inundação de projeto a jusante do Lot. Jardim Maravilha	252	835	15,12 mil m <sup>2</sup>
<b>Total sob a mancha de inundação de projeto (TR 25)</b>	<b>2.564</b>	<b>8.490</b>	<b>153,84 mil m<sup>2</sup></b>

Nota-se ainda que a mancha de inundação que as SbN tratam de reduzir não abrangem apenas domicílios no loteamento Jardim Maravilha, mas também em áreas ocupadas a jusante. Com

base no cruzamento espacial destas áreas a jusante com os setores censitários, é possível estimar a quantidade de domicílios, moradores e a área construída dessa porção também beneficiada pela redução de risco de inundações promovida pelas SbN.

Huizinga, Moel e Szewczyk (2017) desenvolveram metodologia e banco de dados de funções de danos de inundação para auxiliar na avaliação e gerenciamento de riscos em uma base global. Os autores apresentam funções de danos materiais padronizadas para a elevação do nível da água em eventos de inundações (metros) derivadas de informações de inundação e de dados socioeconômicos em ampla consulta e representatividade. Com base nesse estudo, pode-se obter as relações de dano por metro de alagamento em casos típicos no Brasil para as áreas residenciais, comerciais, industriais e de infraestrutura (transportes, vias e outros).



**Figura 11 - Função do dano para diferentes estruturas (com base em Huizinga, Moel e Szewczyk, 2017)**

Observa-se que meio metro de alagamento já é suficiente para imputar cerca de 50% dos danos máximos causados para a área residencial (49% para ser preciso). No caso de comércio e indústria, esse nível de alagamento gera cerca de 64% do dano máximo. Já no caso das infraestruturas, como seria de se esperar, os níveis de alagamento devem se elevar significativamente (1,5 metros ou mais) para que ocorram cerca de 60% dos danos máximos. A partir de 3 metros de alagamento, o dano é praticamente o máximo para todas as categorias.

Como dado de entrada para o modelo InVEST de mitigação de risco de inundações, compilaram-se os valores monetários dos danos associados ao evento de alagamento com 0,5 metros para as categorias acima (residencial, comercial, indústria e infraestrutura). Esse é o nível que, de forma conservadora, corresponde ao nível observado da lâmina d'água no TR de projeto (que é de cerca de 0,6 metros).

Para os valores de dano material, utilizou-se das referências de Huizinga, Moel e Szewczyk (2017), pois capturam os valores para os níveis correspondentes de metros de alagamento. Os dados originais, apresentados em euros de 2010 (data-base dos dados históricos do estudo), foram primeiramente trazidos para a data-base de 2021 pela variação da cotação do euro frente ao dólar americano. Essa variação é capturada pela paridade do poder de compra da moeda, compilado pela OCDE (mais representativa do que a taxa de câmbio de mercado) para todas as

moedas mundiais tendo como base de referência o dólar americano<sup>29</sup>. Com base nos valores em dólares de 2021, converteram-se os danos para reais com base no mesmo padrão de conversão (paridade do poder de compra da moeda, dessa vez do real em relação ao dólar americano, que foi de R\$ 2,53).

A tabela abaixo apresenta os valores dos danos materiais calculados para o TR de projeto e também para os TR 10, TR 50 e TR 100, de forma a permitir elaborar a curva de probabilidade de excedência. Para tanto, assumiu-se que o evento de TR 10 é conservadoramente associado a uma lâmina de alagamento de 45 cm, o evento de TR 50 a uma lâmina de 0,65 e, por fim, o evento de TR 100 é associado a uma lâmina de 0,90. Essa diferença de lâminas se dá pela análise das informações históricas de inundações na área, mas mantém um certo conservadorismo para a premissa, pois considera o relevo e características do local, que é plano e tende a espriar o excedente de água muito antes de que a lâmina suba de forma mais contundente.

*Tabela 18 - Danos materiais em eventos de inundação (R\$/m<sup>2</sup>)*

Evento	Residencial	Comercial	Industrial	Infraestrutura
TR 10	63,20	130,45	34,04	4,10
TR 25	75,28	165,7	43,26	4,61
TR 50	112,89	208,77	52,00	5,12
TR 100	148,42	244,64	55,77	6,15

Os danos referentes ao evento de projeto subsidiaram os dados de entrada para o modelo InVEST, que retornou o valor total do dano potencial com base nas descrições espaciais. Estas contam tanto com a mancha de inundação (extensão do dano) quanto com as categorias de uso do solo, conforme reportado no item deste capítulo referente ao modelo. Conforme aplicação do modelo do InVEST, o valor do dano material potencial total é de R\$ 32,09 milhões. Esse é o valor em risco tanto para o loteamento Jardim Maravilha como nas áreas com imóveis a jusante do loteamento.

Uma vez que se estima haver 2.564 domicílios sob a mancha de inundação de projeto, tem-se um dano potencial unitário de R\$ 12,51 mil. Para apreciar a significância desse valor, nota-se que a renda média mensal por domicílio na área de estudo é de R\$ 3,65 mil, significando que em um evento de alagamento da magnitude da TR do projeto representa uma perda de 3,43 meses de rendimento.

Com base nas relações entre a área de alagamento, evento e dano total calculado pelo modelo, fez-se a construção das curvas de dano sem projeto e com as SbN. Nota-se pela figura abaixo que as SbN conseguem abater 20,63% do dano para o evento de projeto, reduzindo-o de R\$ 32,09 para R\$ 25,47 milhões. O benefício líquido associado a esse evento, portanto, é de R\$ 6,62 milhões, conforme dados do InVEST.

<sup>29</sup> A paridade do poder de compra da moeda traz uma taxa de câmbio baseada no poder de compra de uma determinada quantidade de bens e serviços, idêntica em dois países distintos. É comumente utilizada para calcular a taxa de inflação ajustada pela taxa de câmbio. As taxas de paridade de poder de compra da moeda foram obtidas em OECD (2022), Purchasing Power Parities, disponível em: <https://data.oecd.org/conversion/purchasing-power-parities-ppp.htm>.

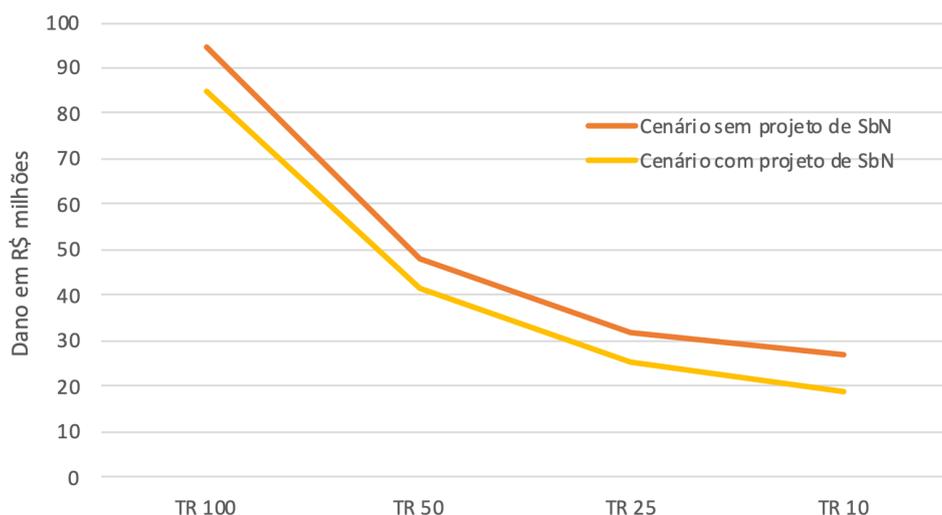


Figura 12 - Dano em função da probabilidade de eventos de inundação e alagamento com e sem SbN

O cálculo do abatimento do dano nos demais pontos da curva na figura acima foram derivados da seguinte forma: adotou-se a premissa arbitrária de que o evento antes da TR de projeto passa a ter uma redução de 25% do dano, ligeiramente maior que os 20,63% identificados para o evento de projeto; já para os eventos que superem a TR do projeto, pode-se considerar o dano minorado, ou seja, de alguma forma também amortecido pela intervenção. Adotaram-se as premissas arbitrárias de que a redução do potencial de abatimento de dano das SbN é de uma terça-parte para o evento de TR 50 anos (abatimento de 13,75%) e de metade do valor de projeto no caso do evento de TR 100 (abatimento de 10,31% do dano).

Os dados até aqui apresentados, que compõem a curva de probabilidade de excedência do dano, trazem os valores associados aos respectivos eventos. Deve-se, então, calcular o valor anualizado de benefícios, realizado pela integral da diferença entre as curvas de perdas esperadas com e sem o projeto. Afinal, a intenção do projeto é reduzir a probabilidade de ocorrência dos danos.

Com base nas recomendações de PNUD e ME (2021a), segue-se o método apresentado por Olsen et al. (2015) como o mais adequado ao caso em tela: faz-se a média da perda prevista no período (t) com a perda prevista no período anterior (t-1), multiplicando-a pela diferença na probabilidade de excedência. Existem outros métodos, que foram comparados pelos autores, sendo que o recomendado trata de dano anual esperado em avaliações de risco de inundações pluviais urbanas.

Tabela 19 - Valor anualizado de dano material com e sem projeto (R\$, mil)

	TR 10	TR 25	TR 50	TR 100	TOTAL (anualizado)
Cenário sem SbN	5.387	1.771	802	715	<b>8.675</b>
Cenário com SbN	3.820	1.337	670	633	<b>6.460</b>
<b>Benefício líquido SbN (Δ)</b>	<b>1.567</b>	<b>434</b>	<b>132</b>	<b>82</b>	<b>2.215</b>

Uma vez que a perda evitada é a somatória da diferença das curvas com e sem o projeto, o resultado anual do benefício é dado pelo resultado da soma obtida pelos valores anualizados. A

tabela acima apresenta os valores anualizados de perdas esperadas na situação com e sem o projeto de Soluções baseadas na Natureza do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, revelando a geração de um benefício anualizado da ordem de R\$ 2,22 milhões em danos materiais evitados.

Prossegue-se, doravante, para a valoração dos prejuízos decorrentes das atividades econômicas cessantes pelos eventos adversos.

No Jardim Maravilha, sob a área da mancha de inundação, não são muitos os comércios e indústrias: a porção do loteamento mais propensa a sofrer com estes eventos é composta na maior parte por residências. Com base nas consequências dos eventos passados de inundação, compreende-se que população diretamente afetada não consiga obter os rendimentos que deveriam ter obtido na ausência do evento (aplicando o conceito de custo de oportunidade que deve sublinhar o exercício de valoração), impactando também o andamento das atividades cotidianas de todos no loteamento Jardim Maravilha, mesmo aqueles não diretamente impactados.

Diferentemente do que ocorre com os danos materiais, entretanto, encontram-se apenas registros anedóticos da relação entre os eventos (e sua extensão no Jardim Maravilha) e os prejuízos ali gerados, como os que ocorrem quando funcionários deixam de chegar ao seu local de trabalho<sup>30</sup>.

Uma forma de contornar a ausência de dados, porém de manter o rigor da relação de redução do dano em função do cenário com projeto, é por meio da aplicação da mesma relação descrita acima para o valor econômico dos danos materiais para a extensão de área inundada (em metros quadrados). A partir das relações de área construída inundada sob TR de projeto, que é de 264 ha, desvenda-se que as SbN devem promover a redução anualizada de 18,23 ha. Essa é a área equivalente ao valor econômico dos benefícios da SbN ao evitar os danos materiais, porém expressa em termos de área afetada.

Com base na área total beneficiada pelas SbN, pode-se então calcular a quantidade de pessoas afetadas a partir da razão de moradores para área total, já descrita no segundo capítulo do presente relatório. Essa conversão resulta na retirada de 1.124 pessoas do risco anual de enfrentar inundações no Jardim Maravilha e nas áreas urbanizadas a jusante.

Nota-se que nem todo esse contingente é gerador de renda, pois existem crianças e idosos que não estão em idade economicamente ativa. Mesmo assim, dado que esta fração da população também é prejudicada de alguma forma na cessão de suas atividades cotidianas, utiliza-se da métrica da renda para valorar seus prejuízos, considerando todo o contingente como prejudicado.

Uma vez que se conhece a renda média obtida por pessoa, pode-se inferir o quanto dessa renda deixou de ficar comprometida pelo risco reduzido. Para tanto, supõe-se que os moradores afetados pelas inundações teriam de enfrentar não apenas os custos de reparação dos danos materiais, mas também de se ocupar para que essa reparação ocorra, deixando de exercer outras atividades durante e logo após os dias de ocorrência do evento adverso.

---

<sup>30</sup> Como exemplo, pode-se ver: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-04/temporal-de-segunda-causou-prejuizos-de-r-182-milhoes-ao-comercio>

Dada a ausência de outras referências em relação à duração do evento de inundação e seus prejuízos associados, adota-se a premissa arbitrária de que a extensão desse prejuízo é equivalente a 5 dias de renda não-gerada, o que produz uma valoração de R\$ 439,97 mil por ano. Uma vez que esse valor é embasado na renda gerada no Jardim Maravilha, tem-se o reflexo da baixa renda local. Caso o mesmo cálculo fosse realizado considerando o prejuízo que deixou de ocorrer para trabalhadores formais que recebem 4 vezes o salário mínimo estadual (tal como aponta a média de renda do município), o benefício seria da ordem de R\$ 1,33 milhões por ano.

**Tabela 20 - Valor anualizado de prejuízo com projeto (R\$, mil)**

	Valores anualizados
Benefício gerado pelas SbN em prejuízos evitados considerando a renda média no loteamento Jardim Maravilha	439,72
Benefício gerado pelas SbN em prejuízos evitados considerando a renda média do trabalhador formal carioca	1.325,84

A tabela acima apresenta os valores de prejuízos evitados (que deixam de ocorrer) na situação com o projeto de Soluções baseadas na Natureza do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, cujo benefício se expande para além do próprio Jardim Maravilha para contemplar áreas a jusante, revelando a geração de um benefício anualizado da ordem de R\$ 439,72 mil.

Uma vez que os eventos de inundação geram tanto danos materiais como prejuízos (atividade econômica cessante), o benefício total desse serviço ecossistêmico é dado pela somatória dos benefícios identificados, tal como apresentado na tabela abaixo.

**Tabela 21- Valor anualizado de danos e prejuízos evitados com o projeto (R\$, mil)**

	Valores anualizados
Benefício gerado pelas SbN em danos materiais evitados	2.215,23
Benefício gerado pelas SbN em prejuízos evitados considerando a renda média no loteamento Jardim Maravilha	439,72
<b>Benefício total gerado pelas SbN na redução do risco de inundação</b>	<b>2.655,20</b>

Os cálculos anteriores permitem chegar ao valor anualizado das duas categorias de benefício valoradas (danos e prejuízos evitados), decorrentes da implantação das SbN do Parque Fluvial do Jardim Maravilha. Nota-se que existem outros benefícios envolvidos, como a melhoria no bem-estar psicológico associado à convivência com um risco reduzido de inundação. Estes benefícios são explorados nos próximos capítulos.

Por fim, nota-se que para a consideração destes benefícios no futuro, dois fatores podem ser levados em conta:

- Vulnerabilidade e exposição crescentes: danos e prejuízos econômicos crescentes, refletindo maiores ativos em risco;
- Perigos hidrometeorológicos crescentes: mudança do clima.

Ao nível da presente avaliação, não cabe uma investigação aprofundada dos comportamentos destes dois fatores, porém é prudente incorporá-los na medida em que amadurecem os instrumentos de planejamento para a execução do Parque.

#### **b. Serviço ecossistêmico de regulação do escoamento superficial**

O serviço ecossistêmico de regulação do escoamento superficial foi valorado no tópico anterior com base na metodologia de custo evitado. Trata-se da expressão do benefício gerado pelas SbN e pela infraestrutura cinza (dique de barramento) frente aos eventos adversos de inundação (a consideração do dique se dá pelo tratamento do modelo InVEST *Seasonal Water Yield*). Os resultados da modelagem de balanço hídrico, notadamente quanto ao escoamento superficial, apontam para regularidade ao longo do ano na prestação desse serviço ecossistêmico, ou seja, a implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha irá melhor-regular os fluxos hídricos não apenas nos eventos de inundação.

A valoração do benefício desse serviço ecossistêmico foi, no entanto, realizada com base no custo evitado das inundações e não pode ser realizada novamente para a regulação média anual de forma a se evitar dupla contagem.

Eis que um outro benefício dessa regulação hídrica deve ser observado no Jardim Maravilha: a redução da exposição da população a doenças de veiculação hídrica, típicas de locais onde há convivência com efluentes lançados diretamente no ambiente.

O projeto do Parque Fluvial não contempla a instalação de redes coletoras de efluentes, estruturas tipicamente associadas a esse benefício. Não obstante, no Jardim Maravilha de hoje há uma estreita relação entre a exposição a essas doenças e o escoamento superficial dos cursos d'água que o margeiam. Afinal, a cada episódio de inundação, as águas do rio Piraquê-Cabuçu adentram o bairro. O efeito mais deletério - e que configura o maior risco para o aumento das doenças de veiculação hídrica - é que as águas do rio Piraquê-Cabuçu represam os efluentes lançados diretamente nas valas e nos demais cursos d'água de menor porte que cruzam o loteamento, fazendo com que o período de convívio com os efluentes aumente.

Em função da baixa velocidade natural da drenagem desta área de várzea, cujo desígnio da natureza foi justamente no sentido de deixar espriar e reter as águas dos seus rios, o risco de contração de doenças de veiculação hídrica é muito elevado. Eis que o modelo de regulação hídrica InVEST (*Seasonal Water Yield*, que simulou o efeito das SbN em conjunto com o dique de barramento) permitiu identificar a retenção de um volume muito significativo do escoamento superficial ao longo do ano (de 334 mil m<sup>3</sup>), reduzindo-o em 39%. Vazões menores de escoamento superficial, geradas pelo efeito combinado das SbN e infraestruturas cinzas (dique) do Parque, reduzirão o risco de contração de doenças de veiculação hídrica.

Embora seja bastante plausível assumir que essa redução de doenças ocorrerá e gerará benefício significativo, sua quantificação e valoração não pode ser levada a cabo devido à ausência da quantificação da relação do efeito físico gerado pelas SbN e pelo dique de barramento na promoção da melhoria da qualidade das águas internas do loteamento. Ou seja, a relação causa-efeito é clara, mas não estabelecida em seus parâmetros.

Caso a relação física fosse estabelecida, a valoração econômica poderia ser realizada de três formas distintas, conforme orientações do Manual de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício para de Projetos de Infraestrutura Hídrica e seu estudo de caso sobre esgotamento sanitário (PNUD e ME, 2021a e 2021c): com base na disposição a pagar, pelo custo evitado da doença ou ainda pela valorização imobiliária.

A disposição a pagar para ter acesso aos serviços de coleta e tratamento de esgoto poderia ser equiparada com a redução do risco, derivando-se uma métrica local confiável (conforme se faz para outro benefício no item subsequente de Valoração dos benefícios dos SE de retenção de nutrientes).

Já para o custo da doença evitada, devem-se considerar as doenças gastrointestinais infecciosas de cólera, shigelose, amebíase, diarreia e gastroenterite infecciosa presumível, e outras doenças infecciosas intestinais. O DataSUS sistematiza os dados de internações por doença, seus custos e também sua mortalidade (a nível de município)<sup>31</sup>.

Quanto ao parâmetro de redução da doença pela menor exposição, pode-se estabelecer uma relação com o que ocorre quando do acesso aos serviços de esgotamento sanitário. Conforme apresenta PNUD e ME (2021a), existe uma certa regularidade em torno de um parâmetro de 20% de redução na morbidade por doenças relacionadas ao saneamento básico:

- Barreto et al. (2010) apontaram queda de 21% na prevalência de diarreia nas crianças com menos de 3 anos de idade entre o período pré e pós introdução de programa de saneamento em Salvador (ano de 1997). Os autores salientam o efeito de melhoria na vizinhança que decorre de maior cobertura de saneamento, com prevenção da transmissão da diarreia como consequência.
- Rasella (2013) analisou o impacto do Programa Água para Todos, implantado no estado da Bahia, que ampliou a cobertura do saneamento básico em áreas de maior vulnerabilidade. Um aumento de 10% na cobertura de saneamento foi associado a uma redução de 39% na mortalidade por diarreia, de 14% na taxa de mortalidade em menores de cinco anos e de 6% nas internações hospitalares, em comparação com municípios sem cobertura ou com cobertura menor.
- Cruz e Ramos (2013) desvendam que a cada 1% a mais de cobertura de coleta de esgoto, pode-se esperar uma redução de 2,03% de internações por doenças gastrointestinais.
- O Instituto Trata Brasil (Freitas et al., 2018) identifica, com base em dados da Pesquisa Nacional de Saúde de 2013, que o acesso a água tratada é associado à redução de 22,43% dos afastamentos do trabalho por motivos de diarreia e vômito, enquanto o acesso a rede de esgoto é associado à redução de 17,97%.

Por fim, a última forma de valoração poderia ter como base o reflexo das melhores condições de saúde na valorização imobiliária. Como parâmetro, poder-se-ia utilizar dos dados do Instituto Trata Brasil (Freitas et al., 2018), que revelaram que imóveis sem rede de coleta de esgotos auferem aluguéis médios 16,40% menores do que aqueles obtidos em situações e condições

---

<sup>31</sup> Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/aceso-a-informacao/morbidade-hospitalar-do-sus-sih-sus/>

similares, porém com acesso à rede coletora (o acesso a água tratada também tem efeito positivo [9,0%] sobre o valor do aluguel, bem como a existência de banheiro [7,4%] no domicílio)<sup>32</sup>.

Nota-se que a implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha promove benefícios sociais associados a melhores condições de saúde voltadas à atividade física e maiores oportunidades de lazer e recreação. Dessa forma, o capítulo seguinte aborda os benefícios do custo evitado com a morbidade, que contempla a melhoria em saúde associada a um maior nível de atividades físicas.

### **c. Serviço ecossistêmico de regulação do escoamento subterrâneo**

O resultado da modelagem do serviço ecossistêmico de regulação do escoamento subterrâneo apontou para uma redução muito significativa de 79,7% da vazão anual na área do parque. Esse serviço, componente da regulação hídrica, é fundamental para a manutenção da oferta de água bruta em um manancial.

Crescentemente, é reconhecida a importância do setor de saneamento em conhecer e atuar em seu manancial, seja pelo aspecto qualitativo como pelo quantitativo (Gartner et al., 2013). Afinal, quando o prestador dos serviços de abastecimento de água se relaciona com seu manancial apenas a partir do ponto de captação, está sujeito a sofrer as influências negativas do manejo inadequado de toda a bacia hidrográfica de contribuição.

Não obstante a descrição desse SE, não há captação de água bruta para fins de abastecimento humano, irrigação ou uso industrial a jusante do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, o que faz com que esse SE não gere estes benefícios.

Caso as SbN do parque conseguissem aumentar a disponibilidade hídrica para fins de captação para abastecimento humano, esse benefício poderia ser capturado pelo valor correspondente de disposição a pagar dos usuários<sup>33</sup>.

Caso as SbN do parque conseguissem aumentar o escoamento subterrâneo, esse benefício poderia ser valorado pela metodologia de custo evitado da perda de água associada ao manancial subterrâneo. Os autores Marsden e Whiteoak (2006) identificaram os valores econômicos associados ao aquífero Gnangara, importante fonte de água subterrânea na região de Perth, na Austrália Ocidental.

Por meio de avaliação contingente, estimaram a disposição dos residentes locais em pagar pela melhoria da qualidade da água subterrânea. Com base nos resultados, identificaram que cerca de AU\$ 0,15 por ano seriam correspondentes ao benefício de cada cem litros reservados para uso em áreas de espaços públicos abertos (parques públicos, jardins e áreas de recreação em ambiente urbano). Parâmetro similar, caso ocorresse para o contexto brasileiro, poderia ser utilizado para a valoração desse serviço ecossistêmico.

---

<sup>32</sup> Essa análise foi realizada com base em informações microeconômicas de valor de aluguel, acesso a esgoto e outros indicadores socioeconômicos das residências brasileiras da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio Continuada de 2016.

<sup>33</sup> Como exemplo, ver Guimarães e Thá (2018), Aqualflora (2021) e Kralingen (2021).

### 3.3.3 Valoração dos benefícios dos SE de retenção de nutrientes

Um dos serviços ecossistêmicos associados a implantação das Soluções baseadas na Natureza é relativo à depuração de componentes orgânicos e de retenção de nutrientes (fósforo e nitrogênio) no solo. No caso do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, a função de depuração de componentes orgânicos traz como resultado uma melhora na qualidade de água devido ao abatimento de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). A DBO é um parâmetro importante de avaliação da qualidade da água, pois reflete a quantidade de oxigênio necessário para que os microrganismos aeróbios decomponham a matéria orgânica presente na água.

Como um dos resultados da retenção de nutrientes e do abatimento da DBO, tem-se uma redução nos custos de tratamento de água - que decorrem da captação de água bruta em melhor qualidade. Esse efeito não produz valor no contexto do Jardim Maravilha, no entanto, pois não há captação de água para usos consuntivos ao longo do Parque e tampouco a jusante.

Outro efeito, desta vez relevante ao contexto, é a redução do aporte de DBO aos rios da bacia do Piraquê-Cabuçu. As SbN associadas ao Parque Fluvial são abordagens de gestão ambiental que utilizam processos naturais que, especialmente no caso dos *wetlands* construídos, espelham sistemas de tratamento de águas residuais com processos biológicos naturais que ocorrem em zonas úmidas.

Em um alagado construído, a matéria orgânica é decomposta por bactérias aeróbias e anaeróbias, gerando dióxido de carbono, água e outros compostos inorgânicos que são absorvidos pelas plantas presentes no sistema ou liberados no ar<sup>34</sup>. O elemento definidor da SbN é a vegetação - esta atua como reator natural na remoção de poluentes e interage com o meio, o suporte, a água, os microrganismos e os contaminantes (Barreto, 2015).

O resultado final é uma água com uma menor concentração de matéria orgânica e, portanto, uma menor DBO. Em geral, um sistema bem projetado é capaz de promover a remoção de cerca de 80% a 90% da DBO. Embora possam ser altamente eficazes, é importante notar que a eficiência pode diminuir se o sistema for sobrecarregado ou se a água a ser tratada contiver altas concentrações de poluentes.

Os *wetlands* construídos do Parque Fluvial não fazem parte de um sistema específico de tratamento de águas residuárias, mas sim pretendem auxiliar no abatimento de carga e consequente melhora na qualidade da água. Em não sendo, portanto, dimensionados especificamente para o abatimento de carga, não se pode esperar elevados graus de eficiência.

Nota-se que a água de "entrada" nos *wetlands* construídos têm alta carga de poluição orgânica: de acordo com as informações de 2019 do programa de monitoramento sistemático de qualidade de água do INEA, em todos os anos com observações (2013 a 2019), o Índice de Qualidade da Água (IQA) do Piraquê-Cabuçu apresentou dados dentro de 0 e 25, ou seja, categoria de qualidade "muito ruim". São águas impróprias para utilização de abastecimento público. Em Ribeiro (2017), sabe-se que a população local corrobora com a leitura da qualidade.

---

<sup>34</sup> Além da DBO, os *wetlands* construídos também podem reduzir outras substâncias prejudiciais à saúde e ao meio ambiente, como nitratos, fosfatos e metais pesados, tornando-os soluções eficazes e sustentáveis para o tratamento de águas residuais.

Com base nos resultados diagnósticos produzidos no âmbito dos estudos de redução da mancha de inundação do Jardim Maravilha, em desenvolvimento pela Prefeitura do Rio de Janeiro, sabe-se não haver a prestação de serviços de coleta e tratamento de efluentes na maior parte do loteamento. O lançamento do esgoto é realizado diretamente nas vias ou canais de água pluvial, que servem de condução para que os efluentes e as águas pluviais cheguem aos cursos d'água.

Adotando-se o convencional parâmetro de geração de carga de DBO de 54 gramas por pessoa por dia, e dada a população de 23.142 habitantes estimada para o Jardim Maravilha, tem-se um aporte anual de DBO de 456,13 toneladas que deve ser abatido (tratado) pela SbN de *wetlands* construídos. Segundo o Catálogo de SbN (Produto 2 da consultoria), o dimensionamento da área requerida para essa SbN é de 1% a 5% da área de captação, sendo que quanto mais a jusante desta, maior é a carga de poluentes coletados. Dado o pré-projeto do Parque Fluvial, observa-se que a colocação dos *wetlands* construídos conseguem realizar a captação de praticamente todos os efluentes da área, sendo ainda razoável assumir que serão de fluxo superficial.

A área das *wetlands* construídas (31,35 mil m<sup>2</sup>) em função da área do loteamento Jardim Maravilha resulta em uma razão de 0,84%, podendo-se supor que operem, então, com um abatimento de poluição orgânica menor do que poderiam caso fossem ainda maiores. Caso se considere que as SbN construídas do Parque Fluvial operem a uma eficiência conservadora de um abatimento de DBO de 50%, isso se traduz em uma retenção de 228,06 toneladas de DBO por ano.

Conforme a regra para a valoração dos benefícios de não-mercado, a estimativa de valor pecuniário deve representar os menores custos da alternativa mais factível para a modificação da realidade sendo analisada. Dessa forma, pode-se associar o abatimento da DBO pelas SbN com o custo evitado de se tratar o esgoto na proporção desse abatimento.

Para calcular o custo evitado de tratamento em ETE, é necessário considerar os custos associados à implementação e operação de um sistema de tratamento adequado para a realidade local. Adota-se para tanto a referência de preços de investimento trazidos por Von Sperling e Salazar (2013), autores que apresentam parâmetros de custos de implantação de ETEs que cobrem os investimentos gerais de construção, material, equipamento, pessoal e outros obtidos por meio de orçamentos de 84 estações de tratamento de esgoto no Brasil.

O tratamento secundário convencional é o padrão mínimo exigido pela legislação ambiental brasileira, sendo que a solução mais barata para uma população máxima atendida de até 61.000 habitantes é o sistema de lagoas facultativas e anaeróbicas. Para esse sistema, Von Sperling e Salazar (2013) apontam o custo de R\$ 307/habitante (a preços de 2022, corrigidos pelo índice geral de preços do mercado, IGP-M). A instalação de uma ETE que consiga atender a população do Jardim Maravilha com base no sistema elegido requer, portanto, R\$ 10,70 milhões em Capex. Como custos de operação e manutenção (Opex), pode-se estimar desembolsos anuais de 10% do valor do investimento, o que representa R\$ 1,07 milhões por ano.

Dado que uma ETE de lagoas facultativas e anaeróbicas abate até 80% de DBO, e dado o pressuposto que os *wetlands* construídos conseguem abater 50%, tem-se um parâmetro de redução esperado de 63% da DBO que seria removida em uma ETE. Aplicando-se essa razão ao Capex e Opex, desvendam-se os seguintes benefícios promovidos pelo Parque Fluvial: R\$ 6,69

milhões (equivalente ao Capex, ou seja, pontual no tempo) e R\$ 0,67 milhões anuais (equivalente ao Opex, ou seja, anual).

**Tabela 22- Benefícios da melhor qualidade da água pelo custo evitado com tratamento (R\$, mil)**

	<b>Benefício</b>
Custo evitado na instalação de ETE	R\$ 6.687,70
Custo evitado na operação e manutenção de ETE	R\$ 668,77

A valoração apenas descrita fez uso do pressuposto de que há um custo evitado com o tratamento de esgoto, mesmo que esse ainda não seja realizado de forma efetiva. As SbN estão provendo serviços de tratamento da água que alcança o curso d'água tal como uma ETE faria.

Pode-se, ademais, adotar outra métrica de valor social condizente ao tratamento (mesmo que parcial) dos efluentes: a disposição a pagar (DAP) da população beneficiada por tal serviço. Ribeiro (2017) realizou levantamento primário acerca da percepção da população quanto ao rio Piraquê-Cabuçu em seu trecho baixo (abrangendo, portanto, o Jardim Maravilha). A autora desvenda que a principal solução - apontada pelos entrevistados - para a atual situação de qualidade (tida como péssima) é justamente o saneamento básico (coleta e tratamento de esgoto). Essa conclusão aponta, embora de forma indireta, para a disposição a pagar da população local pelos serviços faltantes.

No âmbito dos estudos preparatórios para o financiamento do Projeto de Descontaminação do Rio Tietê IV (beneficiando com rede coletora e tratamento de esgotos diversos bairros dos municípios de Cotia, Itapevi, Jandira, Barueri, Santana de Parnaíba e São Paulo), o Banco Interamericano de Desenvolvimento conduziu pesquisa primária para determinação da DAP BID, (2018). Foram estruturados 2 cenários, sendo o primeiro apenas de afastamento dos esgotos (cuja DAP foi de R\$ 17,37 por domicílio beneficiado por mês), e o segundo que contempla, além do afastamento, o tratamento dos efluentes (cuja DAP foi de R\$ 32,22 dom/mês). A disposição a pagar apenas para o tratamento dos efluentes pode ser obtida por meio da diferença das duas outras (R\$ 14,85 dom/mês)<sup>35</sup>.

Uma vez que o levantamento primário de BID (2018) se deu em áreas periféricas da cidade de São Paulo e sua região metropolitana, que não eram atendidas pelo sistema de coleta e tratamento de esgotos, observa-se similaridade suficiente para realizar a transferência desse benefício para o caso do Jardim Maravilha sem outros ajustes. Afinal, além da similaridade do local de projeto, ambas as cidades são metrópoles nacionais. Considera-se, então, a disposição a pagar de R\$ 14,85 por domicílio beneficiado com tratamento de esgotos por mês.

Corrigindo-se a DAP para preços de 2022 com base no índice nacional de preços ao consumidor (variação de 28,48% entre jul/18 e jul/22), tem-se um parâmetro de R\$ 19,80 por domicílio por mês. Uma vez que se pressupõe que as SbN abatem 63% do efluente caso este fosse tratado em ETE, a DAP deve ser ajustada de acordo, e passa a ser de R\$ 1,92 dom/mês (0,73% da renda

<sup>35</sup> As pesquisas conduzidas por BID abrangeram áreas integrantes dos empreendimentos analisados no âmbito do Programa de Descontaminação do Rio Tietê, na Região Metropolitana de São Paulo, que somaram 605 entrevistas (superando o montante mínimo de 300 questionários necessários para se ter validade estatística).

mensal). Aplicando-se esse parâmetro para os 7.042 domicílios no loteamento Jardim Maravilha, obtêm-se um benefício anual equivalente a R\$ 1,01 milhões.

**Tabela 23 - Benefícios da melhor qualidade da água pela DAP dos beneficiados (R\$, mil)**

	<b>Benefício</b>
Disposição a pagar pelo serviço de tratamento de esgotos fornecido pelas SbN de <i>wetlands</i> construídos	R\$ 1.007,68

### 3.3.4 Valoração dos benefícios dos SE qualidade cênica

A implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha irá prestar outro serviço ecossistêmico ainda pouco apreciado e precificado no Brasil: o de incremento da qualidade cênica. Trata-se de um dos elementos subjetivos do bem-estar que é associado a parques urbanos e compõe a valorização de uma área frente a outras de pior qualidade cênica. Diversos estudos apontam para a relação positiva entre melhorias estéticas e sua repercussão econômica positiva, aumentando os valores das propriedades e incentivando o investimento e a revitalização urbana.

Jayasekare et al. (2019) utilizaram dados de mais de 5 mil transações imobiliárias em na região de Illawarra, na Austrália e, com base no emprego de modelos de regressão (técnica de preços hedônicos), isolaram o valor que os compradores atribuem a diferentes tipos de vista. Os resultados indicam que a vista do mar tem o maior impacto sobre o preço das casas (um incremento de 1% na vista para o mar elevou os preços das casas de 2% a 3%), seguida pela vista de um parque e de um lago.

Não necessariamente a valorização se dá apenas pela qualidade cênica do parque, mas pode também ser por conta de seus atributos de lazer. Peres e Melo (2006) discutem a importância de equipamentos culturais e espaços de lazer na cidade do Rio de Janeiro para a qualidade de vida da população e para a promoção da cultura. Com base em dados geográficos e estatísticos, apontaram que há uma concentração de equipamentos e espaços de lazer nas áreas mais ricas da cidade, enquanto as áreas mais pobres têm uma oferta muito limitada. Os autores observam que a distribuição desses espaços está relacionada a fatores políticos e econômicos que tendem a perpetuar as desigualdades sociais na cidade, recomendando que haja uma redistribuição e desconcentração cultural de modo a garantir o acesso igualitário a esses recursos e promover uma cidade mais justa e equitativa.

Ambrey e Fleming (2011) também investigaram a relação da qualidade cênica e o preço dos imóveis, isolando o efeito de uso dos espaços, ou seja, não considerando o efeito de equipamentos de lazer, mas simplesmente a qualidade cênica associada. A amostra foi de 1.532 indivíduos australianos que responderam a um questionário online sobre a importância da paisagem em sua área de residência, o nível de satisfação com a vida e perguntas de controle, tais como o endereço, renda, idade, gênero, estado civil e nível educacional. O estudo encontrou que a paisagem cênica teve um impacto significativo na satisfação com a vida dos entrevistados e que este efeito foi maior para aqueles com renda mais baixa.

A valoração desse atributo, com base na satisfação com a vida, pode ser uma abordagem útil para complementar outras técnicas de valoração econômica de serviços ecossistêmicos, pois ressalta que a valoração subjetiva dos moradores importa na tomada de decisão em políticas públicas relacionadas ao planejamento urbano com adoção de Soluções baseadas na Natureza e até mesmo para embasar estratégias de conservação de áreas naturais.

Ribeiro (2017) conduziu pesquisa primária na bacia do rio Piraquê-Cabuçu e abordou, dentre outras, a percepção da comunidade sobre o rio em seu trecho baixo (incluindo, portanto, o Jardim Maravilha). Uma das questões, endereçadas a 44 pessoas, foi relativa à comparação do rio de antigamente com o atual. De 44 respondentes, 35 responderam que o rio era limpo, apto para pesca e banho. Atualmente, no entanto, 28 o associam à poluição, lama e lixo, adicionando que foi transformado em valão / esgoto / água suja. Além de poluído, muitos citam que um dos problemas atuais é o abandono da paisagem, que se torna feia.

A figura a seguir, replicada de Ribeiro (2017), ilustra a percepção da população local acerca da paisagem/beleza, qualidade da água/limpeza, cheiro/odor, espaços beira rio/segurança. Torna-se fácil perceber a predominância de um ambiente classificado como "péssimo".

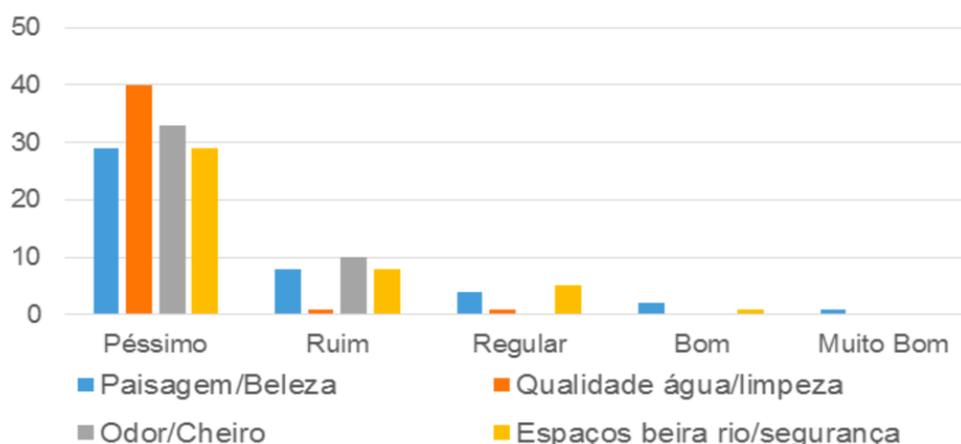


Figura 13 - Classificação do baixo rio Piraquê-Cabuçu em aspectos da qualidade (replicado de Ribeiro, 2017)

Em seu estudo, os autores Ambrey e Fleming (2011) identificaram que há uma disposição a pagar de AU\$ 779,79 por ano por domicílio para um aumento de nível da qualidade cênica que passasse de muito baixa para baixa (em uma escala de 10 pontos baseada nas diversas vistas possíveis). Embora a DAP seja ainda maior para mudanças de níveis superiores (de média para alta, por exemplo), opta-se por considerar a mudança de nível de muito baixa para baixa dada sua maior proximidade com a realidade do Parque Fluvial do Jardim Maravilha.

Para utilizar desse parâmetro em uma transferência de benefício, ajusta-se a disposição a pagar em função do valor dos imóveis australianos, o que resulta em um parâmetro de 0,26% do valor do imóvel. Pressupondo-se que a implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha seja equivalente a uma modificação de nível de qualidade cênica de muito baixa para baixa, pode-se aplicar essa DAP ao valor dos domicílios no contexto carioca.

Para a estimativa do preço médio dos domicílios no Jardim Maravilha, toma-se o valor do custo básico da construção civil (CUB) trazido por Sinduscon-RJ<sup>36</sup> que aponta que, para a construção

<sup>36</sup> Disponível em: <https://www.sinduscon-rio.com.br/wp/servicos/custo-unitario-basico/>

de habitações de interesse social (categoria mais barata e que melhor espelha a realidade do Jardim Maravilha), a referência de custo é de R\$ 1,40 mil/m<sup>2</sup>. Assumindo-se uma metragem de 60 m<sup>2</sup> por domicílio (equivalente a uma unidade residencial típica do Programa Minha Casa Minha Vida), tem-se um valor unitário de R\$ 84,02 mil.

**Tabela 24- Benefício da qualidade cênica (R\$, mil)**

	<b>Benefício</b>
Disposição a pagar pela melhoria de nível na qualidade cênica	R\$ 384,46

A transferência de benefício, portanto, aponta para uma disposição a pagar de R\$ 218,38 por domicílio (0,26% de R\$ 84,02 mil). Caso 25% dos imóveis do loteamento sejam beneficiados pelo incremento na qualidade cênica, o benefício anual equivalente é de R\$ 384,46 mil.

## 4 QUANTIFICAÇÃO DOS RISCOS E BENEFÍCIOS SOCIAIS

Conforme observado no segundo capítulo deste relatório, os benefícios sociais gerados pelas SbN podem ser bastante amplos e, no mais das vezes, estão intimamente interligados. Afinal, o reduzido risco de inundações e as demais intervenções urbanísticas do parque geram uma melhora de bem-estar dos quais decorrem maiores oportunidades de recreação, mais oportunidades de emprego e assim por diante.

Pode-se, grosso modo, agregar os benefícios sociais naqueles voltados à saúde associada ao lazer e atividade física e também nos benefícios do capital social, ou seja, da coesão social e senso de pertencimento, que geralmente são associados a redução de crime. Nota-se que o capítulo de benefícios ambientais já capturou os benefícios derivados de uma melhor qualidade ambiental, que se rebatem, por vezes, também em melhorias de saúde.

A quantificação e valoração dos benefícios sociais levam em conta a discussão realizada no item sobre o tema, no segundo capítulo, quanto à necessidade de se utilizar apenas relações causais bem estabelecidas pela literatura, controlando vieses e utilizando de parâmetros que indiquem em que magnitude a modificação (efeito) gera os benefícios esperados.

### 4.1 Saúde associada à atividade física e ao lazer

Diversos estudos apontam para uma relação positiva entre as oportunidades de recreação, lazer e a prática de atividades físicas ao bem-estar físico e mental, ou seja, ao bem-estar mensurado pela ótica da satisfação humana e a saúde. Pessoas que praticam atividades físicas e participam de atividades recreativas e de lazer relatam, de forma consistente e através de múltiplas condições socioeconômicas, entre países e de diversas formas, maiores níveis de satisfação e bem-estar em geral, além de terem menores probabilidades de desenvolverem problemas de saúde relacionados ao sedentarismo e ao estresse.

De fato, conforme aponta Ulrich ainda em 1984, o simples fato de se ter uma janela com visão de uma área verde influencia no processo de recuperação de pacientes submetidos a cirurgias: pacientes com vista apresentaram um tempo de internação menor, menor necessidade de medicamentos para a dor e menor incidência de complicações após a cirurgia, em comparação com os pacientes que tinham a visão de uma parede de tijolos.

Conforme descrito no contexto do Jardim Maravilha, a região é bastante precária em opções de lazer e recreação, muito embora almeja-se modificar essa realidade por meio da implantação do Parque Fluvial. Mesmo na ausência de um projeto conceitual do futuro parque, supõe-se para fins desta avaliação que haverá a instalação de equipamentos de lazer e exercícios, praças com mobiliário adequado, calçadas e ciclovias. Com base nesse aporte de infraestrutura, pode-se esperar um incremento nas atividades recreativas e esportivas que, por sua vez, são associados a melhorias no bem-estar.

A presença de parques e espaços verdes nas cidades - locais típicos de lazer e atividade física em meio a urbe - também tem sido associada a benefícios para a saúde mental e física dos residentes, incluindo redução do estresse, melhora do humor e aumento da atividade física.

Dessa forma, a promoção de oportunidades de recreação e lazer e o planejamento urbano que inclua espaços verdes são importantes para a saúde e bem-estar das comunidades próximas.

De forma geral, é crescente a literatura que aponta para os benefícios de exposição à natureza, seja ela por meio de áreas naturais ou áreas ao ar livre e com vegetação em meio à urbe. Hartig et al. (2014) apresentam extensa revisão da literatura sobre a relação entre a exposição à natureza e a saúde humana, destacando os efeitos positivos para a saúde física e mental, incluindo a redução do estresse e a melhoria da saúde cardiovascular - não necessariamente vinculados ao aumento da atividade física.

Maas et al. (2009) identificaram que pessoas que vivem em áreas com mais espaços verdes (não necessariamente restritos a parques urbanos) apresentaram menores problemas percebidos de saúde, incluindo doenças cardiovasculares, doenças do aparelho respiratório, transtornos mentais, doenças musculoesqueléticas e doenças do sistema nervoso. Além disso, a associação foi mais forte para pessoas de baixa renda, o que sugere que as áreas verdes podem contribuir para reduzir as desigualdades em saúde.

Mitchell e Popham (2008) também demonstram que quanto maior a exposição ao ambiente natural, menor é a desigualdade em saúde. A cada aumento de 1% na proporção de espaços verdes na área de residência amostral (no Reino Unido), houve uma redução de 0,23 pontos no índice de desvantagem social e uma melhoria de 1,26 pontos na saúde autopercebida. Além disso, os autores descobriram que as desigualdades na saúde foram menores em áreas com maior proporção de espaços verdes, indicando que pode haver um nível de 'saturação' do benefício, bem como, pela lógica inversa, um limiar mínimo que garante os benefícios em saúde. Importante notar que estas fortes associações ocorrem mesmo após o ajuste estatístico para fatores socioeconômicos e de estilo de vida.

Hartig et al. (2014) também enfatizam a importância do acesso à natureza para os grupos populacionais mais vulneráveis, como idosos, crianças, pessoas com deficiência e indivíduos de baixa renda que vivem em áreas urbanas periurbanas com acesso limitado a espaços verdes. Para as pessoas idosas, a exposição à natureza pode ajudar a reduzir a solidão, o isolamento social e o declínio cognitivo. Já para as crianças, pode ajudar a melhorar o desempenho acadêmico e a saúde mental (melhora as funções cognitivas, a concentração e a capacidade de memória), bem como a saúde física (crianças com acesso a áreas verdes próximas de suas casas apresentam menor risco de desenvolver obesidade e doenças crônicas). Em relação às pessoas com deficiência, pode auxiliar na mobilidade e independência, além de fornecer um ambiente seguro e terapêutico para a reabilitação. Por fim, para as populações de baixa renda, a exposição à natureza pode ser especialmente importante ao ajudar a melhorar a saúde física e mental e reduzir o risco de doenças crônicas.

Os autores Bedimo-Rung, Mowen e Cohen (2005) investigam a hipótese de que os parques urbanos, em particular, têm um impacto significativo na saúde física e mental dos indivíduos ao fornecer um ambiente seguro e agradável para a recreação e para a prática de atividade física: com base em extensa análise, evidenciam que a hipótese não pode ser rejeitada. A presença de parques urbanos é de fato associada a um aumento na atividade física, bem como uma redução no estresse e na depressão. Os autores notam que são diversos os fatores que afetam a utilização destes espaços, sendo que dentre essas características, estão as correlatas ao

ambiente físico construído, mas também ao social, bem como as características individuais dos usuários.

Uma abordagem colaborativa para o planejamento e gestão dos parques, envolvendo a participação da comunidade, de agências governamentais e não governamentais, aumentam as chances de pertencimento e, conseqüentemente, geram maior intensidade de uso. Isso porque o esforço colaborativo aumenta as chances de que os parques sejam acessíveis, seguros e atendam às necessidades e preferências locais.

Os parques podem ser particularmente importantes em comunidades carentes, que muitas vezes têm menos recursos e acesso limitado a instalações recreativas e espaços verdes. A presença de parques nessas comunidades pode proporcionar oportunidades de atividade física, lazer e socialização que, de outra forma, não seriam acessíveis. Além disso, os parques podem fornecer um ambiente seguro e protegido, ajudando a reduzir a exposição aos riscos ambientais e sociais que muitas vezes são mais prevalentes (Bedimo-Rung, Mowen e Cohen, 2005).

Já os autores Hillsdon et al. (2006) examinam a relação entre o acesso e a qualidade dos espaços verdes urbanos e a atividade física da população. A pesquisa foi conduzida em Bristol, no Reino Unido, e analisou dados de questionários preenchidos por 1.250 participantes, além de coletar dados objetivos sobre os espaços. Os resultados desvendam as seguintes relações:

- A frequência de uso está positivamente relacionada com a distância do parque urbano mais próximo, ou seja, quanto mais longe a pessoa mora, menos frequentemente ela o utiliza para atividades físicas.
- A qualidade do parque urbano, medida através de um índice que leva em consideração fatores como limpeza, segurança e manutenção, está positivamente relacionada com a frequência de seu uso para atividades físicas.
- A frequência de uso para atividades físicas, por sua vez, está negativamente relacionada com a quantidade de tempo que as pessoas gastam caminhando ou pedalando para chegar ao espaço verde.
- A frequência de uso para atividades físicas está positivamente relacionada com o nível de atividade física total da população na área (linha de base).

Enquanto Hillsdon et al. investigaram espaços verdes em uma localidade, Kaczynski, Potwarka e Saelens (2008) avaliaram cinquenta parques em duas cidades americanas, com dados coletados por meio de observação direta, entrevistas e medidas objetivas da atividade física desenvolvida. Os resultados mostram que o tamanho do parque urbano está positivamente associado com a atividade física, sendo que os parques maiores (cerca de 40 mil m<sup>2</sup>) são utilizados por um número maior de pessoas e por períodos de tempo mais longos do que parques menores (cerca de 4 mil m<sup>2</sup>). A distância do parque também está relacionada com a atividade física, sendo que as pessoas tendem a usar mais frequentemente os parques mais próximos de suas casas (cerca de 2 quilômetros). Além disso, características como a presença de trilhas, equipamentos de ginástica, quadras esportivas e áreas de lazer para crianças também estão positivamente associadas com a atividade física.

Os estudos apenas descritos permitem confirmar a relação positiva que se estabelece entre a disponibilidade e acessibilidade de áreas verdes urbanas e a promoção da saúde associada ao lazer e atividade física. Busca-se, então, por parâmetros que apresentem as relações causais e permitam realizar a quantificação e valoração destes benefícios no contexto do Parque Fluvial do Jardim Maravilha.

Nesse sentido, destaca-se a pesquisa Woods et al. (2017) realizada na cidade de Perth, na Austrália, com mil adultos sobre o acesso às áreas verdes públicas, a quantidade de tempo que passavam nesses espaços e seu bem-estar mental. Como era de se esperar, os resultados mostraram que os indivíduos que relataram ter acesso fácil e próximo aos parques tinham maior probabilidade de relatar níveis mais altos de bem-estar mental. Além disso, a frequência de visitas aos parques também foi associada a níveis mais altos de bem-estar mental. Em relação ao tipo de parque, os autores descobriram que aqueles maiores e com mais infraestrutura, tais como banheiros e equipamentos de ginástica, apresentavam relações mais fortes que os menores e com menos infraestrutura. Do resultado da pesquisa, pode-se derivar a ocorrência de um aumento de 0,11 na pontuação de saúde mental de um indivíduo, medida na escala WEMWBS<sup>37</sup>, para cada parque a uma distância de 1,6 km. Já em relação à área do parque, o parâmetro desvendado é que há um aumento de 0,07 na pontuação de um indivíduo para cada hectare de parque a uma distância de 1,6 km.

Os resultados de Woods et al. (2017) permitem quantificar o benefício potencialmente gerado pelo Jardim Maravilha em termos de saúde mental, porém não apontam para seu valor econômico. Outro estudo conduzido na Austrália e com amplo espaço amostral permite quantificar os benefícios de parques urbanos em sua relação com a redução do risco de obesidade. Astell-Burt, Feng e Kolt (2014) investigaram a relação entre o percentual de espaços verdes em um bairro e a probabilidade de se estar com sobrepeso ou com obesidade, mediante dados de painel com mais de 246 mil adultos. Com base na porcentagem de áreas verdes de cada bairro e no índice de massa corporal, mostraram que morar em bairros com mais de 40% de áreas verdes estava associado a um menor risco de obesidade. Os parâmetros que se derivam dessa pesquisa, estatisticamente significativos apenas para as mulheres, são de 90% de probabilidade de se ter um risco reduzido de estar acima do peso entre mulheres que moram em bairros com mais de 80% de áreas verdes em comparação com mulheres que moram em bairros com menos de 20% de áreas verdes; e de 83% de probabilidade de um risco reduzido de obesidade.

Os mesmos autores também exploram a relação entre espaços verdes nos bairros australianos e sua relação com a saúde mental, focando especialmente em adultos de meia-idade a idosos. Para tanto, Astell-Burt, Feng e Kolt (2013) utilizaram dados de uma pesquisa nacional australiana, que incluiu informações sobre o uso de espaços verdes, atividade física e saúde mental, desvendando que adultos que residem em bairros com mais espaços verdes apresentam menores índices de angústia psicológica ou sofrimento emocional, em comparação aos adultos que vivem em bairros com menos espaços verdes. A presença de espaços verdes no bairro está associada à prática de atividade física, sendo que adultos que são mais ativos fisicamente

---

<sup>37</sup> O WEMWBS, Warwick-Edinburgh Mental Well-being Scale, é uma escala que avalia o bem-estar mental de um indivíduo com base em 14 questões que abrangem aspectos da saúde mental, incluindo afeto, autoestima, resiliência e autonomia. Cada questão é avaliada em uma escala de 1 a 5, sendo 1 a pontuação mais baixa e 5 a pontuação mais alta. A pontuação total da escala varia de 14 a 70, sendo que pontuações mais altas indicam maior bem-estar mental.

apresentam menores índices de angústia. A associação positiva entre a presença de espaços verdes no bairro e a redução da angústia foi mais forte para adultos com idade entre 45 e 74 anos, que praticam atividade física moderada a vigorosa e vivem em áreas urbanas. Os autores fizeram uso da métrica de Kessler<sup>38</sup>, desvendando 83% de probabilidade de redução do risco de sofrimento entre residentes com mais de 45 anos de bairros com mais de 40% de espaço verde em comparação com aqueles com menos de 40% de espaço verde em seus bairros.

Nota-se que a medida utilizada por Astell-Burt, Feng e Kolt em ambos os estudos (2013 e 2014) é a métrica estatística usada para estimar a associação entre duas variáveis categóricas em estudos observacionais, resultando na razão das probabilidades (chances) de um evento ocorrer em um grupo em relação ao outro grupo<sup>39</sup>.

A crescente evidência sugere, em resumo, que a exposição às áreas verdes urbanas beneficia a saúde e o bem-estar de diversas formas. Não obstante, os estudos avaliam o papel dos parques de maneiras diferentes e com base em diferentes níveis de agregação: densidade de parques em um bairro, distância para parques de diferentes tipos em outro, e assim por diante.

Sobre estas relações, Reid et al. (2018) teorizam que há variâncias não capturadas devido ao viés de seleção e o método para estimar a exposição aos parques. Para testar a hipótese, os autores utilizam de quatro conjuntos de dados de áreas verdes e seis unidades de agregação (cinco tamanhos de buffer radial e bairros autodefinidos), comparando as associações entre a saúde autoavaliada e essas métricas entre uma amostra de residentes da cidade norte-americana de Nova York. Concluem, então, que as associações com a saúde autoavaliada variaram mais pela unidade de agregação do que pelo conjunto de dados de áreas verdes, pois buffers maiores e bairros autodefinidos mostraram associações mais positivas. Deve-se, portanto, atentar para a classificação da exposição espacial para a obtenção de parâmetros causais entre parques urbanos e modificações na saúde.

Como resultado da investigação acima, conclui-se que o futuro Parque Fluvial do Jardim Maravilha atende aos critérios identificados por diversos autores para a promoção da saúde associada ao lazer e atividade física: tamanho adequado, curta distância até a população-alvo, presença de equipamentos voltados ao lazer e ao estímulo à prática de atividades físicas, e a situação de linha de base (que é a de praticamente nenhum acesso facilitado a parques urbanos). Os subitens abaixo apresentam formas de quantificar e valorar esse benefício, que em relação às Sbn, se apresenta como um co-benefício.

---

<sup>38</sup> A escala Kessler Psychological Distress Scale (K10, ou escala de angústia ou sofrimento psicológico) é uma ferramenta de avaliação utilizada para medir o nível de sofrimento emocional experimentado por um indivíduo nos últimos 30 dias. A escala é composta por 10 questões que avaliam os sintomas emocionais, tais como a sensação de estar nervoso, triste, deprimido, cansado etc. Cada questão é avaliada em uma escala de cinco pontos, variando de "nenhuma vez" a "todo o tempo". A pontuação final na escala K10 pode variar de 10 a 50 pontos, com pontuações mais altas indicando maior angústia psicológica. A escala é amplamente utilizada em pesquisas de saúde mental e em avaliações clínicas para avaliar a presença e gravidade de transtornos mentais, tais como depressão e ansiedade. É uma ferramenta simples e fácil de ser administrada e pode ser usada em diversos contextos, incluindo estudos populacionais, avaliações de saúde mental em clínicas, triagens em serviços de saúde, entre outros.

<sup>39</sup> Na prática, essa métrica compara a proporção de indivíduos que experimentam um determinado resultado em dois grupos, geralmente um grupo de exposição (que é exposto a uma determinada condição - no caso os parques urbanos) e um grupo de controle (que não é exposto - no caso a ausência ou menor acesso aos parques urbanos). A métrica é calculada ao se dividir as chances de ocorrência do evento em um grupo pelo outro grupo, sendo que 1 indica uma associação positiva, enquanto uma OR menor que 1 indica uma associação negativa entre as duas variáveis. Embora comum em estudos de saúde, especialmente em epidemiologia e ensaios clínicos randomizados, é menos utilizada para estudos de cunho social. É, inobstante, uma medida útil para avaliar a força da associação entre variáveis categóricas.

## a. Redução de morbidade associada ao incremento de atividades físicas

Uma das formas de se quantificar e valorar o benefício consequente do ganho de bem-estar físico associado ao incremento de atividades físicas proporcionadas pelo Parque Fluvial do Jardim Maravilha, é por meio da redução de morbidades - haja vista que a contração de doenças repercute em custos econômicos evidentes e conhecidos.

A pesquisa *Physical Activity and Sedentary Behaviour: Evidence Summary* realizada pela Victorian Health Promotion Foundation em 2016, apresentou uma revisão das evidências sobre a atividade física e o comportamento sedentário e seus efeitos na saúde, abordando temas como a relação entre atividade física e doenças crônicas, o impacto da atividade física na saúde mental, os efeitos do sedentarismo na saúde e a importância da atividade física em diferentes fases da vida. Os resultados indicam que a atividade física regular pode reduzir o risco de diversas doenças crônicas, como doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, câncer de cólon e de mama, além de melhorar a saúde mental e o bem-estar geral. Por outro lado, o sedentarismo é um fator de risco para diversas doenças e pode levar a problemas de saúde mental.

Além disso, a pesquisa indica que as desigualdades socioeconômicas afetam a participação da população em atividades físicas, com áreas desfavorecidas e de menor renda e níveis de educação apresentando as menores oportunidades para se envolver nestas benéficas atividades. Sob o aspecto de políticas públicas que promovam a atividade física, os autores citam que a criação de espaços públicos para estas práticas se torna um dos mais eficazes.

O relatório traz o seguinte parâmetro que pode ser usado para a valoração mediante transferência de benefícios: pode-se esperar uma redução de 13% nas morbidades a partir de uma redução de 10% no sedentarismo. Claramente, uma redução no sedentarismo não pode ser associada exclusivamente à oportunidade de acesso a um parque, e essa conclusão sequer é realizada pelos autores.

O que se tem, no entanto, é a evidência de uma elasticidade de 1,3 entre o incremento de atividades físicas e a redução de morbidade. A partir desse parâmetro, pode-se inferir as repercussões pela implantação do Parque Fluvial carioca a partir da premissa de que haja uma redução no sedentarismo a partir das novas oportunidades de prática de atividades físicas promovidas pelo parque. Essa premissa tem como base a revisão de bibliografia apenas realizada e a análise de contexto da modificação que se intenta produzir na situação atual do loteamento.

No município do Rio de Janeiro, as informações do DataSUS<sup>40</sup> permitem observar que nos últimos cinco anos ocorreram em média 305 mil internações hospitalares na rede pública. Destas, cerca de 270 mil podem ser consideradas para a quantificação do benefício, pois excluem causas externas como acidentes, lesões e outros correlatos<sup>41</sup>. Destas internações

<sup>40</sup> Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br/aceso-a-informacao/morbidade-hospitalar-do-sus-sih-sus/>

<sup>41</sup> Utilizaram-se todos os capítulos da CID-10 menos o 19, 20, 21 e 22. CID-10 é a Classificação Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde (10ª revisão), publicada pela Organização Mundial da Saúde para registrar informações em prontuários médicos, estatísticas de saúde, faturas hospitalares e outras formas de documentação médica. A CID-10 é dividida em 22 capítulos, que estão organizados da seguinte forma: 1. Algumas doenças infecciosas e parasitárias, 2. Neoplasias, 3. Doenças do sangue e dos órgãos hematopoéticos e alguns transtornos imunitários, 4. Doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas, 5. Transtornos mentais e comportamentais, 6. Doenças do sistema nervoso, 7. Doenças do olho e anexos, 8. Doenças do ouvido e da apófise mastóide, 9. Doenças do aparelho circulatório, 10. Doenças do aparelho respiratório, 11. Doenças do aparelho digestivo, 12. Doenças da pele e do tecido subcutâneo, 13. Doenças do sistema osteomuscular e do tecido conjuntivo, 14. Doenças do aparelho geniturinário, 15.

hospitalares, registrou-se um custo total de R\$ 411,78 milhões, ou seja, R\$ 1.529 por internação, na média.

Uma vez que o loteamento Jardim Maravilha representa 0,34% da população total do Rio de Janeiro, pode-se atribuir 920 internações anuais aos seus moradores. Com base na revisão bibliográfica realizada anteriormente, pode-se assumir, com razoabilidade, que o parque seja suficiente para reduzir o sedentarismo da população local em ao menos 10%, o que é associado por sua vez à uma redução de 13% na morbidade. Com isso, tem-se que 120 moradores a menos serão internados anualmente, o que se traduz em um valor anual de R\$ 183,51 mil em custos evitados.

**Tabela 25- Benefício da redução de morbidade devido ao acesso às oportunidades de atividade física (R\$, mil)**

	<b>Benefício</b>
Benefício da redução de morbidade devido ao acesso às oportunidades de atividade física	R\$ 182,51

Este benefício é a expressão pecuniária do que se pode esperar ocorrer em termos de custos evitados com doenças pelos moradores do Jardim Maravilha devido ao acesso incrementado às oportunidades de atividade física. Nota-se que foram apenas consideradas as morbidades que repercutiram em internações, para as quais existem balizadores de custos. O valor do benefício na prática, portanto, tende a ser maior.

#### **b. Acessibilidade incrementada às oportunidades de lazer**

O item acima perscrutou o valor das melhoras na saúde física e mental, que se traduzem em uma menor morbidade. Resta aqui investigar o valor atribuível às melhores oportunidades de acesso ao lazer, que repercutem de forma mais intangível na satisfação de vida. Os ganhos esperados de qualidade de vida oriundos da acessibilidade incrementada às oportunidades de lazer não são facilmente mensurados, pois sequer são observados por métricas tais como as internações por morbidades na rede pública de saúde. Não obstante, se refletem nos valores dos imóveis que tem acessos facilitados ao lazer quando comparados a outros imóveis similares que não tem esse mesmo acesso facilitado. A técnica de valoração subjacente é a de preços hedônicos.

Destaca-se, nessa seara, a publicação de Mahmoudi et al. (2013), que estabelece relações quantitativas que permitem aplicar a técnica de transferência de benefícios a partir de parâmetros de preços hedônicos. Os autores estimaram, com distinção espacial, os valores monetários dos atributos de lazer e recreação em diferentes áreas metropolitanas da Austrália. Os resultados mostram que a proximidade de parques, rios e áreas verdes aumenta o valor das propriedades, enquanto a proximidade de rodovias e ferrovias tem um efeito negativo. A diferença de preço implícita que fora desvendada é de AU\$ 0,48 (em valores corrigidos para

---

Gravidez, parto e puerpério, 16. Algumas afecções originadas no período perinatal, 17. Malformações congênitas, deformidades e anomalias cromossômicas, 18. Sintomas, sinais e achados anormais de exames clínicos e de laboratório, não classificados em outra parte, 19. Lesões, envenenamentos e algumas outras consequências de causas externas, 20. Causas externas de morbidade e mortalidade, 21. Fatores que influenciam o estado de saúde e o contato com os serviços de saúde, 22. Códigos para propósitos especiais.

2022) ao se estar a um metro mais perto de um parque linear. A base do parâmetro é de uma distância média de 10,29 quilômetros, enquanto o preço mediano das casas é de US\$ 300.000.

Para realizar a transferência de benefícios, primeiramente se deve assumir que a mesma relação hedônica (diferença de preços entre propriedades mais ou menos próximas a parques lineares) venha a ocorrer na realidade carioca. Embora um parâmetro similar obtido no Brasil seria melhor aplicável, pode-se supor que o parâmetro australiano é conservador, haja vista a maior densidade e facilidade de acesso a áreas verdes de suas regiões metropolitanas.

O segundo passo é tomar a razão do valor implícito por metro de distância ao parque em relação ao valor das propriedades. Depois, prossegue-se com a multiplicação dessa fração pelo valor médio de uma propriedade no local de estudo, cujo resultado é a obtenção do parâmetro em reais. De acordo com o valor unitário de R\$ 84,02 mil por domicílio, calculado no capítulo anterior (item Valoração dos benefícios dos SE qualidade cênica), pode-se aplicar o parâmetro de transferência de benefício. Aponta-se para um diferencial positivo de R\$ 0,1338 auferido por propriedade para cada metro de aproximação a um parque linear.

Resta estimar a quantidade de domicílios beneficiados e a distância que estes passarão a ter em relação ao Parque Fluvial. Como forma simplificada de realizar essa estimativa, assume-se que a distância de todos os domicílios ao parque é dada pela medida de seu centróide até o limite perpendicular do parque: aproximadamente 800 metros.

Resta então mensurar qual é a distância que passa a ser reduzida em relação às opções atuais de lazer e recreação. Afinal, pela lógica de custo de oportunidade, é a diferença entre a situação de base e a com projeto (Jardim Maravilha de hoje e o de amanhã) que promoverá a "aproximação" dos moradores do loteamento às áreas de lazer e recreação. Para tanto, toma-se que a distância atual do centróide do Jardim Maravilha até a opção de lazer e recreação mais próxima é de 3 mil metros. De forma bastante conservadora, essa é a distância aproximada do loteamento até a mancha urbana mais próxima, ao sudoeste, que conta com algumas (poucas) praças que podem ser consideradas opções de lazer.

Com base nas premissas de que o Parque Fluvial promoverá a aproximação de 7.042 domicílios do Jardim Maravilha em 2,2 quilômetros a uma área apropriada de lazer e de recreação, aplica-se o parâmetro de preço hedônico ajustado do estudo australiano, em reais, para a obtenção de uma valorização imobiliária de R\$ 2,09 milhões.

**Tabela 26- Benefício de maior acesso às oportunidades de lazer e recreação (R\$, mil)**

	<b>Benefício</b>
Benefício de maior acesso às oportunidades de lazer e atividade física	R\$ 2.088,38

Este benefício é a expressão pecuniária do que se pode esperar ocorrer em termos de valorização imobiliária pelo acesso incrementado às oportunidades de lazer e recreação, materializada na precificação implícita dos imóveis. Nota-se que esse benefício não é recorrente no tempo.

## 4.2 Coesão comunitária e redução de criminalidade

Conforme se coloca no capítulo 2 do presente relatório, a intervenção prevista para o Jardim Maravilha supera o conceito de parque propriamente dito, e inclui um conjunto de ações que combinam saneamento, infraestrutura, acesso à saúde e educação, sustentabilidade e engajamento das comunidades. O Jardim Maravilha de amanhã deve ser, portanto, mais socialmente coeso, o que deve gerar uma série de benefícios. Estes não são associados estritamente ao Parque Fluvial, mas podem ser interpretados como importantes co-benefícios.

A coesão comunitária, o engajamento da comunidade e o senso de pertencimento podem ser intangíveis, porém apresentam alta relevância para o bem-estar humano. Embora não seja um termo tão abrangente, utiliza-se doravante o capital social como conceito guarda-chuva que se refere aos benefícios que indivíduos podem usufruir pela participação social, confiança mútua e o uso de suas redes de contato social<sup>42</sup>.

Assim como o capital humano, o capital financeiro ou o capital cultural, o capital social é um recurso que tem o potencial de aumentar o bem-estar social e melhorar o funcionamento das comunidades. Sua importância tem sido reconhecida por organizações internacionais, como Banco Mundial e OCDE, e um grande objetivo de política social é encontrar formas de construir capital social em comunidades - notadamente aquelas desfavorecidas.

Em geral, estudos sobre o capital social consideram a presença de três elementos combinados: confiança, reciprocidade e conexões sociais. No entanto, esses são conceitos abstratos e, portanto, são difíceis de serem mensurados de forma qualitativa. As medidas de capital social incluem, assim, desde indicadores objetivos a interpretações de atitudes pessoais e percepções de ligação ou isolamento social. Comumente, os dados para esses estudos são coletados por meio de entrevistas ou observações e registros de atividades sociais e de engajamento da comunidade. Os questionários de pesquisa nessa área buscam explorar a natureza e a escala das conexões sociais formadas e as percepções das relações de confiança e reciprocidade estabelecidas numa determinada comunidade.

Poucas são as métricas de capital social que se aproximam das desenvolvidas no âmbito da saúde, como observado no item anterior. Uma das associações que se tem em relação ao tema é entre a densidade e o perfil de usos do solo, que podem modificar as estruturas de coesão comunitária, e sua relação com a criminalidade. A literatura aponta com clareza para a relação positiva existente entre o capital social e menores índices de criminalidade. A relação de correlação, no entanto, não mostra causalidade: seriam os menores índices de criminalidade que geram maior coesão social?

Segundo Sampson, Raudenbush e Earls (1997), a capacidade dos vizinhos de supervisionar e controlar o comportamento dos outros se torna um preditor significativo de taxas de crime em nível de bairro. Os autores concluem que políticas públicas e programas de prevenção de crimes devem considerar a eficácia coletiva como um fator importante a ser cultivado nos bairros,

---

<sup>42</sup> Ver Fonseca, Lukosch e Brazier (2019) para uma visão geral sobre diferentes perspectivas e estudos sobre coesão social, incluindo definição e fatores que desempenham um papel substancial na sua promoção.

mostrando que há sim uma relação causal. Eficácia coletiva, no entanto, não representa exatamente o mesmo que coesão social.

A relação de coesão social e criminalidade foi investigada no âmbito de infraestruturas de transporte, uma vez que novos eixos e a instalação de suas paradas/estações são notórios promotores de modificações nas estruturas de coesão social local. Segundo as evidências apontadas em Billings, Leland e Swindel (2011), no entanto, novos eixos de transporte em massa sobre trilhos não parecem fomentar atividades criminosas nos arredores das estações. Decisões públicas e privadas de investir ao longo desses corredores podem levar à gentrificação e valorização de seu entorno, induzindo uma redução da criminalidade. Os autores identificaram, por exemplo, uma redução de 5,25 crimes por mês contra o patrimônio devido à uma nova linha de veículo leve sobre trilhos instalada na cidade norte-americana de Charlotte, o que representa cerca de 20% a menos na média de crimes mensais.

Browning et al. (2011), pesquisando sobre o adensamento comercial e sua relação com a criminalidade e a coesão social, traz evidências de que, quando um determinado local parte de níveis iniciais muito baixos de densidade, geram-se aumentos correspondentes em crimes violentos. Porém, para além de um limiar mínimo, há reduções não desprezíveis na prevalência de homicídios e agressões graves. Por outro lado, um aumento da densidade comercial e residencial prevê uma relação positiva com roubo para qualquer nível de densidade.

Uma explicação possível para o fenômeno identificado por Browning (2011) é que o agrupamento de vítimas potenciais e uma possível atração de infratores para uma área mais densa e mista pode ter mais do que compensado o benefício do aumento do controle social induzido pelo maior número de pedestres na rua para o caso de roubo. Portanto, os resultados deste estudo sugerem que aumentos na densidade comercial e residencial a níveis baixos podem realmente conduzir a maior incidência de crimes, porque as ruas se tornam marginalmente ativas sem se beneficiarem suficientemente dos efeitos do controle social, uma vez que o tráfego de pedestres ainda é diluído. Contudo, o afluxo residencial e o desenvolvimento comercial sustentados provavelmente reverterão essa tendência, conduzindo a ruas e a espaços públicos mais seguros.

Pela discussão acima, torna-se claro que o contexto da promoção da mudança na estrutura de coesão comunitária é definidor para o estabelecimento de relações entre uma melhora e suas consequências práticas (como a redução da criminalidade). Na busca por evidências dos benefícios da coesão comunitária promovidas por parques urbanos, não foram encontrados os esperados coeficientes de elasticidade que relacionam o quanto de redução na taxa de criminalidade se pode esperar para cada 1% de aumento em métricas relacionadas a instalação de parques urbanos, tal como fez Billings, Leland e Swindel (2011) no caso de transportes acima descrito.

De forma a contornar a ausência destas métricas, destacam-se os resultados do estudo de Evangelio et al. (2019) com possíveis parâmetros para a quantificação e valoração do benefício de coesão comunitária na redução de criminalidade. Requer-se, no entanto, a adoção de algumas premissas que são aqui discutidas. Os autores avaliaram o quanto parques urbanos nas cidades australianas de Melbourne e Victoria contribuem para a qualidade de vida de seus habitantes tendo com base uma modelagem econométrica que permite isolar a influência de

diversos aspectos do entorno no valor imobiliário dos imóveis (Máxima Verossimilhança com correção de viés de seleção amostral).

Uma discussão mais aprofundada sobre a relação das intervenções urbanas com o valor dos imóveis é realizada no item a seguir, que trata dos benefícios econômicos. Resta, aqui, compreender como os parâmetros de preços hedônicos apresentados por Evangelio et al. (2019) podem se aplicar no caso do Jardim Maravilha para os aspectos de segurança. Os autores desvendaram que imóveis em diferentes níveis de distância a um posto policial trazem diferenças implícitas de preço entre eles: os mais próximos, como era de se esperar, são mais bem avaliados. Na cidade de Melbourne e no estado de Victoria, as diferenças de valores foram de respectivos 3,27% e 2,20% do valor da propriedade, considerando diferenças de distância de 2,0 km e 0,27 km ao posto policial mais próximo.

Para aplicação no caso da implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, pode-se assumir que:

- A coesão comunitária será aumentada devido aos trabalhos técnicos comunitários e maior engajamento da comunidade, conforme ambiciona a Prefeitura o Rio de Janeiro;
- Essa maior coesão comunitária terá, como consequência, uma redução na criminalidade;
- Como premissa arbitrária, tem-se que a redução terá, minimamente, a equivalência de 20% do efeito da presença de um posto policial (assemelhando-se ao parâmetro de Billings, Leland e Swindel, 2011), equivalente aos parâmetros de preços hedônicos identificados em Evangelio et al. (2019).

Com base nestas premissas, é possível realizar a aplicação da transferência de benefício, que resulta em um parâmetro de 0,55% de valorização imobiliária para as residências beneficiadas pela implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha. Resta, então, aplicar o parâmetro ao valor médio de cada residência (R\$ 84,02 mil, conforme item de acessibilidade incrementada às oportunidades de lazer) e ao total de residências beneficiadas (7,04 mil), desvendando-se um benefício de valorização imobiliária de R\$ 3,24 milhões.

**Tabela 27- Benefício de maior coesão comunitária e redução na criminalidade (R\$, mil)**

	<b>Benefício</b>
Benefício de maior coesão comunitária e redução na criminalidade	R\$ 3.236,96

O benefício é a expressão pecuniária do que se pode esperar ocorrer em termos de valorização imobiliária pelo maior grau de coesão comunitária e consequente redução na criminalidade, materializada na precificação implícita dos imóveis. Nota-se que esse benefício não é recorrente no tempo.

## 5 QUANTIFICAÇÃO DOS RISCOS E BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

A quantificação e valoração dos benefícios ambientais e sociais, apresentada nos capítulos precedentes, traz em métrica pecuniária (monetária) os efeitos esperados pela implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha e o incremento nos serviços ecossistêmicos. Dessa forma, já foram apresentados diversos benefícios de repercussão econômica.

O presente capítulo apresenta, em complemento, dois efeitos que podem ser classificados como puramente econômicos, ou seja, reflexo das modificações antevistas ao Jardim Maravilha de amanhã que não são oriundos de modificações ambientais e nem sociais, mas sim tem origem na modificação do ambiente construído: a valorização imobiliária e a atração de empresas e empregos.

### 5.1 Valorização imobiliária

Quando uma região como a do Jardim Maravilha passa por uma revitalização, cujo marco físico é o Parque Fluvial e a conseqüente redução do risco de enchentes, não apenas os usos do solo são afetados, mas também os preços dos imóveis. Tal como ocorre com a construção de novas infraestruturas de transporte público, o aporte de um parque urbano na magnitude deste em planejamento para o Jardim Maravilha leva a uma valorização imobiliária.

O incremento no valor dos imóveis reflete tanto as novas condições como as expectativas dessas novas condições, e abrangem uma vasta gama de efeitos, dentre eles os já explorados acréscimos na coesão comunitária e maior acesso às oportunidades de lazer e atividade física. Destaca-se, assim, que a valorização imobiliária já foi explorada nos itens precedentes como métrica para expressar o valor pecuniário de benefícios sociais.

Justamente por ser multifacetada, a valorização imobiliária requer cautela quando inserida no contexto de avaliações socioeconômicas de viabilidade, pois tende a gerar dupla contagem. Os preços no mercado imobiliário, afinal, são uma função de diversas características, desde:

- As construtivas dos imóveis (como o número de quartos e de banheiros, a metragem, a qualidade do acabamento, por exemplo);
- Passando pela localização do imóvel (como o contexto do bairro, distância até o centro, disponibilidade de transporte público, presença de equipamentos públicos e diversas outras características); e finalmente
- Chegando nas expectativas acerca do futuro da localização (se está em adensamento, consolidação, piorando em relação à segurança, melhorando em relação aos transportes e assim sucessivamente).

Exemplo dessa multifacetada precificação de elementos subjetivos é demonstrada pela análise de Ferreira (2005) frente ao papel desempenhado pelo Passeio Público da cidade do Rio de Janeiro: o parque contribui para a valorização dos imóveis próximos e para o turismo na região, mas também contribui para as áreas social (local de lazer e convivência) e ambiental (redução de ilhas de calor e a melhoria da qualidade do ar).

Ao se promover a alteração de características do ambiente construído em uma região como o Parque Fluvial do Jardim Maravilha, por meio do aporte de um parque urbano de grande vulto, pode-se esperar que haja modificação nos preços dos imóveis. Senão, vejamos: o mercado precifica tanto os benefícios da intervenção (começando pela redução do risco de inundações e seguindo até os benefícios sociais) como os eventuais prejuízos gerados pela intervenção urbana e suas consequências. Essa resposta autóctone do mercado imobiliário sublinha o próprio conceito da valoração por preços hedônicos.

Nota-se que parte desta capitalização pode ocorrer até mesmo antes de a intervenção urbana estar finalizada - ou sequer iniciada - como é o caso emblemático da construção de uma nova estação de metrô, com os potenciais ganhos já sendo incorporados nos preços de mercado na medida em que os agentes econômicos confiam que o benefício realmente ocorrerá. É por este motivo que uma forma de valoração do benefício da maior coesão societária e consequente redução na criminalidade pode ser realizada via o efeito da resposta prevista do mercado imobiliário.

As relações entre o aporte de serviços de saneamento básico e a consequente valorização dos imóveis são recomendadas (com a devida cautela sobre dupla contagem) pelo Manual de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Infraestrutura Hídrica (PNUD e ME, 2021a). Pode-se adotar, por exemplo, as diferenças de preço encontradas pelo Instituto Trata Brasil (Freitas et al., 2018) para o valor dos aluguéis residenciais: imóveis ligados à rede geral de coleta de esgoto comandam um valor de 16,4% superior; já a ausência de banheiro reduz o valor do aluguel em 7,4%; imóveis com rede de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e banheiro, comandam valores 33% superiores.

Embora se tenham registros de valorização imobiliária nacionais quanto ao aporte de infraestruturas de saneamento e, até certo ponto, para intervenções urbanas de transporte público, o mesmo não ocorre com parques urbanos. Pode-se antever, no entanto, que a implantação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha gerará valorização imobiliária, sendo este um importante benefício econômico. Resta perscrutar como quantificá-lo e valorá-lo de forma coerente com a realidade local.

Em sua tese de doutorado, Mahmoudi (2012) utiliza abordagem baseada em modelos de preços hedônicos para estimar o valor de atributos ambientais, tais como paisagens naturais, parques e unidades de conservação, em sua relação com a renda e emprego local. Os resultados revelam o efeito positivo sobre o desenvolvimento local e sobre a valorização imobiliária, sendo que o autor produziu o seguinte grau de elasticidade relacionada à presença de parques urbanos: as residências apresentam um valor implícito de AU\$ 2.139,86 a mais para cada quilômetro de proximidade aos parques urbanos (0,71% do valor médio dos imóveis).

Nota-se que a métrica deste autor não é muito distinta daquela avaliada na quantificação dos benefícios sociais advindos da maior coesão comunitária e subsequente expectativa de que isso reduza a criminalidade. Não obstante, o que Mahmoudi (2012) revela é a valoração pela proximidade do parque de forma desvinculada ao uso deste ou a outros fatores decorrentes, mas sim por sua presença - capturando o valor intangível.

Com base na premissa de que uma valorização imobiliária semelhante deva ocorrer no Jardim Maravilha, primeiramente corrige-se o parâmetro para a distância de 2,2 quilômetros, que é a

medida de aproximação do loteamento até o futuro parque em relação ao acesso atual a uma área verde, para então aplicá-lo ao valor médio de cada residência no local (R\$ 84,02 mil, conforme item de acessibilidade incrementada às oportunidades de lazer) e, finalmente, ao total de residências beneficiadas (7,04 mil). Desvenda-se, assim, um benefício de valorização imobiliária de R\$ 9,25 milhões.

**Tabela 28 - Benefício econômico de valorização imobiliária (R\$, mil)**

	<b>Benefício</b>
Benefício econômico de valorização imobiliária	R\$ 9.245,16

O benefício é a expressão pecuniária do que se pode esperar ocorrer em termos de valorização imobiliária pela presença do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, desvinculado de seus efeitos na saúde e bem-estar, materializada na precificação implícita dos imóveis. Nota-se que esse benefício não é recorrente no tempo.

## 5.2 Atração de empresas e empregos

O outro benefício econômico, e aquele que encerra o presente exercício de identificação e valoração dos benefícios da implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha e de suas SbN, é oriundo da atração de empresas e empregos. Tal como o benefício da valorização imobiliária, espera-se que a significativa redução do risco de inundações e as demais interferências urbanas que visam melhorar o ambiente construído, sejam também potenciais atradoras de novas empresas e empregos.

A literatura que investiga esse efeito para transportes, principalmente no tangente à vertente do desenvolvimento orientado ao transporte sustentável, evidencia que há geração destes benefícios em duas situações: ao aproximar residências a polos de emprego ou ao trazer atividades de comércio e serviço mais próximas a áreas residenciais. São várias, no entanto, as circunstâncias que fazem esse benefício ocorrer. Independente de contexto, o que se evidencia com certa consistência é o efeito positivo gerado por um melhor equilíbrio na distribuição espacial residência-emprego devido ao encurtamento dos deslocamentos pendulares (Mayer e Trevien 2015; Mejia-Dorantes, Paez e Vassallo, 2012; Cervero e Duncan, 2006).

No caso dos parques urbanos, no entanto, a geração do benefício de atração de empresas e empregos é menos clara. Afinal, grandes parques podem estar associados a um acréscimo de serviços de alimentação local (lanches e bebidas), estacionamentos, locação de equipamentos de lazer, aulas de exercício em grupo e outros correlatos, assim como, eventualmente, serviços mais sofisticados como de hotelaria e turismo. Não se encontrou na literatura, no entanto, uma raiz única e discernível para a geração de tal efeito a partir da colocação do parque urbano. O que se identifica são descrições das consequências de diversas modificações que decorrem das mudanças de uso do solo, que por sua vez se alteram a partir das melhores condições locais (como visto nos diversos itens anteriores).

Um ponto importante nessa discussão, adicionalmente, são os fatores de decisão locacional das firmas. Em geral, escolhem-se locais em relação: (i) à orientação ao mercado/cliente; (ii) ao acesso a recursos/fornecedores; (iii) aos mercados que pode acessar a partir daquele ponto de

localização; (iv) à disponibilidade e custo da mão de obra local; ou ainda (v) à disponibilidade de imóveis apropriados a suas atividades.

Uma vez estabelecida, a empresa pode atrair empresas complementares (criando agregações produtivas) ao mesmo tempo em que pode repelir outras empresas que queiram evitar a concorrência. Dependendo do caráter das interações que a empresa gera com outros negócios no entorno, ela pode considerar essa proximidade vantajosa ou danosa. Isto é, é bastante razoável assumir que a escolha locacional de cada empresa não é tomada de forma independente à presença ou ausência de outras empresas no bairro e, portanto, está condicionada a economias de aglomeração e/ou competição.

Torna-se também plausível supor que a decisão locacional das empresas será influenciada positivamente pela implementação do Parque Fluvial do Jardim Maravilha. Não obstante, o Jardim Maravilha de hoje conta apenas com pequenas atividades informais de comércio de subsistência, sendo que as margens das principais avenidas já se adensam com o comércio local de maior porte.

Assim, por mais que a introdução do Parque Fluvial deva impactar o local de estabelecimento de empresas, produzindo uma tendência de aumento, reconhece-se não haver como realizar a quantificação e valoração desse benefício.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RISCOS E BENEFÍCIOS

As ações de SbN representadas pelo Parque Fluvial do Jardim Maravilha e pelas outras tipologias de infraestrutura verde a ele associadas devem aumentar a eficiência de mitigação de inundações, em associação com a infraestrutura convencional projetada (principalmente o dique de contenção de cheias), sendo que esta melhora ocorre de forma discreta na escala da bacia do rio Piraquê-Cabuçu, mas com impacto positivo expressivo e localizado na região do Jardim Maravilha.

Considerando-se esta solução integrada de infraestruturas verde e cinza, foi estimada uma redução potencial de 39% no volume anual de escoamento superficial, amortizando o principal processo hidrológico que induz às inundações neste bairro. Quando foi avaliado de forma isolada um evento intenso de chuva, representado pela chuva de projeto (TR 25 anos e 6 horas, com efeito de maré), a simulação dos novos usos e coberturas da terra dentro dos limites do projeto no parque fluvial indicou um aumento de 61% na retenção de escoamento superficial, projetando um aumento significativo neste serviço ecossistêmico de mitigação de inundações.

Importante notar que esta segunda simulação (com uso do modelo *Urban Flood Risk Mitigation*) não leva em conta as características de relevo, e dessa forma não foi contemplada a influência do dique de barramento, que é o componente de infraestrutura cinza combinada para mitigar os riscos de inundação locais. Ou seja, no caso da simulação de evento extremo avaliou-se unicamente o efeito das Soluções baseadas na Natureza na forma do parque inundável e infraestruturas verdes associadas.

Já em relação aos processos de infiltração, ainda que a implementação de SBN proporcione aumento de cobertura vegetal, o que favorece potencialmente o escoamento subterrâneo, as condições fisiográficas locais no Jardim Maravilha, com solos de baixa permeabilidade e o lençol freático bastante raso, não permitem uma melhora expressiva neste processo hidrológico, não havendo incremento perceptível no serviço ecossistêmico de aumento da infiltração.

As ações de SbN tampouco devem aumentar a eficiência de retenção de sedimentos na bacia do rio Piraquê-Cabuçu, nem mesmo localmente (na região do Jardim Maravilha). O fato destas ações representadas pela implementação do parque fluvial e de intervenções de SbN associadas serem projetadas para uma região praticamente plana e com solos de baixa suscetibilidade à erosão, faz com que os processos erosivos sejam muito discretos localmente, exceto em relação a erosão de barrancos fluviais, eventualmente causada por eventos de acelerado aumento de volume e velocidade na vazão dos rios locais. No entanto o modelo *Sediment Delivery Ratio* não consegue capturar este tipo de erosão, sendo o mesmo especializado em simular a erosão hídrica laminar.

A implantação do Parque Fluvial, com seu conjunto de Soluções baseadas na Natureza na composição de soluções para os recorrentes problemas de inundações do Jardim Maravilha, apresenta expectativas de geração de um extenso rol de benefícios, não apenas decorrentes do incremento de serviços ecossistêmicos de regulação hídrica, notadamente a redução de escoamento superficial e a mitigação de inundações. Estes benefícios foram expostos ao longo do documento e são sintetizados na tabela abaixo, que também aponta os benefícios que foram identificados, mas não quantificados e valorados.

**Tabela 29 - Síntese dos benefícios identificados e/ou quantificados e valorados**

<b>Categoria</b>	<b>Canal de impacto do benefício</b>	<b>Síntese do benefício</b>	<b>Valor (R\$, mil)</b>	<b>Frequência</b>	<b>Sobreposição</b>
<b>Ambiental</b>	Retenção de sedimento	Custo evitado com desassoreamento	Não relevante	-	-
<b>Ambiental</b>	Regulação hídrica	Mitigação do risco de inundação, dano material evitado	2.215,23	Anual	Não há
<b>Ambiental</b>	Regulação hídrica	Mitigação do risco de inundação, prejuízo evitado	439,97	Anual	Não há
<b>Ambiental</b>	Regulação hídrica	Custo evitado com doenças de veiculação hídrica (esc. superficial)	Não valorado	-	-
<b>Ambiental</b>	Regulação hídrica	Maior vazão de base (escoamento subterrâneo)	Não relevante	-	-
<b>Ambiental</b>	Retenção de nutrientes	Custo evitado na instalação de ETE	6.687,70	Pontua I	Não há
<b>Ambiental</b>	Retenção de nutrientes	Custo evitado na operação e manutenção de ETE	668,77	Anual	Não há
<b>Ambiental</b>	Retenção de nutrientes	Disposição a pagar pelo serviço de tratamento de esgotos	1.007,68	Anual	Não há
<b>Ambiental</b>	Qualidade cênica	Disposição a pagar pela melhoria de nível na qualidade cênica	384,46	Anual	Sim (DAP trat. esg.)
<b>Social</b>	Saúde (associada à ativ. física e lazer)	Redução de morbidade devido ao acesso às op. de atividade física	183,50	Anual	Não há
<b>Social</b>	Saúde (associada à ativ. física e lazer)	Maior acesso às oportunidades de lazer e atividade física	2.088,38	Pontua I	Sim (val. imob.)
<b>Social</b>	Coesão comunitária	Maior coesão comunitária e redução na criminalidade	3.236,96	Pontua I	Sim (val. imob.)
<b>Econômico</b>	Valorização imobiliária	Benefício econômico de valorização imobiliária	9.245,16	Pontua I	Sim (val. imob.)
<b>Econômico</b>	Desenvolvimento econômico	Atração de empresas e empregos	Não valorado	-	-

Ao todo, 14 benefícios foram identificados e discutidos, com 10 deles devidamente quantificados e valorados. Dos demais benefícios, dois não se mostram relevantes para a realidade do Jardim Maravilha, e outros dois não puderam ser valorados pela ausência de relações físicas e/ou parâmetros adequados. Dos benefícios valorados, 3 trazem possíveis sobreposições, ou seja, risco de dupla contagem. Estes devem ser considerados com cautela quando da realização da avaliação socioeconômica de custo-benefício.

Os benefícios valorados montam em um expressivo valor frente à realidade socioambiental do Jardim Maravilha. Considerando-se aqueles que são gerados anualmente, tem-se um total de R\$ 4,90 milhões em benefícios. Já os que ocorrem de forma única, ou seja, não se replicam no tempo, porém representam um acréscimo pontual, tem-se um total de R\$ 21,26 milhões.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO, FAO Irrigation and Drainage, 56.
- AMBREY, C. L., & FLEMING, C. M. (2011). Valuing scenic amenity using life satisfaction data. *Ecological Economics*, 72, 106-115.
- AMERICAN RIVERS. (2012). Banking on Green: A Look at How Green Infrastructure Can Save Municipalities Money and Provide Economic Benefits Community-wide. American Society of Landscape Architects, ECONorthwest, and Water Environment Federation.
- AQUAFLORA. (2021). Benefícios de Soluções Baseadas na Natureza para Segurança Hídrica e Resiliência Climática na Região Metropolitana de Curitiba. Resumo Técnico apresentado ao Movimento Viva Água, Curitiba-PR.
- ASHLEY, R.M., WALKER, L., D'ARCY, B., WILSON, S., ILLMAN, S., SHAFFER, P., WOODS-BALLARD, B., & CHATFIELD, P. (2015). UK sustainable drainage systems: past, present and future. *Civil Engineering – Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. ICE Publishing.
- ASTELL-BURT, T., FENG, X. & KOLT, G.S. (2013). Mental health benefits of neighbourhood green space are stronger among physically active adults in middle-to-older age: evidence from 260,061 Australians. *Preventive medicine*, 57(5), pp.601-606.
- ASTELL-BURT, T., FENG, X. & KOLT, G.S. (2014). Greener neighbourhoods, slimmer people? Evidence from 246.920 Australians. *International journal of obesity*, 38(1), p.156.
- BALLARD WW, WILSON S, UDALE-CLARKE H, ILLMAN S, SCOTT T, ASHLEY R, & KELLAGHER R (2015). The SUDS Manual. CIRIA C697, London, 2015.
- BANCO MUNDIAL - WORLD BANK. (2012). Grow in Concert with Nature: Green Water Defense for Flood Risk Management in East Asia. Washington, DC: World Bank.
- BANCO MUNDIAL - WORLD BANK. (2015). World Inclusive Cities Approach Paper. Washington, DC: World Bank.
- BARRETO, A. B. (2015). A importância da vegetação para os sistemas alagados construídos – wetlands. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – Seção Minas Gerais – ABES/MG, 3 dez. 2015.
- BARRETO, M. L., GENSER, B., STRINA, A., TEIXEIRA, M. G., ASSIS, A. M., REGO, R. F., TELES, C. A., PRADO, M. S., MATOS, S., ALCÂNTARA-NEVES, N. M., & CAIRNCROSS, S. (2010). Impact of a citywide sanitation program in Northeast Brazil on intestinal parasites infection in young children. *Environmental Health Perspectives*, 118(11), 1637-1642.
- BAUM-SNOW, N. & FERREIRA, F. (2014) Causal inference in urban and regional economics. NBER Working Paper Series, n. 20535.
- BEDIMO-RUNG, A. L., MOWEN, A. J., & COHEN, D. A. (2005). The significance of parks to physical activity and public health: a conceptual model. *American Journal of Preventive Medicine*, 28 (2 Suppl 2).
- BID - BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO. (2018) Análise Econômica do Programa de Despoluição do Rio Tietê, 4a Etapa. Documentos do Projeto BR-L1492, preparado por Kleber Machado (INE/WSA) com insumos de Paulo Borba de Moraes. IADB.
- BILLINGS, S. B., LELAND, S, SWINDELL, D. (2011). The effects of the announcement and opening of light rail transit stations on neighborhood crime. *Journal of Urban Affairs*, v. 33, n. 5, p. 549–566.
- BROWNING, C. R. et al. (2010). Commercial Density, Residential Concentration, and Crime: Land Use Patterns and Violence in Neighborhood Context. *Journal of Research in Crime and Delinquency* 47, no. 3 (2010): 329–357.
- CERVERO, R., & DUNCAN, M. (2006). Which Reduces Vehicle Travel More: Jobs-Housing Balance or Retail-Housing Mixing? *Journal of the American Planning Association*, 72(4), 475-490.

CORTADO, T. J. (2018). À beira da cidade: política e poética da urbanização no Jardim Maravilha, "loteamento proletário" da Zona Oeste carioca. Tese (Doutorado em Antropologia Social), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

COSTA-CABRAL, M.; MARCELINI, S.S. (2015). The Role of Forests in the Maintenance of Stream Flow Regimes and Groundwater Reserves: A Review of the Scientific Literature. Northwest Hydraulic Consultants Inc./ Agroicone.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R. S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G., SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, p. 253-260, May 1997. DOI: 10.1038/387253a0.

CRUZ, K. E. A., & RAMOS, F. S. (2013). A importância da universalização do saneamento básico e de políticas socioeconômicas para redução de internações por infecções gastrointestinais. In XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013, Goiânia-GO.

DAILY, G. C. (Ed.). (1997) *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Washington, DC: Island Press 412 p.

EVANGELIO, R., HONE, S., LEE, M., & PRENTICE, D. (2019). What makes a locality attractive? Estimates of the amenity value of parks for Victoria. *Economic papers*, 38(3), 182-192.

EVERS, H et. al. (2022). Soluções baseadas na natureza: exemplos implementados por cidades brasileiras. WRI - World Resources Institute. Porto Alegre, RS.

FERREIRA, A. D. (2005). Efeitos positivos gerados pelos parques urbanos: o caso do Passeio Público da cidade do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado, Universidade Federal Fluminense).

FLETCHER, T. D., SHUSTER, W., HUNT, W. F., ASHLEY, R., BUTLER, D., ARTHUR, S., ... & TROWSDALE, S. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525-542.

FONSECA, X., LUKOSCH, S., & BRAZIER, F. (2019). Social cohesion revisited: a new definition and how to characterize it. *Innovation: The European Journal of Social Science Research* 32, no. 2 (2019): 231-253.

FOREST RESEARCH. (2010). *Benefits of Green Infrastructure: Report to Defra and CLG*. Forest Research, Farnham, UK.

FREITAS, F. G. et al. (2018). Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil. Relatório de pesquisa apresentado ao Instituto Trata Brasil. São Paulo: Ex Ante Consultoria Econômica.

FGB - Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza & ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade (2015). Adaptação baseada em Ecossistemas: Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. Curitiba: Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, 2015

FUNK C., PETERSON P., LANDSFELD M., PEDREROS D., VERDIN J., SHUKLA S., ... MICHAELSEN J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066 (2015).

GARRISON, N., & HOBBS, K. (2011). *Rooftops to Rivers II: Green Strategies for Controlling Stormwater and Combined Sewer Overflows*. Natural Resources Defense Council.

GARTNER, T., MULLIGAN, J., SCHMIDT, R. & GUNN, J. (2013). *Natural Infrastructure: Investing in Forested Land- scapes for Source Water Protection in the United States*. Washington, DC: World Resources Institute.

GUIMARÃES, J.L.B. & THA, D. (2018). Soluções Baseadas na Natureza para Aumento da Resiliência Hídrica: Quantificação e Valoração dos Benefícios da Infraestrutura Natural no Município de São Bento do Sul- SC. Curitiba-PR, Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, 2018.

HARTIG, T., MITCHELL, R., DE VRIES, S., & FRUMKIN, H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health*, 35, 207-228.

HERZOG, C. & ROZADO, C. (2019). Diálogo Setorial UE-Brasil sobre soluções baseadas na natureza. Contribuição para um roteiro brasileiro de soluções baseadas na natureza para cidades resilientes. Bélgica. Comissão Europeia. Julho de 2019.

HIDROSTUDIO - Hidrostudio Engenharia (2022a). Estudos hidrológicos v. 5191.RA.A4.002-2. Elaboração de estudos hidrológicos e hidráulicos, estudos conceituais e desenvolvimento de projetos para redução do impacto da mancha de inundação e requalificação ambiental, urbanística e paisagística da região do Jardim Maravilha – Guaratiba – A.R XXVI – A.P.5.3. Fundação Rio-Águas, 2022.

HIDROSTUDIO - Hidrostudio Engenharia (2022b). Diagnóstico Ambiental v. 5191.RA.A4.082-0. Elaboração de estudos hidrológicos e hidráulicos, estudos conceituais e desenvolvimento de projetos para redução do impacto da mancha de inundação e requalificação ambiental, urbanística e paisagística da região do Jardim Maravilha – Guaratiba – A.R XXVI – A.P.5.3. Fundação Rio-Águas, 2022.

HILLSDON, M., PANTER, J., FOSTER, C., JONES, A., & the CEESP Behavioural Epidemiology Group. (2006). The relationship between access and quality of urban green space with population physical activity. *Public Health*, 120(12), 1127-1132.

HUIZINGA, J., MOEL, H. DE, SZEWCZYK, W. (2017). Global flood depth-damage functions. *Methodology and the database with guidelines*. EUR 28552 EN. DOI: 10.2760/16510

IICA - INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA. (no prelo) Revisão do Cálculo de Necessidades de Investimentos em Saneamento Básico para o Período 2022-2033. Concorrência 51/2020. Realização EnvEx Consultoria, Curitiba-PR (2021-2022).

IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (2021). IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. (2022). 6th Assessment Report. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022. Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2022.

IUCN (2020). *Global Standard for Nature-based Solutions. A user-friendly framework for the verification, design and scaling up of NbS*. First edition. Gland, Switzerland: IUCN. <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020-En.pdf>

JAYASEKARE, A. S., HERATH, S., WICKRAMASURIYA, R., & PEREZ, P. (2019). The price of a view: Estimating the impact of view on house prices. *Pacific Rim Property Research Journal*, 25(2), 141-158.

JOHNSTON, D. M., BRADEN, J. B. & PRICE, T. H. (2006). Downstream Economic Benefits of Conservation Development. *Journal of Water Resources Planning and Management* 132, no. 1.

KACZYNSKI, A. T., POTWARKA, L. R., & SAELENS, B. E. (2008). Association of park size, distance, and features with physical activity in neighborhood parks. *American Journal of Public Health*, 98(8), 1451-1456.

KLOSS, C. & CALARUSSE, C. (2006). *Rooftops to Rivers: Green Strategies for Controlling Stormwater and Combined Sewer Overflows*. Natural Resources Defense Council.

KRALINGEN. (2021). *Análise de Custo-Benefício das Ações de Adaptação à Mudança do Clima Previstas para o movimento Viva Água em São José dos Pinhais (PR)*. Resumo Técnico apresentado ao Movimento Viva Água, Curitiba-PR.

MAAS, J., VERHEIJ, R. A., DE VRIES, S., SPREEUWENBERG, P., SCHELLEVIS, F. G., & GROENEWEGEN, P. P. (2009). Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(12), 967-973.

MACHADO, R. L. (2011). *Características físicas de chuvas e erosividade no Estado do Rio de Janeiro e erodibilidade de argissolo vermelho-amarelo em Seropédica-RJ*. Tese(doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia.

MAHMOUDI, P. (2012). *Environmental amenities and local development in Australia: spatial hedonic pricing and regional economic models* (Doctoral dissertation, The University of Adelaide).

MAHMOUDI, P., HATTON MACDONALD, D., CROSSMAN, N. D., SUMMERS, D. M. & VAN DER HOEK, J. (2013). Space matters: the importance of amenity in planning metropolitan growth. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 57, 38-59.

MARSDEN, J. & WHITEOAK, K. (2006). Identification of Economic Values Associated with the Groundwater of the Gngangara Mound, Report prepared for the Department of Water, WA. Perth, WA: Marsden Jacob Associates.

MAYER, T., & TREVIEN, C. (2015). The Impacts of Urban Public Transportation: Evidence from the Paris Region. CEPR - Centre for Economic Policy Research, Discussion Paper No. 10494.

MEJIA-DORANTES, L., PAEZ, A., & VASSALLO, J. M. (2012). Transportation infrastructure impacts on firm location: The effect of a new metro line in the suburbs of Madrid. *Journal of Transport Geography*, 22, 236-250.

MITCHELL, R., & POPHAM, F. (2008). Effect of exposure to natural environment on health inequalities: an observational population study. *The Lancet*, 372(9650), 1655-1660.

MOLLA, M. B. (2015). The Value of Urban Green Infrastructure and Its Environmental Response in Urban Ecosystem: A Literature Review. *International Journal of Environmental Sciences* 4, no. 2.

NATURAL CAPITAL PROJECT (2022). InVEST 3.13.0.post5+ug.gce76c6e User's Guide. Stanford University, University of Minnesota, Chinese Academy of Sciences, The Nature Conservancy, World Wildlife Fund, and Stockholm Resilience Centre.

NYLEN, N.G. & KIPARSKY, M. (2015) Accelerating cost-effective green stormwater infrastructure: learning from local implementation. Center for Law, Energy & the Environment, U.C. Bekeley School of Law.

OLSEN, A. et al. (2015) Comparing Methods of Calculating Expected Annual Damage in Urban Pluvial Flood Risk Assessments. *Water* 2015, 7, 255-270; doi:10.3390/w7010255

PERES, F., & MELO, V. (2006). Espaço, lazer e política: desigualdades na distribuição de equipamentos culturais na cidade do Rio de Janeiro. *Lecturas: Educación física y deportes*, (93).

PNUD e ME. (2021a). Manual de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício para Projetos de Infraestrutura Hídrica. Relatório de Consultoria Entregue no Âmbito do Projeto PNUD/BRA/19/015 ao Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI), Ministério da Economia (ME). Elaboração: Consórcio Engecorps-Ceres. Brasília.

PNUD e ME. (2021b). Estudo de caso sobre aplicação da ACB Recursos Hídricos - Tipologia Controle de Cheias - Complexo de Barragens Muriaé. Relatório de Consultoria Entregue no Âmbito do Projeto PNUD/BRA/19/015 ao Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI), Ministério da Economia (ME), como estudo de caso do Manual de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Infraestrutura Hídrica. Elaboração: Consórcio Engecorps-Ceres. Brasília.

PNUD e ME. (2021c). Estudo de caso sobre aplicação da ACB Recursos Hídricos - Tipologia Esgotamento Sanitário - Planejamento na Bacia do Rio Grande. Relatório de Consultoria Entregue no Âmbito do Projeto PNUD/BRA/19/015 ao Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI), Ministério da Economia (ME), como estudo de caso do Manual de Análise Socioeconômica de Custo-Benefício de Projetos de Infraestrutura Hídrica. Elaboração: Consórcio Engecorps-Ceres. Brasília.

PMRJ - Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. (2016). Estratégia de Adaptação às Mudanças Climáticas da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, dezembro.

RASELLA, D. (2013). Impacto do Programa Água para Todos (PAT) sobre a morbimortalidade por diarreia em crianças do Estado da Bahia, Brasil. *Cadernos de Saúde Pública* 29, no. 1 (2013): 40-50.

REID, C. E., KUBZANSKY, L. D., LI, J., SHMOOL, J. L., & CLOUGHERTY, J. E. (2018). It's not easy assessing greenness: A comparison of NDVI datasets and neighborhood types and their associations with self-rated health in New York City. *Health & Place*, 54, 92-101.

RIBEIRO, N. F. (2017). Rios Urbanos e as Relações do/no Espaço Livre (Estudo de Caso Bacia do Rio Piraquê-Cabuçu, Zona Oeste do Rio de Janeiro). Dissertação (mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal Fluminense, Niterói.

RIO-ÁGUAS. Fundação Rio-Águas. (2019). Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana - 2ª. versão. Rio de Janeiro: Fundação Rio-Águas.

SAMPSON, R. J., RAUDENBUSH, S. W. & EARLS, F. (1997). Neighborhoods and violent crime: A multilevel study of collective efficacy. *Science* 277, no. 5328 (1997): 918-924.

SARTORI, A. (2004) Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas.

SEA-RJ - SECRETARIA DO AMBIENTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. (2018). Plano Estadual de Adaptação às Mudanças Climáticas do Estado do Rio de Janeiro – Relatório Final. Rio de Janeiro-RJ: SEA-RJ, 2018

SOUSA JÚNIOR, W.C. (2011). Análise econômica da relação entre uso do solo e custos de tratamento de água no Estado de São Paulo. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

TNC - THE NATURE CONSERVANCY. (2014). A Flood of Benefits—Using Green Infrastructure to Reduce Flood Risk. Nature Conservancy, Arlington, VA.

TRABUCCO, A., ZOMER, R. (2022). Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ETO) Climate Database v3. figshare. Dataset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7504448.v4>

UN-WATER - Agência das Nações Unidas para a Água. Soluções Baseadas na Natureza para a gestão da água. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018. UNESCO/ World Water Assessment Program, 2018

ULRICH, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420-421.

VICTORIAN HEALTH PROMOTION FOUNDATION, 2016. Physical activity and sedentary behaviour: Evidence summary. Melbourne, VicHealth.

VON SPERLING, M. & SALAZAR, B.L. (2013). Determination of capital costs for conventional sewerage systems (collection, transportation and treatment) in a developing country. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, (2013) 3 (3): 365–374.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. (1965). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington: USDA, Agricultural Handbook, 282.

WOOD, L., HOOPER, P., FOSTER, S. & BULL, F. (2017). Public green spaces and positive mental health—investigating the relationship between access, quantity and types of parks and mental wellbeing. *Health & Place*, 48, pp.63-71.

Realização:



Autoria:



Esse relatório integra o material de elaboração de Metodologia para quantificação dos riscos e benefícios ambientais, econômicos e sociais de Soluções baseadas na Natureza (SbN) adotadas na implantação de Parques Lineares e Fluviais; Projeto Básico do Parque Linear do Córrego Bandeirantes, no município de Campinas - SP e Modelagem econômico financeira para manutenção do Parque Fluvial do Jardim Maravilha, no município do Rio de Janeiro - RJ.

Projeto: Support for Project Preparation for Urban Progress (SuPPUrbP)