Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Silvia Marie Ikemoto

Modelo analítico de segurança hídrica a partir de Soluções baseadas na Natureza: aplicação na Bacia do rio Guapi-Macacu, RJ

Rio de Janeiro

2020

Silvia Marie Ikemoto

Modelo Analítico de Segurança Hídrica a partir de Soluções baseadas na Natureza: aplicação na Bacia do rio Guapi-Macacu, RJ

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Construção Social do Meio Ambiente

Orientadora: Prof. Rosa Maria Formiga Johnsson

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

I26 Ikemoto, Silvia Marie.
Modelo analítico de segurança hídrica a partir de soluções baseadas na natureza: aplicação na Bacia do Rio Guapi-Macacu, RJ/ Silvia Marie Ikemoto. – 2020.
457f. : il.

Orientadora: Rosa Maria Formiga Johnsson.
Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

1. Desenvolvimento de recursos hídricos – Teses. 2. Guapi-Macacu, Rio – Teses. 3. Abastecimento de água – Rio de Janeiro (Estado) - Teses. I. Johnsson, Rosa Maria Formiga. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 556.18

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

_____ _____

Assinatura Data

Silvia Marie Ikemoto

Modelo Analítico de Segurança Hídrica a partir de Soluções baseadas na Natureza: aplicação na Bacia do rio Guapi-Macacu, RJ

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Construção Social do Meio Ambiente.

Aprovada em 19 de fevereiro de 2020.

Banca examinadora:

_____

Prof.ª Dra. Rosa Maria Formiga Johnsson (Orientadora)

Faculdade de Engenharia – UERJ

_____

Prof.ª Dr. Luciene Pimentel da Silva

Faculdade de Engenharia – UERJ

_____

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Faculdade de Engenharia – UERJ

_____

Prof.ª Dr. Elaine Cristina Cardoso Fidalgo

Empresa de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA SOLOS

_____

Prof.ª Rachel Bardy Prado

Empresa de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA SOLOS

_____

Dra. Mariella Camardelli Uzêda

Empresa de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA AGROBIOLOGIA

Rio de Janeiro

2020

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Seidi e à minha família, que sempre me apoiaram em meus sonhos e conquistas.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Wanda Ikemoto, e a meu falecido pai, Henrique Ikemoto, por me darem todo o suporte e apoio que me permitiram chegar até aqui. Ao meu companheiro Seidi, que me tanto me ajudou nessa caminhada e neste trabalho. Obrigada pela paciência e companheirismo.

Aos meus sogros Teresa e Luís, pelo amor e carinho. Ao meu irmão Takashi e à Ágata, pela alegria e generosidade.

À minha orientadora Rosa Formiga, por ter sido em grande parte responsável pela construção da minha trajetória e atuação profissional na temática de Soluções baseadas na Natureza e segurança hídrica. Muito obrigada por todo apoio, compreensão, confiança e carinho, e por oportunizar a realização deste trabalho.

À Patrícia Napoleão, minha grande amiga e companheira de trabalho, pelas trocas e conversas que foram fundamentais para o desenvolver dos trabalhos que inspiraram essa pesquisa. Agradeço pela sua amizade e todas as palavras de incentivo.

À toda a equipe da Gerência de Gestão do Território e Informações Geoespaciais do INEA, pelas trocas, aprendizados e companheirismo. Em especial, à Mariana Beauclair, Natalie Chagas, Laís Costa e Victor Maluf, pela dedicação e contribuição a agenda de SbN.

A todos os especialistas e técnicos da SEAS, GESEF/INEA, SEAPA, EMATER-RIO, EMBRAPA, CEDAE, REGUA, Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu, CBH-BG, AGEVAP, FIRJAN, UFRRJ, MPRJ e ICMBIO, por aceitarem compartilharem suas experiências ou informações. Agradeço pelo apoio e conversas enriquecedoras que muito contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos parceiros e colegas que atuam em prol da agenda de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, por todo o conhecimento e vivência que compartilharam comigo no Oásis Lab.

À equipe da Fundação Grupo Boticário e *Sense-Lab*, pelas oportunidades de capacitação, troca e aprendizado sobre o tema, que foram tão importantes.

Ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente (PPGMA), à coordenação, aos professores e funcionários, por viabilizarem a minha formação e transformação profissional e pessoal.

Aos meus superiores, que ao longo desse trajeto me deram o suporte necessário para a realização do doutorado, e aos meus amigos Geisy, Alex, Ana Paula e Lívia, e demais colegas do INEA e SEAS, pelo convívio e apoio.

RESUMO

IKEMOTO, Silvia Marie. *Modelo Analítico de Segurança Hídrica a partir de Soluções baseadas na Natureza:* aplicação na Bacia do rio Guapi-Macacu, RJ. 2020. 457f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

Os problemas relacionados à escassez de água e ao comprometimento da sua qualidade tendem a se agravar no mundo em função do contínuo crescimento demográfico, do aumento da demanda por água, e do aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos (inundações e secas), o que exige novas abordagens de gestão. Nesse contexto, as "Soluções baseadas na Natureza" (SbN) têm se mostrado um caminho promissor para promover a segurança hídrica, de modo complementar, por meio do aumento da resiliência dos sistemas de abastecimento frente às mudanças climáticas e da compatibilização do atendimento das necessidades básicas humanas e ecológicas da água. O presente estudo tem como objetivo principal a proposição de um arcabouço conceitual e analítico de avaliação de segurança hídrica da água bruta para o abastecimento público a partir de Soluções baseadas na Natureza (SbN), e a sua aplicação ao caso da Bacia do rio Guapi-Macacu - RJ. O estudo adotou a revisão bibliográfica e o estudo de caso como estratégias de pesquisa, e utilizou os métodos de pesquisa bibliográfica, análise documental, entrevistas e observação participante. A aplicação do modelo analítico identificou um alto nível de comprometimento da disponibilidade hídrica da Bacia do rio Guapi-Macacu, escassez recorrente de água em momentos de estiagem e agravamento de conflitos pelo uso da água, apontando a necessidade urgente de ações mais efetivas de gestão. Constatou-se também que a bacia apresenta características biofísicas, sociais e econômicas em sua maioria favoráveis para a implementação de SbN. Mais precisamente, SbN mostraram-se pertinentes para aumentar a segurança hídrica, pois contribui potencialmente para reduzir o risco relacionado aos estressores "Uso e cobertura da terra", "Processos erosivos", "Carga poluidora" e "Interferência nos corpos hídricos". Quanto à análise das iniciativas relacionadas a SbN, constatou-se o envolvimento de muitos atores e diferentes políticas setoriais, que, no entanto, carecem de uma visão e compreensão integrada do conjunto de medidas existentes e de suas implicações para segurança hídrica. Com exceção das ações de conservação, os resultados das iniciativas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu ainda são limitados, sendo necessário ampliar as intervenções de restauração ecológica e boas práticas agropecuárias em escala na bacia. A ausência de ações de monitoramento dos serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica impossibilitou estimar a magnitude dos impactos das SbN. Dentre as recomendações para aperfeiçoamento, destacam-se: reforçar as capacidades institucionais para formulação, seleção, concepção e implantação de SbN; promover cooperação intersetorial e institucional; alavancar mecanismos de financiamento contínuos e de longo prazo; promover redução de custos das SbN; sensibilizar e conscientizar da sociedade e de tomadores de decisão; e preencher lacunas e promover avanços metodológicos para quantificação e valoração dos custos e benefícios das SbN.

Palavras-chave: Segurança Hídrica. Soluções baseadas na Natureza. Abastecimento público. Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Sistema Imunana-Laranjal. Bacia do rio Guapi-Macacu.

ABSTRACT

IKEMOTO, Silvia Marie. *Water Security Analytical Model from Nature-based Solutions:* application in the Guapi-Macacu river Basin, Brazil - *RJ.* 2020. 457f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

The problems related to water scarcity and the degradation of water quality tend to aggravate in the world due to the continuous demographic growth and the increase in water demands; the higher frequency and intensity of extreme hydrologic events (floods and droughts); requiring new management approaches. In this context, "Nature-based Solutions" (NbS), have shown to be a promising way to promote water security, in a complementary way, by increasing the resilience of supply systems in the face of climate change and making the basic human and ecological water needs compatible. The main objective of this study is to propose a conceptual and analytical framework for assessing water security of raw water for public supply based on Nature-based Solutions (NbS), and its application to the Guapi-Macacu river Basin case study. The study adopted the literature review and the case study as research strategies, and differente methods were used: bibliographic research, document analysis, interviews and participant observation. The application of the analytical model identified the high level of water availability compromise in the Guapi-Macacu river Basin, the frequent scarcity of water in times of drought, and the emergence and aggravation of conflicts over water use, requiring urgent management actions. It was found that the basin has biophysical, social and economic characteristics that are mostly favorable for the implementation of NbS. The NbS proved to be relevant for increasing water security, potentially contributing to reducing the risk to the stressors "Land use and cover", "Erosive processes", "Polluting load" and "Interference in water bodies". The analysis of NbS-related initiatives demonstrated the involvement of many actors and different sectoral policies, which, however, lack an integrated vision and understanding for water security and the set of actions. With the exception of conservation actions, the results of NbS initiatives are still limited, and it is necessary to expand ecological restoration interventions and good agricultural practices at scale in the basin. The absence of monitoring actions for ecosystem services related to water security made it impossible to estimate the magnitude of the impacts of NbS. Among the recommendations for improvement, we highlight: strengthen capacities for the formulation, selection, conception and implantation of NbS; promote greater intersectoral and institutional cooperation; leverage continuous and long-term financing mechanisms; promote NbS cost reduction; raise awareness of society and decision makers; and fill gaps and promote methodological advances for quantifying and valuing the costs and benefits of NbS.

Keywords: Water Security. Nature-based Solutions. Water supply. Rio de Janeiro Metropolitan Area. Imunana-Laranjal System. Guapi-Macacu River Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia do rio Guapi-Macacu na Região Metropolitana do Rio de Janeiro 39
Figura 2 – Área drenante da Bacia Guapi-Macacu ao ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal 40
Figura 3 – Esquema da metodologia de pesquisa e estruturação da tese 45
Figura 4 – Termos utilizados na pesquisa bibliográfica 49
Figura 5 – Dimensões e elementos-chave que compõem o conceito de segurança hídrica 51
Figura 6 – Componentes da segurança hídrica para o abastecimento público 53
Figura 7 – Evolução das terminologias e conceitos relacionados à segurança hídrica da água bruta a partir de SbN 58
Figura 8 – Representação esquemática da classificação das medidas e soluções de SbN 74
Figura 9 – Abordagens integradas que adotam a proteção dos ecossistemas para segurança hídrica da gestão da água bruta para abastecimento público 82
Figura 10 – Principais atores, áreas de influência e barreiras relacionados ao plano de segurança da água potável 84
Figura 11 – Esquema conceitual do quadro da GIRH para alcance das ODS 90
Figura 12 – Esquema da internalização da abordagem ecossistêmica no planejamento da GIRH 91
Figura 13 – Esquema da metodologia de pesquisa: construção do arcabouço conceitual e analítico 98
Figura 14 – Passos para construção do arcabouço conceitual e analítico de segurança hídrica a partir de SbN 99
Figura 15 – Ciclo de política públicas: segurança hídrica a partir de SbN 103
Figura 16 – Modelo analítico de segurança hídrica a partir de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu 113
Figura 17 – Arcabouço conceitual de SbN 119
Figura 18 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de “formulação de agenda” (base legal e atores relacionados) 122
Figura 19 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de “diagnóstico e análise do problema” (avaliação do nível de segurança hídrica) 137

Figura 20 – Modelo analítico para avaliação do nível atual de segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal, RJ 139
Figura 21 – Matriz de determinação do grau de risco por estressor.....153
Figura 22 – Modelo analítico de segurança hídrica: Vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano de água.....157
Figura 23 – Matriz de determinação da vulnerabilidade 157
Figura 24 – Mapa de uso da terra e cobertura florestal da Bacia do rio Guapi-Macacu ano 2015, escala 1:100.000 163
Figura 25 – Mapa das APPs degradadas e conservadas na Bacia do rio Guapi-Macacu e percentuais de APP degradada por sub-bacias 167
Figura 26 – Mapa do indicador de suscetibilidade a erosão por sub-bacias da área de contribuição da captação do sistema Imunana-Laranjal.....171
Figura 27 – Estimativa de perda de solos (ton/ano) por sub-bacias da área de contribuição da captação do sistema Imunana-Laranjal.....173
Figura 28 – Carta Topográfica da Baixada da Zona do Litoral da baía do Rio de Janeiro 176
Figura 29 – Intervenções do DNOS com retificações e dragagens 177
Figura 30 – Esquema representativo do estado do Rio de Janeiro, Bacia Guapi-Macacu e o assentamento São José da Boa Morte, Cachoeiras de Macacu/RJ 180
Figura 31 – Comportas na Bacia do rio Guapi-Macacu 183
Figura 32 – Variação do IQANSF para as estações nos rios Macacu e Guapi-Macacu entre 2012 e 2019.....197
Figura 33 – Ocorrências de DBO e violações de classe 2 199
Figura 34 – Ocorrências de OD e violações de classe 2.....199
Figura 35 – Ocorrências de Coliformes Termotolerantes e violações de classe 2 200
Figura 36 – Ocorrências de Turbidez e violações de classe 2 200
Figura 37 – Ocorrências de Fósforo total e violações de classe 2.....201
Figura 38 – Ocorrências de Sólidos Totais e violações de classe 2 201
Figura 39 – Matriz de determinação do grau de risco associado aos estressores relacionados à pressão sobre as condições ambientais da bacia.....214
Figura 40 – Índice de perdas por ligação e na distribuição – sistema Imunana-Laranjal.....219
Figura 41 – Diagrama unifilar com a localização das estações de monitoramento pluvio-fluviométrico na Bacia do rio Guapi-Macacu 237
Figura 42 – Matriz de determinação do grau de risco associado ao estressor “Demanda pelo uso da água” 240

Figura 43 – Precipitação média mensal para o período comum de 1976-1980.....241
Figura 44 – Resultados do Índice de Porcentagem Normal 242
Figura 45 – Mapa de áreas suscetíveis a inundação na Bacia do rio Guapi-Macacu e a classificação do percentual de áreas suscetíveis a inundação por sub-bacias 245
Figura 46 – Inundação registrada em 2019 na área do antigo encontro dos rios Macacu e Guapiaçu 250
Figura 47 – Nível do canal de Imunana em eventos de estiagem na estação seca (01/jul a 31/out) em anos de estiagem 255
Figura 48 – Nível do canal de Imunana na estação úmida (01/dez a 31/jan) em anos de estiagem 256
Figura 49 – Fotos do subsistema de captação de água na estiagem de 2007 257
Figura 50 – Matriz de determinação do grau de risco associado ao estressor "Eventos climáticos extremos" 261
Figura 51 – Diagrama esquemático do sistema de abastecimento de água Imunana-Laranjal 263
Figura 52 – Subsistema de captação do sistema Imunana-Laranjal 265
Figura 53 – ETA Laranjal: unidades constituintes da ETA n 1.....266
Figura 54 – Esquema dos subsistemas de recalque e adução de água tratada do sistema Imunana-Laranjal 266
Figura 55 – Vulnerabilidade do sistema de abastecimento Imunana-Laranjal/subsistema de captação em diferentes situações hidrológicas 268
Figura 56 – Vulnerabilidade do sistema Imunana-Laranjal/subsistema de tratamento em diferentes situações hidrológicas 269
Figura 57 – Matriz de determinação do grau de risco associado aos estressores analisados .271
Figura 58 – Síntese da avaliação do risco à água bruta captada pelo sistema Imunana-Laranjal por estressor 271
Figura 59 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de "formulação e seleção de alternativas" (análise de pertinência e aplicabilidade de SbN).....275
Figura 60 – Síntese da análise de pertinência das SbN para a segurança hídrica da água bruta da Bacia do rio Guapi-Macacu 304
Figura 61 – Mapa de áreas prioritárias para restauração florestal na Bacia do rio Guapi-Macacu 318
Figura 62 – Mapa de sub-bacias prioritárias para restauração florestal na Bacia do rio Guapi-Macacu.....319

Figura 63 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de “concepção e implementação de iniciativas de SbN” 325
Figura 64 – Unidades de Conservação na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu 331
Figura 65 – Mapa das áreas restauradas pela REGUA.....349

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Mananciais e sistemas de abastecimento público na Bacia do rio Guapi-Macacu (vide Figura 2) 41
Quadro 2 – Serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica 67
Quadro 3 – Serviços ecossistêmicos dependentes da água 72
Quadro 4 – Principais medidas e ações de SbN para segurança hídrica e conceitos associados (continua) 76
Quadro 5 – Exemplos de medidas de SbN e serviços ecossistêmicos relacionados à água 78
Quadro 6 – Resumo das abordagens relacionadas à proteção dos ecossistemas para segurança hídrica da água bruta 81
Quadro 7 – Principais perguntas relacionadas aos estudos de análise para cada etapa do ciclo da política pública 103
Quadro 8 – Meios de pesquisa e documentos consultados na pesquisa bibliográfica e análise documental 115
Quadro 9 – Diretrizes de ações para SbN (continua) 120
Quadro 10 – Plano de Ação do PERHI-RJ 131
Quadro 11 – Unidades territoriais de planejamento e gestão e instâncias de governança na Bacia do rio Guapi-Macacu 135
Quadro 12 – Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade 147
Quadro 13 – Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público (continua) 151
Quadro 14 – Empresas de extração mineral na Bacia do rio Guapi-Macacu 194
Quadro 15 – Base de dados e estudos consultados para análise dos parâmetros de qualidade de água na Bacia do rio Guapi-Macacu 195
Quadro 16 – Estações de Qualidade de água na Bacia do rio Guapi-Macacu 196
Quadro 17 – Quadro síntese dos estressores de “Pressão sobre condições ambientais da bacia” 208
Quadro 18 – Quadro síntese dos estressores de “Pressão sobre condições ambientais da bacia” 209
Quadro 19 – Quadro síntese dos estressores de “Pressão sobre condições ambientais da bacia” 210

Quadro 20 – Quadro síntese dos estressores de “Pressão sobre condições ambientais da bacia” 211
Quadro 21 – Síntese da política de saneamento básico por município 212
Quadro 22 – Faixas de classificação do ICO e IRA 225
Quadro 23 – Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica atual do abastecimento público.....231
Quadro 24 – Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público 259
Quadro 25 – Quadro analítico da aplicabilidade de Soluções baseadas na Natureza para segurança hídrica em determinada bacia hidrográfica (continua) 279
Quadro 26 – Problemas e limitações para avaliação de políticas ambientais 295
Quadro 27 – Quadro síntese da aplicabilidade de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu 324
Quadro 28 – Medidas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu selecionadas para análise 328
Quadro 29 – Área cadastrada no BANPAR na Bacia do rio Guapi-Macacu 341
Quadro 30 – Compromissos de restauração florestal executados na Bacia do rio Guapi-Macacu, em área parcial ou integral da bacia, e previstos para a RH V em novembro de 2019 343
Quadro 31 – Sistematização das iniciativas de SbN existentes na Bacia do rio Guapi-Macacu e indicadores de resultado 383
Quadro 32 – Quadro resumo da Legislação Federal relacionada a SbN para segurança hídrica (continua).....431
Quadro 33 – Quadro resumo da Legislação Estadual relacionada a SbN para segurança hídrica (continua).....437
Quadro 34 – Quadro resumo da Legislação Municipal relacionada a SbN para segurança hídrica 443
Quadro 35 – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 1º semestre de 2018 (28/06/2018) e violação ao enquadramento (continua) 444
Quadro 36 – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 1º semestre de 2018 (28/06/2018) e violação ao enquadramento (conclusão).....445
Quadro 37 – Parâmetros orgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 1º semestre de 2018 (28/06/2018) e violação ao enquadramento (continua) 445

Quadro 38 – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 2º semestre de 2018 (18/12/2018) e violação ao enquadramento (continua) 446
Quadro 39 – Parâmetros orgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 2º semestre de 2018 (18/12/2018) e violação ao enquadramento (continua) 448
Quadro 40 – Produção agrícola na área diretamente afetada pela barragem do Guapiaçu 450
Quadro 41 – Dados de identificação das ocorrências de inundações registradas entre 2000 e 2019, por ano, mês e município (continua) 451
Quadro 42 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de julho) de 2002 a 2018...453
Quadro 43 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de agosto) de 2002 a 2018 454
Quadro 44 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de setembro) de 2002 a 2018 455
Quadro 45 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de outubro) de 2002 a 2018 456
Quadro 46 – Níveis do canal de Imunana no período úmido (01/12/2015 a 31/01/2016) 456
Quadro 47 – Caracterização das microbacias trabalhadas no programa Rio Rural na Bacia do rio Guapi-Macacu 457

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso e cobertura da Bacia do rio Guapi-Macacu para os anos 2007, 2013 e 2015 e variação para o período 162
Tabela 2 – APPs conservadas e degradadas na Bacia do rio Guapi-Macacu por sub-bacias. 168
Tabela 3 – Estimativa na retenção e exportação de sedimentos (tonelada/ano) por sub-bacias da área de contribuição da captação do sistema Imunana-Laranjal (Bacia do rio Guapi-Macacu) 172
Tabela 4 – Caracterização das glebas do assentamento de São José da Boa Morte segundo a destinação do uso 181
Tabela 5 – Índices de atendimento, coleta e tratamento de esgoto para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim 189
Tabela 6 – Índices de cobertura de coleta de resíduos sólidos urbanos para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim 191
Tabela 7 – Número de estabelecimentos agropecuários e uso de agrotóxicos e adubação química e orgânica 192
Tabela 8 – Outorgas concedidas para lançamento de efluentes de atividades industriais na região 193
Tabela 9 – Dados brutos do IQANSF (2012-2019) para as estações nos rios Macacu e Guapi-Macacu 197
Tabela 10 – Percentual de amostras em desconformidade com enquadramento para as estações nos rios Macacu e Guapi-Macacu 202
Tabela 11 – Análises Físicas e Químicas da qualidade da água de superfície na Bacia do rio Guapi-Macacu 205
Tabela 12 – Precipitação anual média e vazões de referência na Bacia do rio Guapi-Macacu 215
Tabela 13 – Disponibilidade per capita para os municípios atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal 216
Tabela 14 – Populações urbanas das sedes municipais de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí e Cachoeiras de Macacu 217
Tabela 15 – Estimativas de demanda de água para abastecimento humano dos municípios integralmente atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal e Cachoeiras de Macacu sem redução de perdas físicas 217

Tabela 16 – Índice de perdas e volume de água perdido na distribuição 220
Tabela 17 – Índice de atendimento de água (total e urbano) para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Niterói, Itaboraí, São Gonçalo e Maricá (bairros Inoã e Itaipuaçu) .221
Tabela 18 – Demanda estimada para 2020 e 2030 para os usos abastecimento humano, irrigação, uso industrial e mineração para a Bacia do rio Guapi-Macacu 222
Tabela 19 – Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação e respectivo método de irrigação utilizado 223
Tabela 20 – Área irrigada nos estabelecimentos agropecuários e respectivo de método de irrigação utilizado 223
Tabela 21 – Outorgas concedidas para captação de água superficial na Bacia do rio Guapi-Macacu.....223
Tabela 22 – Empresas de captação e envase de água mineral e extração mineral na Bacia do rio Guapi-Macacu.....224
Tabela 23 – Balanço hídrico na Bacia do rio Guapi-Macacu.....225
Tabela 24 – Postos pluviométricos analisados 241
Tabela 25 – Resultados do índice SPI12 para o mês de setembro como referência no período de 1969 a 1994.....243
Tabela 26 – Resultados do índice SPI12 para o mês de setembro como referência no perído de 1995 a 2017.....243
Tabela 27 – Resultados do índice SPI6 para o período seco e úmido 243
Tabela 28 – Áreas susceptíveis a inundações na Bacia do rio Guapi-Macacu.....246
Tabela 29 – Registro de ocorrências de inundações (alagamentos, enxurradas e inundações) e inundações com deslizamentos para os municípios da Bacia do rio Guapi-Macacu de 1979 a 2019.....248
Tabela 30 – Registro de ocorrências e danos de inundações (alagamentos, enxurradas e inundações) e inundações com deslizamentos para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim de 2000 a 2019 249
Tabela 31 – Número de estabelecimentos agropecuários e área total por classe de tamanho 307
Tabela 32 – Número de estabelecimentos agropecuários por condição legal das terras.....307
Tabela 33 – Áreas prioritárias para restauração florestal na Bacia do rio Guapi-Macacu 317
Tabela 34 – Unidades de Conservação (UCs) na Bacia do rio Guapi-Macacu, com cálculo de área por tipo, excluídas as sobreposições de área entre as UCs 330
Tabela 35 – Unidades de Conservação na Bacia do rio Guapi-Macacu.....332

Tabela 36 – Unidades de Conservação localizadas fora da bacia e a jusante do ponto de captação do sistema Imumana-Laranjal.....334
Tabela 37 – Imóveis cadastrados no sistema de cadastro ambiental rural (SICAR) na Bacia do rio Guapi-Macacu 336
Tabela 38 – Compromissos de restauração florestal para o estado do Rio de Janeiro e para a RH V em novembro de 2019.....343
Tabela 39 – Valor correspondente a conversão da obrigação de compensação de restauração florestal em obrigação de depositar conforme Resolução SEA Nº 12/2019 345
Tabela 40 – Resultados das ações de restauração florestal promovidas pela REGUA por ano 350
Tabela 41 – Resultados do Projeto Replanta Macacu: número total de propriedades participantes e área restaurada por ano.....353
Tabela 42 – Produção agrícola em 2018 por município.....356
Tabela 43 – Faturamento da bovinocultura de corte em 2018 por município.....356
Tabela 44 – Faturamento da bovinocultura de corte em 2018 por município.....356
Tabela 45 – Número de estabelecimentos agropecuários que fazem agricultura e pecuária orgânica.....357
Tabela 46 – Número de estabelecimentos agropecuários que adotam práticas de conservação do solo.....357
Tabela 47 – Número de estabelecimentos agropecuários que recebem assistência técnica e origem da assistência 358
Tabela 48 – Investimentos do Programa Rio Rural em subprojetos ambientais na Bacia do rio Guapi-Macacu (continua) 363
Tabela 49 – Valor de repasse do ICMS ecológico em 2019 371

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC	Agricultura de Baixo Carbono
AbE	Adaptação Baseada em Ecossistemas
ACP	Ação Civil Pública
ADI	Ação Direta de Inconstitucionalidade
AE	Abordagem Ecossistêmica
AEM	Avaliação Ecossistêmica do Milênio
AIPM	Áreas de Interesse para Proteção e Recuperação de Mananciais
ALA	Autorização para o Licenciamento Ambiental
ALERJ	Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro
AMAE	Autarquia Municipal de Água e Esgoto de Cachoeiras de Macacu
AMC	Análise Multicriterial
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APM	Área de Proteção Máxima
APP	Áreas de Preservação Permanente
APPOC	Área de Proteção de Poços e Outras Captações
APRF	Áreas Prioritárias Para Restauração Florestal
ARC	Área de Restrição e Controle
ARSAE-MG	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
ASPA	Acompanhamento Sistemático da Produção Agropecuária
ASV	Autorização Ambiental para Supressão de Vegetação
AVADAN	Avaliação de Danos
BANPAR	Banco Público de Áreas para Restauração
BIRD	Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BPBES	Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAR	Cadastro Ambiental Rural

CAUC	Serviço Auxiliar para Transferências Voluntárias do Governo Federal
CBH-BG	Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá
CCA	Câmara de Compensação Ambiental
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
CECA	Comissão Estadual de Controle Ambiental
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CEPERJ	Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro
CEPRM	Cadastro Estadual de Iniciativas de Proteção de Mananciais
CERHI-RJ	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro
CMIG	Câmara Metropolitana de Integração Governamental do Rio de Janeiro
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CNP	Contribuições da Natureza para as Pessoas
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP	Conferência das Partes
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPI	Comissão Parlamentar de Inquérito
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CRA	Cota de Reserva Ambiental
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
DRM	Departamento de Recursos Minerais
ECP	Estado de Calamidade Pública
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMATER-RIO	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	*Environmental Protection Agency*
ESEC	Estação Ecológica

ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUPS	Equação Universal de Perda de Solo
FAO	*Food and Agriculture Organization of United Nations*
FAPUR	Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica da UFRRJ
FGB	Fundação Grupo Boticário de Proteção a Natureza
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FIRJAN	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FMP	Faixas Marginais de Proteção
FPEIR	Força-motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta
FUNDRHI	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
GC	Grau de Conservação
GEF	*Global Environment Facility*
GEOINEA	Base de dados Geoespaciais do Instituto Estadual do Ambiente
GESEF	Gerência de Serviço Florestal
GGV	Guapiaçu Grande Vida
GI	Grau de Implementação
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
GT	Grupo de Trabalho
GTSH	Grupo de Trabalho de Segurança Hídrica
GWP	*Global Water Partnership*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ICO	Índice de Comprometimento da Oferta hídrica
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IFCA	Índice Final de Conservação Ambiental
ILPF	Integração Lavoura, Pecuária e Floresta
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
InVEST	*Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs*

IPBES	*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*
IQA	Índice de Qualidade de Água
IRA	Índice de Retirada de Água
IrMA	Índice relativo de Mananciais de Abastecimento
ISH	Índice de Segurança Hídrica
IUCN	*International Union for Conservation of Nature*
IWA	*Internacional Water Organization*
IWRM	*Integrated Water Resources Management*
IWS	*Investments for Watershed Services*
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
MAB	Movimento dos Atingidos por Barragens
MAES	Mapeamento e Avaliação de Ecossistemas e seus Serviços
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCF	Mosaico de Unidades de Conservação da Mata Atlântica Central Fluminense
MFCF	Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MONA	Monumento Natural
MPF	Ministério Público Federal
MPRJ	Ministério Público do Rio de Janeiro
NOPRED	Notificação Preliminar de Desastre
NSF	*National Sanitation Foundation*
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PAOL	Projeto de Alinhamento de Orla de Lago
PAP	Plano Plurianual
PAR	Projeto de Alinhamento de Rio
PER	Pressão, Estado e Resposta

PERHI-RJ	Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro
PESH	Plano Estadual de Segurança Hídrica do Rio de Janeiro
PETP	Parque Estadual dos Três Picos
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
PLANO ABC	Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PN	Índice de Porcentagem Normal
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRA	Programa de Regularização Ambiental
PRADA	Projetos de Recomposição de Área Degradada e Alterada
PROHIDRO	Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
PRO-PSA	Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
PSE	Pagamento por Serviços Ecossistêmicos
REDUC	Refinaria de Duque de Caxias
REGUA	Reserva Ecológica do Guapiaçu
RH V	Região Hidrográfica da Baía de Guanabara
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RIO RURAL	Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável do Rio de Janeiro
RL	Reserva Legal
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
S2iD	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A
SbN	Soluções baseadas na Natureza
SciELO	*Scientific Eletronic Library Online*
SDR	*Sediment Delivery Ratio*

SE	Serviços Ecossistêmicos
SEAPA	Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento
SEAS	Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade
SEDEC-RJ	Secretaria de Estado de Defesa Civil do Rio de Janeiro
SEGRHI	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SEMAR	Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SERLA	Fundação de Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
SFB	Serviço Florestal Brasileiro
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIGMINE	Sistema de Informações Geográficas da Mineração
SIPROL	Sistema de Proteção dos Lagos e Cursos d'água do Estado do Rio de Janeiro
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLAM	Sistema de Licenciamento Ambiental
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SPG	Sistema Participativo de Garantia
SPI	Índice de Precipitação Padronizada
SPU	Secretaria de Patrimônio da União
STF	Supremo Tribunal Federal
STJ	Superior Tribunal de Justiça
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta
TCA	Termo de Compromisso Ambiental
TCRA	Termo de Compromisso de Regularização Ambiental
TCRF	Termo de Compromisso de Restauração Florestal
TECAB	Terminal de Cabiúnas
TEEB	*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*
TNC	*The Nature Conservancy*
UC	Unidade de Conservação
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFF	Universidade Federal Fluminense
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

UN-WATER	*United Nations for Water*
UNEP	*United Nations Environment Programme*
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
VGMA	Vegetação Secundária em estado Médio ou Avançado
VGSI	Vegetação Secundária em estágio Inicial
WHO	*World Health Organization*
WRI	*World Resources Institute*
WWC	*World Water Council*
ZEPP	Zonas Especial de Preservação Permanente

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	30
1	**SEGURANÇA HÍDRICA A PARTIR DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA: CONCEITOS, ABORDAGENS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO**	47
1.1	**Metodologia da pesquisa bibliográfica**	47
1.2	**Segurança hídrica**	50
1.2.1	Conceito de segurança hídrica	50
1.2.2	Conceito de segurança hídrica para o abastecimento público	52
1.3	**Soluções Baseadas na Natureza para segurança hídrica**	55
1.3.1	Conceito de SbN	55
1.3.2	Terminologias relacionadas a SbN	56
1.3.2.1	Proteção, manejo ou recuperação de bacias hidrográficas (mananciais)	59
1.3.2.2	Serviços ecossistêmicos	60
1.3.2.3	Capital Natural	61
1.3.2.4	Infraestrutura verde ou natural	62
1.3.2.5	Contribuição da Natureza para as Pessoas (CNP)	64
1.3.3	Como as SbN contribuem para segurança hídrica	66
1.3.3.1	Serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica	66
1.3.3.2	Serviços ecossistêmicos dependentes de água e cobenefícios	71
1.3.4	Ações de SbN para segurança hídrica	73
1.3.4.1	Classificação de medidas de SbN pelo grau de integridade, manejo e alteração dos ecossistemas	73
1.3.4.2	Classificação de medidas de SbN pela natureza da intervenção	74
1.3.4.3	Classificação de medidas de SbN pelos objetivos e impactos esperados	79
1.3.5	Abordagens relacionadas à segurança hídrica a partir de SbN	79
1.3.5.1	Segurança da água para consumo humano	82
1.3.5.2	Gestão Integrada de Recursos Hídricos	87
1.3.5.3	Abordagem Ecossistêmica	93
1.3.5.4	Considerações gerais acerca das abordagens	96
2	**CONSTRUÇÃO DO ARCABOUÇO CONCEITUAL E ANALÍTICO DE SEGURANÇA HÍDRICA A PARTIR DE SBN**	98

2.1 **Passos para a construção do arcabouço conceitual e analítico**.....98
2.2 **Discussões sobre modelos analíticos de segurança hídrica a partir de SbN**...100
2.3 **Proposta de arcabouço conceitual e analítico de segurança hídrica a partir de SbN** 112
2.3.1 Modelo de avaliação de segurança hídrica a partir de SbN 112
2.3.1.1 Coleta e análise de dados 114
2.3.1.2 Macroetapas de análise 116
2.3.2 Arcabouço conceitual de SbN para segurança hídrica.....119
3 **BASE LEGAL E ATORES RELACIONADOS À SEGURANÇA HÍDRICA A PARTIR DE SBN NA BACIA DO RIO GUAPI-MACACU** 122
3.1 **Base legal** 122
3.1.1 Legislação Federal 123
3.1.2 Legislação Estadual.....127
3.1.3 Legislação Municipal.....133
3.2 **Atores e instâncias de governança** 133
4 **AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO NÍVEL DE SEGURANÇA HÍDRICA DO SISTEMA IMUNANA-LARANJAL**.....137
4.1 **Metodologia de avaliação qualitativa do nível de segurança hídrica** 137
4.1.1 Avaliação do risco à segurança hídrica da água bruta 138
4.1.1.1 Conceitos.....138
4.1.1.2 Identificação e seleção dos estressores e impactos à quantidade e qualidade da água bruta 141
4.1.1.3 Avaliação qualitativa do risco associado a cada estressor 147
4.1.1.4 Ações de gestão.....153
4.1.2 Análise de vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano perante sua exposição ao risco associado à água bruta 154
4.2 **Resultados e discussão**.....158
4.2.1 Avaliação qualitativa do risco à segurança hídrica da água bruta da Bacia do rio Guapi-Macacu.....158
4.2.1.1 Estressores relacionados à pressão sobre condições ambientais.....158
4.2.1.2 Estressor “Demanda pelo uso da água” 215
4.2.1.3 Estressor “Eventos hidrológicos extremos”.....240
4.2.2 Avaliação qualitativa da vulnerabilidade do sistema de abastecimento público Imunana-Laranjal.....261

4.2.2.1 Caracterização geral do sistema de abastecimento público 261
4.2.2.2 Avaliação qualitativa da vulnerabilidade do subsistema de captação 267
4.2.2.3 Avaliação qualitativa da vulnerabilidade do subsistema de tratamento 268
4.2.3 Síntese de resultados e recomendações 270
5 **ANÁLISE DE PERTINÊNCIA, APLICABILIDADE E PRIORIZAÇÃO DE SBN PARA SEGURANÇA HÍDRICA** 275
5.1 **Metodologia para avaliação de pertinência e aplicabilidade das SbN para promover a segurança hídrica** 275
5.1.1 Avaliação da pertinência de SbN para segurança hídrica da água bruta 276
5.1.2 Avaliação da aplicabilidade de SbN para uma bacia hidrográfica 277
5.1.2.1 Características biofísicas, sociais e econômicas da bacia hidrográfica 282
5.1.2.2 Capacidades para adoção de SbN 287
5.2 **Resultados e discussão** 299
5.2.1 Análise da pertinência das SbN para segurança hídrica da água bruta da Bacia do rio Guapi-Macacu 299
5.2.2 Análise da aplicabilidade de SbN para a Bacia do rio Guapi-Macacu 305
5.2.2.1 Características biofísicas, sociais e econômicas da Bacia do rio Guapi-Macacu 305
5.2.2.2 Capacidades para adoção de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu 309
5.2.3 Seleção de alternativas de SbN relacionadas à segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal 320
5.2.4 Síntese de resultados e recomendações 322
6 **AVALIAÇÃO DE INICIATIVAS RELACIONADAS ÀS SBN NA BACIA DO RIO GUAPI-MACACU** 325
6.1 **Metodologia para avaliação de iniciativas de SbN** 325
6.2 **Resultados e discussão** 328
6.2.1 Análise individual das iniciativas de SbN relacionadas à segurança hídrica 328
6.2.1.1 Unidades de Conservação 329
6.2.1.2 Restauração ecológica 334
6.2.1.3 Incentivo a boas práticas agropecuárias e fortalecimento de sistemas produtivos de base sustentável 355
6.2.1.4 Instrumentos econômicos associados aos serviços ecossistêmicos 365
6.2.1.5 Controle da poluição difusa 371
6.2.1.6 Fortalecimento de capacidades 372

6.2.2 Análise integrada das iniciativas de SbN relacionadas à segurança hídrica e recomendações 374
6.2.2.1 Quanto ao arcabouço conceitual de SbN 374
6.2.2.2 Contribuição das SbN para segurança hídrica 380
CONCLUSÕES 384
REFERÊNCIAS 392
APÊNDICE A – Legislação Federal relacionada a SbN 431
APÊNDICE B – Legislação Estadual relacionada a SbN 437
APÊNDICE D – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do Sistema Imunana-Laranjal 444
APÊNDICE E – Produção agrícola na área afetada pela barragem do Guapiaçu 450
APÊNDICE F – Ocorrência de inundações, entre 2000 a 2009, na Bacia do rio Guapi-Macacu 451
APÊNDICE G – Registros dos níveis do canal de Imunana, de 2002 a 2018, em eventos de estiagem 453
APÊNDICE H – Microbacias do programa Rio Rural na bacia do rio Guapi-Macacu 457

INTRODUÇÃO

Conforme prevê a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), a gestão dos recursos hídricos deve proporcionar o uso múltiplo das águas. Dentre os principais usos das águas, destacam-se o abastecimento público, a irrigação, o uso industrial, a geração de energia, a navegação, o turismo e a recreação, a pesca e aquicultura, a manutenção dos ecossistemas, dentre outros. Esta tese adota como recorte de pesquisa a segurança hídrica para o abastecimento público, considerado o uso prioritário para atendimento em situações de escassez hídrica, conforme definido no Art. 2° da Lei n° 9.433/97 (Política Nacional de Recursos Hídricos).

Segundo a ONU, a segurança hídrica é "a capacidade de uma população em assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, do bem-estar humano e do desenvolvimento socioeconômico; garantir proteção contra a poluição hídrica e desastres relacionados à água; preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política" (UN-WATER, 2013a). A segurança hídrica é crucial para a sobrevivência e o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas, e surge como um grande desafio global nos próximos anos (NAGABHATLA et al., 2018). Estima-se que a demanda global de água irá aumentar em 55% até 2050, principalmente devido à crescente demanda por produção de eletricidade térmica, uso industrial e doméstico (UNEP, 2015), e o déficit hídrico global será de 40% até 2030, sob o cenário tendencial ou *business-as-usual* (2030 WRG, 2009). Cerca de 54% da população global é urbana, e é previsto aumento para 60% até 2030 e para 66% até 2050 (UNDESA, 2014). Desde a década de 90, a qualidade da água piorou em quase todos os rios da América Latina, África e Ásia, com a poluição severa por patógenos, afetando cerca de um terço de todos os trechos de rios nessas regiões (UNEP, 2016).

Os problemas relacionados à escassez de água e ao comprometimento da sua qualidade tendem a se agravar em função do crescimento demográfico e do aumento das demandas, do envelhecimento das infraestruturas de abastecimento, do acirramento dos conflitos regionais e internacionais, do aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos (inundações e estiagens), das incertezas e variabilidades dos regimes hídricos num contexto de mudanças climáticas, exigindo novas abordagens de gestão (UNEP, 2012a).

Historicamente, as medidas de gestão de recursos hídricos voltadas para a segurança hídrica foram centradas em soluções de engenharia, deixando em segundo plano medidas de prevenção ou mitigação de impactos sobre a água, a partir de uma perspectiva de gestão

integrada de bacias hidrográficas e do meio ambiente (GLEICK, 2003). Tradicionalmente, os gestores urbanos concentram seus esforços no investimento em infraestruturas para aumentar a disponibilidade de água bruta (reservação e transposição) e a capacidade de produção de água potável (sistemas integrados de abastecimento de água), em detrimento da gestão da demanda (PALMER et al., 2015). As políticas de gestão de recursos hídricos no século XX contaram com construção massiva de soluções de engenharia ou "infraestrutura cinza"[1], tais como barragens, aquedutos, tubulações e complexos de estações de tratamento de água para o atendimento das demandas de água. Essas instalações trouxeram grandes benefícios para bilhões de pessoas, mas também tiveram graves custos socioeconômicos e ambientais (GARTNER et al., 2013).

O desenvolvimento humano, no cenário tendencial ou *business as usual*, tem pressionado e ameaçado a capacidade de adaptação dos ecossistemas, trazendo discussões sobre os limites de sustentabilidade e formas de atuação para prevenir que se ultrapasse o seu ponto de inflexão, liminar no qual os ecossistemas não serão mais capazes de recuperar suas funções e serviços (MAAS, 2012). As soluções tradicionais adotadas não tiveram êxito em alcançar um equilíbrio entre a utilização dos recursos e a proteção dos ecossistemas, privilegiando o atendimento das demandas em detrimento de significativos impactos na biodiversidade aquática, criando barreiras de circulação dos organismos e alterando os regimes de escoamento e os habitats (OZMENT et al., 2015). Além disso, gerou uma forte dependência de esquemas de infraestrutura cinza em grande escala, com altos custos ambientais, sociais e políticos.

As incertezas e variabilidades associadas às alterações do uso do solo, mudanças climáticas e crescimento populacional devem impactar a segurança hídrica, alimentar e energética e trazem um desafio sem precedentes para o planejamento futuro das soluções de engenharia. Investimentos de longa duração em infraestrutura serão expostos às mudanças das condições climáticas, que de acordo com a maioria dos modelos, irá variar muito em relação às condições naturais (STOCKER e al., 2013).

Um outro aspecto crítico é que a maioria das infraestruturas de água construídas na América estão perto do fim de sua vida útil, segundo a Sociedade Americana de Engenheiros

[1] Infraestrutura cinza é uma solução de engenharia humana utilizando sistemas não-vivos e que necessitam de manutenção (geralmente construções de concreto e aço) concebidos para proporcionar uma função requerida (WBCSD, 2015). Na literatura, os termos infraestrutura cinza (ex. estradas, sistemas de saneamento, etc.) e infraestrutura social (ex: hospitais, escolas, prisões) são comumente agrupadas e referidas como infraestrutura construída (BENEDICT; MCMAHON, 2006). Na área de recursos hídricos, o conceito de infraestrutura construída contempla as infraestruturas de engenharia humana como estações de tratamento de água, reservatórios, barragens, *by-pass*, sistemas de transposição, dentre outros (GARTNER et al., 2013).

Civis (AWWA, 2013). A estimativa de investimentos em infraestrutura hídrica para atendimento pleno das demandas de água é de US$1,32 trilhão por ano nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), Brasil, Rússia, Índia e China; e os investimentos de recursos públicos e privados, doações e financiamentos totalizam cerca de US$ 540 bilhões por ano em despesas de operação (manutenção, reparo e substituição), apresentando um déficit de mais de US$ 700 milhões anuais em investimentos (WEF, 2013). Grandes soluções de infraestrutura têm se tornado cada vez menos atrativas em função dos elevados custos de implantação de novas estruturas e a manutenção ou substituição das existentes e da inacessibilidade de novos mananciais, exigindo novas abordagens e soluções de menor custo para assegurar o atendimento das necessidades humanas básicas de água (GLEICK, 2003).

Nesse contexto, a atenção para as Soluções baseadas na Natureza (SbN) tem crescido significativamente nos últimos anos, a partir da sua integração nas políticas de recursos hídricos, segurança alimentar, meio ambiente e redução de risco de desastres, e da compreensão de que ao aumento das SbN é fundamental para consecução dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) (UN-WATER, 2018). Segundo Cohen-Shacham et al. (2016), entende-se como SbN "ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, abordando os desafios da sociedade de forma eficaz e adaptativa, e proporcionando simultaneamente o bem-estar humano e benefícios à biodiversidade". A segurança hídrica a partir de SbN, por sua vez, compreende o gerenciamento proativo de processos naturais (serviços ecossistêmicos) em prol de um objetivo relacionado à água (UN-WATER, 2018).

Para a ONU, a segurança hídrica e as SbN têm uma relação recíproca, de benefício e apoio mútuo, ou seja, garantir a água para manutenção de ecossistemas saudáveis os tornará capazes de fornecer os serviços de regulação hídrica e redução de risco de desastres (inundações e secas), tão necessários para a sociedade e as comunidades bióticas (UN-WATER, 2013a). Ou seja, para além das necessidades humanas, a segurança hídrica também precisa atender às necessidades ambientais, com a preservação dos ecossistemas, seja pelo seu valor intrínseco ou pelo valor dos seus serviços para o homem e atividades produtivas.

Em relação à contribuição específica das SbN para a segurança hídrica do abastecimento, objeto desta tese, uma análise realizada em mais de 2.000 mananciais que abastecem 534 cidades no mundo, McDonald e Shemie (2014) identificaram que as SbN são efetivas para melhoria significativa da qualidade de água nas 100 maiores cidades no mundo, e que as concessionárias de abastecimento público analisadas poderiam reduzir os custos de

tratamento em até U$890 milhões de dólares por ano caso investissem em estratégias de conservação e recuperação de bacias hidrográficas. Harrison et al. (2016) aponta que quase dois terços da população mundial vivem a jusante de áreas naturais sob alta ameaça. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2015), atualmente, aproximadamente 25% das florestas no globo são manejadas para proteção do solo e da água, uma proporção que aumentou de 1990 a 2015. Estimam-se que 1,4 bilhão de pessoas se beneficiam das florestas devido ao seu papel nas reduções de sedimentos e de nutrientes na água para o abastecimento público (ABELL et al., 2017). Contudo, as evidências globais são menos animadoras.

Apesar do reconhecimento dos benefícios da proteção dos ecossistemas e dos expressivos avanços na implementação de iniciativas de SbN, constata-se que os serviços ecossistêmicos se encontram em contínuo declínio no mundo, com perdas estimadas de US$ 4,3 trilhões a US$ 20,2 trilhões por ano entre 1997 e 2011 devido a mudanças no uso da terra (CONSTANZA et al., 2014). Entre 2000 e 2012, a expansão urbana, a conversão de terras agrícolas, a extração de madeira e os incêndios florestais resultaram na perda de 1,5 a 1,7 milhão de km^2 de cobertura de árvores, ou aproximadamente 3,2% da cobertura florestal global (RIITTERS et al., 2016). As áreas de florestas tropicais e subtropicais diminuíram, principalmente devido ao desmatamento e à conversão para outros usos da terra na África e na América Latina (NAGABHATLA et al., 2018). Segundo a FAO (2015), a erosão do solo tem provocado a perda anual de 25 a 40 bilhões de toneladas de terra, reduzindo significativamente a produtividade das culturas e a capacidade do solo de regular a água, o carbono e os nutrientes e transportando entre 23-42 milhões de toneladas de nitrogênio e entre 15-26 milhões de toneladas de fósforo, refletindo no comprometimento da qualidade da água.

Segundo Bennett e Carroll (2014), a maioria dos investimentos do setor ainda é direcionada para soluções de infraestrutura cinza cujos investimentos globais representaram cerca de 98% do valor total (US$ 542,5 bilhões) no ano de 2013, enquanto os investimentos em SbN compreenderam apenas 2% (US$ 9,56 bilhões) do valor total. Além disso, segundo os autores, os benefícios das SbN, incluindo a redução de riscos, não são incorporados como parte das práticas normais de negócios e nos padrões de contabilidade financeira no serviço público, resultando em investimentos para infraestrutura que não expressam o conjunto de soluções de melhor custo-benefício.

A gestão da água em cidades e municípios precisa evoluir de abordagens convencionais para estratégias de gestão inovadoras que combinem SbN e infraestrutura cinza e incluam outras dimensões multifacetadas, como boa governança, microfinanciamento para intervenções em

escala comunitária, gestão de conflito relacionados à água, políticas de preços e estratégias para redução do risco de desastres e resiliência da comunidade (NAGABHATLA et al., 2018). A sustentabilidade ao longo prazo requer um compromisso global de abordar a segurança hídrica atrelada ao compromisso de gerir adequadamente o capital natural para provisão de serviços ecossistêmicos no futuro (GARRICK et al., 2017).

Dessa forma, o presente estudo parte do pressuposto que as SbN têm um papel fundamental para o aumento da segurança hídrica em tempos de incertezas, mudanças globais e intensificação de eventos extremos, pois buscam compatibilizar o atendimento das necessidades básicas humanas com as demandas ecológicas da água, aumentar a resiliência para as mudanças climáticas e potencializar cobenefícios e coinvestimentos.

Ao mesmo tempo, há um relativo consenso na literatura de que as medidas de proteção dos ecossistemas, isoladamente, nem sempre são suficientes para garantir a segurança hídrica, pois mesmo que o suprimento de água seja derivado de uma bacia hidrográfica protegida e intocada, é necessária uma infraestrutura cinza para armazenar, captar, tratar e distribuir essa água aos usuários (UN-WATER, 2018). Com isso, outro pressuposto desta pesquisa é de que SbN e infraestrutura cinza não são concorrentes ou excludentes entre si, e tomadores de decisão devem realizar escolhas a partir da análise integrada e complementar das SbN com as alternativas de infraestrutura cinza em prol para segurança hídrica (GARTNER et al., 2013; MCDONALD; SHEMIE, 2014; OZMENT et al., 2015; UNEP, 2014).

Problemática

A comunidade acadêmica e as agências de desenvolvimento têm cada vez mais priorizado a agenda de segurança hídrica, reconhecendo a necessidade de novas abordagens para o enfrentamento dos desafios do século XXI, e integrando soluções tradicionais associadas às medidas de SbN (COHEN-SHACHAM et al., 2016). Apesar do crescimento das iniciativas de SbN no mundo, ainda há uma compreensão limitada das condições que as favorecem ou desfavorecem (HUBER-STEARNS et al., 2017). Para Romulo et al. (2018), a documentação e o monitoramento do desempenho de inciativas de SbN são importantes para fornecer dados para testar os mecanismos pelos quais as condições estão associadas à existência e à sustentabilidade dos programas, e mais investigações interdisciplinares e sub-regionais são necessárias para elucidar condições específicas.

O conhecimento das dinâmicas e tendências de aplicabilidade e desempenho de novas abordagens de segurança hídrica a partir de SbN, associada à análise de suas implicações teóricas e práticas, é de fundamental importância para o avanço do conhecimento e para o aprimoramento das políticas públicas. Apesar do potencial das SbN em promover o bem-estar da sociedade, poucos trabalhos têm avaliado como essas iniciativas funcionam na prática ou discutido como experiências podem contribuir para a evolução dos programas existentes (BENNETT et al., 2013; MCDONALD; SHEMIE, 2014). Estudos dessa natureza podem contribuir para orientar a concepção de novas iniciativas, e para identificar os contextos mais adequados para a adoção dessa estratégia perante restrições biofísicas, econômicas ou institucionais (WUNDER, 2013).

Segundo Vogl et al. (2017), de modo geral, tomadores de decisão carecem de métodos e ferramentas práticas que analisem como as intervenções de SbN poderiam ser eficazes para a mitigação dos riscos de segurança hídrica, baseadas no contexto local. Para Hermoso et al. (2015), há insuficiência de estudos e trabalhos sobre design e desempenho de soluções integradas de engenharia cinza com SbN. Segundo UN-Water (2018), há uma generalizada ausência de monitoramento e comunicação dos benefícios econômicos das SbN para redução de danos extremos à infraestrutura cinza, às pessoas e à economia. Dessa forma, novas pesquisas aplicadas podem contribuir para aprimorar o planejamento e avaliação baseadas em evidências, de modo que se alcancem os objetivos dos programas (FERRARO et al., 2012; NAEEM et al., 2015).

A pesquisa bibliográfica realizada no escopo deste trabalho permitiu constatar que a literatura relacionada à segurança hídrica a partir de SbN é recente, heterogênea, complexa e muito fragmentada, em função da grande variação de terminologias e abordagens. Apesar das tentativas de aproximação e conciliação entre as diferentes abordagens existentes, as SbN enfrentam o desafio da sua concepção e operacionalização, assumindo múltiplas formas em diferentes contextos (ambientais, político-institucionais, econômicos, sociais) e escalas (município, bacia hidrográfica, país, etc.). Observou-se que o potencial em integrar os conhecimentos e em desenvolver modelos de avaliação da segurança hídrica a partir de SbN, aplicável para contextos específicos, é pouco explorado na literatura.

Não foi identificado na literatura nenhum arcabouço conceitual e metodológico de análise de segurança hídrica a partir de SbN para o abastecimento público que permitisse a aplicação dos conceitos adotados para esta pesquisa, e que avaliasse a trajetória, pertinência, aplicabilidade e eficácia de medidas de SbN para melhoria da disponibilidade de água em quantidade e qualidade da água bruta de uma determinada bacia hidrográfica. Nesse contexto,

esta tese contribui para a literatura relacionada com a proposição de um arcabouço conceitual e metodológico de análise de segurança hídrica a partir de SbN, e a sua aplicação em um estudo de caso.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, escolheu-se o caso da Bacia do rio Guapi-Macacu, considerando tanto a relevância deste manancial para o abastecimento de água da porção leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, como a vulnerabilidade do sistema de abastecimento Imunana-Laranjal. A escolha do objeto de pesquisa foi baseada nas minhas reflexões, expectativas e anseios como funcionária do Estado envolvida com a formulação e implementação de políticas de segurança hídrica a partir de SbN, desde 2013, e na preocupação de poder oferecer uma contribuição científica original e relevante ao tema, no âmbito de um doutoramento.

O estudo parte das seguintes premissas em relação ao objeto de estudo:

(i) Em qualquer cenário de planejamento de segurança hídrica, a Bacia do rio Guapi-Macacu é altamente estratégica para o abastecimento do leste da Metrópole do Rio de Janeiro, o que impõe a necessidade de sua proteção e recuperação;
(ii) As SbN são uma estratégia pertinente e aplicável para aumentar a segurança hídrica da água bruta na Bacia do rio Guapi-Macacu; e
(iii) Há várias iniciativas de SbN na área de estudo, concluídas ou em curso, conforme conceito adotado nesta tese, que contribuem para a melhoria da disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade de água bruta do sistema Imunana-Laranjal.

Partindo dessas premissas, a pesquisa foi desenvolvida a partir de um conjunto de questões norteadoras de investigação:

(i) Quais são as contribuições teóricas e práticas que podem ser extraídas da literatura para desenvolver um modelo analítico de segurança hídrica a partir de SbN, aplicável ao estudo de caso?
(ii) Qual é o nível atual de segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal? As SbN constituem uma estratégia pertinente e aplicável para aumentar o nível de segurança hídrica para o abastecimento público?
(iii) Quais são as iniciativas relacionadas às SbN existentes na Bacia do rio Guapi-Macacu, e o quanto esse conjunto contribui para atender as demandas de segurança hídrica para o abastecimento público metropolitano?
(iv) Quais são as recomendações para promover a segurança hídrica a partir de SbN?

Objeto de estudo: a Bacia do rio Guapi-Macacu – RJ

A área de abrangência deste estudo, relativa à aplicação do modelo analítico concebido, é a Bacia do rio Guapi-Macacu - RJ, na sua porção drenante que contribui para a captação do abastecimento de água do sistema Imunana-Laranjal (Figura 1), tendo como principais afluentes os rios Macacu e Guapiaçu. O rio Macacu é o maior rio da região, com suas nascentes localizadas a cerca de 1.700 m de altitude, e o rio Guapiaçu, com nascentes a 1.200 m de altitude, corre paralelo ao rio Macacu até se encontrar com o mesmo no início do canal de Imunana (BENAVIDES et al., 2009). O rio Guapimirim se encontra com o rio Macacu ao final do canal de Imunana, em razão da união artificial desses rios decorrentes de obras de controle de cheias realizadas em 1947 (ibidem). Cabe ressaltar que a bacia do rio Guapimirim não é considerada neste estudo, uma vez que o seu exutório está a jusante do ponto de captação, situado no canal de Imunana.

Com uma área total de 108.286 ha (Quadro 1), a área de estudo está inteiramente inserida na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e na Região Hidrográfica Baía da Guanabara (RH V), abrangendo os seguintes municípios: Cachoeiras de Macacu, que tem 90% do seu território na bacia; Guapimirim, com 35% de sua área na bacia; e Itaboraí, com somente 12% de seu território na bacia hidrográfica (INEA, 2015a).

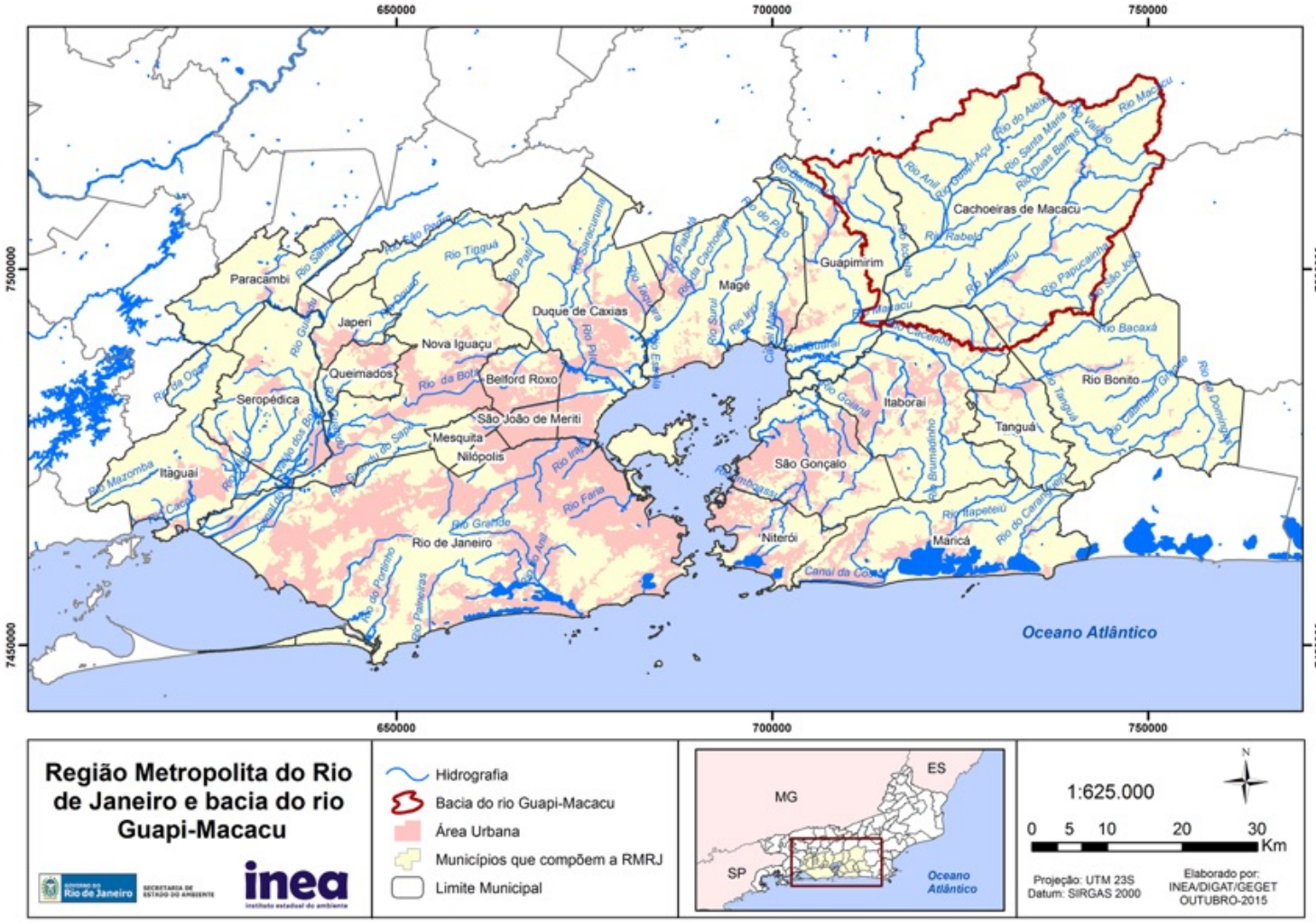
A RMRJ é composta por 21 municípios (CEPERJ, 2018) e concentra cerca de 75% da população do estado, com mais de 12,8 milhões de habitantes de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Quase a totalidade das demandas de abastecimento de água da RMRJ é atendida pelas águas transpostas da bacia do rio Paraíba do Sul para a bacia do rio Guandu, e distribuída pelo sistema integrado Acari, Guandu e Ribeirão das Lajes. (INEA, 2014a). Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos, a Bacia do rio Guapi-Macacu constitui o mais importante manancial local da RMRJ, sendo responsável pelo abastecimento de aproximadamente 2 milhões de habitantes, nos municípios de Cachoeiras de Macacu, São Gonçalo, Itaboraí, Niterói e Ilha de Paquetá, e ainda o atendimento da demanda industrial e agrícola da região (INEA, 2014a). Além do sistema Imunana-Laranjal, a bacia contribui com o fornecimento de água para sistemas individuais de abastecimento público dos municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Magé, totalizando 17 pontos de captação de água na bacia (INEA, 2015b), conforme apresentado no Quadro 1 e na Figura 2.

A bacia não possui reservatórios para acumulação de água, ao contrário da bacia do Rio Paraíba do Sul e da bacia dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim, e atualmente apresenta

déficit de disponibilidade hídrica (INEA, 2014a). Esse conjunto de características tornam este sistema de abastecimento extremamente vulnerável e dependente do regime pluviométrico. O cenário é agravado em função da intensificação da ocorrência de eventos extremos na bacia, com registro de interrupções e redução significativa da capacidade de tratamento de água nas estiagens severas nos anos de 2002, 2007, 2015, 2016 e 2017 (CEDAE, 2019a), provocando o comprometimento do abastecimento público na região.

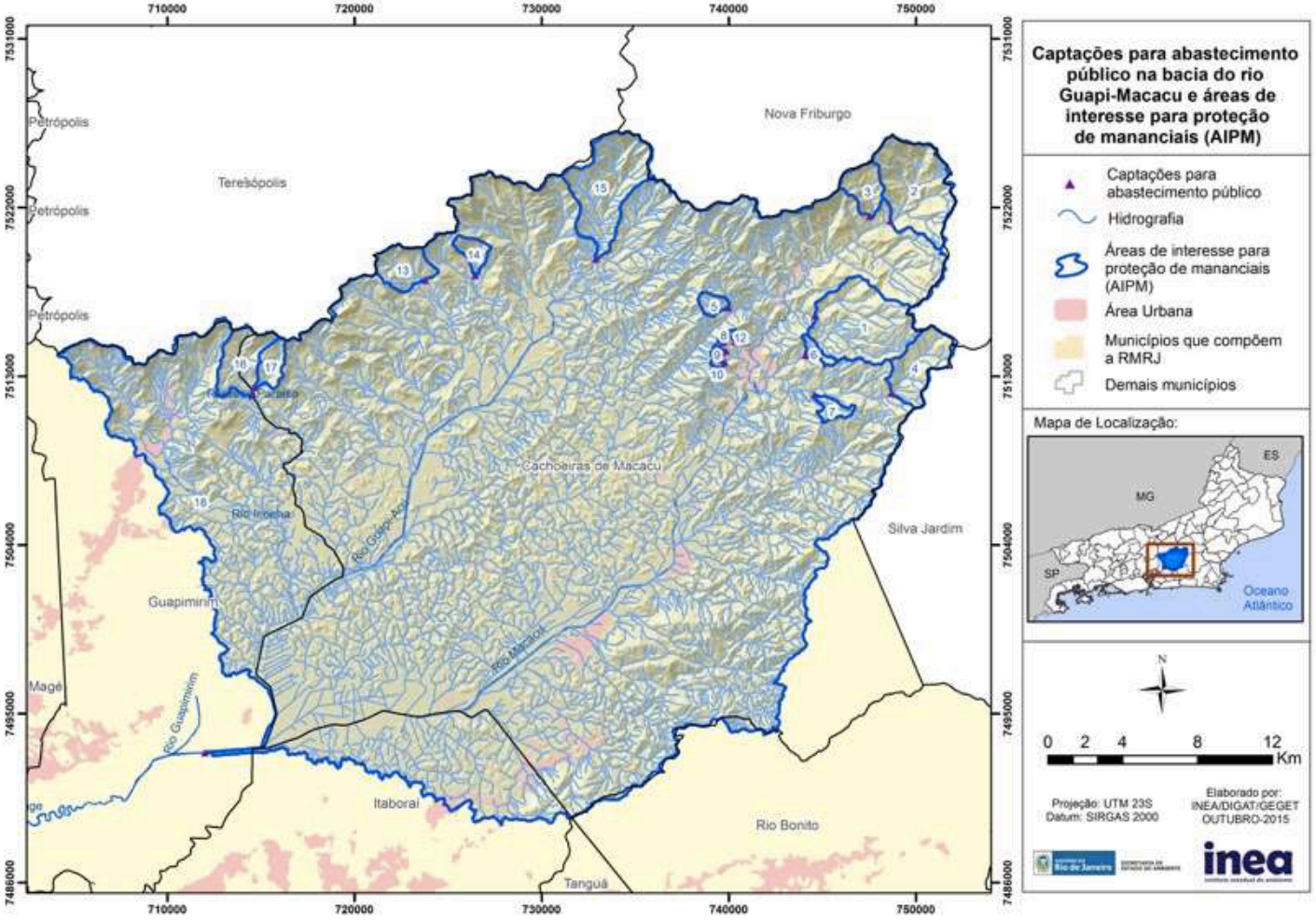
Além de sua importância estratégia para o abastecimento, a Bacia do rio Guapi-Macacu constitui um eixo de fundamental importância para a conservação da biodiversidade (PEDREIRA et al., 2011) e para redução de riscos de desastres associados a inundações (NAPOLEÃO et al., 2016).

Figura 1 – Localização da Bacia do rio Guapi-Macacu na Região Metropolitana do Rio de Janeiro



Fonte: INEA, 2015a.

Figura 2 – Área drenante da Bacia Guapi-Macacu ao ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal



Fonte: INEA, 2015b.

Quadro 1 – Mananciais e sistemas de abastecimento público na Bacia do rio Guapi-Macacu (vide Figura 2)

Nº	Operadora de água	Sistema de abastecimento	Manancial de captação	Municípios atendidos	Área da bacia (ha)	Vazão média(l/s)*
1	CEDAE	Sistema Souza	Rio Souza	Cachoeiras de Macacu (sede) e distritos de Itaboraí	785,90	236
2		Sistema Posto Pena	Rio Macacu		1.671,64	129
3		Sistema Córrego Grande	Córrego da Valona/Grande		431,8	671
4		Captação Santa Fé	Rio Boa Vista	Cachoeiras de Macacu	841,4	-
5	AMAE	Sistema Tocas Tuim	Córrego da Toca	Cachoeiras de Macacu	138,7	6,3
6		Sistema França	Córrego Piedade	Cachoeiras de Macacu	108,6	7
7		Sistema Boa Vista	Afluente do Rio Boa Vista (Córrego do Afonso)	Cachoeiras de Macacu	159,3	4,2
8		Sistema Boa Vista	Rio Ganguri	Cachoeiras de Macacu	20,2	4,2
9		Sistema Zacarias	Córrego Sirino	Cachoeiras de Macacu	36,5	12
10		Sistema Fazenda	Córrego Acir	Cachoeiras de Macacu	23,2	4
11		Sistema Lota	Córrego dos Teixeiras	Cachoeiras de Macacu	8,5	2,7
12		Captação Cirilo	Córrego sem denominação	Cachoeiras de Macacu	19,5	-
13		Captação Areal	Córrego do André (da Ressaca)	Cachoeiras de Macacu	548,2	-
14		Captação Estreiro	Córrego da Estiva	Cachoeiras de Macacu	215,1	-
15		Captação Guapiaçu	Rio Manuel Alexandre (Córrego da Caixa D'água)	Cachoeiras de Macacu	1.680,5	-
16	CEDAE	Sistema Paraíso	Rio Paraíso	Magé (Sede)	723,5	100
17			Córrego afluente do Rio Paraíso		292,6	
18	CEDAE	Sistema Imunana-Laranjal	Canal de Imunana	São Gonçalo e Itaboraí	108.286,5	6.400
	Águas de Niterói			Niterói		

Legenda: AMAE – Autarquia Municipal de Água e Esgoto de Cachoeiras de Macacu.
Nota: *Dados extraídos dos Planos Municipais de Saneamento Básico de Cachoeiras de Macacu, Magé e Niterói.
Fonte: A autora, 2020.

Objetivos da pesquisa

Esta pesquisa tem como objetivo principal a proposição de um arcabouço conceitual e metodológico de análise qualitativa de segurança hídrica da água bruta para o abastecimento público a partir de Soluções baseadas na Natureza (SbN), e sua aplicação ao caso da Bacia do rio Guapi-Macacu - RJ.

Quanto aos objetivos específicos, destacam-se:

(i) Descrever o contexto e o histórico das terminologias, conceitos e abordagens relacionadas à segurança hídrica a partir de SbN;

(ii) Analisar a base legal e os principais atores e instâncias de governança geralmente relacionadas à segurança hídrica e às SbN;

(iii) Avaliar o nível atual da segurança hídrica da água bruta, em quantidade e qualidade, para o sistema Imunana-Laranjal;

(iv) Avaliar a pertinência e aplicabilidade das SbN para segurança hídrica na Bacia do rio Guapi-Macacu;

(v) Identificar as iniciativas relacionadas a SbN existentes na Bacia Guapi-Macacu e compreender em que medida esse conjunto contribui para a segurança hídrica do abastecimento do leste metropolitano do Rio de Janeiro.

Metodologia de pesquisa

O presente trabalho constitui uma pesquisa teórico-empírica, de caráter exploratório e descritivo, que emprega o método quali-quantitativo, por meio de duas estratégias de pesquisa: a revisão bibliográfica e o estudo de caso (BOTELHO; CRUZ, 2013).

A revisão bibliográfica foi utilizada para construir o referencial teórico e conceitual sobre segurança hídrica e Soluções baseadas na Natureza, definir as terminologias e os conceitos a serem utilizados para a pesquisa, compreender as principais abordagens que adotam essa estratégia e os principais modelos analíticos de avaliação. O referencial conceitual estabelecido foi base para a construção de um arcabouço conceitual e metodológico que avalia a segurança hídrica a partir de SbN em uma determinada bacia hidrográfica e manancial de abastecimento público.

Yin (1984) considera que o estudo de caso é uma abordagem adequada para o estudo de fenômenos sociais complexos ou pouco investigados. Neste estudo, a estratégia de pesquisa de estudo de caso possibilita uma investigação detalhada e multifacetada de um fenômeno contemporâneo, ou seja, a segurança hídrica a partir de SbN.

Segundo Stake (2000 *apud* ALVES-MAZZOTI, 2006), um caso é uma unidade específica, um sistema delimitado cujas partes são integradas. Constitui uma entidade complexa, associada aos diversos contextos (biofísico, econômico, social, político, etc.) e subunidades (indivíduos, grupos, organizações, etc.), cuja compreensão holística do caso exige o exame dessas complexidades. A presente pesquisa trata de um estudo de caso único, cuja unidade de análise é o sistema de abastecimento público, que abrange dois componentes: i) a Bacia Hidrográfica do rio Guapi-Macacu (gestão da água bruta); e ii) parte do sistema da Estação de Tratamento de Água Imunana-Laranjal (captação e tratamento da água bruta; a distribuição da água tratada não é considerada nesta pesquisa).

Segundo Hartley (2004), o estudo de caso abrange uma variedade de métodos (qualitativos e/ou quantitativos) e técnicas de pesquisa, uma variedade de cobertura (um caso ou múltiplos casos), níveis variados de análise (indivíduos, grupos, organizações, campos organizacionais ou políticas sociais). O estudo de caso utilizou as técnicas de pesquisa bibliográfica, análise documental, entrevistas semiestruturadas e observação participante com o objetivo de compor a base de dados para análise da política de segurança hídrica a partir de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Antes e ao longo da pesquisa, atuei como gestora pública na coordenação e implementação de iniciativas de SbN para segurança hídrica na área de estudo, no âmbito do Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, desde 2013; no Programa Pacto pelas Águas, desde 2015; e na Iniciativa Oásis Lab Baía de Guanabara, em 2019. Portanto, houve um grande desafio em minimizar o efeito de "enviesamento do observador" (KENRICK et al., 1999), frente ao meu envolvimento direto com o tema e com a região, além de alternar entre a participação e observação, exercendo o papel e olhar ora como gestora, ora como pesquisadora. A experiência, no entanto, possibilitou-me documentar e descrever fatos, interações e contextos não identificados em literatura ou documentos, a partir da imersão e vivência do objeto de estudo e interação como os atores locais e regionais. De modo a minimizar vieses, os dados coletados nesta pesquisa foram analisados de forma integrada a pesquisa bibliográfica e análise documental, sendo discutidos frente a um referencial teórico obtido a partir da revisão da literatura.

A Figura 3, adiante, sintetiza a metodologia de pesquisa, a estruturação dos capítulos e os resultados gerados.

Estrutura da tese

O Capítulo 1 expõe o referencial teórico e conceitual construído e utilizado para a pesquisa, descrevendo os conceitos de segurança hídrica e SbN, terminologias relacionadas e as principais abordagens para implementação de SbN no contexto internacional e nacional.

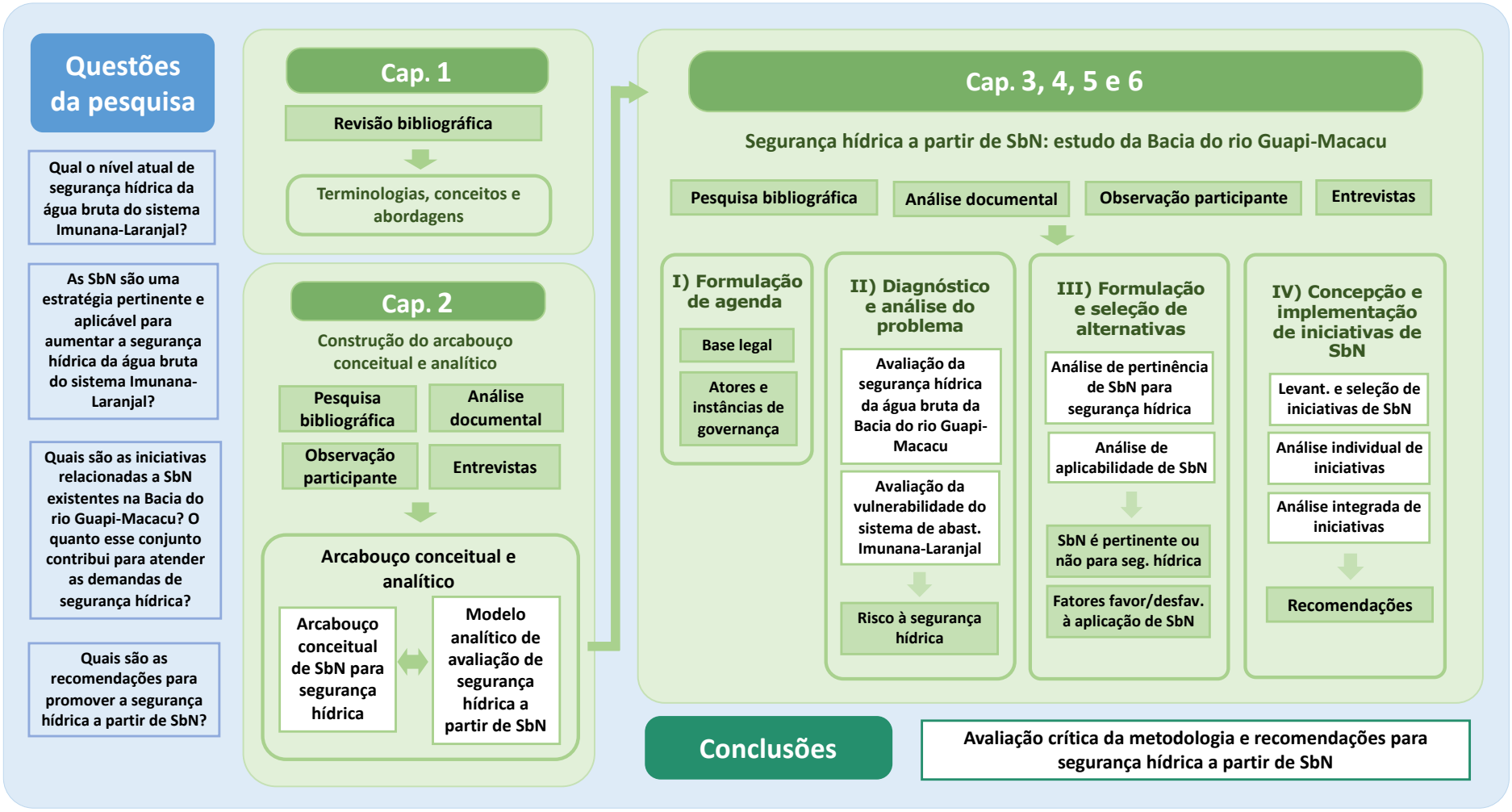
O Capítulo 2 apresenta o processo de construção do arcabouço conceitual e do modelo analítico da segurança hídrica a partir de SbN, aplicado ao caso da Bacia do rio Guapi-Macacu. O arcabouço conceitual compreende os princípios e diretrizes de ação que norteiam a avaliação da política. O modelo analítico de avaliação buscar estabelecer um panorama geral de avaliação da política de segurança hídrica a partir de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, e compreende uma abordagem de avaliação simplificada que abrange quatro macroetapas de análise: (i) formulação da agenda, (ii) diagnóstico e análise do problema, (iii) formulação e seleção de alternativas e (iv) concepção e implementação de iniciativas.

O Capítulo 3 (formulação de agenda) apresenta a base legal relacionada à segurança hídrica e SbN, bem como identifica os principais atores e instâncias de governança relacionados com a agenda na Bacia do rio Guapi-Macacu, de modo a caracterizar o contexto de institucionalização da agenda.

O Capítulo 4 (diagnóstico e análise do problema) apresenta o modelo analítico para avaliar, de forma qualitativa, o nível de segurança hídrica do abastecimento público da população do Leste Fluminense atendida pelo sistema Imunana-Laranjal, e discute os resultados obtidos pela sua aplicação.

O Capítulo 5 (formulação e seleção de alternativas) apresenta a metodologia desenvolvida para avaliar a pertinência e aplicabilidade das SbN para promover a segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, e sua aplicação busca verificar a hipótese de que as SbN podem contribuir para a segurança hídrica da água bruta na Bacia do rio Guapi-Macacu. Analisa-se a existência de estudos de priorização e seleção de alternativas de ações de gestão de SbN relacionadas à segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, e realiza-se considerações sobre suas implicações.

Figura 3 – Esquema da metodologia de pesquisa e estruturação da tese



Fonte: A autora, 2020.

O Capítulo 6 (concepção de implementação de iniciativas) analisa as iniciativas relacionadas a SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, de modo a compreender a sua trajetória de concepção, implementação e resultados alcançados. Buscou-se investigar e identificar aproximação ou distanciamento do conjunto de iniciativas em relação ao arcabouço conceitual de SbN proposto por esta pesquisa, e compreender em que medida as mesmas contribuem para diminuir o risco aos estressores que impactam a qualidade e quantidade de água bruta para o abastecimento público do sistema Imunana-Laranjal, propondo recomendações de melhoria.

Por fim, as conclusões ressaltam as considerações finais da pesquisa em termos metodológicos e do estudo de caso, refletindo sobre as contribuições e limites da pesquisa e sugestões para estudos futuros.

1 SEGURANÇA HÍDRICA A PARTIR DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA: CONCEITOS, ABORDAGENS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta o referencial teórico e conceitual relativo aos conceitos de segurança hídrica e SbN, terminologias relacionadas e as principais abordagens para implementação de SbN no contexto internacional e nacional. Este referencial constitui a base de construção do modelo de segurança hídrica da água bruta para o abastecimento público a partir de Soluções baseadas na Natureza (SbN), proposto nesta tese de doutoramento.

1.1 Metodologia da pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi realizada a partir de revisão da literatura acerca das principais iniciativas, estratégias e abordagens associadas às SbN para segurança hídrica no Brasil e no mundo.

A revisão da literatura envolveu a busca, análise e descrição de um corpo de conhecimento em busca de respostas para questões de investigação bem definidas. Para fins desta pesquisa, foram adotadas as perguntas específicas: “Qual é o contexto e o histórico de evolução das terminologias, conceitos e abordagens de gestão relacionadas à segurança hídrica a partir de Soluções baseadas na Natureza (SbN)?

Em relação ao universo da revisão de literatura de SbN para segurança hídrica, contemplou-se a pesquisa bibliográfica na literatura acadêmica internacional e nacional, abrangendo periódicos, artigos científicos, teses e dissertações, em ordem decrescente de prioridade. Além da literatura acadêmica, foram consultadas publicações, relatórios, notas técnicas e documentos oficiais produzidos por organismos multilaterais, instituições públicas e organizações não-governamentais que abordam e atuam direta ou indiretamente ao tema. A escolha desse universo justifica-se pela relevância dessas publicações quanto à formulação de diretrizes e ao aperfeiçoamento das políticas públicas, programas e projetos, trazendo importantes sínteses e contribuições para o tema.

A pesquisa limitou-se às publicações em língua inglesa e portuguesa. Em relação à data de publicação da literatura consultada, não foi adotado um critério de restrição temporal,

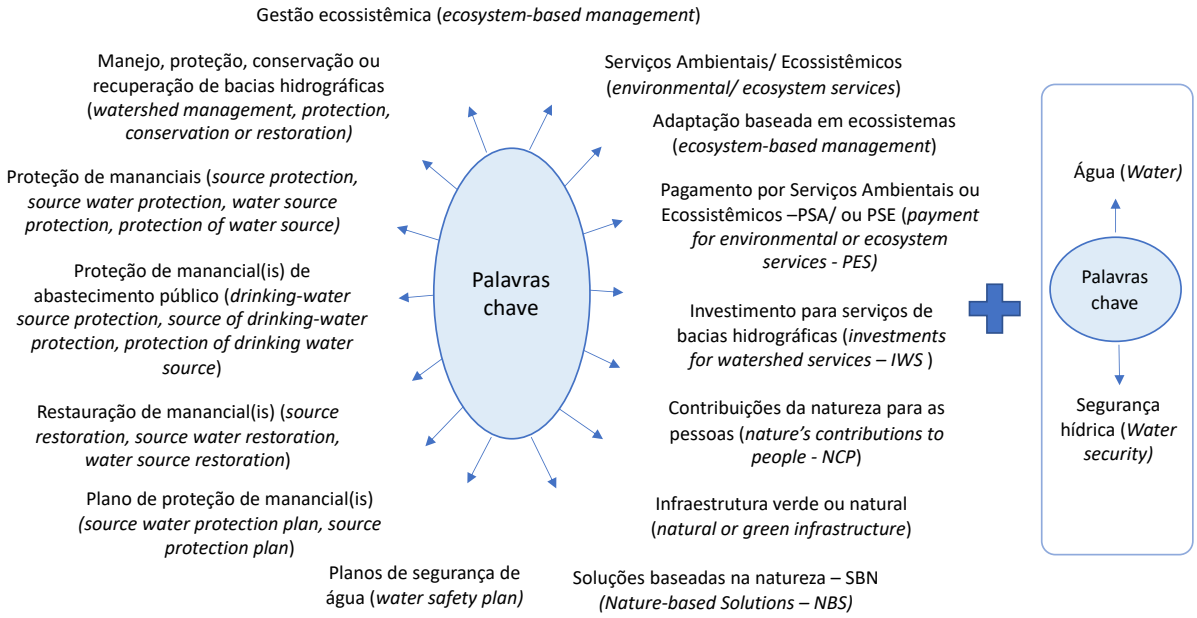
considerando que a revisão contemplava a análise do contexto e histórico de evolução do tema de pesquisa. As consultas dos termos foram aplicadas em relação à sua ocorrência nos títulos, resumos e palavras-chave.

Um dos desafios imediatamente encontrados para efetuar a revisão foi a existência de diferentes terminologias e definições nas línguas portuguesa e inglesa associadas ao termo Soluções baseadas na Natureza. Iniciou-se com a pesquisa e leitura exploratória inicial em publicações relacionadas ao objetivo de pesquisa, e adquirida familiaridade com o tema, identificou-se e delimitou-se o conjunto de terminologias associadas às Soluções baseadas na Natureza para segurança hídrica do abastecimento público. Dessa forma, para a pesquisa bibliográfica, foram utilizados os seguintes **termos**, associados a palavra "água" (*water*) ou a palavra "segurança hídrica" (*water security*) (Figura 4):

- Soluções baseadas na Natureza (*Nature-based Solutions*);
- Serviços ecossistêmicos (*ecosystem services*), serviços ambientais (*environmental services*);
- Infraestrutura natural (*natural infrastructure*), infraestrutura verde (*green infrastructure*) e infraestrutura hídrica (*water infrastructure*);
- Proteção de manancial(is) (*source protection, source water protection, water source protection, protection of water source*), proteção de manancial(is) de abastecimento público (*drinking-water source protection, source of drinking-water protection, protection of drinking water source*), proteção de área(s) de manancial(is) (*protection of catchment areas*), restauração de manancial(is) (*source restoration, source water restoration, water source restoration*);
- Manejo de bacias hidrográficas (*watershed management*), conservação de bacias hidrográficas (*watershed conservation*), proteção de bacias hidrográficas (*watershed protection*), recuperação de bacias hidrográficas (*watershed restoration*);
- Investimento para serviços de bacias hidrográficas *(investments for watershed services (IWS)*);
- Pagamento por serviços ambientais (PSA) (*payment for environmental services - PES*), pagamento por serviços ecossistêmicos (PSE) (*payment for ecosystem services – PES*);
- Gestão ecossistêmica (*ecosystem-based management*), adaptação baseada em ecossistemas (*ecosystem-based water management*);

– Contribuições da natureza para as pessoas (*nature's contributions to people*);
– Planos de segurança de água (*water safety plan*), plano de proteção de manancial(is) *(source water protection plan, source protection plan*).

Figura 4 – Termos utilizados na pesquisa bibliográfica



Fonte: A autora, 2020.

Utilizou-se como meios de pesquisa as plataformas de pesquisa acadêmica Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), *Scientific Eletronic Library Online* (SciELO), Google Acadêmico e bancos de teses e dissertações de universidades internacionais e nacionais. Foram também acessados os sítios eletrônicos das principais organizações e agências internacionais e nacionais que abordam e trabalham a temática da gestão de recursos hídricos e meio ambiente, especialmente aquelas com atuação em estratégias para proteção de mananciais e conservação de bacias hidrográficas, como: *United Nations for Water (UN-Water); Global Water Partnership (GWP); United Nations Environment Programme (UNEP);* Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)*; The World Bank; Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO), World Health Organization (WHO), World Water Council (WWC), Internacional Water Organization (IWA),* Banco Internacional para a Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD)*; The Nature Conservancy (TNC), World Resources Institute (WRI)*; *International Union for Conservation of Nature* (IUCN); Fundação Grupo Boticário de Proteção a Natureza (FBG).

1.2 **Segurança hídrica**

1.2.1 Conceito de segurança hídrica

O conceito de segurança hídrica surge e começa a ser discutido na década de 90, passando a receber mais atenção na literatura científica e nas políticas públicas a partir dos anos 2000 (BAKKER, 2012). Há ampla literatura e diversidade de conceitos e abordagens metodológicas para segurança hídrica, com destaque para definições de organismos internacionais como a Organização das Nações Unidas (ONU), Organização Mundial da Saúde (OMS), Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e *Global Water Partnership* (GWP) (COOK; BAKKER, 2012).

A escassez de água está geralmente associada aos conceitos de comprometimento da oferta hídrica, da relação entre disponibilidade e demanda pelo uso da água e problemas no acesso à água em função de incompletude dos sistemas de tratamento e distribuição. O conceito de segurança hídrica, por sua vez, está associado a níveis aceitáveis de riscos relacionados à água para garantia do bem estar humano, desenvolvimento socioeconômico e da proteção dos ecossistemas (BAKKER, 2012).

Para ONU, segurança hídrica é:

> [..] a capacidade de uma população em assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, do bem-estar humano e do desenvolvimento socioeconômico; garantir proteção contra a poluição hídrica e desastres relacionados à água; preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política (UN-WATER, 2013a, p. 1).

Esta definição é fruto das discussões da Década das Nações Unidas para a Água e a Vida (2005-2015), que reuniu atores, agentes e instituições de desenvolvimento para abordar a questão da segurança hídrica, e pode ser traduzida em quatro dimensões, conforme representado na Figura 5. Apesar de existirem várias outras definições e interpretações para o termo, a definição da ONU é uma das mais amplamente reconhecidas e utilizadas por gestores públicos e por organismos de gestão de recursos hídricos, adotada inclusive pela Agência Nacional de Águas (ANA) (ANA, 2019) e pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA) (INEA, 2019a).

A UN-Water (2013a) define quatro dimensões que compõe o conceito de segurança hídrica. A primeira dimensão está relacionada à garantia ao acesso a água potável segura e suficiente a fim de atender às necessidades básicas da população, a um custo acessível, que

incluem a coleta e tratamento de água, saneamento e higiene, e a salvaguarda da saúde e do bem-estar, associada a proteção de meios de subsistência, direitos humanos e valores culturais e recreativos. A segunda dimensão trata da preservação e proteção de ecossistemas em sistemas de alocação e gerenciamento de água, a fim de manter sua capacidade de fornecer e sustentar o funcionamento de serviços essenciais de ecossistemas. A terceira dimensão aborda a resiliência e a capacidade de lidar com incertezas e riscos a desastres relacionados à água, como inundações, secas e poluição, entre outros. A quarta dimensão, por sua vez, refere-se ao abastecimento de água para atividades e desenvolvimento socioeconômico (como energia, transporte, indústria, turismo) (UN-WATER, 2013a).

Esta tese adota como recorte de pesquisa a segurança hídrica para o abastecimento público. Dessa forma, o conceito de segurança hídrica, neste trabalho, se restringe à garantia de água em qualidade e quantidade para o abastecimento de sedes urbanas.

Figura 5 – Dimensões e elementos-chave que compõem o conceito de segurança hídrica



Fonte: ANA, 2019. Adaptado de UN-WATER, 2013a; 2013b.

Para alcançar e manter a segurança hídrica, são necessários ainda os elementos-chave: (i) abordagens colaborativas para a gestão transfronteiriça dos recursos hídricos dentro e entre países para promover a sustentabilidade e a cooperação em água doce; (ii) a boa governança e *accountability* (prestação de contas), por meio de regimes legais apropriados e eficazes; instituições transparentes, participativas e responsáveis; infraestrutura adequadamente planejada, operada e mantida; e desenvolvimento de capacidades; (iii) paz e estabilidade política, de modo a evitar os efeitos negativos de conflitos e guerras; e (iv) financiamento, com

aporte de recursos complementares ao financiamento público, incluindo o setor privado, microfinanças, dentre outros. (UN-WATER, 2013a).

De acordo com o Plano Nacional de Segurança Hídrica, o aumento populacional em áreas urbanas, o uso e a ocupação desordenada do solo, o aumento progressivo das demandas hídricas dos diversos usos consuntivos da água e as mudanças climáticas e os seus efeitos nos eventos hidrológicos extremos são alguns dos principais fatores que têm pressionado os recursos hídricos no país (ANA, 2019). A ocorrência desses fatores, associados com a deficiência em investimentos em infraestrutura e saneamento e períodos de estiagens severas, resultaram na instalação de crises hídricas no Brasil entre os anos de 2012 a 2017. Nos anos de 2014 e 2016, a crise hídrica prejudicou o abastecimento das duas maiores Regiões Metropolitanas do país (Rio de Janeiro e São Paulo), alavancando a discussão e a inclusão da segurança hídrica na agenda política e dentre as prioridades do poder público (FORMIGA-JOHNSSON et al., 2019).

Embora o conceito e as diretrizes de gestão da segurança hídrica contemplem o enfoque ecossistêmico, em termos práticos, observa-se um predomínio de abordagens centradas em grandes projetos de infraestrutura, a fim de atender grandes e crescentes demandas (BREARS, 2017). As proposituras do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) (ANA, 2019), por exemplo, se concentram em obras de infraestrutura cinza para garantir a oferta hídrica e reduzir os impactos de eventos extremos, e apesar da importância dessas intervenções, não contempla o enfoque ecossistêmico, ou seja, as SbN.

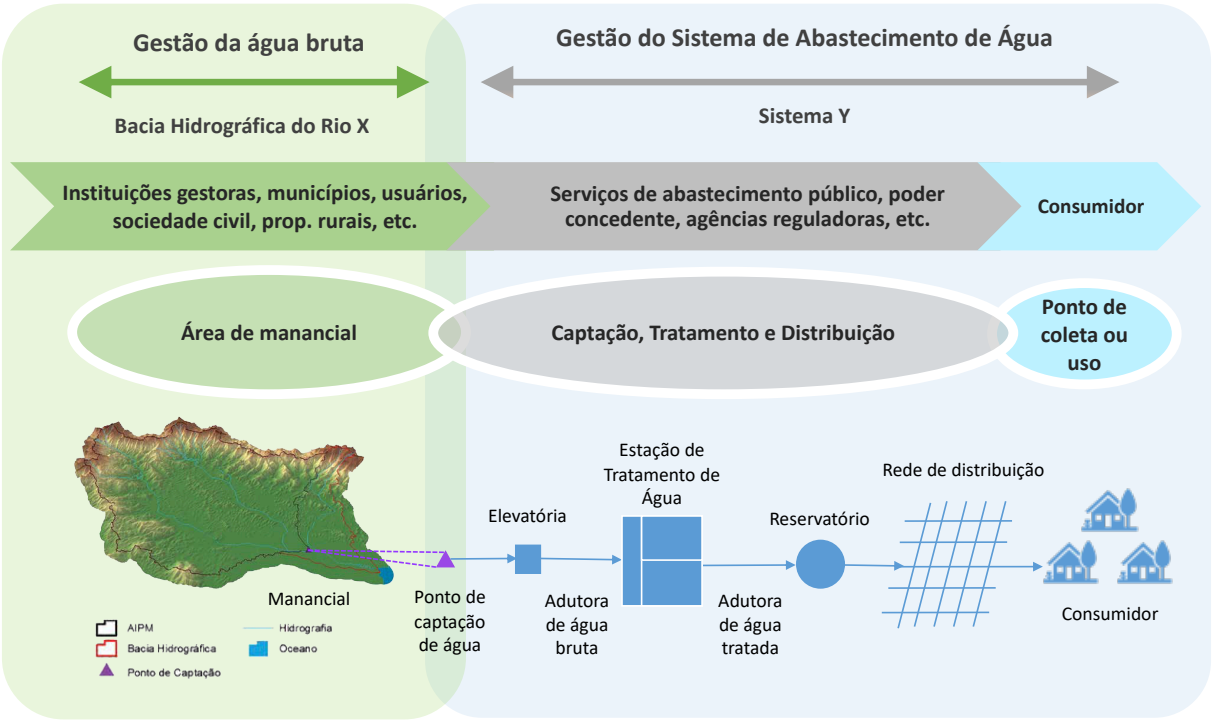
1.2.2 Conceito de segurança hídrica para o abastecimento público

Entende-se como abastecimento público o uso destinado aos sistemas de abastecimento de água para consumo, que usualmente contempla o uso doméstico (preparo de alimentos, higiene pessoal, limpeza na habitação, irrigação de jardins e pequenas hortas particulares, criação de animais domésticos, entre outros) e o uso público (moradias, escolas, hospitais e demais estabelecimentos públicos, irrigação de parques e jardins, limpeza de ruas e logradouros, paisagismo, combate a incêndios, navegação, etc.). Os sistemas de abastecimento de água para consumo constituem “conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição” (BRASIL, 2017). Os sistemas de abastecimento

captam a água bruta em mananciais superficiais ou subterrâneos, sendo a água aduzida até as estações de tratamento para torná-la potável, bombeada para os reservatórios e então distribuída até os consumidores.

A segurança hídrica para o abastecimento público abrange um sistema composto por dois componentes principais: a gestão da água bruta e a gestão dos sistemas de abastecimento de água (MELO, 2016), conforme a Figura 6.

Figura 6 – Componentes da segurança hídrica para o abastecimento público



Fonte: A autora, 2020.

A gestão da água bruta abrange a gestão da bacia hidrográfica contribuinte ao manancial de abastecimento público, de responsabilidade dos órgãos gestores e entes do sistema de gestão de recursos hídricos. Garantir segurança de provimento de água bruta de um determinado manancial em quantidade e qualidade requer uma avaliação abrangente, especialmente das áreas de manancial em análise, sobre aspectos como o uso e ocupação do solo e os usos de água na bacia (GWP, 2010; WHO, 2016). Os estressores são os fatores de origem climática ou antrópica que podem afetar a qualidade e qualidade de água bruta disponível para a abastecimento humano.

Entende-se como manancial qualquer fonte hídrica, subterrânea ou superficial, fluente, emergente ou em depósito, efetiva ou potencialmente utilizável para a captação de água bruta a ser utilizada em sistemas de abastecimento de água (IKEMOTO; NAPOLEÃO, 2018). A bacia hidrográfica, por sua vez, constitui o espaço geográfico delimitado pelo respectivo divisor

de águas cujo escoamento superficial converge para seu interior sendo captado pela rede de drenagem que lhe concerne. A área de manancial superficial constitui a área da bacia contribuinte situada a montante dos pontos de captação, ou seja, a áreas drenantes para o ponto de captação do manancial de abastecimento público (IKEMOTO; NAPOLEÃO, 2018). A área de manancial subterrâneo, por sua vez, compreende a área total de captura de recarga, ou seja, é a área na qual toda a água de recarga do aquífero é captada pelo poço de abastecimento, provendo uma vazão de exploração do poço que é sustentável em longo prazo (WAHNFRIED; HIRATA, 2005). A identificação de áreas estratégicas de fontes de água e suas conexões com usuários a jusante permite uma avaliação mais abrangente das diferentes opções de desenvolvimento e seu impacto na água urbana. A desconexão entre as áreas de mananciais e o consumidor final significa que os impactos sócio-ecológicos do desenvolvimento nessas áreas geralmente não são aparentes para os tomadores de decisão ou usuários (NEL et al*.,* 2017).

A gestão do sistema de abastecimento de água, por sua vez, envolve a captação de água bruta, tratamento e a distribuição canalizada da água potável, de responsabilidade do poder público municipal e concessionárias de abastecimento.

Em relação ao sistema que compõe a segurança hídrica para o abastecimento público, o recorte de pesquisa do presente estudo refere-se à avaliação do nível atual da segurança hídrica associada a água bruta para o abastecimento público, ou seja, a identificação dos principais estressores e potenciais impactos para a quantidade e qualidade de água bruta na bacia de contribuição a montante da captação. O estudo, portanto, não analisa os aspectos relacionados à gestão do sistema de abastecimento de água, limitando-se a compreender o grau de exposição do sistema de abastecimento quanto a variação da quantidade e qualidade da água bruta.

As Ações de gestão constituem o conjunto de intervenções técnicas, econômicas, operacionais, legais e institucionais do sistema de gestão de recursos hídricos e do sistema de gestão ambiental relacionados à prevenção, mitigação ou controle dos impactos dos estressores sobre a quantidade e qualidade da água bruta, visando garantir que os riscos associados à segurança hídrica permaneçam em níveis aceitáveis. As ações podem ser classificadas como preventivas ou emergenciais. As ações para gestão preventiva têm como objetivo equilibrar a demanda e a oferta e gerir os riscos de maneira constante para evitar crises. As emergenciais, por sua vez, ocorrem em resposta a crises e visa reduzir abstrações em caso de seca ou alterações abruptas na qualidade das águas.

As Soluções baseadas na Natureza para água, a infraestrutura hídrica cinza para reservação ou transposição, o controle da poluição, a gestão da demanda (controle do uso e racionalização), o uso de fontes alternativas (águas pluviais e águas de reuso), a gestão de risco

de acidentes ambientais, a gestão de conflitos pelo uso da água e a governança para segurança hídrica constituem algumas das principais ações de gestão relacionadas à segurança hídrica (FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016). Dentre as ações de gestão, a presente pesquisa se limita a análise aprofundada das Soluções baseadas na Natureza, buscando compreender em que medida as SbN contribuem ou podem contribuir para prevenir e mitigar impactos na quantidade e qualidade da água bruta para o abastecimento público. O escopo delimitado do estudo justifica-se pela lacuna de pesquisa sobre SbN para segurança hídrica da água bruta e pela exequibilidade metodológica frente às restrições de tempo e complexidade do tema.

1.3 **Soluções Baseadas na Natureza para segurança hídrica**

1.3.1 Conceito de SbN

Soluções baseadas na Natureza (SbN) é um conceito novo que emergiu há menos de uma década, não havendo uma definição e aplicação consensual do termo. O termo foi usado pela primeira vez no final dos anos 2000 pelo Banco Mundial (WORLD BANK, 2008), e tem sido crescentemente desenvolvido e aplicado por diversas instituições e países, tal como a IUCN (IUCN, 2009; 2016), as Nações Unidas (UN-WATER, 2018) e a Comissão Europeia (EC, 2015). O termo SbN tem sido mais recorrentemente aplicado na literatura cinza e comunicações direcionadas a formuladores de políticas, e apenas recentemente começou a ser utilizado na literatura científica (STOBERL et al., 2019).

O conceito de SbN proposto pela IUCN parece ser o mais amplamente aceito e disseminado mundialmente, no qual as SbN constituem "ações para proteger, gerenciar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que abordam os desafios da sociedade de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente bem-estar humano e benefícios à biodiversidade" (COHEN-SHACHAM et al., 2016). Para os autores, o objetivo das SbN é o de apoiar a conquista dos objetivos de desenvolvimento da sociedade e enfrentamento de seus principais desafios, como segurança alimentar, mudança climática, segurança hídrica, saúde humana, risco de desastres, desenvolvimento social e econômico.

A Comissão Europeia, por sua vez, adota um conceito mais abrangente e difuso, no qual as SbN são medidas inspiradas, apoiadas ou copiadas da natureza, de base sustentável, que

visam simultaneamente atender os objetivos ambientais, societários e econômicos, que devem ajudar a manter e melhorar o capital natural (EC, 2015).

Potschin et al. (2015) descreve o termo "Soluções baseadas na Natureza" a partir dos seus conceitos e palavras-chave, onde “natureza” refere-se à biodiversidade, elementos individuais da biodiversidade e/ou serviços ecossistêmicos; e “baseado na natureza” refere-se a abordagens ecossistêmicas, abordagens baseadas em ecossistemas, biomimética ou utilização direta de elementos da biodiversidade. “Soluções”, por sua vez, refere-se a um problema ou desafio específico para o qual existe alguma solução, e explicita que se trata de uma abordagem com foco em problemas e resultados. Para os autores, essa principal característica distingue as SbN de outras abordagens ecossistêmicas.

Para Cohen-Shacham et al. (2016), a abordagem ecossistêmica (AE) é a base conceitual das SbN, e representa uma estratégia holística para a gestão integrada da terra, da água e dos recursos vivos de modo a alcançar os objetivos de conservação, uso sustentável da biodiversidade e o compartilhamento equitativo dos benefícios resultantes. As Soluções baseadas na Natureza podem ser compreendidas como aplicações específicas da abordagem ecossistêmica que contribuem diretamente para lidar com desafios e problemas da sociedade.

Para Trémolet et al. (2019), as SbN para segurança hídrica constituem "ações para proteger, gerenciar e restaurar de maneira sustentável os ecossistemas naturais ou modificados que abordam os desafios de segurança hídrica de forma eficaz e adaptativa, proporcionando simultaneamente bem-estar humano e benefícios à biodiversidade". Segundo UN-Water (2018), as SbN para segurança hídrica compreendem o gerenciamento proativo de processos naturais em prol de um objetivo relacionado à água, ou seja, que permitam prevenir, mitigar ou controlar os efeitos/impactos dos estressores sobre a quantidade e qualidade de água bruta, buscando manter, recuperar ou aumentar a provisão de serviços ecossistêmicos hídricos.

As SbN para segurança hídrica são abordadas no ODS 6 para garantir o gerenciamento sustentável da água, inclusive por meio de abordagens integradas de gerenciamento de recursos hídricos (COHEN-SHACHAM et al., 2016).

1.3.2 Terminologias relacionadas a SbN

Proteger os ecossistemas para garantir a segurança hídrica não é uma constatação ou abordagem nova (NEL et al., 2017; NAGABHATLA et al., 2018; POFF et al., 2015). O

reconhecimento do papel dos ecossistemas na gestão dos recursos hídricos faz parte das ciências hidrológicas modernas há décadas, e a aplicação de processos naturais para gerenciar a água provavelmente se estende por milênios (UN-WATER, 2018).

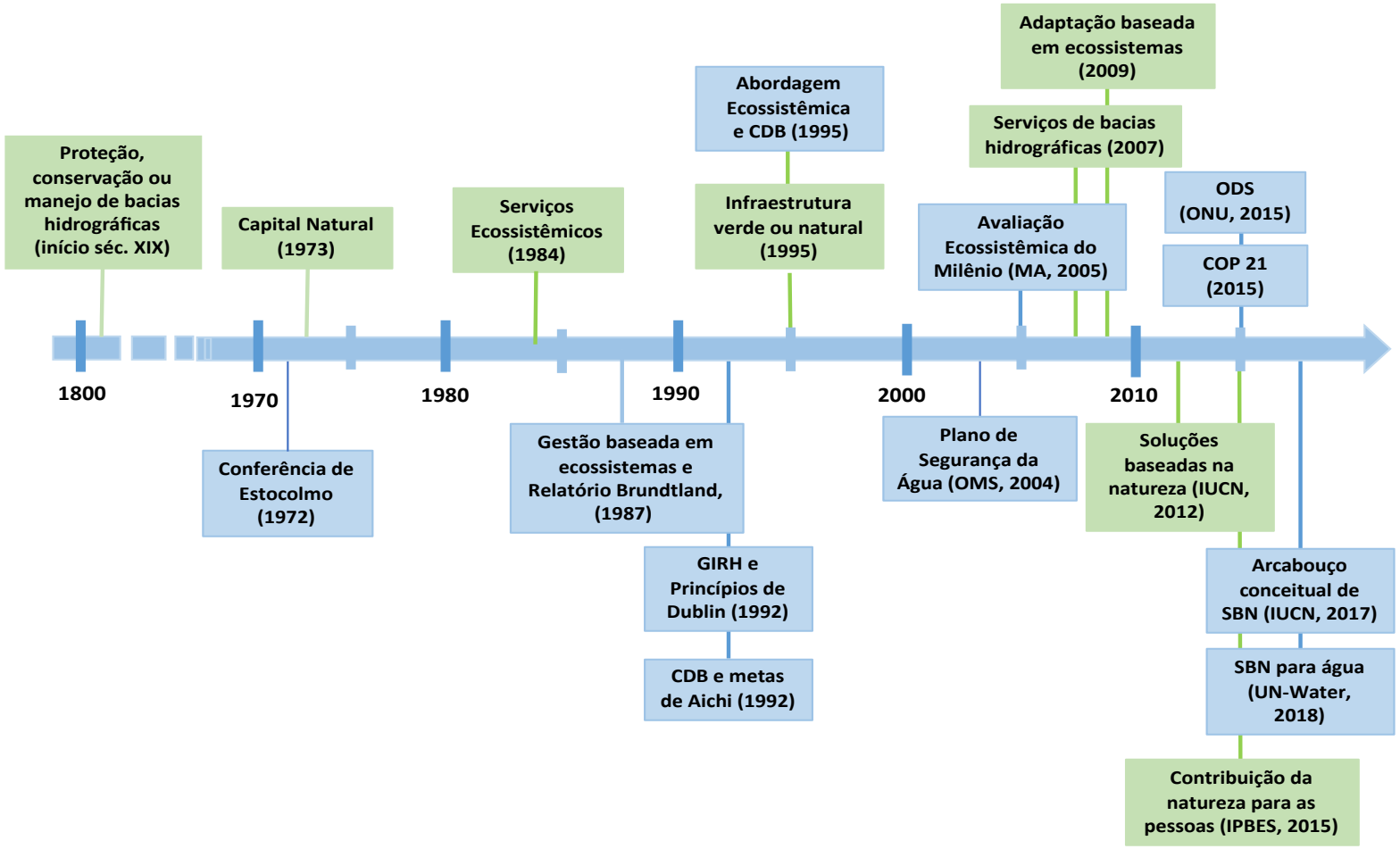
Há uma ampla diversidade de termos, conceitos e abordagens que são similares ou compatíveis com as SbN (COHEN-SHACHAM et al., 2016). De modo em geral, compartilham em comum a valorização dos benefícios que a natureza pode proporcionar aos seres humanos; a importância da proteção dos ecossistemas e manejo do conservacionista da bacia hidrográfica para segurança hídrica da água bruta (UN-WATER, 2018).

O uso e aplicação desses termos parece estar em constante evolução e diversificação, ganhando popularidade e eventualmente caindo em declínio (KUMAR, 2012; NESSHÖVER et al., 2015; STOBERL et al., 2019). Proteção, recuperação ou manejo de bacias hidrográficas (mananciais); serviços ecossistêmicos; capital natural; infraestrutura verde ou natural; e contribuições da natureza para as pessoas, são alguns dos termos utilizados de forma frequente na literatura (COHEN-SHACHAM et al., 2016; TRÉMOLET et al., 2019).

Para a IUCN (2016) e UN-Water (2018), as SbN abrangem todo esse conjunto de diferentes terminologias e abordagens baseadas ou relacionadas aos ecossistemas para o enfrentamento de problemas e desafios da sociedade, motivo pelo qual adotou-se este termo para a presente pesquisa. O surgimento e a evolução dos termos e conceitos estão diretamente relacionados a tratados[2] e publicações de organismos multilaterais relacionados às temáticas de recursos hídricos, meio ambiente, mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável, internalizadas em políticas e iniciativas nacionais, regionais e locais, conforme sistematizado na Figura 7.

[2] Entende-se por tratado acordo internacional de especial relevo político, contemplando ajustes solenes concluídos entre Estados e/ou organizações internacionais (MAZZUOLI, 2007). A expressão compreende termos similares, como: convenção, protocolo, convênio, declaração, pacto, dentre outros (SOARES, 2004).

Figura 7 – Evolução das terminologias e conceitos relacionados à segurança hídrica da água bruta a partir de SbN



Legenda: ■ Tratados multilaterais e publicações internacionais relacionadas aos conceitos apresentados.

■ Primeiro registro do uso do termo na literatura.

Fonte: Adaptado de STOBERL et al., 2019.

A grande variação de terminologias e conceitos identificados parecem refletir a complexidade do tema e a diversidade de contextos e realidades. Ao mesmo tempo, essa diversidade tornou-se um fator dificultador para a revisão de literatura, fragmentando a produção científica relacionada e potencialmente prejudicando a evolução e aperfeiçoamento do conhecimento. Na revisão de literatura, também se observou a relevância dos organismos multilaterais (WHO, ONU, IUCN, GWP) e dos tratados internacionais para a proposição e consolidação das abordagens e terminologias analisadas, e da contribuição da literatura cinza para a definição dos conceitos, princípios e fundamentos caracterizados anteriormente.

1.3.2.1 Proteção, manejo ou recuperação de bacias hidrográficas (mananciais)

Há registros do uso dos termos "proteção" ou "conservação" de bacias hidrográficas *(watershed protection, watershed conservation)* ou "proteção de mananciais" *(source water protection)* desde o início do século XIX[3]. Nos Estados Unidos, precursores dos programas de proteção de bacias hidrográficas surgiram nos meados de 1880, quando a cidade da Filadélfia adquiriu 9.000 acres de terra para proteger sua água potável e a cidade de Seattle começou a adquirir 90.000 acres de áreas florestais para serviços de bacias hidrográficas (GARTNER et al., 2014).

A origem da abordagem de "manejo de bacias hidrográficas" (*watershed management*), por sua vez, surge de diferentes iniciativas e movimentos, com destaque para a restauração dos Alpes, no final do século XIX, e do movimento conservacionista nos Estados Unidos na década de 30, abordando ações de manejo da vegetação e a conservação do solo para resolução de problemas locais relacionados à água (LANNA, 1995).

Segundo o Banco Mundial (DARGHOUTH et al., 2008), o "manejo de bacias hidrográficas" é o uso integrado da terra, vegetação e água em uma área de drenagem geograficamente discreta para o benefício de seus residentes, com o objetivo de proteger ou conservar os serviços hidrológicos que a bacia hidrográfica fornece e de reduzir ou evitar impactos negativos a jusante ou subterrâneos. Para Souza e Fernandes (2000), o manejo

[3] Encontra-se citações aos termos "*watershed protection*" e "*watershed conservation*" desde 1800, vide consulta ao Google N-Gram.

integrado de bacias hidrográficas visa tornar compatível a produção com preservação ambiental, buscando conciliar as atividades e demandas antrópicas às características biofísicas dessas unidades naturais, sob gestão integrativa e participativa, de forma que sejam minimizados impactos negativos e se garanta o desenvolvimento sustentável.

1.3.2.2 Serviços ecossistêmicos

Na década de 1970, pessoas de todo o mundo começaram a perceber as ameaças ambientais que afetavam o planeta. Segundo Cohen-Shacham (2016), o reconhecimento do papel fundamental que os ecossistemas desempenham no apoio ao bem-estar humano estabeleceu-se na literatura científica a partir da década de 1970. Após um aviso da comunidade científica, a ONU convocou a Conferência sobre Meio Ambiente Humano em 1972, instando os Estados Membros a prestarem mais atenção à gestão e conservação dos recursos naturais em seus esforços de desenvolvimento (FAO, 2006). Na década de 80, o paradigma de "gestão dos ecossistemas" surge como a abordagem dominante para gerenciar os recursos naturais e o meio ambiente a partir da constatação que esforços de gerenciamento isolados de políticas setoriais resultavam em conflitos entre usuários e não eram efetivas para garantir a proteção ambiental (UNEP, 2006). A Comissão do Relatório de Brundtland, no ano de 1987, mudou essa visão da ecologia humana, enfatizando a importância econômica do capital natural e ressaltando a importância das boas práticas de desenvolvimento para a proteção ambiental (FAO, 2006).

O estudo dos serviços ecossistêmicos emergiu na década de 80, e atualmente se consolidou como uma área transdisciplinar bem consolidada e definida, com periódicos dedicados para o tema. Segundo a MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005), serviços ecossistêmicos (SE) são definidos como benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, e podem ser classificados em quatro categorias: serviços de provisão (produção de alimentos, água, etc.), serviços de regulação de processos (purificação da água, controle da erosão, regulação de eventos extremos, polinização, etc.), serviços de suporte (ciclagem de nutrientes, formação do solo, etc.) e serviços culturais (valores espirituais, recreação, beleza cênica, etc.).

Uma variedade de termos são utilizados para se referir e classificar os serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica, tais como: serviços de bacias hidrográficas

(*watershed services*) (VOGL et al., 2017), serviços hídricos (*water services*) (PERROT-MAITRE; DAVIES, 2001), serviços hidrológicos (*hydrologic services*) (QIU; TURNER, 2015); serviços ecossistêmicos relacionados à água (*water-related ecosystem services*) (COATES et al., 2013; GUSWA et al., 2014), dentre outros. Para Brauman et al. (2007), os serviços ecossistêmicos hidrológicos são os benefícios para as pessoas produzidas pelos efeitos terrestres do ecossistema na água doce. Os "serviços de bacias hidrográficas", por sua vez, constituem os benefícios para a sociedade proporcionados por ecossistemas em bom funcionamento em uma bacia hidrográfica (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). Guswa et al. (2014) consideram "serviços ecossistêmicos relacionados à água" aqueles que sejam relevantes para o adequado gerenciamento de bacias hidrográficas.

Segundo Bennett e Ruef (2016), os "investimentos em serviços de bacias hidrográficas" (*Investiments in Watershed Services - IWS*) constituem os acordos transacionais entre duas ou mais partes que compensam um proprietário ou possuidor de terra a montante por restaurar, manter ou aprimorar os serviços de bacias hidrográficas para beneficiários a jusante. Para Vogl et al. (2017), os programas incluídos neste conceito podem assumir muitas formas diferentes, desde investimentos públicos em conservação de terras até esquemas privados de pagamento por serviços ambientais (PSA), fundos de água, investimentos filantrópicos ou uma combinação de todos eles. Há uma rica literatura, em especial, sobre PSA relacionado aos serviços ecossistêmicos hídricos (BREMER et al., 2016). Estudos têm apontado que iniciativas e programas relacionados ao PSA em bacias hidrográficas tem se tornado cada vez mais comuns em nível global (MARTIN-ORTEGA et al., 2013; BENNETT; RUEF, 2016; SALZMAN et al., 2018).

1.3.2.3 Capital Natural

A partir da contribuição dos campos da economia aplicada e da economia ecológica, difundiu-se o termo "capital natural" (DALY; FARLEY, 2010), que pode ser entendido como o "estoque" finito de ativos ambientais gerados por ecossistemas saudáveis, que fornecem fluxos contínuos de bens e serviços ecossistêmicos importantes para o ser humano e para a economia (COHEN-SHACHAM et al., 2016).

Os termos serviços ecossistêmicos e capital natural contribuem para comunicar a

importância de ecossistemas para geração de bens e serviços, a da necessidade que os sistemas naturais sejam protegidos e devidamente gerenciados (MULDER et al., 2015), sendo os termos adotados pela Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) em 1992. As abordagens de capital natural visam tornar o valor da natureza mais visível na tomada de decisões, a fim de garantir que os fluxos dos estoques de capital natural sejam mantidos ou aprimorados, particularmente pelos governos, empresas e instituições financeiras.

O capital natural é essencial ao bem-estar humano, e complementa e fornece a base para outros tipos de capital, incluindo capital industrial, financeiro, humano e social. No contexto da segurança hídrica, o capital natural e capital manufaturado (infraestrutura cinza) são complementares, ou seja, ambos são necessários para o gerenciamento eficaz dos recursos hídricos (COHEN-SHACHAM et al., 2016).

1.3.2.4 Infraestrutura verde ou natural

O conceito de infraestrutura verde emerge no final de 1990, e parte do princípio que sistemas naturais como várzeas, florestas e matas ciliares sustentam o sistema global da água e desempenham funções importantes como filtragem e autodepuração da poluição, o armazenamento de água, proteção contra inundações, e podem, portanto, ser compreendidos dentro de novos conceitos de infraestrutura (BENNETT; CARROLL, 2014).

Segundo Michaelis (2016), infraestrutura é o "conjunto de serviços de base indispensáveis em uma cidade ou sociedade, tais como o abastecimento e a distribuição de água, gás e energia elétrica, rede telefônica, serviços básicos de saneamento, de transporte público, etc.". Infraestrutura cinza é uma solução de engenharia humana utilizando sistemas não-vivos e que necessitam de manutenção (geralmente construções de concreto e aço) concebidos para proporcionar uma função requerida (WBCSD, 2015). Na literatura, os termos infraestrutura cinza (ex. estradas, sistemas de saneamento, etc.) e infraestrutura social (ex. hospitais, escolas, prisões) são comumente agrupadas e referidas como infraestrutura construída (BENEDICT; MCMAHON, 2006). Na área de recursos hídricos, o conceito de infraestrutura construída contempla as infraestruturas de engenharia humana como estações de tratamento de água, reservatórios, barragens, *by-pass*, sistemas de transposição, dentre outros (GARTNER et al., 2013). Sistemas naturais como várzeas, florestas e matas ciliares sustentam o sistema global da

água e desempenham funções importantes como filtragem e autodepuração da poluição, o armazenamento de água, proteção contra inundações, que muitas vezes atuam de forma complementar ou são substituídos por soluções de infraestrutura construída (BENNETT; CARROLL, 2014). Os sistemas naturais desempenham um papel fundamental para a continuidade e para o desenvolvimento de uma comunidade e da sociedade, e podem, portanto, ser compreendidos dentro de novos conceitos de infraestrutura.

O termo infraestrutura verde, segundo UNEP (2014), é definido como “os ecossistemas naturais ou seminaturais que fornecem serviços de utilidade de água que se complementam, aumentam ou substituem os fornecidos pela infraestrutura cinza”. Apesar de sua semelhança com o conceito de infraestrutura natural, reconhece-se que a definição atual de infraestrutura verde é mais restrita e mais focada nos serviços utilitários de ecossistemas e incluem estruturas seminaturais como telhados verdes, bacias de captação, jardins de chuva e a plantação de árvores em áreas urbanas. Em alguns contextos, pode ser utilizado para designar estruturas artificiais ambientalmente amigáveis, tais como medidores de água e equipamentos de eficiência energética (UNEP, 2014). A infraestrutura natural, por sua vez, é definida como “uma rede estrategicamente planejada e gerida de terras naturais, florestas e zonas úmidas, paisagens e outros espaços abertos que conservam ou aumentar os valores e funções do ecossistema e fornece benefícios associados para as populações humanas" (BENEDICT; MCMAHON, 2006). Florestas, várzeas, matas ciliares e outros elementos naturais da paisagem podem compreender infraestruturas naturais quanto utilizados e geridos de forma estratégica a fim de se prover serviços para as comunidades, por meio da aquisição e servidão de terras, desenvolvimento de baixo-impacto, práticas de conservação em terras agrícolas e florestas (ALLEN; GUNDERSON, 2011). A infraestrutura natural se enquadra no que é comumente referido como uma opção de gestão “branda” (*soft path*), pois fornece estratégias de adaptação robustas e multifuncionais (GLEICK, 2003).

Quando o conceito de infraestrutura natural é aplicado no contexto específico dos serviços relacionados aos recursos hídricos e seus ecossistemas associados, ele difere das abordagens convencionais de conservação de bacias hidrográficas, uma vez que contempla os valores e benefícios providos pelos sistemas naturais (recarga dos aquíferos, a regulação da vazão, controle da erosão e purificação da água) para o desenvolvimento socioeconômico e o planejamento integrado das necessidades de infraestrutura (natural e construída). O conceito de infraestrutura natural envolve necessariamente o planejamento e gerenciamento desses sistemas naturais ou seminaturais para atendimento de uma necessidade específica, além de oferecer uma

série de outros cobenefícios (WBCSD, 2015). Nesse contexto, os serviços relacionados à água prestados pelos ecossistemas e paisagens naturais, conhecidos como “infraestrutura natural”, tem um papel fundamental no combate a crise da água, e constituem uma oportunidade de reduzir os custos, aumentar a resiliência para as mudanças climáticas, compatibilizar o atendimento das necessidades básicas humanas e ecológicas da água e potencializar cobenefícios e coinvestimentos.

Além disso, as incertezas e variabilidades associadas em como as alterações do uso do solo, mudanças climáticas e crescimento populacional irão impactar a segurança hídrica, alimentar e energética trazem um desafio sem precedentes para o planejamento futuro das soluções de engenharia. Soluções em SbN são mais ajustáveis e adaptativas em função de sua reversibilidade e flexibilidade comparadas à infraestrutura “cinza”, e por seus benefícios se perpetuarem sob diversas condições climáticas. Por exemplo, as florestas continuam prestando os serviços de regulação hídrica em condições de estiagem ou inundações severas, e contribuem para atenuar picos de cheia e manter as vazões de base dos rios (OZMENT et al., 2015). As soluções de infraestrutura natural para a gestão da água constituem a base da “adaptação baseada nos ecossistemas”, que é definida como a utilização da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas como parte de uma estratégia abrangente de adaptação para apoiar as comunidades e pessoas para se adaptarem aos efeitos das mudanças climáticas a nível local, nacional, regional e global (UNEP, 2011).

1.3.2.5 Contribuição da Natureza para as Pessoas (CNP)

A Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES), propõe a adoção da terminologia “Contribuições da Natureza para as Pessoas” (CNP), sendo este conceito o cerne do arcabouço de atuação da plataforma. O arcabouço se propõe a promover maior integração da geração do conhecimento com políticas, e contemplar diferentes pontos de vista, culturas e visões de mundo em relação à biodiversidade e do relacionamento do homem com a natureza (PASCUAL et al. 2017). A Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (BPBES) é responsável pela elaboração do diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecossistêmicos. Segundo a BPBES (2019), o conceito de CNP é mais inclusivo, sendo resultante do amadurecimento do campo e da contribuição das ciências sociais

e dos sistemas de conhecimento tradicionais, representando um avanço para a transdisciplinaridade. Ou seja, a maneira como as CNPs são coproduzidas pela natureza e pelas pessoas é entendida através de diferentes lentes culturais.

No entanto, muitos autores discordam e criticam o conceito de CNPs, e rebatem as críticas de Díaz et al. (2018) de que a literatura e as políticas até então atreladas ao conceito de serviços ecossistêmicos foram dominados pelo conhecimento das ciências naturais e da economia, e do predomínio de uma abordagem econômica, com foco nos valores instrumentais, e que desconsiderava processos culturais de uso e convivência com a natureza, negligenciando os grandes avanços obtidos na comunicação do valor dos ecossistemas no mundo nas últimas décadas (BEERY et al. 2016).

Para Braat (2018), não há evidências substanciais de que o arcabouço de “contribuições da natureza para pessoas” será mais útil do que o conceito de serviços ecossistêmicos. Peterson et al. (2018), por sua vez, reconhece que o conceito de CNP podem ajudar a superar algumas limitações, reconhecendo outros vínculos entre a natureza e as pessoas que vão além da metáfora do fluxo de estoque e incorporando valores relacionais, no entanto, critica a ênfase da CNP no fluxo unidirecional da "natureza" para as "pessoas". Segundo Steffen et al. (2015), o conceito de “natureza” adotado pelo IPBES não considera nem os ecossistemas urbanos nem os agroecossistemas, e enfatizam menos o quanto os processos econômicos e produtivos estão moldando os ecossistemas.

Peterson et al. (2018) demonstram preocupação sobre a repercussão do artigo de Díaz et al. (2018) e do risco de divisão da comunidade extensa de pares em torno dos serviços ecossistêmicos, reduzindo potencialmente seu envolvimento com o IPBES e confundindo a operacionalização e implementação de iniciativas de sustentabilidade baseadas em serviços ecossistêmicos. Entende-se que as diferentes terminologias apresentadas não devem ser compreendidas como excludentes ou concorrentes entre si, e sim como opções a serem utilizadas para diferentes públicos e propósitos, visto que um mundo diverso exige multiplicidades de abordagens que possam lidar com a diversidade (CLARK et al. 2016).

Para Peterson et al. (2018), várias perspectivas e abordagens sobre as conexões entre ecossistemas e como as pessoas se beneficiam deles são bem-vindas. Segundo os autores, a integração de diferentes sistemas de conhecimento requer a colaboração e o respeito da validade de cada sistema de conhecimento, evitando a oposição ou polarização entre as mesmas. Os autores ainda apontam que o IPBES obteria mais benefícios e contribuições atuando em redes com os demais conceitos relacionados, tais como serviços ecossistêmicos, Soluções baseadas

na Natureza, infraestrutura verde, ecologia urbana, ecopsicologia, saúde pública, economia verde e a rede de soluções de desenvolvimento sustentável, visto que essas iniciativas têm o potencial de gerar uma ampla gama de caminhos para alcançar a sustentabilidade.

1.3.3 Como as SbN contribuem para segurança hídrica

Segundo UN-Water (2018), os processos ecológicos em uma determinada bacia hidrográfica influenciam diretamente o ciclo da água e a sua disponibilidade em quantidade e qualidade, bem como a formação do solo, a erosão e o transporte e deposição de sedimentos, os quais podem exercer grandes influências na hidrologia. Para o autor, a cobertura vegetal e os solos são críticos no controle do movimento, armazenamento e transformação da água, e a biodiversidade tem um papel funcional de sustentar processos e funções do ecossistema.

Considerando a classificação proposta por MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) e TEEB (2010), é possível agrupar os serviços ecossistêmicos relacionados à água em duas categorias: aqueles que afetam a quantidade e qualidade de água (SEs relacionados à segurança hídrica); e aqueles que dependem da água, porém afetam de forma limitada ou nula a qualidade ou qualidade de água, (SEs dependentes de água**).**

1.3.3.1 Serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica

Para UN-Water (2018), os SEs relacionados à segurança hídrica são os serviços de provisão de água; e os serviços de regulação (regulação climática; purificação da água; regulação hídrica; controle de erosão; regulação de sedimentos; regulação de eventos extremos como inundações e estiagens severas) (Quadro 2).

Esses serviços ecossistêmicos interferem nos atributos de quantidade, qualidade, localização e distribuição do fluxo da água no tempo, e, portanto, estão diretamente relacionados à disponibilidade hídrica quali-quantitativa e à redução de riscos a eventos hidrológicos extremos (BRAUMAN et al., 2014). Segundo revisão realizada por Bremer et al. (2016), a regulação da erosão e a regulação hídrica estão entre os serviços ecossistêmicos mais

relevantes que justificam ou motivam a criação de iniciativas de SbN para segurança hídrica.

Quadro 2 – Serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica

Serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica	
Categoria de SE	**Exemplos de funções e benefícios do ecossistema**
Serviços de provisionamento - Produtos obtidos dos ecossistemas	
Provisão de água	Fornecer água para consumo e necessidades humanas
Serviços de regulação - Benefícios obtidos com a regulação de processos ecossistêmicos	
Regulação hídrica	Regulando a presença de água no tempo e no espaço (águas superficiais e águas subterrâneas)
Regulação de erosão	Estabilização do solo
Regulação de sedimentos	Regulamentar o fluxo de sedimentos pelo sistema, incluindo a deposição
Purificação de água	Captação, processamento e retenção de nutrientes e poluição, deposição de partículas
Regulação de eventos extremos	Redução do risco de desastres relacionados à água
Regulação climática	Influenciar padrões de precipitação e a umidade local/regional por meio da evapotranspiração

Fonte: Adaptado de UN-Water, 2018.

Para Brauman et al. (2014), a maneira como um ecossistema afeta cada atributo e, portanto, cada serviço, depende do tipo de ecossistema, da qualidade ou da saúde desse ecossistema e de como está relacionado espacialmente com outros ecossistemas e com os usuários de água. A vegetação é frequentemente a força motriz dos efeitos do ecossistema na água, mas todos os elementos de um ecossistema, (micróbios, fauna, solo, etc.) podem afetar a prestação de serviços hidrológicos, em diferentes graus, e os usuários a jusante experimentam os efeitos desse conjunto sob toda a bacia hidrográfica a montante (BRAUMAN et al., 2007). As florestas, áreas úmidas e várzeas geralmente recebem mais atenção quando se trata de cobertura vegetal e hidrologia (UN-WATER, 2018).

A cobertura vegetal desempenha um papel importante na regulação climática, influenciando nos fluxos de umidade atmosférica e nos padrões de chuva sobre a terra, por meio da evapotranspiração. Apesar das definições convencionais de balanço hídrico serem tipicamente definidas para uma bacia hidrográfica, a dependência de chuvas derivadas da evapotranspiração em locais próximos e mais distantes podem afetar a disponibilidade hídrica (ELLISON et al., 2017). No entanto, os impactos potenciais nas circulações atmosféricas em larga escala permanecem desconhecidos e não há evidências conclusivas, mas possuem implicações potencialmente importantes para os padrões climáticos nas escalas local, regional e continental (MAKARIEVA et al., 2013).

Segundo Van der Ent et al. (2010), em média, ao menos 40% das chuvas sobre a terra

são originárias da evapotranspiração, com contribuições maiores em algumas regiões, onde a evapotranspiração da floresta amazônica contribui com mais de 70% das chuvas da bacia do Rio da Prata. A umidade atmosférica gerada pela evapotranspiração terrestre possui relação direta com a precipitação, e estima-se que a perda de cobertura florestal reduza a confiabilidade das chuvas (ELLISON et al., 2012; SHEIL; MURDIYARSO, 2009).

Na literatura, identificam-se correlações positivas entre a cobertura natural da terra e os serviços de purificação de água (captação, processamento e retenção de nutrientes e poluição, deposição de partículas) e controle de erosão (estabilização do solo), promovendo a melhoria de indicadores de qualidade da água (FREEMAN et al., 2008). Nas bacias com cobertura florestal, a vegetação promove a proteção contra a erosão do solo, a sedimentação e a lixiviação excessiva de nutrientes (SOPPER, 1975). A efetividade de medidas para proteção e/ou recuperação dos ecossistemas para a melhoria da qualidade de água bruta e para diminuição dos custos de tratamento de água pelas concessionárias de abastecimento público tem sido evidenciada repetidamente em diferentes estudos e publicações (NEARY et al. 2009). Uma revisão de 81 estudos realizados em várias regiões dos Estados Unidos identificou que as boas práticas de manejo florestal são eficazes na redução do aporte de sedimentos e para a melhoria da qualidade da água (CRISTAN et al., 2016).

Segundo Winiecki (2012), a cada U$1 gasto pela *Environmental Protection Agency* (EPA) em seis comunidades com medidas de proteção de mananciais, foram evitados cerca de U$27 em custos de tratamento de água. Sete cidades dos Estados Unidos (Oregon, Denver, Medford, Nova York, Eugene, Portland, Seattle) pouparam entre US$ 500 milhões e US$ 6 bilhões investindo em Soluções baseadas na Natureza em detrimento do custo de instalação de novas infraestruturas de tratamento de água. Uma análise de 27 companhias de abastecimento público nos Estados Unidos revelou que o custo de tratamento de água proveniente de bacias com 60% de cobertura florestal equivalia a metade do custo de tratamento de água das bacias com 30% de cobertura florestal e um terço do custo de tratamento de bacias com 10% de cobertura florestal (POSTEL; THOMPSON, 2005). A proteção e recuperação de áreas de mananciais gerou uma economia de aproximadamente US$ 5 bilhões em investimentos e de US$ 300 milhões anuais para a cidade de Nova York (NRC, 2000) e os serviços ecossistêmicos de regulação hídrica na bacia hidrográfica de Miyun para o abastecimento de água da cidade Pequim foram valorados em US$ 1,87 bilhão anuais (WU et al., 2010). Boyer et al. (2002) identificou a redução da carga de nitrogênio com o aumento de porcentagem de cobertura florestal em 16 diferentes bacias hidrográficas.

Enquanto há relativo consenso sobre o impacto positivo das SbN para a melhoria da qualidade da água, conclusões a respeito dos efeitos da cobertura vegetal nos processos relacionados à regulação hídrica, ou seja, que influenciam na distribuição da água superficial e subterrânea no espaço e tempo (taxas de infiltração, vazões de estiagem e recarga das águas subterrâneas) não apresentam evidências conclusivas.

Segundo Calder (2018), as florestas geralmente utilizam mais água por evapotranspiração que outras formas de vegetação, devido à sua altura e profundidade de enraizamento, portanto, é mais provável que o volume total de superfície e de água subterrânea disponível nas bacias hidrográficas florestadas seja menor do que nas bacias hidrográficas dominadas por vegetação arbustiva, campos e pastagens (ANDREASSIAN, 2004). No entanto, outros fatores como o clima, o solo, a topografia, a idade da vegetação e as práticas de manejo desempenham papéis determinantes na regulação hídrica; portanto, avaliações específicas por bacia hidrográfica são altamente recomendadas (SANDSTROM, 2019). Plantas jovens e invasoras geralmente têm impactos desproporcionalmente grandes na quantidade de água, porque a vegetação em crescimento vigoroso tende a usar mais água do que a vegetação madura, logo, ecossistemas nativos podem proporcionar maiores benefícios para a regulação hídrica do que os ecossistemas com uso de espécies exóticas (VERTESSY et al., 2001; IRVINE et al., 2004).

A literatura científica tipicamente destaca perdas substanciais na vazão total anual após o aumento da cobertura florestal, enquanto o desmatamento resulta em aumento da vazão anual total (FARLEY et al., 2005). No entanto, segundo revisão de literatura realizada por Ellison et al. (2017), boa parte dos estudos publicados disponíveis analisam os projetos de restauração florestal de curto prazo e baixa escala, realizados em bacias hidrográficas relativamente pequenas e focados em silvicultura e espécies exóticas, o que poderia limitar a capacidade dos pesquisadores de avaliar adequadamente o potencial desses projetos de gerar impactos positivos. Além disso, para os autores, poucas iniciativas são explicitamente projetadas para examinar os principais fatores que podem influenciar a resposta hidrológica e o resultado da produção de água a partir da restauração florestal, e faltam estudos de maior escala e mais longo prazo, particularmente nas florestas tropicais úmidas, onde há um número crescente de projetos de SbN. A idade das árvores é apontada como um fator importante de análise do balanço hídrico, pois as florestas jovens geralmente consomem mais água do que as florestas antigas (DELZON; LOUSTAU, 2005). Logo, mesmo que os impactos da elevada cobertura arbórea no fluxo anual total sejam inicialmente negativos, eles podem se tornar neutros a longo prazo

(SCOTT; PRINSLOO, 2008). A perda de cobertura arbórea após a conversão para outros usos da terra, como áreas de cultivo ou pastagens, promove a degradação do solo, e a restauração ecológica pode aumentar as vazões de estiagem quando o aumento da capacidade de infiltração do solo e na recarga das águas subterrâneas excedem o aumento da evapotranspiração (BRUIJNZEEL, 2004).

As florestas em altas altitudes podem representar um ingresso adicional de água em função da interceptação horizontal da umidade (captura de neblina), mesmo na ausência de chuva. Em diversas paisagens, a interceptação vertical pode representar estimativas de contribuição adicional de 400 mm/ano (BARBOZA et al., 2007) a mais de 1000 mm/ano (GHAZOUL; SHEIL, 2010), o que pode representar de 5 a 75% do escoamento total da bacia hidrográfica (BRUIJNZEEL et al., 2011; BARBOZA et al., 2015).

Em relação à regulação de eventos hidrológicos extremos, há relativo consenso de que a remoção da cobertura florestal aumenta a probabilidade de ocorrência de inundações, e de que o aumento da cobertura das árvores pode contribuir para moderar as vazões de cheias, no entanto, a compreensão de que o aumento da cobertura florestal pode reduzir o nível das cheias tem sido muito mais controverso (WAHREN et al., 2012). Embora as florestas possam ajudar a moderar as condições existentes, há limites quanto ao potencial de absorção de água em condições de precipitação intensa e duradoura, em função da saturação dos solos (ELLISON et al., 2017).

Enquanto os princípios do funcionamento dos serviços ecossistêmicos hídricos encontram-se bem estabelecidos (JONES et al. 2009), a clareza quanto a direção do impacto e previsões mais precisas da magnitude dos benefícios resultantes de práticas conservacionistas ainda são desafiadoras (HASSAN et al. 2005). A eficácia das ações de conservação, restauração e manejo conservacionista numa bacia é influenciada por uma variedade de fatores biofísicos, incluindo a geomorfologia e tipos de solo, a geologia, os padrões climáticos, a composição de espécies florestais e histórico de manejo do uso, dentre outros, além dos efeitos cumulativos e/ou combinados de múltiplos distúrbios no espaço e no tempo (HASSAN et al., 2005; HORNBECK; KOCHENDERFER, 2004). Os efeitos dos serviços ecossistêmicos variam em função do tamanho da bacia, da extensão e localização dos diferentes ecossistemas, e da frequência, duração e intensidade dos eventos climáticos (BIRKINSHAW; BATHURST, 2006).

Há dificuldade em quantificar a função hidrológica em relação às práticas de manejo específicas, e ainda existem consideráveis lacunas de pesquisa para aplicação de modelos de

quantificação de serviços ecossistêmicos relacionados à água, constituindo ainda atividade intensiva em recursos e cujos resultados apresentam certos níveis de incerteza (GARTNER et al., 2013). Dessa forma, extrapolações dos efeitos locais e de curto prazo dos serviços hidrológicos para escalas maiores ou para eventos extremos podem ser falhas e/ou incertas (BRAUMAN et al., 2007). Segundo UN-Water (2018), deve-se evitar suposições generalizadas dos impactos das SbN, sendo necessário conhecimento específico local para a sua devida implantação.

1.3.3.2 Serviços ecossistêmicos dependentes de água e cobenefícios

A importância das Soluções baseadas na Natureza vai muito além da segurança hídrica, incluindo a geração de cobenefícios e ganhos simultâneos para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, proteção dos habitats e da biodiversidade, a conservação do solo, o sequestro de carbono e a recreação, da saúde e do bem-estar humano (GARTNER et al., 2013; OZMENT et al., 2015; ABELL et al., 2017). Para Brauman et al. (2014), nenhuma avaliação de serviços ecossistêmicos é completa sem considerar o conjunto completo de serviços que podem ser fornecidos por uma parcela de terra, e em alguns casos, o fornecimento de uma variedade de outros serviços ecossistêmicos fornecidos em uma determinada bacia hidrográfica pode ser mais relevante e valioso do que serviços relacionados à quantidade e qualidade de água.

Além disso, há diversos serviços ecossistêmicos que dependem da adequada quantidade e qualidade de água para sua manutenção e funcionamento (Quadro 3). O conceito "água-energia-alimento" ou "*nexus*" aborda a natureza complexa e inter-relacionada dos sistemas de fornecimento de energia, alimentos e água, e que vão exigir um grande investimento para acompanhar o crescimento da demanda e as pressões das mudanças do clima nas próximas décadas (HOFF, 2011), sendo um desafio equilibrar diferentes metas e interesses dos usuários, mantendo a integridade dos ecossistemas (FAO, 2014).

Segundo Bennett e Carroll (2016), as SbN possuem um papel fundamental para enfrentar os desafios da segurança hídrica, alimentar e energética de forma integrada,

permitindo o gerenciamento e minimização dos "*trade-offs*"[4], maximizando a resiliência em face das condições de mudanças climáticas. Por exemplo, florestas, áreas úmidas e várzeas conservadas retém sedimentos e poluentes, melhorando a qualidade da água, e contribuem para o sequestro e estoque de carbono. Boas práticas agropecuárias (agricultura orgânica ou agroecológica, paisagens produtivas multifuncionais) podem otimizar o uso da água e reduzir o uso intensivo de energia, promover a segurança alimentar, reduzir a erosão e a perda de solo, e mitigar as mudanças climáticas através da redução das emissões de gases de efeito estufa.

Quadro 3 – Serviços ecossistêmicos dependentes da água

Serviços ecossistêmicos dependentes da água	
Categoria de SE	**Exemplos de funções e benefícios do ecossistema**
Serviços de provisionamento - Produtos obtidos dos ecossistemas	
Alimento e fibras	Pesca, produtos agrícolas, recursos florestais não madeireiros
Energia	Hidrelétricas e bioenergia
Recursos genéticos	Fonte de materiais genéticos para agricultura, medicamentos
Produtos medicinais, farmacêuticos e bioquímicos	Produtos químicos, medicamentos e produtos farmacêuticos derivados da biota viva
Serviços de regulação - Benefícios obtidos com a regulação de processos ecossistêmicos	
Qualidade do ar	Ciclagem de CO2 e O2, controle da poluição
Regulação do clima	Estoque e sequestro de carbono (mitigação de mudanças climáticas)
Regulação de pragas e doenças	Influenciar a existência, extensão e severidade de pragas e doenças humanas, vegetais e animais
Polinização	Sustentar a polinização animal de plantas para apoiar a produção agrícola e a biodiversidade
Serviços de suporte - Serviços necessários para a prestação de todos os outros serviços	
Ciclagem de nutrientes	Produção primária
Formação do solo	Mantém a produção regular de solo para apoiar a maioria dos outros serviços de ecossistemas terrestres
Ciclagem de nutrientes	Mantém o funcionamento geral do ecossistema
Serviços culturais - Benefícios não materiais que as pessoas podem obter dos ecossistemas	
Valores espirituais e religiosos	Crenças sustentadas que dependem da existência de ecossistemas (natureza)
Beleza cênica	Benefícios derivados de ecossistemas considerados bonitos, atraentes ou apreciados visualmente
Recreação e ecoturismo	Benefícios socioeconômicos baseados em turismo e recreação

Fonte: Adaptado de UN-Water, 2018.

[4]A expressão *trade-off* se refere a situações de conflitos de escolha, sendo traduzida como 'perde-e-ganha'. Caracteriza-se por uma ação que visa à solução de um problema em detrimento de outro, e no contexto dos serviços ecossistêmicos, *trade-offs* surgem de escolhas que podem mudar o tipo e a magnitude dos serviços produzidos pelos ecossistemas (RODRÍGUEZ et al., 2006).

1.3.4 Ações de SbN para segurança hídrica

As SbN podem representar diferentes tipos de medidas que podem contribuir para disponibilidade da água em quantidade e qualidade. Há um amplo espectro de opções, variando de intervenções na escala micro (imóvel rural) a macro (bacia hidrográfica). Apesar de não haver um quadro único das medidas reconhecidas como SbN para segurança hídrica, apresentam-se neste item as tipologias e as medidas mais citadas e recorrentemente adotadas em iniciativas (programas, projetos, ações) de SbN, sem o objetivo de esgotar o tema, e destacando a distinção entre as mesmas.

A partir da revisão de literatura, identificou-se que as medidas de SbN para segurança hídrica podem ser agrupadas ou diferenciadas entre si por três fatores: (i) grau de integridade, manejo e/ou alteração dos ecossistemas; (ii) natureza da intervenção e (iii) objetivos e impactos esperados.

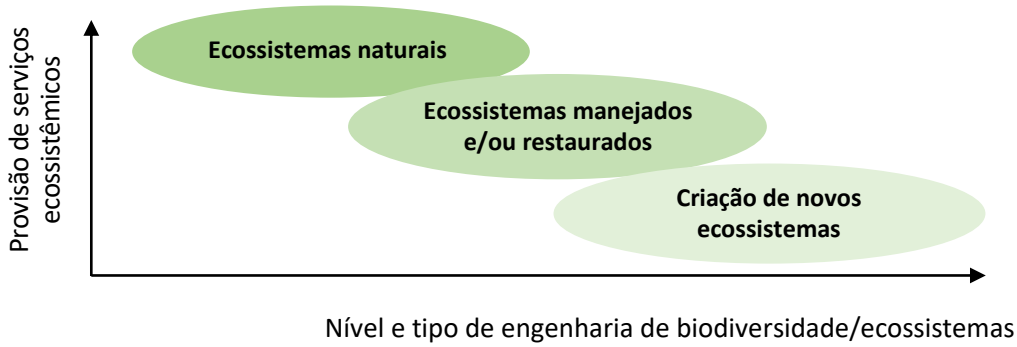
1.3.4.1 Classificação de medidas de SbN pelo grau de integridade, manejo e alteração dos ecossistemas

Em relação ao primeiro fator, a classificação proposta por Potschin et al. (2015) e Eggermont et al. (2015) contribui para tornar mais claro os diferentes graus de integridade, manejo e alteração dos ecossistemas entre as medidas de SbN, e sua relação com os níveis de provisão de serviços ecossistêmicos (Figura 8), descritos como:

- Ecossistemas naturais: envolve medidas de conservação de ecossistemas naturais ou recuperação ecológica, implicando num maior nível de provisão de serviços ecossistêmicos (ex. áreas protegidas).
- Ecossistemas manejados**:** contempla o manejo de agroecossistemas e paisagens sustentáveis e multifuncionais, extensivamente ou intensivamente gerenciados, de modo a garantir um maior nível de provisão dos serviços ecossistêmicos em relação a paisagens produtivas mal manejadas ou degradadas (ex. sistemas integração lavoura-pecuária-floresta).

- Novos ecossistemas ou ecossistemas artificiais: envolve a criação de espaços com elementos da biodiversidade em áreas urbanas, em obras de engenharia ou em construções, minimizando os impactos ambientais de ambiente altamente modificados (ex. pavimentos e telhados verdes).

Figura 8 – Representação esquemática da classificação das medidas e soluções de SbN



Nota: Considerado o grau de modificação e o nível de provisão de serviços ecossistêmicos.
Fonte: Adaptado de EGGERMONT et al., 2015.

Observa-se que as iniciativas (programas, projetos, ações) de SbN podem se limitar e focar em apenas a medidas de uma das categorias descritas, ou abordar simultaneamente mais de uma delas. No geral, iniciativas que adotam medidas relacionadas à proteção e recuperação dos ecossistemas geralmente contam com envolvimento e participação de instituições do meio ambiente, e iniciativas que contemplam o manejo de agroecossistemas e paisagens sustentáveis e multifuncionais envolvem órgãos de assistência técnica e extensão rural. Projetos e programas que integram mais de uma categoria exigem equipes multidisciplinares e/ou parcerias interinstitucionais.

1.3.4.2 Classificação de medidas de SbN pela natureza da intervenção

Em relação à natureza das medidas, observa-se a citação mais frequente de algumas medidas de SbN para segurança hídrica, relacionadas sem o objetivo de esgotar o tema (ABELL et al., 2017; COHEN-SHACHAM et al., 2016; UNEP, 2014; UN-WATER, 2018):

- Ações de gestão e governança: relacionadas ao fortalecimento das capacidades para adoção de SbN. Possuem um caráter complexo e multidimensional, que depende de um conjunto de fatores, tais como existência de lideranças técnicas e políticas; arranjos institucionais adequados; recursos humanos e institucionais suficiente e capacitados; dados disponíveis e acessíveis; capacidade financeira; apoio e envolvimento da comunidade, dentre outros (DE LOË et al., 2002; IVEY et al., 2002; IVEY et al., 2006; TIMMER et al., 2007);
- Ordenamento territorial: relacionadas ao disciplinamento do uso e ocupação do solo, visando manter a qualidade ambiental das áreas de manancial, tais como: perímetros de proteção de poços, perímetro de proteção de captações superficiais e áreas de proteção dos mananciais superficiais e subterrâneos; instrumentos de planejamento territorial e urbano (Plano Diretor Municipal, Zoneamento Ecológico-Econômico); dentre outros;
- Ações de proteção e recuperação de ecossistemas e do manejo da cobertura vegetal, dos solos e dos recursos hídricos em áreas rurais**,** tais como: criação, gestão e/ou manejo de áreas legalmente protegidas (unidades de conservação, áreas de preservação permanente, reserva legal, etc.); restauração ecológica; boas práticas de manejo agropecuário; apoio e fortalecimento de sistemas produtivos de base florestal, agroecológica e orgânica; controle de fontes de poluição pontual e difusa em áreas rurais (saneamento rural e adequação ambiental de estradas rurais); recuperação e/ou renaturalização de áreas úmidas e várzeas; prevenção e controle de queimadas, etc.;
- Instrumentos econômicos que valorizem o capital natural, como o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA); mercados de carbono; certificação e rotulagem ambiental, dentre outros;
- SbN em áreas urbanas, como pavimentos e telhados verdes (permeáveis).

O Quadro 4 apresenta algumas definições adotadas em relação às principais medidas de SbN relacionadas à segurança hídrica. O Quadro 5, por sua vez, apresenta uma síntese das principais medidas de SbN e sua relação com os serviços ecossistêmicos relacionados à água segundo UNEP (2014), sendo possível observar que medidas de SbN podem contribuir para um ou mais serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica, além dos serviços ecossistêmicos dependentes da água e cobenefícios.

Quadro 4 – Principais medidas e ações de SbN para segurança hídrica e conceitos associados (continua)

Medidas e ações	Definição
Conservação de áreas naturais	Medidas promovidas para assegurar a integridade e qualidade dos remanescentes de vegetação nativa, tais como: o isolamento dos remanescentes à construção de aceiros e demais medidas de prevenção e controle de incêndios florestais; e o enriquecimento por meio do plantio de espécies climáticas e secundárias tardias, atrativas de fauna, raras e/ou ameaçadas de extinção. Mecanismos e instrumentos para conservação da vegetação nativa, tais como: criação, ampliação e implantação de Unidades de Conservação em áreas de interesse para proteção e recuperação de mananciais; aprovação de áreas de Reserva Legal; pagamento por serviços ambientais para conservação; e ações de monitoramento sistemático para prevenção e combate ao desmatamento e incêndios florestais.
Restauração florestal	Processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema degradado, danificado ou destruído, consistindo em atividade intencional que desencadeia ou acelera a recuperação da integridade ecológica de um ecossistema, de forma natural ou assistida, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando seus valores ecológicos, ambientais e sociais (INEA, 2017a). Este processo é promovido por meio de ações de gerenciamento de risco para áreas em restauração com intensa pressão com isolamento, implantando-se cercas e aceiros, controle de pragas, formigas, espécies invasoras ou exóticas ou podas de condução de espécies escandentes ou arbóreas, recuperação do solo, no caso de área com alto grau de compactação e baixa fertilidade e florestal, pela condução da regeneração natural, plantio total ou outras técnicas que promovam o recobrimento do solo e a recuperação da estrutura e funcionalidade do ecossistema. De modo geral, são priorizadas as áreas de recarga, faixas marginais de proteção de nascentes e matas ciliares, áreas úmidas, topos de morro, áreas declivosas e corredores ecológicos, buscando compatibilizar a intervenção com a adequação ambiental dos imóveis rurais, conforme determina a Lei nº 12.651/2012.
Apoio e fortalecimento de sistemas produtivos de base sustentável	O apoio e fortalecimento de sistemas produtivos de base sustentável abrange as ações de capacitação, assistência técnica, investimento e/ou financiamento voltadas para o fortalecimento de proprietários ou possuidores de imóveis rurais que adotam boas práticas agropecuárias nos seus sistemas de produção e/ou adotam sistemas produtivos de base florestal, agroecológica ou orgânicas, contribuindo para gerar impacto social e ambiental positivo.

Quadro 4 – Principais medidas e ações de SbN para segurança hídrica e conceitos associados (conclusão)

Medidas e ações	**Definição**
Pagamento por Serviços Ambientais - PSA	Os instrumentos econômicos têm o potencial de influenciar o comportamento dos indivíduos e estimular a adoção de comportamentos ambientalmente desejáveis e o alcance de resultados ambientais a menores custos (UNEP, 2014). O pagamento por serviços ambientais (PSA) é amplamente adotado no mundo como estratégia para proteção de mananciais (BROUWER et al., 2011; BOSCH et al., 2019). Segundo Wunder (2005), o PSA é uma transação voluntária, na qual um serviço ambiental bem definido, ou um uso da terra que possa assegurar esse serviço, é adquirido por, no mínimo, um comprador de, no mínimo, um provedor do serviço.
Boas práticas de manejo agropecuário	As Boas Práticas Agrícolas ou Agropecuárias abrangem um conjunto de princípios, normas e recomendações técnicas aplicadas para a produção, processamento e transporte de alimentos, que, além de tornar os sistemas de produção mais rentáveis e competitivos, assegurem a oferta de alimentos seguros, oriundos de sistemas de produção sustentáveis (EMBRAPA, 2018). Consideram-se também as práticas de conservação do solo e água, ou seja, medidas promovidas para assegurar à água o maior nível energético possível no sistema hidrológico, garantindo a infiltração da água no solo; e minimizar o processo erosivo com o uso integrado de técnicas que considerem o ambiente como um todo (PRUSKI, 2009). Dentre as técnicas relacionadas à regulação hídrica e qualidade da água, destacam-se o sistema de plantio direto, a rotação de culturas, a consorciação de culturas, sistema de integração lavoura-pecuária-floresta, fixação biológica de nitrogênio, adubação verde, manejo integrado de pragas, manejo da água para irrigação, e outras.

Fonte: A autora, 2020.

Quadro 5 – Exemplos de medidas de SbN e serviços ecossistêmicos relacionados à água

	Serviços Ecossistêmicos (classificação TEEB)																
	Serviços de provisão				**Serviços de Regulação**							**Serviços de Habitat**		**Serviços Culturais**			
Soluções Baseadas na Natureza	Provisão de água	Produção de Alimentos e fibras	Matéria Prima	Produtos medicinais, farmac. e bioquímicos	Regulação hídrica	Regulação climática	Regulação de eventos extremos	Purificação da Água	Regulação de erosão e de sedimentos	Polinização	Regulação de pragas e doenças	Habitat para espécies	Manutenção da diversidade genética	Recreação	Turismo	Beleza Cênica / Valor Cultural	Valores espirituais e religiosos
Conservação de áreas naturais e restauração ecológica	■	▫	▫	▫	■	■	■	■	■	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫
Recuperação de várzeas e áreas úmidas	■	▫	▫	▫	■	■	■	■	■	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫
Sistemas Integração Lavoura Pecuária Floresta (ILPF)	■	▫	▫	▫	■	■	■	■	■	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫
Práticas mecânicas de conservação do solo	■	▫	▫		■		■	■	■								
Restabelecer a conexão entre rios e bacias de inundação (remoção de diques)	■	▫	▫	▫	■	▫	■	■	■	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫	▫
Coleta da água	■						■		■								
Telhados verdes		▫					■			▫		▫					
Espaços verdes (biorretenção e infiltração)	■	▫			■		■	■	■	▫		▫		▫		▫	
Pavimentos permeáveis	■						■		■								

■ serviços ecossistêmicos diretamente relacionados à segurança hídrica

▫ serviços ecossistêmicos com benefícios mútuos (cobenefícios)

Nota: De acordo com a classificação "*The economics of ecosystems and biodiversity*" (TEEB).
Fonte: A autora, 2020. Adaptado de UNEP, 2014.

1.3.4.3 Classificação de medidas de SbN pelos objetivos e impactos esperados

Em relação à natureza dos objetivos e impactos esperados, as medidas podem ser divididas em dois grupos: as que buscam contribuir para melhoria dos serviços hidrológicos e não levam em consideração questões de ordem socioeconômica; e medidas buscam contribuir simultaneamente para melhoria de serviços hidrológicos e de indicadores sociais e econômicos (ex. redução da pobreza rural, aumento da produção e renda).

Segundo Darghouth et al. (2008), a partir da década de 90, uma nova gestão de programas de manejo de bacias hidrográficas passaram a atuar na melhoria da gestão da terra e água, no aumento da produtividade agropecuária e no aumento da provisão dos serviços ecossistêmicos, a fim de alcançar simultaneamente objetivos de redução da pobreza e de conservação ambiental. Constatou-se que o esgotamento de recursos naturais em áreas agrícolas vulneráveis e a degradação da terra estarão diretamente relacionados com a baixa produtividade e a pobreza rural, especialmente em países em desenvolvimento. Em geral, essas iniciativas adotam medidas de planejamento e gestão integrada de sistemas agrícolas; a difusão de tecnologias com geração de renda e conservação; e a abordagens participativas orientadas para o fortalecimento comunitário.

1.3.5 Abordagens relacionadas à segurança hídrica a partir de SbN

Apesar de muitos instrumentos terem sido desenvolvidos para abordar questões específicas relacionadas à proteção dos serviços ecossistêmicos para a segurança hídrica da água bruta, há um crescente reconhecimento da necessidade de desenvolver abordagens que alcancem de forma coerente o conjunto de resultados e necessidades desejadas pela sociedade, fornecendo um arcabouço na tomada de decisões que leve em consideração os *trade-offs* e que tenha uma orientação integrada e coerente a nível local (MCGONIGLE et al., 2012). Considerando a complexidade dos problemas, indefinição de fronteiras, dificuldade de atribuição e intensificação da pressão política (PLUMMER et al., 2010), as abordagens integradas refletem a compreensão dos desafios de gestão que devem ser enfrentados no século XXI (OECD, 2006).

Segundo Bennett e Carroll (2014) e Bennett et al. (2016), as iniciativas e os investimentos globais relacionados às SbN têm crescido vertiginosamente a partir da década de 90. Conforme apontado pelos autores, haviam menos de 50 programas e projetos ativos no ano 2000. Em 2013, foram identificadas e analisadas 345 iniciativas que totalizaram um investimento de U$ 12,3 bilhões. Em 2015, alcançou-se um total de 410 iniciativas, atingindo U$ 24,6 bilhões em investimento em SbN para água. Como principal resultado, esses programas e projetos abrangeram 487 milhões de hectares manejados em programas de compensação pela gestão sustentável do uso do solo para proteção de mananciais e medidas de conservação e restauração florestal, agricultura e manejo florestal sustentável e SbN urbana.

A partir da revisão de literatura, foram identificados e caracterizados três principais conjuntos distintos de abordagens integradas que norteiam as principais iniciativas relacionadas às SbN para segurança hídrica da água bruta:

(i) Abordagem de segurança da água para consumo humano;

(ii) Abordagens para gestão integrada de recursos hídricos;

(iii) Abordagem ecossistêmica.

O agrupamento proposto se trata de uma aproximação teórica e conceitual, em função dos objetivos, fatores motivadores, conceitos relacionados e princípios norteadores comuns para o desenvolvimento e implementação de medidas voltadas para a proteção dos ecossistemas e a segurança hídrica da água bruta (Quadro 6 e Figura 9).

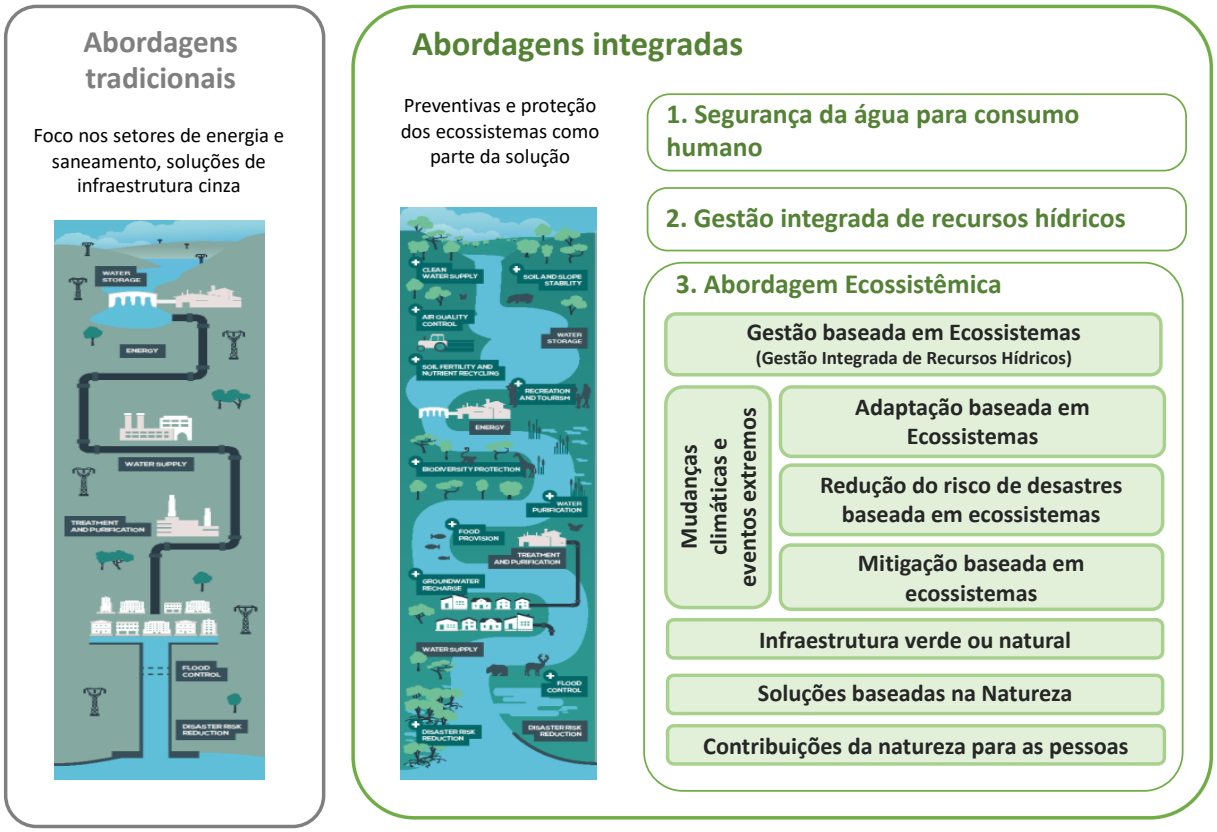
Cabe ressaltar que as referidas abordagens variam na literatura entre as diferentes iniciativas, países e contextos, apresentando diferenças significativas quanto às estratégias de implementação. Cada iniciativa estabelece uma abordagem específica, considerando as pressões, ameaças, vulnerabilidades, potencialidades, vocações e capacidades locais (IVEY et al., 2006). A seguir, apresenta-se um breve histórico e conceituação das abordagens mencionadas, e por fim, discutidas as suas semelhanças, divergências e aplicações.

Quadro 6 – Resumo das abordagens relacionadas à proteção dos ecossistemas para segurança hídrica da água bruta

	Segurança da Água para consumo humano	**Gestão Integrada de Recursos Hídricos**	**Abordagem Ecossistêmica**
Objetivo Principal	Assegurar a água potável segura para a população, evitando sua contaminação na sua origem.	Assegurar a água em quantidade e qualidade para as gerações atuais e futuras	Alocação de água para garantir a manutenção da saúde dos ecossistemas associados a água e o bem-estar humano em longo prazo.
Fatores motivadores	Ocorrência de surtos de contaminação da água potável, afetando uma determinada comunidade e com grande repercussão local.	Déficit hídrico atual ou futuro do manancial, a ocorrência de eventos críticos (estiagens e inundações), o assoreamento dos corpos hídricos e comprometimento da qualidade de água.	Déficit hídrico atual ou futuro do manancial; diminuição dos custos de tratamento de água; alternativa à construção de novas infraestruturas de tratamento de água; adaptação a mudanças climáticas; cobenefícios (proteção da biodiversidade, sequestro de carbono, conservação do solo).
Conceito relacionado à proteção de mananciais de abastecimento público	Primeira barreira para evitar ou reduzir a contaminação dos mananciais, minimizando os custos operacionais de tratamento. Significa evitar ou reduzir a contaminação da água bruta contra patógenos e substâncias que causem prejuízo a saúde humana.	Grupo de atividades e ações executadas para preservação e/ou recuperação ambiental de uma bacia hidrográfica que resguardem a disponibilidade de água bruta em quantidade e qualidade para o abastecimento público.	Planejamento e gestão de ecossistemas naturais, modificados e/ou criados de modo a conservar ou aumentar os serviços ecossistêmicos e benefícios associados para as populações humanas.
Componentes da abordagem	Estabelecimento de metas de saúde baseada em avaliação de riscos, elaboração dos Planos de Segurança de Água; e sistemas de vigilância.	Planejamento integrado baseado na bacia hidrográfica, parcerias entre os diferentes níveis e escalas e a coordenação entre os setores e atores, etc.	Gestão adaptativa baseada nos ecossistemas, planejamento integrado das SbN e da infraestrutura construída para segurança hídrica.

Fonte: A autora, 2020.

Figura 9 – Abordagens integradas que adotam a proteção dos ecossistemas para segurança hídrica da gestão da água bruta para abastecimento público



Fonte: A autora, 2020. Com ilustrações de IUCN, 2018.

1.3.5.1 Segurança da água para consumo humano

Até o início do século XXI, a abordagem de segurança da água para consumo humano era focada no padrão de potabilidade, ou seja, no controle do produto final. Em 2004, a partir da publicação da 3ª Edição do Guia de Segurança da Água da OMS, que adota princípios de múltiplas barreiras e elaboração de Planos de Segurança de Água (WHO, 2017), há um grande avanço no âmbito internacional para adoção de abordagens preventivas, baseadas no princípio da precaução.

As abordagens integradas para água segura potável adotam o conceito de proteção de mananciais como o desenvolvimento e implementação de políticas, planos e atividades para prevenir ou minimizar a liberação direta ou indireta de poluentes para as águas superficiais ou subterrâneas utilizadas ou que se pretende utilizar no futuro como manancial de abastecimento público. A estratégia de proteção de mananciais constitui a primeira barreira para evitar ou

reduzir a contaminação dos mananciais, minimizando os custos operacionais de tratamento, e o objetivo principal é assegurar a água potável segura para a população, evitando sua contaminação na sua origem (IVEY et al., 2006; TIMMER et al., 2007; PLUMMER et al., 2011).

As publicações "Orientações para a qualidade da água potável" (WHO, 2017) e a Carta de Bonn (IWA, 2004) são as principais referências internacionais para a proteção da saúde pública e para gestão de risco das ameaças que podem comprometer a água potável segura, fornecendo subsídios aos países para o estabelecimento de padrões e regulamentações sobre o tema. A OMS já publicou quatro edições das "Orientações para a qualidade da água potável" (*Guidelines for drinking-water quality*) em 1983–1984, 1993–1997, 2004, 2011 e 2017, sendo reconhecido como a posição do sistema das Nações Unidas nos temas de qualidade de água potável e saúde (WHO, 2017). As iniciativas adotam os Planos de Segurança de Água, instrumento recomendado pelas "Orientações para qualidade da água potável" para a avaliação, prevenção e controle do risco das ameaças para a contaminação da água potável segura.

A 3ª edição (2004) passou a incorporar uma abordagem abrangente de prevenção de risco para garantia da água potável através de uma abordagem multi-barreira, destacando a importância da proteção de mananciais para a prevenção e controle da poluição e da contaminação. A 4ª edição (2011) passou a incluir as implicações das mudanças climáticas para a escassez hídrica e qualidade de água, reconhecendo a importância de gerenciar esses impactos através da gestão integrada de recursos hídricos.

Dessa forma, as orientações devem ser utilizadas para promover um quadro de gestão preventiva integrada para a segurança aplicada desde a bacia hidrográfica ao consumidor. O arcabouço conceitual da segurança da água para o consumo humano é uma abordagem de gestão preventiva composta de 3 componentes principais: estabelecimento de metas de saúde baseada na avaliação de riscos; elaboração de Planos de Segurança de Água (*Water Safety Plans*) e sistema independente de vigilância para verificação da operação (WHO, 2016).

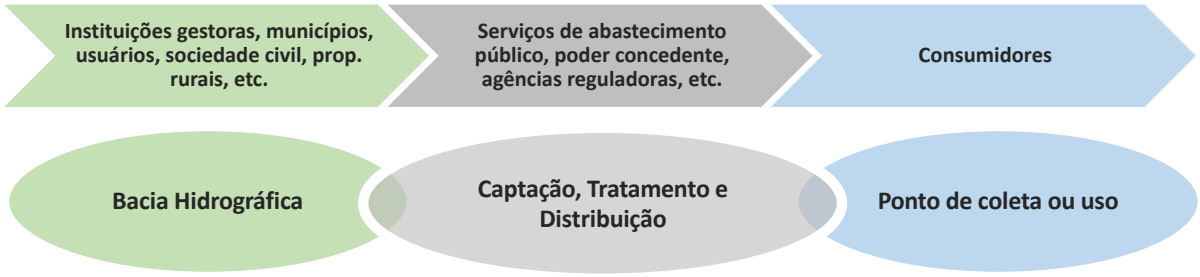
Os Planos de Segurança de Água representam uma evolução do conceito de pesquisa sanitária e de avaliação de vulnerabilidade, incorporando princípios e conceitos de outras abordagens de gestão de risco, em especial, a abordagem multi-barreira e a avaliação de pontos críticos de controle para água potável segura. Os planos devem ser elaborados, preferencialmente, por sistema de abastecimento de água, e adotar um conjunto de abordagens para sua efetiva implementação:

- Abordagem preventiva: a gestão preventiva é a abordagem preferencial para garantir a segurança da água potável e deve ter em conta as características do abastecimento

de água potável desde da bacia hidrográfica para a sua utilização pelos consumidores;

- Abordagem multi-barreira: abordagem holística e abrangente que considera a água desde a sua fonte até o consumidor, as ameaças atuais e potenciais para a qualidade da água e estabelece múltiplas barreiras para minimizar o seu impacto (por exemplo, a proteção das áreas sensíveis, tratamento, distribuição e armazenamento, monitoramento e resposta às condições adversas) (Figura 10);
- Abordagem colaborativa multi-institucional: Independente das estruturas governamentais e das responsabilidades de cada setor, é fundamental a articulação e colaboração dos setores de saúde, recursos hídricos e ordenamento do uso do solo na bacia, a partir de abordagem colaborativa multi-institucional. Desse modo, deve-se assegurar que instituições responsáveis por áreas específicas do ciclo hidrológico estejam envolvidas na gestão da qualidade da água. Dependendo da configuração, outros setores podem ser envolvidos, tais como: agricultura, turismo e desenvolvimento urbano.

Figura 10 – Principais atores, áreas de influência e barreiras relacionados ao plano de segurança da água potável



Fonte: Adaptado de WHO, 2016.

A proteção de mananciais constitui uma primeira linha de defesa para a proteção da saúde pública, evitando ou reduzindo a contaminação da água bruta e minimizando os custos operacionais de tratamento. Os sistemas de tratamento de água para o abastecimento público são a segunda barreira contra a contaminação da água, sendo a infraestrutura de distribuição a última. A proteção de mananciais, segundo a abordagem dos Planos de Segurança de Água, abrange os seguintes elementos:

- Desenvolvimento e implementação de um plano de gestão da bacia hidrográfica, que deverá incluir medidas para proteção dos mananciais superficiais e subterrâneos;

- Garantir que as regulamentações e normas de ordenamento territorial, meio ambiente e gestão de recursos hídricos incluam a proteção dos mananciais de atividade potencialmente poluidoras;
- Promover a conscientização na comunidade do impacto da atividade humana sobre a qualidade da água.

Grande parte dessas iniciativas têm como principal fator indutor a ocorrência de surtos de contaminação da água potável, afetando uma determinada comunidade e com grande repercussão local. Diversas nações, tais como Canadá e os países membros da União Europeia desenvolveram regulamentações, políticas e programas específicos voltados para a proteção de mananciais a partir da abordagem dos Planos de Segurança de Água, adaptando-a em função dos desafios específicos e particularidades locais. No entanto, alcançar uma estratégia eficaz para a proteção de mananciais é uma tarefa complexa que exige uma análise cuidadosa dos diferentes usos da água. Um dos maiores desafios é a integração da estratégia de proteção de mananciais com outras estratégias de gestão de recursos hídricos e do uso da terra (IVEY et al., 2006). Dessa forma, a proteção de mananciais é mais apropriadamente considerada como um componente crítico da gestão integrada de recursos hídricos (SIMMS et al., 2010).

Enquanto o conceito de Plano de Segurança de Água tem se tornado familiar nos países de alta e média renda, no restante do globo os planos ainda são pouco utilizados, e nos países de baixa renda são raros (SUMMERILL et al., 2010). No Brasil, a adoção dos Planos de Segurança de Água é recente. A potabilidade da água para o consumo humano é regulamentada pelo Ministério da Saúde e a primeira normativa a tratar dessa abordagem foi a Portaria MS nº 1.469/2000, que passou a definir, no Art. 9º, a obrigação dos operadores de sistema de abastecimento de água em manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída. Portanto, incorpora o conceito da gestão preventiva de risco nas atividades de controle de qualidade da água, apesar do seu teor genérico e da indefinição de diretrizes metodológicas para adoção pelas instituições responsáveis pela prestação dos serviços de abastecimento de água.

A Portaria MS nº 2.914/ 2011, que veio a revogar as normativas anteriores, por sua vez, é a primeira que cita expressamente um Planos de Segurança de Água e recomenda ao gestor dos serviços de saneamento a avaliação contínua dos sistemas de abastecimento de água para redução dos riscos à saúde. Em seu Art. 13º, define que responsáveis pelos sistemas de

abastecimento de água ou soluções alternativas coletivas devem manter uma avaliação sistemática, sob a perspectiva dos riscos à saúde, considerando critérios como a ocupação da bacia contribuinte ao manancial; histórico das características das águas; e a qualidade da água distribuída, conforme os princípios dos Planos de Segurança da Água, recomendados pela OMS ou definidos em diretrizes vigentes no país. A Portaria de Consolidação nº 5/2017 revogou a Portaria MS nº 2.914/ 2011, sendo a normativa em vigor que trata dos procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano, mantendo as mesmas recomendações relacionadas aos Planos de Segurança de Água.

Lira (2017) destaca a importância da proteção de mananciais nos Planos de Segurança de Água como estratégia de enfrentamento de problemas "emergentes" de qualidade da água para consumo humano que apresentam relação direta com o uso e ocupação do solo na bacia de captação, tais como a transmissão de protozooses (giardíase e criptosporidiose) oriundas de fontes difusas de poluição, tais como atividades agropecuárias; e o desenvolvimento de cianobactérias em função da eutrofização dos mananciais.

Segundo Bastos (2016) o uso do Plano de Segurança de Água como instrumento preventivo de planejamento e monitoramento dos recursos hídricos no país é recente, e apesar da divulgação e disseminação dos conceitos pela academia e Ministério da Saúde há pouco mais de uma década, as poucas experiências existentes ainda estão em fase de implantação e em busca da consolidação metodológica. Dentre os desafios atuais para a efetiva implantação dos Planos de Segurança de Água, destaca-se a necessidade de capacitação orientada e prática para elaboração e implementação do instrumento; a sensibilização e o comprometimento tanto do corpo técnico, como de gestores e tomadores de decisão; e a formação de equipes intersetoriais e interdisciplinares, responsáveis pela operacionalização dos planos (BASTOS, 2016).

Oliveira (2015) identificou os seguintes modelos de Planos de Segurança de Água em construção, porém, sem maiores informações sobre sua efetiva implementação: Viçosa/MG (Universidade Federal de Viçosa), em 2006; São Paulo/SP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP)), em 2009; Campinas/SP (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA)), em 2012; Brasília/SF (Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB)), em 2012; Luzerna, Joaçaba e Herval D'Oeste/SC (Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto), em 2012-2013; Caratinga-Resplendor, Nanuque, Visconde do Rio Branco, Ipuiuna, São Gotardo, Perdigão, Belo Horizonte e Região Metropolitana e Montes Claro/MG (Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA)), em 2014; Bento Gonçalves/RS (Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN)). Na

Região Metropolitana do Rio de Janeiro, há registro de ações da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) no sentido de desenvolver um Plano de Segurança de Água para o Sistema Guandu (ANTUNES et al., 2016), porém não foi elaborado até o presente momento. Segundo técnicos da CEDAE (informação verbal[5]), o sistema Imunana-Laranjal não dispõe de um Plano de Segurança de Água.

1.3.5.2 Gestão Integrada de Recursos Hídricos

Após a Segunda Guerra Mundial, entre 1950 e 1970, grandes investimentos em infraestrutura hídrica cinza, com sistemas de irrigação, reservatórios e barragens hidrelétricas foram construídos na Ásia, África e América Latina para promover o desenvolvimento agrícola e o crescimento econômico, garantindo o fornecimento de água e eletricidade. Obras de canalização e drenagem de áreas e controle de inundações também foram amplamente disseminadas. Os impactos negativos dessas intervenções passaram a ser discutidos e criticados na década de 60, e a gestão de recursos hídricos começou a considerar mais detalhadamente as suas implicações ambientais, econômicas e sociais, a partir da ótica do "gerenciamento integrado de bacias hidrográficas" (FAO, 2006).

Segundo o Banco Mundial (DARGHOUTH et al., 2008), programas de manejo de bacias hidrográficas[6] ganharam relevância e maior aporte de investimentos em países em desenvolvimento nas décadas de 1970 e 1980, priorizando medidas de proteção de reservatórios e de soluções de engenharia. No entanto, apresentaram resultados limitados e frustrantes, grande parte por abordarem tecnologias vegetativas e mecanizadas caras e por não considerarem as capacidades, demandas e necessidades da população local. Além disso, o alto grau de centralização da gestão e o fraco grau de envolvimento e participação social resultava em baixo comprometimento social com o projeto, e a governança fragmentada limitava a colaboração e comunicação de setores essenciais para o sucesso das iniciativas.

---

[5] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

[6] Darghouth et al. (2008) realizaram a revisão e análise de 24 projetos de gerenciamento de bacias hidrográficas financiados pelo Banco Mundial e implementados entre 1990 e 2004. Outros 29 projetos não dedicados possuíam componentes de gerenciamento integrado de bacias hidrográficas. Os principais objetivos e abordagens dos projetos dedicados foram amplamente semelhantes: (a) gestão sustentável e integrada da base de recursos naturais como base para o aumento da produção agrícola, levando ao aumento da renda e à redução da pobreza (80% dos projetos); e (b) reversão da degradação ambiental (50% dos projetos).

Abordagens integradas de recursos hídricos surgem em resposta aos resultados insatisfatórios das políticas em curso e frente a crescente pressão e degradação sobre os recursos hídricos. “Gestão integrada de Recursos Hídricos”, “Gestão e Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos”, “Gestão Integrada de Bacias de Contribuição”, e “Gestão Integrada de Bacias Hidrográficas” (MEDEMA; JEFFREY, 2005) são termos recorrentemente citados na literatura.

A gestão integrada de recursos hídricos (GIRH) (*Integrated Water Resources Management – IWRM*) consolidou-se como o modelo predominante no setor de gestão de recursos hídricos. O conceito mais amplamente adotado é o da GWP (AGARWAL et al., 2000), no qual a GIRH é “um processo que promove a coordenação de desenvolvimento e gestão de água, terra e recursos relacionados, a fim de maximizar a resultante econômico e o bem-estar social de forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais”. Adota como critérios primordiais a eficiência econômica no uso da água, a equidade e a sustentabilidade ambiental e ecológica. A integração contempla o sistema natural, com sua importância crítica para a disponibilidade e qualidade de recursos; e o sistema humano, que determina o uso de recursos, a produção de resíduos e que deve definir as prioridades de desenvolvimento.

A primeira menção ao termo consta no Relatório da Conferência das Nações Unidas sobre Água de 1977, realizada em Mar del Plata em 1977. A Declaração de Dublin para a Água e o Desenvolvimento Sustentável (1992) definiu os princípios e diretrizes para a implementação da GIRH: a água é um recurso finito e escasso; abordagem participativa; envolvimento das mulheres na tomada de decisões; e a água como um bem econômico. Em 1996, a *GWP* é criada pelo Banco Mundial e pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento com a finalidade de promover a GIRH (GWP, 2019). O Segundo Fórum Mundial da Água em Haia, realizado em 2000; a Conferência Internacional sobre Água Doce em Bonn ocorrida em 2001; a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Johannesburgo de 2002; e o Terceiro Fórum Mundial da Água em Kyoto, em 2003; trouxeram e consolidaram a GIRH na agenda política dos países (RAHAMAN; VARIS, 2005). Por fim, a GIRH é a abordagem adotada para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio (ODS), conforme definição da meta 6.5 de “implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado” até 2030.

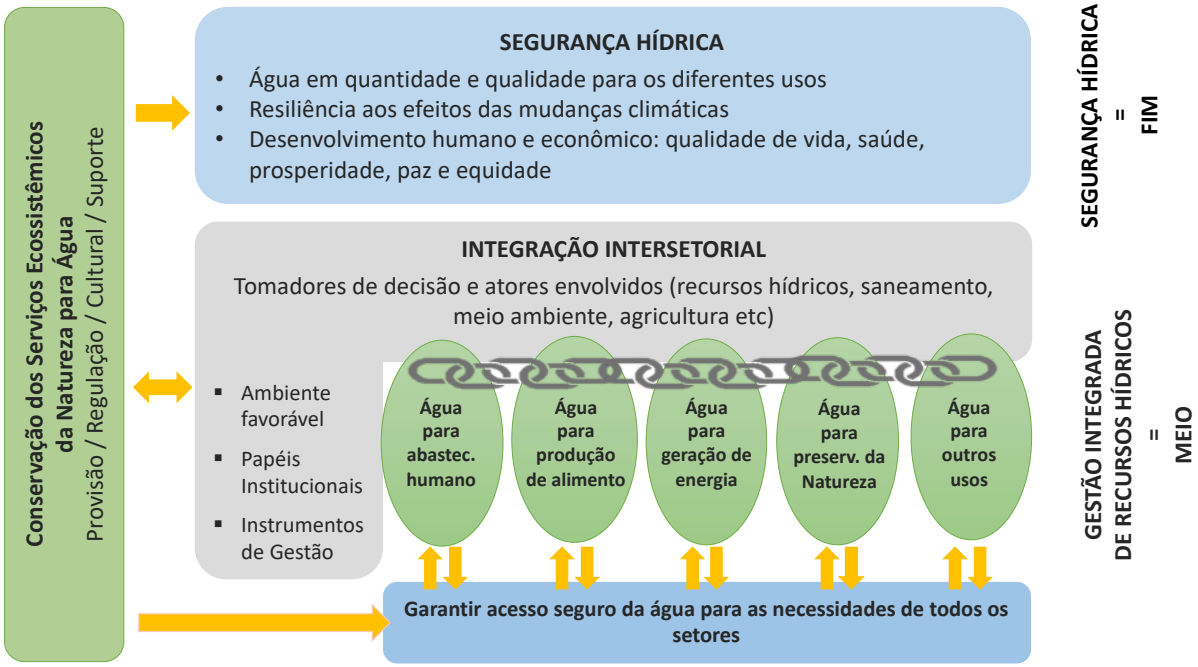
As abordagens integradas para água, quando aplicadas num contexto de proteção dos ecossistemas para segurança hídrica do abastecimento público, adotam um grupo de atividades e ações para preservação e/ou recuperação ambiental de uma bacia hidrográfica, que

resguardem a disponibilidade de água bruta em quantidade e qualidade (GARTNER et al., 2013). Estratégias integradas para os recursos hídricos se concentram na proteção da qualidade e quantidade da água para os valores sociais, econômicos e ambientais associados à água. Como tal, eles são mais abrangentes do que as estratégias para segurança da água potável. A segurança hídrica para o abastecimento urbano é normalmente identificada como uma, dentre as muitas razões para proteção dos recursos hídricos e dos seus ecossistemas associados (SIMMS et al., 2010).

Apesar da existência de diversos conceitos, as abordagens para gestão integrada de recursos hídricos convergem em torno de princípios comuns, tais como o planejamento integrado baseado na bacia hidrográfica, as parcerias entre os diferentes níveis e escalas e a coordenação entre os setores e atores (SIMMS et al., 2010). As iniciativas têm como principais indutores o quadro de déficit hídrico atual ou futuro do manancial, a ocorrência de eventos críticos de escassez hídrica e/ou o comprometimento da qualidade de água e dos ecossistemas relacionados à água em função da expansão urbana, erosão, poluição e do uso desordenado do solo. As iniciativas envolvem estratégias de preservação e/ou recuperação ambiental da bacia hidrográfica através da conservação e restauração florestal, o ordenamento do uso do solo e o controle da poluição pontual e difusa, dentre outros.

A GWP (2014a) vem promovendo uma atualização e aperfeiçoamento do quadro da GIRH, incorporando os conceitos de segurança hídrica e da abordagem ecossistêmica. Segundo a instituição, a GIRH é a abordagem por meio da qual a segurança hídrica será alcançada, e assim como os ecossistemas necessitam de água para manutenção do seu equilíbrio e funcionalidade (água para natureza), a conservação dos serviços ecossistêmicos é essencial para a segurança hídrica (Figura 11).

Figura 11 – Esquema conceitual do quadro da GIRH para alcance das ODS

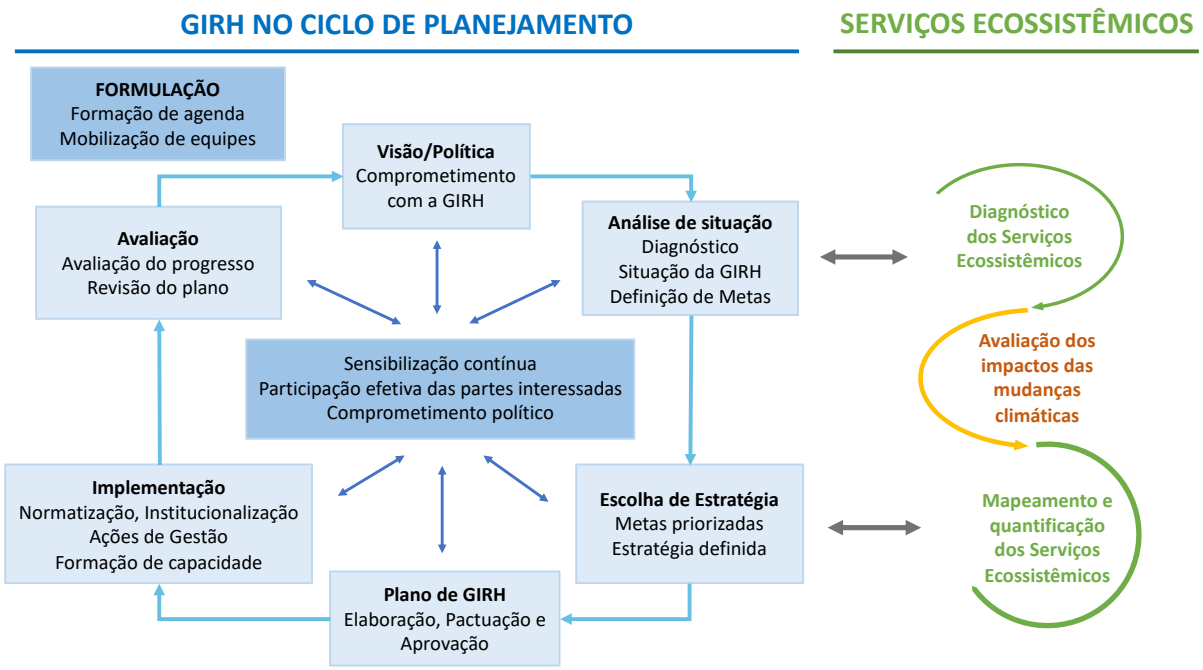


Fonte: Adaptado de GWP, 2014a.

O conceito de Serviços Ecossistêmicos (SE) mudou o paradigma de como a natureza é importante para a gestão dos recursos hídricos (LIU et al., 2013). A natureza, antes vista como mero alvo do impacto das atividades humanas, agora passa a ser percebida como um ativo essencial para a segurança hídrica e para o bem-estar (MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005). A GIRH incorporou muito da abordagem ecossistêmica para a gestão, e não por acaso, as semelhanças dos princípios e diretrizes entre a Abordagem Ecossistêmica (AE) e GIRH são inúmeras. Para Cook e Spray (2012), há oportunidades para a adoção de esquemas de GIRH baseados em serviços ecossistêmicos. No entanto, em termos práticos, a estrutura operacional de serviços ecossistêmicos para apoiar a GIRH não é comumente abordada nas políticas nacionais, regionais e locais na gestão de recursos hídricos (LIU et al., 2013).

De modo geral, avanços têm sido observados na definição e caracterização dos serviços ecossistêmicos essenciais para a segurança hídrica e no seu mapeamento e quantificação para subsidiar o planejamento, a escolha de alternativas e tomada de decisão, conforme representado na Figura 12 (GWP, 2016).

Figura 12 – Esquema da internalização da abordagem ecossistêmica no planejamento da GIRH



Fonte: Adaptado de GWP, 2016.

Segundo o relatório da UNEP (2012b), 82% dos países estão implementando mudanças nas legislações relacionadas à gestão das águas para abordagens integradoras de desenvolvimento, gestão e uso dos recursos hídricos e 65% desenvolveram planos de GIRH, porém apenas 34% encontram-se em estágio avançado de implementação. Apesar do modelo ter sido reconhecido como um arcabouço apropriado para tratar de questões econômicas, sociais e ambientais relacionadas à água, a aplicação prática da integração continua sendo um problema complexo (BISWAS, 2004; MITCHELL, 2005). Elementos importantes, como a coordenação, a cooperação e a tomada de decisão compartilhada entre os setores econômicos e os limites geopolíticos continuam sendo desafios para abordagens integradas (FERREYRA et al., 2008).

A GIRH envolve os setores e grupos de interesse em diferentes escalas, do local ao internacional. Ela enfatiza a participação nos processos políticos e a elaboração de legislação e políticas, o estabelecimento de uma boa governança e a criação de arranjos institucionais e regulatórios eficazes em direção a decisões mais justas e sustentáveis. Uma variedade de ferramentas, tais como avaliações sociais e ambientais, instrumentos econômicos e sistemas de informação e monitoramento apoiam este processo (GWP, 2009). No entanto, profissionais e formuladores de políticas sugerem que, em alguns casos, o conceito de gestão integrada não seja suficientemente específico para aplicação prática, e de difícil e lenta implementação devido às diversas restrições institucionais, econômicas, políticas e orçamentárias (WATSON et al., 2007). Além disso, embora a gestão integrada da água proponha a coordenação intersetorial, as

principais agências governamentais e partes interessadas podem não chegar em um acordo (BISWAS, 2004).

Embora a gestão integrada possa ser aplicada em muitos níveis, desde uma pequena comunidade até bacias transfronteiriças, existem problemas de gestão específicos em cada um destes níveis (LENTON; MULLER, 2009), necessitando de abordagens específicas aos distintos níveis e escalas espaciais. Porém, quase sempre há falhas em integrar a gestão da água nos diferentes níveis e em considerar adequadamente as abordagens locais e regionais (BIGAS, 2012). Evidências sugerem que as abordagens integradas se concentraram em grande parte sobre os níveis superiores, como as reformas das políticas nacionais ou a criação de organizações de bacias hidrográficas, em detrimento da implementação em campo das atividades de gestão integrada a nível local (PERRET et al., 2006).

Essas novas abordagens geralmente incorporam diferentes graus de pesquisa transdisciplinar que incluem os diferentes valores de interesses das partes envolvidas, a aprendizagem social, a gestão participativa e análise de cenários para lidar com um futuro de incertezas (MACLEOD et al., 2007). Nesse sentido, há críticas a GIRH por não adotar o princípio do manejo adaptativo, fundamental para um contexto de incertezas e problemas complexos que afetam a gestão da água e as questões ambientais.

Enquanto a literatura em ciência social sobre experiências regionais e internacionais para gestão integrada de recursos hídricos tem aumentado. Há poucos dados sobre o estado e as tendências de tais abordagens, particularmente sobre os seus benefícios e impactos a longo prazo. A investigação tem se centrado mais sobre o conceito e sua aplicação, e menos na implementação de políticas relevantes, destacando a necessidade de melhores indicadores de progresso, bem como quadros de monitoramento para avaliação da eficácia (UNEP, 2012a). Apesar do novo paradigma de abordagens, o planejamento ainda é realizado a partir de abordagens setoriais (OECD, 2006), e a capacidade das instituições em assegurar a sustentabilidade é questionável.

Giordano e Shah (2014) realizam uma análise crítica da GIRH, argumentando que em alguns casos o objetivo da política se torna a implementação da GIRH, e não a solução dos problemas da água. Ou seja, a gestão baseada e focada na melhoria dos processos em detrimento dos resultados e impactos pode afastar ou prejudicar o desenvolvimento de soluções pragmáticas.

À primeira vista, a diferença mais significativa entre a AE e a GIRH é a importância relativa dos serviços ecossistêmicos. Thuo (2009) argumenta que, quando interesses humanos e ambientais estão em conflito, o meio ambiente em geral é prejudicado. Além disso, ainda há

a predominância de investimentos em infraestrutura cinza, e o mapeamento, análise e quantificação dos serviços ecossistêmicos ainda não são tradicionalmente incorporados no planejamento e nos investimentos para a segurança hídrica dos sistemas de abastecimento.

Segundo UN-Water (2018), embora os serviços ecossistêmicos estejam inclusos nos princípios de GIRH na teoria, o planejamento é, na prática, muitas vezes focado no gerenciamento das alocações de águas superficiais e subterrâneas, além de negligenciar as influências do ecossistema e os impactos das mudanças no uso da terra. Para o autor, os serviços ecossistêmicos não são adotados nas estruturas para avaliação de gestão de recursos hídricos, levando a omissões significativas nas escolhas de gerenciamento. Logo, há muito a ser feito para alcançar a plena integração dos ecossistemas e serviços ecossistêmicos no planejamento do uso da terra e da água.

1.3.5.3 Abordagem Ecossistêmica

Segundo Waylen et al. (2014), o termo "Abordagem Ecossistêmica" ("*ecosystem approach"*) é encontrado e citado na literatura desde 1957, passando a ser disseminado em anos mais recentes.

Nos anos que antecederam a Conferência das Nações Unidas de 1992 sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano, a atenção voltou-se progressivamente para o termo gestão baseada em ecossistemas (*ecosystem-based management*), (WCED, 1987). A gestão baseada em ecossistemas concentra-se na conservação, gestão sustentável e restauração de ecossistemas, e reconhece a vasta gama de interações dentro de um ecossistema, envolvendo seres humanos, e considera os *trade-offs* de recursos para proteger e sustentar ecossistemas e serviços diversos e produtivos que eles fornecem (UNEP, 2006). Adota o ecossistema como unidade básica de análise, enfatizando a necessidade de adaptação dos sistemas econômicos e políticos e dos processos sociais para essa unidade. Ao invés de considerar a bacia hidrográfica como uma componente do sistema de abastecimento público, a manutenção da saúde das bacias hidrográficas é considerada um pré-requisito para a gestão de recursos hídricos. A partir de uma gestão baseada nos ecossistemas, as atividades humanas são situadas dentro das estruturas e funcionalidades dos contextos naturais. Os atuais sistemas de abastecimento público produzem um declínio contínuo da quantidade de água disponível para sustentar a saúde e a produtividade dos ecossistemas. Uma abordagem baseada nos ecossistemas pode ser utilizada para explicitar

as metas de alocação de água para garantir tanto a manutenção da saúde dos ecossistemas associados a água, quanto o bem-estar humano em longo prazo (BRANDES, 2005).

A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), estabelecida durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1992, e em vigor desde 29 de dezembro de 1993, constituiu um tratado da Organização das Nações Unidas e um dos mais importantes instrumentos internacionais relacionados ao meio ambiente, do qual o Brasil é signatário (Decreto nº 2.519 de 16 de março de 1998). A CDB tem como objetivos a conservação da diversidade biológica, a utilização sustentável de seus componentes e a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos.

A Abordagem Ecossistêmica (AE) é atualmente a principal estrutura de ação da Convenção, sendo endossada pela 5ª Conferência das Partes (COP), realizada em Nairobi, no Quênia, em maio de 2000, que trouxe as definições do que é a abordagem ecossistêmica, descreveu seus princípios e as orientações operacionais e recomendações para sua aplicação na Decisão 6. O Art. 7º da Decisão 6 do Relatório Final da COP 5/CDB/ONU (CDB, 2000) traz as definições, princípios e orientações operacionais da "Abordagem Ecossistêmica" (AE).

Segundo o Art. 2º da Convenção da Diversidade Biológica – CDB de 1992, "ecossistema" significa um complexo dinâmico de comunidades de plantas, animais e microrganismos e seu ambiente não-vivo, interagindo como uma unidade funcional, ou seja, pode se referir a qualquer unidade em funcionamento em qualquer escala. Segundo o Art. 7º da Decisão 6 da COP 5 (CDB, 2000), a Abordagem Ecossistêmica (AE) é definida como uma "estratégia para a gestão integrada da terra, água e recursos vivos que promove a conservação e o uso sustentável de maneira equitativa", e com isso, possibilita o alcance equilibrado dos três objetivos da Convenção. A AE baseia-se na aplicação de metodologias científicas apropriadas que abrangem a estrutura, os processos, as funções e as interações essenciais entre organismos e seu meio ambiente, e que reconhece os humanos como componente integral de muitos ecossistemas. Para lidar com a natureza complexa e dinâmica dos ecossistemas e a ausência de completo conhecimento ou entendimento de seu funcionamento, adota o princípio do gerenciamento adaptativo. O Art. 7º da Decisão 6 da COP 5 discorre que a AE não substitui abordagens de conservação tradicionais (gestão de áreas protegidas), nem exclui outras abordagens realizadas sob as estruturas políticas e legislativas nacionais existentes, mas pode ser uma forma de integrar todas essas abordagens e outras metodologias. Além disso, ressalta que não existe uma maneira única de implementar a abordagem ecossistêmica, considerando as diferentes escalas e a diversidade e particularidades das condições locais.

Dentre os princípios da AE, cabe destacar que a conservação da estrutura,

funcionamento e provisão de serviços do ecossistema é o alvo prioritário da AE (Princípio 5), e os ecossistemas devem ser gerenciados dentro dos seus limites de funcionamento (Princípio 6). Seus objetivos e aplicação necessitam ser ajustados as diferentes escalas espaciais e temporais, numa visão de longo prazo (Princípios 7 e 8), e devem envolver todos os setores da sociedade e diferentes disciplinas (Princípio 12). Os ecossistemas devem ser gerenciados por seus valores intrínsecos e pelos benefícios tangíveis ou intangíveis para os seres humanos, de maneira justa e equitativa (Princípio 1), e para tanto, é necessário entender e gerenciar o ecossistema em um contexto econômico, evitando a subvaloração dos serviços dos ecossistemas e incentivos perversos para conversão do uso da terra (Princípio 4).

Nesse contexto, percebeu-se que era necessária uma abordagem mais sistemática para documentar e entender essa relação entre as pessoas e a natureza, a partir de uma forte base de evidências para promover a conservação, restauração e manejo sustentável dos ecossistemas, resultando na geração da Avaliação Ecossistêmica do Milênio (AEM). Iniciado em 2001, o objetivo da AEM era avaliar as consequências da mudança do ecossistema para o bem-estar humano e gerar base científica para as ações necessárias com a finalidade de promover a conservação e uso sustentável ecossistemas. O quadro conceitual da AEM foi fundamental para o apoio a implementação da Abordagem Ecossistêmica (CDB, 2019). A Plataforma Internacional de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos (IPBES), por sua vez, foi criada em 2012 com um desdobramento da AEM, sendo coordenada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), constituindo um importante mecanismo para fornecer informação científica e sínteses sobre os SE aos tomadores de decisão.

A 7ª COP/CDB/ONU (2004), por sua vez, definiu na Decisão 11 a prioridade em facilitar a implementação da abordagem ecossistêmica e trouxe diretrizes adicionais para esse efeito, bem como uma lista abrangente de manuais, ferramentas e técnicas para sua operacionalização e para o compartilhamento de experiências. Para tanto, observou que a abordagem ecossistêmica pode ser promovida com base nas abordagens e ferramentas setoriais existentes, tais como o manejo florestal sustentável, a gestão baseada em ecossistemas, a gestão integrada de recursos hídricos e a gestão integrada de áreas costeiro-marinhas, vide Art. 7º, e da necessidade de promover a integração intersetorial, desenvolver ferramentas específicas para cada setor e bioma, vide Art. 8º da decisão 11.

Para Cohen-Shacham et al. (2016), a abordagem ecossistêmica constitui base conceitual sobre a qual as terminologias de serviços ecossistêmicos, capital natural, infraestrutura verde, serviços de bacias hidrográficas e Soluções baseadas na Natureza foram construídas, operacionalizadas e aplicadas. Apesar da diversidade de conceitos e ausência de consenso , a abordagem ecossistêmica é o arcabouço conceitual no qual os termos descritos a seguir encontram-se relacionados.

O termo 'adaptação baseada em ecossistemas' (AbE) (*ecosystem-based adaptation*), surge na década de 1990 em discussões sobre o papel da biodiversidade na biodiversidade, reduzindo os riscos relacionados ao clima. A Convenção da Diversidade Biológica (CDB, 2019) define a AbE como o uso da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos como parte de uma estratégia geral de adaptação para ajudar as pessoas a se adaptarem aos efeitos adversos das mudanças climáticas.

1.3.5.4 Considerações gerais acerca das abordagens

A caracterização das três abordagens relacionadas à proteção e recuperação dos ecossistemas para a segurança hídrica possibilitou gerar um panorama geral da evolução das políticas e terminologias relacionadas ao tema, de forma não exaustiva, de modo a subsidiar a construção do arcabouço conceitual e metodológico desta pesquisa.

A partir da revisão de literatura, observou-se que cada iniciativa assume diferentes formas, considerando o contexto econômico e as pressões, ameaças, vulnerabilidades, potencialidades, vocações e capacidades locais (IVEY et al., 2006). As abordagens compartilham em comum a premissa que a preservação das bacias hidrográficas e de seus ecossistemas são parte integrante da solução para a segurança hídrica, e não somente alvo de impacto da atividade antrópica (COATES; SMITH, 2012).

É importante ressaltar que as abordagens integradas para segurança da água, a gestão integrada de recursos hídricos e a abordagem ecossistêmica não são necessariamente excludentes ou convergentes entre si, pois constituem uma aproximação teórica e conceitual proposta. Além disso, as iniciativas existentes não se enquadram exatamente ou exclusivamente em uma abordagem, sendo possível identificar maior proximidade e alinhamento entre uma ou mais abordagens.

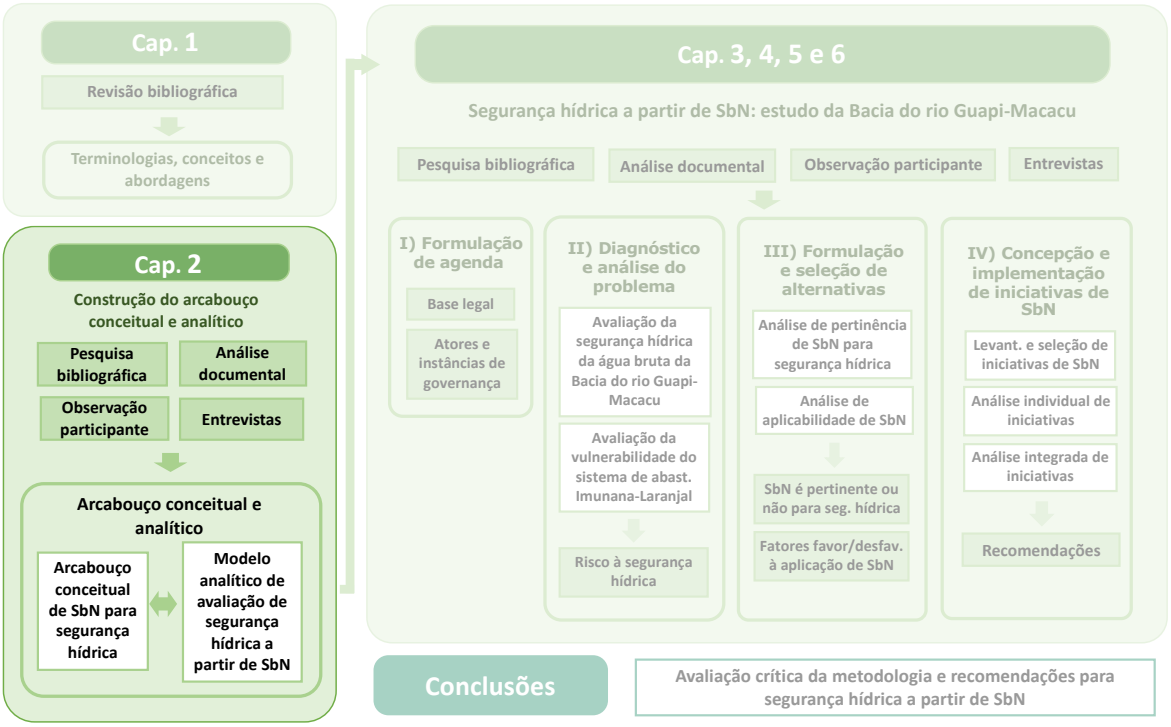
Por exemplo, segundo Simms et al. (2010), no Canadá, a proteção de mananciais de abastecimento público é compreendida como a primeira barreira para a segurança da água, e há casos em que é desenvolvida de forma simultânea e não exclusiva com a gestão integrada dos recursos hídricos, como a província de Alberta e Nova Escócia. Por outro lado, observa-se que a análise dos riscos à qualidade da água potável e dos riscos à proteção dos ecossistemas nem sempre se mostraram convergentes. Segundo WHO (2016), algumas questões consideradas importantes para a saúde pública podem não ser relevantes para o meio ambiente, e vice-versa. Patógenos prejudiciais para a saúde humana não são uma ameaça para os ecossistemas, assim como as barreiras para migração da ictiofauna (reservatórios, barragens) não possuam relevância para a saúde pública; e as ameaças a saúde humana tendem a ser dominadas por eventos pontuais, raros ou extremos, enquanto que riscos ambientais tendem a ser dominados por tendências de médio e longo prazo sobre a qualidade geral do ambiente (ibidem). De modo geral, há sinergia entre ambos em medidas relacionadas ao controle da erosão e atenuação do aporte de escoamento superficial; preservação de matas ciliares várzeas para retenção e a autodepuração de contaminantes e inativação de patógenos; e redução do aporte de nutrientes, que tem por consequência a eutrofização.

Outro aspecto observado é a convergência quanto aos principais desafios e barreiras para a adoção dessas abordagens. Uma razão abrangente de que as mesmas estejam em desvantagem competitiva em comparação com as abordagens tradicionais é que elas carecem de métodos e ferramentas de apoio à decisão para estimar custos, quantificar os resultados projetados e medir impactos (MCDONALD; SHEMIE, 2014). Para Vogl et al. (2017), são necessárias ferramentas aplicáveis e pertinentes as escalas nas quais as decisões são tomadas, que avaliem a viabilidade e legitimidade dessas abordagens, tais com: (i) métodos de triagem regional que identifiquem bacias hidrográficas com maior oportunidade para que medidas de proteção dos ecossistemas reduzam riscos a segurança hídrica; (ii) métodos de quantificação dos serviços ecossistêmicos e avaliação de custo-benefício para orientar a aplicação local; e (iii) métricas de resultado que permitam a comparação entre as iniciativas.

2 CONSTRUÇÃO DO ARCABOUÇO CONCEITUAL E ANALÍTICO DE SEGURANÇA HÍDRICA A PARTIR DE SBN

Cumprida a etapa de revisar, discutir e definir o referencial teórico de segurança hídrica e SbN, e não sendo identificado na literatura nenhum esquema conceitual e metodológico de análise de segurança hídrica para o abastecimento público a partir de SbN adequado ao estudo de caso, foi necessário construir um arcabouço conceitual e analítico para este fim. Este Capítulo dedica-se, portanto, à construção do arcabouço conceitual e da estrutura do modelo analítico de segurança hídrica a partir de SbN (Figura 13). Ressalte-se que o detalhamento do modelo de segurança hídrica será apresentado nos capítulos que se dedicam à sua aplicação ao caso da Bacia do rio Guapi-Macacu (capítulos 3, 4, 5 e 6).

Figura 13 – Esquema da metodologia de pesquisa: construção do arcabouço conceitual e analítico



Fonte: A autora, 2020.

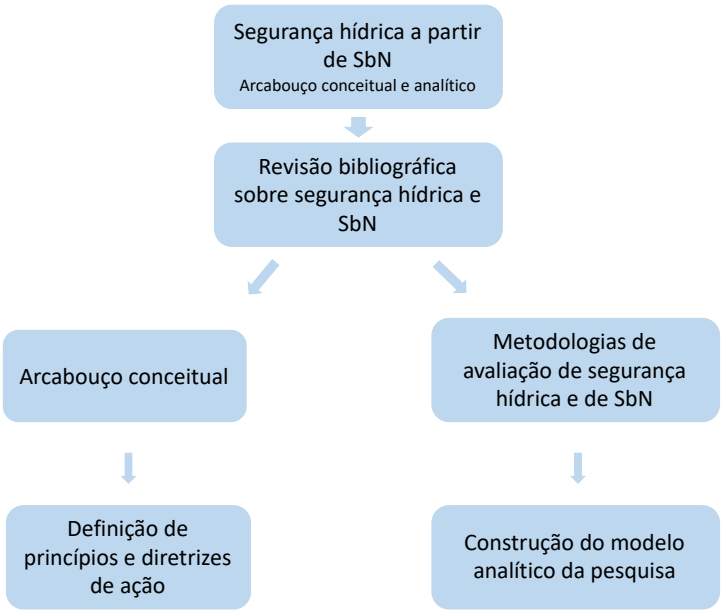
2.1 Passos para a construção do arcabouço conceitual e analítico

A construção do arcabouço conceitual e analítico da pesquisa contempla o desenvolvimento de um modelo analítico que seja capaz de analisar os dados e informações

reunidos para o estudo de caso, e a definição de um arcabouço conceitual de segurança hídrica a partir de SbN, ou seja, dos conceitos, princípios e diretrizes de ação que norteiam a avaliação da política. Os passos para a construção do esquema conceitual e analítico de segurança hídrica a partir de SbN são apresentados na Figura 14.

Para a devida compreensão e avaliação da segurança hídrica a partir de SbN, é necessário que haja um entendimento claro tanto dos fundamentos em que são estabelecidos, para além de definições, quanto de parâmetros e estruturas metodológicas para orientar sua aplicação (BRANDT et al., 2013). Uma revisão de literatura foi elaborada especificamente para construção do arcabouço conceitual, de modo a contemplar o estudo de conjuntos de fatores que influenciam o alcance dos objetivos de segurança hídrica a partir de SbN. Esses fatores, descritos pela literatura como diretrizes, condições, prescrições, critérios ou orientações, constituíram base para a definição do arcabouço conceitual de SbN para segurança hídrica. A revisão de literatura foi realizada partir de consultas dos seguintes termos, associados a Soluções baseadas na Natureza (*nature-based solutions)*: princípios (*principles*); elementos chave (*key elements*); parâmetros operacionais (*operational parameters*); orientações (*guidelines*). Após essa etapa, um conjunto inicial de princípios e de diretrizes de ação foram definidos, baseados nas consistências encontradas na literatura.

Figura 14 – Passos para construção do arcabouço conceitual e analítico de segurança hídrica a partir de SbN



Fonte: A autora, 2020.

A construção metodológica do modelo analítico iniciou-se pela revisão da literatura específica sobre metodologias de avaliação de segurança hídrica a partir de SbN. A revisão de

literatura foi realizada partir de consultas dos seguintes termos, associados à segurança hídrica (*water security*), avaliação (*evaluation, assessment, assessing*), análise (*analysis*)*;* indicadores (*indicators*), índice (*index*), quadro (*framework*). Também foram aplicadas consultas utilizando os mesmos termos, associados a água (*water*) ou abastecimento público (*water supply*) e Soluções baseadas na Natureza (*nature-based solutions*) ou serviços ecossistêmicos (*ecosystem services*). O modelo analítico de segurança hídrica a partir de SbN foi concebido e adaptado para o estudo de caso da Bacia do rio Guapi-Macacu, a partir da aplicação dos métodos de análise documental, observação participante e entrevistas com atores-chave.

Tanto na construção do arcabouço conceitual quanto do modelo analítico propriamente dito, as consultas dos termos foram realizadas pela sua ocorrência nos títulos, resumos e corpo do texto. O universo da revisão da literatura contemplou a literatura acadêmica e cinzenta, em língua inglesa e portuguesa, não sendo adotado um critério de restrição temporal. Utilizou-se como meios de pesquisa as plataformas de pesquisa acadêmica Portal de Periódicos da CAPES, SciELO, Google Acadêmico; bancos de teses e dissertações de universidades internacionais e nacionais; e sítios eletrônicos de organizações e agências internacionais e nacionais.

2.2 Discussões sobre modelos analíticos de segurança hídrica a partir de SbN

Para Landau (1996), toda política pública é uma ação visa resolver problemas públicos com a intenção de uma condição futura desejada. Nesta pesquisa, a política pública em análise é a segurança hídrica a partir de SbN, e parte-se do fundamento da garantia do direito de acesso da água de forma equitativa, segura e sustentável e do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado.

Para Deubel (2006), a análise de políticas públicas é um procedimento analítico que busca compreender o processo de elaboração de uma dada política, investigando as suas causas e consequências, assim como visa prescrever como as políticas podem ser melhoradas, tendo caráter tanto teórico quanto prático. Segundo Frey (2000), Dye (2009) e Neto et al. (2015), os modelos são fundamentais para a análise de políticas públicas, uma vez que permitem a abstração e representação do mundo real, a partir da concatenação de ideias e relações, elaboração de constructos e explicações que pautam a investigação empírica. Ainda para Trabada (2003), os modelos constituem um dispositivo analítico que possibilita codificar e

descrever a confusa, complexa, dinâmica e, muita das vezes, contraditória e conflitiva história de uma política pública.

Segundo Arretche (2001), não é possível pensar num mesmo modelo analítico para distintas políticas, considerando a diversidade de dimensões territoriais, políticas e administrativas, e das dinâmicas distintas para cada política setorial (meio ambiente, recursos hídricos, saneamento, etc.). Além disso, para Draibe (2001) e Secchi (2014), as políticas públicas implicam em diferentes níveis de abordagem, seja num nível estratégico (diretrizes estruturantes), tático (planos) ou operacional (programas, projetos, ações, dentre outros). Dessa forma, a análise de uma política pública também implica definir, para cada modelo, o nível de abordagem a ser estudado, visto que para cada nível, há um diferente entendimento acerca dos problemas, atores envolvidos, configurações institucionais e soluções.

A escolha de uma prática, depende, dentre outras coisas, das circunstâncias, do contexto e do propósito da avaliação, e deve-se, sempre que possível, utilizar múltiplos métodos, bem como a combinação de técnicas quantitativas e qualitativas. Suárez e Llaneza (2013) afirmam que o pluralismo metodológico e a adaptação dos métodos em função dos objetos de estudo são fundamentais para o alcance de conclusões mais ricas e sólidas em estudos de avaliação. Para Cruz (2011), numa mesma proposta de avaliação, podem coexistir a mensuração de indicadores de resultado e impacto, a descrição de um programa ou projeto avaliado, o julgamento do mérito e valor de iniciativas, e a análise contextualizada da trajetória dos atores, beneficiários e instituições envolvidas. Além disso, uma avaliação pode contemplar diferentes estratégias metodológicas (qualitativas e quantitativas), de modo a responder a uma ou mais perguntas avaliativas.

O crescente interesse nas SbN tem motivado esforços mais recentes em organizar seus princípios e qualidades em estruturas de avaliação abrangentes (ARTMANN; SARTINSON, 2018; BURKHARD et al., 2018; GRIZETTI et al., 2016; LIQUETE et al., 2016; PAGANO et al., 2019; RAYMOND et al., 2017a; WORLD BANK, 2017; ZÖLCH et al., 2017). A avaliação de SbN visa demonstrar os seus benefícios e avaliar a sua eficácia, gerar lições sobre o que funciona, o que não funciona e por que subsidiar a tomada de decisão sobre ações de aperfeiçoamento, acompanhamento, manutenção ou mesmo a implementação de intervenções adicionais, além do registro e compartilhamento de lições aprendidas para uso futuro (RAYMOND et al. 2017b).

Avaliações de iniciativas de SbN contribuem para compartilhar a experiência do mundo real, informar a evolução dos programas existentes, identificar contextos mais adequados para SbN e orientar a concepção de novos programas (BENNETT et al., 2013; GOLDMAN-

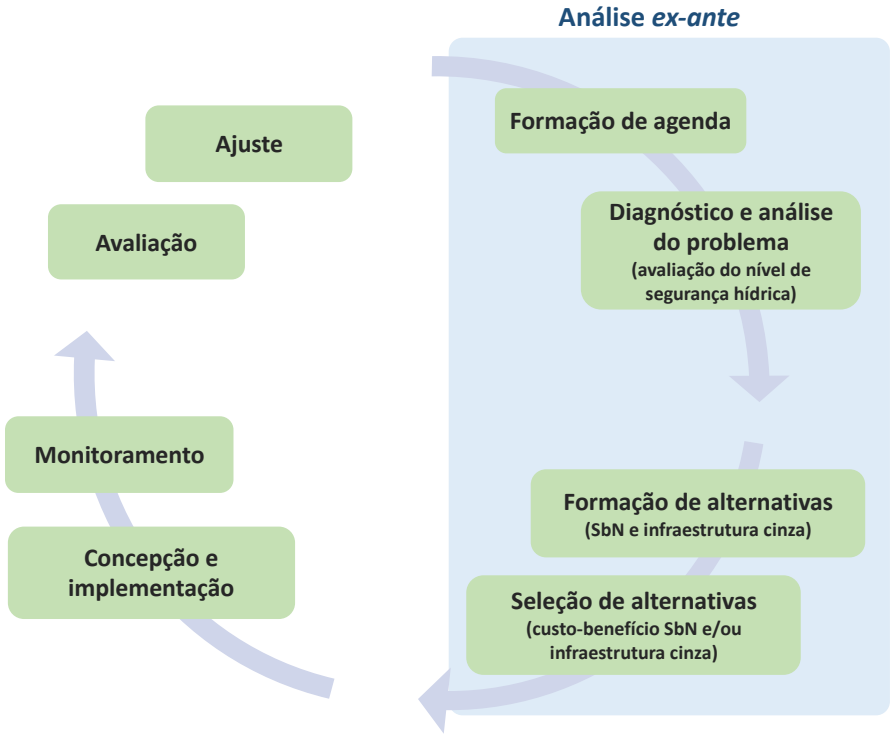
BENNER et al., 2012; MCDONALD; SHEMIE, 2014). Para Calliari et al. (2019), as estruturas de avaliação existentes para SbN são apenas parcialmente capazes de conduzir esse processo e ainda estão longe de poder apoiar uma avaliação e tomada de decisões integradas. As principais limitações e lacunas apontadas na maioria dos modelos estão relacionadas à falta de envolvimento das partes interessadas (NARAYAN et al., 2017), bem como à capacidade limitada de analisar o potencial de SbN em produzir cobenefícios e descrever o dinamismo associado à sua implementação (PAGANO et al. 2019).

Apesar de não mencionarem explicitamente, diversos autores adotam quadros de avaliação de SbN a partir do referencial analítico do modelo Ciclo da Política Pública (CALLIARI et al., 2019; SONNEVELD et al., 2018; LIQUETE et al., 2016; RAYMOND et al., 2017a; WORLD BANK, 2017). Avaliações limitadas a análise quantitativa de resultados e impactos de iniciativas são questionadas por gerarem, usualmente, análises descontextualizadas e limitadas, que não conseguem apreender os fluxos e nexos entre a tomada de decisão, a implementação, execução, resultados e impactos produzidos (AMARAL et al., 2018).

Nesse sentido, o modelo de ciclo entende a elaboração de uma política como um processo dinâmico, que pode ser decomposto em etapas. Rua (2009) define o ciclo de uma política nos seguintes estágios: (i) formação da agenda, definição e análise do problema; (ii) formulação de alternativas e tomada de decisão; (iii) concepção e implementação; (iv) monitoramento, (v) avaliação e ajuste da política (Figura 15).

Cabe ressaltar que o modelo de ciclo é adotado como um instrumento de apoio a análise, denotando mais um agrupamento lógico do que uma ordem sequencial ou cronológica. Conforme apontado por Frey (2000), no mundo real, os atores envolvidos dificilmente se atêm a essa sequencia do modelo e não há um limite claro e efetivo entre as etapas, o que reforça o caráter referencial deste modelo enquanto instrumento de análise. O Quadro 7 apresenta exemplos de questões relacionadas aos estudos de análise para cada etapa do ciclo da política pública, demonstrando a relação do modelo de ciclo com diferentes perspectivas de análise.

Figura 15 – Ciclo de política públicas: segurança hídrica a partir de SbN



Fonte: Adaptado de RUA, 2009; IPEA, 2018.

Quadro 7 – Principais perguntas relacionadas aos estudos de análise para cada etapa do ciclo da política pública

Etapas do ciclo da política	**Principais questões de análise**
Formação da agenda, diagnóstico e análise do problema	Como os temas ganharam atenção dos implementadores? Que problemas foram reconhecidos como relevantes? Como as alternativas para estes temas foram geradas? Como a agenda se constituiu?
Formulação da política e tomada de decisão	Como as alternativas políticas foram formuladas? Como determinada proposição foi escolhida entre outras alternativas? Quem participou do processo de formulação e decisão das políticas?
Concepção/*design* e implementação	A formulação da política apresenta objetivos, metas e direção clara? Os recursos necessários para sua implementação foram considerados no momento da formulação/ implementação? O processo de construção da estratégia de implementação é claro? Em especial quanto à divisão de atribuições e atividades? Exige mudança organizacional? Os atores que estão envolvidos na implementação estão de acordo e compreendem a política traçada?
Monitoramento, avaliação e ajuste	A ação política implementada trouxe mudanças positivas ou negativas para as condições prévias das populações? Qual(is) os impactos gerados? As ações previstas foram realizadas? As metas definidas foram alcançadas? Os instrumentos e recursos previstos foram empregados? As ações propostas utilizam os diferentes recursos com eficiência?

Fonte: Adaptado de BAPTISTA; REZENDE, 2015.

Segundo Cavalcanti (2007), é possível caracterizar os diferentes tipos de avaliação pelo momento em se avalia (*ex ante* ou *ex post*) e em relação aos aspectos e etapas a serem avaliados (formulação da política, implantação, avaliação de resultados e impactos, etc.). Segundo IPEA (2018), a análise *ex ante* é realizada antes da política ser colocada em prática, de modo a orientar a decisão para que ela recaia sobre a alternativa mais efetiva, eficaz e eficiente. Ela contempla as etapas de formação de agenda, definição e análise do problema, e a formulação e seleção de alternativas (Figura 14). A análise *ex post,* por sua vez, deve acontecer durante e/ou após o processo de implementação, apoiando a tomada de decisões e o aprimoramento ao longo da execução da política*,* e pode contemplar diferentes abordagens metodológicas (BRASIL, 2018). Abordagens de análise *ex post* podem contemplar desde uma análise global, ou seja, abrangendo todas as etapas do ciclo, como podem aprofundar-se apenas em uma determinada etapa ou componente da política, tais como: formulação da política, implantação, avaliação de resultados, avaliação de impactos, avaliação de governança, dentre outros (ibidem).

Apesar das variações de termos e do nível de detalhamento das etapas do ciclo entre autores, apresenta-se a seguir considerações e recomendações relacionadas a diferentes abordagens de avaliação de SbN, a partir da revisão de literatura.

I) Formação de agenda

Para Rua (2009), a formação de agenda ocorre quanto uma situação é reconhecida como um problema e sua discussão passa a integrar as atividades de um grupo de autoridades dentro e fora do governo. Portanto, a avaliação desta etapa contempla as normas que a definem, bem como a identificação das instituições e atores envolvidos em sua execução (BRASIL, 2018).

II) Diagnóstico e análise do problema

De modo a ter uma concepção sólida e consistente de uma política pública, é fundamental realizar o diagnóstico e análise do problema, dos atores envolvidos e de seus interesses. As SbN têm como fundamento atuar no enfrentamentos de desafios da sociedade, portanto, devem ser orientadas para sua resolução, e requerem a construção de objetivos e visões claras de futuro desejado (ARTMANN; SARTINSON, 2018; SONNEVELD et al., 2018; CALLIARI et al., 2019; RAYMOND et al., 2017a; WORLD BANK, 2017).

A clara compreensão dos fatores causadores da degradação da bacia hidrográfica que possam comprometer a segurança hídrica da água bruta podem facilitar o desenvolvimento de SbN aumentando a conscientização sobre os benefícios do serviço ecossistêmico e sua necessidade de conservação pela sociedade e tomadores de decisão (HUBER-STEARNS et al., 2017; MCDONALD et al., 2014; OZMENT et al., 2016; VOGL et al., 2017; UN-WATER, 2018). Cidades onde os serviços ecossistêmicos têm benefícios claros para um problema bem identificado da sociedade são mais propensas a adotar SbN (POSTEL; THOMPSON, 2005; BARTON, 2016 apud UN-WATER, 2018).

A segurança hídrica é simultaneamente uma condição a ser medida, uma estrutura para a tomada de decisões e um objetivo político (GERLAK et al., 2018), portanto, o conceito segurança hídrica só faz sentido se for baseado na avaliação de um status mensurável, ou seja, a variação de um estado de segurança para maior ou menor nível (WHITTINGTON et al., 2013). Assim como se observa a existência de diversidade de conceitos e modelos de gestão relacionados à segurança hídrica, o mesmo se aplica a metodologias e métricas para sua avaliação (MELO, 2016).

Embora o termo "segurança hídrica" tenha ganhado destaque apenas recentemente, observa-se a existência de ampla literatura sobre métricas para quantificar riscos, vulnerabilidade e estresse sobre os recursos hídricos (BROWN; MATLOCK, 2011; CHAVES, 2014; DICKSON et al., 2016; GARRICK; HALL, 2014; GWP, 2014b; PLUMMER et al., 2012). Os quadros de avaliação de segurança hídrica abordam diferentes níveis, desde a escala da bacia hidrográfica até escalas nacionais, e que adotam uma ampla gama de definições (LOHANI; AIT-KADI, 2013; FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016; NORMAN et al., 2013; RODRIGUES et al., 2014; BEEK; ARRIENS, 2014).

A segurança hídrica é um conceito amplo, que abrange diferentes setores relacionados à água, o que implica na adoção de uma ampla variedade de variáveis, indicadores e/ou índices[7] para refletir a dinâmica da água, bem como a adoção de uma estrutura conceitual que permita transformar tais medidas em informações relevantes e aplicáveis (UN-WATER, 2011).

[7] Os dados ou variáveis representam tanto eventos da realidade empiricamente observáveis quanto percepções de atores sociais sobre tal realidade, e constituem matéria prima para construção de indicadores. Indicadores são modelos simplificados da realidade com a capacidade de facilitar a compreensão dos fenômenos, eventos ou percepções, apresentando informações pontuais no tempo e no espaço, cuja integração e evolução permitem o acompanhamento dinâmico da realidade (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007). Os índices, por sua vez, são elaborados mediante a agregação e ponderação de dois ou mais indicadores simples, constituindo uma medida síntese com objetivo de facilitar a comunicação de grande massa de dados e informações disponíveis (JANNUZZI, 2004).

Segundo revisão sistemática de estudos recentes de segurança hídrica realizada por Gerlak et al. (2018), dos 124 documentos analisados pelos autores, todos utilizaram múltiplas variáveis para avaliar a segurança hídrica, e quase metade adotaram indicadores quantitativos e/ou qualitativos. Em revisão de literatura realizada por Melo (2016) sobre o tema, identificou-se mais de 65 indicadores qualitativos e quantitativos relacionados à segurança hídrica, abordando aspectos relativos à quantidade e qualidade de água, à variabilidade climática e extremos hidrológicos, e às variáveis ambientais, socioeconômicas e de gestão.

No entanto, apesar de muitos indicadores e índices de segurança hídrica terem sido desenvolvidos, seu uso na formulação de políticas ainda é limitado (HOWLETT; CUENCA, 2017). Dentre os desafios metodológicos e operacionais, destacam-se os relacionados à seleção, agrupamento e agregação de indicadores e consideração da participação das partes interessadas (SUN et al., 2016).

Para Beek e Arriens (2014), não há metodologias e métricas únicas de segurança hídrica, aplicáveis para todos os contextos, uma vez que as medidas dependem das condições, especificidades e capacidades de gestão do sistema hídrico em análise. Para Dunn e Bakker (2009), a seleção de variáveis e indicadores deve atender a um conjunto de características e critérios básicos, tais como: representatividade para área em estudo; relevância; confiabilidade e consistência; sensibilidade a mudanças do meio; validade científica; comparabilidade e replicabilidade; clareza e comunicação; dentre outros.

Segundo GWP (2014b), questões como “quais são os objetivos, dimensões e indicadores relevantes para quantificar e medir a segurança hídrica”, “como é possível avaliar as mudanças e progressos ao longo do tempo”, “quanto tenho de segurança hídrica e quanto quero alcançar” e “como selecionar indicadores úteis levando em conta a gestão para uma determinada bacia, cidade ou país” devem ser endereçadas caso a caso, de modo a orientar a formulação de quadro analítico para tomada de decisão de gestores e formuladores de políticas públicas.

As metodologias e métricas de avaliação variam conforme a escala espacial adotada (transnacional, nacional, regional, cidades, comunidades), sendo a bacia hidrográfica a unidade territorial de análise recomendada (CHAVES, 2014). A análise da segurança hídrica para o abastecimento público requer uma avaliação da bacia hidrográfica a montante do(s) ponto(s) de captação do sistema de abastecimento, e engloba especialmente o uso e ocupação do solo e os usos de água na bacia (MELO, 2016).

Existem diversos modelos analíticos utilizados para seleção e aplicação de métricas de avaliação de segurança hídrica. Para Garrick e Hall (2014), índices de segurança hídrica,

elaborados mediante a agregação e ponderação de dois ou mais indicadores simples, permitem sintetizar e comunicar informações complexas. No entanto, esses índices sofrem de muitas críticas pelos seus problemas conceituais e metodológicos, tais como: dificuldade em estabelecer relações de causalidade entre seus componentes, atribuição subjetiva de pesos; simplificação e perda de informações; dentre outros. Para superar esses problemas, GWP (2014b) e Hoekstra et al. (2018) sugerem o modelo de quadro ou painel de indicadores, ou seja, a seleção de um grupo reduzido de indicadores mais relevantes que devem ser monitoramentos e analisados de forma individual e simultânea. Agregações menos complexas, por componentes, também são uma outra possível alternativa metodológica.

O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) (OECD, 2003) busca selecionar e analisar um conjunto de indicadores utilizando a relação de causalidade-efeito, considerando a dinâmica das diferentes pressões e *feedbacks* ambientais, climáticos e sociais que afetam a segurança hídrica (CHAVES, 2014). A seleção de possíveis variáveis ou indicadores de segurança da água deve considerar, portanto, aspectos da quantidade e qualidade da água bruta (indicadores de estado), os principais estressores que afetam o estado dos recursos hídricos (indicadores de pressão), e as respostas sociais existentes ou inexistentes (indicadores de resposta). Variações deste modelo incluem os impactos das pressões sobre a sociedade e ecossistemas (indicadores de impacto), e os fatores demográficos, sociais e econômicos associados a atividades antrópicas (indicadores de força-motriz)[8]. Dentre algumas aplicações práticas desse modelo, pode-se citar o trabalho de Chaves e Alipaz (2007), que propuseram o Índice de Sustentabilidade das Bacias Hidrográficas, composto por indicadores relacionados à disponibilidade hídrica, cobertura florestal, renda per capita e gestão de recursos hídricos; utilizando a relação de causalidade e efeito da metodologia Pressão, Estado e Resposta (PER). O Governo do Estado de São Paulo, por meio da Deliberação CRH nº 146/2012, adota um quadro de indicadores de modo a avaliar a situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas, utilizado o modelo Força-motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta (FPEIR).

A OECD (2013) introduz o conceito de risco, ao definir segurança hídrica como um nível máximo tolerável para os riscos associados a escassez de água (secas), excesso de água (cheias), poluição e resiliência dos sistemas de água doce relacionados com os usos gerais da sociedade e as necessidades ambientais. Dessa forma, estudos que adotam essa linha conceitual,

[8]Modelo Pressão – Estado – Impacto - Resposta (PEIR), adaptado pelo Programa das Nações Unidas e Meio Ambiente (PNUMA, 2007); e o modelo Força Motriz – Pressão - Estado -Impacto - Resposta (FPEIR), desenvolvido pela Agência de Ambiente Europeia (EEA, 2005).

em geral, avaliam a segurança hídrica a partir de modelos de avaliação de riscos. Há diferentes definições de riscos, e por consequência, de metodologias de avaliação (VILELA JÚNIOR; DEMAJOROVIC, 2013; WHO, 2016; GARRICK; HALL, 2014; MELO, 2016; ANA, 2019). Dentre algumas aplicações práticas de modelos de avaliação de riscos na literatura, destaca-se o modelo analítico de segurança hídrica de água bruta para o abastecimento urbano desenvolvido no âmbito do grupo de pesquisa "Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais" da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016; MELO, 2016; SILVA, 2017; BERNARDELI, 2017). Cabe também citar o Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019), que propôs e aplicou o Índice de Segurança Hídrica (ISH), incorporando o conceito de risco aos usos da água. A composição do ISH foi estruturada em quatro dimensões (humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência), que combinadas, formam o ISH. Em cada dimensão foram atribuídos pesos aos respectivos indicadores para calculo da média ponderada e normalização do índice.

Numa análise *ex ante*, a elaboração do diagnóstico e avaliação do problema é a própria atividade avaliativa em si, e numa análise *ex post*, se retoma a análise do problema e das causas-alvo da política pública implementada, e busca-se investigar se a identificação anterior foi correta e ainda é válida (BRASIL, 2018).

III) Formulação da política (alternativas): SbN e infraestrutura cinza

Para Rua (2009), a formulação envolve a definição da forma como este problema será abordado e solucionado (como, quando e o porquê), frente a várias possibilidades e alternativas de intervenção. Uma vez caracterizado e priorizado os problemas a serem enfrentados, realiza-se a identificação dos tipos de alternativas (SbN e soluções tradicionais) que podem contribuir para o seu enfrentamento, considerando a escala geográfica e temporal da ação e efeito das SbN, e a demanda por SbN (WORLD BANK, 2017).

Compreende-se que podem existir situações nas quais conclua-se que as SbN não são pertinentes, ou seja, não são medidas prioritárias, ou são excessivamente custosas (GARTNER et al., 2013). Por exemplo, em bacias hidrográficas nas quais os principais estressores que colocam em risco à quantidade e qualidade de água não possuem relação com as SbN, ou as ações prioritárias para a segurança hídrica identificadas estão relacionadas a investimentos em ações de saneamento e reforço da infraestrutura cinza, por exemplo.

As SbN podem ser diferentes das soluções convencionais em termos de cronograma de desembolso, desempenho e risco, sendo importante a análise da sua aplicabilidade frente a

viabilidade e adaptabilidade institucional (WORLD BANK, 2017). Portanto, deve-se verificar com quais esforços as SbN podem ser implementadas, considerando o contexto sócio-político, iniciativas pré-existentes e restrições institucionais, econômicas, financeiras, sociais, legais e técnicas que podem afetar a efetividade e viabilidade das SbN (CALLIARI et al., 2019; RAYMOND et al., 2017a).

Numa análise *ex ante*, a identificação das alternativas e a análise da viabilidade é a própria atividade avaliativa em si, e numa análise *ex post*, retoma-se a análise de modo a verificar se identificação anterior foi realizada e a sua validade (BRASIL, 2018).

IV) Seleção de alternativas e tomada de decisão

A seleção das alternativas envolve a análise e tomada de decisão sobre quais medidas são as mais adequadas para o alcance dos objetivos estabelecidos, e incluem tanto as SbN quanto soluções tradicionais (WORLD BANK, 2017). De fato, o processo de seleção de medidas é significativamente complexo, dadas as inúmeras opções, critérios e combinações que podem ser identificadas (ALVES et al., 2018). O processo de escolha das alternativas pode ser balizado por diferentes métodos de priorização, de modo a fornecer medidas comparáveis para uma avaliação integrada.

Os impactos das SbN sobre o meio ambiente são bem compreendidos, mas sua relação custo-benefício é pouco clara (UN-WATER, 2018). A avaliação dos benefícios ou custos diretos das SbN pode ser realizada usando uma variedade de métodos qualitativos, quantitativos e mistos (RAYMOND et al., 2017b). A contabilização do capital natural possibilita que as SbN sejam efetivamente consideradas na análise de opções e decisões de investimento para segurança hídrica e comparadas junto a alternativas de infraestrutura cinza (TRÉMOLET et al., 2019). Além disso, a avaliação econômica tem se mostrado relevante não somente para justificar a implantação das SbN, como também para promover o ganho de escala e a construção de estratégias de financiamento a médio e longo prazo (GARTNER et al., 2013; OZMENT et al., 2016).

As SbN e soluções tradicionais podem ser comparadas em termos monetários em diferentes cenários de intervenção, adotando métodos de avaliação econômica, como a análise custo-benefício e análise custo-efetividade, subsidiando a escolha da opção mais eficaz e apropriada, em colaboração com as partes interessadas (RAYMOND et al., 2017a). Nesse sentido, a WRI propõe a metodologia Avaliação Verde-Cinza, que analisa como as SbN podem auxiliar e complementar a infraestrutura cinza para o abastecimento de água a partir da

definição de objetivos e cenários de investimento, estimativa de resultados biofísicos, valoração econômica, análise de custos e benefícios e análise de riscos (TALBERTH et al., 2012).

Apesar das recomendações apontadas, a avaliação econômica enfrenta limitações de caráter prático, como problemas no acesso e na disponibilidade de dados consistentes e adequados, as complexidades e incertezas inerentes aos modelos quantitativos de bacias hidrográfica (UN-WATER, 2018). A ausência de métricas de mensuração quantitativas dos impactos das SbN pode limitar a aceitação e defesa pelas partes interessadas (MAES; JACOBS, 2017).

Em vários casos, programas adotaram abordagens menos quantitativas, considerando que impactos socioambientais significativos e/ou eventos de crise hídrica sensibilizavam os atores e viabilizavam investimentos em SbN, não requerendo avaliações econômicas detalhadas para sua implementação (OZMENT et al., 2016). Muitos dos benefícios e custos ambientais e sociais relacionados aos impactos das ações de SbN podem ser medidos, em termos de parâmetros físicos ou julgamentos qualitativos de preferências individuais, e dificilmente são traduzidas em termos monetários, o que implica na necessidade de métodos complementares de avaliação (RAYMOND et al., 2017b).

Indicadores para qualificar e quantificar os impactos (positivos ou negativos) esperados de cada alternativa na condição dos ecossistemas e na geração de benefícios e cobenefícios têm sido amplamente utilizados (SONNEVELD et al., 2018; WORLD BANK, 2017). O Grupo de Trabalho (GT) sobre Mapeamento e Avaliação de Ecossistemas e seus Serviços da Comissão Europeia (MAES) apresenta uma estrutura de avaliação para mapear e quantificar a pressão sobre os ecossistemas, condições dos ecossistemas e serviços ecossistêmicos, propondo indicadores por tipo de ecossistema (MAES et al., 2018). Raymond et al. (2017b) concebe uma estrutura de avaliação de impacto de SbN para 10 desafios da sociedade em contextos urbanos (incluindo segurança hídrica), propondo indicadores de serviços ecossistêmicos e cobenefícios que demonstrem a eficácia de SbN sobre os desafios. Ambos os autores ressaltam que a seleção de indicadores apropriados para cada caso depende dos recursos e capacidades para medição e da disponibilidade de dados para a construção dos indicadores.

Métodos baseados na análise multicriterial (AMC) permitem a avaliação do desempenho de soluções alternativas agregando variáveis e indicadores, considerando diferentes escalas e medidas. A análise de múltiplos critérios permite a representação de diferentes resultados de acordo com preferências de grupo, ao invés de se limitar a um único resultado indicando uma solução "ideal" (RAYMOND et al., 2017b).

Muitas vezes, as SbN podem serem competitivas em relação às intervenções tradicionais somente se sua multifuncionalidade for considerada, motivo pelo qual diversos autores recomendam e contemplam a análise dos cobenefícios socioeconômicos e ambientais (RAYMOND et al., 2017a; ARTMANN; SARTINSON, 2018). No entanto, avaliar cobenefícios requer o envolvimento de diversos atores, envolve uma variedade de disciplinas e emprega indicadores e métodos diversificados (CALLIARI et al., 2019). O uso de ferramentas transdisciplinares e o envolvimento efetivo de especialistas e partes interessadas, apesar de amplamente recomendado, é desafiador (RAYMOND et al., 2017b).

Numa análise *ex ante*, a seleção das alternativas é a própria atividade avaliativa em si, e numa análise *ex post*, busca-se investigar se a priorização foi realizada e seus desdobramentos (BRASIL, 2018).

V) Concepção de iniciativas de SbN

A avaliação da concepção engloba a análise do desenho da iniciativa, verificando o seu conteúdo, consistência e lógica. Avaliação inadequada do problema, objetivos incoerentes ou obscuros, meios inadequados de intervenção ou baixa viabilidade de implementação são alguns exemplos de falhas na concepção de iniciativas (BRASIL, 2018).

Diversos autores analisam, discutem ou apontam elementos essenciais na fase de concepção e detalhamento das iniciativas e suas implicações para credibilidade, escalabilidade e sucesso a longo prazo das SbN, tais como: priorização de áreas de intervenção por tipo de SbN na bacia hidrográfica; envolvimento e engajamento das partes interessadas; estruturas de governança de múltiplos parceiros; financiamento de fontes diversas; ferramentas tecnológicas para facilitar o investimento e gestão; estratégia de monitoramento e avaliação e construção de linha de base; dentre outros (GARTNER et al., 2013; OZMENT et al. 2016; TRÉMOLET et al., 2019; WORLD BANK, 2017).

A extensão e a complexidade dos elementos dependem em parte do escopo (medidas de SbN) e da escala da iniciativa (GARTNER et al., 2013).

VI) Implementação e monitoramento de resultados e impactos de iniciativas de SbN

Na avaliação da implementação, busca-se comparar o desenho da política com o que se realizou com a sua execução até o momento atual (BRASIL, 2018). As atividades de monitoramento durante e após a implementação de uma SbN viabilizam a coleta de

informações para indicadores de avaliação de resultados e impactos esperados com a política. Resultados são mudanças de curto prazo decorrentes diretamente da intervenção, e impactos constituem mudanças de mais longo prazo promovidas sobre o aspecto ou a perspectiva futura de seus beneficiários (ibidem).

No caso das SbN, recomenda-se construção de uma linha de base e o monitoramento de indicadores de evolução da condição dos ecossistemas e de serviços ecossistêmicos, assim como de resultados e de impactos esperados (WORLD BANK, 2017). Considerando a grande variedade de incertezas sobre o impacto das SbN, o monitoramento a longo prazo pode fornecer novas ideias sobre o seu funcionamento e ativar um processo de aprendizado - mesmo após falhas - que pode ajudar a melhorar as implementações subsequentes (CONNOP et al., 2016; RAYMOND et al. 2017a).

2.3 **Proposta de arcabouço conceitual e analítico de segurança hídrica a partir de SbN**

2.3.1 Modelo de avaliação de segurança hídrica a partir de SbN

O modelo analítico é apresentado na Figura 16, sendo desenvolvido partir do referencial do ciclo da Política Pública, aplicado no contexto de segurança hídrica a partir de SbN. Adotou-se a abordagem de avaliação simplificada das etapas de formulação da agenda, diagnóstico e análise do problema, formulação e seleção de alternativas e concepção de implementação de iniciativas, de modo a estabelecer um panorama geral de avaliação da política de segurança hídrica a partir de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Avaliar uma determinada política pública em profundidade nas mais distintas etapas e abordagens requer grandes esforços, e pode resultar na análise de aspectos que podem não ser relevantes para a sua compreensão ou seu aperfeiçoamento. Dessa forma, uma análise simplificada do panorama geral da política buscou tanto traçar recomendações gerais de aprimoramento, como gerar subsídios para identificar e recomendar abordagens avaliação aprofundada de componentes específicos.

Figura 16 – Modelo analítico de segurança hídrica a partir de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu



Fonte: A autora, 2020.

O arcabouço analítico foi desenvolvido a partir de uma ampla pesquisa bibliográfica da literatura científica e da literatura cinzenta, associada com a experiência da doutoranda como gestora pública de projetos sob essa abordagem. Trata-se, portanto, de uma contribuição original desta pesquisa para a literatura e para a gestão, e que vem de encontro com lacunas apontadas na pesquisa bibliográfica (MCDONALD; SHEMIE, 2014; MCKENZIE et al., 2014; VOGL et al., 2017).

2.3.1.1 Coleta e análise de dados

Para aplicação do modelo analítico, a pesquisa utilizou para coleta de dados as técnicas de pesquisa bibliográfica, análise documental, entrevistas semiestruturadas e observação participante.

Em relação ao universo da pesquisa bibliográfica, foi contemplada a literatura acadêmica, abrangendo periódicos, artigos científicos, teses e dissertações, em ordem de decrescente de prioridade. Considerou-se também a literatura cinza, abrangendo publicações e documentos (ex. Diário Oficial da União e Estadual, processos administrativos, relatórios técnicos, livros, cartilhas, cadernos, revistas, apresentações, registros de reunião, notícias) e base de dados (ex. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), Base de dados Geoespaciais do Instituto Estadual do Ambiente (GEOINEA) produzidos por instituições públicas e organizações não-governamentais que abordam e atuam direta ou indiretamente com o tema na Bacia do rio Guapi-Macacu. Além disso, foram acessadas publicações de veículos de imprensa. A escolha desse universo justifica-se pela relevância dessas publicações para o levantamento e caracterização da segurança hídrica a partir de SbN na área de estudo. Em relação à data de publicação da literatura consultada, não foi adotado um critério de restrição temporal, visto que o universo de análise considerou as iniciativas de SbN concluídas, em execução ou a iniciar na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Utilizou-se como meios de pesquisa as plataformas de pesquisa acadêmica Portal de Periódicos da CAPES, SciELO, Google Acadêmico e bancos de teses e dissertações de universidades, para literatura acadêmica, e sítios eletrônicos e base de dados oficiais de instituições públicas e de organizações não-governamentais para literatura cinza (Quadro 8). Para sistematização da base legal, foram consultados sítios eletrônicos dos entes do Poder

Legislativo Federal, Estadual e Municipal, o Diário Oficial da União e Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro.

Quadro 8 – Meios de pesquisa e documentos consultados na pesquisa bibliográfica e análise documental

Categoria	Meios de pesquisa e documentos analisados
Literatura científica	● Portal de Periódicos da CAPES, SciELO, Google Acadêmico e bancos de teses e dissertações de universidades
Base legal	● Sítios eletrônicos dos entes do poder legislativo federal, estadual e municipal, Diário Oficial da União e Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro
Literatura cinza: Documentos, base de dados e publicações oficiais	● Processos administrativos ● Publicações (relatórios técnicos, livros, cartilhas, cadernos, revistas) ● Bases de dados oficiais (dados alfanuméricos e geoespaciais) ● Sites oficiais ● Registros de reunião e apresentações
Literatura cinza: Documentos e publicações em veículos de imprensa, especialistas, registros e atas de reuniões públicas	● Notícias em jornais de grande circulação, mídia independente, colunas e blogs especializados ● Documentos (relatórios técnicos, livros, cartilhas, cadernos, revistas) e notícias publicadas pelo terceiro setor e especialistas no tema ● Registros de audiências públicas, consultas públicas, etc.

Fonte: A autora, 2020.

As entrevistas semiestruturadas foram realizadas com informantes-chave, ou seja, atores relacionados ao tema da segurança hídrica e/ou que participaram da formulação, seleção, concepção e/ou implementação das iniciativas de SbN selecionadas.

Foram realizadas entrevistas individuais com uso de tópico-guia, ao longo do ano de 2019, com representantes da Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu, Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), Área de Proteção Ambiental (APA) Guapimirim, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento (SEAPA) e Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN). As entrevistas foram realizadas por ligação telefônica, com duração média de uma hora e meia, e gravadas quando autorizadas pelos entrevistados. Foram realizadas entrevistas não-estruturadas, ao longo do ano de 2019, com representantes do Ministério Público do Rio de Janeiro (MPRJ), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Secretaria de Estado de Ambiente e Sustentabilidade (SEAS), INEA, e Comitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baia de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH-BG). Realizou-se ainda visita técnica a Estação de Tratamento de Água (ETA) Laranjal em 06 de dezembro de 2019, de modo a conhecer as instalações e funcionamento do sistema Imunana-

Laranjal *in loco*, e na ocasião, foram entrevistados três técnicos da CEDAE que trabalham na ETA há mais de 10 anos, com uso de tópico-guia.

A observação participante ocorreu ao longo de todo o período da observação da tese, campo no qual a pesquisadora participou como membro e parte do grupo objeto de estudo, se envolvendo na coordenação, parceria ou acompanhamento de políticas e projetos relacionados a SbN no estado do Rio de Janeiro e na área de estudo. A coleta de dados foi realizada a partir do registro das observações em campo, por meio de anotações escritas, envolvendo conversas, reuniões e discussões com atores-chave e visitas *in loco*.

Para análise dos dados, adotou-se o método de análise de conteúdo. A extração e análise de dados envolveu o ordenamento, codificação e categorização dos dados das fontes primárias, sendo resumidos em uma conclusão unificada e integrada sobre o problema da pesquisa (COOPER, 1998). Para Franco (2005), as categorias de análise são pertinentes ao quadro teórico definido, refletindo as questões de investigação, e contribuir para produção de novas hipóteses ou dados relevantes para aprofundamento das teorias. Neste estudo, a definição de categorias de análise foi realizada de forma indutiva, emergindo a partir da análise de conteúdo e constante ida e volta do material selecionado, pela descrição do significado e sentido atribuído, e finalmente pela classificação das convergências e divergências.

2.3.1.2 Macroetapas de análise

A avaliação foi desenvolvida a partir do desenvolvimento de quatro macroetapas, apresentadas a seguir.

I) Base legal e atores envolvidos (formulação de agenda)

A avaliação desta etapa contempla a descrição das políticas de segurança hídrica e SbN, do histórico de sua criação e das normas que a definem, bem como a identificação dos principais atores e instâncias de governanças envolvidos em sua execução na Bacia do rio Guapi-Macacu, apresentados no capítulo 3.

II) Avaliação do nível de segurança hídrica (definição e análise do problema)

Não foram identificados diagnósticos e/ou avaliações da segurança hídrica para o objeto de estudo. Dessa forma, identificou-se a necessidade de avaliar o nível atual de segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, de modo a caracterizar o problema a ser resolvido, suas características e causas, subsidiando e viabilizando a aplicação das demais macroetapas do arcabouço conceitual.

Adotou-se o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica de água bruta para o abastecimento urbano desenvolvido no âmbito do grupo de pesquisa "Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais" da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016; MELO, 2016; SILVA, 2017; BERNARDELI, 2017). O modelo de avaliação de segurança hídrica de água bruta foi adaptado e ajustado para sua aplicação ao estudo de caso. Para tanto, a pesquisa utilizou para coleta de dados as técnicas de pesquisa bibliográfica, análise documental, entrevistas semiestruturadas e observação participante, de modo a selecionar os estressores e indicadores de graduação da severidade do impacto na quantidade e qualidade de água para o abastecimento público do sistema Imunana-Laranjal, tendo a Bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu como referência. Foram considerados aspectos associados à vulnerabilidade do sistema Imunana-Laranjal, de modo a compreender a sua capacidade adaptativa em relação à variação da disponibilidade de água bruta. No capítulo 4, apresenta-se o modelo analítico concebido e os resultados obtidos.

III) Análise de pertinência e aplicabilidade de SbN e estudos de priorização de soluções de SbN e infraestrutura cinza (formulação e seleção de alternativas)

Compreende-se que podem existir situações nas quais conclua-se que as SbN não são pertinentes, ou seja, não são medidas prioritárias, ou são excessivamente custosas (GARTNER et al., 2013). Considerando que a estratégia de SbN pode ou não ser viável ou relevante para segurança hídrica em determinados mananciais de abastecimento público, tornou-se clara a necessidade de conceber um modelo analítico de modo a verificar a hipótese que as SbN são uma abordagem adequada para promover a segurança hídrica da água bruta para o sistema Imunana-Laranjal.

Identificou-se a necessidade de, primeiramente, avaliar a pertinência das SbN para segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal, ou seja, verificar se o manancial de abastecimento apresenta riscos à quantidade e qualidade da água que exigem ações de gestão, e se as SbN podem contribuir para reduzir os riscos associados aos principais estressores à disponibilidade hídrica. Confirmada a hipótese de que as SbN são pertinentes para segurança

hídrica para o abastecimento público, verificou-se a necessidade de avaliar a aplicabilidade das SbN para uma determinada bacia hidrográfica, ou seja, analisar os fatores que favorecem ou desfavorecem a adoção das SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, descrevendo as principais potencialidades e/ou barreiras para sua implementação. O quadro analítico de aplicabilidade de SbN para determinada bacia hidrográfica) foi concebido a partir de revisão de literatura específica para identificação e seleção dos fatores que são críticos para a implantação, consolidação e/ou ampliação de SbN.

A análise prévia de indicadores e parâmetros que indiquem a pertinência e aplicabilidade para implantação das SbN contribui para identificar bacias hidrográficas com maior oportunidade para estratégias de segurança hídrica a partir de SbN, evitando despender grandes esforços analíticos, como aplicação de análise de custo-efetividade e custo-benefício em bacias com pouca viabilidade para SbN. Além disso, a compreensão de deficiências técnico-operacionais ou fragilidades político-institucionais relativos as SbN devem observados e trabalhados, num contexto mais amplo.

Portanto, nesta macroetapa, foram analisadas a pertinência e aplicabilidade de SbN para segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, e da existência de estudos de priorização e seleção de alternativas de SbN e infraestrutura cinza. No capítulo 4, apresenta-se o modelo analítico concebido e os resultados obtidos.

IV) Análise das iniciativas relacionadas a SbN (concepção e implantação)

Considerando a existência de diversas iniciativas relacionadas a SbN na área de estudo, as mesmas foram analisadas de forma individual e integrada, a partir da aplicação dos métodos de pesquisa bibliográfica, análise documental, entrevistas semiestruturadas e observação participante.

A avaliação individual das iniciativas existentes relacionadas a SbN contemplou a análise simplificada de conteúdo, trajetória de concepção e implementação, resultados e impactos. Além disso, buscou-se apreender a percepção sobre fatores-chave para o sucesso, consolidação, ampliação e/ou replicação das iniciativas relacionadas a SbN, assim como principais desafios e barreiras para a agenda. A avaliação integrada das iniciativas observou a aproximação ou distanciamento do arcabouço conceitual de SbN proposto por esta pesquisa, e buscou compreender a contribuição do conjunto para reduzir o risco à segurança hídrica da água bruta. No capítulo 6, apresenta-se a metodologia adotada e os resultados e discussões desta macroetapa.

2.3.2 Arcabouço conceitual de SbN para segurança hídrica

O arcabouço conceitual de segurança hídrica a partir de SbN compreendem os princípios e diretrizes de ação que norteiam a avaliação da política. O objetivo é o de abordar os desafios de segurança hídrica de forma eficaz e adaptativa, adotando ações que visam proteger gerenciar e restaurar de maneira sustentável os ecossistemas naturais ou modificados e que proporcionem simultaneamente bem-estar humano e benefícios à biodiversidade. Os princípios representam "as ideias centrais de um sistema, ao qual dão sentido lógico, harmonioso, racional, permitindo a compreensão de seu modo de se organizar" (SUNDFELD, 1995), e que "possuem um grau de abstração mais elevado, pois não se vinculam a uma situação específica, na medida em que estabelecem um estado de coisas que deve ser efetivado, sem que se descreva qual é o comportamento devido" (ROSENVALD, 2005). As diretrizes de ação, por sua vez, podem ser compreendidas como o conjunto de orientações, instruções e indicações para as ações de planejamento e gerenciamento. Possuem impacto direto com o grau de efetividade das iniciativas e sobre os modelos de funcionamento e gestão (Figura 17).

Figura 17 – Arcabouço conceitual de SbN



Fonte: A autora, 2020.

I) Princípios de SbN

A partir da revisão de literatura, identificaram-se diferentes recomendações e propostas de princípios de SbN. Para o presente trabalho, adotam-se quatro princípios para as SbN, baseados nas definições da IUCN (COHEN-SHACHAM et al., 2016):

- Contribuir para promover a conservação da estrutura, diversidade e funcionalidade dos ecossistemas, de modo a manter a capacidade de provisão dos serviços ecossistêmicos relevantes para sociedade a longo prazo;
- Valorizar e reconhecer o capital natural, além dos custos que a sociedade iria suportar em função da degradação ou perda dos ecossistemas;
- Deve ser planejado e analisado de forma integrada e complementar (e não de forma excludente ou concorrente) com outras soluções para enfrentamento dos desafios da sociedade, promovendo maior sustentabilidade e resiliência do sistema;
- Produzir benefícios sociais de maneira justa e equitativa, de maneira a promover transparência e ampla participação.

II) Diretrizes de ação

Para a presente pesquisa, foram identificados sete diretrizes de ação, baseados em fatores frequentemente citados na literatura e relacionados à eficácia, sustentabilidade, replicabilidade e escalabilidade das iniciativas de SbN (Quadro 9).

Quadro 9 – Diretrizes de ações para SbN (continua)

Diretrizes de ação		**Ações envolvidas**
1	Normatização, regulação e arranjos institucionais	• Consolidação de políticas e estrutura legal de apoio às SbN e remoção de barreira regulatórias e normativas (BENNETT; RUEF, 2016; DAVIS et al., 2015; DARGHOUTH et al., 2008; UN-WATER, 2018); • Criação de arranjos institucionais que permitem e favorecem a harmonização e integração das políticas setoriais e de atores de diferentes segmentos (BUREK et al., 2016; NESSHÖVER et al., 2017; UN-WATER, 2018).
2	Participação de múltiplos atores	• Assegurar o envolvimento de múltiplos atores e partes interessadas, abordando os múltiplos benefícios e *trade-offs* das SbN (COHEN-SHACHAM et al., 2016; GARTNER et al., 2013; KEUNE et al., 2015; OZMENT et al., 2016); • Adotar e processos de apoio a tomada de decisão e abordagens participativas (DARGHOUTH et al., 2008); • Desenvolver compreensão comum entre os diferentes atores sobre os problemas, visão de futuro e soluções (NESSHÖVER et al., 2017; UN-WATER, 2018).

Quadro 9 – Diretrizes de ações para SbN (conclusão)

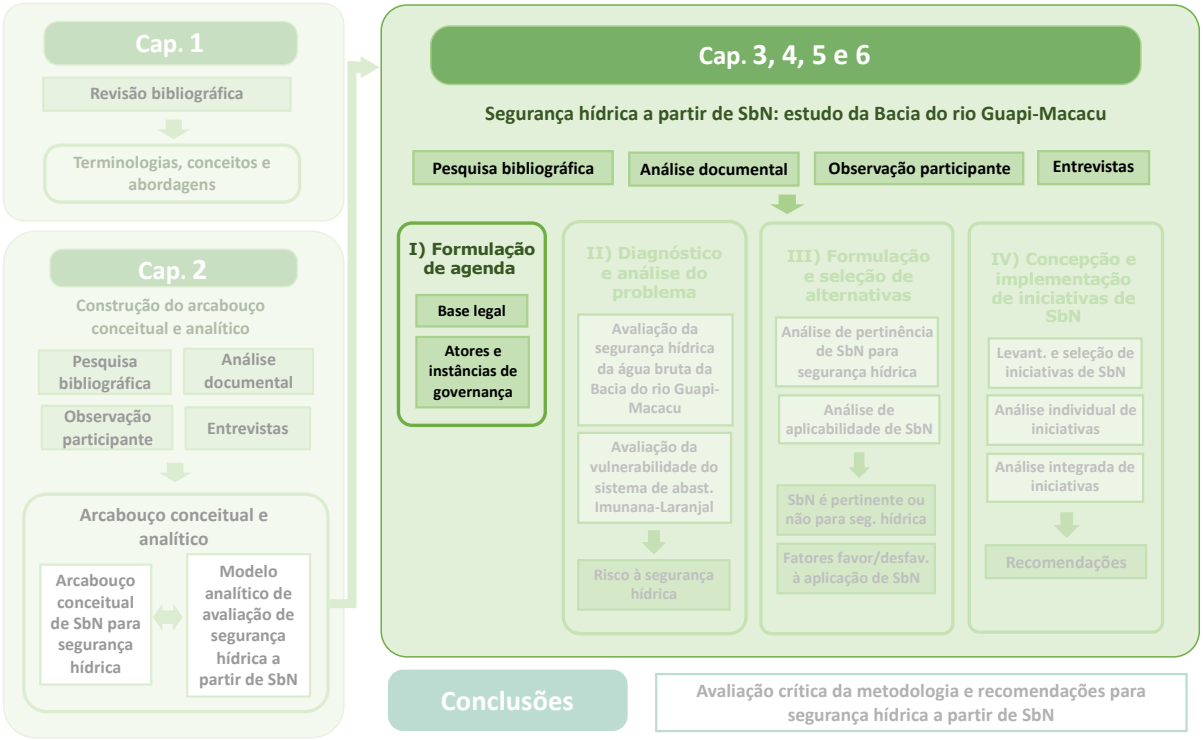
Diretrizes de ação		Ações envolvidas
3	Racionalidade no planejamento e gestão	• Deve ser aplicado em escalas espaciais e temporais adequadas e condizentes com os objetivos almejados • Adotar critérios de seleção e priorização de alternativas e áreas de intervenção, a fim de garantir a efetividade das ações e otimizar a aplicação de recursos para potencializar os impactos e resultados (DARGHOUTH et al., 2008; GARTNER et al., 2013; VOGL et al., 2017; WORLD BANK, 2017).
4	Conservação ambiental e melhoria dos meios de subsistência	• Identificar e fomentar práticas produtivas conservacionistas que sejam rentáveis para os produtores rurais, contribuindo para conservação ambiental, redução da pobreza e melhoria dos meios de subsistência (DARGHOUTH et al., 2008); • Compreensão e adequação aos contextos e a dinâmicas sociais e ambientais (DARGHOUTH et al., 2008).
5	Financiamento em escala e de longo prazo	• Desenvolver conjunto de mecanismos de financiamento que sejam capazes de obter o apoio político necessário para a adoção, além de gerar fundos suficientes para investimentos significativos e sustentados em SbN a longo prazo (BENNETT; CARROLL, 2014; GARTNER et al., 2013; NESSHÖVER et al., 2017; UN-WATER, 2018).
6	Gerenciamento adaptativo	• Lidar com as incertezas, complexidades, ambiguidades e conflitos a partir de abordagem de gestão adaptativa, com arranjos institucionais e de tomada de decisão flexíveis perante novas informações e para atendimento às necessidades variáveis (COHEN-SHACHAM et al., 2016; SCARLETT; BOYD, 2015; SMITH; PORTER, 2010; UN-WATER, 2018; WILLIAMS; BROWN, 2016; WORLD BANK, 2017).
7	Monitoramento e avaliação	• Avaliar e monitorar as SbN, de modo a gerar evidências sobre seus benefícios e aumentar a confiança sobre essa abordagem (BREMER et al., 2016; NESSHÖVER et al., 2017; VOGL et al., 2017; UN-WATER, 2018; WORLD BANK, 2017).

Fonte: A autora, 2020.

3 BASE LEGAL E ATORES RELACIONADOS À SEGURANÇA HÍDRICA A PARTIR DE SBN NA BACIA DO RIO GUAPI-MACACU

Este capítulo tem por objetivo apresentar a base legal relacionada à segurança hídrica e SbN, bem identificar os principais atores e instâncias de governança relacionados com a agenda na Bacia do rio Guapi-Macacu. Dessa forma, contempla a análise de formulação da agenda (Figura 18), ou seja, a descrição do histórico de criação e evolução das políticas de segurança hídrica e SbN, compreendendo como a insegurança hídrica passa a ser reconhecida como um problema e de que forma as SbN integram as atividades de instituições e atores na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Figura 18 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de "formulação de agenda" (base legal e atores relacionados)



Fonte: A autora, 2020.

3.1 Base legal

Apesar do conceito de segurança hídrica começar a ser discutido na década de 90, somente a partir de 2014 o termo ganhou relevância nacional, em função das sucessivas crises hídricas que afetaram o país (MELO; FORMIGA-JOHNSSON, 2017). O conceito passou então a ser reconhecido pela sociedade, e institucionalizado pelo poder público, a exemplo da criação do Núcleo de Segurança Hídrica em âmbito federal (Portaria MDR nº 2.715, de 19 de novembro de 2019) e da elaboração do Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019). No Estado do Rio de Janeiro, o órgão gestor de recursos hídricos instituiu a Diretoria de Segurança Hídrica e Qualidade Ambiental (DISEQ/INEA), e está prevista a elaboração de um Plano Estadual de Segurança Hídrica (PESH).

O termo Soluções Baseadas na Natureza (SbN), por sua vez, é mais recente e ainda não vem sendo adotado por normativas e órgãos governamentais no país, prevalecendo o uso de termos mais consolidados, como serviços ecossistêmicos, infraestrutura natural ou verde e adaptação baseada em ecossistemas (STOBERL et al., 2019). Há um descompasso da institucionalização do termo em relação ao contexto internacional, a exemplo dos Estados Unidos; União Europeia (EC, 2015) e organismos multilaterais (SONNEVELD et al., 2018; UN-WATER, 2018; WORLD BANK, 2017), que vem adotando, fortalecendo e disseminando o conceito.

Conforme apresentado no Capítulo 1, há uma ampla diversidade de termos e abordagens que são similares, abrangíveis ou compatíveis com os conceitos de segurança hídrica e SbN. Portanto, apesar do Brasil ainda carecer de legislação específica que aborde e referencie esses termos, pode-se considerar que os mesmos se encontram embutidos em normas federais, estaduais e municipais que contemplam a proteção dos ecossistemas e das bacias hidrográficas, dos corpos hídricos e águas subterrâneas, sistematizadas e analisadas a seguir.

3.1.1 Legislação Federal

Em relação às normas federais relacionadas à segurança hídrica a partir de SbN, cabe destaque para o Código das Águas (Decreto nº 24.643/34), a Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (Lei n° 9.433/97) e "Novo Código Florestal", que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Lei n° 12.651/2012), além das demais normas apresentadas e sistematizadas no quadro resumo do Apêndice A.

A Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). A PNRH estabeleceu, em seu Artigo 9º, o enquadramento dos corpos d'água, visando diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes. Dentre os instrumentos de gestão de recursos hídricos instituídos pela PNRH, o Plano de Recursos Hídricos traz elementos importantes para proteção de mananciais, tais como: (i) a definição de metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis; (ii) medidas a serem tomadas, programas a serem desenvolvidos e projetos a serem implantados; e (iii) propostas para a criação de áreas sujeitas à restrição de uso, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que revogou a Lei nº 4.771/1965, por sua vez, estabeleceu normas gerais sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente (APP), as áreas de Reserva Legal (RL) e áreas de uso restrito, dentre outras. Dentre seus princípios, cabe destacar a garantia da proteção e uso sustentável de florestas e a compatibilização e harmonização entre o uso produtivo da terra e a preservação da água, do solo e da vegetação. A legislação contribui em benefício da proteção de áreas estratégicas para os recursos hídricos, tais como faixas marginais de cursos d'água, áreas no entorno de lagos e lagoas, nascentes, topos de morro, áreas declivosas, áreas úmidas e várzeas na forma de Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal e Áreas de Uso Restrito.

Um dos maiores avanços trazidos pela Lei Federal nº 12.651/2012 foi o Cadastro Ambiental Rural (CAR), principal instrumento de regularização ambiental de imóveis rurais, definido como "o registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento". Neste sentido, o CAR funciona como uma "carteira de identidade" do imóvel rural, agrupando informações cadastrais e ambientais da propriedade ou da posse rural. O grande diferencial do CAR em relação a outros cadastros é que ele oferece, além de dados cadastrais, informações espaciais sobre as áreas legalmente protegidas e as demais áreas com relevância ambiental, incluindo o mapeamento dos passivos ambientais dos imóveis rurais.

Apesar das suas enormes potencialidades, o CAR é apenas o primeiro passo para a adequação ambiental dos imóveis rurais do país. O passo seguinte, e mais desafiador, consiste na implementação dos Programas de Regularização Ambiental (PRA), estabelecidos e regulamentados pela Lei nº 12.651/2012 e Decretos Federais nº 7.830/2012 e 8.235/2014. Os

PRAs consistem num conjunto de ações a serem desenvolvidas por proprietários e posseiros rurais com o objetivo de adequar e promover a regularização ambiental do imóvel rural, no que se refere à recuperação das APPs e RL degradadas, tendo, desta forma, efeito direto na proteção dos mananciais.

Além das áreas legalmente protegidas, estabelecidas na Lei Federal nº 12.651/2012, tem-se a Lei Federal nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e estabeleceu critérios e normas para a criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação. Unidade de Conservação (UC) é definida como "espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção". Apesar de a proteção de recursos hídricos não ser claramente apontada como um dos objetivos gerais do SNUC, cerca de 55% dos pontos de captação dos mananciais de abastecimento públicos fluminenses estão situados em Unidades de Conservação (federais, estaduais e municipais). Além disso, no estado do Rio de Janeiro, 183 Unidades de Conservação (52% do total) estão inseridas em áreas de interesse para proteção e recuperação de mananciais, e apresentam em seu território áreas prioritárias para intervenção, o que destaca a importância das áreas protegidas para a proteção de mananciais fluminenses.

O "Novo Código Florestal", por sua vez, contribui para a proteção das matas ciliares, áreas de recarga na forma de Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal e Áreas de Uso restrito. Apesar das perdas e redução das áreas de proteção promovida pela modificação da lei antecessora, estabeleceu o Cadastro Ambiental Rural (CAR), instrumento fundamental para regularização ambiental de propriedades e posses rurais, auxiliando tanto no planejamento do imóvel rural quanto na recuperação de áreas degradadas e no controle, monitoramento e combate ao desmatamento.

Cabe ainda mencionar a Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei Federal nº 6.766/79), que determina em seu Artigo 13 que cabe aos estados disciplinarem o parcelamento do solo em áreas de interesse especial para proteção de mananciais. Esta lei veio a ser regulamentada em alguns estados, que instituíram Áreas Especiais voltada a proteção de mananciais, como no Rio de Janeiro (Decreto Estadual nº 9.760 de 11 de março de 1987) e em Minas Gerais (Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013).

Em relação aos corpos hídricos superficiais, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as

condições e padrões orgânicos e inorgânicos de lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora. A Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005, determinando que os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o automonitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores.

No caso de abastecimento para consumo humano, é fundamental a importância do Ministério da Saúde e dos responsáveis pelos sistemas de abastecimento de água na legislação federal sobre o controle e vigilância da qualidade da água, e seu papel e contribuição para a proteção e recuperação dos mananciais de abastecimento e das bacias hidrográficas, previstos na legislação federal. O controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade é definido pela Portaria de Consolidação n° 5, de 28 de setembro de 2017, em seu Anexo XX, substituindo a Portaria n° 2914/2011. A legislação brasileira determina não somente o controle laboratorial, como também adota princípios da análise de risco, em particular da abordagem de múltiplas barreiras. Em seu Artigo 13, define que o responsável pelo sistema ou pela solução alternativa de abastecimento de água para consumo humano deve manter avaliação sistemática do sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico da características das águas, nas características físicas do sistema, nas práticas operacionais e na qualidade da água distribuída. Para tanto, deve observar os princípios dos Planos de Segurança de Água recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) ou definidos em diretrizes vigentes no país. O referido artigo ainda define que o responsável pelo sistema deverá comunicar aos órgãos ambientais, aos gestores de recursos hídricos e ao órgãos de saúde pública qualquer alteração da qualidade da água no ponto de captação que comprometa a tratabilidade da água para consumo humano, e contribuir com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, por meio de ações cabíveis para proteção do(s) manancial(ais) de abastecimento(s) e das bacia(s) hidrográfica(s).

Sobre o padrão de potabilidade da água, o Anexo XX da Portaria de Consolidação define a análise de parâmetros físicos (cor; turbidez; gosto e odor; temperatura; e radioatividade), químicos (pH; cloraminas; dióxido de cloro; cloro residual livre; fluoreto; e substâncias químicas que representam riscos à saúde); microbiológicos (coliformes totais, *Escherichia coli,* cianobactérias e cianotoxinas). Tais parâmetros devem ser cumpridos pelos responsáveis pelo sistema de abastecimento de água, de acordo com exigências da Portaria, visando-se a garantia da qualidade e segurança da água para consumo humano.

Em relação às águas subterrâneas, a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008 estabeleceu diretrizes gerais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas. Nos artigos 20 e 21, estabeleceu que os órgãos ambientais, em conjunto com os órgãos gestores de recursos hídricos, deverão promover a implementação das Áreas de Proteção de Aquíferos, Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento e Áreas de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea, objetivando a proteção da qualidade da água subterrânea.

A Resolução CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001, estabeleceu diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas e, em seu artigo 6, tratou da promoção de mecanismos de estímulo aos municípios para proteção das áreas de recarga dos aquíferos e adoção de práticas de reúso. Em relação aos Planos de Recursos Hídricos, a Resolução CNRH nº 22, de 24 de maio de 2002, definiu no artigo 3 que os Planos de Recursos Hídricos devem minimamente incluir medidas de uso e proteção de aquíferos. A Resolução CNRH nº 92, de 5 de novembro de 2008, definiu no artigo 3 que os planos de recursos hídricos devem delimitar as áreas de recarga de aquíferos e definir suas zonas de proteção. Esta resolução também estabeleceu critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas, definindo, no artigo 2º, que os órgãos gestores deverão promover estudos hidrológicos regionais para delimitar as áreas de recarga dos aquíferos, definir suas zonas de proteção, determinar áreas de restrição e controle de uso e delimitar perímetros de proteção de fontes de abastecimento.

O Decreto Federal nº 5.440, de 4 de maio de 2005, estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor, promovendo maior transparência e controle social. No Artigo 5º, define que é assegurado ao consumidor, dentre outros direitos, receber do prestador de serviço de distribuição de água relatório anual contendo a identificação dos mananciais de abastecimento, descrição das suas condições, informações dos mecanismos e níveis de proteção existentes, qualidade dos mananciais, fontes de contaminação, e quando identificadas anomalias em relação aos padrões de potabilidade, quais as ações corretivas e preventivas que estão sendo adotadas para a sua devida regularização.

3.1.2 Legislação Estadual

A gestão estadual de recursos hídricos, em seus aspectos institucionais e legais, apresenta uma trajetória de integração com a gestão ambiental e traz importantes elementos associados ao fortalecimento e institucionalização das SbN para segurança hídrica de mananciais de abastecimento público, contemplada em diversas normativas, conforme no Apêndice B.

A legislação que trata da proteção dos corpos hídricos no estado é anterior a década de 80. O Decreto Estadual nº 2.330/1979, instituiu o Sistema de Proteção dos Lagos e Cursos d'água do Estado do Rio de Janeiro (SIPROL), e a Lei nº 650/1983 estabeleceu os seguintes os instrumentos de controle: Projeto de Alinhamento de Rio (PAR), o Projeto de Alinhamento de Orla de Lago (PAOL), a Faixa Marginal de Proteção (FMP) e a Licença para Extração de Areia. A semelhança da Lei Federal, a legislação fluminense que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei Estadual n° 3.239/99) não modificou as competências inerentes à estrutura gestora estadual.

Em 1975, foi criada a Fundação de Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA), responsável pela execução de obras de controle de cheias, regularização de dragagem de rios e lagoas, e que com o SIPROL, passa a assumir atribuições de fiscalização, proteção e conservação dos lagos e cursos d'água. Em 2007, com o objetivo de integrar a política estadual de meio ambiente, de recursos hídricos e de recursos florestais, foi criado o INEA (Lei Estadual nº 5.101/2007) – órgão responsável por incorporar atribuições, competências e estruturas institucionais das extintas Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA), SERLA e Instituto Estadual de Florestas (IEF).

A Constituição do Estado do Rio de Janeiro, de 5 de outubro de 1989, definiu em seus Art. 268 e 269 as Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Relevante Interesse Ecológico, compatíveis com a Legislação Federal e a Constituição Estadual. Cabe destacar, como estabelece o Art. 231, § 1º, que o plano diretor é parte integrante de um processo contínuo de planejamento a ser conduzido pelos municípios, contemplando a defesa dos mananciais e demais recursos naturais, e, no Art. 278, veda a criação de aterros sanitários às margens de rios, lagos, lagoas, manguezais e mananciais.

A Lei Estadual nº 3.239, de 2 de agosto de 1999, que estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos, apresentou aspectos que ressaltaram a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, incorporando conceitos associados aos aspectos sociais, ecológicos e ambientais que visam promover o equilíbrio, a preservação e a recuperação ambiental. Esta norma possui importantes contribuições em relação ao tema proteção de

mananciais, contemplando capítulo específico que trata da proteção dos corpos d'água e dos aquíferos.

Para além dos instrumentos de gestão previstos pela Lei Federal, a Política Estadual de Recursos Hídricos diferencia-se pela criação do Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (PROHIDRO), vide Artigo 5, Inciso IV. Segundo o Artigo 11, § 1º, "o objetivo do PROHIDRO é proporcionar a revitalização, quando necessária, e a conservação, onde possível, dos recursos hídricos, como um todo, sob a ótica do ciclo hidrológico, através do manejo dos elementos dos meios físico e biótico, tendo a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e trabalho". Em relação à proteção de mananciais superficiais, a Lei Estadual definiu no Art. 33 que as margens dos corpos hídricos serão protegidas pelo Projeto de Alinhamento de Rio (PAR); pelo Projeto de Alinhamento de Orla de Lagoa ou Laguna (PAOL); pelo Projeto de Faixa Marginal de Proteção (FMP); pela delimitação da orla e da FMP; e pela determinação do uso e ocupação permitidos para a FMP.

Em relação à proteção dos aquíferos, no Art. 38, a Lei Estadual faculta ao poder executivo a possibilidade de definição e delimitação das áreas de proteção de aquífero, visando à conservação, proteção e a manutenção do equilíbrio natural das águas subterrâneas ou dos serviços públicos de abastecimento. A delimitação deverá ser baseada em estudos hidrogeológicos e ambientais, ouvidos o poder municipal, especialistas e demais atores interessados. O Art. 39 definiu três classes de áreas de proteção dos aquíferos: área de proteção máxima (APM), área de restrição e controle (ARC) e área de proteção de poços e outras captações (APPOC). Não foram identificados dispositivos legais ou atos do Poder Executivo que instituíssem as referidas áreas de proteção de aquífero no estado do Rio de Janeiro.

Em relação à destinação de recursos, a referida Lei Estadual definiu que a aplicação dos recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos deve contemplar o financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos respectivos Planos de Bacia Hidrográfica, inclusive para proteção de mananciais ou aquíferos.

No Estado do Rio de Janeiro, em 1987, foram promulgadas a Lei Estadual nº 1.130/87 e o Decreto Estadual nº 9.760/87, que tratavam sobre as áreas de interesse especial do estado, nos quais o parcelamento do solo para fins urbanos está sujeito ao exame e à anuência prévia do estado, nos termos do Art. 13 da Lei Federal nº 6.766/79. Segundo o Artigo 6º do Decreto Estadual nº 9.760/87, "consideram-se áreas de interesse especial para a proteção de mananciais as áreas das bacias contribuintes situadas a montante, ou seja, acima dos pontos de captação dos mananciais, cujo interesse especial é o de assegurar o abastecimento d'água atual e futuro da população do estado". O conceito apresentado se adequa apenas aos mananciais superficiais,

não se aplicando aos mananciais subterrâneos, uma vez que suas áreas de influência devem ser definidas em função da área de captura de recarga do poço.

O Decreto Estadual nº 9.760/87 apresentou a localização das áreas de interesse especial em pranchas na escala 1:100.000, e definiu as normas de ocupação das mesmas. Por este Decreto, foram definidas as áreas de proteção de mananciais, áreas de interesse turístico e áreas de interesse para proteção do patrimônio cultural e histórico, isolado ou regionalmente localizado, além de serem especificadas as áreas que devem atender à legislação específica, como as Unidades de Conservação. De acordo com esse instrumento, imóveis urbanos superiores a 100 hectares não localizados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro estão submetidos ao Decreto e deverão solicitar anuência do Estado, representado por seus órgãos e autarquias. As Áreas de Interesse de Proteção de Mananciais abrangem: (i) mananciais de classe I, classificando suas águas como aquelas que podem ser utilizadas sem prévia desinfecção; e (ii) mananciais de classe II, aqueles que dependem de tratamento convencional para que possam ser utilizados. Segundo o Art. 11 do Decreto, não será permitido o parcelamento do solo em mananciais de classe I, devendo a ocupação ser condicionada à elaboração de Estudo de Avaliação de Impacto Ambiental e à manifestação favorável do órgão estadual de licenciamento ambiental.

Apesar da importância dos marcos legais acima citados, é importante destacar que o Decreto Estadual nº 9.760/1987 remete ao cenário de abastecimento da década de 1980, que difere do panorama atual dos mananciais utilizados e os potencialmente utilizáveis na região. Além disso, os limites das áreas de interesse especial encontram-se delimitados na escala regional de 1:100.000, ou seja, em escala de menor detalhe em relação às bases cartográficas oficiais atualmente disponíveis.

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços Ecológico (ICMS) ecológico, criado pela Lei Estadual n° 5.100/07 e regulamentado pelo Decreto Estadual n° 41.844/2009, visa ressarcir os municípios pela restrição ao uso de seu território, no caso de Unidades de Conservação e mananciais de abastecimento; e recompensar os municípios pelos investimentos ambientais realizados, na coleta e tratamento do esgoto e na gestão adequada de seus resíduos, corroborando o princípio do protetor-recebedor originado do princípio da precaução (CEPERJ, 2019). Para alocação do percentual a ser distribuído aos municípios, adota, dentre diversos critérios, o Índice relativo de Mananciais de Abastecimento (IrMA), ressarcindo os municípios pela restrição ao uso de seu território, constituindo um instrumento econômico importante para reconhecimento da importância das áreas de mananciais.

O Decreto Estadual n° 42.029/11, por sua vez, instituiu o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), cujos investimentos deverão priorizar áreas rurais e a proteção de mananciais de abastecimento público. O PSA é um instrumento econômico que, seguindo o princípio "protetor-recebedor", recompensa e incentiva aqueles que provêm serviços ambientais, melhorando a rentabilidade das atividades de proteção e uso sustentável de recursos naturais. Apesar de contemplar os serviços ecossistêmicos relacionados à conservação da biodiversidade, mitigação das mudanças do clima e a disponibilidade da água, e considerando a relevância a agenda de serviços ecossistêmicos da água no estado, o decreto define ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (CERHI-RJ) a competência para a regulamentação do Programa.

A Resolução CERHI-RJ nº 117/2014 dispôs sobre a aprovação do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ), que contemplou a elaboração do Relatório Técnico "Unidades de Conservação e Áreas de Proteção de Mananciais", que traz importante diagnóstico sobre o tema. Além disso, o documento estabeleceu, em seu Plano de Ação, dois eixos temáticos e quatro programas associados à proteção de mananciais de abastecimento público (Quadro 10).

Em 2015, em resposta a crise hídrica, o Governo do Estado do Rio de Janeiro lançou o Programa Pacto pelas Águas, com o objetivo proteger mananciais estratégicos de abastecimento visando aumentar a segurança hídrica a médio e longo prazo do estado do Rio de Janeiro, instituído pela Resolução INEA nº 158/2018. Dentre seus principais avanços, a iniciativa integra diferentes políticas setoriais e instrumentos ambientais para consecução de seus objetivos, adotando medidas de restauração e conservação florestal de áreas prioritárias de mananciais estratégicos tais como nascentes, margens de rio, áreas de recarga de mananciais e áreas úmidas.

Quadro 10 – Plano de Ação do PERHI-RJ

Eixo Temático	Programa	Objetivos Gerais
2.4. Recuperação e Proteção de Nascentes, Rios e Lagoas	2.4.1. Estudos e projetos em áreas prioritárias para proteção de mananciais	Fornecer subsídios para a definição de normas de restrição de uso e medidas de recuperação e proteção das áreas prioritárias à proteção de mananciais
	2.4.2. Estudos e projetos para revitalização de rios e lagoas	Elaborar estudos e projetos para revitalização de rios retificados e de lagoas do estado do Rio de Janeiro
2.5. Sustentabilidade do Uso de Recursos Hídricos em Áreas Rurais	2.5.1. Elaboração de projetos para recuperação de áreas degradadas e saneamento rural em microbacias	Contribuir para a redução dos processos de erosão e degradação dos solos e para o tratamento adequado de esgotos e agroquímicos, em áreas de produção agropecuária no estado
	2.5.2. Incentivo à conservação e uso sustentável dos recursos naturais em áreas rurais	Apoiar ações voltadas para o uso sustentável dos recursos naturais, que contribuam diretamente para a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos

Fonte: INEA, 2014b.

A partir da criação do Programa, as ações de restauração florestal, até então executadas sem um critério que beneficiasse a maior provisão de serviços ambientais relacionados à água, passaram a priorizar que áreas que gerassem benefícios para segurança hídrica e conservação da biodiversidade. A Resolução nº 158/2016 estabelece que projetos decorrentes do Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal (MFCF) deverão ser direcionados para as áreas de interesse para proteção e recuperação de mananciais (Art. 6º), assim o cumprimento de obrigações de restauração florestal originária de demandas não voluntárias (autorização para supressão de vegetação, condicionantes de processos de licenciamento ambiental, termos de ajustamento de conduta e outras obrigações) (Art. 16º). O mesmo entendimento é apresentando na regulamentação do MFCF, que define as áreas de mananciais de abastecimento público como áreas prioritárias para utilização dos recursos de restauração florestal, vide Art. 10 da Resolução Conjunta SEAS/INEA nº 630/2016.

Dentre os instrumentos do Programa Pacto pelas Águas, destacam-se o Banco Público de Áreas para Restauração (BANPAR), instituído pela Resolução INEA nº 140, de 20 de julho de 2016; o Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal, instituído pela Lei Estadual nº 7.061, de 25 de setembro de 2015; o Cadastro Estadual de PSA, instituído pelo Decreto Estadual n° 42.029/11; o Portal da Restauração Florestal Fluminense; o Portal GEOINEA e o Portal Pacto pelas Águas. As áreas de restauração definidas pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR), de acordo com o Programa de Regularização Ambiental (PRA), e as áreas cadastradas no Banco Público de Áreas de Restauração (BANPAR), são objeto de intervenção do Programa, quando inseridas em áreas de mananciais.

A Resolução CERHI-RJ nº 218/2019 veio a definir para o Sistema Estadual de Gestão de Recursos Hídricos diretrizes para planejamento, implementação, monitoramento e avaliação de iniciativas para proteção e recuperação de mananciais. As mesmas devem ser observadas pelos Planos de Bacia, pelo Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos (PROHIDRO) e subprograma denominado Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais (PRO-PSA). Dentre as suas principais contribuições, define as Áreas de Interesse para Proteção e Recuperação de Mananciais (AIPMs) e as Áreas Prioritárias para Restauração Florestal (APRF) como áreas prioritárias para investimento, e instituí o Cadastro Estadual de Iniciativas de Proteção de Mananciais (CEPRM), que contribuirá para sistematização de dados e maior integração, transparência e disseminação das iniciativas em execução no estado do Rio de Janeiro.

3.1.3 Legislação Municipal

O Apêndice C apresenta uma síntese das principais leis e decretos dos municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim, relacionados a SbN para segurança hídrica de mananciais de abastecimento público, não esgotando o levantamento e análise sobre o tema.

De um modo geral, os municípios carecem de legislação específica voltada para SbN aplicada a segurança hídrica de mananciais de abastecimento público, havendo poucas menções diretas ao tema. Constituem exceções a Lei 2.280/2016, do município de Cachoeiras de Macacu, que institui o programa municipal de PSA hídrico, e do Plano Diretor do Município de Itaboraí, instituído pela Lei Complementar 054/2006, que define as Zonas Especial de Preservação Permanente (ZEPP), equivalentes as Áreas de Proteção e Recuperação dos Mananciais do Decreto Estadual nº 9.760/87. O Plano Diretor define, dentre suas diretrizes, a reversão de processos de degradação instalados nos mananciais (Art. 62), e dentre as ações estratégicas, desenvolver instrumentos para compensação de proprietários de áreas adequadamente preservadas na região de mananciais (Art. 63).

3.2 **Atores e instâncias de governança**

Ao contrário das soluções de infraestrutura cinza, as estratégias de SbN para segurança hídrica são geralmente mais complexas, pois exigem a ação coordenada de muitos atores dentro de uma bacia hidrográfica fisicamente definida (VOGL et al., 2017). Dessa forma, para a presente pesquisa, foram identificados e analisados os atores e instâncias de governança relacionados à segurança hídrica e SbN, de modo a compreender as relações político-relacionais de diálogo e suporte a iniciativas de SbN existentes, sem o objetivo de esgotar o tema.

Entende-se como atores qualquer unidade social (instituições, órgãos, associações, líderes, empresas, departamentos, organismos internacionais, etc.) com poder de ação sobre políticas e iniciativas (programa, projeto ou ação) relacionadas a SbN. As instâncias de governança, por sua vez, constituem as instâncias nas quais se dão processos de tomada de decisão envolvendo múltiplos atores sobre a proteção dos ecossistemas e gestão dos recursos hídricos.

Para Vogl et al. (2017), os atores que influenciam a adoção de SbN variam conforme a escala de atuação: na escala global e regional, atores internacionais e nacionais atuam principalmente influenciando na disseminação e normatização da política, e direcionando recursos para sua implementação; na escala local (bacia hidrográfica), atores como poder público, concessionárias ou grandes usuários de água executam ou apoiam iniciativas de SbN para cumprir objetivos de segurança hídrica; e na menor escala (imóvel rural), comunidades individuais, famílias ou proprietários rurais participam e implementam as intervenções de SbN necessárias.

De modo em geral, iniciativas de SbN envolvem um amplo grupo de partes interessadas, como o poder público, organizações da sociedade civil, setor privado, setor financeiro, concessionárias e serviços autônomos de água e esgoto, órgãos colegiados e fóruns, instituições de pesquisa e ensino, mídia, comunidade e proprietários rurais. Além disso, perpassam múltiplas políticas setoriais, como meio ambiente, saneamento, recursos hídricos, agricultura, silvicultura, planejamento urbano, dentre outros (UN-WATER, 2018).

A partir da aplicação do modelo analítico, foram identificados, de forma não exaustiva, os seguintes atores envolvidos em ações e iniciativas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, e que foram abordados ao longo desta tese:

- Poder executivo federal: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio);
- Poder executivo estadual: SEAS; INEA; SEAPA;
- Poder executivo municipal: prefeituras de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim;
- Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro;
- Concessionárias de abastecimento público: CEDAE, AMAE de Cachoeiras de Macacu, Águas de Niterói;
- Setor privado: FIRJAN, Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), AMBEV;
- Instituições de Pesquisa e Ensino: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); UFRRJ;
- Organizações da sociedade civil: REGUA, Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza (FGB), Associação de Produtores Rurais de Cachoeiras de Macacu;
- Provedores de serviços ambientais: proprietários de imóveis rurais na bacia que participam em iniciativas e adotam as SbN.

Constata-se que a organização social no território é complexa, com atuação de diferentes instituições e grupos de interesse. Com frequência, em arranjos para gestão integrada, há pouco ou nenhum precedente para que atores reconheçam seu interesse mútuo, nem incentivos existentes para cooperar (BISWAS, 2008), o que ressalta a relevância da existência de instâncias de governança que promovam e viabilizem a cooperação, comunicação, negociação e agregação entre múltiplas instituições e partes interessadas.

A Bacia do rio Guapi-Macacu está inserida simultaneamente em distintas unidades territoriais de gestão, com suas respectivas instâncias de governança e integração, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Unidades territoriais de planejamento e gestão e instâncias de governança na Bacia do rio Guapi-Macacu

Unidade Territorial de gestão	Instância de governança	Base legal
Região Hidrográfica da Baía de Guanabara	Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá	Decreto Estadual n° 38.260 de 16 de setembro de 2005, modificado pelo Decreto Estadual n° 45.462, de 25 de novembro de 2015
Região Metropolitana	Câmara de Integração Governamental Metropolitana	Decreto Estadual nº 44.905, de 11 de agosto de 2014
Baía de Guanabara (área drenante e espelho d'água)	Conselho Gestor da Baía de Guanabara	Decreto Estadual nº 26.174, de 14 de abril de 2000
Leste Fluminense	Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento do Leste Fluminense	Contrato Social de Constituição de 11 de janeiro de 2007
	Fórum COMPERJ	Decreto Estadual nº 40.916, de 28 de agosto de 2007

Fonte: A autora, 2020.

Dentre as instâncias identificadas e relacionadas, o Comitê da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH-BG) e a Câmara Metropolitana de Integração Governamental do Rio de Janeiro (CMIG) são as instâncias de governança ativas e relevantes para arregimentar ações conjuntas relacionadas à segurança hídrica a partir de SbN em suas respectivas áreas e temas de atuação.

O CBH-BG é uma entidade colegiada que integra o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGRHI), e que tem a competência de coordenar as atividades dos agentes públicos e privados, relacionados aos recursos hídricos e ambientais na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (RH V), em consonância com a Política Estadual de Recursos Hídricos.

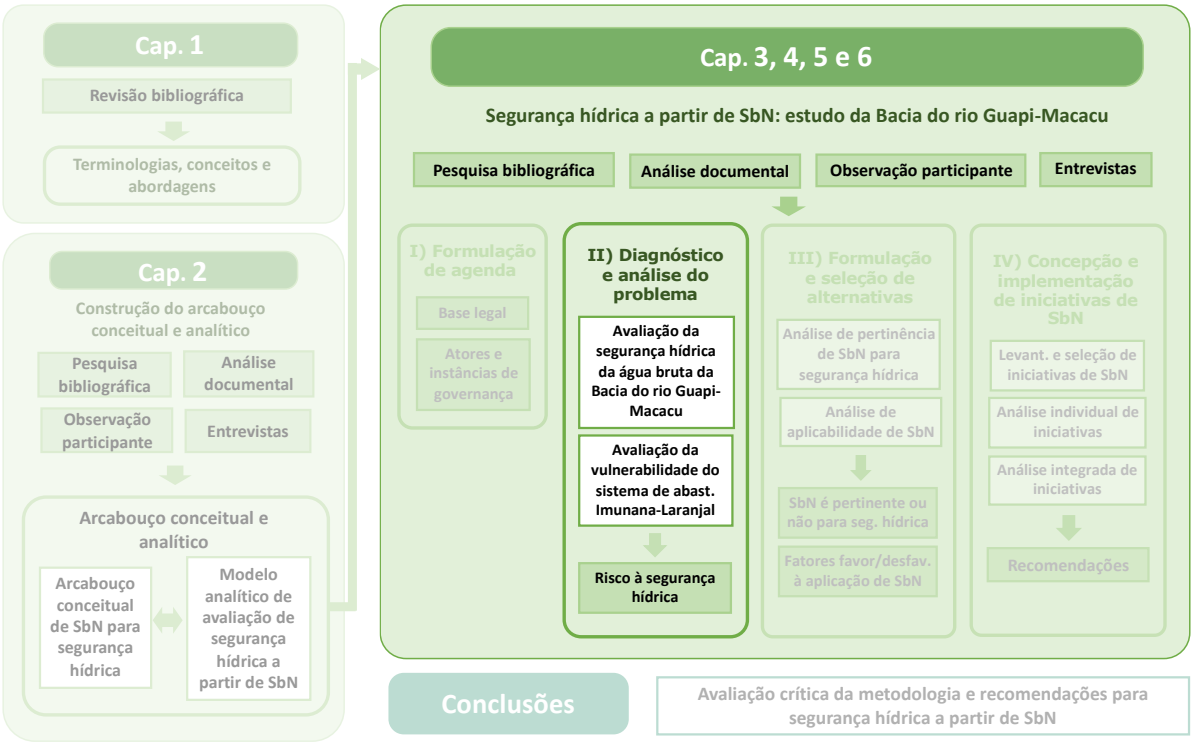
A RH V abrange 23 municípios, conforme definido pela Resolução CERHI-RJ nº 107, de 22 de maio de 2013. A Resolução CERHI-RJ nº 63, de 29 de junho de 2011, por sua vez, divide o território da RH V em 6 sub-regiões hidrográficas, geridos pelos seus respectivos subcomitês: Sistema Lagunar de Maricá – Guarapina; Sistema Lagunar Itaipu-Piratininga; Baía de Guanabara – Trecho Leste; Baía de Guanabara – Trecho Oeste; Sistema Lagunar da Lagoa Rodrigo de Freitas; e Sistema Lagunar de Jacarepaguá. A Bacia do rio Guapi-Macacu está integralmente inserida na sub-região da Baía de Guanabara – Trecho Leste.

Instituída em 2014, a CMIG é uma entidade colegiada que visa coordenar políticas públicas de interesse comum aos 21 municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), relacionadas à mobilidade, preservação do patrimônio natural e histórico, meio ambiente, saneamento e abastecimento de água, ordenamento espacial, entre outros temas. Tem a atribuição de criar um ambiente de cooperação e apoio entre os diversos níveis de governo, e propor um novo arcabouço legal e institucional para a Região Metropolitana. Apesar da relevância e do potencial de atuação da CMIG, não foram identificadas ações e iniciativas deste colegiado relacionadas a SbN na área de estudo.

4 AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO NÍVEL DE SEGURANÇA HÍDRICA DO SISTEMA IMUNANA-LARANJAL

Este capítulo tem por objetivo apresentar o modelo analítico para avaliar, de forma qualitativa, o nível de segurança hídrica do abastecimento público da população do Leste Fluminense atendida pelo sistema Imunana-Laranjal que se abastece de águas superficiais dos rios Guapi-Macacu, e discutir os resultados obtidos pela sua aplicação (Figura 19). O diagnóstico e análise do problema a ser resolvido, suas características e causas, subsidiam e viabilizam a aplicação das demais macroetapas do arcabouço conceitual.

Figura 19 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de "diagnóstico e análise do problema" (avaliação do nível de segurança hídrica)



Fonte: A autora, 2020.

4.1 Metodologia de avaliação qualitativa do nível de segurança hídrica

O diagnóstico e análise do problema contribui para identificar suas causas e efeitos, sendo fundamental para a formulação e seleção de possíveis ações de gestão de SbN que sejam

viáveis e que possam vir a solucioná-lo e/ou mitigá-lo. Apesar da relevância do tema, não foram identificados diagnósticos e/ou avaliações da segurança hídrica para o sistema Imunana-Laranjal, o que que apontou a necessidade de desenvolver um modelo analítico de modo a caracterizar no nível de (in)segurança hídrica, suas características e causas, subsidiando e viabilizando a aplicação das demais macroetapas do arcabouço conceitual.

Esta parte da pesquisa adotou o modelo analítico proposto por Formiga-Johnsson e Melo (2016)[9], com adaptações para aplicação ao estudo de caso. A segurança hídrica do abastecimento urbano, neste trabalho, refere-se à gestão de riscos associados a diversos estressores que impactam ou podem impactar a disponibilidade de água bruta utilizada para abastecimento público, em quantidade e qualidade, tendo a bacia hidrográfica como referência. São também considerados aspectos associados à vulnerabilidade do sistema de abastecimento público de água, que podem ser mais ou menos adaptativos em relação à disponibilidade de quantidade e qualidade de água bruta.

Ou seja, a avaliação qualitativa da segurança hídrica global do abastecimento urbano de água, em termos de quantidade e qualidade de água bruta, é resultante da análise integrada de dois componentes, detalhados a seguir (Figura 20):

(i) Avaliação do risco à segurança hídrica da água bruta utilizada por um determinado sistema de abastecimento, que remete ao estudo da bacia hidrográfica drenante ao ponto de captação; e

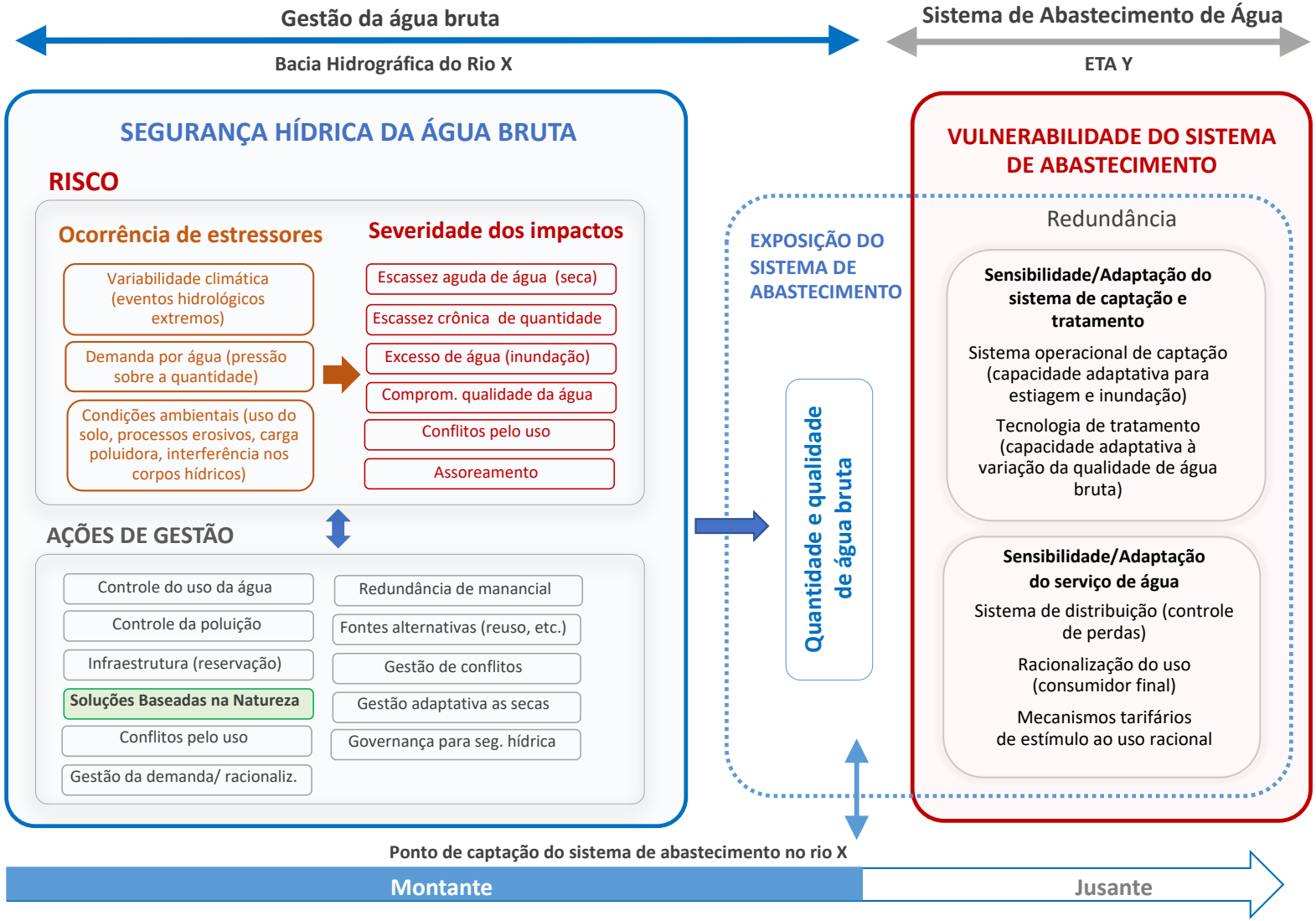
(ii) Avaliação da vulnerabilidade da Estação de Tratamento de Água (ETA) em relação à quantidade e qualidade da água bruta no ponto de captação, o que implica avaliar os subsistemas de captação e tratamento.

4.1.1 Avaliação do risco à segurança hídrica da água bruta

4.1.1.1 Conceitos

[9] Metodologia desenvolvida no âmbito do grupo de pesquisa "Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais" da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ/FEN/DESMA), do qual a autora faz parte.

Figura 20 – Modelo analítico para avaliação do nível atual de segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal, RJ



Fonte: A autora, 2020. Adaptado de FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016.

Segundo Formiga-Johnsson e Melo (2016), a segurança hídrica do abastecimento urbano refere-se à gestão de riscos associados aos diversos estressores que impactam ou podem impactar a disponibilidade de água bruta utilizada para abastecimento público, em quantidade e qualidade, tendo a bacia hidrográfica como referência. Para as autoras, a avaliação do risco à segurança hídrica da água bruta de um determinado sistema de abastecimento compreende a análise integrada da:

(i) Severidade dos impactos para o comprometimento da quantidade e qualidade de água bruta, resultantes da ocorrência de estressores sobre uma determinada bacia hidrográfica hipotética, e;

(ii) Ações de gestão promovidas para prevenção, mitigação ou controle desses impactos.

Riscos maiores, portanto, são resultantes da maior probabilidade de ocorrência dos estressores e de impactos mais severos, frente à insuficiência de ações de gestão correspondentes.

Os estressores constituem qualquer elemento físico, químico ou biológico que podem causar um impacto (efeito adverso) para a quantidade e qualidade de água, originário de fontes de atividades humanas ou processos naturais (MELO, 2016). O uso e ocupação do solo, as demandas de água, fontes pontuais e difusas de lançamentos, os eventos hidrológicos extremos e os acidentes ambientais, são exemplos de estressores recorrentes para segurança hídrica da água bruta em diferentes bacias hidrográficas (FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016). A ação dos estressores sobre a fonte de água bruta provoca dois efeitos: o estresse quantitativo e o estresse qualitativo, cujo impacto depende da intensidade da ação do estressor.

Os impactos, por sua vez, são resultantes da ação de um conjunto de estressores sobre a quantidade e qualidade das águas em uma bacia hidrográfica, como a poluição crônica da água, a escassez crônica de quantidade de água resultando em balanço hídrico desfavorável, a escassez aguda provocada por estiagens severas e secas, a ocorrência de inundações, a poluição acidental, os conflitos pelo uso, dentre outros.

A análise do risco, enfim, deve abordar a probabilidade de ocorrência do estressor, e a severidade do impacto. O grau de severidade indica em que medida um ou vários estressores podem alterar a quantidade e a qualidade da água bruta. A frequência dos efeitos sobre uma fonte de água bruta, por sua vez, depende da probabilidade de ocorrência dos estressores em uma dada base de tempo. No âmbito deste trabalho, esta

análise é qualitativa, ou seja, indica o grau de risco resultante (aceitável, tolerável ou inaceitável), conforme detalhado adiante.

As ações de gestão, por sua vez, constituem o conjunto de intervenções técnicas, econômicas, operacionais, legais e institucionais do sistema de gestão de recursos hídricos e do sistema de gestão ambiental que atuam na prevenção, mitigação ou controle dos impactos dos estressores sobre a água bruta, visando manter os riscos associados à segurança hídrica em níveis aceitáveis. As Soluções baseadas na Natureza para água, a infraestrutura hídrica construída para reservação ou transposição, o controle da poluição, a gestão da demanda (controle do uso e racionalização), o uso de fontes alternativas (águas pluviais e águas de reuso), a gestão de risco de acidentes ambientais, a gestão de conflitos pelo uso da água e a governança para segurança hídrica constituem as principais ações de gestão relacionadas à segurança hídrica. As ações para gestão preventiva têm como objetivo equilibrar a demanda e a oferta e gerir os riscos de maneira constante para evitar crises, e as emergenciais, por sua vez, ocorrem em resposta a crises e visa reduzir abstrações em caso de seca ou alterações abruptas na qualidade das águas. Dentre as ações de gestão, a presente pesquisa se limita à análise aprofundada das iniciativas relacionadas às Soluções baseadas na Natureza .

4.1.1.2 Identificação e seleção dos estressores e impactos à quantidade e qualidade da água bruta

Mananciais e sistemas de abastecimento público possuem características e atributos específicos, considerando as diferentes localidades e contextos. Portanto, a aplicação do modelo analítico requer, primeiramente, a identificação e seleção dos estressores, e os impactos associados que sejam considerados os mais relevantes para avaliar o risco à segurança hídrica da água bruta para um determinado usuário, no contexto da gestão da bacia hidrográfica. Esta etapa da pesquisa é crucial para que o modelo analítico seja capaz de gerar resultados coerentes e pertinentes com a realidade. A identificação e seleção dos estressores e impactos à quantidade e qualidade da água bruta do sistema Imunana-Laranjal, foi realizada a partir de uma extensa pesquisa bibliográfica, sendo validada por entrevistas realizadas junto a funcionários da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), INEA, Prefeitura Municipal de

Cachoeiras de Macacu, e membro do Comitê de Bacia da Região Hidrográfica da Baia de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH-BG) (informação verbal)[10].

Uma vez definido os estressores e impactos a serem analisados, fez-se necessário realizar o levantamento de dados disponíveis e a definição dos indicadores para a mensuração da probabilidade da ocorrência do estressor e da severidade do impacto, de modo a avaliar o risco à segurança hídrica. No entanto, conforme apontado por Melo (2016), na maioria dos casos, não há dados e informações que permitam a avaliação das propriedades de um estressor, ou não estão estabelecidos modelos quantitativos capazes de permitir a avaliação. Para a presente pesquisa, frente a dificuldade de obtenção de dados para quantificação dos estressores, foram propostos critérios de gradação semiquantitativa e qualitativa dos estressores, conforme a disponibilidade de informações.

I) Estressores à quantidade e qualidade da água bruta do sistema Imunana-Laranjal

Dentre os diversos e variados estressores que afetam a água bruta que abastece a ETA Imunana-Laranjal, oriundos da Bacia do rio Guapi-Macacu, foram selecionados três fatores de estresse, apontados tanto na literatura quanto por especialistas e gestores: “Demanda pelo uso da água”, “Eventos hidrológicos extremos” e “Pressão sobre as condições ambientais”. A caracterização dos estressores apresentada a seguir é parcialmente baseada em Melo (2016) e complementada pela presente pesquisa.

O estressor “Demanda pelo uso da água” (pressão sobre quantidade) representa o conjunto de usos consultivos e não consuntivos a montante e a jusante da captação, com destaque às demandas para abastecimento público, industrial, agropecuário (criação animal e irrigação) e mineração, que representam as principais demandas de consumo na bacia. O controle do conjunto de usos da água é fundamental para garantir a sustentabilidade dos recursos no presente e no futuro e atender as necessidades dos ecossistemas. Este estressor possui relação direta como a qualidade da água, visto que a

[10]Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019; entrevista realizada com técnico do INEA, Rio de Janeiro, em 09/12/2019; e entrevista realizada com funcionário da Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu e membro do CBH-BG, Rio de Janeiro, em 17/12/2019;

redução da vazão diminui a capacidade de diluição e autodepuração dos corpos hídricos. A demanda pelo uso da água pode provocar ou acentuar conflitos pelo uso da água em situações de alto comprometimento da oferta hídrica e em períodos de estiagem.

O estressor "Eventos hidrológicos extremos" (variabilidade climática) compreende a análise de risco relacionada às estiagens severas/secas e de inundações, que podem comprometer a disponibilidade quali-quantitativa da água. A estiagem é um fenômeno natural que ocorre quando há um período de tempo sem a ocorrência de chuvas, e a seca é um evento hidrológico crítico onde a quantidade de água disponível diminui consideravelmente (ANA, 2014). A severidade do impacto das estiagens sobre a segurança hídrica é mais significativa em termos da quantidade do que da qualidade da água. Em períodos de estiagem severa ou prolongada, há uma diminuição da disponibilidade de água, em quantidade, reduzindo a capacidade de diluição de poluentes e autodepuração dos corpos hídricos e podendo também comprometer parâmetros que descrevem a qualidade. A inundação é o fenômeno caracterizado pelo transbordamento de água de calha normal de um curso d'água, ou pela acumulação de água, por drenagem, em áreas não habitualmente submersas (UNESCO, 1983 apud ANA, 2014), que pode afetar a segurança hídrica por causa da deterioração da qualidade da água, do comprometimento da integridade física e operacional do subsistema de captação ou até mesmo da planta de tratamento (MELO, 2016).

O estressor global "Pressão sobre as condições ambientais" compreende um conjunto de estressores que estão relacionados às ações antrópicas sobre o meio ambiente que possam comprometer a qualidade da água bruta e a provisão dos serviços ecossistêmicos de regulação hídrica. Para esta análise, foram considerados os estressores "Uso e cobertura da terra", "Processos erosivos", "Carga poluidora" e "Interferências sobre os recursos hídricos", detalhados a seguir.

- O estressor "Uso e cobertura da terra" expressa o nível de mudanças antrópicas na bacia. Os percentuais de cobertura florestal da bacia e das APPs indicam o grau de integridade dos ecossistemas, e por consequência, dos serviços ecossistêmicos e a capacidade de manutenção das comunidades bióticas a médio e longo prazo. A extensão das áreas urbanas e das áreas produtivas (pastagens e culturas) expressam a pressão sobre os recursos naturais e maior ou menor impacto sobre a oferta e demanda de serviços ecossistêmicos de um modo em geral.

- O estressor “Processos erosivos” está associado a intensificação da erosão do solo e do assoreamento dos cursos de água. Em curto prazo, a ação desse estressor é sentida principalmente sobre a qualidade das águas da bacia hidrográfica e do manancial. A contaminação da água é diretamente relacionada com potencial degradador das atividades e reflexo do uso e manejo do solo na bacia. Quando há a perda de cobertura florestal ou práticas agrícolas são praticadas em áreas declivosas e frágeis, ou seja, onde processo de erosão é acentuado, ocorre maior transporte e carreamento de poluentes para a rede de drenagem (MERTEN; MINELLA, 2002). Ao longo do tempo, o estressor pode levar a situações em que a quantidade de água disponível e alteração do regime de escoamento é diminuída pela redução das taxas de infiltração e recarga e consequentemente há um aumento da velocidade de escoamento.
- O estressor “Carga poluidora” contempla a poluição pontual e difusa na bacia, constituindo, portanto, um estressor que pode resultar na deterioração da qualidade da bacia hidrográfica e do manancial. Os poluentes são aqueles oriundos de lançamentos, pontuais e difusos, de carga poluidora com origem principalmente nos esgotos sanitários, nos efluentes industriais e agroindustriais, na mineração, no uso de agroquímicos e efluentes de criação animal e na inadequada disposição dos resíduos sólidos. O impacto do estressor é função direta da intensidade com que ocorre. A expansão urbana desordenada, agravada pela ausência ou baixas taxas de coleta e tratamento dos efluentes industriais e domésticos no meio ambiente, é um determinante das origens desse estressor. O deflúvio superficial agrícola contribui no aporte de nitrogênio e fósforo proveniente das lavouras e dejetos de águas residuárias de produção animal em regime confinado, além de sedimentos, agroquímicos (adubos solúveis e agrotóxicos) e metais pesados. Em geral, os lançamentos se concentram em um espaço restrito do território, o que produz um impacto cumulativo de sucessivos lançamentos no corpo de água. Assim, as águas de muitos rios urbanos tornam-se impróprias para o abastecimento público por causa da degradação da qualidade, ou devido a altos custos de tratamento
- Pressão associada a “Interferências sobre os recursos hídricos” (diques, canais de drenagem, barramentos e reservatórios): as intervenções nos corpos

> hídricos em geral estão relacionadas às medidas de controle de cheias, erradicação de doenças, drenagem de áreas úmidas, aumento de terras agricultáveis, aumento da segurança para captação de água, dentre outros. Quando concebidos, planejados ou executados de forma inadequada, geram impactos negativos como a perda ou destruição de habitats naturais, modificações no padrão de drenagem, alterações no regime das descargas e na velocidade dos fluxos, aumento da carga de sedimentos, aumento da erosão nos afluentes, ocasionado pelo abaixamento do nível de base, dentre outros. Dessa forma, é um estressor que pode resultar em impactos diretos no comprometimento dos serviços de regulação hídrica, e portanto, na disponibilidade quantitativa de água, especialmente em eventos hidrológicos extremos.

Apesar dos "Acidentes ambientais" serem um fator de pressão recorrente sobre mananciais de abastecimento público (VIANA et al., 2012; MELO, 2016; BERNARDELI, 2017; SILVA, 2017; FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016), não há registros de ocorrências dessa natureza na Bacia do rio Guapi-Macacu que tenham afetado o sistema Imunana-Laranjal, e não existem diagnósticos ou planos de contingências relativos a acidentes ambientais para a Região Hidrográfica e para este sistema de abastecimento. Por essa razão, optou-se por não considerar este fator de estresse nesta pesquisa.

Ressalta-se, contudo, que isto não significa que a bacia hidrográfica não seja exposta a potenciais fontes fixas (acidentes industriais) ou móveis (acidentes em ferrovias e rodovias) na bacia hidrográfica a montante do ponto de captação. A região é cortada pela rodovia federal BR-116 (Rio-Teresópolis), que atravessa o rio Iconha em Guapimirim, e pela rodovia estadual RJ-116 (Nova Friburgo-Itaboraí) e, no sentido leste–oeste pela RJ-122 (Guapimirim-Cachoeiras de Macacu). Segundo INEA (2017b), apesar da Rio-Teresópolis apresentar baixos índices de acidentes ambientais, os veículos que transportam produtos perigosos na Rio-Teresópolis representam 13,1% do total de veículos de transporte de carga, no trecho entre os quilômetros 122 e 144,6 (trecho de acesso da BR-040, em Duque de Caxias, para BR-493, em Magé). Já entre os quilômetros 2,5 e 122 (Guapimirim e municípios da Região Serrana), que corta o rio Soberbo (afluente do Rio Iconha), este índice cai significativamente para 2,1%. Em relação à malha dutoviária, é cortada por dois importantes gasodutos, a GASDUC II e III, ambos operados pela Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRAS), cuja origem do material é proveniente do

Terminal de Cabiúnas (TECAB), em Macaé, e o destino é a Refinaria de Duque de Caxias (REDUC), em Duque de Caxias.

II) Impactos relacionados à variação da quantidade e qualidade da água bruta

Os impactos ocorrem de acordo com a natureza e o grau dos fatores de estresse (MELO, 2016). Neste trabalho, selecionamos seis principais grupos de impactos relacionados à quantidade e qualidade da água bruta que o sistema estudado pode enfrentar como consequência dos fatores de estresse selecionados:

- Escassez crônica de quantidade, caracterizada pela "falta ou insuficiência de água" (ANA, 2014), em quantidade, que ocorre em 'tempos normais' (sem extremos climáticos) quando a demanda quantitativa por água excede ou se encontra próximo do limite da oferta da disponibilidade de água doce superficial e subterrânea, em uma determinada unidade hidrológica.
- Escassez aguda de água (estiagem severa/seca): a estiagem é um fenômeno natural que ocorre quando há um período de tempo sem a ocorrência de chuvas (ANA, 2014). Quando a estiagem é severa ou prolongada (seca), há uma diminuição da disponibilidade de água, em quantidade e também às vezes em qualidade, que pode causar escassez de água e impactar o abastecimento humano e os usos múltiplos.
- Excesso de água (inundação), caracterizada pelo "transbordamento de água de calha normal de um curso d'água ou acumulação de água, por drenagem, em áreas não habitualmente submersas" (UNESCO, 1983 apud ANA, 2014), que pode afetar o abastecimento humano através da deterioração da qualidade de água, do impacto sobre o sistema de captação de água e até mesmo da planta de tratamento.
- Comprometimento da qualidade da água: caracterizada pela "falta ou insuficiência de água" (ANA, 2014), em qualidade apropriada para o consumo humano, mesmo havendo disponibilidade quantitativa de água, conforme regulamentação da Resolução CONAMA nº 357/2005 que "dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento" (alterada pela Resolução nº 410/2009 e pela nº 430/2011).

- Conflitos pelo uso, decorrentes dos usos múltiplos das águas superficiais e subterrâneas e do uso e ocupação do solo, associados ao desenvolvimento socioeconômico na bacia hidrográfica.

Em relação ao sistema de abastecimento de água, o sistema pode enfrentar os seguintes impactos, como consequência dos fatores de estresse selecionados:

- Aumento no custo de tratamento de água, decorrentes da piora da qualidade da água;
- Aumento dos custos para manutenção do sistema de tratamento de água, como gastos relacionados ao desassoreamento dos corpos hídricos e das infraestruturas hídricas;
- Interrupção ou redução da capacidade de fornecimento de água, comprometendo o faturamento da prestadora, a qualidade dos serviços de abastecimento e o acesso a água pela população.

4.1.1.3 Avaliação qualitativa do risco associado a cada estressor

O Quadro 12 apresenta os critérios empregados para atribuir a graduação qualitativa da intensidade de ocorrência dos estressores e da severidade do impacto para cada estressor. Para cada propriedade, foi adotada uma graduação de três níveis para efeito de avaliação qualitativa de risco (baixo, moderado e alto), considerando a pouca disponibilidade de dados e informações precisas sobre suas condições ambientais e dos recursos hídricos.

Quadro 12 – Graduação qualitativa dos estressores, por propriedade

Graduação	Ocorrência do Estressor	Severidade do Impacto
Baixo	Casos raros ou isolados	Definido de acordo como os indicadores específicos apresentados no Quadro 6.
Moderado	Ocorrência irregular ou regular segundo padrões sazonais	
Alto	Ocorrência regular ou quase-contínua	

Fonte: Adaptado de SILVA, 2017; BERNARDELI, 2017.

I) Graduação da ocorrência do estressor

Em relação à ocorrência do estressor, a intensidade baixa corresponde a ocorrência do estressor em casos isolados ou raros; a intensidade média implica na ocorrência irregular do estressor ou regular segundo padrões sazonais; e a intensidade alta refere-se à ocorrência regular ou quase contínua do estressor na bacia hidrográfica.

II) Graduação da severidade do impacto para cada estressor

A graduação da severidade do impacto foi definida para cada estressor, considerando suas características mensuráveis, traduzidas na forma de indicadores quali-quantitativos. Os indicadores foram adaptados e definidos para a aplicação do modelo analítico na Bacia do rio Guapi-Macacu em função dos dados existentes e disponíveis para realização desta pesquisa (Quadro 13).

O estressor "Pressão sobre as condições ambientais" foi o mais desenvolvido e explorado nesta tese, em função da importância e relação direta com o tema Soluções baseadas na Natureza , e pela maior disponibilidade de dados e estudos. A severidade do impacto foi atribuída por meio das características mensuráveis e indicadores:

- Uso e cobertura da terra, abrangendo os indicadores: cobertura florestal (limiares de porcentagem de cobertura vegetal); perda de cobertura vegetal na bacia (área desmatada na totalidade da bacia); degradação de APPs (percentual de déficit cobertura florestal em APPs);
- Processos erosivos, abrangendo os indicadores: sedimentos retidos e exportados para rede de drenagem;
- Interferências sobre os recursos hídricos, com a descrição das intervenções, as alterações na bacia e impactos relacionados;
- Carga poluidora, abrangendo os indicadores: índice de coleta e tratamento de esgoto; carga orgânica poluidora doméstica gerada e remanescente; taxa de cobertura do serviço de coleta de resíduos domésticos e quantidade total de resíduos não coletados;
- Qualidade de água, abrangendo os indicadores: Índice de Qualidade de Água (IQA); percentual de amostras em conformidade com os limites legais dispostos para a classe de enquadramento dos corpos hídricos da bacia (classe 2 para águas doces) em relação ao total.

Para avaliação do estressor “Demanda pelo uso da água”, foram utilizados os dados de disponibilidade hídrica no ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal estimadas por UFF/FEC (2010), as demandas estimadas de água atual e futura para a Bacia do rio Guapi-Macacu por tipos de uso na bacia hidrográfica, com base no Plano Estadual de Recursos Hídricos (INEA, 2014a), e dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS). A análise da severidade do impacto foi atribuída por meio das características mensuráveis e indicadores:

- Disponibilidade social da água, por meio do indicador disponibilidade per capita (razão da disponibilidade de água em relação à população);
- Balanço hídrico, abrangendo os indiciadores: Índice de Comprometimento da Oferta hídrica (ICO) (razão entre a demanda de usos consuntivos e a vazão de referência) e Índice de Retirada de Água (IRA) ou *Water Exploitation Index* (razão da demanda total dos usos consuntivos em relação à vazão média de longo termo);
- Perdas na distribuição da água, abrangendo os indicadores: índice de perdas na distribuição e por ligações ativas de água.

Para avaliação do estressor “Eventos hidrológicos extremos” (“Estiagens severas/seca” e “Inundações)”, realizou-se a caracterização do comportamento pluviométrico, ocorrência e grau de severidade de falta ou excesso de chuvas a partir da análise do Índice de Porcentagem Normal (PN) e do Índice de Precipitação Padronizada (SPI) calculados por Costa et al. (2018) para registros das estações pluviométricas disponíveis na região de estudo. Foram feitas comparações com a média histórica e a mínima histórica de modo a caracterizar estiagens e a disponibilidade de água em tempos de seca. A análise da severidade do impacto foi atribuída por meio das seguintes características mensuráveis e indicadores:

- Suscetibilidade a inundações, a partir do indicador percentual de áreas susceptíveis a inundações e relação a área total da bacia;
- Desastres relacionados a inundações, a partir dos indicadores: registro de ocorrência de inundações e dos danos associados a inundações (pessoas fora de casa, mortos e pessoas afetadas), a partir de consulta a base de dados da Secretaria de Estado de Defesa Civil (SEDEC-RJ) e do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD);

- Registro de estiagens severas/secas que afetaram o abastecimento público. Foram obtidas informações a partir da consulta a veículos de imprensa, notas e dados fornecidos pelo INEA, CEDAE, CBH-BG e outros documentos oficiais.

Para cada indicador, foi estabelecida a graduação da severidade do impacto como baixa, média, alta (Quadro 13). Para os indicadores quantitativos, a graduação foi estabelecida com base em valores de referência extraídos na revisão de literatura. A graduação dos indicadores qualitativos foi realizada a partir da análise da relevância dos impactos identificados na pesquisa bibliográfica, observação participante e entrevistas.

Quadro 13 – Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público (continua)

<table>
<tr><th>Estressor</th><th>Caract. Mensurável</th><th>Indicadores</th><th>Unidade</th><th>Grau de severidade e valores de referência</th></tr>
<tr><td rowspan="14">Condições ambientais</td><td rowspan="2">Uso e cobertura da terra</td><td>Percentual de cobertura florestal</td><td>%</td><td rowspan="3">Classificação qualitativa considerando limiares mínimos de cobertura florestal por unidades de paisagem propostos por Andrén (1994) e Banks Leite et al. (2014 apud IKEMOTO e NAPOLEÃO, 2018).</td></tr>
<tr><td>Perda de cobertura florestal</td><td>ha</td></tr>
<tr><td>Degradação de APP</td><td>Percentual de APP degradada</td><td>%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Processos erosivos</td><td>Sedimentos exportado para rede de drenagem</td><td>ton./ano</td><td rowspan="3">Classificação qualitativa considerando os impactos observados na quantidade e qualidade de água e na integridade dos corpos hídricos</td></tr>
<tr><td>Sedimentos retidos na bacia</td><td>ton./ano</td></tr>
<tr><td>Interferência nos corpos hídricos</td><td>Registros e estudos disponíveis</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Carga poluidora</td><td>Carga orgânica poluidora doméstica gerada</td><td>kg.DBO$_{5,20}$/dia</td><td rowspan="3">Classificação qualitativa considerando os impactos observados na qualidade de água</td></tr>
<tr><td>Carga orgânica poluidora doméstica remanescente</td><td>kg.DBO$_{5,20}$/dia</td></tr>
<tr><td>Quantidade total de resíduos não coletados</td><td>ton./ano</td></tr>
<tr><td>Índice de coleta de esgoto</td><td>%</td><td rowspan="3"><table><tr><th>Classificação</th><th>Severidade</th></tr><tr><td>●<50% (ruim)</td><td>● Alta</td></tr><tr><td>●>50 e <90% (regular)</td><td>●Média</td></tr><tr><td>●>90% (bom)</td><td>● Baixa</td></tr></table>Fonte: CRHi (2010)</td></tr>
<tr><td>Índice de tratamento de esgoto</td><td>%</td></tr>
<tr><td>Taxa de cobertura do serviço de coleta de resíduos doméstico em relação à população total</td><td>%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Qualidade da água</td><td>IQA$_{média}$</td><td>-</td><td><table><tr><th>Classificação</th><th>Severidade</th></tr><tr><td>●100 ≥ IQA$_{media}$≥ 90 (Excelente)</td><td rowspan="2">● Baixa</td></tr><tr><td>●90 > IQA$_{media}$ ≥ 70 (Boa)</td></tr><tr><td>●90 > IQA$_{media}$ ≥ 70 (Média)</td><td>● Média</td></tr><tr><td>●50 > IQA $_{media}$≥ 25 (Ruim)</td><td rowspan="2">● Alta</td></tr><tr><td>●25 > IQA$_{media}$ ≥ 0 (Muito ruim)</td></tr></table>Fonte: INEA (2019d)</td></tr>
<tr><td>Percentual do total amostras em desconformidade com enquadramento (parâmetros do IQA)</td><td>%</td><td><table><tr><th>Classificação</th><th>Severidade</th></tr><tr><td>●0% (em conformidade)</td><td>● Baixa</td></tr><tr><td>●>0,1 e <25% (desconformidade ocasional)</td><td>● Média</td></tr><tr><td>●>25 e <50% (desconformidade frequente)</td><td rowspan="3">● Alta</td></tr><tr><td>●> 50 e <80% (desconformidade muito frequente)</td></tr><tr><td>●>80% (constante)</td></tr></table>Fonte: A autora, 2020.</td></tr>
</table>

Quadro 13 – Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público (conclusão)

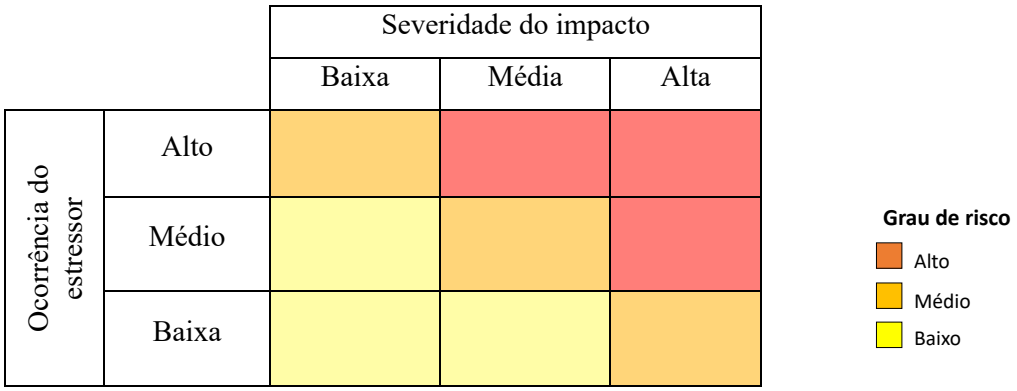
Estressor	**Característica Mensurável**	**Indicadores**	**Unidade**	**Grau de severidade e valores de referência**
Demanda pelo uso da água	Disponibilidade social da água	Disponibilidade per capita – vazão média ($Q_{médio}$) em relação à população	m^3/ hab.ano	Classificação: ● Acima de 2.500 – sem estresse → Severidade: ● Baixa Classificação: ● Entre 1.500 e 2.500 - estresse hídrico → Severidade: ● Média Classificação: ● < 1.500 - estresse hídr. extremo → Severidade: ● Alta Fonte: ANA (2009) e CRHi (2010)
	Balanço Hídrico	Balanço hídrico – demanda total estimada em relação à 50% da Q7,10	%	Classificação: ● ≤ 30% - sem estresse → Severidade: ● Baixa Classificação: ● > 30 % e ≤ 50% - preocupante → Severidade: ● Média Classificação: ● > 50 % e ≤ 100% - estresse hídrico → Severidade: ● Alta Classificação: ● > 100% estresse hídrico extremo → Severidade: ● Alta Fonte: CRHi (2010)
		Balanço hídrico – demanda total estimada em relação à vazão média	%	Classificação: ● ≤ 10% - sem estresse → Severidade: ● Baixa Classificação: ● > 10 % e ≤ 20% - preocupante → Severidade: ● Média Classificação: ● > 20 % e ≤ 40% estresse hídrico → Severidade: ● Alta Classificação: ● > 40% estresse hídrico extremo → Severidade: ● Alta Fonte: CRHi (2010)
	Perdas na distribuição da água tratada	Índice de perdas de água na distribuição	%	Classificação: ● Sem dado/ inconsistente → Severidade: ● Sem dado Classificação: ● < 20% → Severidade: ● Baixa Classificação: ● 20% a 30% → Severidade: ● Média Classificação: ● 30,1 a 40,0% → Severidade: ● Alta Fonte: CRHi (2010) e SNIS (2019)
		Índice de perdas de água por número de ligações ativas de água	l/dia/lig.	Classificação: Superior à média nacional (>339,3 l/dia/lig) → Severidade: ● Alta Fonte: SNIS (2019)
Eventos extremos	Inundações	Percentual área susceptível a inundações	%	Classificação qualitativa baseada no número de eventos de desastres associados a inundações e nos impactos no abastecimento e no agravamento de conflitos
		Registro de ocorrências	unid.	
		Pessoas fora de casa	hab.	
		Mortos	hab.	
		Pessoas afetadas	hab.	
	Estiagens	Registro de estiagens severas que impactaram o sistema Imunana-Laranjal	unid.	Classificação qualitativa baseada no número de estiagens severas e nos impactos no abastecimento e no agravamento de conflitos

Fonte: A autora, 2020. Baseado em FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016; BERNARDELI, 2017; e SILVA, 2017.

III) Graduação do risco associado à água bruta por estressor

Conforme proposto por Melo (2016), a combinação dos três graus qualitativos atribuídos às propriedades dos estressores resulta em nove medidas possíveis de risco, por estressor, representados na matriz de risco à segurança hídrica da água bruta (Figura 21). Para graduar o risco resultante na matriz, tomou-se por referência OECD (2013) que agrupou os riscos de acordo com o seu nível: baixo (aceitáveis), médio (toleráveis) e alto (inaceitáveis).

Figura 21 – Matriz de determinação do grau de risco por estressor



Fonte: Adaptado de SILVA, 2017; BERNARDELI, 2017.

Essa graduação é também uma forma simples e direta de indicar as prioridades de gestão para fins de segurança hídrica, em geral, e do abastecimento urbano, em particular. Os riscos aceitáveis requerem sobretudo ações de monitoramento de seu comportamento, por meio das características mensuráveis do estressor, e de ações preventivas de planejamento e gestão. Em contrapartida, ações são necessárias para reduzir um risco com nível tolerável para o nível aceitável; no extremo, riscos intoleráveis requerem ações urgentes para reduzi-los a um nível aceitável devido a sua probabilidade muito elevada ou seu alto potencial de dano (OECD, 2013).

4.1.1.4 Ações de gestão

As ações de gestão foram aqui consideradas como intervenções tanto do sistema de gerenciamento de recursos hídricos, instituídos pela Lei Federal nº 9.433/97 e leis estaduais, quanto do sistema de gestão ambiental que compreende uma vasta gama de ações, desde a biodiversidade e áreas protegidas às mudanças climáticas, passando pelo controle da poluição.

Elas compreendem todas as ações relacionadas à prevenção, mitigação ou controle dos efeitos dos estressores sobre a água bruta, visando garantir que os riscos associados à segurança hídrica – ou seja, à disponibilidade quali-quantitativa para o abastecimento público – permaneçam em níveis aceitáveis.

As ações de gestão podem ser assim apreendidas como gestão do risco, cujo objetivo é prevenir, mitigar e controlar os riscos, devendo agir sobre os estressores a fim de controlar ou minimizar a exposição ao fator que pode induzir um efeito adverso na quantidade e na qualidade da água bruta utilizada para o abastecimento urbano.

Baseada na revisão bibliográfica e na experiência prática dos pesquisadores do Grupo de Pesquisa, Formiga-Johnsson e Melo (2016) elencaram 11 ações como sendo de maior interesse para a segurança hídrica em termos de quantidade e qualidade de água bruta, que podem ser agregadas em ações operacionais de gerenciamento (itens 1 a 7) e ações institucionais de gestão e governança das águas (itens 8 a 11):

1. Controle do uso da água;
2. Controle da poluição;
3. Infraestrutura (reservação);
4. Soluções baseadas na Natureza;
5. Gestão da demanda/racionalização do uso;
6. Redundância de manancial (fonte de água bruta);
7. Fontes alternativas (reuso/captação de águas pluviais);
8. Gestão de conflitos;
9. Gestão adaptativa de secas;
10. Gestão de risco de acidentes ambientais;
11. Governança para segurança hídrica.

4.1.2 Análise de vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano perante sua exposição ao risco associado à água bruta

O impacto sobre o sistema de abastecimento urbano de água é função não somente da magnitude e da ocorrência de estressores, isolada ou simultaneamente, mas também da vulnerabilidade específica dos componentes do sistema. Segundo Formiga-Johnsson e Melo (2016), a vulnerabilidade de um determinado sistema de abastecimento de água potável perante

a água bruta pode ser avaliada de forma qualitativa, tendo por base a equação de Yohe e Toll (2002), adaptado por Engle e Lemos (2007):

$$V = f \{E(AC); S(AC)\} \text{ onde:}$$

Onde:
V é vulnerabilidade;
E é o grau de exposição ao estresse;
S é o grau de sensibilidade ao estresse;
AC é a capacidade da adaptação.

Vulnerabilidade de um sistema à uma ameaça é, portanto, função do seu grau de exposição e grau de sensibilidade aos estresses a elas relacionados bem como do nível de capacidade de adaptação desse sistema a essas mudanças.

Segundo Formiga-Johnsson e Melo (2016), a vulnerabilidade de um sistema de abastecimento urbano de água é definida como função do seu grau de exposição e do seu grau de sensibilidade aos riscos relacionados à água bruta, bem como da sua capacidade adaptativa às variabilidades de quantidade e qualidade da água no ponto de captação, no contexto da gestão da bacia hidrográfica.

A exposição é vista como a natureza e o grau em que um sistema experimenta estresses ambientais ou político-sociais, ou seja, diz respeito à natureza, magnitude, frequência, duração e extensão de um estressor ou ameaça (estresse climático, por exemplo) sobre uma determinada unidade de análise. A ameaça ao qual o sistema de abastecimento está exposto refere-se à localização geográfica do ponto de captação de água bruta da ETA, no contexto da gestão da bacia hidrográfica, à qual está associado um determinado risco em termos de quantidade (seca ou inundação) e de qualidade de água.

A sensibilidade é encarada como o grau em que um sistema é afetado ou como ele vai responder aos estresses, seja de forma positiva ou negativa. A sensibilidade do sistema de abastecimento é vista como o componente interno da vulnerabilidade, ou seja, são as propriedades ou atributos inerentes ao sistema analisado. Estas propriedades indicam de que forma e intensidade o sistema é afetado, ou seja, de que maneira ele sente a exposição, o que, por sua vez, depende de sua capacidade de adaptação, a saber:

- Subsistema de captação, que pode ser mais ou menos adaptativo às variações do nível do rio, sobretudo durante eventos de seca e inundação: captação fixa ou móvel; a fio d'água ou com reservação; se tem proteção contra correntezas e inundações, entre outros;

- Subsistema de tratamento, se tem tecnologia e capacidade operacional suficientemente robustas para absorver variações de qualidade da água bruta, durante situações de normalidade hidrológica, secas e inundações: simples desinfecção; convencional (gradeamento, floculação, decantação, filtração e desinfecção); e tratamento avançado, que emprega tecnologias como membranas de osmose reversa e carvão ativado. A segurança hídrica das instalações contra inundações também é um fator importante de sensibilidade;
- Subsistema de distribuição, se existem medidas que possam diminuir a pressão do consumo urbano sobre o manancial de abastecimento: redução de perdas físicas e desperdício de água; e medidas de estímulo à indução ao uso racional da água tratada por parte do consumidor final. Este aspecto do Sistema de abastecimento não foi considerado nesta pesquisa.

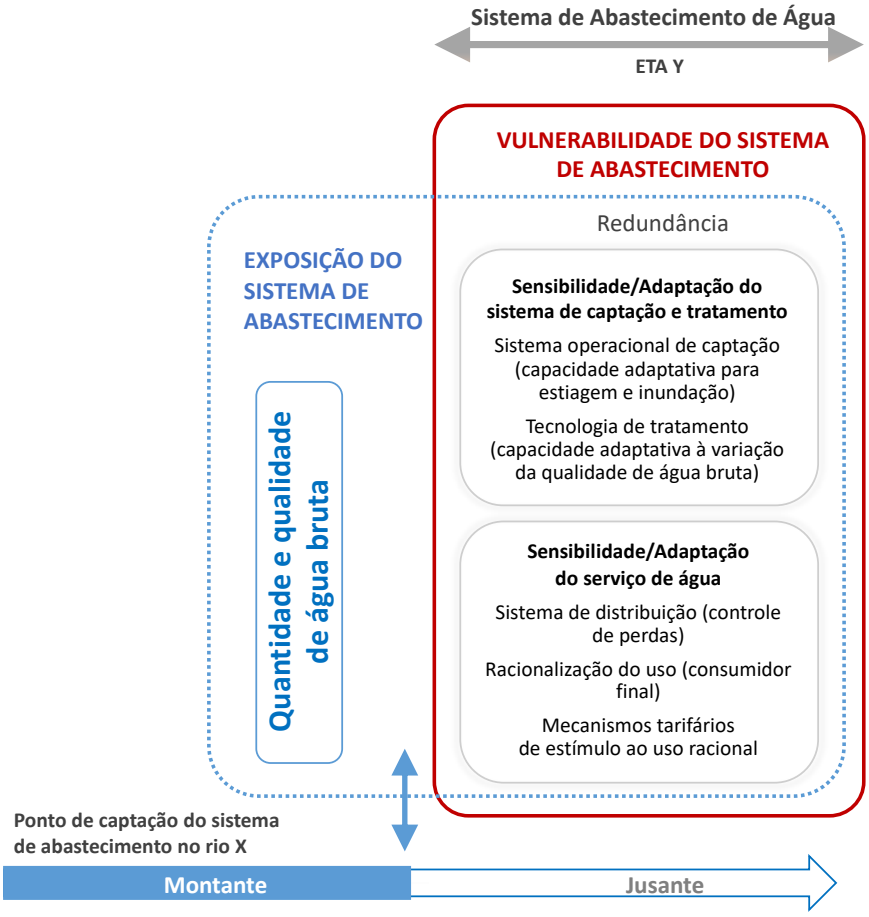
A literatura identifica várias categorias determinantes que influenciam a capacidade de um sistema adaptar-se positivamente a diferentes estresses, incluindo: recursos econômicos, tecnologia, informação e capacidades, infraestrutura, instituições e governança (ENGLE; LEMOS, 2007). A adaptação, neste trabalho, refere-se sobretudo a determinadas características do serviço de abastecimento e sua gestão que lhe permitem ser mais adaptativo – e consequentemente menos sensível – a eventuais problemas de disponibilidade de água bruta (por exemplo, sistemas móveis de captação ou barragens de captação).

Conforme recorte adotado, a avaliação se limita às questões de interesse direto ou que possa impactar a gestão da água bruta. Então não são analisadas todas as demais questões inerentes ao sistema de distribuição, operação e manutenção do serviço de abastecimento que possam afetar o abastecimento de água potável para a população, como indicado anteriormente.

Este trabalho apresenta uma avaliação qualitativa simplificada da vulnerabilidade do sistema de abastecimento (Figura 22), em particular:

- Subsistema de captação, face à disponibilidade de água em quantidade, em situações de normalidade hidrológica e de secas, e face à integridade da infraestrutura em situações de inundação;
- Subsistema de tratamento, face à qualidade de água no ponto de captação em situações de normalidade hidrológica, secas inundações e face à integridade da infraestrutura em situações de inundação.

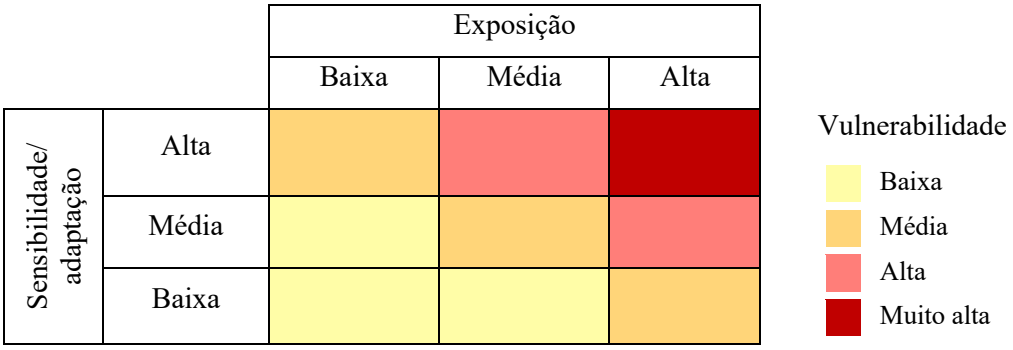
Figura 22 – Modelo analítico de segurança hídrica: Vulnerabilidade do sistema de abastecimento urbano de água



Fonte: Adaptado de FORMIGA-JOHNSSON; MELO, 2016.

Para cada uma dessas situações, é efetuada uma análise matricial combinando os três graus qualitativos atribuídos à exposição e à sensibilidade, resultando em nove medidas possíveis de vulnerabilidade. A vulnerabilidade resultante é correspondente à graduação disponível da literatura, que varia de baixa a muito alta (Figura 23).

Figura 23 – Matriz de determinação da vulnerabilidade



Fonte: Adaptado de SILVA, 2017; BERNARDELI, 2017.

Embora seja uma avaliação simplificada, esta graduação demonstrou ser um bom indicador do nível de vulnerabilidade de um determinado sistema de abastecimento em relação à sua exposição na bacia hidrográfica, em termos de quantidade e qualidade de água bruta, combinada com as características intrínsecas dos seus componentes de captação e tratamento (BERNARDELI, 2017; SILVA, 2017).

Quanto maior for a vulnerabilidade, maior é o risco para a segurança hídrica do abastecimento urbano em questão e maior será a necessidade de intervenção, no sistema de abastecimento e/ou na gestão da bacia hidrográfica. As possibilidades de intervenção variam bastante e devem ser definidas de acordo com as características específicas de cada caso.

Em suma, as análises segundo a metodologia aqui proposta, mesmo sendo uma mensuração qualitativa, constroem um panorama sistêmico acerca da situação de segurança hídrica de um determinado sistema urbano de abastecimento e, sobretudo, fornecem indicativos claros para os tomadores de decisão sobre quais devem ser as prioridades para as ações de gestão do risco, o que envolve a gestão ambiental do manancial-bacia hidrográfica e a gestão do sistema de abastecimento, visando aumentar a garantia de segurança hídrica.

4.2 **Resultados e discussão**

4.2.1 Avaliação qualitativa do risco à segurança hídrica da água bruta da Bacia do rio Guapi-Macacu

4.2.1.1 Estressores relacionados à pressão sobre condições ambientais

A pressão sobre condições ambientais a montante da captação de água do sistema Imunana-Laranjal está relacionada ao uso e ocupação do solo, aos processos erosivos, à carga poluidora e às intervenções sobre os recursos hídricos que potencialmente possam comprometer a qualidade da água bruta e a provisão dos serviços ecossistêmicos de regulação hídrica na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Para alguns temas, considerando a expressiva extensão da bacia e das diferentes

características e condições ambientais ao longo de seu território, os resultados foram apresentados e analisados também por sub-bacias, identificando as porções mais críticas no território relacionadas por estressor. As sub-bacias foram geradas pelo INEA partir das Ottobacias de nível 6, considerando a Base Hidrográfica Ottocodificada de Bacias Litorâneas SP-RJ 1:25.000/1:50.000, disponível no portal GEOINEA.

4.2.1.1.1 Estressor "Uso e cobertura da terra"

I) "Uso e cobertura da terra"

A região vem sendo submetida a alterações desde o século XVI, cuja exploração se deu por meio da prática agrícola e dos ciclos econômicos da cana-de-açúcar, café e citricultura. Segundo Prado et al. (2010), a região foi inicialmente ocupada para a implantação de lavouras de cana-de-açúcar para produção de açúcar e aguardente, na região de Itaboraí, e para o cultivo de gêneros alimentícios na região de Cachoeiras de Macacu, atividades que definiram o padrão de uso e ocupação do solo até meados do século XVIII. No século XVIII, surgiram olarias, atividade que permanece até os dias atuais, e do século XVIII até o início do XIX, ocorreu o ciclo do café. A dinâmica do uso e ocupação do solo vieram a ser determinadas por um equilíbrio dinâmico entre as oscilações do mercado externo, às demandas do mercado interno e, a partir do século XX, a especulação das terras e sua conversão em áreas urbanas.

Até meados do Século XIX, o rio Macacu era navegável por quase 35 quilômetros, até a localidade de Porto das Caixas, em Itaboraí, mas a construção da estrada de ferro no final do século XIX reduziu a importância dos rios como meios de transporte e permitiu o crescimento das atividades comerciais e o aumento populacional urbano, atrelado ao estimulo ao desmatamento (BENAVIDES et al., 2009). Entre meados e final do século XIX e a primeira metade do século XX, a decadência do café e do açúcar e o fim do trabalho escravo fizeram cessar o trabalho de desobstrução dos cursos d'água, possibilitando a expansão dos pantanais em antigas áreas outrora ocupadas e produtivas, tornaram recorrentes os eventos de inundação e favoreceram a disseminação de doenças (MACHADO; CASTRO, 1997). As obras de saneamento e drenagem dos brejos e planícies de inundação ocorreram no final do século XIX e a primeira metade do século XX, reduzindo as áreas brejosas e úmidas, e contribuíram para valorização das terras e expansão imobiliária.

A economia local passou a se voltar na produção de madeira e carvão, na produção de cerâmica, na citricultura e na pecuária (CARNEIRO et al., 2012). A idealização dos Núcleos Agrícolas no estado do Rio de Janeiro foi uma medida para minimizar os conflitos agrários existentes, diminuir o êxodo rural e desenvolver um "cinturão verde" para o abastecimento da região metropolitana. Na região, destaca-se a colônia agrícola de Papucaia, em Cachoeiras de Macacu, que assentou aproximadamente 500 famílias, e o assentamento de São José da Boa Morte, efetivado em 1981 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), após muitos conflitos (GIULIANI; CASTRO, 1996). Essas ações contribuíram para o crescimento dos cultivos olerícolas e frutícolas no município.

Na década de 40 e 50, foi construída a BR-101 e a RJ-104, o que contribuiu para a expansão urbana e para substituição de áreas cultiváveis por loteamentos urbanos e por áreas de pastagem. Ao longo do século XX, a região assistiu ao avanço crescente das pastagens, impulsionada pela extração vegetal para produção de madeira e carvão e a introdução do gado em áreas desmatadas (BENAVIDES et al., 2009).

A partir de 1970, observou-se o recuo da agricultura e o êxodo rural, decorrente do avanço da pecuária e da urbanização. Na década de 70, a construção da ponte Presidente Costa e Silva (Rio-Niterói) e a melhoria do acesso na rodovia BR-101 (trecho Niterói-Manilha) seria o vetor responsável por mudar o perfil das áreas rurais em cidades dormitório, em especial, em Itaboraí e São Gonçalo. Até os anos de 1970, os municípios de Itaboraí, Cachoeiras de Macacu e Guapimirim tinham pelo menos metade de sua população vivendo na zona rural, e em 1980, os valores de invertem, sendo a maior da população urbana.

Nas últimas duas décadas, observou-se o contínuo crescimento da população urbana, e a estabilização do padrão de uso e cobertura da terra, que apresentou pouca variação no período. Conforme mapeamento de uso e cobertura das Bacias do rio Guapi-Macacu e Caceribu elaborado por Pedreira et al. (2009) para os anos 1999 e 2007 a partir de imagens Landsat, não foram observadas mudanças significativas no uso e cobertura da terra da Bacia do rio Guapi-Macacu. Foi observada pequena redução das áreas de pastagens e aumento da classe área agrícola para o período, mas segundo os autores, essa alteração pode estar associada ao manejo do solo e à sazonalidade das atividades agropecuárias comuns na região. Foi observado neste período a instalação de uma indústria de bebidas e construção de barragem para captação de água da AMBEV, e identificou-se aumento de pequenos lagos em área rural formados para a criação de peixes e/ou para atividades de lazer. A redução de vegetação secundária em estado médio ou avançado (VGMA) foi irrisória ou quase nula.

Em relação à dinâmica do uso e cobertura da terra nos últimos 10 anos, foram analisados os mapeamentos de uso da terra e cobertura vegetal na escala 1:100.000, produzidos pelo INEA a partir de imagens orbitais do satélite Landsat para os anos de 2007, 2013 e 2015, sendo comparáveis entre si por adotar a mesma metodologia e chave de classificação. Foram comparadas e analisadas as variações das áreas e percentuais de ocorrência de cada classe de uso para a Bacia do rio Guapi-Macacu (Tabela 1), e praticamente não houve variações significativas no uso da bacia.

Observou-se a redução de 1,2% (1.327 ha) de área de campo e pastagem, que foi a classe de maior variação no período, e o acréscimo de 0,2% (253 ha) de Vegetação Secundária em Estágio Inicial (VGSI). A segunda maior variação foi o aumento de 0,6% (679,8 ha) de solo exposto, na área de instalação do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ), e de aumento de 0,59% (637 ha) das áreas urbanas, principalmente no entorno de manchas urbanas já existentes.

A redução das pastagens e o aumento de áreas de VGSI podem estar associados com o histórico de declínio da atividade pecuária na região e o consequente processo de regeneração natural associado ao abandono das pastagens. Observa-se que a bacia vem sendo pressionada com a especulação imobiliária, o surgimento de novos loteamentos, sítios de lazer, casas de veraneio e pequenas invasões de áreas na borda de fragmentos (MASTERPLAN, 2019).

Apesar de não ter ocorrido significativa variação na área total com cobertura vegetal na bacia, identificou-se perda de 0,2% (227 ha) de Vegetação Secundária em Estado Médio ou Avançado (VGMA). Essa variação pode estar relacionada ao licenciamento ambiental e instalação de dois grandes empreendimentos no período, que implicaram em autorizações de supressão de vegetação, mas geraram também obrigações de reposição florestal. Um deles é o Gasoduto Cabiúnas - REDUC (GASDUC III), destinado ao transporte de gás natural proveniente da Bacia de Campos, cuja operação foi iniciada em 2010. O outro é o COMPERJ, além de empreendimentos associados à unidade de processamento básica e estrada de acesso principal e estrada para transporte de equipamentos especiais, cuja Licença Prévia e Licença de Instalação foram emitidas em 2006 e 2009, respectivamente.

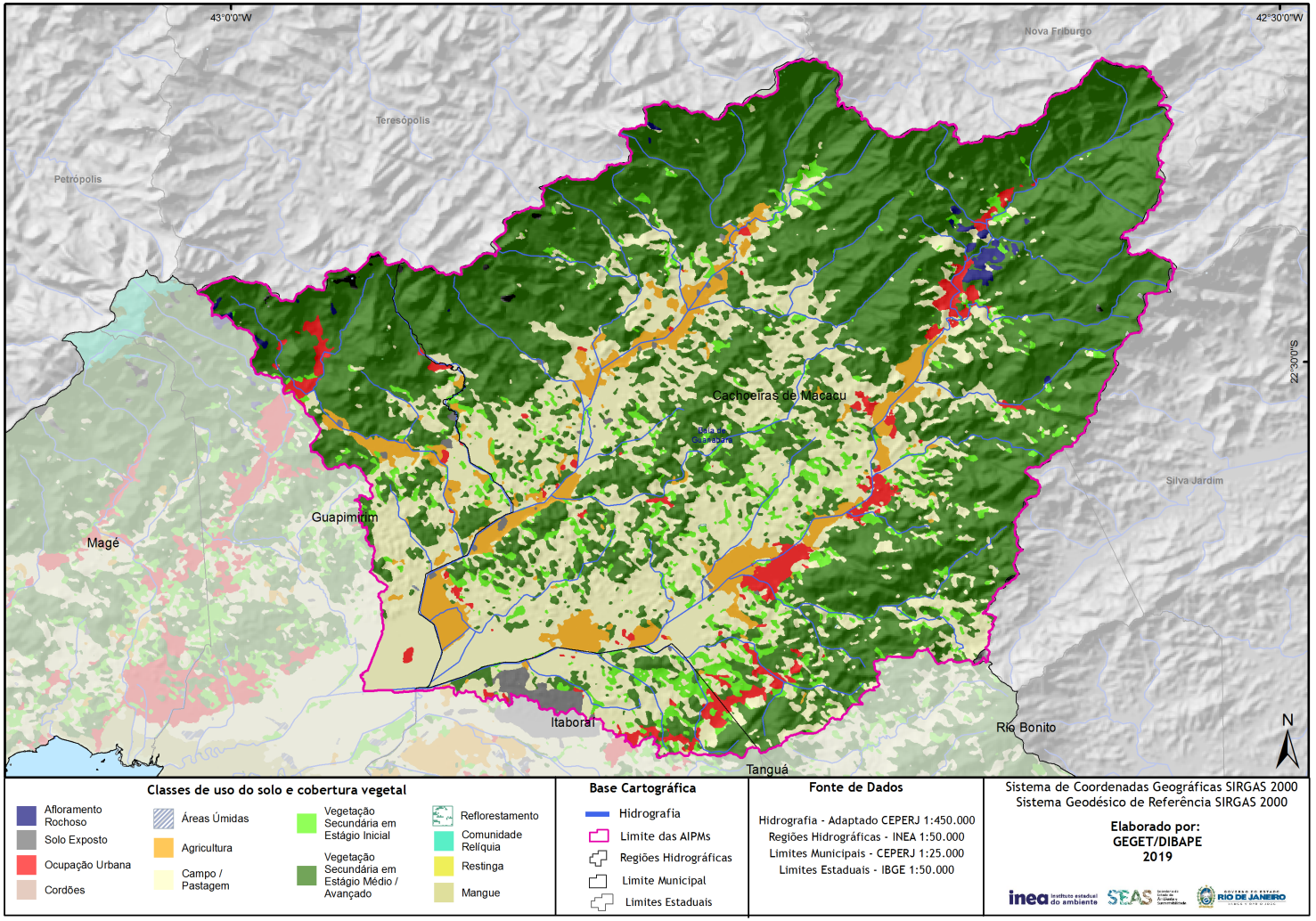
Tabela 1 – Uso e cobertura da Bacia do rio Guapi-Macacu para os anos 2007, 2013 e 2015 e variação para o período

Área da bacia (ha)	Uso e cobertura (ano)	Área	Afloramento Rochoso	Agricultura	Água	Áreas úmidas	Campo/ Pastagem	Reflorestamento	Solo Exposto	Sombra	Ocupação Urbana	VGSI*	VGMA**
108.286,51	2007	hectares	480,9	5.247,6	34,2	7,2	31.202,5	17,7	-	-	2.050,0	4.977,8	64.268,7
		%	0,4	4,8	0,0	0,0	28,8	0,0	-	-	1,9	4,6	59,4
	2013	hectares	453,3	5.106,8	33,6	6,2	29.887,7	18,2	682,1	125,2	2.639,7	5.299,9	64.033,8
		%	0,4	4,7	0,0	0,0	27,6	0,0	0,6	0,1	2,4	4,9	59,1
	2015	hectares	453,3	5.120,5	33,6	6,2	29.875,6	32,2	679,8	125,2	2.687,8	5.230,9	64.041,5
		%	**0,4**	**4,7**	**0,0**	**0,0**	**27,6**	**0,0**	**0,6**	**0,1**	**2,5**	**4,8**	**59,1**
	Variação 2007-2015	hectares	**-27,6**	**-127,1**	**-0,6**	**-1,0**	**-1.326,9**	**14,5**	**679,8**	**125,2**	**637,8**	**253,1**	**-227,2**
		%	**0,03**	**-0,12**	**0,0**	**0,0**	**-1,23**	**0,0**	**0,63**	**0,12**	**0,59**	**0,23**	**-0,21**

Nota: *Vegetação secundária em estágio inicial. **Vegetação secundária em estado médio/avançado.

Fonte: INEA, 2019b.

Figura 24 – Mapa de uso da terra e cobertura florestal da Bacia do rio Guapi-Macacu ano 2015, escala 1:100.000



Fonte: INEA, 2019b.

O GASDUC III implicou na supressão de 266 hectares de vegetação ao longo do percurso do gasoduto, que corta 8 municípios, atingindo alguns fragmentos nos municípios de Cachoeiras de Macacu e Guapimirim, e gerando o compromisso de restauração de 401,82 ha na região. O COMPERJ, promoveu a supressão de 1.405,9 hectares de vegetação para a instalação do empreendimento e estradas, do qual parte da área impactada está inserida na bacia, e que resultou na obrigação de reposição florestal de 5.005 hectares e restauração adicional de 660 hectares oriundos da celebração de Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) pela PETROBRAS e Governo do Estado junto ao Ministério Público do Rio de Janeiro em 2019.

Dessa forma, considera-se que a região não sofre com taxas significativas de perda de cobertura florestal, o que não significa que não ocorra a perda ou empobrecimento da biodiversidade e integridade dos fragmentos, principalmente na porção média e baixa da bacia, sujeita aos efeitos da fragmentação e pressão das áreas urbanas e agrícolas.

A análise do mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal da Bacia do rio Guapi-Macacu mais atual, referente ao ano de 2015 (Tabela 1 e Figura 24), permite verificar que a bacia ainda apresenta expressiva área com cobertura vegetal, e apresenta como usos predominantes a classe de Vegetação Secundária em Estágio Inicial (VGSI) (4,8%) e Vegetação Secundária em Estado Médio/Avançado (VGMA) (59,1%), ocupando 63,9% da área da bacia. Mesmo após os impactos ambientais relacionados ao crescimento das atividades agropastoris do passado e as presentes atividades, a bacia abriga importantes fragmentos florestais, concentrados nas vertentes da Serra do Mar, no domínio geomorfológico escarpa sul.

A classe com segunda maior ocorrência em 2015 é “campo/pasto”, com cerca de 29.875,6 ha, representando 27,6% da área da bacia, sendo muitas vezes áreas erodidas e degradadas. As regiões de planícies e maciços costeiros tem a pastagem como classe predominante e concentram os menores percentuais de cobertura florestal, além de serem as áreas mais afetadas pelas obras de drenagem e retificação, e que estão sob maior influência da expansão urbana da Região Metropolitana

Apesar disso, nota-se a existência de novos vetores potenciais de alteração do padrão de uso e ocupação do solo na bacia. Com a instalação do COMPERJ, devem se acentuar os processos de expansão urbana e ocupação desordenada, com o avanço sobre áreas anteriormente ocupadas com agricultura e maior pressão sobre os remanescentes florestais, APPs e as áreas inundáveis (PETROBRAS, 2016). Com isso, configuram-se cenários de aumento da demanda residencial urbana e industrial, assim como a demanda por diluição de esgotos sanitários e efluentes industriais.

II) Degradação de áreas de preservação permanente

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) são definidas no artigo 3º, inciso II da Lei Federal nº 12.651/2012 como "áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas".

Para avaliação da condição de conservação ou degradação das APPs da Bacia do rio Guapi-Macacu, foi analisado o mapeamento de APPs conservadas e degradadas produzido pelo INEA (2019a), elaborado a partir das informações constantes no mapeamento de Áreas de Preservação Permanente escala 1:25.000 e no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal do ano de 2015, na escala 1:100.000.

O mapeamento de APPs do INEA adotou os conceitos e tipologias estabelecidas no Art. 4º da Lei Federal nº 12.651/2012 e na Resolução INEA nº 93/2014, consideradas as devidas limitações da escala do mapeamento. Considerou-se como APPs degradadas as áreas com ocorrência das classes de uso campos/pastagens, agricultura, solo exposto, reflorestamento comercial e áreas úmidas. As APPs conservadas, por sua vez, constituem as áreas com ocorrência das classes de uso vegetação secundária em estágio inicial, vegetação secundária em estágio médio e avançado, restinga, mangue, comunidade relíquia, afloramento rochoso, cordões arenosos, salinas e dunas. Não foram consideradas neste mapeamento as APPs em áreas urbanas.

Segundo INEA (2019a), o mapeamento das APPs degradadas pode ser compreendido com um indicativo de áreas prioritárias para recuperação ambiental visando a proteção das áreas de preservação permanente, visto a impossibilidade da aplicação do Artigo 61-A da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 no mapeamento sistemático da bacia. O referido artigo autoriza, exclusivamente, a continuidade das atividades agrossilvipastoris, de ecoturismo e de turismo rural em APPs nas áreas rurais consolidadas até 22 de julho de 2008 e estabelece critérios e particularidades para delimitação das áreas nas quais é obrigatória a recomposição florestal das APPs (tamanho da propriedade, tipologia de APP, dentre outros), conceito conhecido como "APP escadinha". Ou seja, o mapeamento das APPs degradadas não reflete a efetiva área de obrigação de recomposição florestal, passível de ser definida somente a partir da inscrição, análise e validação do Cadastro Ambiental Rural e adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA).

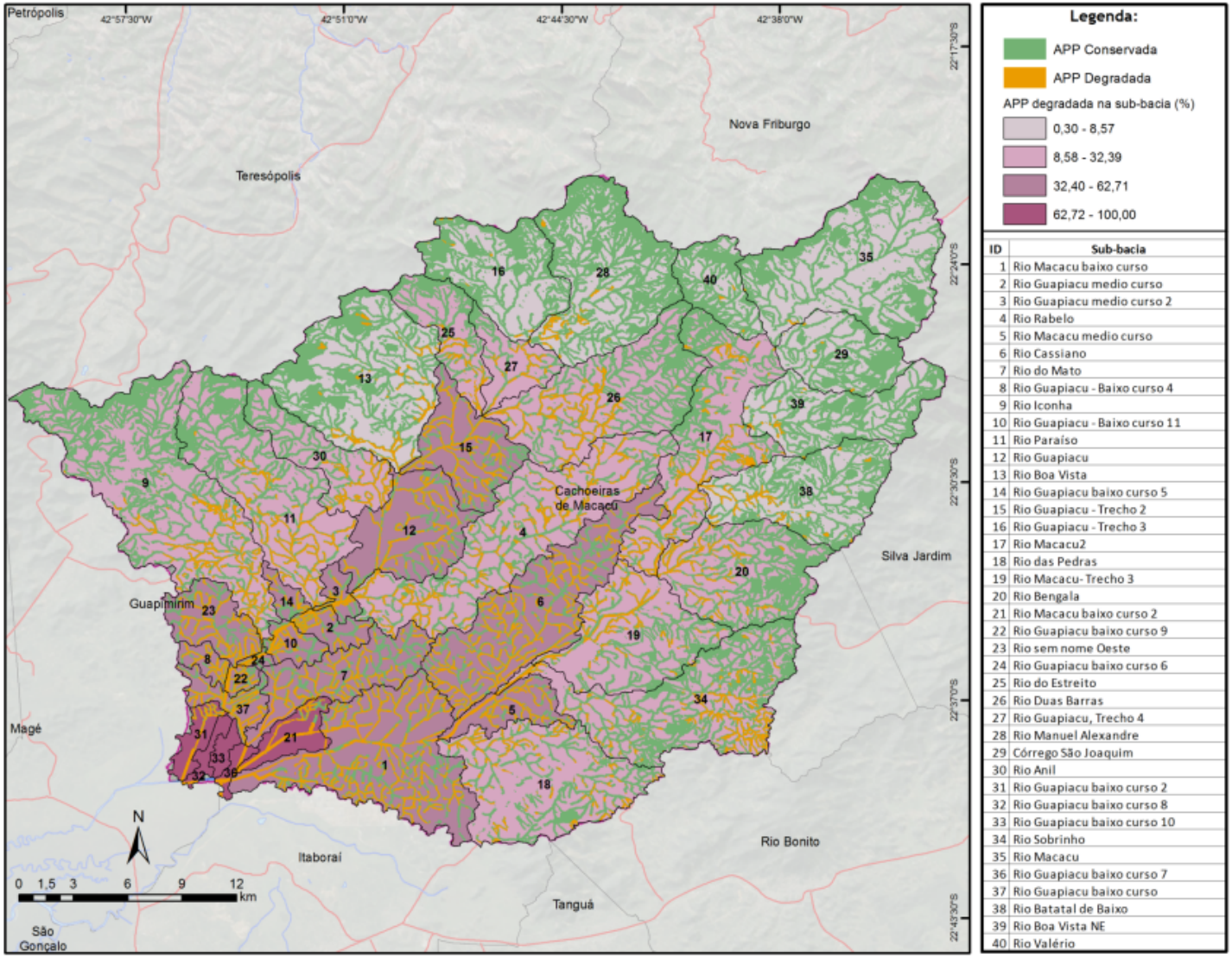
Da área total da Bacia do rio Guapi-Macacu, cerca de 44,2% (37.985,1 ha) correspondem às áreas totais de preservação permanente – APP. Da área total de APPs, 79,4% (37.985,1 ha) encontram-se preservada e 20,6% (9.854,3 ha) encontra-se degradada e constituem áreas prioritárias para restauração e adequação ambiental (Tabela 2 e Figura 25).

O déficit de cobertura vegetal em APPs não é uniformemente distribuído ao longo da bacia. De modo geral, as partes baixas dos cursos dos rios Guapiaçu e Macacu concentram as áreas de maior pressão sobre os recursos hídricos e de demanda por recuperação. As sub-bacias do Rio Guapiaçu baixo curso 7 e 8 (ID 32 e 36) possuem menos de 1% de APP conservada, as sub-bacias do Rio Guapiaçu baixo curso 2 e Rio Macacu baixo curso 2 (ID 31, 21) apresentam menos de 20% de APP conservada, e as sub-bacias do Rio Guapiaçu baixo curso 1, 4 e 9 e do Rio Macacu baixo curso 2 (ID 37, 8, 22 e 21) e possuem menos de 40% de APP conservada, constituindo as porções mais críticas para recuperação ambiental.

As APPs de topo de morro e declividade encontram-se protegidas, garantida a manutenção dos serviços ecossistêmicos da floresta para interceptação e retenção da água da chuva na copa e em sua serrapilheira, principalmente em locais estratégicos das bacias aéreas, por onde passam os corredores de umidade (BARBOZA et al., 2015).

O déficit de cobertura florestal de APPs nas partes baixas da bacia, por sua vez, evidencia a degradação dos ecossistemas associados às planícies de inundação e várzeas, que possuem importante papel para a regulação hídrica. Além disso, essas áreas vêm sofrendo pressão em decorrência da erosão fluvial, rebaixamento do lençol freático e a alteração do padrão de umidade do solo, comprometendo a funcionalidade da APP de mata ciliar em promover a conectividade entre calha e planície, e sendo observada a mudança da composição florística dos fragmentos (MASTERPLAN, 2019).

Figura 25 – Mapa das APPs degradadas e conservadas na Bacia do rio Guapi-Macacu e percentuais de APP degradada por sub-bacias



Legenda:	
APP Conservada	
APP Degradada	
APP degradada na sub-bacia (%)	
0,30 - 8,57	
8,58 - 32,39	
32,40 - 62,71	
62,72 - 100,00	

ID	Sub-bacia
1	Rio Macacu baixo curso
2	Rio Guapiacu medio curso
3	Rio Guapiacu medio curso 2
4	Rio Rabelo
5	Rio Macacu medio curso
6	Rio Cassiano
7	Rio do Mato
8	Rio Guapiacu - Baixo curso 4
9	Rio Iconha
10	Rio Guapiacu - Baixo curso 11
11	Rio Paraíso
12	Rio Guapiacu
13	Rio Boa Vista
14	Rio Guapiacu baixo curso 5
15	Rio Guapiacu - Trecho 2
16	Rio Guapiacu - Trecho 3
17	Rio Macacu2
18	Rio das Pedras
19	Rio Macacu- Trecho 3
20	Rio Bengala
21	Rio Macacu baixo curso 2
22	Rio Guapiacu baixo curso 9
23	Rio sem nome Oeste
24	Rio Guapiacu baixo curso 6
25	Rio do Estreito
26	Rio Duas Barras
27	Rio Guapiacu, Trecho 4
28	Rio Manuel Alexandre
29	Córrego São Joaquim
30	Rio Anil
31	Rio Guapiacu baixo curso 2
32	Rio Guapiacu baixo curso 8
33	Rio Guapiacu baixo curso 10
34	Rio Sobrinho
35	Rio Macacu
36	Rio Guapiacu baixo curso 7
37	Rio Guapiacu baixo curso
38	Rio Batatal de Baixo
39	Rio Boa Vista NE
40	Rio Valério

Fonte: INEA, 2019b.

Tabela 2 – APPs conservadas e degradadas na Bacia do rio Guapi-Macacu por sub-bacias

ID	Sub-bacias	Área Sub-bacias (ha)	APP		APP conservada		APP degradada	
			Área total	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	Rio Macacu baixo curso 1	5.426,8	1.863,1	34,3%	794,5	42,7	1.068,5	57,4
2	Rio Guapiaçu médio curso 1	600,0	247,2	41,2%	111,4	45,1	135,8	54,9
3	Rio Guapiaçu médio curso 2	404,6	152,9	37,8%	77,4	50,6	75,5	49,4
4	Rio Rabelo	6.191,9	2.036,6	32,9%	1.357,8	66,7	678,8	33,3
5	Rio Macacu médio curso 1	1.116,6	381,6	34,2%	137,7	36,1	243,9	63,9
6	Rio Cassiano	5.017,2	1.774,7	35,4%	870,7	49,1	904,0	50,9
7	Rio do Mato	2.391,3	920,4	38,5%	483,1	52,5	437,3	47,5
8	Rio Guapiaçu baixo curso 4	379,0	155,4	41,0%	54,7	35,2	100,8	64,8
9	Rio Iconha	7.774,9	3.778,7	48,6%	3.272,7	86,6	506,0	13,4
10	Rio Guapiaçu baixo curso 11	539,3	247,2	45,8%	120,2	48,6	127,1	51,4
11	Rio Paraíso	5.117,8	2.100,5	41,0%	1..693,95	80,7	406,6	19,4
12	Rio Guapiaçu	2.873,2	807,2	28,1%	458,0	56,7	349,2	43,3
13	Rio Boa Vista	5.662,4	2.857,1	50,5%	2.597,5	90,9	259,6	9,1
14	Rio Guapiaçu baixo curso 5	352,1	129,3	36,7%	76,7	59,3	52,6	40,7
15	Rio Guapiaçu 2	2.356,5	832,1	35,3%	435,3	52,3	396,8	47,7
16	Rio Guapiaçu 3	3.234,8	1.765,5	54,6%	1.743,6	98,8	22,0	1,2
17	Rio Macacu 2	4.723,6	2.135,1	45,2%	1.635,8	76,6	499,3	23,4
18	Rio das Pedras	4.896,9	1.632,4	33,3%	1.282,9	78,6	349,5	21,4
19	Rio Macacu 3	3.878,2	1.412,8	36,4%	1.096,4	77,6	316,4	22,4
20	Rio Bengala	3.772,0	1.993,5	52,8%	1.725,9	86,6	267,6	13,4
21	Rio Macacu baixo curso 2	838,9	208,0	24,8%	38,5	18,5	169,5	81,5
22	Rio Guapiaçu baixo curso 9	232,5	147,8	63,6%	53,8	36,4	93,9	63,6
23	Rio Oeste	1.438,8	575,7	40,0%	286,3	49,7	289,4	50,3
24	Rio Guapiaçu baixo curso 6	114,7	62,0	54,1%	27,6	44,5	34,5	55,5
25	Rio do Estreito	1.733,5	823,1	47,5%	696,9	84,7	126,2	15,3
26	Rio Duas Barras	4.834,1	2.161,9	44,7%	1.765,8	81,7	396,2	18,3
27	Rio Guapiaçu 4	1.257,8	385,7	30,7%	293,3	76,0	92,5	24,0
28	Rio Manuel Alexandre	4.994,1	3.195,1	64,0%	3.078,5	96,4	116,5	3,7
29	Córrego São Joaquim	2.221,9	1.217,8	54,8%	1.209,3	99,3	8,4	0,7
30	Rio Anil	2.127,9	913,7	42,9%	717,9	78,6	195,8	21,4
31	Rio Guapiaçu baixo curso 2	532,7	119,6	22,5%	21,7	18,2	97,9	81,9
32	Rio Guapiaçu baixo curso 8	268,6	11,4	4,2%	0,0	0,0	11,4	100,0
33	Rio Guapiaçu baixo curso 10	245,9	0,1	0,0%	0,0	17,4	0,1	82,6
34	Rio Sobrinho	5.456,7	2.980,9	54,6%	2.445,2	82,0	535,7	18,0
35	Rio Macacu 1	5.978,2	2.805,4	46,9%	2.797,3	99,7	8,1	0,3
36	Rio Guapiaçu baixo curso 7	225,8	47,5	21,0%	0,1	0,1	47,5	99,9
37	Rio Guapiaçu baixo curso 1	765,7	337,5	44,1%	118,7	35,2	218,8	64,8
38	Rio Batatal	3.678,2	1.947,2	52,9%	1.778,5	91,3	168,7	8,7
39	Rio Boa Vista Nordeste	3.096,9	1.666,4	53,8%	1.629,4	97,8	37,1	2,2
40	Rio Valério	1.534,8	1.009,5	65,8%	1.000,3	99,1	9,2	0,9
	TOTAL	**108.286,5**	**47.839,4**	**44,2%**	**37.985,1**	**79,4**	**9.854,3**	**20,6**

Fonte: INEA, 2019b.

4.2.1.1.2 Estressor “Processos erosivos”

A interferência antrópica e o manejo inadequado no solo podem provocar o desenvolvimento e/ou a aceleração dos processos erosivos e o comprometimento dos recursos hídricos. Dentre os principais impactos, pode-se destacar o assoreamento de rios e reservatórios, a perda da qualidade da água, modificação da hidráulica fluvial e da dinâmica de sedimentação fluvial, aumento da frequência e impacto das inundações, perdas de solos férteis, dentre outros.

Os processos erosivos ocorrem principalmente em encostas (erosão laminar e erosão linear ou de fluxo concentrado) e ao longo dos canais fluviais (erosão fluvial). As principais fontes de sedimentos incluem a erosão terrestre (partículas de solo destacadas e transportados pela chuva e pelo escoamento superficial), ravinas (canais que concentram o fluxo), a erosão das margens e a erosão em massa (ou deslizamentos de terra). Os principais destinos dos sedimentos exportados incluem depressões nas encostas, a deposição em planícies ou no leito do rio, e a retenção por reservatórios. Os principais fatores que influenciam os processos erosivos e o fluxo de sedimentos são o clima, o uso do solo e cobertura vegetal, características geológico-geomorfológicas e fatores antrópicos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Para avaliação dos processos erosivos e da estimativa de perda de solos e retenção de sedimentos na Bacia do rio Guapi-Macacu, foi considerado o mapeamento do indicador de suscetibilidade a erosão produzido pelo INEA (2019a), resultante da aplicação do modelo *Sediment Delivery Ratio* (SDR) a partir da ferramenta *InVEST* (*Integrated Valuation of Environmental Services and Trade-offs*). Para identificar a perda potencial de solo, o modelo emprega a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)[11] (WISCHMEIER; SMITH, 1978) e informações do mapeamento de feições erosivas, cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa, escala 1:60.000, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, 2015).

O mapeamento tem como principais resultados a classificação das áreas quanto a suscetibilidade a erosão (baixa, média e alta), apontando as áreas mais propensas a perda de

[11] Para aplicação da EUPS, foram utilizados como dados de entrada: Modelo Digital de Elevação, escala 1:25.000 (Base Cartográfica RJ - SEAS/IBGE); precipitação 1970-2000, escala 1:100.000 (WorldClim); mapa de uso do solo e cobertura vegetal ano 2015, escala 1:100.000 (INEA); mapa de solos 1:100.000 (SEAS); mapa de sub-bacias do rio Guapi-Macacu (INEA). Os limites das classes de perda de e valores adotados para o fator C (uso e manejo) foram baseados em Costa et al. (2005). Adotou-se o valor 1 para P, ou seja, considerada a não existência de práticas conservacionistas na bacia.

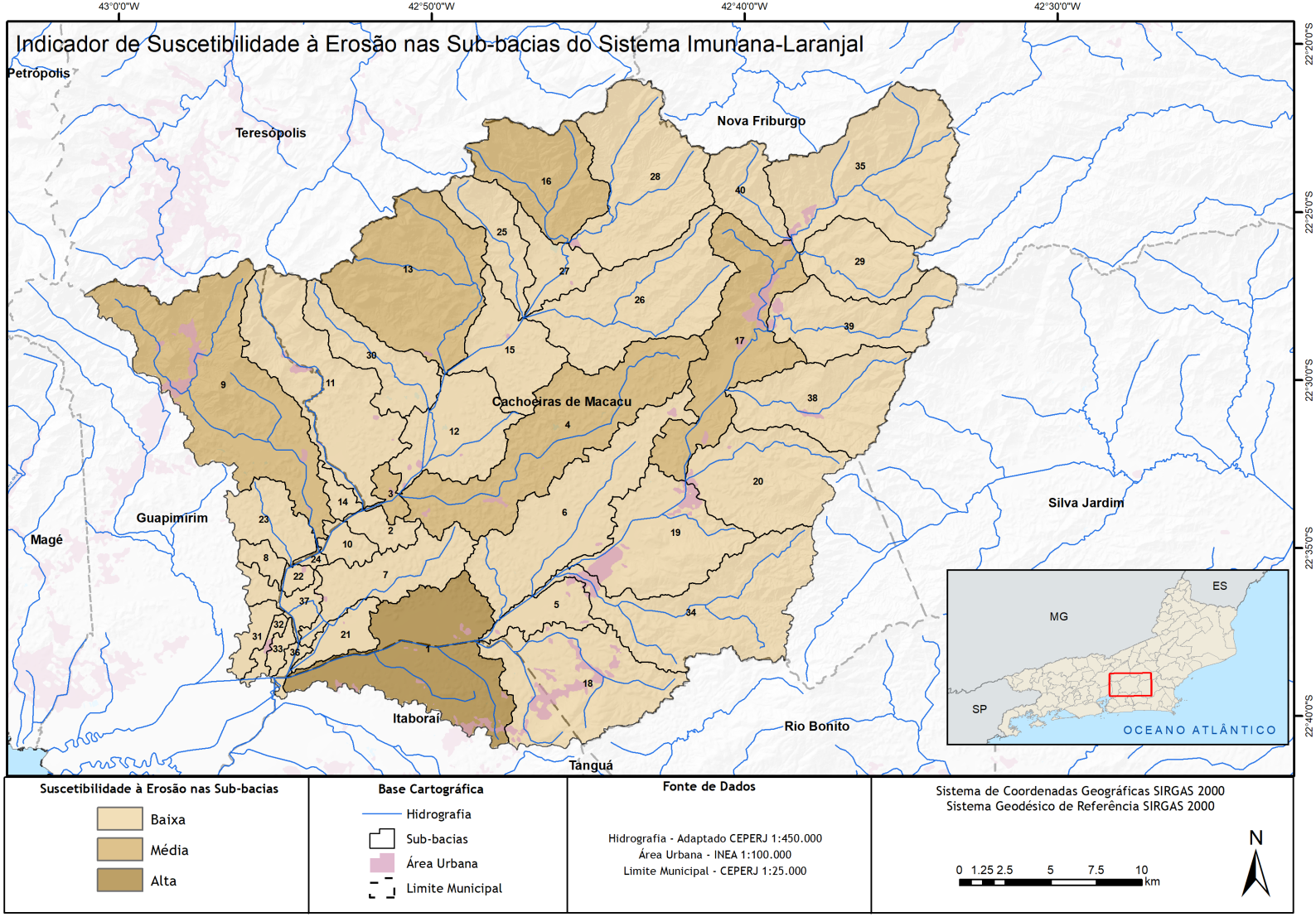
solo na bacia, e os valores total de retenção e exportação de sedimentos em toneladas por ano para o exutório do rio Guapi-Macacu e para o exutório de cada uma das suas sub-bacias (Figura 26) (INEA, 2019b).

O valor de exportação de sedimentos representa a estimativa do cenário atual, ou seja, o mapa de uso da terra e cobertura vegetal ano 2015, escala 1:100.000 (INEA, 2019b). O valor de retenção de sedimentos compreende a diferença na quantidade de sedimento exportado para a rede de drenagem de uma bacia no cenário atual em relação ao cenário hipotético em que toda a superfície terrestre da bacia é considerada como solo exposto. Logo, este valor representa a quantificação do serviço ecossistêmico potencial de retenção de sedimentos na bacia. Como resultado da aplicação do modelo, estimou-se 63.815 toneladas de sedimentos exportados por ano para rede de drenagem da Bacia do rio Guapi-Macacu. Em relação à quantificação do serviço ecossistêmico de retenção de sedimentos, o mesmo foi estimado em 104.186.408 toneladas de sedimentos retidos na bacia por ano (Tabela 3).

A exportação de sedimentos no cenário de uso do solo atual foi maior nas sub-bacias da porção alta da bacia, possivelmente em decorrência das condições geomorfológicas e das cicatrizes de movimentos gravitacionais de massa, e em sub-bacias com maior ocorrência de áreas agrícolas e solo exposto. Cabe destaque para as sub-bacias do Rio Boa Vista (ID 13), do Rio Macacu 3 (ID 19), Rio Rabelo (ID 4), Rio Sobrinho (ID 34) e Rio Batatal (ID 38), que apresentaram valores de sedimento exportado superior a 3.000 toneladas por ano (Figura 27 e Tabela 3). A sub-bacia Rio Macacu baixo curso 1 (ID 1), apesar do relevo suave, apresentou alta suscetibilidade à erosão e valores de sedimento exportado superior a 14.000 toneladas por ano. Esse resultado pode ser atribuído a grande extensão da classe de uso “solo exposto”, atrelada a área de obras e de implementação do COMPERJ, situada dentro da sub-bacia. A sub-bacia do rio Rabelo, por sua vez, concentra áreas agrícolas expressivas.

Os processos erosivos ocorrem de forma generalizada, no entanto, foram observados o padrão recorrente de feições erosivas na bacia nas encostas dos morros e morrotes situados a sotavento, locais que recebem menor influência e oferta de umidade das bacias aéreas e frentes frias, e portanto, possuem menor resiliência e pouca proteção do solo, com a rápida formação de sulcos que evoluem para voçorocas (MASTERPLAN, 2019).

Figura 26 – Mapa do indicador de suscetibilidade a erosão por sub-bacias da área de contribuição da captação do sistema Imunana-Laranjal



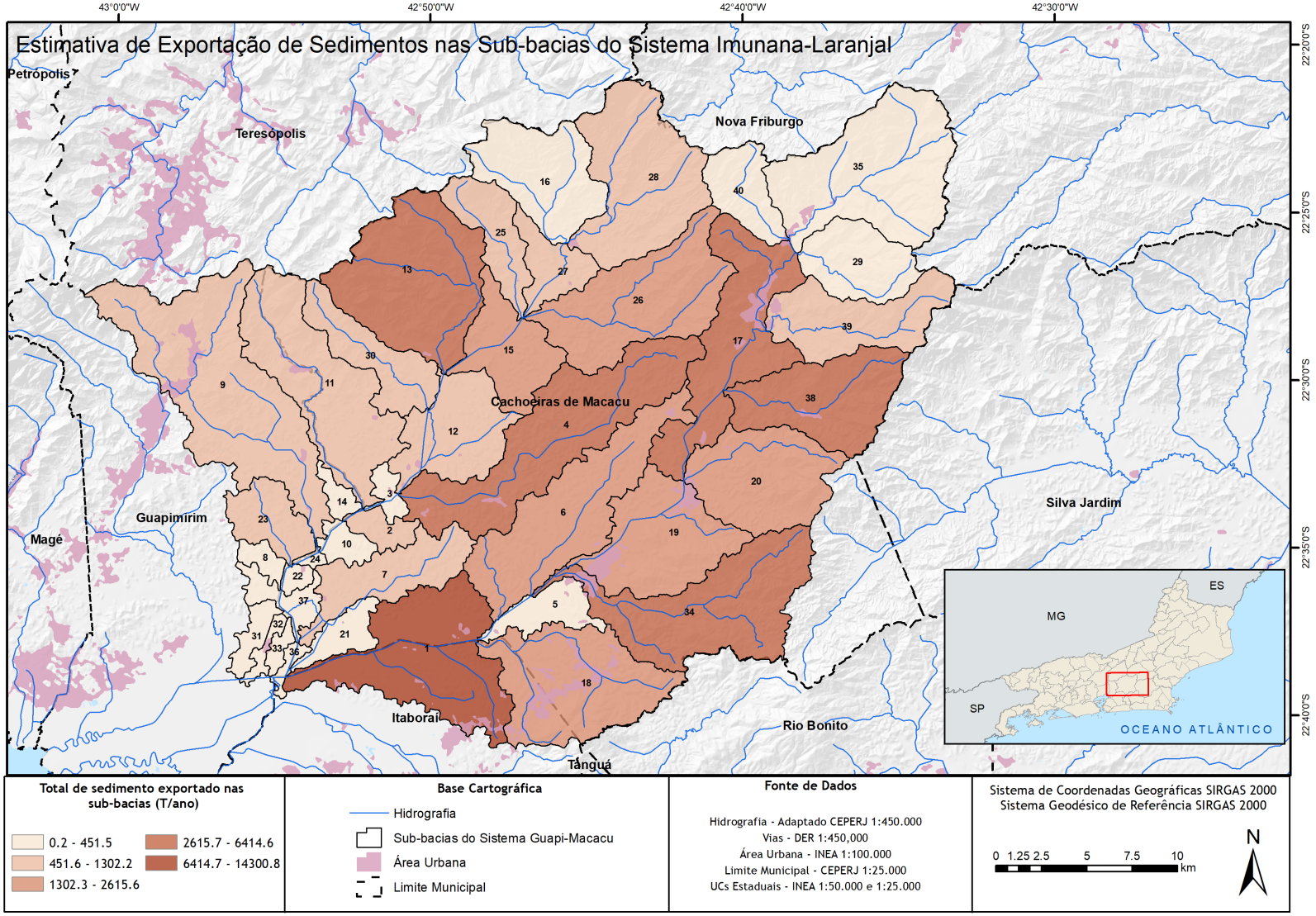
Fonte: INEA, 2019b.

Tabela 3 – Estimativa na retenção e exportação de sedimentos (tonelada/ano) por sub-bacias da área de contribuição da captação do sistema Imunana-Laranjal (Bacia do rio Guapi-Macacu)

ID	Sub-bacias	Sedimento retido (Ton/ano)	Sedimento exportado (Ton/ano)
1	Rio Macacu baixo curso 1	158.261,9	14.300,8
2	Rio Guapiaçu médio curso 1	71.178,1	645,9
3	Rio Guapiaçu médio curso 2	37.821,2	228,2
4	Rio Rabelo	1.125.921,9	3.965,4
5	Rio Macacu médio curso 1	54.365,3	438,0
6	Rio Cassiano	339.967,4	2.523,3
7	Rio do Mato	170.045,7	716,5
8	Rio Guapiaçu baixo curso 4	38.634,1	214,7
9	Rio Iconha	9.528.240,0	1.302,2
10	Rio Guapiaçu baixo curso 11	52.577,8	188,2
11	Rio Paraíso	5.588.264,8	1.093,0
12	Rio Guapiaçu	270.454,2	905,7
13	Rio Boa Vista	10.150.849,5	5.215,5
14	Rio Guapiaçu baixo curso 5	7.679,4	35,5
15	Rio Guapiaçu 2	336.944,7	1.721,8
16	Rio Guapiaçu 3	7.607.146,1	411,1
17	Rio Macacu 2	3.162.613,6	6.414,6
18	Rio das Pedras	1.853.573,7	2.449,0
19	Rio Macacu 3	2.102.815,6	2.615,6
20	Rio Bengala	3.191.006,7	2.402,3
21	Rio Macacu baixo curso 2	1.768,3	7,0
22	Rio Guapiaçu baixo curso 9	2.273,3	15,2
23	Rio Oeste	125.434,2	648,6
24	Rio Guapiaçu baixo curso 6	4.547,7	69,5
25	Rio do Estreito	3.176.075,0	707,5
26	Rio Duas Barras	3.482.023,0	1.668,9
27	Rio Guapiaçu 4	422.869,5	1.113,8
28	Rio Manuel Alexandre	10.102.216,6	601,9
29	Córrego São Joaquim	4.437.200,8	231,2
30	Rio Anil	1.808.280,8	567,6
31	Rio Guapiaçu baixo curso 2	3.849,3	25,3
32	Rio Guapiaçu baixo curso 8	25,1	0,2
33	Rio Guapiaçu baixo curso 10	30,2	0,2
34	Rio Sobrinho	3.600.565,4	4.985,0
35	Rio Macacu 1	17.212.912,1	451,5
36	Rio Guapiaçu baixo curso 7	39,7	0,2
37	Rio Guapiaçu baixo curso 1	22.503,8	131,7
38	Rio Batatal	4.611.742,3	3.879,3
39	Rio Boa Vista Nordeste	5.685.575,9	758,1
40	Rio Valério	3.638.113,5	165,7
	Total	**104.186.408,1**	**63.815,8**

Fonte: INEA, 2019b.

Figura 27 – Estimativa de perda de solos (ton/ano) por sub-bacias da área de contribuição da captação do sistema Imunana-Laranjal



Fonte: INEA, 2019b.

Dentre as limitações do resultado, o modelo SDR não avalia a deposição de sedimentos ao longo dos canais da rede de drenagem, ou seja, todo o sedimento que chega a um corpo hídrico é contabilizado e somado para obter o valor total no exutório da bacia. Além disso, são recorrentes as críticas da aplicação da EUPS para estimativas de perdas de solos frente a dificuldade de atribuição dos valores para os fatores uso e cobertura da terra (C) e práticas de manejo (P), e da impossibilidade de analisar os processos erosivos em relação à variação sazonal e eventos extremos. Além disso, considerando a simplicidade do modelo, seus resultados devem analisados perante séries de dados hidrossedimentológicos locais para a verificação da qualidade da calibração. Portanto, os resultados aqui apresentados são interpretados como indicativos dos locais mais ou menos vulneráveis aos processos erosivos na bacia e de maior potencial de retenção e exportação de sedimentos.

4.2.1.1.3 Estressor “Interferências nos corpos hídricos”

A Bacia do rio Guapi-Macacu vem sendo submetida a diversas transformações e obras em seus corpos hídricos, com objetivos múltiplos: controle de cheias, erradicação de doenças, drenagem de áreas úmidas, aumento de terras agricultáveis, aumento da segurança para captação de água, dentre outros. Apesar dessas intervenções terem sido importantes para o processo de ocupação e desenvolvimento econômico da região, elas também se relacionam com a perda ou destruição de habitats naturais e a diversos impactos negativos sobre os sistemas fluviais, como as modificações no padrão de drenagem, alterações no regime das descargas e na velocidade dos fluxos, aumento da carga de sedimentos, aumento da erosão nos afluentes, ocasionado pelo abaixamento do nível de base, dentre outros.

A seguir, são apresentadas as principais obras e intervenções executadas ou previstas para a Bacia do rio Guapi-Macacu e os seus impactos na disponibilidade de água em quantidade e qualidade para o sistema Imunana-Laranjal.

I) Obras de drenagem para controle de inundações nos rios Macacu e Guapiaçu

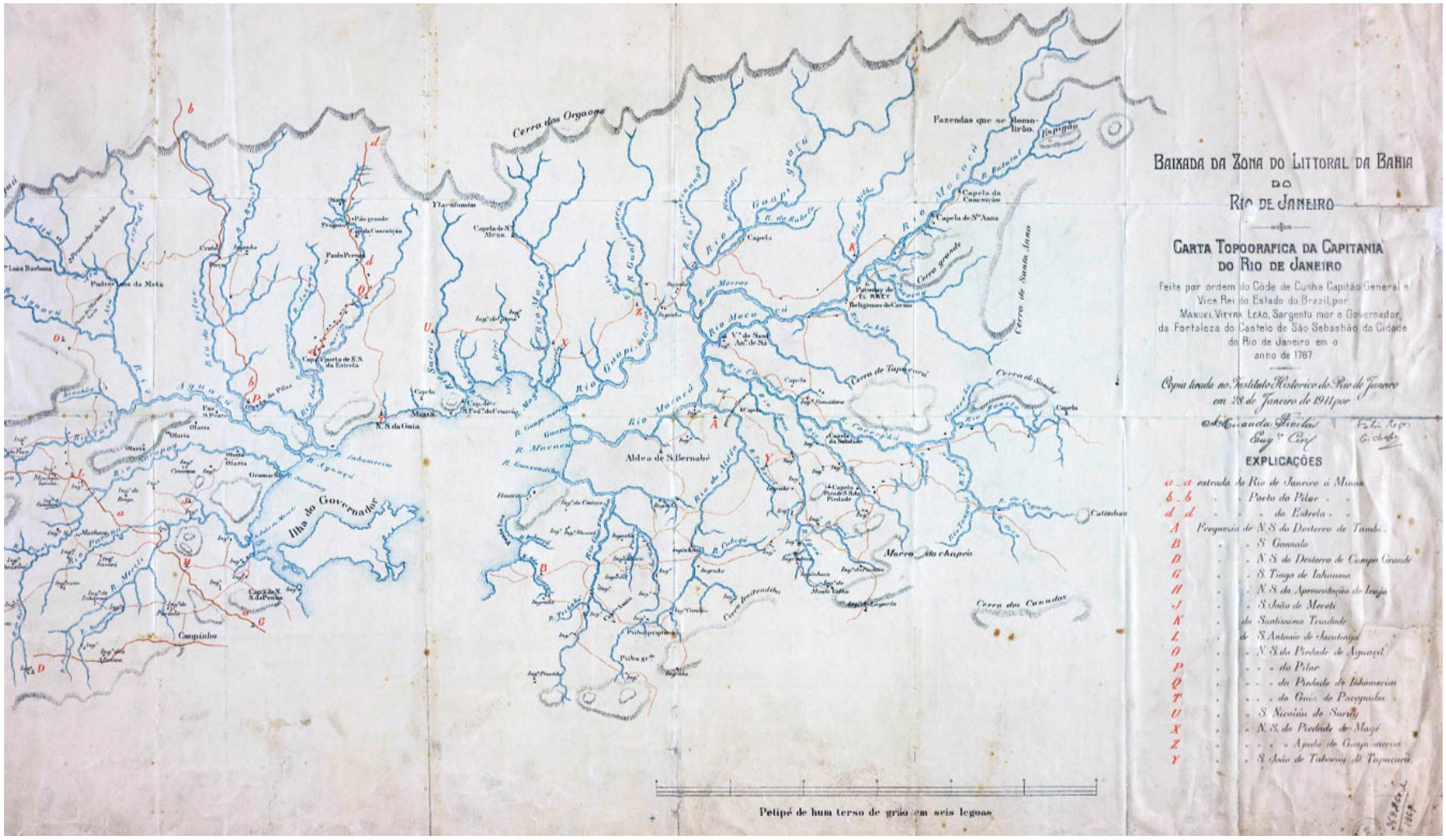
Em meados do séc. XIX, a falta de limpeza e desobstrução dos rios e canais de drenagem tornaram recorrentes os eventos de inundação e favoreceram a disseminação de doenças. Há registros de surtos de epidemia de febre amarela e malária em todo território, e em maior

magnitude próximo a confluência do rio Macacu com o Caceribu, com destaque para os anos de 1829, 1836 e 1839 (MACHADO; CASTRO, 1997). As epidemias, inundações e a crise açucareira contribuíram para um gradativo desinteresse e abandono das terras (CARNEIRO et al., 2012).

Segundo Costa e Teuber (2001), no final do séc. XIX a Comissão de Estudos e Saneamento da Baixada promoveu o inicio das obras de drenagem e retificação dos rios Guapiaçu, Macacu e Caceribu, visando reduzir enchentes e inundações e promover a erradicação da malária. No período 1910-1916, a "Comissão Federal de Saneamento e Desobstrução dos Rios que Desaguam na Baia de Guanabara", executou as obras de retificação, canalização e dragagem de 3,8 km do rio Macacu, com 60 m de largura e 2,5 m de profundidade média, e de 5,8 km do rio Guapiaçu, e de construção de canal ligando o antigo leito do rio Macacu ao rio Guaxindiba, com cerca de 850 m (Figuras 28 e 29). Em 1934, o governo federal criou o Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOS), que deu continuidade às obras de drenagem para controle de inundações. Em 1947, foi realizado o desvio do rio Macacu para a bacia do rio Guapimirim, por meio da construção do canal de Imunana, com cerca de 7 km, e no seu antigo leito atualmente deságua o rio Caceribu. Entre 1947 e 1957, o DNOS retificou 36 km do rio Caceribu, bem como vários trechos de seus principais afluentes (COSTA; TEUBER, 2001).

A capacidade de erosão das margens de um rio, bem como o transporte e deposição de sedimentos, dependem principalmente da vazão e da natureza das correntes fluviais, e obras de engenharia em calhas dos rios que rompem com esta estabilidade, repercutindo nas condições de erosão transporte e deposição até chegar a uma nova condição de equilíbrio (CHRISTOFOLETTI, 1990). Quando o canal é desviado do seu leito natural nas obras de retificação, é necessário um novo período de ajuste da forma do canal à granulometria, já que a composição do leito é alterada. Segundo Friedenreich e Pinheiro (2002), o alargamento e aprofundamento da calha fluvial podem provocar impactos e mudanças sobre a hidrodinâmica do rio nas áreas a montante das intervenções, onde o aumento da velocidade do escoamento provoca a redução do nível de cheias e o aumento da ação erosiva sobre as margens fluviais, e a jusante da obra, aumenta a tendência de cheias e de erosão das margens. O alargamento e aprofundamento dos rios para suportar a vazão máxima estabelecida provoca a diminuição do nível freático nas planícies de inundação (ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012).

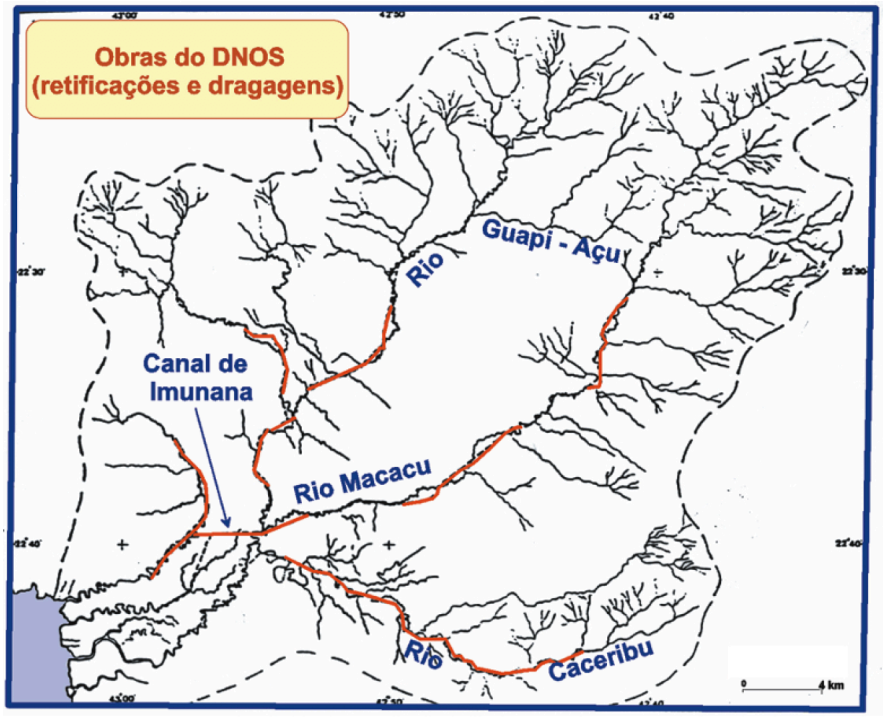
Figura 28 – Carta Topográfica da Baixada da Zona do Litoral da baía do Rio de Janeiro



Nota: Elaborada em 1767. É possível observar a hidrografia original das bacias do rio Guapimirim e Macacu, cujos principais afluentes são os rios Guapiaçu e Caceribu.

Fonte: FARIAS, 2019.

Figura 29 – Intervenções do DNOS com retificações e dragagens



Fonte: COSTA; TEUBER, 2001.

Segundo Brasil (2001), com as obras de retificação dos corpos hídricos na bacia, houve o encurtamento dos rios em cerca de três vezes, em média, fazendo aumentar consideravelmente a velocidade do escoamento e, como consequência, acentuando a erosão das margens dos rios e o aprofundamento do leito, aumentando a carga de sedimentos transportados para a Baía de Guanabara. Além disso, houve o processo de rebaixamento do lençol freático, que vem ocorrendo de forma mais acentuada nos terços superiores das bacias dos rios Macacu e Guapiaçu, se estendendo para todos os seus tributários, com esgotamento da água nas partes mais baixas das planícies de inundações e chegando à base dos morros, podendo também representar rebaixamento do lençol freático nos primeiros terços dos pequenos morros. Registrou-se uma profundidade média de rebaixamento do lençol freático de 4 m na calha do rio Macacu, com sinalização de aprofundamento continuado no tempo, com a presença de arestas vivas nas margens (MASTERPLAN, 2019).

Apesar do relativo grau de cobertura florestal na bacia e nas APPs da bacia, o diagnóstico do Plano Municipal da Mata Atlântica do município de Cachoeiras de Macacu aponta como um fator crítico de degradação dos recursos hídricos a erosão no talvegue e desbarrancamento das margens dos rios que ocorrem ao longo da Bacia do rio Guapi-Macacu (MASTERPLAN, 2019). Segundo o diagnóstico, a erosão no fundo do leito dos rios e suas margens ocorre em maior intensidade nos rios Macacu e Guapiaçu e em sub-bacias com fluxo

de drenagem concordante com o sentido de escoamento dos tributários. Segundo relato de um funcionário da Prefeitura de Cachoeiras de Macacu em 17/12/2019, a erosão do talvegue e margens dos rios é um dos principais problemas relacionados à gestão de recursos hídricos da região. É possível observar diversos pontos de destruição de instalações públicas, pontes e diques longitudinais na beira de rodovias e estradas vicinais em diversas localidades no município, como por exemplo, a sede da APA Estadual da Bacia do Rio Macacu – APA Macacu, onde houve a erosão de mais de 50 metros de largura das margens do rio Macacu, carreando o sistema de esgotamento sanitário e a cisterna da sede.

Ao mesmo tempo em que as obras de drenagem no final do séc. XIX e primeira metade do séc. XX foram importantes para a erradicação de doenças e para a colonização da região, elas também foram responsáveis por eliminar as áreas de brejos, pântanos e reduzir as áreas de manguezais. Esses ecossistemas sofreram forte impacto com as intervenções, pois o rio Guapi-Macacu passou a responder pela vazão do conjunto Guapiaçu, Guapimirim e Macacu, recebendo maior aporte de água doce, enquanto que o baixo curso do rio Macacu (atual Caceribu) teve sua vazão reduzida e salinizou-se (BRASIL, 2001).

Outro impacto observado na biodiversidade é a alteração dos padrões originais de composição florística e de fitofisionomias na bacia. A ocorrência de matas ripárias e formação de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas nas planícies de inundação e planícies flúvio-marinhas veio a ser substituída por fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual de Terras Baixas e Floresta Estacional Decidual de Terras Baixas em função da alteração das condições da umidade do solo e do rebaixamento do lençol freático (MASTERPLAN, 2019).

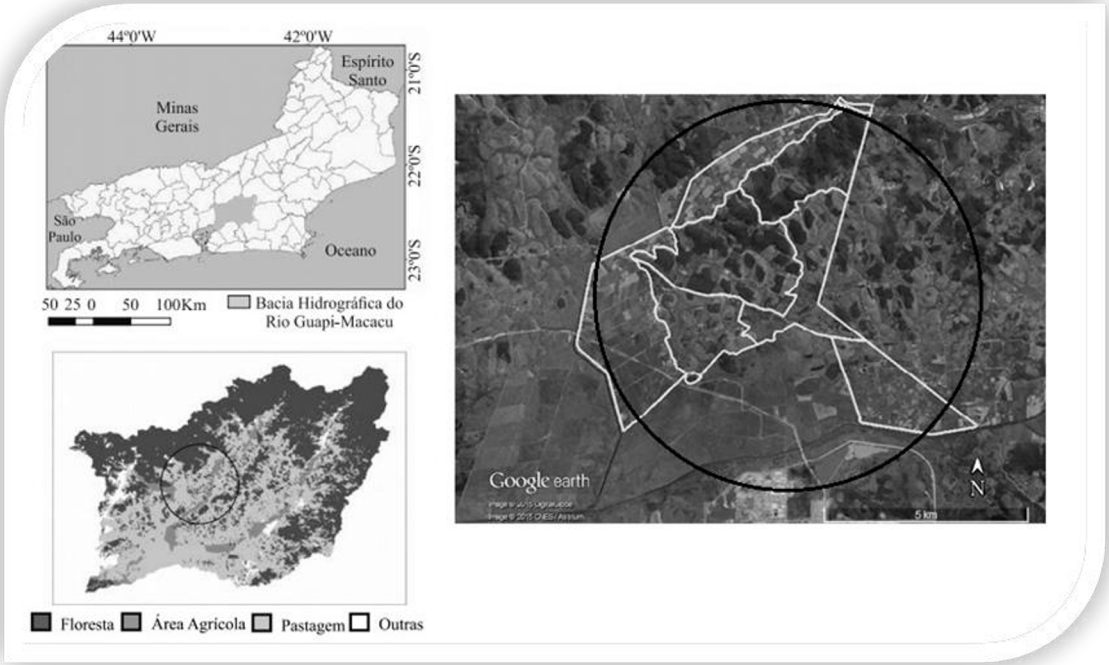
II) Obras de drenagem e loteamento do assentamento de São José da Boa Morte, Cachoeiras de Macacu – RJ

O assentamento de São José da Boa Morte, foi efetivado pelo INCRA em 22 de janeiro de 1981, área desapropriada pelo Decreto nº 85.661/81 e validado pelo Decreto s/nº de 10/05/1991), com área total de 3.903 ha (GIULIANI; CASTRO, 1996). Situa-se em planície aluvial fértil e sujeita a inundações provocadas por periódicos transbordamentos do rio Guapiaçu, sendo cortado pelos rios Guapiaçu, Macacu e Rabelo (Figura 30). A área situa-se também na área de alta suscetibilidade a inundações segundo CPRM (2015) e na zona de fragilidade ambiental do Plano Diretor de Cachoeiras de Macacu (CACHOEIRAS DE MACACU, 2006).

O assentamento foi objeto de projeto do INCRA (Resolução n° 17 de 26/01/1982) para drenagem, irrigação e loteamento da área para aproveitamento da área de várzea. O projeto de drenagem proposto previa o aproveitamento de 40,33% da área total para o loteamento, com abertura de 4.310 metros de canais de drenagem (PAIXÃO, 2000). Segundo o INCRA (1986 apud PAIXÃO, 2000), a organização territorial do Assentamento de São José da Boa Morte foi dividida em glebas segundo aptidão agroecológica: Glebas A (reserva florestal), B (área plana, margens do rio Guapiaçu), BIII (polder III), C (topografia irregular), E (área de declive, sujeito a inundações em terras baixas, com terrenos turfosos), F (bacia do rio do Mato, G (área plana, margens do Rio Macacu), Polder III (margens do Guapiaçu, sujeita a inundação) e R (bacia do rio Rabelo). Em áreas muito baixas com relação à drenagem principal, realizou-se a implantação de polderes combinada com a construção de diques, eliminando a influência dos extravasamentos do curso de água principal sobre a área alvo e a implantação de sistema de drenagem local.

Em 07 de abril de 1982, o INCRA estabeleceu convênio com o Ministério da Agricultura por meio do Programa Nacional de Aproveitamento de Várzeas (Pró-Várzeas) (Proc. INCRA/BR - 5535/81), no qual o Ministério seria responsável pelo desenvolvimento do projeto de drenagem, irrigação e loteamento e o INCRA pela alocação de recursos, que viriam a ser viabilizados pelo Banco Nacional de Crédito Cooperativo (Carta AGRIO 82/2591 de 14 de abril de 1982), sendo repassados e contratados por meio da Cooperativa Agrícola de Papucaia Ltda. A empresa AGREST foi contratada para elaboração do projeto, e em 20 de abril de 1982, a empresa Andrade Gutierrez S.A. foi contratada para execução das obras. As intervenções incluíam obras de construção de diques de proteção contra inundação, drenagem, sistematização e canais de irrigação nos setores A e B (polder), com 290 ha e 820 ha, respectivamente, e em relação aos setores C, D e E e rede viária, o início das obras estariam condicionadas a liberação de recursos adicionais.

Figura 30 – Esquema representativo do estado do Rio de Janeiro, Bacia Guapi-Macacu e o assentamento São José da Boa Morte, Cachoeiras de Macacu/RJ



Fonte: GOMES, 2018.

Em princípio de 1983, as obras e serviços foram paralisados por falta de recursos financeiros e de pagamento, o que resultou em ação pela empresa Andrade Gutierrez em 07 de fevereiro de 1990 contra a União Federal, o INCRA e a Cooperativa Agrícola de Papucaia Ltda. para indenização das obras realizadas e não pagas, conforme documentado no relatório do Superior Tribunal de Justiça (recurso especial n 249.985-RJ, 2000/0021013-7). Até a paralisação, haviam sido concluídos 63 lotes nos setores A e executados grande parte dos serviços relativos ao setor B (estrada principal; desmatamento; dique de proteção; drenagem, etc.). Segundo a construtora, a execução teve como dificuldades a inundação de toda a área pelas enchentes dos Rios Guapiaçu; microrelevos bastante acentuados; faixa de servidão da PETROBRAS, por onde passam um oleoduto e um gasoduto e camadas de turfa que chegavam a nove metros de espessura média, de baixíssimo suporte para construção de diques. No entanto, visto as obras terem sido realizadas pela empresa contrata pela Cooperativa Agrícola de Papucaia, sem contrato firmado com a União, o recurso não foi reconhecido pelo Superior Tribunal de Justiça (STJ) (DJ 19/12/2002, p. 332).

Segundo pesquisa realizada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (1986 apud Paixão, 2000), até 1985 haviam sido abertos 4.310 m de canais de drenagem e 107 km de estradas internas, e identificou-se 141 famílias instaladas. Segundo Giuliani e Castro (1996), a escolha dos assentados pelo INCRA foi feita em 1986, às vésperas

da terra ser entregue junto ao título provisório, e ocorreram dificuldades de instalação visto que o projeto de irrigação e drenagem não havia sido devidamente efetivado, e a terraplanagem havia removido as camadas férteis para construção de estradas e os terrenos foram nivelados com material estéril para o plantio. No entanto, apesar das limitações apontadas pelos assentados, houve a fixação dos mesmos e a pretensão em permanecer no assentamento considerando a vocação agrícola da área e a melhoria da situação com o passar do tempo (BORGES, 2014). A caracterização e destinação do uso do assentamento é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização das glebas do assentamento de São José da Boa Morte segundo a destinação do uso

Gleba	Familiar	Reserva florestal	Área (ha)
A	16	8	424,3
B	63	3	269,7
BIII	45	-	
C	40	-	430,1
E	56	3	404,9
F	57	-	396,0
G	67	2	392,5
Polder IIII	-	-	1.300,0
Rabelo	14	-	6,88

Fonte: INCRA, 1986 apud PAIXÃO, 2000.

O INCRA considerou, a partir de avaliações realizadas em 1999 e 2001, que a Gleba "A" do Assentamento São José da Boa Morte estava implantada, conforme publicação no Diário Oficial da União de 10 de janeiro de 2001. No entanto, alguns assentados não conseguiram a titulação, primeiramente devido aos problemas com as Glebas as B, C, E e Polder III (BORGES, 2014).

Após a implantação do assentamento, há o registro de inúmeras ocorrências de inundações, com registros para os anos de 2000, 2002, 2004, 2005, 2006, 2009, 2010 e 2016, pelo transbordamento do rio Guapiaçu, nos períodos de dezembro a março, levando a perdas de safras e destruição de residências, com danos significativos para a comunidade rural (BORGES, 2014). Segundo entrevista concedida, o representante do INCRA (CORREIO DO BRASIL, 2004) afirma que as inundações ocorreram desde 1997 no assentamento, e que a causa estava associada construção de barragens e de diques sem cumprimento das devidas normas técnicas, além da falta de dragagem de rios e obras nas fazendas limítrofes, que não obedeceram à altura dos diques.

Em decorrência da grave inundação ocorrida em janeiro de 2004, decorrente do rompimento de dique de proteção ocasionado pela enchente do rio Guapiaçu, o município de Cachoeiras de Macacu ajuizou ação junto ao Ministério Público Federal (MPF) contra o INCRA, resultando em Ação Civil Pública (ACP) pelo MPF movida em 04/12/2012 (BRASIL, 2012). O procurador cita estudo hidrológico realizado pela Fundação de Superintendência Estadual de Rios e Lagoas (SERLA) afirmando que a área é muito suscetível a inundações, e aponta que mesmo ciente desta condição, o INCRA não implantou um sistema de drenagem eficiente para viabilizar o assentamento de forma adequada. Segundo documentado na ação, o INCRA firmou convênio com a municipalidade, comprometendo-se a efetuar o repasse dos recursos necessários à reparação dos diques de proteção, o que não veio a ocorrer. Paralelamente, determinou-se a instauração de Inquérito Civil Público oficiando a prefeitura a fim de apurar as condições do assentamento.

Além das obras de drenagem e dos diques de proteção no assentamento, outro fator apontado como causador das inundações é o assoreamento dos corpos hídricos e da falta de manutenção do sistema de comportas a jusante da área do assentamento. Segundo levantamento realizado pela Masterplan (2019), as válvulas retentoras para bloquear a inundação das várzeas não funcionam na parte baixa, pois a calha tem processos de assoreamento dinâmico no tempo, impedindo a sua correta operação (Figura 31).

O sistema de comportas no rio Guapi-Macacu foi instalado e operado pelo extinto DNOS, porém não há informações sobre a localização e do estado de conservação atual do sistema. Além disso, a Medida Provisória nº 151, de 1990, que determinou a sua extinção, quanto na lei dela resultante, Lei nº 8.029/1990, não constam indícios de que as atividades do DNOS tenham sido transferidas, absorvidas ou executadas por outro órgão ou entidade da administração pública federal. Dessa forma, há indefinições sobre a qual órgão compete a manutenção dessas estruturas. Conforme registro de reunião extraordinária do CBH-BG, realizada em 22/11/2018, encaminhou-se a necessidade de resolução do assunto junto a Secretaria de Patrimônio da União (SPU) e ao Arquivo Nacional para levantamento da localização das comportas, e envolvimento do MPF e INEA para tratativas acerca da competência sobre as estruturas.

Figura 31 – Comportas na Bacia do rio Guapi-Macacu



Nota: Comportas instaladas para impedir entrada do refluxo do Macacu sobre planície de inundação do Caceribu.
Fonte: MASTERPLAN, 2019.

Ao mesmo tempo, identificou-se problemas no rebaixamento do nível do lençol freático na área em momentos de estiagem, o que fez com que produtores rurais passassem a construir tanques escavados a fim de se captar água para a irrigação das culturas, conforme registrado por Masterplan (2019), o que demonstra a complexidade dos impactos e danos ambientais promovidos pelas obras e intervenções nos corpos hídricos na região.

III) Vertedouro submerso no canal de Imunana e operação do sistema de captação de adução de água bruta para o sistema Imunana-Laranjal (CEDAE)

Segundo Dantas et al. (2008), o Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, elaborado pela CEDAE em 1988, sugeriu a construção de sete barragens para regularização das vazões afluentes ao canal de Imunana como solução para garantir as vazões necessárias ao atendimento da população, e com base nesses estudos, a CEDAE solicitou a SERLA outorga de direito de uso da água do canal de Imunana, sendo outorgado à CEDAE a vazão de até 9,27 m^3/s. No entanto, segundo os autores, frente a falta de recursos financeiros necessários às obras propostas no Plano Diretor, e a necessidade imediata de acréscimo das vazões tratadas de no mínimo 2,0 m^3/s, obrigou a CEDAE a conceder uma estratégia intermediária, que viria a ser a construção em 1996 de vertedouro submerso no canal de Imunana, a ampliação da estação elevatória, a adequação das adutoras que compõem o sistema adutor e a construção de uma nova ETA, o que viabilizou elevar a vazão de água tratada de 5,0 m^3/s para 7,0 m^3/s (capacidade atual).

Desde sua criação, para gerenciar a redução do nível do canal de Imunana em períodos de estiagem, a CEDAE mobilizou equipes para colocar sacos de areia no canal de Imunana, criando um barramento temporário para que fosse atingido o nível mínimo para a captação de

água, conforme relato de técnicos da companhia (informação verbal[12]). A barragem de nível ou vertedouro submerso foi construída com o propósito de elevar o nível da água para garantir a captação em períodos de estiagem prolongada e impedir a instrução salina (COSTA, 1999).

A SERLA dispensou em 1996 a atividade de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) da implantação da barragem de nível pela CEDAE por se tratarem de melhorias físicas e operacionais para captação de água, sendo a Licença Prévia 028/96 emitida tendo como condicionante (item 5) a apresentação dos estudos listados no momento de requerimento da Licença de Instalação:

> 5.1. Plano de monitoramento ambiental a ser implantado antes, durante e após a construção da barragem;
> 5.2. Registro diário de níveis de água na extremidade do canal adutor junto à barragem existente;
> 5.3. Registro diário de níveis de água, cerca de 100 (cem) metros antes da futura barragem;
> 5.4. Mediação feita através de poços piezométricos, em locais a serem determinados pela CEDAE;
> 5.5. Implantação de curva chave a montante do barramento futuro, na calha fluvial do Imunana e a montante do canal adutor, junto à tomada d'água e a jusante do mesmo, em locais a serem definidos pela CEDAE;
> 5.6. Batimetria a montante e a jusante do futuro barramento, em locais a serem definidos pela CEDAE;
> 5.7. Batimetria na foz do Canal de Imunana, em área do manguezal;
> 5.8. Medição de vazão sólida em suspensão no Canal de Imunana, em posto pluviométrico a montante do barramento, em local a ser definido pela CEDAE;
> 5.9. Amostragem do material sólido de arrastamento e análise granulométrica do mesmo no final de cada período de estiagem e chuvoso, a montante da barragem, em locais a serem definidos pela CEDAE;
> 5.10. Os efeitos que advirão para os manguezais na foz do Canal do Imunana, na Baía de Guanabara em caso de vazão mínima de estiagem, de ordem 8 a 9m3/s, para vazão máxima de captação de 7 m^3/s;
> 5.11. Níveis d'água imediatamente a jusante do barramento, através do posto fluviométrico, com o fim de caracterizar a maré, em local a ser definido pela CEDAE; (MPRJ, 2017, p. 24).

No entanto, a CEDAE executou a implantação da barragem submersa sem a Licença de Instalação (LI), que chegou a propor medidas compensatórias (Oficio CEDAE 0134/99), as quais acabaram não sendo executadas (MPRJ, 2017). Em 2011, após a entrega de Relatório Ambiental Simplificado pela CEDAE ao INEA, foi emitida a Licença de Operação (LO) IN024701 da operação do sistema de captação e adução de água bruta em 26/09/2013, com validade até 26/09/2017.

Em 12/09/2017, com base no inquérito instaurado em 1998, foi proposto pelo MPRJ a Ação Civil Pública (ACP) (processo n° 0236902-67.2017.8.19.0001) contra a CEDAE e o

[12] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

INEA acerca do processo de renovação de licença de operação, alegando existência de omissões de avaliação de impactos relevantes e violações positivas de condicionantes previstas na LO a ser renovada. Segundo o MPRJ, as condicionantes 8, 9, 11, 12, 13 e 14 da LO, transcritas abaixo, não haviam sido cumpridas até setembro de 2017:

> 7. Realizar a manutenção periódica nas comportas que desembocam no canal de Imunana, desobstruindo-as, permitindo, dessa forma, a circulação contínua da água;
> 8. Replantar pontos às margens do canal onde há interferência de diques e comportas afim de recompor a biodiversidade e manter a preservação da qualidade da água captada para consumo humano;
> 9. Realizara dragagem periódica nos seguintes trechos: a- 100m a montante da barragem de nível; b- No desvio denominado complexo Imunana-Laranjal;
> 10. Promover a retirada dos resíduos provenientes da dragagem, utilizando os serviços de empresas licenciadas pelo INEA para essa atividade, mantendo os comprovantes à disposição da fiscalização;
> 11. Apresentar Programa de Monitoramento da Ictiofauna, no prazo de 120 dias;
> 12. Apresentar Projeto de Sistema de Transposição de Peixes (STP), no prazo de 120 cento e vinte) dias;
> 13.Apresentar os possíveis impactos na ictiofauna provenientes da operação do empreendimento e suas medidas mitigadoras, no prazo de 120 (cento e vinte) dias; [...] (INEA, 2013 apud MPRJ, 2017, p. 25).

Além do descumprimento das condicionantes, a ACP apontou falhas no licenciamento e emissão da LO IN024701, apontando a ausência da participação e de manifestação do ICMBio no processo de licenciamento, considerando o relevante impacto da captação sobre o ecossistema, situado a jusante da intervenção.

Dentre os danos ecológicos com a instalação do vertedouro submerso e operação do sistema de captação de adução de água bruta para o sistema Imunana-Laranjal apontados pela ACP, cabe destacar:

> a) a alteração da velocidade de escoamento do curso d'água, contribuindo para o arrasto de sedimentos e aumento de assoreamento, como decorrência da implantação da barragem;
> b) modificações no regime fluvial, com agravamento do assoreamento do curso d'água, formando-se de bancos de areia ao longo do corpo hídrico e na desembocadura na Baía de Guanabara, em consequência da deposição de sedimentos;[...]
> d) desequilíbrio sazonal gerado pela implantação da barragem, decorrente das acentuadas variações de vazões nos períodos de altas e baixas pluviosidades, gerando alterações à salinidade do curso d'água;
> e) diminuição do aporte de água doce ao ecossistema manguezal, aumentando a salinidade do ambiente do Rio Guapimirim a jusante da barragem, podendo levar a sinais de estresse, como aumento do gasto energético, impedindo que o mangue atinja seu pleno desenvolvimento;
> f) salinização do Rio Guapimirim a jusante da barragem, com alterações na distribuição das espécies de peixes neste trecho do rio;
> g) impossibilidade da migração reprodutiva de algumas espécies, levando a diminuição do estoque pesqueiro na Baía de Guanabara;
> h) alteração da vazão ecológica do curso d'água, ocasionando interferência na manutenção do crescimento e reprodução das espécies piscícolas. (MPRJ, 2017, p. 40-41).

Em relação aos itens “a” e “b”, relato de técnicos da CEDAE em Benavides et al. (2009), corroboram que a barragem traz impactos no assoreamento do leito do canal, ao diminuir a velocidade das águas do canal e provocar a decantação de materiais sólidos em suspensão, e apontaram como necessárias dragagens periódicas tendo em vista desassorear o leito do canal a montante da barragem. Segundo relato de funcionários da CEDAE (informação verbal)[13], o rio Guapi-Macacu encontra-se totalmente assoreado no local de captação, com muitas áreas com menos 30 cm de profundidade e em alguns trechos com formação de ilhas de sedimentos. Foram observados a intensificação do assoreamento da calha a partir de 2008, em decorrência da instalação do COMPERJ, que trouxe uma quantidade elevada de sedimentos para a bacia. Em novembro de 2019, a CEDAE havia finalizado o estudo e projeto técnico para dragagem num trecho de 100 m do rio a montante da soleira submersa, conforme previsto e em atendimento a condicionante da LO e as exigências da ACP (processo n° 0236902-67.2017.8.19.0001), e estava aguardando a emissão de LO pelo INEA. Por fim, estima-se que a dragagem promova a retirada de cerca de 20 mil m^3 de sedimentos da calha do canal de Imunana, o equivalente a 35 mil toneladas de material seco, de modo que esse trecho volte a ter 5 metros de profundidade.

Em relação aos impactos da barragem e da captação de água aos ecossistemas da APA Guapimirim vide itens “d”, “e”, “f”, “g” e “h”, há consenso sobre a importância da manutenção de vazão ecológica afim de minimizar os impactos sobre os manguezais, conforme depoimento de funcionários da CEDAE e do ICMBio (informação verbal)[14]. Segundo gestor da APA Guapimirim, no momento da emissão da LO, não haviam estudos que subsidiassem a definição das vazões defluentes mínimas na barragem de Imunana para garantir a manutenção da vazão ecológica do curso d’água para preservação dos ecossistemas e manguezais. A autorização para o licenciamento ambiental (ALA) do ICMBio do COMPERJ pelo INEA requereu, dentre as condicionantes, a elaboração de estudo de vazão ecológica. O estudo foi contratado pela Petrobrás e elaborado pelo Laboratório de Geofísica da Universidade Federal Fluminense (UFF), e está em fase de análise e revisão pelo ICMBio, sendo de fundamental contribuição para que existam subsídios técnicos para futura revisão da outorga e da licença de operação do sistema contemplando o atendimento da demanda para proteção dos ecossistemas.

[13] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

[14] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019; e entrevista realizada com funcionário do ICMBio e gestor da APA Guapimirim, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.

Apesar da outorga ser de até 9,27 m^3/s, a vazão de entrada atual no canal de Imunana é de 7 m^3/s, e representa a vazão máxima que pode ser retirada do sistema, visto que volumes maiores podem comprometer a vazão ecológica da região. No entanto, durante o período de seca, já foram verificadas vazões inferiores à capacidade hoje instalada de 7,0 m^3/s (DANTAS et al., 2008), e segundo depoimento de funcionário do ICMBio (informação verbal[15]), em momentos de estiagem praticamente não verte água doce do canal de Imunana a jusante da barragem, e bombas operadas pela CEDAE transpõem água doce do rio Guapimirim para o canal de Imunana, reduzindo ainda mais o aporte de água doce para os manguezais, o que traz um impacto significativo ao ecossistema. Na estiagem de 2017, gestores do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) manifestaram publicamente alerta quanto a gravidade da crise hídrica frente aos níveis muito baixos de vazão e à retirada quase integral da água do rio Guapi-Macacu para o canal de Imunana, provocando a intrusão salina nos rios Caceribu e Guapi-Macacu e colocando em risco o equilíbrio dos manguezais e ecossistemas aquáticos na Estação Ecológica (ESEC) Guanabara e na APA Guapimirim, conforme notícia veiculada no jornal o Globo (PAULA, 2017).

No que se refere à fauna aquática, segundo funcionário da CEDAE em Benavides et al. (2009), haveria um outro desvio do rio, que faz a ligação com a foz, por onde os peixes poderiam passar subindo do manguezal em direção ao rio. No entanto, segundo depoimento de funcionário do ICMBio (informação verbal[16]), até o momento não foi providenciado um sistema de transposição de peixes na barragem submersa, apesar de previsto condicionante da LO emitida pelo INEA em 2013. No ano de 2015, relatou ainda que medidores de salinidade instalados na altura da barragem de Imunana pela UFF identificaram que a cunha salina chegou até a barragem submersa, e foi observada a mortandade de peixes de água doce de maior porte, como pacu e tambaqui, na altura da barragem, visto que não conseguirem transpor a barreira física e ficarem presos em água salobra, reforçando a importância do cumprimento da condicionante.

Ainda na ACP, há o registro de danos socioeconômicos com a instalação do vertedouro submerso, conforme reivindicação de representantes da Associação de Moradores e Trabalhadores de Agro Vila Bonanza e São José da Boa Morte Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Cachoeiras de Macacu, que relataram que a barragem foi responsável pelo

[15] Entrevista realizada com funcionário do ICMBio e gestor da APA Guapimirim, Rio de Janeiro, em 17/12/2019.

[16] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019; e entrevista realizada com funcionário do ICMBio e gestor da APA Guapimirim, Rio de Janeiro, em 17/12/2019.

agravamento das inundações, que passaram a ser mais frequentes após sua instalação, em 1996. No entanto, não há evidências claras ou relação de causa e efeito do impacto da barragem submersa sobre as cheias. Conforme relato de técnico da CEDAE em Benavides et al. (2009), a barragem não armazena água nem interfere no nível do lençol freático, portanto, não infere diretamente na dinâmica das cheias. No âmbito da ACP, a CEDAE se manifestou que não há relação causa/efeito entre a existência da barragem/soleira no ponto da captação da CEDAE naquele Canal de Imunana, e que as inundações das propriedades rurais ali instaladas ocorrem há muitas décadas antes de sua instalação (Agravo de instrumento 0049074-91.2018.8.19.0000 - PJERJ, 2019). Os problemas nas obras de drenagem realizadas na região pelo INCRA e DNOS, a falta de manutenção e dragagem dos canais e estruturas e a alta susceptibilidade da região a inundações parecem ser fatores causais de maior relevância e relativo consenso na literatura sobre o problema em questão.

Em suma, evidencia-se a existência de impactos provocados em função da instalação da barragem submersa e da operação do sistema Imunana-Laranjal, no entanto, esses impactos podem vir a ser mitigados mediante o cumprimento e atendimentos das condicionantes do licenciamento e das recomendações da ACP supramencionadas.

IV) Barragem do rio Guapiaçu (proposta)

Uma nova interferência proposta para o atendimento da demanda pelo uso da água do sistema Imunana-Laranjal é a barragem no rio Guapiaçu, tratada em maiores detalhes no item 4.2.1.2.6. Alternativa proposta para o atendimento do déficit atual e a demanda futura, o projeto poderá trazer novos impactos para a dinâmica fluvial da Bacia do rio Guapi-Macacu, já intensamente modificada.

Segundo Christofoletti (1990), qualquer modificação no canal fluvial rompe com sua condição estável, repercutindo de imediato nas condições de erosão, transporte e deposição até chegar a uma nova condição de equilíbrio. Segundo o EIA do projeto (AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2015), os impactos esperados a jusante do empreendimento são a alteração da qualidade das águas a jusante da barragem, em função da diminuição do fluxo do rio pelo desvio das águas e pelo barramento, reduzindo a capacidade de diluição e autodepuração do rio Guapiaçu; e a alteração na composição do fitoplâncton, que podem reduzir o teor de nutrientes e oxigênio, e portanto, afetar a qualidade das águas.

O documento, no entanto, não abordou os impactos decorrentes das modificações nos padrões e fluxo do canal a jusante, como o reajustamento na morfologia do canal pela migração

dos setores de erosão e sedimentação e modificações na dinâmica da foz, e da sinergia do empreendimento com os problemas existentes. Além disso, o EIA e o RIMA não contemplaram a APA Guapimirim e a ESEC Guanabara na área de influência indireta do empreendimento. Dessa forma, não são claros de que forma a alteração no regime hidrológico da bacia, em termo quantitativos ou qualitativos, pode impactar os manguezais, especialmente no que se refere a maior ou menor dulcificação de trechos dos rios, alterações ou deslocamentos na cunha salina e modificações nos períodos sazonais de alagamentos.

4.2.1.1.4 Estressor "Carga poluidora"

O lançamento de esgoto doméstico *in natura* e poluentes difusos de origem agropecuária constituem as duas principais fontes de poluição na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Os índices relacionados aos serviços de esgoto[17] foram obtidos para os municípios que integram o território da Bacia do rio Guapi-Macacu, nos quais os lançamentos de efluentes domésticos sem tratamento promovem a degradação na qualidade de água dos corpos hídricos. (Tabela 5).

Tabela 5 – Índices de atendimento, coleta e tratamento de esgoto para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim

Município	**Prestador de Serviço**	**Local de atendimento**	**Pop residente total (hab)**	**Pop. residente urbana (hab)**	**Índice de atendimento total de esgoto (%)**	**Índice de coleta de esgoto(%)**	**Índice de tratamento de esgoto (%)**	**Carga orgânica poluidora doméstica gerada (kg.DBO$_{5,20}$/dia)**
		GE020	**GE12a**	**GE06a**	**IN056**	**IN015**	**IN016**	**-**
Cachoeiras de Macacu	AMAE	Ambos	58.560	50.652	🟠54,6	🟠66,8	🔴0,0	2.735,2
Guapimirim	PMG	Ambos	59.613	57.602	🔴46,0*	🔴46,0*	🔴0,0*	12.736,1
Itaboraí	CEDAE	Sede Municipal	238.695	235.853	🔴34,7	🔴44,1	🔴5,91	3.110,5
	Total		356.868	344.107	NA	NA	NA	18.581,8

Legenda:

IN056, IN015 e IN016	Classificação
< 50%	🔴 Ruim
≥ 50% e < 90%	🟠 Regular
≥ 90%	🟢 Bom

[17] Dentre os índices analisados, o índice de atendimento de esgoto representa o percentual da população total com abastecimento de água atendida com esgotamento sanitário; o índice de coleta de esgoto é obtido pela razão entre o volume de esgoto coletado em relação ao volume consumido; e o índice de tratamento de esgoto é obtido pela razão entre volume de esgoto tratado em relação ao volume coletado.

Nota: Dados obtidos no SNIS (2019). *Dados ausentes no SNIS e obtidos no PMSB - Água e Esgoto de Guapimirim, 2013. Valor de referência para classificação de CRHi (2010). N/A: não se aplica. AMAE – Autarquia Municipal de Água e Esgoto de Cachoeiras de Macacu. PMG – Prefeitura Municipal de Guapimirim.
Fonte: A autora, 2020.

Os índices de atendimento e coleta de esgoto para os municípios da bacia, de modo geral, são baixos. O município de Cachoeiras de Macacu apresenta valores regulares (54,6% e 66,8%), e Itaboraí e Guapimirim apresentam valores ruins, inferiores a 50%. O índice de tratamento de esgoto é praticamente nulo na região. Os resultados obtidos constatam que praticamente todo o esgoto gerado é lançado sem tratamento nos corpos hídricos da bacia, sendo necessário medidas urgentes para a ampliação dos serviços e o atingimento de índices aceitáveis.

De modo a estimar a carga orgânica poluidora doméstica gerada pela população urbana e lançada nos corpos hídricos pelos municípios que integram a Bacia do rio Guapi-Macacu, considerou-se a metodologia da CETESB (2018), na qual adota-se o valor de referência de produção de 54 g de $DBO_{5,20}$ por habitante e multiplica-se o valor pela população urbana do município [18], resultando na estimativa de carga orgânica poluidora doméstica gerada de 18.581,8 kg.$DBO_{5,20}$/dia para os três municípios. Cabe ressaltar que a bacia recebe majoritariamente aporte de esgoto doméstico do município de Cachoeiras de Macacu, cuja estimativa de carga orgânica poluidora doméstica gerada é de 2.735,2 kg $DBO_{5,20}$/dia, considerando que o rio Macacu margeia os principais núcleos urbanos na bacia, ou seja, a sede municipal de Cachoeiras de Macacu e os bairros de Japuíba e Papucaia. O rio Iconha corta parte da sede municipal de Guapimirim, porém não é possível inferir a proporção de efluente doméstico do município destinado a este corpo hídrico. A bacia abrange parte do distrito de Sambaetiba, em Itaboraí, que está inserida em bacia de esgotamento, e possui população inferior a 11 mil habitantes, segundo o Plano Municipal de Água e Esgoto do município de Itaboraí (BIORIO, 2014).

A carga orgânica poluidora doméstica remanescente, ou seja, que efetivamente chega aos corpos hídricos, é obtida pela soma da carga orgânica não coletada e da carga orgânica que o tratamento não reduziu, no entanto, não foi possível estimar esse dado mediante a ausência de dados sobre o grau de eficiência do tratamento do município de Itaboraí, único município que possui de tratamento de esgoto (5,91%). Considerando os percentuais irrisórios de coleta e

[18] Segundo CETESB (2018), a Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbica para uma forma inorgânica estável, em um período de 5 dias, a 20° Celsius. Altas cargas de DBO podem deplecionar o oxigênio da água e possibilitar a proliferação de microrganismos tóxicos e/ou patogênicos.

tratamento, entende-se que a carga orgânica poluidora lançada nos corpos hídricos é próxima a carga orgânica poluidora gerada.

Os índices relacionados aos serviços de coleta de resíduos sólidos foram obtidos para os municípios que integram o território da Bacia do rio Guapi-Macacu, nos quais a destinação inadequada de resíduos pode contaminar as águas superficiais e subterrâneas. O indicador de cobertura de serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares considera somente o resíduo de origem domiciliar, ou seja, residências, estabelecimentos comerciais e estabelecimentos de serviços de pequeno porte.

Todos os municípios da bacia apresentam taxas satisfatórias de coleta de resíduos urbanos, com valores superiores a 95%. Os resíduos são destinados para o aterro sanitário "Centro de Gerenciamento de Resíduos de Itaboraí", em operação desde 2007, é responsável pelo processamento de Resíduos Sólidos dos municípios de Guapimirim, Cachoeiras de Macacu, Maricá, Rio Bonito, Tanguá e Itaboraí (Tabela 6).

Tabela 6 – Índices de cobertura de coleta de resíduos sólidos urbanos para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim

Município	**Prestador de Serviço**	**População residente total (hab.)**	**População não atendida pelo serviço de coleta (hab.)**	**Taxa de cobertura do serviço de coleta em relação à pop. total (%)**	**Quantidade total de resíduos coletados (ton./ano)**
		GE12a		**IN015**	**Co119**
Cachoeiras de Macacu	AMAE	58.560	2.928	●95,0	12.900
Guapimirim	Prefeitura Municipal de Guapimirim	59.613	8.116	●96,6	4.632
Itaboraí	Secretaria Municipal de Serviços Públicos	238.695	596	●99,0	56.943
Total		356.868	11.640	●97%	74.475

Legenda:

IN015	Classificação
< 50%	● Ruim
≥ 50% e < 90%	● Regular
≥ 90%	● Bom

Nota: Dados obtidos no SNIS (2019). Autarquia Municipal de Água e Esgoto de Cachoeiras de Macacu (AMAE).
Fonte: A autora, 2020.

Cabe ainda mencionar a existência de instalações e atividades agropecuárias como potenciais fontes de poluição difusa, importante atividade econômica da região. A atividade agropecuária representa mais de um quarto da área total da bacia. As áreas de pastagens ocupam cerca de 30.000 hectares (27,6% do total) e as áreas agrícolas aproximadamente de 5.000

hectares (5%) da bacia, concentrados nos vales e planícies de inundação dos rios Guapiaçu e Macacu.

Dentre as instalações existentes, cabe destaque para a criação de porcos e de peixes ornamentais em escala industrial (mecanizada) no rio Guapiaçu. Em 2009, foi identificado um grande produtor na região em Cachoeiras de Macacu, a piscicultura Mario Porto, cuja propriedade tem produção estimada de 1 milhão de peixes por ano, uma área de 3,5 ha de espelho d'água com captação de 50 l/s no rio do Estreito, e que arrenda outras 2 pisciculturas no município (UFF/FEC, 2010).

Outra importante carga poluidora que compromete a qualidade da água é o aporte de nutrientes e de sedimentos na rede de drenagem relacionados à ausência de cobertura florestal e a práticas agropecuárias inadequadas de manejo da água e do solo, especialmente em áreas de maior suscetibilidade a erosão, como encostas e áreas de preservação permanente. Conforme caracterizado e exposto no item "estressor Processos erosivos", estimou-se a produção de 63.815 toneladas de sedimentos por ano que atinge a rede de drenagem da bacia.

Segundo o Censo Agropecuário 2017 do IBGE (2019), no total de 2.847 estabelecimentos agropecuários dos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí, mais de um quarto ou 25,2% (641) dos estabelecimentos declararam que utilizam agrotóxicos, mais da metade ou 55,9% (1.253) não realiza nenhuma prática de adubação, e 24,9% (709) utiliza adubação química ou adubação química e orgânica (Tabela 7).

Tabela 7 – Número de estabelecimentos agropecuários e uso de agrotóxicos e adubação química e orgânica

Município	**Número de estabelecimentos agropecuários (unidades)**						
	Total	**Utiliza agrotóxicos**		**Não faz adubação**	**Faz adubação química**	**Faz adubação orgânica**	**Faz adubação química e orgânica**
		Sim	**Não**				
Cachoeiras de Macacu	2.154	641	1.510	1.253	283	284	331
Guapimirim	245	28	213	132	10	73	26
Itaboraí	448	63	385	280	38	109	21
Total	**2.847**	**716**	**2.108**	**1.665**	**331**	**466**	**378**

Nota: Censo Agropecuário 2017.
Fonte: IBGE, 2019.

Segundo pesquisa realizada em 40 propriedades rurais no município de Cachoeiras de Macacu por Castro e Confalonieri (2005), constatou-se que o uso de agrotóxicos era difundido, e geralmente sem a correta aplicação dos produtos, e controle e descarte de resíduos. Dentre os resultados do estudo, 92,5% dos entrevistados afirmaram utilizar agrotóxicos, sendo os produtos mais citados o inseticida Decis 25 CEl, o herbicida Gramoxone, o fungicida Manzate,

o inseticida Tamarom BR, todos extremamente tóxicos, e o herbicida Roundup (glifosato). Cerca de 22,5% dos produtores reportaram já terem sido intoxicados por agrotóxicos, 27,5% afirmaram jogar as embalagens dos produtos no rio ou no mato, cerca de 60% de entrevistados nunca foram treinados para manusear agrotóxicos e 85% deles afirmaram não necessitar de receituário agronômico para comprá-los. Apesar da defasagem do estudo, realizado em 1997, e da necessidade de atualização do diagnóstico do uso dos agrotóxicos na bacia, a dimensão do uso e do impacto sobre a qualidade da água é um aspecto de preocupação.

Há ainda algumas atividades industriais e de extração mineral potencialmente poluidoras, com cadastro ou outorga para lançamento de efluentes na bacia. Segundo a base de dados do cadastro de usuários de recursos hídricos (INEA, 2019c), o rio Macacu recebe lançamentos de efluentes da fábrica de bebidas da AMBEV e da planta de tratamento de resíduos e efluentes da Action Shop, além da Maranata Mineradora, através do rio Batatal de Baixo. O rio Guapiaçu, por sua vez, recebe lançamentos da Onitauá Mineradora Ltda e da Parahy Mineradora Ltda., por meio do Rio Rabelo. O rio Iconha recebe os lançamentos da Indústria de Papel e Embalagens Cibrapel, através do rio Soberbo. A Tabela 8 apresenta os valores de vazão de lançamento outorgada e carga de DBO bruto e tratado, em mg/l.

Tabela 8 – Outorgas concedidas para lançamento de efluentes de atividades industriais na região

Empresas com outorga para lançamento	**Corpo hídrico**	**Vazão de lançamento outorgada (l/s)**	**DBO Bruto** (mg/L)	**DBO tratado** (mg/L)	**Fósforo bruto** (mg/L)	**Fósforo tratado** (mg/L)
Onitauá Mineradora Ltda.	Rio Rabelo	0,3	150	150	-	-
Maranata Mineradora Comércio e Industria Ltda. Me	Rio Batatal de Baixo	0,6	150	150	-	-
Action Shop Tratamento de Resíduos LTDA	Rio Macacu	6,9	350	15	-	-
Parahy Mineradora Ltda.	Rio Rabelo	0,3	150	150	-	-
Cibrapel Indústria de Papel e Embalagens S/A	Rio Socavão (Rio Soberbo)	11,1	3500	30	0	0
AMBEV S.A.	Rio Macacu	60,0	1300	40	10	1

Nota: Consulta a base dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) realizada em 11 de dezembro de 2019.

Fonte: INEA, 2019c.

A região apresenta alto potencial de extração mineral, conforme observado nos processos de requerimentos de exploração na base de dados do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) (DNPM, 2019). Este potencial de geração de riqueza se aproveita das reservas aluviais de sedimentos no interior das planícies de inundação, jazidas de saibro e água mineral. Segundo Wilkinson et al. (2012), as principais áreas de extração de areia nas bacias do Guapi-Macacu ocorrem nos rios Guapiaçu e Macacu, em Cachoeiras de Macacu.

As extrações de areia em leito de rio ocorrem de forma industrial ou artesanal: no caso do primeiro, se processa por meio de bombas de sucção, com motores a diesel, montadas sobre balsas flutuantes, e no caso de extrações artesanais, em remansos e poços com condições propícias à deposição de areia, com uso de pás e mulas, geralmente de forma clandestina. Segundo os autores, a extração de saibro, por sua vez, atende às necessidades locais e momentâneas, para obras públicas e construção civil, com o decapeamento de elevações próximos às áreas urbanas, em geral sem projeto adequado.

Conforme a base de dados do Registro Mineral do DRM-RJ (2019)[19], há apenas o registro de 3 empresas de extração de areia e uma empresa de extração de saibro na bacia, de modo que se encontram inativas, segundo o DRM (Quadro 14). Apesar do município de Itaboraí se destacar pela extração de brita e argila e abrigar o 2º maior polo cerâmico no estado (DRM-RJ, 2014), as atividades encontram-se localizadas na bacia do rio Caceribu, portanto, fora da área de estudo.

Quadro 14 – Empresas de extração mineral na Bacia do rio Guapi-Macacu

Município	**Empresa**	**Extração Mineral**	**Status**	**Localização**	
				x	**y**
Cachoeiras de Macacu	Fazenda Santo Estevão Empreendimentos e Turismo Ltda	Areia	Inativa	735438	7513682
	Mineradora de Saibro Irmãos Nogueira Ltda.	Saibro	Inativa	730860	7493447
	Mineração e Comércio Paraíso Ltda.	Areia	Inativa	733899	7519585
	Cristal Transportadora e Distribuidora Ltda. ME	Areia	Inativa	746050	7506354

Nota: Relatório Mineral 2018.
Fonte: DRM-RJ, 2019.

Observa-se a exploração clandestina de areia e outros tipos de minérios (INEA, 2017c; G1, 2018), assim como de cascalho e material para revestimento de vias vicinais, sendo constatado *in loco* jazidas e cavas abandonadas sem nenhuma medida de recuperação. Segundo levantamento de campo no EIA da barragem no rio Guapiaçu, identificou-se nove propriedades que exploram areia na área diretamente afetada pelo empreendimento, das quais apenas uma informou ter autorização ambiental (AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2015). Na bacia do rio Guapiaçu, na localidade do Vecchi, destaca-se a existência de extração

[19] O Departamento de Recursos Minerais (DRM-RJ), órgão responsável pela política mineral do Estado do Rio de Janeiro, regulamenta a certificação das áreas das empresas que exploram e/ou beneficiam recursos minerais no Estado do Rio de Janeiro, tais como a produção de água mineral e extrações de areias, argilas, saibro e fluorita, constituindo requisito para licenciamento ambiental junto ao Instituto Estadual do Ambiente – INEA. A base de dados de Registro Mineral foi instituída pela Resolução SEFCON nº 2.861/97 e sua Portaria DRM-RJ nº 137/17.

mineral com grandes cavas abandonadas, passivo ambiental que afeta importantes áreas de recarga na porção alta da bacia, e que constitui foco de poluição e contaminação das águas subterrâneas (MASTERPLAN, 2019).

4.2.1.1.5 Qualidade da água

I) Monitoramento

A qualidade da água bruta na bacia é monitorada por diversas estações distribuídas no seu território pelas concessionárias de abastecimento (AMAE e CEDAE) e pelo INEA. A seguir, são apresentados e analisados os dados referentes a qualidade de água dos pontos de monitoramento na Bacia do rio Guapi-Macacu pelos órgãos oficiais.

No entanto, há limitação da base de dados analisada, como ausência de regularidade e baixa frequência de amostragem nas estações de qualidade de água do INEA, apresentando significativa lacuna de amostras para determinados anos e semestres (Quadro 15). Apesar da obrigatoriedade da divulgação e disponibilização dos dados, a CEDAE não disponibiliza a série histórica completa do monitoramento da qualidade de água bruta, portanto, a análise limitou-se aos dados disponíveis no website da companhia, limitada ao ano de 2018. Não foi possível obter dados da AMAE. Dessa forma, projetos e estudos relacionados à coleta de dados e análise de parâmetros de qualidade de água na bacia, sistematizados no Quadro 15, foram analisados de forma a complementar e enriquecer a discussão sobre os resultados.

Quadro 15 – Base de dados e estudos consultados para análise dos parâmetros de qualidade de água na Bacia do rio Guapi-Macacu

Fonte do dado	Horizonte temporal	Pontos	Frequência	Indicadores / parâmetros analisados
Projeto Macacu (UFF/FEC, 2010)	2008-2009	4	Mensal	Condutividade, pH, OD, DBO, turbidez e carbono orgânico, coliformes totais, clorofila a, fosfato, N amoniacal, NO_2, NO_3, P total, temperatura,
Paiva et al. (2011)	2010-2011	3	Bimensal	Sólidos totais, suspensos e dissolvidos
Pereira et al. (2017)	2014	11	Único	Ânions, Cátions, Metais pesasos e IQA
INEA (2019d)	2012-2019	4	Variável	IQA
CEDAE (2019b)	2018	1	Semestral	Parâmetros Resolução CONAMA n° 357/05

Fonte: A autora, 2020.

II) Índice de Qualidade das Águas - IQA

O Índice de Qualidade de Água (IQA_{NSF}), criado pela *National Sanitation Foundation* (NSF) é gerado a partir do produtório ponderado do valor de qualidade de 9 parâmetros, elevadas ao seu respectivo peso, sendo o valor final classificado em 5 faixas. O INEA, responsável pelo monitoramento da qualidade das águas, publica e disponibiliza em seu portal os dados brutos e os boletins semestrais por Região Hidrográfica. Foram analisados os dados de 2012 a 2019 de quatro estações de monitoramento situadas na Bacia do rio Guapi-Macacu, vide Quadro 16.

Quadro 16 – Estações de Qualidade de água na Bacia do rio Guapi-Macacu

ID	Corpo hídrico	Referência
MC965	Rio Macacu	Ponto situado em Boca do Mato, em Cachoeiras de Macacu (porção alta da bacia), a montante da sede municipal
MC967	Rio Macacu	Ponto situado na área urbana de Japuíba, em Cachoeiras de Macacu (porção média da bacia), e a jusante da sede municipal
GP601	Canal de Imunana	Ponte na tomada d'água da ETA do Laranjal (porção baixa da bacia) e a jusante da área do COMPERJ.
GP600	Canal de Imunana	Estrada Rio-Magé, 6 km a jusante do ponto de captação da ETA Laranjal, após confluência com rio Guapimirim (porção baixa da bacia)

Fonte: INEA, 2019d.

A Tabela 9 e a Figura 32 sintetizam os resultados do IQA de 2012 a 2019. A qualidade da água variou entre bom e regular, com predominância de amostras na classe regular. No entanto, há registros para todos os pontos de amostras com qualidade ruim, ou seja, inapropriada para o tratamento convencional para o abastecimento público, com exceção do ponto MC965, e com maior ocorrência no ponto GP600. Todas as amostras com a qualidade ruim foram registradas nos meses de janeiro e março, ou seja, na estação chuvosa, e um registro em maio. Identificou-se maior comprometimento dos parâmetros DBO, fósforo total e coliformes termotolerantes, que de modo geral, estão relacionados com aporte de esgoto doméstico sem tratamento.

O ponto MC965 apresentou o maior valor de $IQA_{média}$ para todo o período de monitoramento, o que pode ser associado a localização do ponto na parte mais alta da bacia, com maior percentual de cobertura florestal e sob menor influência de esgoto doméstico a montante. O ponto GP600 apresentou o pior valor de $IQA_{média}$, o que pode estar relacionado à influência e contribuição do rio Guapimirim, que recebe significativo aporte de efluentes da sede urbana.

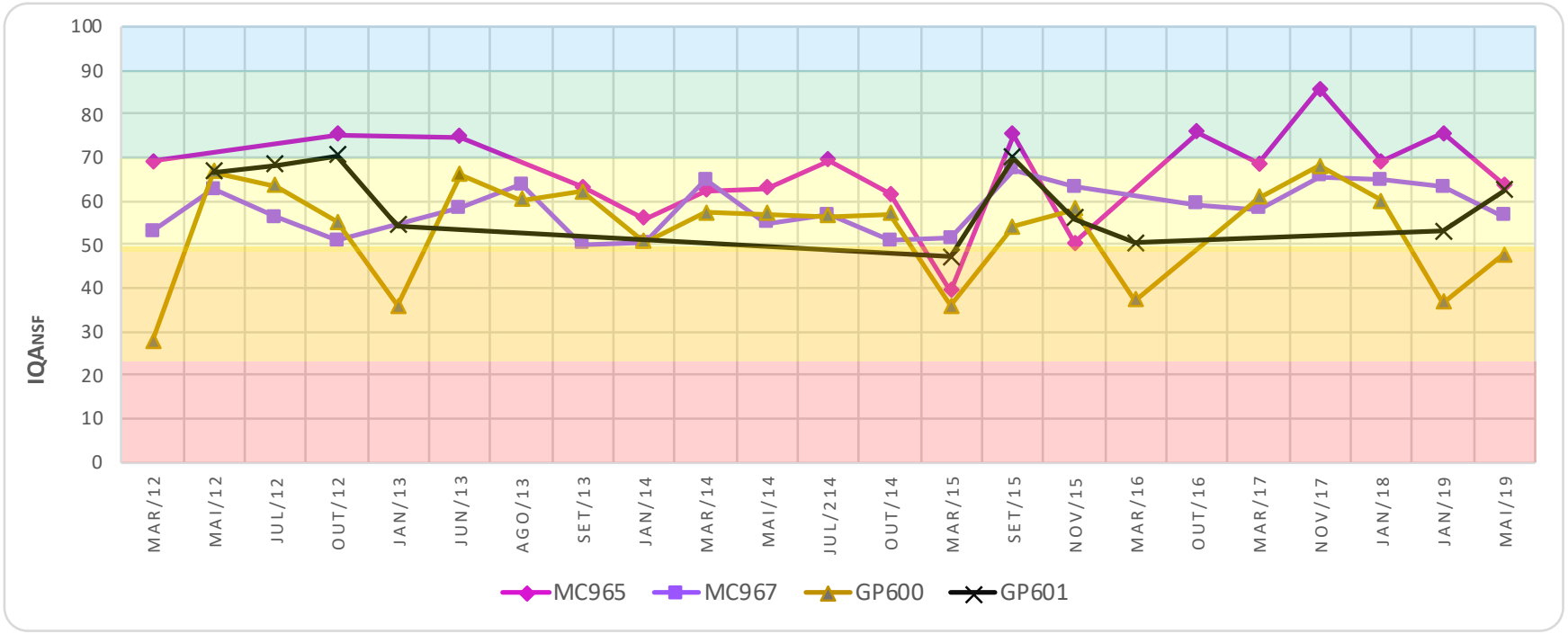
Tabela 9 – Dados brutos do IQA_{NSF} (2012-2019) para as estações nos rios Macacu e Guapi-Macacu

Estação	2012				2013				2014					2015			2016		2017		2018	2019		IQA_{NSF}
	mar	mai	jul	out	jan	jun	ago	set	Jan	mar	mai	jul/ago	out	mar	set	nov	mar	out	mar	nov	jan	Jan	mai	média
MC965	69,2			75,2		74,8		63,3	55,9	62,3	63,0	69,3	61,5	39,3	75,3	50,4		75,8	68,7	85,8	69,2	75,6	63,7	66,6
MC967	52,9	62,6	56,2	50,9		58,4	63,8	50	50,3	64,9	54,9	56,7	51,0	51,5	67,2	63,3		59,1	58,0	65,7	64,8	63,2	56,4	58,2
GP600	27,9	66,6	63,5	55,3	35,8	66,2	60,2	62,1	50,7	57,3	57,1	56,6	57,0	35,9	54,21	58,1	37,2		60,7	68,1	60,1	36,8	47,6	53,4
GP601		66,8	68,3	70,4	54,4									47,1	69,9	56,1	50,3					53,1	62,3	59,9

Categoria	EXCELENTE	BOA	MÉDIA	RUIM	MUITO RUIM
IQA_{NSF}	100 ≥ IQA ≥ 90	90 > IQA ≥ 70	70 > IQA ≥ 50	50 > IQA ≥ 25	25 > IQA ≥ 0
Significado	Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público			Águas impróprias para tratamento convencional visando abastecimento público, sendo necessários tratamentos mais avançados	

Fonte: INEA, 2019d.

Figura 32 – Variação do IQA_{NSF} para as estações nos rios Macacu e Guapi-Macacu entre 2012 e 2019



Fonte: INEA, 2019d.

III) Conformidade dos parâmetros de qualidade de água em relação ao enquadramento dos corpos hídricos

A Resolução CONAMA nº 357/2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, estabelecendo padrões de qualidade das águas através do uso de limites individuais para diferentes substâncias. O enquadramento estabelece o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo, assegurando a qualidade compatível com os usos mais exigentes e das necessidades estabelecidas pela sociedade. A Região Hidrográfica da Baía de Guanabara não possui corpos d'água enquadrados conforme definido pela política de recursos hídricos, portanto, conforme definido no Art. 42 da Resolução CONAMA nº 357/2005, são considerados classe 2 até que sejam aprovados os respectivos enquadramentos.

Em relação aos parâmetros que compõem o IQA, gerados pelo INEA, foram analisados os valores de Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (PT), Nitrato (NO_3), Potencial Hidrogeniônico (pH), Turbidez (T), Sólidos Dissolvidos Totais (RNFT), e Coliformes Termotolerantes. As Figuras 33 a 38 apresentam os parâmetros com violações da Classe 2, e a Tabela 10 apresenta o percentual de amostras em desconformidade com enquadramento.

Os parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total apresentaram valores preocupantes, muito acima dos limites de classificação para todos os pontos, violando o limite do enquadramento em boa parte das amostras (73% e 36% das amostras, respectivamente) (Tabela 10). Observou-se violações para os parâmetros DBO e OD nas duas estações no rio Guapi-Macacu, que oscilaram as classes 2, 3 e fora dos limites de classificação. Não houve violações para os parâmetros pH, nitrato e turbidez. Observou-se apenas uma amostra de valores de sólidos dissolvidos totais com valores muito acima do limite de enquadramento.

A análise e resultados apresentados são coerentes com outros estudos de qualidade de água realizados na bacia, no qual apontam-se violações recorrentes e valores fora dos limites de classificação para os parâmetros coliformes totais e fósforo total, e baixos valores de turbidez, nitrato e sólidos dissolvidos nos rios Guapiaçu, Macacu e Guapi-Macacu, nas porções alta, média e baixa da bacia, em todos os estudos. Os valores de OD e DBO variaram entre os pontos de amostragem.

Figura 33 – Ocorrências de DBO e violações de classe 2

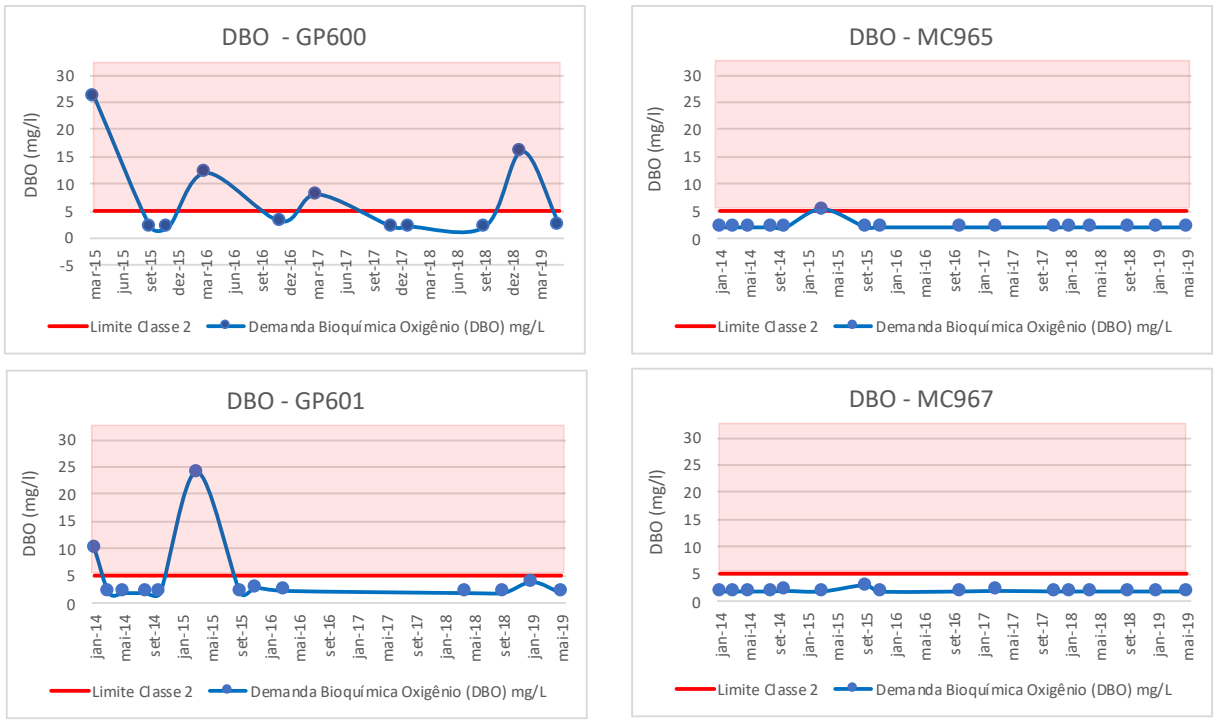


Figura 34 – Ocorrências de OD e violações de classe 2

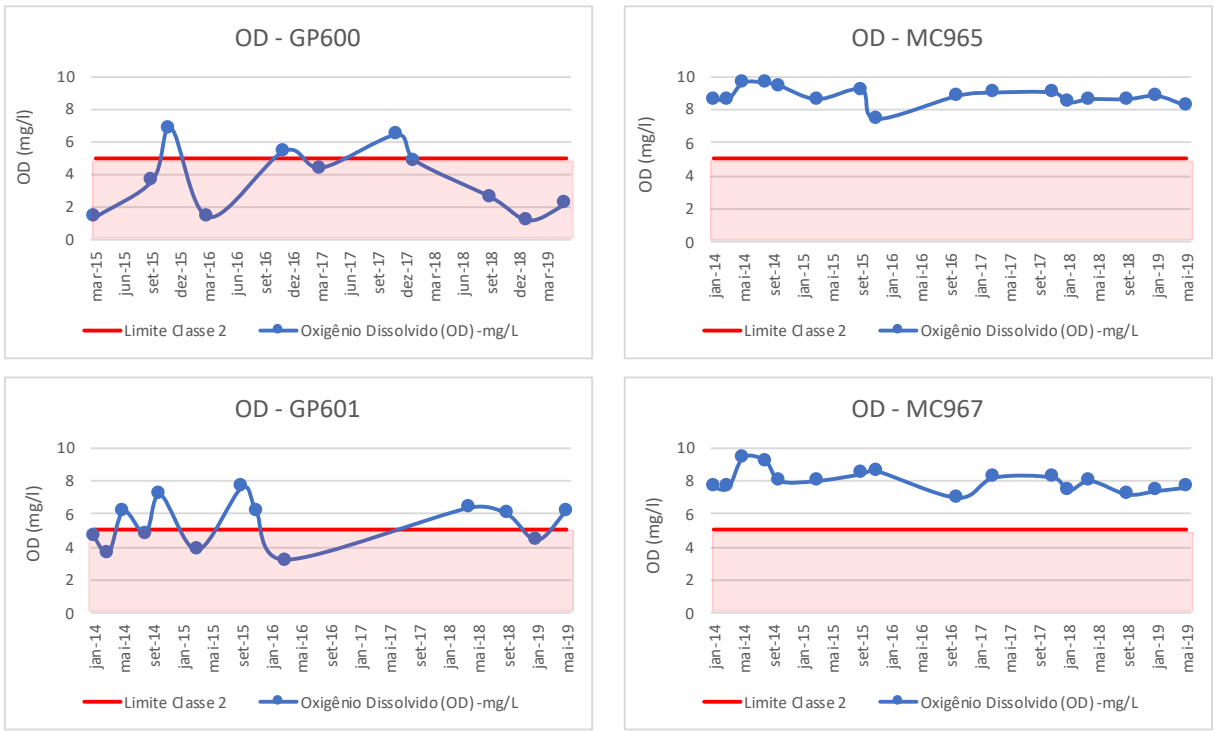


Figura 35 – Ocorrências de Coliformes Termotolerantes e violações de classe 2

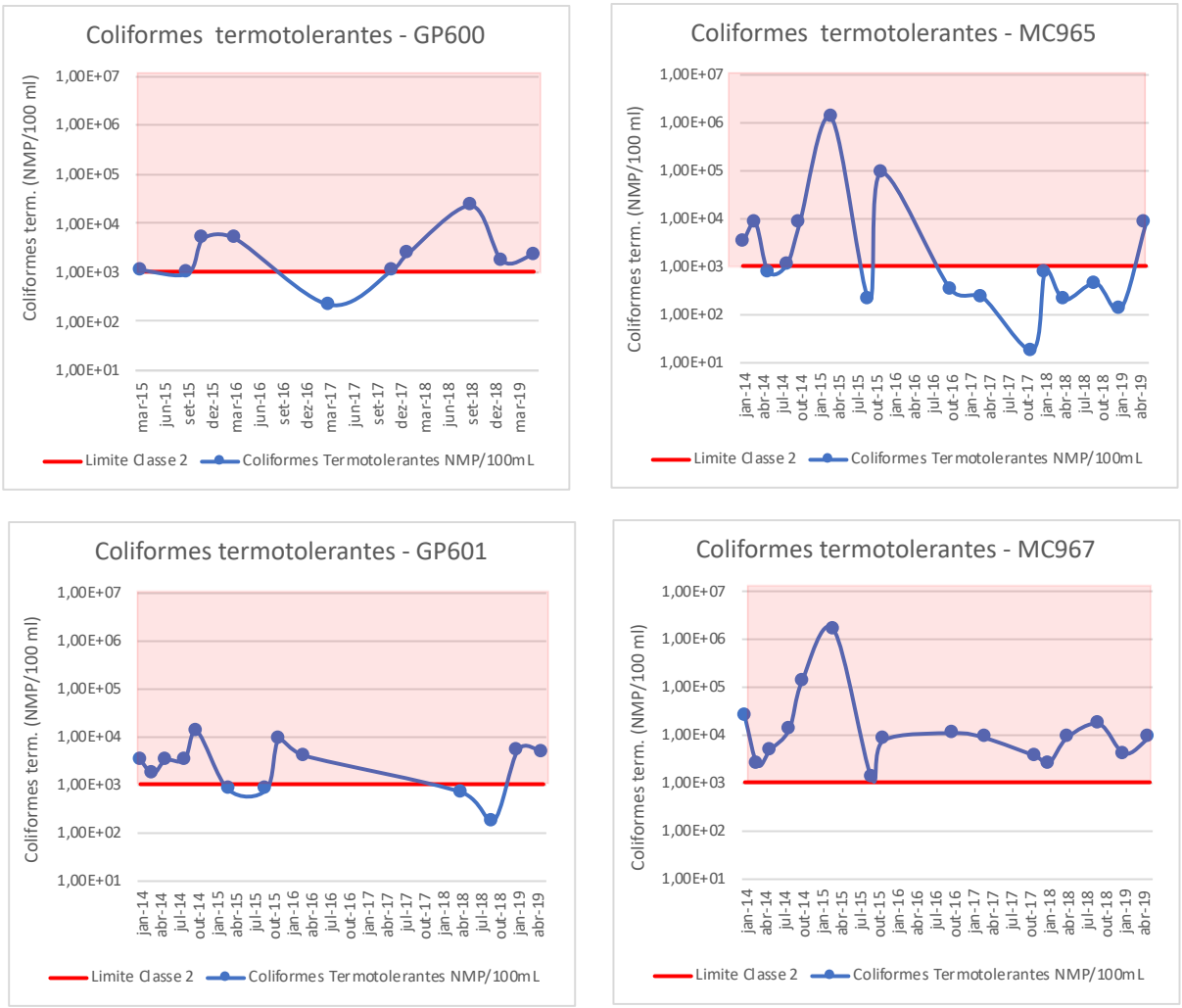


Figura 36 – Ocorrências de Turbidez e violações de classe 2

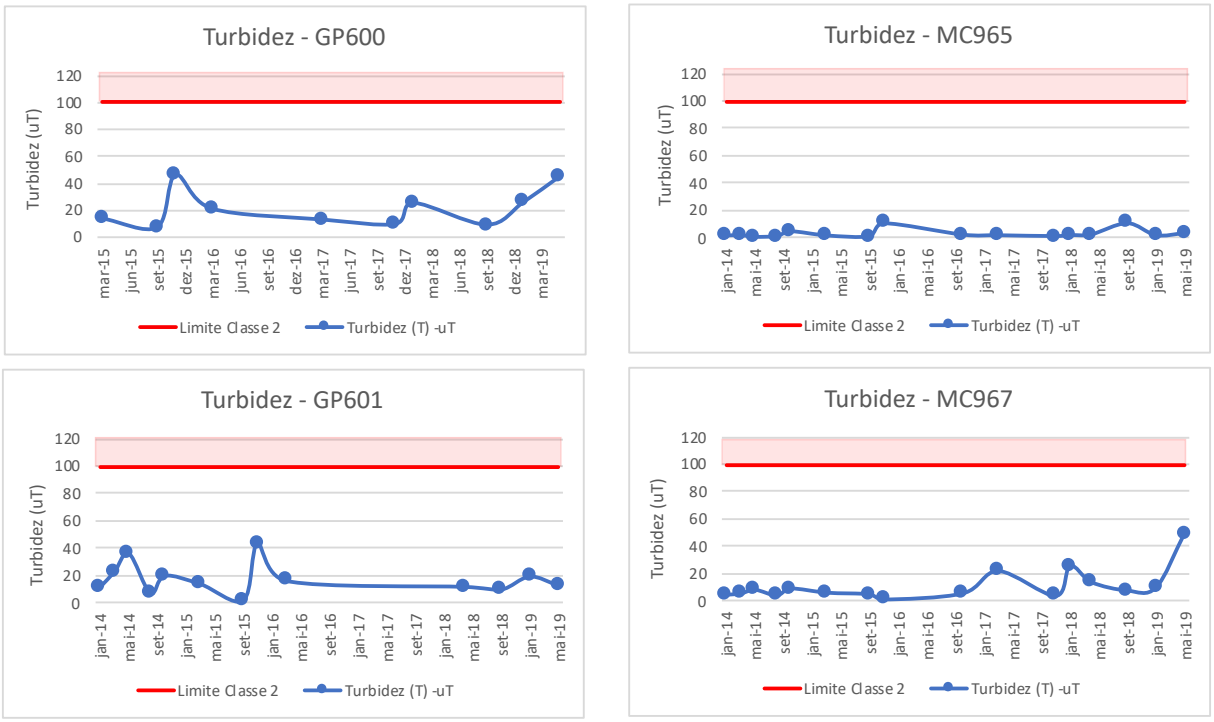


Figura 37 – Ocorrências de Fósforo total e violações de classe 2

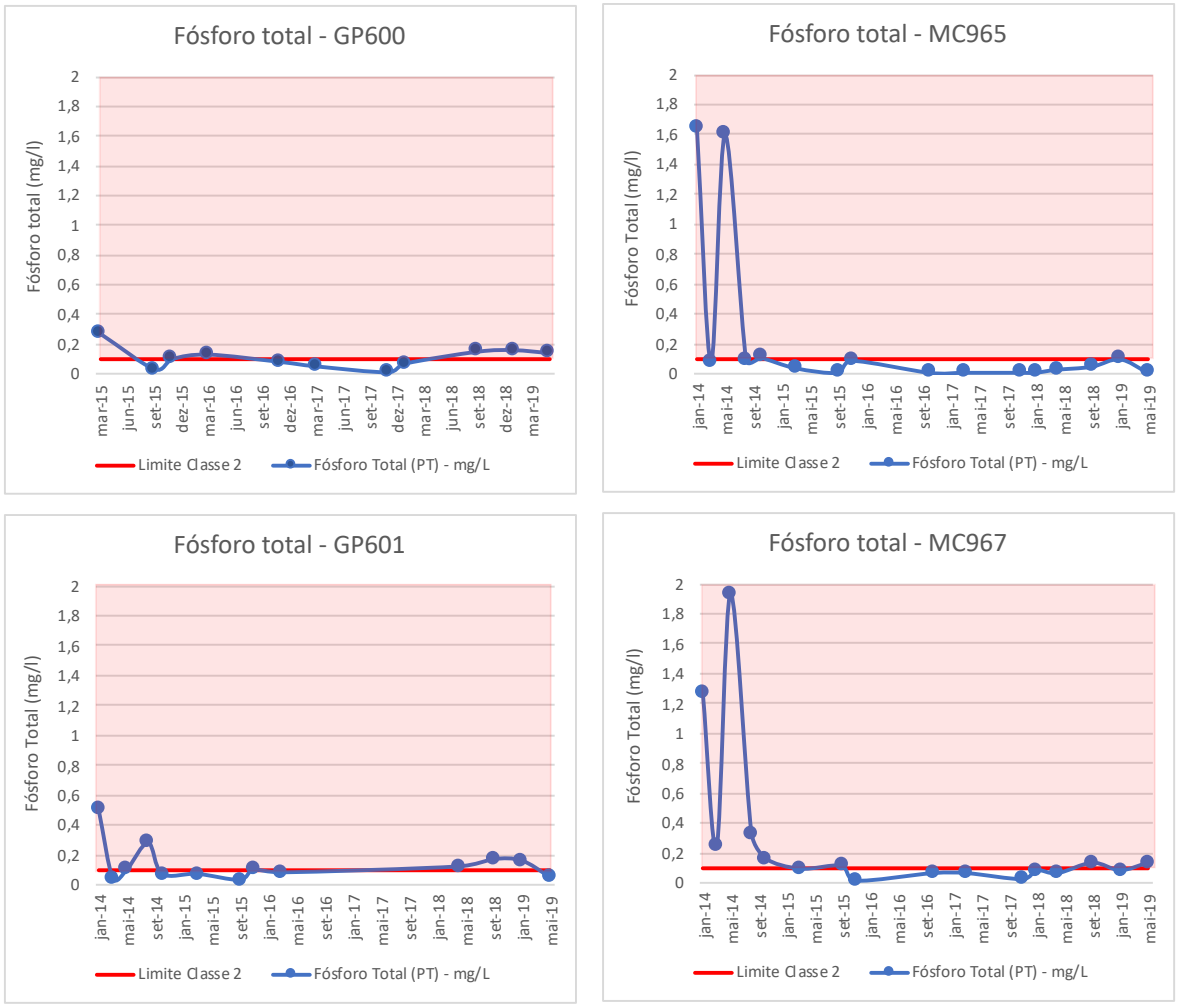
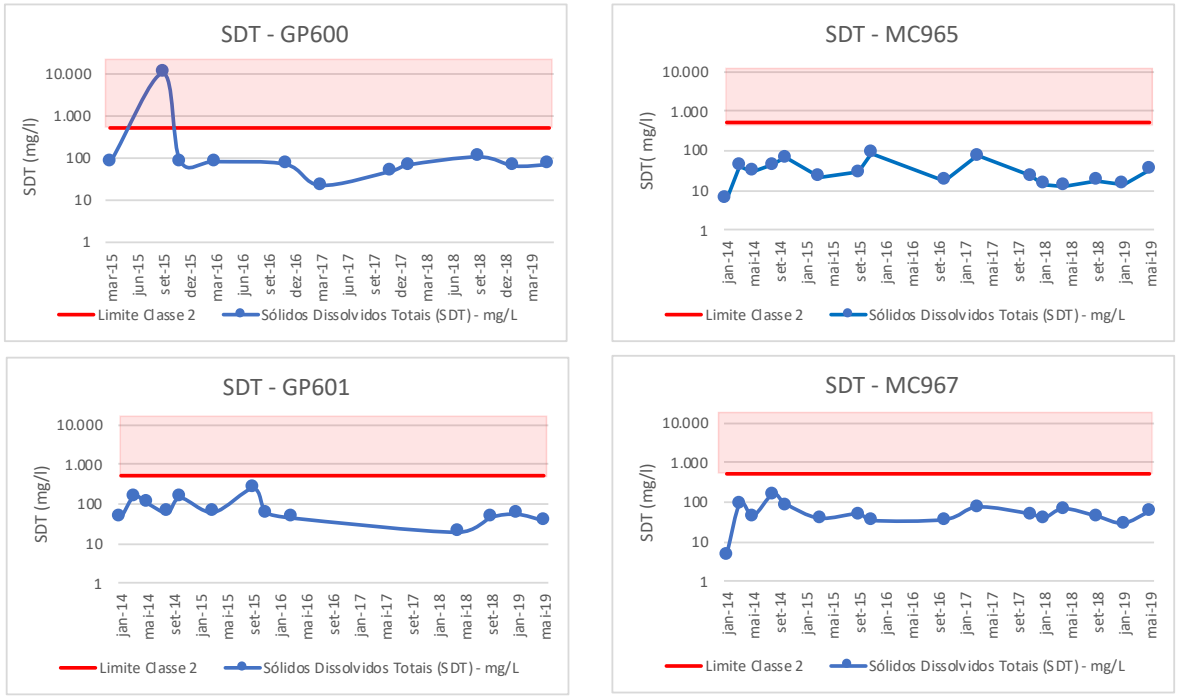


Figura 38 – Ocorrências de Sólidos Totais e violações de classe 2



Fonte: INEA, 2019d.

Tabela 10 – Percentual de amostras em desconformidade com enquadramento para as estações nos rios Macacu e Guapi-Macacu

Estação	Coliformes Termotolerantes NMP/100mL	Oxigênio Dissolvido (OD) - mg/L	Demanda Bioquímica Oxigênio (DBO) mg/L	Fósforo Total (PT) - mg/L	Nitrato (NO3) mg/L	Turbidez (T) -uT	Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) - mg/L	Potencial Hidrogeniônico (pH)
MC965	43,8%	0%	6,3%	12,5%	0%	0%	0%	0%
MC967	100,0%	0%	25%	50,0%	0%	0%	0%	0%
GP600	80,0%	72,7%	36,4%	38,5%	0%	0%	9,1%	0%
GP601	69,2%	46,2%	15,4%	38,5%	0%	0%	0%	0%
% Total amostras desconf.	**72,7%**	**25,0%**	**17,9%**	**35,7%**	**0%**	**0%**	**1,8%**	**0%**
Total amostras	55	56	56	56	50	55	56	55
Total amostras desconf.	40	14	10	20	0	0	1	0

Legenda:

Classificação
0% (em conformidade)
>0,1 e <25% (desconform. ocasional)
>25 e <50% (desconform. regular)
> 50 e <80% (desconform. muito frequente)
>80% (quase constante)

Fonte: INEA, 2019d.

Segundo CONCREMAT (2007 apud Ambiental Engenharia e Consultoria, 2015), a partir de amostras coletadas em pontos da bacia para o período entre 1995 e 1999, identificou-se violações da classe 2 para os parâmetros DBO, OD e coliformes fecais. O parâmetro "coliformes fecais" apresentou violações da classe 2 em todos os 4 pontos monitorados (GP600, GP601, MC977 e um ponto no Rio Soberbo).

Paiva et al. (2011) realizaram análise da qualidade de água das sub-bacias dos rios Batatal, Caboclo e Manuel Alexandre para os teores de sólidos totais, suspensos e dissolvidos, no período de junho/2010 a abril/2011, com intervalos bimensais e 9 pontos de amostragem. Os teores encontrados nas três sub-bacias variaram ao longo do tempo, apresentando um valor médio de 38,9 mg/l, todas as amostras encontram-se abaixo de 100 mg/l, ou seja, abaixo dos limites de 500 mg/l estabelecido pela Resolução nº CONAMA 357/05 para a Classe 2.

O projeto Macacu (UFF/FEC, 2010) realizou a análise da qualidade de água em 3 pontos de amostragem no rio Macacu (na porção alta, a jusante da sede municipal; na porção média, no Parque Ribeira; e na porção baixa da bacia, no canal de Imunana) e 1 ponto de amostragem no rio Guapiaçu (porção alta da bacia, em Duas Barras), de setembro/08 a agosto/09, com intervalos mensais. Os parâmetros coliformes totais e fosfato apresentaram resultados preocupantes, fora dos limites de classificação, para todos os pontos, tanto no período seco, quanto chuvoso. O parâmetro fósforo total apresentou concentrações dentro dos limites da classe 1 para o rio Guapiaçu e no ponto de captação no canal de Imunana, e valores entre a classe 3 e fora dos limites de classificação para a porção média e alta da Bacia do rio Guapi-Macacu. Houve violação do parâmetro de DBO nos 3 pontos do rio Macacu, e não houve violações dos parâmetros OD, nitrato e turbidez, que apresentaram concentrações dentro dos limites da classe 1 para todos os pontos em ambos os rios. O rio Guapiaçu apresentou melhor situação de qualidade de água que o rio Macacu.

Segundo UFF/FEC (2010), os altos valores de coliformes totais e fósforo que se fazem presentes nos rios Guapiaçu e Macacu estão diretamente relacionados ao lançamento de esgoto *in natura.* Apesar de ser esperado que índices elevados de poluição microbiológica implicassem na maior depleção de OD, as concentrações de OD nas amostras superaram a curva de saturação característica de OD em relação à temperatura, demonstrando influência de turbulências relacionadas à profundidade e fundo pedregoso no aumento da concentração de OD, o que provavelmente está correlacionado com valores mais amenos de DBO. A contaminação por nutrientes mostrou-se não ser muito elevada, o que pode ser atribuído ao processo de diluição pela vazão. A concentração de carbono orgânico medida se mostrou baixa, indicando que a

turbidez nos rios Macacu e Guapiaçu está relacionada à carga mineral, resultante da lixiviação de áreas desprovidas de cobertura vegetal ou pastagens mal manejadas .

Segundo Pereira et al. (2017), ao realizar a análise da qualidade hidrogeoquímica nos rios Macacu, Guapimirim e Guapiaçu, apontaram que apenas dois metais, ferro e manganês, ultrapassaram os limites do enquadramento para todos os pontos de amostragem, estando possivelmente relacionada à ocorrência natural decorrente da oxidação dos minerais de ferro.

Em relação aos dados de monitoramento semestral da qualidade de água bruta realizada no ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal pela CEDAE (2019b) , vide Apêndice D, observou-se a violação dos limites de enquadramento para os parâmetros coliformes termotolerantes e fósforo total, conforme já apontado nos demais estudos. Em relação aos 54 parâmetros orgânicos definidos pela Resolução CONAMA n° 357/2005, que contemplam agrotóxicos e produtos secundários da desinfecção, houve dificuldade em analisar os resultados do monitoramento da água bruta da CEDAE em relação ao enquadramento, pois não são apresentados valores precisos, e sim, indicativos[20]. Conforme relato de técnico da CEDAE (informação verbal)[21], isso ocorre em função do limite de quantificação do parâmetro, ou seja, há dificuldade de mensurar alguns parâmetros com o nível de acurácia compatível aos valores máximos permitidos definidos pela Resolução nº CONAMA 357/05 para a classe 2. No entanto, identificou-se que a apresentação de valores imprecisos (menor que) nos relatórios ocorre mesmo em parâmetros cujo valor apresentado é superior ao limite de quantificação.

Feitas as considerações em relação à limitação dos dados, identificou-se que alguns parâmetros orgânicos apresentaram valores imprecisos da amostra, com suspeita de valores acima do limite de quantificação e do valor máximo permitido para classe 2: benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fuoranteno, dibenzo(a,h)antraceno, endrin [22] , paration [23] ,

[20] Por exemplo, a concentração de Endrin medida em 28/06/2018 (Apêndice C) é apresentada como < 1,00 µg/L, sendo 0,5 µg/L o limite de quantificação informado pela CEDAE, e 0,2 µg/L o valor máximo permitido para classe 2 na Resolução CONAMA 357/05. Apesar de subentender-se que o resultado foi superior ao limite de quantificação, e, portanto, superior ao VMP para classe 2, não é possível afirmar o valor da concentração de Endrin da amostra.

[21] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

[22] Praguicida organoclorado utilizado contra insetos, roedores e pássaros, principalmente em culturas de milho, algodão, arroz e cana-de-açúcar, banido pela ANVISA pela alta toxicidade e persistência na natureza, integrando a lista de poluentes orgânicos persistentes da Convenção de Escolmo (CETESB, 2017).

[23] Inseticida pertencente ao grupo dos organofosforados, banido pela ANVISA pela sua neurotoxicidade, carcinogenicidade e potenciais danos ao sistema reprodutor.

carbaril[24], dodecacloropentaciclodecano[25], demeton-O e demeton-S[26] (Apêndice D). Para esses parâmetros, análises complementares devem ser realizadas de modo a confirmar as reais concentrações e se há de fato problemas de poluição e contaminação da água em relação a parâmetros orgânicos, em especial, aos agrotóxicos. Nesse sentido, recomenda-se que as concessionárias adequem seus protocolos de monitoramento de modo a viabilizar a análise do parâmetro.

No âmbito do licenciamento do COMPERJ (CONCREMAT, 2007 apud Ambiental Engenharia e Consultoria, 2015), realizou-se a análise da qualidade da água em 2007 em um ponto no rio Guapi-Macacu (porção baixa) e um ponto no rio Macacu (porção alta) para os parâmetros orgânicos teores de hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP), hidrocarboneto policíclico aromático total (HPA), pesticidas organoclorados e organofosforados, bifenila policlorada total (PCB) e fenóis. Todos os parâmetros excederam os limites da Resolução CONAMA nº 357/05 para classe 2 em todas as amostras investigadas (Tabela 11). Para o rio Guapiaçu, foram coletados dados em 5 pontos ao longo do curso do rio, e analisados os parâmetros hexaclorobenzeno, DDT, Dieldrin, Eldrin, Endrin e bifenila policloradas totais, não sendo detectadas a presença desses compostos orgânicos nos sedimentos ou na água.

Tabela 11 – Análises Físicas e Químicas da qualidade da água de superfície na Bacia do rio Guapi-Macacu

Parâmetro	**Unidade**	**Pontos de coleta**		**VMP CONAMA 357/05 (classe 2)**
		Macacu/Guapi jusante	**Macacu montante**	**Águas doces**
HTP	µg/L	50	<10	N.T
HPA Total	µg/L	5	1	0,05
Pesticidas organoclorados	µg/L	15	6	0,02
Bifenila policlorada total	µg/L	15	6	0,001
Pesticidas organofosforados	µg/L	6	1	0,1
Fenóis	µg/L	<10	<10	3

Fonte: CONCREMAT 2007 apud Ambiental Engenharia e Consultoria, 2015.

Apesar dessas observações, cabe ressaltar que as análises da água potável na saída do tratamento da ETA Laranjal evidenciam a eficiência do tratamento da estação, onde todas as amostras analisadas atenderam ao padrão de potabilidade, inclusive para substâncias químicas

[24] Inseticida do grupo dos carbamatos, classificação toxicológica classe II.
[25] Inseticida organoclorado conhecido como mirex, utilizado para controle de formigas, integra a lista de poluentes orgânicos persistentes da Convenção de Escolmo (CETESB, 2017).
[26] Acaricida e inseticida do grupo dos organofosforados, banido pela ANVISA pela sua alta toxicidade.

que apresentam risco à saúde, vide a Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Segundo o relato de funcionários da CEDAE (informação verbal[27]), há registro de um evento de floração de algas na bacia, ocorrido em 2009. No entanto, não houve impacto para a ETA, sendo registrada ausência de cianotoxinas na água bruta ao longo do tratamento.

4.2.1.1.6 Síntese dos estressores de "Pressão sobre condições ambientais"

Os Quadros 17 a 20 representam a visão geral da situação dos estressores de "Pressão sobre condições ambientais na bacia", e resume as informações relacionadas aos indicadores de uso e cobertura da terra, degradação de APP, processos erosivos, interferências sobre recursos hídricos e poluição pontual e difusa, analisando a severidade do impacto sobre a disponibilidade quali-quantitativa da água.

Em relação à classificação do grau de severidade dos indicadores de uso e cobertura da terra, para o indicador de percentual de cobertura florestal da bacia e degradação das APPs, adotou-se como referência os limiares mínimos por unidades de paisagem para assegurar a integridade das comunidades bióticas e a manutenção dos serviços ecossistêmicos em médio e longo prazo propostos por Andrén (1994) e Banks-Leite et al. (2014) apud Ikemoto e Napoleão (2018)[28].

Em relação ao indicador de perda de cobertura florestal, adotou-se classificação qualitativa da severidade do impacto, caracterizando se houve um processo contínuo de perda de cobertura florestal e taxas perceptíveis de desmatamento ilegal nas últimas duas décadas. Para este indicador, considerou-se somente a variação da classe vegetação em estágio médio/avançado (VGMA), visto que o aumento da classe vegetação em estágio

[27] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

[28] Quando a paisagem apresenta abaixo de 30% de cobertura florestal (habitat), os efeitos da fragmentação, perda de espécies e a diminuição do tamanho das populações tende a ser mais drástica (Andrén, 1994). Segundo Ikemoto e Napoleão (2018), com base nos estudos de Banks-Leite et al. (2014), as unidades de paisagem são classificadas por valores limiares de porcentagem de área preservada: unidades com percentuais de cobertura florestal inferiores a 20% têm maior probabilidade de serem dominados por espécies generalistas e requerem maiores investimentos e esforços de intervenção para recuperação até atingir os limiares mínimos; percentuais entre 20-40% de cobertura florestal requerem aumento da quantidade de habitat e apresentam maior potencial de recuperação e efeito positivo do sobre a manutenção da diversidade local; e unidades com percentuais superiores a 40% são menos suscetíveis aos efeitos da fragmentação, perda de espécies e a diminuição do tamanho das populações e possuem alto potencial ambiental para a conservação e restauração florestal.

secundário/inicial (VGSI) observado no período de análise poderia mascarar a perda de fragmentos florestais em bom estado de conservação na bacia. Quanto a classificação do grau de severidade dos indicadores processos erosivos e interferências sobre os recursos hídricos, analisou-se de forma qualitativa os impactos observados em relação à quantidade e qualidade de água.

Em relação aos indicadores relacionados à carga poluidora, adotou-se os valores de referência da CRHi (2010) baseados no SNIS para análise dos índices de coleta e tratamento de esgoto e de resíduos domiciliares. Para análise da média histórica do IQA_{NSF}, adotou-se os valores de referência propostos pelo INEA (2019d), e em relação à violação do enquadramento, considerou-se como baixa severidade a ausência de amostras com valores superiores ao limite de enquadramento, e como alta severidade a existência de amostras com violação dos limites.

Quadro 17 – Quadro síntese dos estressores de "Pressão sobre condições ambientais da bacia"

Indicador	Valor/descrição	Severidade	Ocorrência	Justificativa do grau de severidade e ocorrência	Fonte do dado
Estressor "Uso e cobertura da terra"					
Percentual de cobertura florestal (%)	Área total da bacia: ●63,9%	●Médio	●Médio	Apesar dos elevados percentuais de cobertura florestal na área total da bacia (63,9%) identificou-se que as sub-bacias das porções média e baixa da bacia concentram baixos percentuais de cobertura florestal, evidenciando o elevado grau de degradação das áreas de baixada, planícies de inundação e várzeas	Mapa de uso e cobertura da terra, ano 2015, escala 1:100.000 (INEA, 2019b)
Perda de cobertura florestal (ha)	Insignificante para o período 1997-2007 e 2007-2015	● Baixa	●Baixa	Identificou-se perda de cobertura florestal associada a supressão autorizada no licenciamento ambiental, gerando obrigação de reposição florestal de mais de 5.000 hectares. Observou-se tendência de declínio das pastagens e aumento da regeneração natural, ou seja, de ganho de cobertura florestal.	Mapa de uso e cobertura da terra, anos 1997 e 2007, escala 1:100.000 (PEDREIRA et al., 2009) Mapa de uso e cobertura da terra, anos 2017, 2013 e 2015, escala 1:100.000 (INEA, 2019b)
Percentual de APP degradada (%)	20,6%	●Média	●Médio	Apesar do relativo grau de conservação das APPs, identificou-se elevado grau de degradação nas sub-bacias das porções média e baixa da bacia.	Mapa de Áreas de Preservação Permanente – APP degradadas e conservadas, escala 1:25.000 (INEA, 2019b)
Estressor "Processos erosivos"					
Sedimentos exportado para rede de drenagem (ton/ano)	63.815	●Médio	●Médio	O alto volume de sedimentos retidos é coerente com o alto grau de conservação da bacia. No entanto, registros e relatos dos entrevistados apontaram preocupação com a perda de solo em pastagens degradadas, feições erosivas em encostas e o assoreamento dos corpos hídricos na bacia.	INEA (2019b)
Sedimentos retidos na bacia (ton/ano)	104.186.408				

Quadro 18 – Quadro síntese dos estressores de “Pressão sobre condições ambientais da bacia”

Indicador	Valor/descrição	Severidade	Ocorrência	Justificativa do grau de severidade e ocorrência	Fonte do dado
Interferência nos corpos hídricos	• Retificação, canalização, dragagem, alargamento e aprofundamento dos rios Macacu (3,8 km, 60 m de largura e 2,5 m de profundidade média), Guapiaçu (5,8 km) e Caceribu (36 km), com encurtamento de mais de três vezes da extensão original. • Construção de canais artificiais ligando o antigo leito do rio Macacu ao Rio Guaxindiba, e do canal de Imunana interligando rio Macacu com o rio Guapimirim. Instalação de comportas para controle de cheias • Aterramento, construção de polder e diques de proteção, mais de 4,3km de canais de drenagem no Assentamento de São José de Boa Morte (3.903 ha) • Barragem submersa e operação do sistema de captação de água do sistema Imunana-Laranjal.	●Alto	●Alto	As intervenções promoveram diversos impactos, como a alteração da hidrodinâmica fluvial, a diminuição da capacidade de retenção de água e o rebaixamento de mais de 4 m do lençol freático no rio Macacu, erosão do talvegue e das margens dos rios, o aumento da carga de sedimentos e aumento do assoreamento dos corpos hídricos. Aumento do risco, frequência e impacto das inundações devido a má execução das intervenções e ausência de manutenção. Impacto sobre os ecossistemas costeiros, como estresse sobre a salinização a jusante da captação e alteração da variação sazonal de água, e barreira para migração de peixes.	COSTA; TEUBER, 2001; COSTA, 1999; BENAVIDES et al., 2009.

Quadro 19 – Quadro síntese dos estressores de “Pressão sobre condições ambientais da bacia”

<table>
<tr><th>Indicador</th><th>Valor</th><th>Severidade</th><th>Ocorrência</th><th>Classificação e grau de severidade</th><th>Fonte do dado</th></tr>
<tr><td colspan="5">Estressor “Carga poluidora”</td><td></td></tr>
<tr><td>Carga orgânica poluidora doméstica gerada (kg.DBO_{5,20}/dia)</td><td><table><tr><td>Cachoeiras de Macacu</td><td>2.735,2</td></tr><tr><td>Itaboraí</td><td>12.736,1</td></tr><tr><td>Guapimirim</td><td>3.110,5</td></tr><tr><td>Total</td><td>18.581,8</td></tr></table></td><td rowspan="2">● Alta</td><td rowspan="2">● Alta</td><td rowspan="2">Considerando o irrisório índice de tratamento de esgoto, o valor é próximo a carga orgânica poluidora gerada, configurando alta severidade do impacto.</td><td rowspan="2">IBGE, 2010; SNIS, 2019</td></tr>
<tr><td>Carga orgânica poluidora doméstica remanescente (kg.DBO_{5,20}/dia)</td><td>Não foi possível estimar a carga remanescente lançada pela ausência de dados da eficiência do tratamento, no entanto,</td></tr>
<tr><td>Quantidade total de resíduos não coletados (ton./ano)</td><td>Não foi possível estimar a quantidade de resíduo não coletado.</td><td>● Baixa</td><td>● Baixa</td><td>Considerando as altas taxas de cobertura de coleta de resíduos domésticos, considerou-se como a baixa severidade do impacto</td><td>IBGE, 2010; SNIS, 2019</td></tr>
<tr><td>Índice de coleta de esgoto (%)</td><td><table><tr><td>Cachoeiras de Macacu</td><td>● 66,8</td></tr><tr><td>Itaboraí</td><td>● 44,1</td></tr><tr><td>Guapimirim</td><td>● 46,0</td></tr></table></td><td>● Alta</td><td>● Alta</td><td rowspan="3"><table><tr><th>Classificação</th><th>Severidade</th></tr><tr><td>●<50% (ruim)</td><td>● Alta</td></tr><tr><td>●>50 e <90% (regular)</td><td>●Média</td></tr><tr><td>●>90% (bom)</td><td>● Baixa</td></tr></table>Fonte: CRHi (2010)</td><td>SNIS, 2019</td></tr>
<tr><td>Índice de tratamento de esgoto (%)</td><td><table><tr><td>Cachoeiras de Macacu</td><td>● 0,0</td></tr><tr><td>Itaboraí</td><td>● 5,9</td></tr><tr><td>Guapimirim</td><td>● 0,0</td></tr></table></td><td>● Alta</td><td>● Alta</td><td>SNIS, 2019</td></tr>
<tr><td>Taxa de cobertura do serviço de coleta de resíduos domésticos em relação à população total (%)</td><td><table><tr><td>Cachoeiras.de Macacu</td><td>● 95,0</td></tr><tr><td>Itaboraí</td><td>● 99,0</td></tr><tr><td>Guapimirim</td><td>● 96,6</td></tr></table></td><td>●Baixa</td><td>●Baixa</td><td>SNIS, 2019</td></tr>
</table>

Quadro 20 – Quadro síntese dos estressores de “Pressão sobre condições ambientais da bacia”

<table>
<tr><th>Indicador</th><th>Valor</th><th>Severidade</th><th>Ocorrência</th><th>Classificação e grau de severidade</th><th>Fonte do dado</th></tr>
<tr>
<td>IQA_{média}</td>
<td>
<table>
<tr><td>MC965</td><td>66,6</td></tr>
<tr><td>MC967</td><td>58,2</td></tr>
<tr><td>GP600</td><td>53,4</td></tr>
<tr><td>GP601</td><td>59,9</td></tr>
</table>
</td>
<td>Média</td>
<td>Alta</td>
<td>
<table>
<tr><th>Classificação</th><th>Severidade</th><th>Significado</th></tr>
<tr><td>100 ≥ IQA_{media}≥ 90 (Excelente)</td><td rowspan="2">Baixa</td><td rowspan="2">Águas apropriadas para tratamento convencional visando o abastecimento público</td></tr>
<tr><td>90 > IQA_{media} ≥ 70 (Boa)</td></tr>
<tr><td>70 > IQA_{media} ≥ 50 (Média)</td><td>Média</td><td rowspan="2">Águas impróprias para tratamento convencional, requer tratamentos mais avançados</td></tr>
<tr><td>50 > IQA _{media}≥ 25 (Ruim)</td><td rowspan="2">Alta</td></tr>
<tr><td>25 > IQA_{media} ≥ 0 (Muito ruim)</td></tr>
</table>
Fonte: INEA (2019)
</td>
<td>Dados brutos do IQA -2002 a 2019 (INEA, 2019d)</td>
</tr>
<tr>
<td>IQA - Percentual do total amostras em desconformidade com enquadramento (%)</td>
<td>
<table>
<tr><td>Coliformes Termotolerantes</td><td>72,7%</td></tr>
<tr><td>DBO</td><td>17,9%</td></tr>
<tr><td>OD</td><td>25,0%</td></tr>
<tr><td>Fósforo Total</td><td>35,7%</td></tr>
<tr><td>Nitrato</td><td>0,0%</td></tr>
<tr><td>Sólidos Dissolvidos Totais</td><td>1,8%</td></tr>
<tr><td>Turbidez</td><td>0,0%</td></tr>
<tr><td>pH</td><td>0,0%</td></tr>
</table>
</td>
<td>Média</td>
<td>Média</td>
<td>
<table>
<tr><th>Classificação</th><th>Severidade/ ocorrência</th></tr>
<tr><td>0% (em conformidade)</td><td>Baixa</td></tr>
<tr><td>>0,1 e <25% (desconformidade ocasional)</td><td>Média</td></tr>
<tr><td>>25 e <50% (desconformidade frequente)</td><td rowspan="3">Alta</td></tr>
<tr><td>> 50 e <80% (desconformidade muito frequente)</td></tr>
<tr><td>>80% (constante)</td></tr>
</table>
Fonte: A autora, 2020.
</td>
<td>Dados brutos do IQA - 2002 a 2019 (INEA, 2019d)</td>
</tr>
</table>

Fonte: A autora, 2020.

4.2.1.1.7 Ações de gestão sobre as condições ambientais

Os três municípios da bacia apresentam Plano Municipal de Saneamento Básico aprovado por lei, e que preveem ações e investimentos para instalação de estações de tratamento de esgoto e ampliação da rede coletora. No entanto, essas ações não vêm sendo efetivadas na bacia, o que é refletido na manutenção dos baixos índices de atendimento, coleta a tratamento de esgoto nos municípios, conforme apresentado no Quadro 21.

Quadro 21 – Síntese da política de saneamento básico por município

Município	**PMSB**		**Status**	**Política de Saneamento Básico do Município**
	Possui?	**Ano**		
Cachoeiras de Macacu	Sim	2013	Desatualizado	Lei Municipal nº 1.991/2013
Guapimirim	Sim	2013	Desatualizado	Lei Municipal nº 806/2013
Itaboraí	Sim	2014	Desatualizado	Decreto Municipal nº 58/2014

Fonte: A autora, 2020.

As ações necessárias de manutenção e operação das intervenções realizadas nos corpos hídricos vêm sendo encaminhadas pelo MPRJ e CBH-BG, apresentando ainda indefinições a quais órgãos competem realizar as atividades e investimentos necessários. As ações de gestão relacionadas às SbN são apresentadas em maiores detalhes no capítulo 6.

4.2.1.1.8 Análise do risco associado aos estressores relacionados à pressão sobre as condições ambientais

Com base na avaliação semi-quantitativa da pressão sobre as condições ambientais da bacia, foi estimado o risco para a quantidade e qualidade de água para o ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal, para cada estressor:

- "Uso e cobertura da terra": Apesar dos elevados percentuais de cobertura florestal na área total da bacia (63,9%), estes não são uniformemente distribuídos ao longo da bacia. As sub-bacias das porções média e baixa da bacia concentram percentuais de cobertura florestal abaixo dos limiares de integridade e elevado nível de demanda por recuperação de APPs, evidenciando a degradação das áreas de baixada e dos ecossistemas associados as planícies de inundação e várzeas. Há iniciativas

de restauração ecológica na bacia, mas as áreas de intervenção ainda são pouco expressivas em relação ao passivo ambiental. Dessa forma, avaliou-se que a severidade do impacto e sua ocorrência é de média intensidade.

- "Processos erosivos": O processo de erosão do solo e assoreamento dos corpos hídricos ocorre ao longo de toda a bacia, e é decorrente do manejo inadequado da água e do solo em áreas de maior suscetibilidade a erosão. O alto volume de sedimentos retidos é coerente com o alto grau de conservação da bacia, e os valores de turbidez e concentração de sólidos totais encontram-se dentro dos limites da classe 2 de enquadramento da bacia, e não constituem um atual risco ou dificultador para o tratamento de água, segundo relato de funcionários da CEDAE. No entanto, causam impacto direto ao sistema em função do assoreamento do canal de Imunana e dos custos para dragagem e desassoreamento no ponto de captação. Dessa forma, avaliou-se que a severidade do impacto e a ocorrência do estressor é de média intensidade.
- "Interferência sobre os corpos hídricos": As diversas intervenções realizadas nos corpos hídricos afetam e trazem impactos contínuos e persistentes na bacia, como a alteração da hidrodinâmica fluvial, a diminuição da capacidade de retenção de água, o rebaixamento do lençol freático no rio Macacu, a erosão do talvegue e das margens dos rios, o aumento da carga de sedimentos e do assoreamento dos corpos hídricos. Os problemas são agravados pela falta de manutenção das obras e da limpeza dos canais, e decorrentes também de conflitos de definição de atribuição e competência para solução dos problemas. Além disso, observa-se impacto sobre os ecossistemas costeiros, com alteração da salinidade, barreira para migração de peixes e comprometimento da vazão ecológica a jusante da captação. O sistema Imunana-Laranjal é afetado pelo comprometimento dos serviços de regulação hídrica da bacia e pelo surgimento de conflitos pelo uso da água. Dessa forma, avaliou-se que a severidade do impacto e a ocorrência do estressor são altas.
- "Carga poluidora": identificou-se o comprometimento da qualidade das águas, principalmente pela deficiência de coleta e tratamento de esgoto, refletido nos elevados níveis de coliformes termotolerantes e de concentrações de fósforo total, da foz ao exutório, em todos os pontos monitorados na bacia, incluindo o ponto de captação, em porcentagem significativa das amostras. Logo, a avaliou-se a ocorrência do estressor como alta. Há suspeita de violações dos limites de enquadramento para alguns parâmetros orgânicos (agrotóxicos) na água bruta, o

que gera preocupação sobre possíveis problemas de contaminação da água e ameaças sobre a saúde humana, mas são necessárias análises complementares. No entanto, a ETA tem se mostrado eficiente para o tratamento e remoção de poluentes, atendendo aos padrões de potabilidade da água, inclusive para as substâncias nocivas a saúde humana. Não há registro de eventos de paralisação da ETA em função da piora ou comprometimento da qualidade da água, no entanto, a piora da qualidade da água pode implicar no aumento do custo de tratamento da água e/ou na redução da vazão de água tratada pela ETA. Dessa forma, considerou-se a severidade do impacto como média.

Portanto, o risco estimado à quantidade e qualidade da água para o sistema Imunana-Laranjal foi estimado como inaceitável quanto aos estressores "Interferências nos corpos hídricos" e "Carga poluidora", e tolerável em relação aos estressores "Uso e cobertura da terra" e "Processos erosivos" sobre a Bacia do rio Guapi-Macacu (Figura 39).

Figura 39 – Matriz de determinação do grau de risco associado aos estressores relacionados à pressão sobre as condições ambientais da bacia

		Severidade do impacto do estressor		
		Baixa	Média	Alta
Ocorrência do estressor	Alta			"Interferências nos corpos hídricos"
	Média		"Uso e cobertura da terra" e "processos erosivos"	"Carga poluidora"
	Baixa			

Risco aceitável
Risco tolerável
Risco inaceitável

Fonte: A autora, 2020.

O resultado ressalta a importância de desenvolver ações e programas relacionadas às SbN, especialmente aqueles relacionados à recuperação ambiental e renaturalização dos corpos hídricos, de modo a reduzir o risco dos estressores ao nível aceitável. Em relação ao uso e cobertura e processos erosivos, sinaliza a importância medidas de conservação e ordenamento territorial tanto para evitar que o risco se torne inaceitável quanto para reduzi-lo ao nível aceitável.

4.2.1.2 Estressor “Demanda pelo uso da água”

4.2.1.2.1 Disponibilidade hídrica

As vazões de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica para a Bacia do rio Guapi-Macacu, foram obtidos por UFF/FEC (2010) por meio das equações de regionalização de vazão desenvolvidas pela CPRM (2002) na sub-bacia 59, para a área drenante a montante da barragem submersa para captação de água do sistema Imunana-Laranjal. Foram utilizadas para análise a vazão média de longo termo (Q_{MLT}), a vazão com permanência de 95% do tempo ($Q_{95\%}$), e a vazão mínima anual da média móvel de 7 dias com tempo de recorrência de 10 anos ($Q_{7,10}$), conforme sistematizado na Tabela 12.

O indicador disponibilidade per capita ou “disponibilidade social da água” permite correlacionar a população com a disponibilidade de água, caracterizando a riqueza ou pobreza de água numa determinada região. A estimativa não retrata a real situação, visto que os outros usos da água não são levados em consideração, mas por ser um indicador utilizado pela ONU (CRHi, 2010), e pode ser extrapolado para comparações com outras regiões e países.

A disponibilidade per capita foi calculada a partir da razão entre Q_{MLT} (m^3/ano) da Bacia do rio Guapi-Macacu e a população residente total dos municípios atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal, conforme apresentado na Tabela 13. O valor obtido de 842,8 m^3/hab.ano é considerado crítico, ou seja, inferior a 1.500 m^3 por habitante ano.

Tabela 12 – Precipitação anual média e vazões de referência na Bacia do rio Guapi-Macacu

Precipitação média na bacia (mm/a) (INEA, 2019b)	**Vazões (m^3/s)**			
	Q_{MLT} (UFF/FEC, 2010)	**$Q_{95\%}$ (UFF/FEC, 2010)**	**$Q_{7,10}$ (UFF/FEC, 2010)**	**Vazão de referência (40% $Q_{95\%}$)**
1.988,03	48,86	14,92	12,46	5,97

Legenda: Q_{MLT} – vazão média de longo termo, $Q_{95\%}$ - vazão com permanência de 95% do tempo, $Q_{7,10}$ – vazão mínima anual da média móvel de 7 dias com tempo de recorrência de 10 anos.
Fonte: INEA, 2019b e UFF/FEC, 2010.

Tabela 13 – Disponibilidade per capita para os municípios atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal

$Q_{médio}$ (m^3/ano) (UFF/FEC, 2010)	**População total dos municípios atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal (IBGE, 2018)[29]**	**Disponibilidade per capita - $Q_{médio}$ em relação à população total (m^3/hab.ano)**
1.540.848.960	1.828.168	● 842,8

Fonte: A autora, 2020.

● Acima de 20.000 - Abundante
● Entre 10.000-20.000 - Muito rica
● Entre 5.000 e 10.000 - Rica
● Entre 2.500 e 5.000 - Ideal
● entre 1.500 e 2.500 - Pobre
●< 1.500 - Crítico

Fonte: CRHi, 2010

Em relação às águas subterrâneas, ocorrem dois sistemas de aquífero na Bacia do rio Guapi-Macacu: o aquífero cristalino fraturado e o aquífero sedimentar (UFF/FEC, 2010). O primeiro é predominante e ocorre em cerca de 60-70% da Bacia do rio Guapi-Macacu, apresentando baixa produtividade, com vazões entre 1 a 20 m^3/hora. O sistema sedimentar compreende dois aquíferos: o primeiro, o Aquífero Aluvionar, é formado em ambientes de leques detríticos e planícies aluvionares, principalmente nas bacias dos rios Macacu e Guapiaçu, com extensão de 410 km^2. Neste aquífero, ensaios de vazão produziram valores entre 10 e 42 m^3/h (ALMEIDA et al., 2010). O segundo, o Aquífero Flúvio-Lagunar e Flúvio Marinho Argiloso-Arenoso, corresponde à sedimentação fluvial de baixo curso fluvial, com área de 230 km^2, e é utilizado pela população ribeirinha dos rios Macacu e Guapiaçu por meio de poços escavados do tipo cacimba e ponteira. Apesar da Formação Macacu estar localizada na bacia do rio Caceribu, é um aquífero sedimentar considerado como de alto potencial explorável, com extensão de 115 km^2, e constitui importante manancial complementar ao abastecimento de água de Itaboraí, município atendido pelo sistema Imunana-Laranjal (CONSÓRCIO ECOLOGUS-AGRAR, 2005). Segundo Almeida et al. (2010), o aquífero Macacu apresenta vazões entre 5,5 e 42,7 m^3/h e vazões específicas entre 0,5 e 1,0 m^3/h.

Apesar da existência dos estudos supramencionados, uma limitação da análise foi a indisponibilidade de dados para cálculo da disponibilidade hídrica de água subterrânea. Dessa forma, para o cálculo do balanço hídrico, utilizou-se somente as estimativas de disponibilidade hídrica superficial.

4.2.1.2.2 Demanda pelo uso da água

I) Abastecimento público

[29] Soma da população total estimada para o ano de 2018 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE dos municípios de Niterói, São Gonçalo e Itaboraí, integralmente atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal

O sistema de abastecimento de água Imunana-Laranjal é operado pela CEDAE e atende integralmente aos municípios de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, e parcialmente os municípios de Maricá, nos bairros Inoã e Itaipuaçu, e do Rio de Janeiro, na Ilha de Paquetá, totalizando uma população urbana das sedes municipais de 1.701.830 habitantes, segundo Censo do IBGE de 2010, e estimada em 2.354.617 habitantes para 2030. A população da sede municipal de Cachoeiras de Macacu, por sua vez, totalizou 20.392 habitantes em 2010 (Tabela 14).

Para o presente estudo, adotou-se as estimativas de demanda de água para abastecimento público doméstico urbano das sedes municipais calculada pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERHI-RJ) (INEA, 2014a) para o cenário sem a redução das perdas físicas ou ampliação do índice de atendimento dos serviços de água. Segundo as estimativas, a demanda estimada em 2020 é de 10.594,86 l/s, chegando a 12.246,47 l/s em 2030 (Tabela 15).

Tabela 14 – Populações urbanas das sedes municipais de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí e Cachoeiras de Macacu

Município	**1980**	**1990**	**2000**	**2010**	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**
Niterói	400.140	432.303	459.451	487.562	640.118	656.247	672.483	688.811
São Gonçalo	614.588	762.241	891.119	998.999	1.119.217	1.175.501	1.228.524	1.277.997
Itaboraí	16.535	106.989	177.260	215.412	326.824	352.533	372.638	387.809
Total Sistema Imunana L.	*1.031.263*	*1.301.533*	*1.527.830*	*1.701.973*	*2.086.159*	*2.184.281*	*2.273.645*	*2.354.617*
Cachoeiras de Macacu	10.983	14.118	18.384	20.392	20.864	21.144	21.307	21.401

Fonte: Censos demográficos do IBGE. Dados extrapoladas para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030 a partir do censo demográfico 2010 a partir de INEA, 2014a.

Tabela 15 – Estimativas de demanda de água para abastecimento humano dos municípios integralmente atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal e Cachoeiras de Macacu sem redução de perdas físicas

Municípios	**Demandas de Água para abastecimento humano (l/s)**				
	2010	**2015**	**2020**	**2025**	**2030**
Niterói	2.402,26	3.440,63	3.527,33	3.614,60	3.702,36
São Gonçalo	4.442,02	4.976,57	5.527,79	6.419,04	6.677,53
Itaboraí	814,35	1.235,53	1.466,32	1.636,05	1.792,27
Total Sistema Imunana L.	7.658,63	9.652,73	10.521,44	11.669,69	12.172,16
Cachoeiras de Macacu	70,81	72,44	73,42	73,98	74,31
Total	**7.729,44**	**9.725,17**	**10.594,86**	**11.743,67**	**12.246,47**

Fonte: INEA, 2014a.

Apesar do sistema Imunana-Laranjal ser responsável pelo atendimento da Ilha de Paquetá (Rio de Janeiro) e dos bairros Inoã e Itaipuaçu (Maricá), não foi possível calcular as demandas atuais e futuras pela ausência de dados desagregados da população urbana para as

localidades informadas, da vazão outorgada ou aduzida e/ou da população atendida[30]. O mesmo se aplica para os sistemas de abastecimento cujas captações situam-se a montante do ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal e que atendem a distritos dos municípios de Cachoeiras de Macacu e Magé. Dessa forma, a análise se limitou as demandas atendida pelo sistema Imunana-Laranjal para os municípios de Niterói, São Gonçalo e Itaboraí, e para o sistema isolado de Cachoeiras de Macacu.

As perdas são inerentes a qualquer sistema de abastecimento de água, sendo o controle do índice de perdas na distribuição de água medida de alta relevância frente a cenários de escassez hídrica e problemas de atendimento de demanda. Segundo o SNIS (2019), o Índice de Perdas na Distribuição (IN049) é a razão da água perdida na distribuição em relação à água produzida[31]. O Índice de perdas de água por número de ligações ativas de água (IN051)[32], por sua vez, auxilia na avaliação da eficiência operacional do sistema e está mais correlacionado com o desempenho do prestador de serviço, considerando que perdas de longa duração ocorrem nos ramais de distribuição.

A Tabela 16 apresenta os indicadores de perdas (IN049 e IN051), os dados dos volume de água produzido (AG006), consumido (AG010), de serviço (AG024), água tratada importada (AG018) para os municípios de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí e Maricá, conforme dados disponibilizados ao SNIS pelos operadores Águas de Niterói e CEDAE, que compõem o sistema Imunana-Laranjal. A partir dessas informações, calculou-se o volume perdido de água para cada município.

Maricá apresenta maior ineficiência, com 51,12% de perdas em relação à água produzida, seguido pelo município de Niterói, com 31,88% de perdas na distribuição (Figura 37). O índice de perda de 5,93% para o município de São Gonçalo, informado pelo operador CEDAE ao SNIS em 2018, foi considerado como um dado inconsistente. Dados próximos ou abaixo de 5% sinalizam a possibilidade de falhas nas informações fornecidas que originaram o

[30] Segundo Censo Demográfico do IBGE (2010), a população de Cachoeiras de Macacu é de 54.273 habitantes. Segundo o PMSB de Maricá (CONEN, 2015), a população de Inoã e Itaipuaçu atendida pelo sistema Imunana-Laranjal é de aproximadamente 47.000 habitantes. O dado informado pela CEDAE no SNIS em 2018 para Maricá é de 65.955 habitantes atendidos.

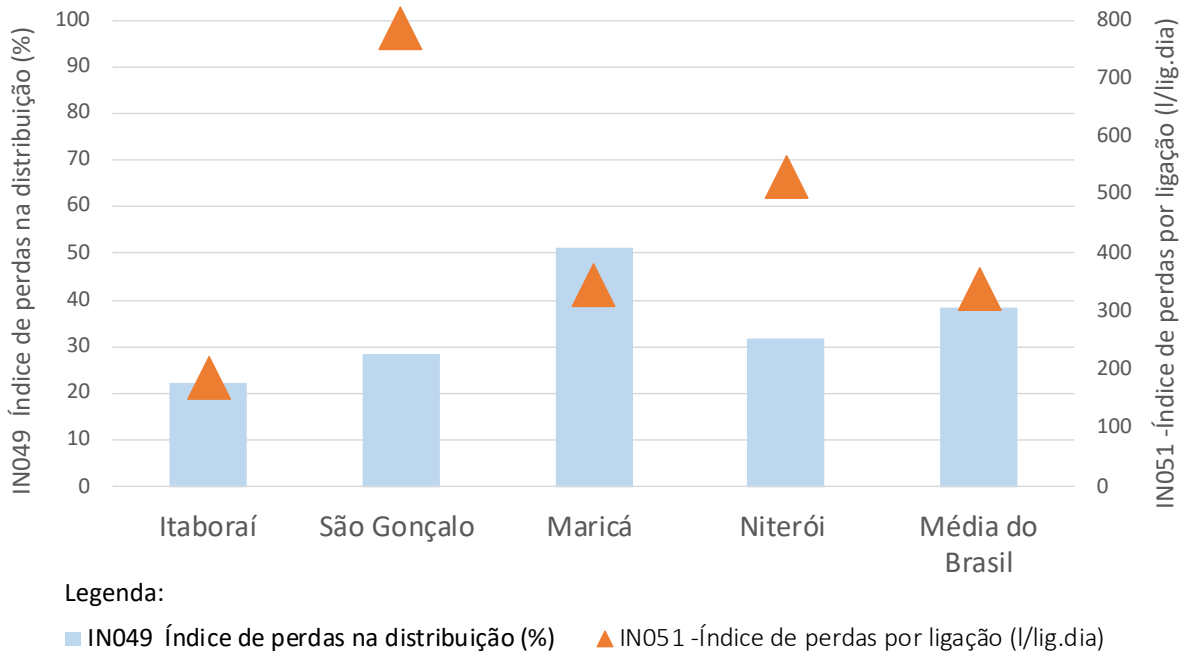
[31] O indicador é calculado pela diferença entre o volume de água produzido (AG006) e o volume de água consumido (AG010), dividido pelo volume de água produzido (AG006). Desconta-se no cálculo o volume usado para atividades operacionais e especiais (AG024) e soma-se o volume de água tratada importado (AG018), tanto no numerador quanto no denominador.

[32] O indicador é calculado pela diferença entre o volume de água produzido (AG006) e o de água consumido (AG010), somado ao volume de água tratada importado (AG018) e descontado o volume destinado às atividades operacionais e especiais (AG024), dividido pela média da quantidade de ligações ativas de água (AG002) do ano atual e anterior ao ano de referência.

cálculo do indicador, visto que o valor não é coerente com o contexto e com valores médios nacionais. Além disso, o indicador apresentou valores entre 25,7 a 29,8% os anos 2014 e 2017, período para o qual há dados disponíveis no SNIS, coerentes com valores informados também pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) do município (CONEN, 2015). Dessa forma, considerou-se os valores informados no SNIS em 2017, cujo índice de perdas para São Gonçalo foi de 28,35%. Os municípios de São Gonçalo e Niterói destacam-se pelos maiores volumes de perda de água, de 1.620,15 l/s e 543,41 l/s, respectivamente, representando mais de 2.100 l/s ou 91,2% do volume total de perdas no sistema Imunana-Laranjal. A estimativa do volume de perda de água na distribuição no sistema Imunana-Laranjal foi a de 2.351,95 l/s (Tabela 16).

Constatou-se que o IN051 não apresenta mesmo comportamento que o IN049 (Figura 40). Apesar de registrar Índice de perdas na distribuição menor que a média nacional, o Índice de perdas por ligação em São Gonçalo (784 l/lig./dia) é mais que o dobro da média nacional (339,3 l/dia/lig). Niterói também apresenta valores elevados, com perdas de 530,05 l/lig./dia. Apesar de constituir o maior índice de perda na distribuição do sistema, Maricá apresenta índice de perda por ligação (344,55 l/lig./dia), menor do que São Gonçalo e Niterói.

Figura 40 – Índice de perdas por ligação e na distribuição – sistema Imunana-Laranjal



Nota: Diagnóstico dos serviços de água e esgoto ano 2017 para São Gonçalo e ano 2018 para Itaboraí, Maricá e Niterói.
Fonte: SNIS, 2018, 2019.

Tabela 16 – Índice de perdas e volume de água perdido na distribuição

Município	Prest. de serviço	Local de atendim.	População residente total (hab.)	População total atendida c/ abastec. água (hab.)	Índice de atendimento total de água (%)	Volumes de água (l/s)[33]						Índice de perdas na distribuição (%)	Índice de perdas por ligação (l/dia/lig)	Consumo médio per capita de água (l/s.hab)
						Produzido	Tratada importada	De serviço	Tratada exportada	Consumido	Perdido na distribuição[34]			
		GE019	GE12a	AG001	IN055	AG006	AG018	AG024	AG019	AG010		IN049	IN051	IN022
Itaboraí	CEDAE	Sede municipal	238.695	176.961	74,14	414,23	10,18	0	0,00	330,26	94,15	22,18%	185,54	157,97
São Gonçalo[35]	CEDAE	Sede municipal	1.049.826	878.139	83,65	6.014,62	0,00	300,74	1.857,12	4.093,73	1.620,15	28,35%	784,31	220,1
Maricá	CEDAE	Sede municipal	157.789	65.955	41,80	36,75	147,61	0	0,00	90,12	94,24	51,12%	344,55	102,76
Niterói	Águas de Niterói	Sede Municipal	511.786	511.786	100	4,16	1.772,47	72,00	0,00	1.161,22	543,41	31,88%	530,05	198,51
Total sistema Imunana-Laranjal			**1.985.957**	**1.630.611**	**82,11%**	6.469,75	1.930,26	372,74	1.857,12	5.675,33	2.351,95	**29,30%**	**607,35**	**286,39**
Cachoeiras de Macacu	AMAE	Ambos	58.560	50.652	86,5	97,98	0,00	Sem dados	0,00	82,14	15,84	16,17%	101,35	150,04
	CEDAE	Sede municipal		4.679	7,99	430,02	0,00	0	369,29	375,89	54,13	12,59%	3.198,85	118,75

Legenda:

- < 20%
- 20% a 30%
- 30,1 a 40,0%
- >40%

Fonte: CRHi (2010)

Nota: Diagnóstico dos serviços de água e esgoto ano 2017 para São Gonçalo e ano 2018 para Itaboraí, Maricá e Niterói.
Fonte: SNIS, 2018, 2019.

[33] Conversão da unidade de 1000.m^3/ano para l/s: (Indicador) / 31,536

[34] Fórmula de cálculo: (AG006 + AG018 - AG024 - AG010)

[35] Considerando o valor inconsistente do indicador para o ano de 2018, adotou-se valor informado no SNIS em 2017 para o município de São Gonçalo.

Cabe ressaltar que uma limitação dos índices de perdas é que eles não diferem o valor das perdas aparentes (não físicas) e reais (físicas). Segundo SNIS (2019), as falhas de informação podem ocorrer em função da dificuldade do levantamento das informações pelos prestadores de serviços, que muitas vezes podem não dispor de técnicas na avaliação de vazamentos na rede, submedição em hidrômetros, fraudes, dentre outras.

Por fim, cabe contextualizar o índice de atendimento de água[36] dos municípios atendidos por sistemas de abastecimento que dependem da captação de água na Bacia do rio Guapi-Macacu, a saber: Cachoeiras de Macacu (sistemas isolados), Niterói, Itaboraí, São Gonçalo e Maricá (bairros Inoã e Itaipuaçu), vide Tabela 17. Em relação aos municípios atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal, somente o município de Niterói apresenta índice de atendimento total de água bom ou satisfatório (100%). Os municípios de Maricá e Itaboraí tem índices regulares de atendimento (81,3% e 74,1%, respectivamente), e São Gonçalo apresenta índice de atendimento de água ruim ou inaceitável, inferior a 50%, o que compromete o acesso a água em padrões de qualidade e quantidade suficientes para parte significativa da população.

Tabela 17 – Índice de atendimento de água (total e urbano) para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Niterói, Itaboraí, São Gonçalo e Maricá (bairros Inoã e Itaipuaçu)

Municípios	**Prestador de serviço**	**Local de atendimento**	**População residente total (hab)**	**População residente urbana (hab)**	**População total atendida com abastecimento de água (hab)**	**Índice de atendimento total de água (%)**	**Índice de atendimento urbano de água (%)**
		GE019	**GE12a**	**GE06a**	**AG001**	**IN055**	**IN023**
Cachoeiras de Macacu	AMAE CEDAE	Ambos Sede municipal	58.560	50.652	55.331	●94,5%	100%
Itaboraí	CEDAE	Sede municipal	238.695	235.853	176.961	●74,1%	75,0%
Maricá	CEDAE	Sede municipal	157.789	155.350	65.955	●41,8%	42,5%
Niterói	Águas de Niterói	Sede Municipal	511.786	511.786	511.786	●100%	100%
São Gonçalo	CEDAE	Sede municipal	1.077.687	1.076.901	875.909	●81,3%	81,3%

Legenda:

IN055	Classificação
< 50%	● Ruim
≥ 50% e < 90%	● Regular
≥ 90%	● Bom

Nota: Dados obtidos no SNIS (2019). Valor de referência para classificação de CRHi (2010). AMAE – Autarquia Municipal de Água e Esgoto de Cachoeiras de Macacu.

Fonte: A autora, 2020.

[36] Entende-se por atendimento de água a estimativa do percentual da população efetivamente atendida por abastecimento público, conforme informado pelos prestadores de serviço aos Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS).

II) Outros usos

Para o cálculo da demanda de demais usos, foram consideradas as demandas estimadas de uso industrial, mineração, agricultura e criação animal por municípios, estimadas pelo PERHI-RJ para 2020 e 2030 (INEA, 2014a), partindo da simplificação de que as demandas são uniformemente distribuídas ao longo dos municípios. Fez-se a correlação de áreas, considerando a interseção entre a área da Bacia do rio Guapi-Macacu e do município, e a multiplicação das demandas informadas por atividade (industrial, mineração, agricultura e criação animal) pelo fator de correlação de áreas. Ao final, somaram-se todos os valores obtidos, para se calcular o valor total da demanda, conforme apresentado na Tabela 18. A demanda de abastecimento público corresponde a 98,5% da demanda total, seguido do industrial, que corresponde a 1,3% do total.

Tabela 18 – Demanda estimada para 2020 e 2030 para os usos abastecimento humano, irrigação, uso industrial e mineração para a Bacia do rio Guapi-Macacu

Cenários	Demanda abastecimento humano		Demanda Agricultura		Demanda Criação animal		Demanda Uso Industrial		Demanda Mineração		Demanda total(l/s)
	l/s	% do total	l/s	% do total	l/s	% do total	l/s	% do total	l/s	% do total	
2020	10.594,86	98,53%	6,99	0,07%	15,52	0,14%	135,9	1,26%	0	0%	10.753,32
2030	12.246,47	98,47%	8,27	0,07%	15,53	0,12%	166,1	1,34%	0	0%	12.436,41

Nota: Dados calculados a partir de INEA, 2019b.
Fonte: A autora, 2020.

Em relação ao uso de água para agricultura e criação animal, destacam-se como grandes usuários as fazendas produtoras de grama Itograss e a Riograss, na Bacia do rio Guapi-Macacu. Há um grande produtor de piscicultura, a Mario Porto Piscicultura Ornamental Ltda., com aquicultura em tanque escavado, na sub-bacia do rio Guapiaçu, porém a atividade é considerada de uso não consuntivo, sendo seu impacto principal relacionado à carga poluidora no lançamento de efluentes.

Segundo o Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), 102 estabelecimentos agropecuários utilizavam métodos de irrigação, totalizando 261 ha de área irrigada (Tabelas 19 e 20) nos municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí, um percentual pequeno em relação ao total de estabelecimentos (3,5%). A molhação e a aspersão são os métodos de irrigação mais utilizados tanto por número de estabelecimento quanto área. Observa-se que nem todos os que informaram irrigar declararam o método e a área irrigada,

portanto, o dado pode estar subestimado.

Segundo a base de dados do cadastro de usuários de recursos hídricos[37] (INEA, 2019c), cabe destaque para a CEDAE (captação no canal de Imunana), a fábrica de bebidas da AMBEV (3 captações no Rio Guapiaçu e Rio Mariquita) e a Indústria de Papel e Embalagens Cibrapel (captação no Rio Soberbo), os usuários com maiores volumes de água de outorgada para captação na bacia (Tabela 21).

Tabela 19 – Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação e respectivo método de irrigação utilizado

Município	Total de estabel.	Total de estabel. c/ irrigação	Método de irrigação por estabelecimento				
			Localizada	Superfície	Aspersão	Outros métodos	
						Subsup.	Molhação
Cachoeiras de Macacu	2.154	34	4	0	13	7	12
Guapimirim	448	45	7	1	10	-	30
Itaboraí	245	23	5	1	0	-	17
Total	2847	102	16	2	23	7	66

Tabela 20 – Área irrigada nos estabelecimentos agropecuários e respectivo de método de irrigação utilizado

Município	Área total de estabel. (ha)	Área total irrigada nos estabel. (ha)	Método de irrigação por área (ha)				
			Localizada	Superfície	Aspersão	Outros métodos	
						Subsup.	Molhação
Cachoeiras de Macacu	39.343	109	0	0	39	16	14
Guapimirim	17.323	119	6	0	52	-	39
Itaboraí	16.470	33	4	0	0	-	26
Total	73.136	261	10	0	91	16	79

Nota: Dados do Censo Agropecuário 2017.
Fonte: IBGE, 2019.
Legenda: Estabelec. – Estabelecimento. Subsup. – Subsuperficial.

Tabela 21 – Outorgas concedidas para captação de água superficial na Bacia do rio Guapi-Macacu

Usuário	Corpo hídrico	Tipo de uso
Cibrapel Indústria de Papel e Embalagens S/A	Rio Socavão (Rio Soberbo)	Indústria
Parahy Mineradora Ltda.	Rio Rabelo	Consumo Humano
PETROBRÁS	Rio Macacu	Outras
Parahy Mineradora Ltda.	Afluente do Rio Rabelo	Consumo Humano
Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE)	Canal de Imunana	Abastecimento Público
Condomínio Village Ipanema Green II	Rio Macacu	Consumo Humano
Condomínio Village Ipanema Green I	Rio Macacu	Consumo Humano
Toniolo & Busnello S/A	Rio Bengala	Outras
AMBEV S.A.	Rio Guapiaçu	Indústria
	Rio Guapiaçu	Indústria
	Rio Mariquita	Indústria
Natural Transporte de Água LTDA	Rio Manuel Alexandre	Consumo Humano

Fonte: INEA, 2019c.

[37] Consulta a base dados do CNARH realizada em 11 de dezembro de 2019.

Observada a diferença entre a demanda estimada e a vazão outorgada, e a ausência de importantes usuários na base de usuários outorgados, infere-se que a grande maioria das captações não estão regulares, ou seja, há o uso da água sem a outorga pelo poder público. O baixo grau de regularização dificulta o controle qualitativo e quantitativo dos usos dos recursos hídricos e a gestão de conflitos, aumentando o risco de comprometimento do acesso a água em momentos de estiagem severa/secas, como já vem sendo observado.

Com a implantação do COMPERJ, há possibilidade de aumento da demanda residencial urbana e industrial, assim como o aumento do volume de esgotos sanitários e efluentes industriais em relação às projeções adotadas. A demanda da água industrial do COMPERJ foi prevista para ser atendida com água de reuso, conforme recomenda o Relatório de Impactos Ambientais do empreendimento. No entanto, a sua implantação representa um importante fator de aumento do conflito pela água, promovido pela especulação e valorização imobiliária da terra, aumento da densidade populacional e da demanda hídrica.

Em relação à exploração de água mineral, as maiores concentrações de empresas no estado estão concentradas na Região Metropolitana, em especial no município de Cachoeiras de Macacu, responsável por 23,3% da produção estadual (produção declarada de 128.795.863 litros) para o ano de 2012, segundo o Panorama Mineral do estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ, 2014). Segundo Wilkinson et al. (2012), a exploração é favorecida pela presença do relevo serrano alinhado às planícies litorâneas que determina zonas de descarga de águas superficiais e subterrâneas, e o alto grau de conservação e águas de excelente qualidade na porção mais alta da bacia. Conforme o Relatório Mineral ano 2018 do DRM-RJ, há 04 empresas de água mineral implantadas e ativas na região (Tabela 22).

Tabela 22 – Empresas de captação e envase de água mineral e extração mineral na Bacia do rio Guapi-Macacu

Município	Empresa	Substância	Status	Localização	
				x	y
Cachoeiras de Macacu	Mineradora Costa D'Água LTDA-ME	Água Mineral	Ativa	735438	7513682
	Salude Mineradora Ind. e Com. LTDA	Água Mineral	Ativa	730860	7493447
	Água Mineral Cascataí LTDA	Água Mineral	Ativa	733899	7519585
	Água Mineral Maratuã LTDA - ME	Água Mineral	Ativa	746050	7506354

Nota: Relatório Mineral 2018.
Fonte: DRM-RJ, 2019.

4.2.1.2.3 Balanço hídrico

O balanço hídrico expressa o quanto da disponibilidade do recurso hídrico está comprometida com as demandas, considerando os usos consuntivos para o abastecimento público, industrial, mineração, agricultura e criação animal. O valor é gerado a partir da divisão do valor total da demanda dos usos consuntivos pelo valor de disponibilidade hídrica em relação as vazões Q_{95} e Q_{MLT} (Tabela 23).

Segundo a Norma Operacional INEA nº 27/2019, a vazão de referência para outorga definida pelo órgão gestor de recursos hídricos (INEA) corresponde a 40% da $Q_{95\%}$. A razão entre a demanda de usos consuntivos e a vazão de referência gera o Índice de Comprometimento da Oferta hídrica (ICO). Para a área de estudo, o ICO atingiu níveis de comprometimento de 180,1% em 2020, e de 208,4% em 2030. Ou seja, nos dois cenários a demanda de usos consuntivos supera em quase duas vezes a vazão outorgável da Bacia do rio Guapi-Macacu, sendo classificado como muito crítico (Quadro 22).

O Índice de Retirada de Água (IRA) (*Water Exploitation Index),* por sua vez, é obtido pela razão da demanda total dos usos consuntivos em relação à vazão média de longo termo (Q_{MLT}). O índice atinge valores críticos de 22% para 2020 e 25,5% para 2030. Conforme faixas de classificação definidas por ANA (2009), o índice alcança valores críticos, no qual a bacia encontra-se sob estresse hídrico e se exigem ações de gerenciamento e investimentos massivos (Quadro 22).

Tabela 23 – Balanço hídrico na Bacia do rio Guapi-Macacu

Cenários	**Demanda abastecimento humano (m^3/s)**	**Demanda total estimada – $Q_{consumo}$ (m^3/s)**	**ICO** $Q_{consumo}$ **/40%**$Q_{95\%}$	**IRA** $Q_{consumo}$ /Q_{MLT}
2020	10,59	10,75	●180,1%	●22,0%
2030	12,25	12,44	●208,4%	●25,5%

Fonte: A autora, 2020.

Quadro 22 – Faixas de classificação do ICO e IRA

ICO ($Q_{consumo}$ /40% $Q_{95\%}$)	IRA ($Q_{consumo}$ /Q_{MLT})
● ≤ 5% (excelente)	● ≤ 5% (excelente)
● > 5 % e ≤ 30% (confortável)	● > 5 % e ≤ 10% (confortável)
● > 30 % e ≤ 50% (preocupante)	● > 10 % e ≤ 20% (preocupante, gerenciamento obrigatório)
● > 50 % e ≤ 100% (crítica)	● > 20 % e ≤ 40%) crítica – estresse hídrico)
● > 100% (muito crítica)	● > 40% (muito crítica – estresse hídrico extremo)

Nota: valores de referência baseados em ANA (2009) e CRHi (2010).
Fonte: A autora, 2020.

A bacia já apresenta déficit na produção de água e o cenário se agrava frente às tendências de crescimento populacional superior à média do estado em função da implantação do Complexo Petroquímico do Estado do Rio de Janeiro (COMPERJ) e da atração de outras indústrias de médio ou grande porte (INEA, 2014c). O sistema Imunana-Laranjal, cuja capacidade de produção é de até 7,0 m^3/s, é insuficiente para atender a demanda de abastecimento público em 2020, estimado em cerca de 10,6 m^3/s. Considerando a projeção de crescimento populacional, serão necessários 12,2 m^3/s para atender a demanda em 2030, o que torna imperativa e imediata a necessidade da implantação de medidas para aumento da disponibilidade hídrica e/ou a adoção de mananciais alternativos. Há um déficit hídrico de quase 3,6 m^3/s, e para atender a região até o ano de 2030, o déficit é estimado em 5,2 m^3/s.

Além disso, cabe mencionar as limitações e ressalvas sobre a adoção de valores de disponibilidade hídrica definida por critérios hidrológicos (40% da $Q_{95\%}$), que representa a vazão máxima outorgável no estado do Rio de Janeiro. A vazão de referência adotada para outorga não considera a escala espaço-temporal e a variabilidade hidrológica nos regimes naturais de vazões, e os padrões dos habitats ao longo do curso d'água com as mudanças de vazões (MEDEIROS et al., 2011). Dessa forma, não representa de fato a vazão ecológica da bacia, ou seja, a quantidade de água que deve permanecer no leito dos rios para atendimento das demandas do ecossistema aquático, para preservação da flora e da fauna relacionada ao corpo hídrico (CRUZ, 2005; MEDEIROS et al., 2011).

Além disso, para a alocação de água deve-se observar questões como o uso racional, a qualidade da água, direitos e responsabilidades dos usuários, ou ainda acordos de macroalocação de água, quando existentes (FORMIGA-JOHNSSON, 2013).

4.2.1.2.4 Conflitos pelo uso da água

A indisponibilidade da água para abastecimento da população da região tem múltiplos fatores e causas, associados tanto à cobertura e qualidade da prestação de serviços quanto ao comprometimento da oferta hídrica. A região atendida pelo sistema apresenta representativa deficiência do atendimento dos serviços de água: Niterói têm 100% dos domicílios permanentes urbanos com acesso à rede geral de água, seguido de Cachoeiras de Macacu com 94,5%, São Gonçalo com 81,3%, Itaboraí com 75,0%, e Maricá com 42,5% (Tabela 17), totalizando cerca

de 355.346 pessoas[38] que não possuem acesso aos serviços de água nos municípios atendidos pelo sistema Imunana-Laranjal.

O déficit hídrico de 3,6 m^3/s do sistema Imunana-Laranjal é uma das razões pela qual a vazão total produzida pelo sistema é insuficiente e não atende com qualidade a população. Segundo relato de técnicos da CEDAE (informação verbal[39]), em momentos de redução da vazão tratada decorrentes da estiagem, a companhia adota procedimentos para priorizar o atendimento de hospitais, escolas, e demais instalações e serviços públicos essenciais. Representantes do CBH-BG (informação verbal[40]) apontam a necessidade da elaboração de um plano de gerenciamento de crise do sistema Imunana-Laranjal, e que o mesmo defina, descreva e dê maior transparência à população sobre os procedimentos adotados pela companhia e dos critérios de distribuição da água em momentos de racionamento.

Segundo Freire (2017), em momentos de estiagem, observa-se intermitência prolongada e a diminuição da oferta em época de estiagem em vários bairros de Niterói e São Gonçalo e nas redes situadas em final de linha. Ainda, segundo a autora, as áreas que sofrem com a intermitência dos serviços de água não possuem relação com a proximidade ou distância em relação ao manancial, e sim com a questões sociais e de poder, visto a melhor prestação de serviços para área mais nobres em detrimento de áreas periféricas. Por exemplo, a região Oceânica de Niterói que raramente tem problemas de abastecimento, em detrimento dos serviços insatisfatórios prestados no bairro de Santa Isabel, em São Gonçalo, no município no qual situa-se a ETA Laranjal, e que não tem acesso a água tratada. Considerando essa problemática, Britto et al. (2016) afirma que a região sofre com uma escassez hidrossocial, ou seja, a indisponibilidade de água é determinada tanto pela escassez hídrica como pela forma de gestão e prestação dos serviços de abastecimento e questões político-sociais.

A vazão de entrada atual no canal de Imunana é de 7,0 m^3/s, e representa a capacidade nominal do complexo produtivo (CEDAE, 2019a). No entanto, durante o período de seca, já foram verificadas vazões inferiores à capacidade hoje instalada de 7,0 m^3 /s (CEDAE, 1988 apud DANTAS et al., 2008). Na estiagem de 2017, gestores do ICMBio manifestaram alerta quanto a gravidade da crise hídrica frente aos níveis muito baixos de vazão e à retirada quase integral da água do rio Guapi-Macacu para o canal de Imunana, provocando a intrusão salina nos rios Caceribu e Guapi-Macacu e colocando em risco o equilíbrio dos manguezais e

[38] Diferença entre a população residente total (GE12a) e a população total atendida com abastecimento de água (AG001) segundo dados do SNIS (2019) para os municípios de Itaboraí, Maricá, Niterói e São Gonçalo.
[39]Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.
[40]Entrevista realizada com membro do CBH-BG, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.

ecossistemas aquáticos (PAULA, 2017). Há conflitos pelo uso da água para atendimento das necessidades ecológicas para conservação dos ecossistemas costeiros em momentos de seca.

Na estiagem de 2007, com a redução do nível do canal de Imunana abaixo dos limiares críticos para operação do sistema Imunana-Laranjal, a CEDAE entrou em conflito com os demais usuários da bacia, em especial, grandes usuários industriais e agricultores. Segundo notícia veiculada no O Globo em 11/10/07 (BARBOZA, 2007), a companhia solicitou aos órgãos ambientais ações de fiscalização para coibir captações de água irregulares no leito do rio, identificadas a partir de sobrevoo realizado pelo presidente da concessionária na Bacia do rio Guapi-Macacu. Conforme notícia veiculada no jornal Extra (BRAGA, 2007), o pedido seria atendido pela SERLA e o Batalhão Florestal da Polícia Militar, que em 16/10/2007 suspendeu temporariamente a captação de 127 l/s de água feita pela cervejaria Schincariol (atualmente AMBEV) e 60% da captação por parte da empresa de produção de placa de gramas, a Itograss. Além disso, no dia 17/10, as instituições interditaram duas bombas de captação de água no Rio Macacu e um poço artesiano que operavam de forma irregular (EXTRA, 2007a). Segundo Benavides et al. (2009), técnicos da CEDAE apontaram ser possível notar o rebaixamento do nível do canal quando há captações a montante, no período de estiagem, e que o boletim interno da companhia de 2008 indicava a existência de conflitos com a irrigação, açudes particulares e uso industrial. Em entrevista com técnicos da CEDAE (informação verbal[41]), foi apontado que, nos períodos de estiagem, em sobrevoos realizados na região, continua a se observar bombas de captação de água e um aumento do número de açudes particulares ao longo da bacia.

A repercussão da operação de fiscalização em 2007 foi extremamente negativa na região junto aos pequenos produtores rurais, sendo criticada por ter sido uma ação pontual e desproporcional de fiscalização ambiental. Conforme relato do presidente da Associação de Produtores Rurais de Cachoeiras de Macacu em reuniões do CBH-BG, alguns pequenos proprietários chegaram a ser presos, e a ação foi limitada a um momento da crise, sem a devida orientação e assistência regular e contínua dos órgãos ambientais para regularização do uso da água pelos agricultores familiares.

Outro foco de conflito na bacia são os impactos socioambientais relacionados às alternativas propostas para aumento da disponibilidade hídrica e solução para o problema no déficit hídrico e atendimento das demandas futuras para o sistema Imunana-Laranjal. A alternativa selecionada pelo Governo do Estado e coordenado pela Secretaria de Estado do Ambiente, a implantação de barragem no rio Guapiaçu, implica na inundação de importantes

[41] Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

áreas agrícolas do município de Cachoeiras de Macacu, nas localidades do Vecchi, Anil, Ilha Vecchi, Quizanga, Subaio, Serra Queimada (Núcleos I a IV), Coco Duro, Boa Sorte, Sebastiana, Matumbo e Morro Frio. Segundo Farias (2015), a implantação da barragem atingirá diretamente 185 proprietários, e parcialmente ou indiretamente 147 proprietários, totalizando 332 propriedades e cerca de 1.500 pessoas afetadas na área de instalação da barragem e a ser inundada pelo reservatório. A localidade Serra Queimada seria a área mais atingida, com 143 propriedades afetadas.

Além disso, a área diretamente afetada pelo empreendimento implicará na perda de parte expressiva da produção agropecuária do município de Cachoeiras de Macacu. Segundo levantamento pelo EIA do projeto na área diretamente afetada pelo empreendimento em 2013, aferiu-se 52 variedades de produtos, que representam faturamento anual de R$ 17.215.652,00 e tem como principal destino a CEASA (AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2015) (Apêndice E). Esse valor representa mais de um terço do faturamento da produção agrícola do município de Cachoeiras de Macacu para o ano de 2014, no valor de R$ 48.878.040,00 segundo relatório do sistema de Acompanhamento Sistemático da Produção Agropecuária (ASPA) de 2014 (EMATER-RIO, 2014).

Nos anos de 2013 a 2016, houveram expressivas manifestações contrárias ao projeto de organizações da sociedade civil e produtores, influenciando na paralisação do licenciamento ambiental da barragem. O surgimento e evolução do conflito é apresentado com maiores detalhes no histórico do projeto, no item 4.2.1.2.6.

Quanto aos impactos da barragem a jusante, a existência de conflitos com atores e população potencialmente afetada não são claros e não foram abordados em profundidade no EIA do projeto (AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2015), e por consequência, há indefinições quanto ao posicionamento desses atores serem favoráveis ou não ao projeto. Segundo relato de funcionários do ICMBio (informação verbal [42]), seriam necessários estudos complementares para entender qual seria o impacto da barragem sobre a dinâmica na foz, no avanço da cunha salina e na regulação sazonal do regime de água doce e salobra nos manguezais, e se seriam negativos ou até positivos para os manguezais. Para alguns produtores em São José da Boa Morte, há receios quanto a acidentes envolvendo a barragem, mas também há expectativas de que a regularização das vazões pela barragem possa contribuir para reduzir o impacto das cheias (BORGES, 2014).

[42]Entrevista realizada com funcionário do ICMBio e Gestor da APA Guapimirim, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.

4.2.1.2.5 Síntese do estressor e grau de severidade do impacto

O Quadro 23 apresenta a síntese dos indicadores do estressor “Demanda pelo uso da água” com o valor, grau de ocorrência e o grau de severidade do impacto, relacionados à disponibilidade hídrica no manancial abastecedor do sistema Imunana-Laranjal, o balanço hídrico da Bacia do rio Guapi-Macacu e o índice de perdas na distribuição de água.

Quadro 23 – Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica atual do abastecimento público

Indicador	Valor	Severidade	Ocorrência	Valor de referência	Fonte do dado
Disponibilidade per capita - Vazão média ($Q_{médio}$) em relação à população total (m^3/hab.ano)	●842,8	● Alta	● Alta	Classificação / Severidade ● Acima de 2.500 – sem estresse / ● Baixa ● entre 1.500 e 2.500 – estresse hídr. / ● Média ● < 1.500 m^3 - estresse hídr. extremo / ● Alta Fonte: ANA (2009) e CRHi (2010)	UFF/FEC (2010), IBGE (2010)
Balanço hídrico - demanda total estimada em relação à 40% da $Q_{95\%}$ (%)	●180,1	● Alta	● Alta	Classificação / Severidade ● ≤ 30% - sem estresse / ● Baixa ● > 30 % e ≤ 50% - preocupante / ● Média ● > 50 % e ≤ 100% - estresse hídrico / ● Alta ● > 100% estresse hídrico extremo Fonte: CRHi (2010)	UFF/FEC (2010), INEA (2014a)
Balanço hídrico - demanda total estimada em relação à vazão média (%)	●25,5	● Alta	● Alta	Classificação / Severidade ● ≤ 10% - sem estresse / ● Baixa ● > 10 % e ≤ 20% - preocupante / ● Média ● > 20 % e ≤ 40% estresse hídrico / ● Alta ● > 40% estresse hídrico extremo Fonte: CRHi (2010)	UFF/FEC (2010), INEA (2014a)
Índice de perdas de água na distribuição (%)	Itaboraí ●22,18 São Gonçalo ●28,35 Maricá ●51,12 Niterói ●31,88 Sistema I.L. ●**29,30**	● Alta	● Alta	Classificação / Severidade ● Sem dado/ inconsistente / ● Sem dado ● < 20% / ● Baixa ● 20% a 30% / ● Média ● 30,1 a 40,0% / ● Alta Fonte: CRHi (2010) e SNIS (2019)	SNIS (2019)
Índice de perdas de água por número de ligações ativas de água (l/dia/lig.)	Itaboraí 185,54 São Gonçalo ●784,31 Maricá ●344,55 Niterói ●530,05 Sistema I.L. ●**607,35**	● Alta	● Alta	Classificação / Severidade Superior à média nacional (>339,3 l/dia/lig) / ● Alta Fonte: SNIS (2019)	SNIS (2019)

Fonte: A autora, 2020.

4.2.1.2.6 Ações de gestão sobre a demanda pelo uso da água

I) Investimentos para aumento da capacidade de produção da água tratada

Em relação às ações mais recentes promovidas pela CEDAE para aumento da capacidade de produção da água tratada pelo sistema Imunana-Laranjal para atendimento das demandas, cabe destacar os investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), executados de 2009 a 2013, com recursos de cerca de R$ 150 milhões. Foram realizadas melhorias na ETA Laranjal e a implantação de uma nova adutora, que permitiram aumentar a capacidade de produção de água tratada de 4.400 l/s para 7.000 l/s (O GLOBO, 2013; MONITOR MERCANTIL, 2011). Em São Gonçalo, realizou-se a construção do reservatório de Marques Maneta e a reativação do reservatório de Colubandê, e instalação de adutora de 2,6 km e 900 mm de diâmetro interligando o reservatório de Colubandê ao de Amendoeira. Em Itaboraí, realizou-se a ampliação da ETA Porto das Caixas. Em 2017, a CEDAE concluiu interligação da adutora de água bruta de 1.500 mm de diâmetro, em Itaboraí, em uma extensão de cerca de 50 metros, e interligação da tubulação de 1.200 milímetros de diâmetro em outra, de 1.400 mm de diâmetro. As intervenções permitiram elevar em 500 l/s a produção de água tratada pelo sistema, passando de 6.500 l/s para 7.000 l/s (CEDAE, 2017).

No entanto, a análise da evolução do crescimento populacional e da projeção de demandas indica que os investimentos no sistema não foram suficientes para garantir o atendimento da demanda para o abastecimento humano.

II) Ações para redução de perdas

Segundo técnicos da CEDAE (informação verbal[43]), o sistema foi modernizado e automatizado recentemente, permitindo a medição das vazões e a operação remota nos principais pontos de controle. Conforme relatado, outra importante medida foi a adoção de boas práticas operacionais no tratamento, como a redução do número de lavagens de filtros, reduzindo o índice de perdas na etapa de tratamento, que atualmente é de 1,32% do volume de água tratada. A companhia tem como ação prioritária a conclusão de estudo para redução de 85% das perdas na etapa de tratamento, o que representaria o atendimento adicional de cerca de 40 mil pessoas.

[43]Entrevista realizada com técnicos da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

Não foi possível levantar as ações e investimentos relacionados à redução de perdas na distribuição, porém, observa-se que houve poucos avanços, considerando os altos índices e volume de perdas na distribuição de água segundo o SNIS em 2018 (Tabela 16).

III) Estudos de vazão ecológica

A Autorização para o Licenciamento Ambiental (ALA) nº 01/2008, emitido pelo IBAMA, e incorporada na LP COMPERJ nº FE 013990 emitida pelo INEA, como condicionante nº 30.4, obrigou a PETROBRAS a apresentar estudos conclusivos sobre a vazão ecológica para manutenção dos manguezais, devendo ser concluídos antes da emissão da Licença de Operação do empreendimento. O estudo foi desenvolvido pelo Laboratório de Geoquímica da UFF, sob coordenação do professor Alberto Figueiredo, e até a data da entrevista, encontrava-se sob análise e revisão do ICMBio, segundo relato do gestor da APA Guapimirim (informação verbal [44]). Caso venha a ser finalizado e consolidado, poderá contribuir para orientar os ajustes dos usos atuais da água na bacia.

IV) Estudos de propostas e alternativas para aumento da disponibilidade hídrica

Em relação à análise de propostas e alternativas para o aumento da disponibilidade hídrica e solução do problema de déficit hídrico do sistema Imunana-Laranjal, as mesmas foram objeto de estudo e análise de diversos documentos, desde 1985. O Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, elaborado em 1985 pela CEDAE, analisou 7 alternativas de reservatórios nos rios Paraíso, Anil, Guapiaçu (jusante), Rabelo, Macacu e Soarinho, nas bacias do Macacu e Caceribu. O Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara (CONSÓRCIO ECOLOGUS-AGRAR, 2005), por sua vez, propôs em 2005 duas alternativas, sendo a primeira a barragem no rio Guapiaçu e a segunda, o conjunto de barragens nos rios Tanguá, Duas Barras, Manuel Alexandre, Caceribu e Soarinho (jusante) e abertura e exploração de poços no aquífero do rio Caceribu. Em 2010, o Projeto Macacu, desenvolvido UFF/ FEC (2010) por meio de patrocínio do programa Petrobras Ambiental, analisou a viabilidade de 5 alternativas de reservatórios nos rios Guapiaçu (montante e jusante), Soarinho, Caceribu e Tanguá, recomendando a sua

[44]Entrevista realizada com funcionário do ICMBio e Gestor da APA Guapimirim, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.

localização, volume, área do espelho d'água e a vazão regularizada. Dentre as alternativas estudadas, a alternativa do reservatório Guapiaçu a jusante foi recomendada como a de maior incremento da disponibilidade hídrica, na ordem de 4,65 m^3/s. Em 2014, o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro ratificaria a recomendação da construção de reservatório no rio Guapiaçu como a única alternativa viável para atender o déficit atual e as demandas futuras regionais, após a análise de 4 possíveis alternativas.

V) Projeto Barragem do rio Guapiaçu (jusante)

O projeto da barragem no rio Guapiaçu, alternativa selecionada pela SEAS, viria a ser viabilizada em 2012, a partir de Convênio nº 6000.0074450.12.4 celebrado entre a Petrobrás, o Estado do Rio de Janeiro, por meio da Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS) e do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) (Processo nº E-07-000.017/2012,), com a participação da Fundação BIO-RIO, cujo objeto era a implantação da Barragem Guapiaçu. O convênio foi firmado em decorrência das condicionantes do licenciamento do COMPERJ, em especial, a condicionante nº 19 da LP FE 013990 e condicionante nº 32 da LI nº IN 001540, que estabeleceram obrigação à PETROBRAS em aplicar R$ 250 milhões na construção da barragem para regularização da vazão do Rio Guapiaçu, incluindo o custeio das desapropriações necessárias, e a implantação de um Plano de Proteção da Área de Entorno do Reservatório, conforme projetos fornecidos pela SEAS e o INEA, vide Deliberação da Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA) nº 5.386, de 16/08/2011. A coordenação do projeto era realizada pela Secretaria Estadual do Ambiente, instruído no processo E-07/508.365/2012, sendo o licenciamento ambiental conduzido pelo INEA.

O projeto básico da barragem no rio Guapiaçu contemplava área total da barragem de 2.112 hectares, volume acumulado de 87,4 milhões de m^3, e incremento da disponibilidade hídrica na ordem de 5 m^3/s na cota da soleira do vertedor de 18,5 m, com falha admitida de 2% no tempo (FARIAS, 2015). A Portaria INEA n° 374 de 30/08/2012 instituiu o Grupo de Trabalho para acompanhamento da elaboração do EIA-RIMA para análise de viabilidade ambiental da implantação da barragem no rio Guapiaçu, e a Instrução Técnica CEAM n° 18/2012 definiu diretrizes para a elaboração do EIA-RIMA para obtenção da licença prévia. Em 02 de julho de 2013, a SEAS realizou apresentação do projeto básico da barragem do rio Guapiaçu na 6ª reunião extraordinária do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, informando que o mesmo estava sob licenciamento ambiental, e que estava em curso a elaboração do EIA-RIMA.

Os documentos foram elaborados pela Ambiental Engenharia e Consultoria em setembro de 2013, e atualizados em dezembro de 2015, estando disponíveis no site do INEA para consulta. O Decreto n° 44.403, de 23 de setembro de 2013, veio a declarar de utilidade pública para fins de desapropriação áreas e benfeitorias atingidas necessárias para a implantação da barragem de Guapiaçu na localidade de Urandy. O Decreto n° 44.457, de 01 de novembro de 2013, de mesmo teor, define o perímetro total da área da barragem a ser desapropriado, perfazendo área total de 2.112 hectares. Os atos foram publicados antes da conclusão do processo de licenciamento ambiental e sem prévia notificação ou consulta pública aos afetados, desencadeando conflitos e fortes manifestações contrárias da prefeitura de Cachoeiras de Macacu, da associação de produtores rurais de Cachoeiras de Macacu, do Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB) e amplamente veiculados na mídia. Um dos pontos mais polêmicos foi a citação no Decreto 44.457/13 do valor reservado pelo projeto para pagamento de indenizações e desapropriações, no valor de R$ 13.879.000,00 (treze milhões, oitocentos e setenta e nove mil), baseado no pagamento do valor de R$ 5.000,00 (cinco mil reais) por hectare para desapropriação, estimativas consideradas baixas para o contexto local. Em função das manifestações e da repercussão negativa na imprensa, a análise do EIA/RIMA e a concessão da licença prévia da barragem foram suspensos em maio de 2014 (DAFLON; NOBREGA, 2014).

Em 2015, com a repercussão da crise hídrica de 2014/2015, o projeto da barragem tornou-se novamente prioritário e as discussões foram reativadas ao longo do ano. Conforme registrado em noticiários, os afetados defendiam duas diferentes posições: totalmente contrária ao projeto, defendida pelo Movimento dos Atingidos por Barragens, ou propositiva de uma solução intermediária, com a alteração do projeto para 3 reservatórios nos rios Anil, Caboclo e Soarinho, áreas de menor impacto social e econômico. Esta última proposta foi defendida pelo sindicado de produtores rurais de Cachoeiras de Macacu e pelo CBH-BG, sendo encaminhada formalmente a SEAS e ao INEA em fevereiro de 2015 (VIEIRA, 2015).

Em 06 de agosto de 2015, ocorreu a 1ª audiência pública da Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) da Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro (ALERJ) para apurar a responsabilidades dos entes públicos e privados perante a crise hídrica que afetou o estado em 2014/2015 (CPI da Crise Hídrica), tendo como objeto de discussão a polêmica do projeto da barragem no rio Guapiaçu, contando com a participação de representantes da SEAS, COHIDRO, Sindicado de produtores rurais de Cachoeiras de Macacu, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) e MAB. Conforme registrado na ata do evento, além da defesa do posicionamento do MAB e do sindicado de produtores rurais de Cachoeiras de Macacu em

relação ao projeto, foram realizadas críticas à falta de diálogo, transparência e comunicação do governo perante a sociedade e proprietários rurais impactados, que não foram envolvidos ou ouvidos durante a elaboração do projeto. Representantes da academia e das organizações da sociedade civil questionaram a escolha da barragem no rio Guapiaçu como única alternativa viável, propondo outras alternativas possíveis, como a construção de reservatórios em áreas de menor impacto social e econômico, o desenvolvimento de programas de conservação e restauração florestal, e de redução de perdas e de uso racional da água. Segundo a presidência da CPI, foi evidenciada na audiência pública a necessidade de maior diálogo e de aprofundamento da análise e da escolha das alternativas para garantia da segurança hídrica, de modo que se opte pela solução de maior sustentabilidade do ponto de vista ambiental, econômico e social, e ouvida todas as partes envolvidas.

Em 2016 e 2017, o sistema Imunana-Laranjal seria afetado novamente pelas estiagens, suscitando reportagens e questionamentos sobre o andamento do projeto e encaminhamento dos conflitos. Conforme depoimentos de representantes da SEAS e do INEA no período, o projeto da barragem no rio Guapiaçu encontrava-se paralisado em função dos conflitos e barreiras para sua implantação. Dentre as justificativas e problemas apontados, o principal seria o impasse jurídico para regularização fundiária, desapropriação e indenização de proprietários em áreas de assentamento do INCRA ou sem a devida comprovação da titularidade ou posse da terra (ALENCAR, 2016). Outro problema seria o subdimensionamento do valor para pagamento de indenizações e desapropriações das terras. Estimou-se a necessidade de recursos adicionais de R$ 100 milhões e R$ 120 milhões para as indenizações (MENASCE, 2015). Nesse sentido, a Comissão Estadual de Controle Ambiental (CECA) determinaria ao INEA, por meio da Deliberação CECA 6.019/2016, a revisão e a unificação das condicionantes 32 e 34 estabelecidas na Averbação nº AVB001306 da Licença de Instalação nº 001540/2009, ampliando o valor originalmente previsto de R$ 250 milhões para o limite máximo de R$ 410 milhões para a viabilização da implantação da Barragem de Guapiaçu.

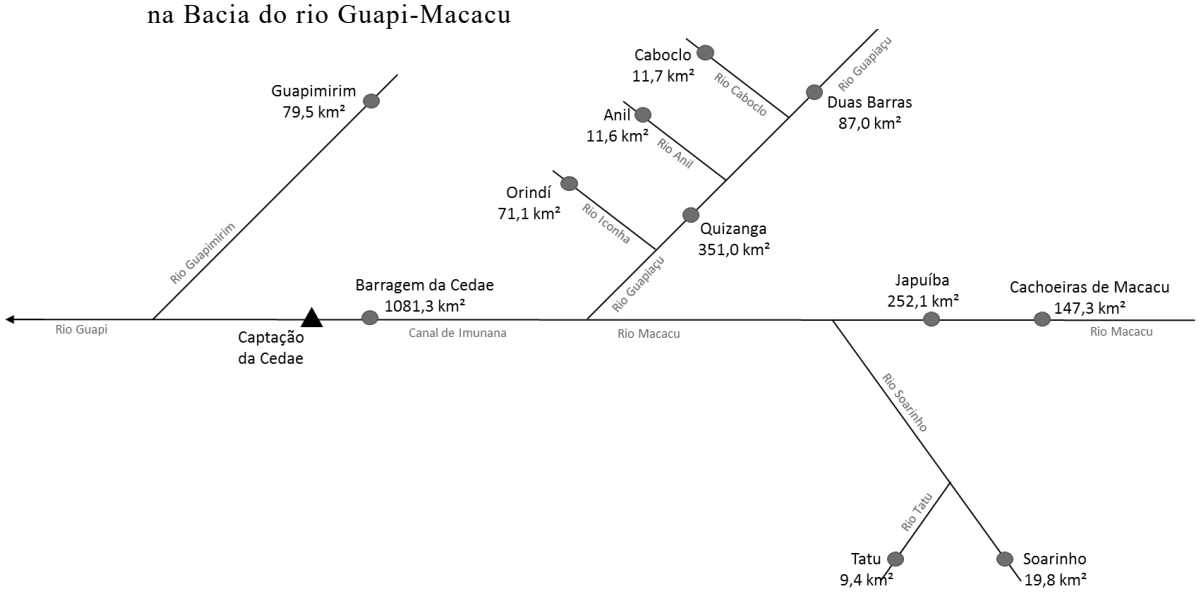
VI) Análise de alternativas pelo CERHI-RJ e CBH-BG

No dia 29 de abril de 2015, conforme ata da 62ª Reunião Ordinária do CERHI-RJ, foi aprovada a criação do Grupo de Trabalho da barragem do rio Guapiaçu (GT Guapiaçu) no Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (CERHI-RJ), com o objetivo de avaliar as alternativas para aumentar a disponibilidade hídrica do sistema Imunana-Laranjal, tendo como membros representantes da CEDAE, SEAS, INEA, Prefeitura Municipal

de Cachoeiras de Macacu , do Sindicato dos Produtores Rurais de Cachoeiras de Macacu e do CBH-BG. O grupo exerceu suas atividades no período de 2015 a 2018, tendo como principais ações a realização de campanhas de medição de vazão e instalação de estações de monitoramento quantitativo na Bacia do rio Guapi-Macacu, de modo a avaliar a proposta de 3 reservatórios menores nos rios Caboclo, Anil e Soarinho como alternativa a implantação da barragem do rio Guapiaçu, defendida pelo Sindicato dos Produtores Rurais de Cachoeiras de Macacu e pelo CBH-BG.

Devido à carência de dados de monitoramento da vazão, houve a necessidade de instalação de estações de monitoramento quantitativo para avaliar a viabilidade das alternativas. Com recursos do CBH-BG, por meio das resoluções CBH-BG n° 32, de 10 de novembro de 2015 e n° 46 de 23 de agosto de 2017, foram realizadas a aquisição, instalação e/ou operação de 13 estações na bacia (11 pluvio-fluviométricas, 1 meteorológica e 1 pluviométrica), e 44 medições de vazão nos rios Anil, Tatu, Guapimirim, Soarinho e Caboclo, representados na Figura 41. Os resultados preliminares do monitoramento indicaram que a vazão no rio Guapiaçu no trecho montante (Duas Barras) é inferior a metade da vazão no trecho jusante (Quizanga), corroborando a opção da alternativa Guapiaçu Jusante em detrimento da alternativa Guapiaçu Montante.

Figura 41 – Diagrama unifilar com a localização das estações de monitoramento pluvio-fluviométrico na Bacia do rio Guapi-Macacu



Fonte: FARIAS, 2019.

Com a Resolução CERHI-RJ n° 176, de 12/07/2017, todos os de trabalho instituídos no Conselho antes da sua publicação foram desativados, incluindo o GT Guapiaçu. Na 77ª Reunião Ordinária do CERHI-RJ, realizada em 25/10/2017, foi solicitada a criação do GT Imunana-Laranjal, com o objetivo de dar continuidade do trabalho realizado pelo GT

Guapiaçu, ou seja, avaliar proposições para o aumento da disponibilidade hídrica do sistema Imunana-Laranjal, acompanhar e avaliar os relatórios do monitoramento quantitativo da Bacia do rio Guapi-Macacu, e analisar a viabilidade da proposta de barramentos nos rios Caboclo, Anil e Soarinho. A proposta de formação do grupo de trabalho não foi aprovada no âmbito do Conselho, sendo remetido ao CBH-BG por competência e atribuição.

No CBH-BG, o GT Guapiaçu seria renomeado para GT Segurança Hídrica (GTSH) – Trecho Leste. A primeira reunião ocorreu no dia 10/10/2018, permanecendo ativo desde então. Dentre os produtos do GTSH, destaca-se o encaminhamento das propostas de elaboração de estudo para reaproveitamento das águas residuais da ETA Laranjal e do Plano de Segurança Hídrica do Leste da Baía de Guanabara, a ser aprovado em plenária do CBH-BG. No entanto, o encaminhamento das propostas encontra-se em suspenso frente a previsão da elaboração do Plano Estadual de Segurança Hídrica do Rio de Janeiro (PESH) em 2020, existindo questionamentos do CBH-BG em como as demandas do GTSH serão contempladas no PESH.

VII) Elaboração do Plano Estadual de Segurança Hídrica

O MPRJ teve papel decisivo no encaminhamento mais recente sobre o projeto de implantação da barragem no rio Guapiaçu e sobre a destinação de recursos que irão viabilizar o PESH, destacando a crescente relevância da atuação da instituição em prol da tutela quali-quantitativa dos recursos hídricos. Desde 2009, o MPRJ vem movendo uma série de questionamentos sobre o cumprimento das medidas mitigatórias e compensatórias do licenciamento ambiental do COMPERJ, por meio dos Inquéritos Civis n.º 314/09 (MPRJ 200800200748), Inquérito Civil n.º 132/13 (MPRJ 201301218630), Inquérito Civil n.º 161/15 (MPRJ 20150067759), Inquérito Civil n.º 126/13 (MPRJ 201301201999) e Inquérito Civil nº 34/2014 (MPRJ 201400277033). A Barragem do Guapiaçu, medida mitigatória e compensatória decorrente do licenciamento ambiental do COMPERJ, veio a ser objeto de questionamentos no Inquérito Civil nº 314/09 e IC nº 132/13. Em 09 de agosto de 2019, os inquéritos civis citados culminaram na celebração de Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre PETROBRAS, INEA e MPRJ, no âmbito da Ação Civil Pública nº 9919-12.2018.819.0023. O TAC definiu que a barragem no rio Guapiaçu não será implantada com recursos de medidas compensatórias sem os devidos estudos de alternativas para o reforço hídrico, e para tanto, estabeleceu no item 2 da Cláusula Segunda a destinação de 2,5 milhões de reais pela PETROBRAS à SEAS e ao INEA para elaboração Plano Estadual de Segurança Hídrica do Rio de Janeiro (PESH). O TAC define que o documento deve contemplar capítulo

específico acerca do abastecimento de água da região do Leste Fluminense, incluindo avaliação da Barragem de Guapiaçu e alternativas para abastecimento da região. O documento condicionou que o estudo aborde todos os itens da conclusão da Instrução Técnica nº 239/2017 do MPRJ, apontando as alterações necessárias no projeto inicial da Barragem do Guapiaçu, a fim de tornar o projeto viável do ponto de vista ambiental e social, e devendo ser observada a justa e prévia indenização pela desapropriação, quando for o caso.

VIII) Regularização de usos da água

Em relação ao uso da água e possíveis conflitos pelo uso da água, a realização de campanhas de cadastro de usuários da bacia para a alimentação do banco de dados do CNARH e para regularização dos usos na bacia é de extrema relevância, em especial aos usos agropecuários. As atividades agropecuárias em sua grande maioria não são regularizadas, considerado o baixo número de cadastros e outorgas. Constatou-se ainda o registro de queixas de usuários na demora no processo de licenciamento, decorrente da deficiência de pessoal e sobrecarga do setor responsável pela análise e emissão das outorgas no INEA, e da falta de capacitação, orientação e assistência aos proprietários rurais sobre o tema.

4.2.1.2.7 Análise do risco associado ao estressor “Demanda pelo uso da água”

A bacia já apresenta déficit hídrico e sofre com a insuficiência na produção de água, associado ao alto índice de comprometimento da oferta hídrica no ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal.

Conforme evidenciado pelos estudos disponíveis, sobretudo o Plano Estadual de Recursos Hídricos, a ocorrência do estressor é alta pois a demanda já superou o limite outorgável; e o estressor tende a pressionar ainda mais a bacia em função do crescimento populacional, demandas industriais e agropecuárias.

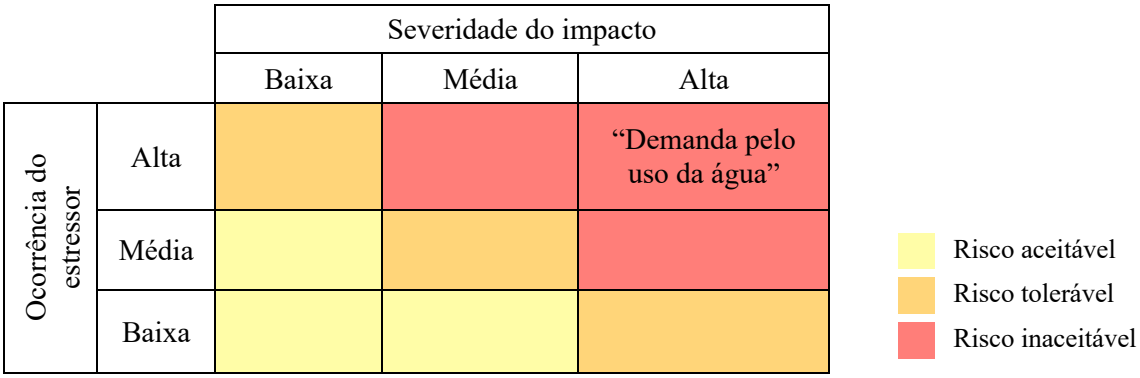
Há lacunas de conhecimento e demanda por regularização dos usos e usuários na área a montante do ponto de captação, considerando que o cadastro de usuários da bacia e a vazão outorgada não são representativos em relação à demanda estimada.

O impacto pode ser avaliado como sendo de alta severidade, uma vez que o sistema de abastecimento já enfrenta problemas de disponibilidade de água necessária para o

abastecimento urbano em períodos de estiagem, e vivencia conflitos pelo uso da água em eventos de estiagem junto ao ICMBio, em razão da demanda para garantia da vazão ecológica a jusante da captação, e dos usos industriais e agropecuários a montante do ponto de captação.

Portanto, o risco foi estimado como sendo "inaceitável" quanto ao estressor "Demanda pelo uso da água" sobre a Bacia do rio Guapi-Macacu, no ponto de captação do sistema Imunana-Laranjal (Figura 42).

Figura 42 – Matriz de determinação do grau de risco associado ao estressor "Demanda pelo uso da água"



Fonte: A autora, 2020.

4.2.1.3 Estressor "Eventos hidrológicos extremos"

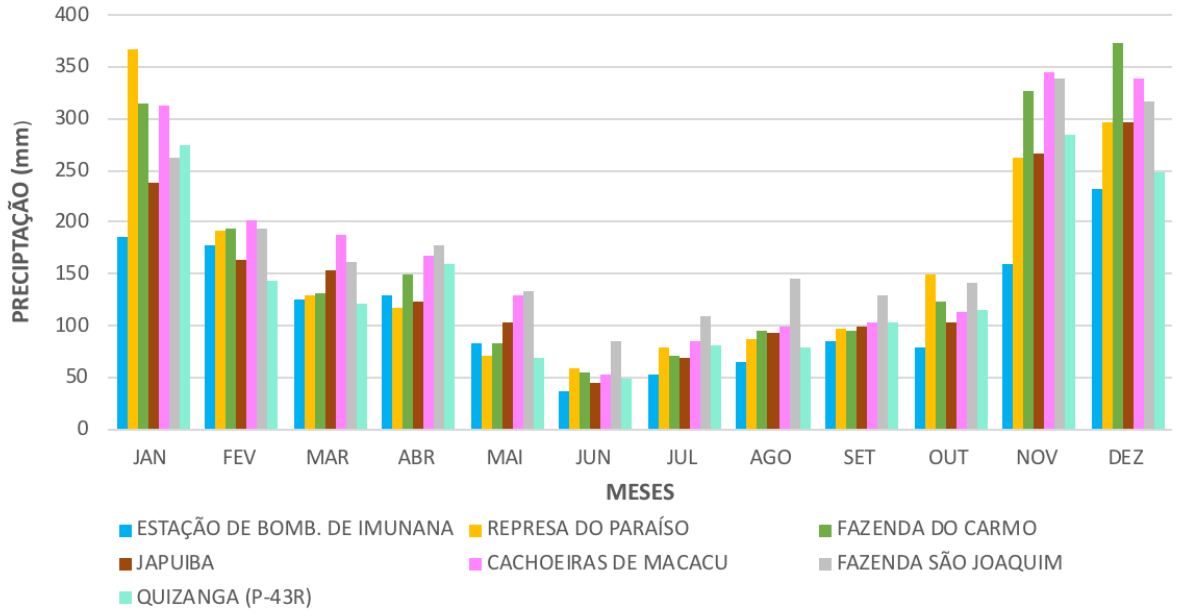
Segundo o Relatório de Diagnose do Sistema Estadual de Defesa Civil com ênfase nos Municípios (SEDEC-RJ, 2019), as estiagens, inundações, enxurradas e alagamentos foram apontados dentre as principais ameaças naturais para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí, baseado na percepção de riscos de desastres naturais dos coordenadores municipais de proteção e defesa civil.

A avaliação desse estressor refere-se ao impacto da seca/estiagem severa sobre a quantidade e qualidade de água, o comprometimento dos serviços de abastecimento e conflitos sobre os usos, enquanto o impacto da inundação se concentra na qualidade da água captada e no risco à integridade física dos subsistemas de captação e tratamento.

4.2.1.3.1 Caracterização climática

A variabilidade climática tem importante influência sobre o regime hídrico, e o regime pluviométrico possui forte correlação com a variação da disponibilidade de água. A Figura 43 apresenta os valores da precipitação total mensal e anual para o período comum de 1976-1980 de 7 postos pluviométricos localizados na Bacia do rio Guapi-Macacu (Tabela 24), segundo UFF/FEC (2010). O período chuvoso da região abrange os meses de outubro a março, sendo dezembro e janeiro os meses de maior precipitação.

Figura 43 – Precipitação média mensal para o período comum de 1976-1980



Fonte: UFF/FEC, 2010, adaptado pela autora.

Tabela 24 – Postos pluviométricos analisados

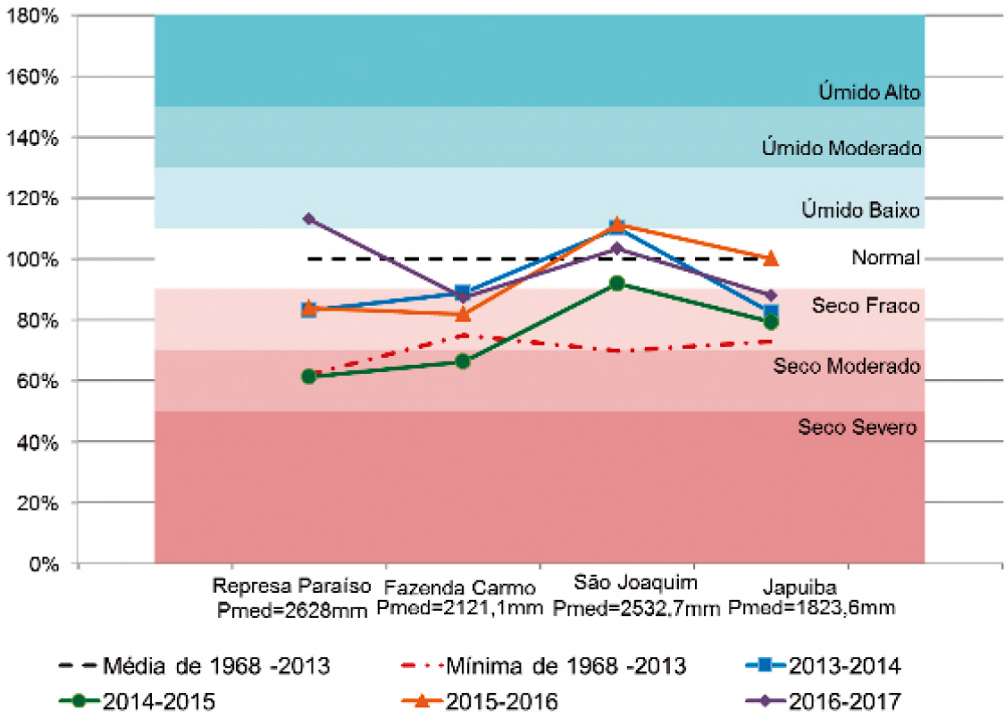
Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude(m)	Período
2242011	Estação de Imunana	Magé	22° 40' 49"S	42° 56' 56"W	10	1967-2005
2242012	Represa do Paraíso	Magé	22° 29' 55"S	42° 54' 40"W	60	1967-2005
2242013	Fazenda do Carmo	Cach. de Macacu	22° 26' 17"S	42° 46' 30"W	40	1967-2005
2242014	Japuiba	Cachoeiras de Macacu	22° 33' 33"S	42° 41' 56"W	50	1967-2005
2242015	Cachoeiras de Macacu	Cachoeiras de Macacu	22° 28' O"S	42° 39' OO"W	30	1942-1980
2242016	Fazenda São Joaquim	Cachoeiras de Macacu	22° 26' 28"S	42° 37' 19"W	275	1967-2005
2242093	Quizanga (P-43R)	Magé	22º 31' 13"S	42° 49' 50"W	10	1976-1994

Fonte: UFF/FEC, 2010.

Em relação à análise do comportamento pluviométrico, da ocorrência e do grau de severidade da falta de chuvas, Costa et al. (2018) calculou o Índice de Porcentagem Normal

(PN) e de Precipitação Padronizada (SPI)[45] para cada um dos anos hidrológicos de 1969 a 2017, a partir de registros de estações pluviométricas existentes no estado do Rio de Janeiro com disponibilidade de dados suficientes para a análise (Tabelas 25 a 27 e Figura 44). Para a área de estudo, foram analisados os dados de 4 estações pluviométricas (Represa Paraíso, Fazenda do Carmo, Fazenda São Joaquim e Japuíba), inseridas no interior ou nas proximidades da Bacia do rio Guapi-Macacu.

Figura 44 – Resultados do Índice de Porcentagem Normal



Fonte: COSTA et al., 2018.

[45] O PN é obtido dividindo a precipitação total do ano em análise pela precipitação normal (considerada a média do período), adaptada por Costa et al. (2018) de Gois (2005). O SPI é baseado no registro de precipitação de longo prazo ajustado a uma distribuição de probabilidade normalizada, ou seja, valores positivos de SPI indicam uma precipitação maior do que o valor médio (períodos úmidos), e os valores negativos indicam que a variável é inferior ao valor médio (períodos secos) (MCKEE et al., 1993). A série de precipitação é, então, ajustada à distribuição probabilística Gama para definir a relação entre a probabilidade de ocorrência e os valores da precipitação. Os valores desse índice comumente são classificados considerando sete limiares, que vão entre os extremos dos déficits e excessos de precipitação. Os limiares correspondem ao número de desvios padrão que a precipitação cumulativa observada se afasta da média climatológica. O SPI12 corresponde à quantidade de chuva ocorrida entre outubro do ano anterior e setembro do ano. O SPI6 (escala de análise de seis meses) dos meses de março e setembro, dos anos de 2014 a 2017, com o objetivo de analisar as chuvas ocorridas durante os períodos seco e úmido dos anos citados.

Tabela 25 – Resultados do índice SPI12 para o mês de setembro como referência no período de 1969 a 1994

Estação	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Represa Paraíso	-1,0	-1,1	-1,2	-0,8	-0,8	-1,3	-0,5	-0,2	-1,2	-1,7	-0,8	-1,4	-0,5	1,3	0,4	-1,0	0,0	-0,4	-0,7	0,6	0,3	-0,3	0,5	-0,3	0,1	0,8
Fazenda do Carmo	-1,8	-0,2	1,1	0,7	0,3	-1,0	-0,2	-0,2	-0,7	0,1	-0,1	-0,8	0,1	1,2	0,5	-1,8	1,7	-0,4	-0,2	0,9	1,1	-1,2	1,7	-1,0	-0,7	1,2
São Joaquim	-1,2	-0,6	0,2	0,6	-0,6	-0,8	-1,2	-0,8	-1,3	-1,8	0,6	-0,6	-0,6	1,6	1,6	-0,4	1,3	0,6	-0,1	-0,5	-0,5	-1,0	0,2	-1,5	-0,7	-0,4
Japuíba	-1,5	-0,2	0,4	0,3	0,1	-1,6	0,0	0,6	-0,5	-1,2	0,8	-1,1	-0,8	0,6	-0,1	-1,6	-0,3	-0,7	0,3	0,8	0,9	-0,2	0,1	-0,5	-0,9	1,4

Tabela 26 – Resultados do índice SPI12 para o mês de setembro como referência no período de 1995 a 2017

Estação	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Represa Paraíso	0,4	1,1	0,3	-0,3	-0,4			-0,7	-0,2	1,3	1,2	0,8	1,1	1,3	1,7	0,8	2,9	1,1	1,8	-0,6	-1,6	-0,6	-0,8
Fazenda do Carmo	-1,0	1,2	-0,1	0,2	-0,1			-1,6	-0,1	0,6	1,8	-0,4	0,2	1,1	1,2	1,4	0,3	-0,2	-0,1	-0,7	-2,6	-1,2	-0,9
São Joaquim	-1,5	-1,0	2,0	0,9	0,9			-0,7	-0,3	1,1	2,2	0,6	-0,1	1,1	1,4	1,6	0,4	0,0	-0,2	0,6	-0,4	0,7	0,6
Japuíba	1,0	2,0	-0,3	0,5	0,7			-1,1	0,3	1,3	1,5	-1,4	0,5	1,4	0,6	2,2	-0,9	0,2	1,0	-1,3	-1,6	0,1	0,2

Tabela 27 – Resultados do índice SPI6 para o período seco e úmido

Estação	Período seco (SPI6 abril a setembro)				Período úmido (SPI6 outubro a março)			
	2014	2015	2016	2017	2014	2015	2016	2017
Represa Paraíso	0,6	0,0	-1,1	-0,2	1,1	-2,2	-0,2	0,8
Fazenda do Carmo	0,9	-1,2	-1,8	-0,7	-1,3	-2,3	-0,5	-0,5
São Joaquim	1,9	-0,3	-0,5	-0,3	-0,3	-0,3	0,9	0,4
Japuíba	0,6	-0,1	-2,0	-1,0	-1,8	-1,6	1,0	-0,4

Legenda:

Extremamente seco | Moderadamente seco | Normal | Moderadamente Úmido | Severamente úmido | Extremamente úmido

Fonte: COSTA et al., 2018.

Os anos de 1969, 1978, 1984 e 2015 foram os de menor precipitação, registrando índices de moderadamente a extremamente seco em três das quatro estações pluviométricas. Cabe também destacar os anos de 1974 e 2002, que apresentaram duas estações pluviométricas com índices de moderadamente a extremamente seco. Os anos de 1982, 2005, 2009 e 2010, por sua vez, foram os de maior precipitação, registrando os índices de moderadamente, severamente e/ou extremamente úmido em pelo menos três das quatro estações pluviométricas.

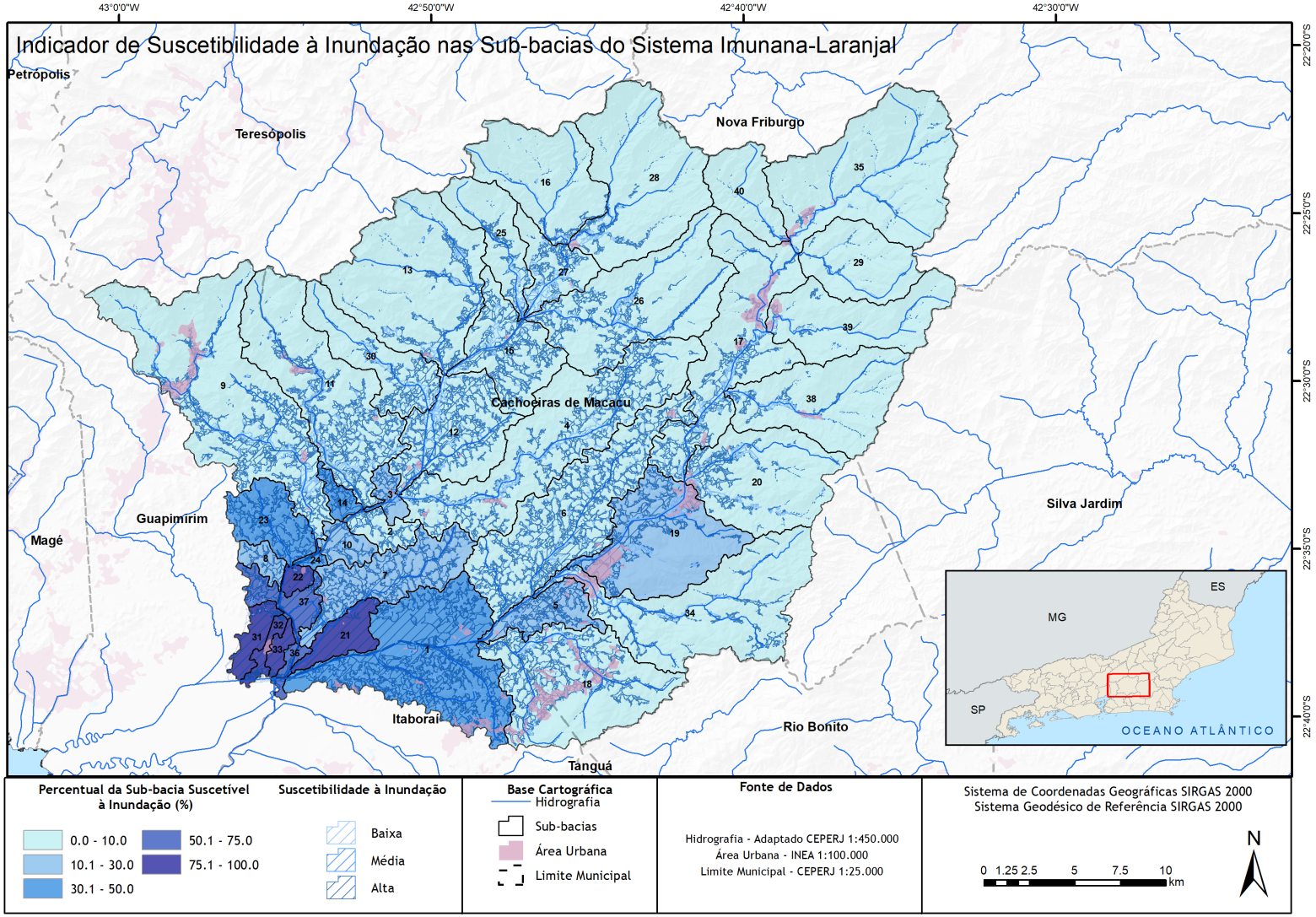
Os registros de eventos de estiagem que afetaram o abastecimento público na bacia coincidem com os anos de registro de menor precipitação em relação à média histórica. O ano de 2002 foi marcado por precipitações abaixo da média histórica, apresentando duas estações pluviométricas com índices SPI12 de moderadamente a extremamente seco. Nos anos hidrológicos de 2014 a 2017 as precipitações foram próximas ou inferiores à média histórica. No período analisado, as precipitações médias variaram de 1800 a 2600 mm, o PN variou de úmido baixo a seco moderado, e o SPI de 12 meses mostrou índices de normal a extremamente seco. O ano hidrológico de 2014/2015 foi o pior do período de 2013 a 2017, apresentando os menores valores de PN em todas as estações pluviométricas, e em uma estação a precipitação registrada foi inferior a mínima de 1968-2013.

Constituem exceções os anos de 2016 e 2017, que apesar dos registros de impactos abastecimento público pelos baixos níveis dos rios, apresentaram índices próximos da média histórica de precipitação para SPI12. No entanto, segundo SPI6, o período úmido de 2015 (outubro/15 a março/16) e o período seco de 2016 (abril a setembro de 2016) apresentaram índices de moderadamente a extremamente seco em 3 estações pluviométricas.

Cabe ressaltar que a compreensão das tendências de aumento ou redução nos níveis de chuvas em relação à média histórica não é precisa devido, principalmente, ao curto período de observações dessas anomalias (ANA, 2015). Dessa forma, os dados são analisados com o objetivo de avaliar o grau de severidade do excesso ou escassez de chuva registradas em relação à média histórica em questão, e não buscam analisar o mérito sobre a intensificação ou não dos eventos hidrológicos extremos na bacia

4.2.1.3.2 Suscetibilidade a inundações

Figura 45 – Mapa de áreas suscetíveis a inundação na Bacia do rio Guapi-Macacu e a classificação do percentual de áreas suscetíveis a inundação por sub-bacias



Fonte: INEA, 2019b.

A área de estudo apresenta características favoráveis à ocorrência de inundações, como elevados índices de pluviosidade, rios e córregos curtos e/ou com alta declividade, que drenam grandes quantidades de água para regiões de baixada, sendo objeto de estudos e projetos de prevenção e mitigação do risco de inundações pelo Governo do Estado.

Segundo o mapa de suscetibilidade a inundações do CPRM (2015), a Bacia do rio Guapi-Macacu tem mais de um quarto (25,3% ou 27.384,5 hectares) de sua área total suscetível a inundações (Tabela 28).

A maior parte das áreas se concentra na porção baixa da bacia, com destaque para as sub-bacias do Rio Macacu baixo curso 2 e do Rio Guapiaçu baixo curso 2, 8, 9 e 10, com mais de 75% de sua área susceptível à inundações; a sub-bacia do Rio Guapiaçu baixo curso 1, com mais de 50% de sua área susceptível a inundação; e as sub-bacias do Rio Oeste, do Rio Guapiaçu baixo curso 5 e do Rio Macacu baixo curso 1, com mais de 30% de sua área susceptível à inundação (Figura 45).

Tabela 28 – Áreas susceptíveis a inundações na Bacia do rio Guapi-Macacu

Classe	Suscetibilidade Baixa	Suscetibilidade Média	Suscetibilidade Alta	Total na bacia
Área (ha)	5.747,1	7.944,6	13.692,7	27.384,5
% da bacia	5,3%	7,3%	12,6%	25,3%

Fonte: INEA, 2019b.

4.2.1.3.3 Registro de ocorrência de desastres relacionados a inundações e impactos sobre o abastecimento

Segundo o Glossário de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2017), alagamento é a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana, provocando o acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas. As inundações ou enchentes, por sua vez, constituem o transbordamento de água da calha normal de rios, mares, lagos e açudes, acima de sua vazão normal. A enxurrada é o escoamento superficial com alta velocidade e energia, resultante de fortes chuvas concentradas.

Foram analisados neste item os desastres tipificados no Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) como alagamentos, enchentes, inundações, enxurradas ou inundações brutas, categorizados como grupo inundações. O grupo inundações/deslizamentos compreende registros de ocorrências tipificadas como inundações com ocorrências simultâneas

de deslizamentos. Essa divisão foi adotada considerando a falta de consistência na tipificação dos desastres e da impossibilidade de desagregar os dados de deslizamentos do segundo grupo.

Para este levantamento, foram consultadas três fontes de registro de ocorrências de desastres consultados: os Decretos Estaduais de reconhecimento de Estado de Calamidade Pública (ECP) e de Situação de Emergência, para o período de 1979 a 1999; as ocorrências registradas na notificação preliminar de desastre (NOPRED) e o de avaliação de danos (AVADAN), obtidos junto a SEDEC-RJ para o período de 2000 a 2012, e a base de dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), de 2013 até o presente momento. Os registros foram sistematizados nas Tabelas 29 e 30.

Não se dispõe de um banco de dados único consistente, com séries históricas completas e atualizações regulares do registro de desastres. Até 2012, os dados eram apresentados por município, e de modo geral não possuem indicação do corpo hídrico afetado nem das coordenadas geográficas das áreas afetadas, impossibilitando a espacialização do dado e devida análise para a área de estudo, o que veio a ser aperfeiçoado por meio da implantação do S2iD. Além disso, o período da base de dados analisado (1978-2018) é relativamente pequeno para realizar inferências sobre a frequência e intensidade dos desastres associados às precipitações extremas, cujos tempos de recorrência são muito maiores que este intervalo. Dentre as principais fragilidades da base se dados, cabe destacar a subnotificação de ocorrências mistas (ocorrência simultânea de mais de um tipo de desastre) e o baixo registro de eventos de estiagens e secas no estado, apresentando importantes discrepâncias em relação à ocorrência real desses fenômenos e do próprio mapa de ameaças naturais do estado do Rio de Janeiro (ESDEC, 2012). Além disso, o dado muitas vezes limita-se onde houve algum tipo de registro pela Defesa Civil Municipal, e não representa as áreas efetivamente afetadas por inundações na bacia, principalmente em áreas rurais.

Devido à lacuna de informações sobre a localização da ocorrência dos desastres, não foi possível selecionar e apresentar dados específicos para a área de estudo. Dessa forma, as informações foram consolidadas para municípios que integram o território da Bacia do rio Guapi-Macacu, e sempre quando possível, identificado e caracterizado o local de ocorrência.

Para a área de estudo, há registros de 1 evento de inundação em 1997, em Cachoeiras de Macacu, e de 2 eventos de inundação em 1998, em Cachoeiras de Macacu e Guapimirim, por meio da publicação de 3 Decretos Estaduais de Situações de Emergência, porém sem informações sobre os danos desses desastres. Em relação ao período de 2000 a 2019, para o qual há dados sobre danos, foram registrados 22 eventos de inundação nos três municípios, com 1.940 pessoas desalojadas, desabrigadas ou deslocadas e 76.194 pessoas afetadas, e 6 eventos

de inundações/ deslizamentos nos municípios de Cachoeiras de Macacu e Itaboraí, com 4.059 pessoas fora de casa e 59.661 afetados, totalizando a publicação de 8 decretos estaduais de Situação de Emergência, vide Tabelas 29 e 30, e Apêndice F. Os anos de registro de ocorrência de inundações (2004, 2005, 2008, 2009 e 2010) coincidem com os registros de maior precipitação, e nos quais pelo menos três das quatro estações apresentaram resultados do índice SPI12 moderadamente, severamente e/ou extremamente úmido. O relevo montanhoso no curso superior e planícies extensas no médio e baixo curso, associado ao uso agropecuário e ocupação nas áreas ribeirinhas são fatores atrelados ao significativo número de ocorrências/danos de desastres naturais nesta região.

Tabela 29 – Registro de ocorrências de inundações (alagamentos, enxurradas e inundações) e inundações com deslizamentos para os municípios da Bacia do rio Guapi-Macacu de 1979 a 2019

Município	Grupo de desastres	Nº de ocorrências	Nº desalojados desabrigados e deslocados	Nº de mortes	Nº de pessoas afetadas	SE	ECP
Cachoeiras de Macacu	Inundações	1	40	0	40	5	0
	Inundações e deslizamentos	4	2.393	3	56.845		
	Subtotal	*5*	*2.433*	*3*	*56.885*		
Guapimirim	Inundações	19	153	8	74.209	2	0
	Subtotal	*19*	*153*	*8*	*74.209*		*0*
Itaboraí	Inundações	2	1.747	0	1.945	1	0
	Inundações e deslizamentos	2	1.666	0	2.816		
	Subtotal	*4*	*3.413*	*0*	*4.761*		
Total		**28**	**5.999**	**11**	**135.855**	**8**	**0**

Legenda: SE – Situação de Emergência. ECP – Estado de Calamidade Pública.
Fonte: INEA, 2014d; S2iD, 2019.

Tabela 30 – Registro de ocorrências e danos de inundações (alagamentos, enxurradas e inundações) e inundações com deslizamentos para os municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim de 2000 a 2019

	Registro de ocorrências e danos		2000-2012					2013- 2019				Total	SE	ECP
			2004	2005	2008	2009	2010	2016	2017	2018	2019			
Cachoeiras de Macacu	**Inundação**	nº ocorrências	1	-	-	-	-	-	-	-	-	**1**	5	0
		nº pessoas desalojadas, desabrigadas e deslocadas	40	-	-	-	-	-	-	-	-	**40**		
		nº mortos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**0**		
		nº pessoas afetadas	40	-	-	-	-	-	-	-	-	**40**		
	Inundações/ deslizamentos	nº ocorrências	-	1	-	1	1	1	-	-	-	**4**		
		nº pessoas desalojadas, desabrigadas e deslocadas	-	250	-	250	337	1.556	-	-	-	**2.393**		
		nº mortos	-	2	-	-	-	1	-	-	-	**3**		
		nº pessoas afetadas	-	28.475	-	25.350	1.463	1.557	-	-	-	**56.845**		
Guapimirim	**Inundação**	nº ocorrências	-	-	2	3	5	3	1	4	1	**19**	1	0
		nº pessoas desalojadas, desabrigadas e deslocadas	-	-	18	20	34	12	-	69	-	**153**		
		nº mortos	-	-	7	1	-	-	-	-	-	**8**		
		nº pessoas afetadas	-	-	470	2.030	11.515	84	-	497	59.613	**74.209**		
Itaboraí	**Inundação**	nº ocorrências	-	-	-	1	1	-	-	-	-	**2**	2	0
		nº pessoas desalojadas, desabrigadas e deslocadas	-	-	-	168	1.579	-	-	-	-	**1.747**		
		nº mortos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**0**		
		nº pessoas afetadas	-	-	-	366	1.579	-	-	-	-	**1.945**		
	Inundações/ deslizamentos	nº ocorrências	-	-	-	1	-	-	-	1	-	**2**		
		nº pessoas desalojadas, desabrigadas e deslocadas	-	-	-	1.624	-	-	-	42	-	**1.666**		
		nº mortos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**0**		
		nº pessoas afetadas	-	-	-	1.624	-	-	-	1.192	-	**2.816**		

Legenda: SE – Situação de Emergência. ECP – Estado de Calamidade Pública.

Fonte: Base de dados da SEDEC-RJ, 2012; S2iD, 2019.

Apesar do município de Guapimirim apresentar maior ocorrência de inundações, observam-se apenas uma publicação de decreto de Situações de Emergência em Guapimirim. Em Cachoeiras de Macacu e Itaboraí, a maior parte das ocorrências foram reconhecidas como Situações de Emergência.

Em relação aos registros de ocorrência de "inundações" e "inundações/deslizamentos" nos três municípios, é possível identificar a ocorrência de desastres na Bacia do rio Guapi-Macacu nos municípios de Cachoeiras de Macacu e Guapimirim, conforme detalhado a seguir. Não foi possível identificar registro de desastres na porção da bacia no município de Itaboraí, cujos registros de eventos de inundação ocorrem somente na bacia do rio Caceribu (ITABORAÍ, 2018).

Segundo os registros, os eventos de "inundações" ou "inundações/deslizamentos" no município de Cachoeiras de Macacu, em geral, são ocasionados por precipitações intensas em um curto intervalo de tempo e afetam extensas áreas, tanto rurais quanto urbanas na bacia. Segundo o PERHI-RJ (INEA, 2014d), os locais críticos às inundações do município na bacia são a sede municipal de Cachoeiras de Macacu, o distrito de Santana de Japuíba, e os bairros de Papucaia, na calha principal do rio Macacu, e São José da Boa Morte, na calha do rio Guapiaçu (Figura 46). Neste último, as inundações são frequentes, inundando extensas áreas por vários meses consecutivos e implicando em amplo prejuízo para os agricultores (MASTERPLAN, 2019).

Figura 46 – Inundação registrada em 2019 na área do antigo encontro dos rios Macacu e Guapiaçu



Fonte: VALCARCEL, 2019 apud MASTERPLAN, 2019.

Em 01/01/2004, chuvas intensas provocaram o rompimento de 3 diques inundando cerca de 800 ha de áreas rurais na região de São José da Boa Morte, provocando perda total da produção agropecuária e desalojando 40 pessoas, conforme registros da defesa civil. No entanto, há divergência em relação aos dados veiculados em notícias: segundo o Correio do Brasil (2004), foram danificados plantações e cultivos de cereais, afetando em torno de 4,3 mil pessoas, o que gerou prejuízos avaliados em R$ 9 milhões. Em 11/12/2005, uma precipitação

de 130 mm em menos de 3 h de duração causou inundações e deslizamentos tanto em áreas urbanas quanto rurais em quase todo o município, afetando pouco mais da metade da sua população. Em 22/01/2009, chuvas intensas provocaram fenômeno de proporções e impactos similares ao de 2005.

Em 2009, ocorreu o rompimento de um dique provocando inundação em 20 ha na localidade de São José da Boa Morte com perda total de 34 áreas de plantio agrícola, afetando casas, destruindo pontes e interditando estradas. O distrito sede foi afetado pela queda de árvores e barreiras. Em 06/04/2010, choveu o equivalente a 210 mm em 12 h, e segundo dados disponibilizados pela Defesa Civil de Cachoeiras de Macacu, foi inundada a Gleba G de São José da Boa Morte em decorrência do transbordamento de um dique, desalojando 34 pessoas. O distrito sede foi afetado por quedas de árvore e deslizamento de barreiras.

Entre 28/02 a 01/03/2016, choveu o equivalente a 300 mm, e as fortes chuvas provocaram o aumento do nível dos rios Macacu, Soarinho e Guapiaçu e pequenos córregos, inundando áreas extensas no meio urbano e rural[46] e desalojando cerca de 1.500 habitantes. O desastre também provocou o deslizamento de encostas, queda de pontes e estradas, rompimento de diques na localidade de Marubaí, perda de produção agrícola, interrupção do serviço de luz, água, telefone, internet, transporte, além de um óbito. Estimam-se um prejuízo econômico dos serviços públicos de aproximadamente R$ 5 milhões, e perdas de cerca de R$ 8 milhões nos setores da agricultura, pecuária, indústria, comércio e serviços.

Guapimirim é o município com maior ocorrência de desastres, totalizando 19 ocorrências do grupo inundação. Os eventos são decorrentes de precipitações intensas em um curto intervalo de tempo, afetando as áreas urbanas com alagamentos e inundações em diversos bairros, e com ocorrência de enxurradas no rio Soberbo. Não há registros de desastres em áreas rurais. Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (INEA, 2014d), os locais críticos às inundações do município na bacia são os bairros Iconha e Caneca Fina, na calha do rio Soberbo, afluente do rio Guapiaçu.

Apesar dos eventos de inundação em Itaboraí não ocorrerem no território da Bacia do rio Guapi-Macacu, é importante destacar que os seus impactos no sistema de abastecimento público do município. Os alagamentos e inundações tem provocado a contaminação de poços

[46] Foram afetadas as localidades de Boca do Mato, Castália, Valério, Rasgo, Tuim, Campo do Prado, Taborda, Boa Vista, Ganguri de Cima, Morro do Cleber, Cidade Alta, Parque Veneza, Japuíba, Ribeira, Papucaia, Morro do Sossego, Maraporã, Marubaí, Vecchi, Soarinho, São José da Boa Morte, Serra Queimada, Itaperiti e Agro Brasil.

artesianos em Itaboraí, conforme apontado em registros (inundação com deslizamento de 12/02/2009), ameaçando o abastecimento de parte expressiva da população do município que é atendida por poços artesianos.

Em relação aos impactos dos eventos de inundação para segurança hídrica do abastecimento público, não há registro de impactos na integridade física do sistema Imunana-Laranjal, segundo informado por funcionários da CEDAE (informação verbal[47]). Contudo, os mesmos relataram que as chuvas intensas estão associadas com a significativa piora na qualidade de água, e nos anos de 2004 e 2016, foi observado expressivo aporte de carga orgânica ao manancial com o rompimento de diques em São José da Boa Morte.

4.2.1.3.4 Registro das ocorrências de estiagens severas/secas e impactos sobre os serviços de abastecimento

Segundo a ANA (2015) a estiagem é um fenômeno natural que ocorre quando há deficiência de precipitação num determinado período de tempo. A seca, por sua vez, é resultante de uma estiagem severa ou prolongada com a redução significativa da disponibilidade hídrica em quantidade e também, às vezes, em qualidade, com impactos no abastecimento, nos ecossistemas e atividades socioeconômicas.

Em função da ausência de dados de registro de eventos de estiagens severas/secas nas bases de dados associados à desastres (SEDEC-RJ e S2iD), adotou-se a busca por informações complementares sobre a ocorrência e impacto desses eventos a partir da consulta a veículos de imprensa, notas e dados fornecidos pelo INEA, SEAPA, CEDAE e outros documentos oficiais.

Segundo informações prestadas pela CEDAE (informação verbal[48]), há o registro de 5 eventos de estiagem que impactaram o funcionamento do sistema Imunana-Laranjal, nos anos de 2002, 2007, 2015, 2016 e 2017 (CEDAE, 2019a). As estiagens têm sido fortemente ressentidas no ponto de captação, devido a redução do nível da água no canal de Imunana. O nível normal de operação é acima de 1,00 m no ponto de captação, no entanto, em períodos de estiagem, o canal pode atingir níveis inferiores a 0,9 m, limiar a partir do qual adotam-se

[47]Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.
[48]Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

manobras operacionais para garantir o funcionamento do sistema, implicando na redução da vazão aduzida e prejudicando o fornecimento de água para a população.

Segundo Dantas et al. (2008), após o evento ocorrido em 2002, a CEDAE buscou alternativas para transposição de água em rios próximos, de modo a garantir níveis mínimos no canal de Imunana para viabilizar a captação de água. Análises de qualidade da água indicaram que o rio Guapimirim possuía qualidade de água similar ao rio Guapi-Macacu, e que as águas do rio Caceribu eram impróprias para tratamento, com níveis de cloreto e cianobactérias acima dos padrões de potabilidade. Conforme relato de técnicos da CEDAE (informação verbal[49]), a partir de 2014, passou-se a utilizar bombas de sucção submersíveis para transposição de águas do rio Guapimirim para o canal de Imunana, cuja utilização é facilitada pelo represamento das águas no rio Guapimirim durante a maré alta, representando um ganho de até 600 l/s. Há monitoramento de cloreto no ponto da transposição, considerando a influência da cunha salina neste trecho no momento da maré alta. O procedimento vem sendo adotado deste então pela CEDAE, em situações de estiagem, podendo durar em torno de 10 dias até se regularizar o nível do canal.

Quando o nível do canal atinge valores inferiores a 0,80 m, é necessário realizar o desligamento de um dos quatro grupos da elevatória de água bruta do canal de Imunana, com significativa redução de vazão aduzida e prejuízo na capacidade de tratamento e produção de água (CEDAE, 2019a). Neste caso, são provocados prejuízos e contratempos a população devido a redução e/ou intermitência do fornecimento de água tratada, conforme amplamente documentado em notícias veiculadas em meios de comunicação (O FLUMINENSE, 2002 apud DANTAS et al., 2008; O FLUMINENSE, 2015; PAULA, 2017; ALENCAR, 2017).

A Figura 47 e o Apêndice G apresentam o histórico de variação do nível d'água do canal de Imunana no ponto de captação para os meses mais secos (julho a outubro) de 2002 a 2018, com registros de nível abaixo de 0,9 m para os anos de 2002, 2007, 2015, 2016 e 2017. Cabe destaque aos anos de 2002 e 2007, os mais severos para o sistema Imunana-Laranjal, onde o nível atingiu valores inferiores a 0,8 m. O ano mais crítico foi o de 2002, com o menor valor histórico registrado, no qual o nível do canal atingiu 0,29 m em 02/08/2012.

A Figura 48 e o Apêndice G apresentam a variação do nível d'água no canal de Imunana em dezembro de 2015 e janeiro de 2016, no qual registrou-se níveis abaixo de 0,9 m,

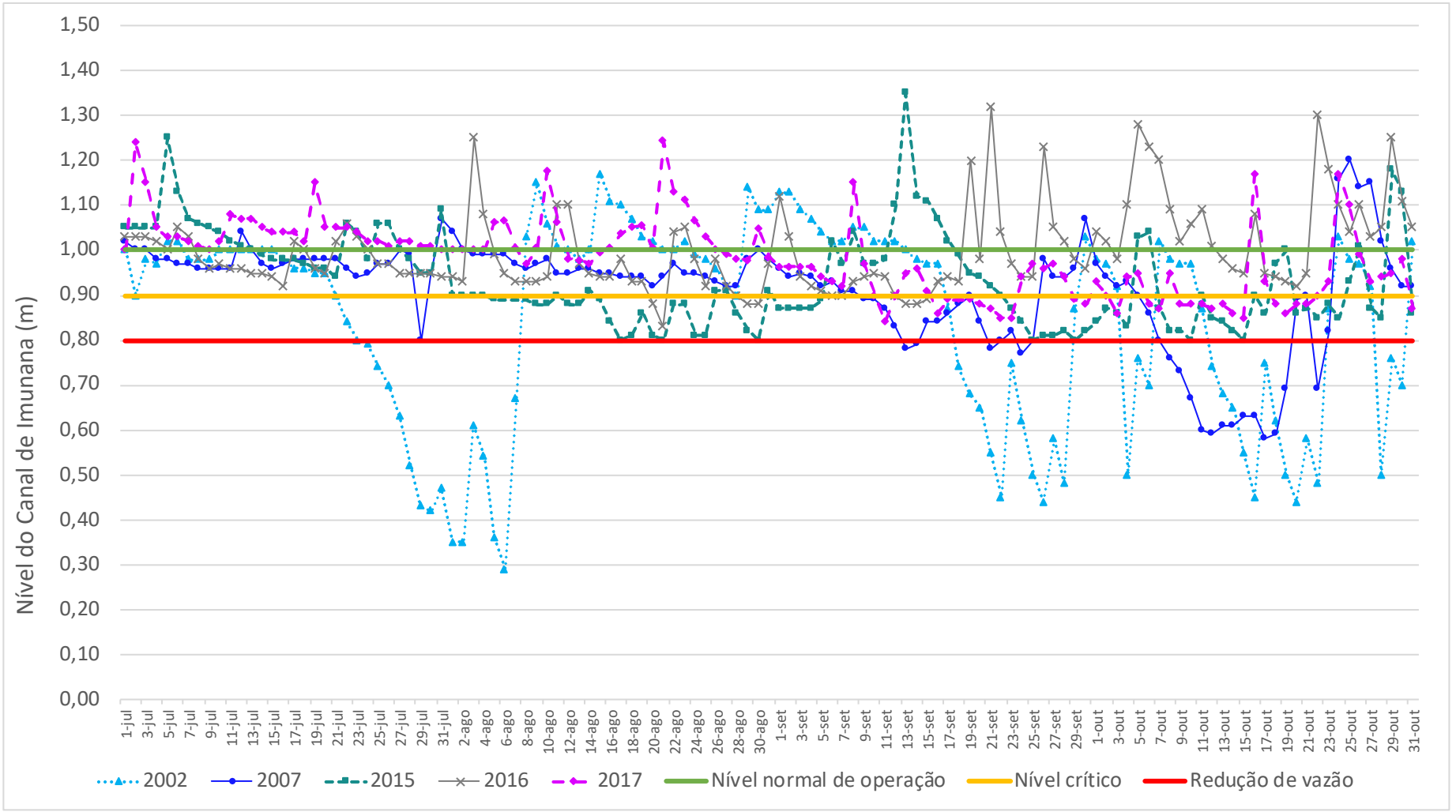
[49]Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

configurando único registro de evento de estiagem atípico ocorrido durante a estação úmida (chuvosa).

Nos meses de agosto a outubro de 2002, a estiagem e o rebaixamento dos níveis de água afetaram o funcionamento da ETA Imunana, sendo o evento relatado pela mídia como o mais grave problema de abastecimento de água na região leste da Baía de Guanabara dos últimos 40 anos (EXTRA, 2002 apud DANTAS et al., 2008). Há registros pela CEDAE do desligamento de um dos quatro grupos da elevatória com redução das vazões aduzidas, e em momentos mais críticos, houve períodos de paralisação total do sistema. Segundo o jornal O Fluminense (2002 apud DANTAS et al., 2008), houve a redução do abastecimento em aproximadamente 30% nesse período e a interrupção do abastecimento em quatro dias consecutivos em agosto e sete dias em outubro.

Nos meses de setembro e outubro de 2007, o nível do canal de Imunana chegou a valores críticos, abaixo de 0,8 m (Figura 49). No mês de outubro, a CEDAE realizou manobras de ativação da bomba de sucção submersíveis para recalcar as águas de jusante do barramento para o canal de adução, com desligamento de um dos quatro grupos da elevatória e redução das vazões aduzidas nos momentos mais críticos. Segundo o Jornal EXTRA (2007b), o sistema Imunana-Laranjal operou em 70% da sua capacidade no período.

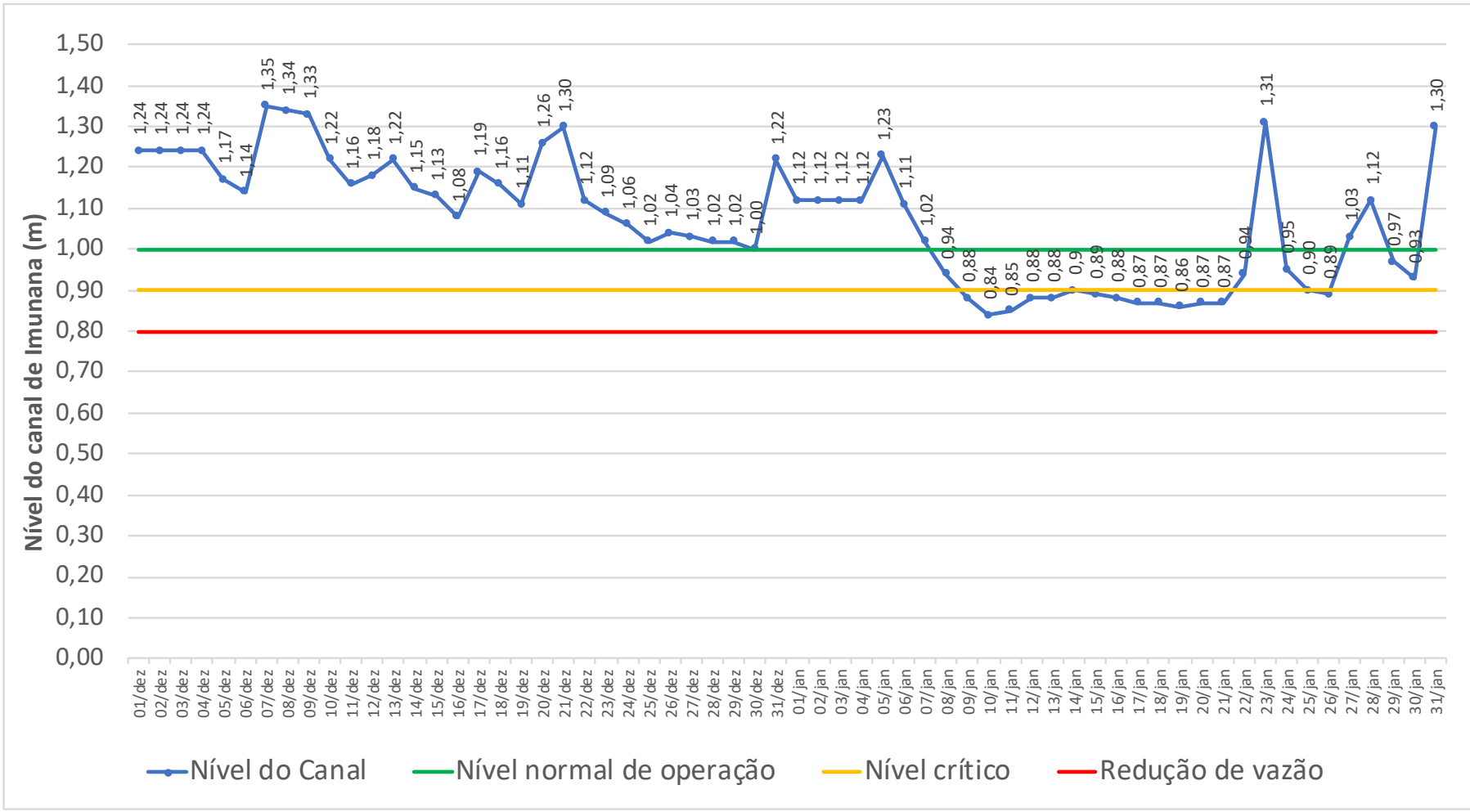
Figura 47 – Nível do canal de Imunana em eventos de estiagem na estação seca (01/jul a 31/out) em anos de estiagem



Legenda: Igual e acima de 1,00m – nível normal de operação do sistema Imunana-Laranjal. Entre 0,99 e 0,90 m – abaixo do nível normal de operação. Entre 0,89 m e 0,80 m - nível crítico de operação, com ativação da bomba de transposição e redução do volume aduzido Abaixo de 0,8 m – redução de vazão aduzida com desligamento de um grupo da elevatória de água bruta.

Fonte: A autora, 2020. Dados extraídos de CEDAE, 2019a.

Figura 48 – Nível do canal de Imunana na estação úmida (01/dez a 31/jan) em anos de estiagem



Legenda: Igual e acima de 1,00m – nível normal de operação do sistema Imunana-Laranjal. Entre 0,99 e 0,90 m – abaixo do nível normal de operação. Entre 0,89 m e 0,80 m - nível crítico de operação, com ativação da bomba de transposição e redução do volume aduzido Abaixo de 0,8 m – redução de vazão aduzida com desligamento de um grupo da elevatória de água bruta.

Fonte: CEDAE, 2019a.

Figura 49 – Fotos do subsistema de captação de água na estiagem de 2007



(A) (B) (C)

Legenda: (A) Visão da barragem de jusante para montante, com barragem submersa totalmente exposta na estiagem de 2007. (B) Detalhe da bomba submersível. (C) Detalhe da captação da água de jusante da barragem, sendo recalcada para o canal de adução.
Nota: Registro fotográfico realizado 19/10/2007.
Fonte: UFF/FEC, 2010.

Em fevereiro de 2015, foi noticiada a redução dos níveis do rio Guapi-Macacu e alertado o risco de racionamento caso as vazões continuassem a reduzir no período seco (RESENDE, 2015), o que veio a se suceder. De agosto a outubro de 2015, os níveis do rio Guapi-Macacu atingiram valores inferiores a 0,9 m, e há registros de ativação das bombas de transposição da barragem, desligamento do grupo de elevatórias e redução das vazões aduzidas pela CEDAE ao longo do período. O sistema Imunana-Laranjal reduziu a produção de 6,5 m^3/s para 5,5 m^3/s, afetando principalmente o atendimento de bairros dos municípios de Niterói e São Gonçalo (O FLUMINENSE, 2015). A concessionária Águas de Niterói teve uma redução de 25% da produção de água, recebendo 1,5 m^3/s do sistema Imunana-Laranjal, ao invés dos usuais 2,0 m^3/s (G1 RIO, 2015).

A estiagem de 2015 também provocou expressivas perdas no setor agropecuário. Segundo análise realizada pela SEAPA (2015), as perdas na fruticultura foram na ordem de 25% para laranja e 15% para tangerina em Cachoeiras de Macacu e Itaboraí, e de 10% para a goiaba, limão e maracujá em Cachoeiras de Macacu. A falta de chuvas impediu o desenvolvimento adequado de pastagens e capineiras, e associados com elevadas temperaturas e grande estresse calóricos no rebanho, repercutiram em perdas na produção leiteira e na bovinocultura de corte na ordem de 37% em Itaboraí e 20% em Cachoeiras de Macacu. Quanto a olericultura, as culturas de aipim, quiabo e milho verde não sofreram grandes perdas (5%) em função do bom armazenamento hídrico no solo no período.

Em janeiro de 2016, de forma atípica, o canal de Imunana atingiu níveis abaixo de 0,9 m durante a estação úmida, havendo registro de ligação da bomba de transposição de água do rio Guapimirim. Em agosto e setembro do mesmo ano, o canal de Imunana atingiu novamente níveis críticos. Em 14 de setembro do mesmo ano, a CEDAE publicou nota alertando os

consumidores da redução da produção e fornecimento de água em função da estiagem e do rebaixamento do nível de água no canal de Imunana (CEDAE, 2016). Neste ano, no entanto, não houve registros de notícias de interrupções no abastecimento.

Em setembro de 2017, diversos municípios no estado do Rio de Janeiro decretaram estado de emergência em função da estiagem que afetou o Noroeste Fluminense e a Região Metropolitana (WERNECK, 2017). Na Bacia do rio Guapi-Macacu, nos meses de setembro e outubro o nível da água atingiu níveis críticos, obrigando a CEDAE a adotar manobras excepcionais para garantir a continuidade do abastecimento (PAULA, 2017). A produção do sistema Imunana-Laranjal foi reduzida de 6,5 m^3/s para 5 m^3/s, causando interrupções no fornecimento de água em Niterói e São Gonçalo (ALENCAR, 2017). Nesta ocasião, gestores do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) manifestaram publicamente a preocupação com os níveis muito baixos de vazão e da retirada quase integral da água do rio Guapi-Macacu para o canal de Imunana, provocando a intrusão salina nos rios Caceribu e Guapi-Macacu e colocando em risco o equilíbrio dos manguezais, conforme notícia veiculada no jornal o Globo (PAULA 2017).

4.2.1.3.5 Síntese do estressor

O Quadro 24 representa a visão geral da situação dos estressores de eventos climáticos extremos na bacia, e resume as informações relacionadas aos indicadores de suscetibilidade às inundações e de registro das ocorrências de inundações e estiagens na bacia, analisando a severidade do impacto sobre a quantidade e qualidade da água e a qualidade dos serviços de abastecimento de água na região.

Para esta análise de severidade, foram considerados os indicadores de número de ocorrências de inundações e estiagens e os danos e impactos relacionados, e a relação dos eventos com a segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal.

Quadro 24 – Estressores de água bruta selecionados para compor o modelo analítico de avaliação da segurança hídrica do abastecimento público

<table>
<tr><th>Indicador</th><th>Valor</th><th>Severidade</th><th>Ocorrência</th><th>Fonte do dado</th></tr>
<tr><td>Percentual de área com suscetibilidade a inundação (%)</td><td>● 25,3%</td><td rowspan="2">● Baixa</td><td rowspan="2">●Médio</td><td>INEA, 2019b</td></tr>
<tr><td>Registro de inundações</td><td><table><tr><td>Registro de ocorrências</td><td>28</td></tr><tr><td>Pessoas fora de casa</td><td>5.999</td></tr><tr><td>Mortos</td><td>11</td></tr><tr><td>Pessoas afetadas</td><td>135.855</td></tr></table></td><td>SEDEC-RJ (2012), S2iD (2019)</td></tr>
<tr><td>Registro de estiagens severas que afetaram o sistema Imunana-Laranjal</td><td>5 eventos (2002, 2007, 2015, 2016 e 2017)</td><td>● Alta</td><td>●Alta</td><td>CEDAE (2019a)</td></tr>
</table>

Fonte: A autora, 2020.

4.2.1.3.6 Ações de gestão para mitigação dos efeitos de eventos hidrológicos extremos

Segundo técnicos da CEDAE (informação verbal[50]), em relação ao risco e impacto de estiagem severa/seca, a instalação da barragem submersa em 1996 possibilitou elevar o nível da água para garantir a captação em períodos de estiagem prolongada e impedir a intrusão salina do canal de Imunana. De 2008 a 2013, com os investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), a troca da adutora que liga a elevatória à ETA Laranjal, que passou de 800 mm para 2.500 mm de diâmetro, aumentou a eficiência hidráulica do sistema. Antes da intervenção, a produção de água tinha de ser totalmente paralisada quando a vazão aduzida chegava a 3.500 l/s. Com as melhorias hidráulicas realizadas, se tornou possível não paralisar integralmente o sistema, e sim, operar com o funcionamento parcial dos 4 grupos de bombas, permitindo a produção contínua de água tratada, mesmo em situações de vazões de captação reduzidas. O uso de bombas submersíveis a partir de 2014 para transposição de até 600 l/s de águas de jusante para a montante vem impedindo a paralisação do sistema Imunana-Laranjal em estiagens mais severas, porém não tem sido suficiente para evitar a redução da produção de

[50]Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

água no período. Dessa forma, medidas complementares são necessárias, especialmente diante do crescente déficit hídrico e aumento da frequência das estiagens na bacia.

A análise de propostas e alternativas para aumento da disponibilidade hídrica e solução do problema de déficit hídrico do sistema Imunana-Laranjal foi objeto de diversos estudos e documentos, porém a falta de maior discussão e diálogo sobre as propostas de alternativas, a deficiência na comunicação e negociação dos conflitos e problemas orçamentários e fundiários vem inviabilizando a implantação das alternativas, e em especial, a barragem no rio Guapiaçu, até o presente momento. Dessa forma, o impacto das estiagens tende a se agravar em função do aumento do grau de comprometimento da oferta hídrica.

As ações de gestão relacionadas às SbN são apresentadas em maiores detalhes no capítulo 6.

Ações da gestão relacionadas à mitigação dos efeitos de inundação envolvem principalmente a definição de competências e investimentos para manutenção, limpeza e/ou adequação das obras de drenagem executadas na bacia, em especial, na localidade de São José da Boa Morte, e controle dos processos erosivos e do assoreamento dos canais.

4.2.1.3.7 Análise do risco associado ao estressor “Eventos hidrológicos extremos”

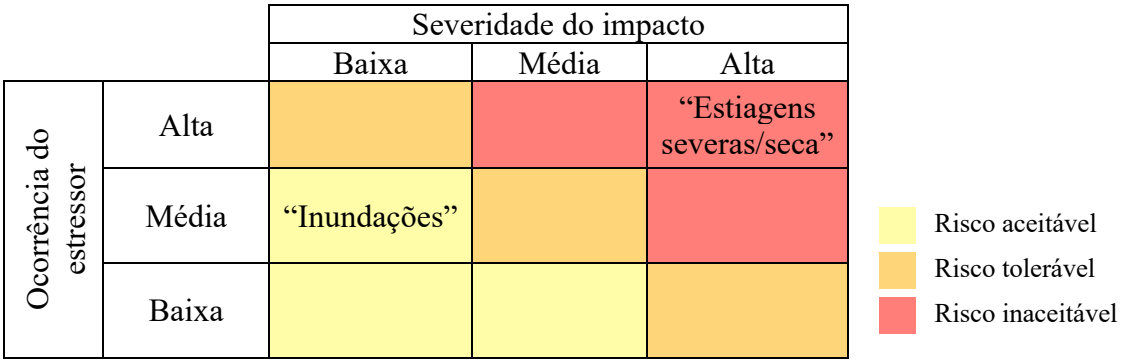
Apesar da ocorrência frequente de inundações na Bacia do rio Guapi-Macacu, com perdas e danos de média severidade ou magnitude para a população, esses eventos não impactam ou prejudicam o funcionamento do sistema de captação e de tratamento de água, embora as chuvas intensas e inundações estejam associadas com a significativa piora na qualidade de água, segundo relato de funcionários da concessionária. Dessa forma, considerou-se a ocorrência do estressor “Inundações” como recorrente, de média intensidade, e o impacto como de baixa severidade.

A ocorrência do estressor “Estiagens severa/seca” é frequente ou de alta intensidade, sendo o impacto classificado como de alta severidade por comprometer a disponibilidade quantitativa de água para o sistema, tendo por consequência a redução da produção de água tratada e a interrupção e/ou intermitência dos serviços de abastecimento a população.

Dessa forma, o risco resultante para a segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal é aceitável quanto à “Inundação” e é inaceitável para “Estiagens severas/seca”. O estudo não contemplou a análise de projeções regionalizadas e de cenários para riscos climáticos, no

entanto, eventos extremos tendem a ocorrer com ainda mais frequência decorrente do impacto das mudanças climáticas. A análise prévia dos riscos realizada contribui para alertar a importância das medidas de controle e mitigação dos eventos extremos, de modo a reduzir os riscos para níveis aceitáveis (Figura 50).

Figura 50 – Matriz de determinação do grau de risco associado ao estressor “Eventos climáticos extremos”



Fonte: A autora, 2020.

4.2.2 Avaliação qualitativa da vulnerabilidade do sistema de abastecimento público Imunana-Laranjal

4.2.2.1 Caracterização geral do sistema de abastecimento público

Na década 40, o Canal de Imunana foi construído pelo antigo Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) para drenar as áreas inundadas pela confluência dos rios Macacu e Guapiaçu. O curso natural do rio Macacu foi desviado, juntando-se ao Rio Guapimirim. A partir de 1954, iniciou-se a operação da ETA Laranjal, cuja água bruta captada no canal de Imunana passou a abastecer as cidades de Niterói e São Gonçalo, com uma vazão em torno de 500 litros por segundo (SILVA, 2015). As características físicas, químicas e bacteriológicas da água desse manancial, com base nos resultados de análises e exames efetuados, demonstraram a necessidade de tratamento completo para a sua potabilização (ibidem).

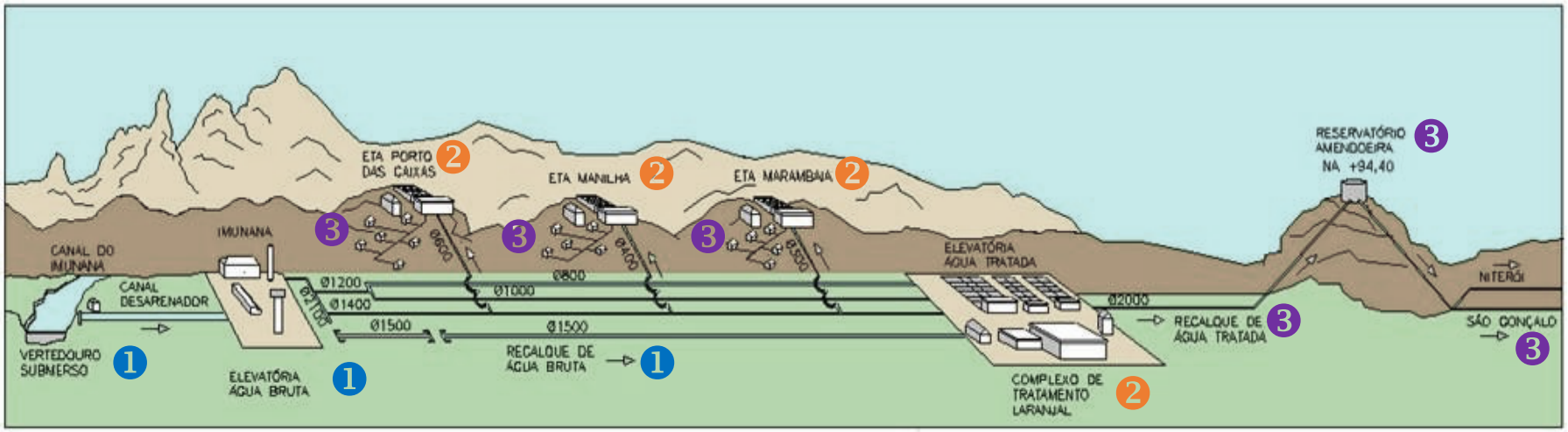
Para atender ao aumento da demanda, pelo crescimento dos municípios atendidos, o sistema veio sendo ampliado e modernizado, tanto no que diz respeito às linhas de adução e

reservatórios como também na respectiva capacidade de produção. A ETA Laranjal passou por ampliações, e hoje o complexo de produção envolve 3 Estações identificadas, cronologicamente, como ETA nº 1 (1954), ETA nº 2 (1982) e ETA nº 3, inaugurada em 1998 (SILVA, 2015). Em 1999, concluiu-se a implantação da 5ª linha adutora de Niterói - Ramo Norte, visando ampliação de troncos, redes e implantação de reservatórios.

O sistema é operado pela CEDAE desde 1999, responsável pelo tratamento da água pelo conjunto de ETAs a partir dos quais são abastecidos os municípios de São Gonçalo, Itaboraí e Niterói, e neste último, a distribuição é realizada pela concessionária Águas de Niterói. O sistema é responsável, ainda, pelo abastecimento da Ilha de Paquetá, pertencente ao município do Rio de Janeiro, e a partir de 2014, dos bairros Inoã e Itaipuaçu, do município de Maricá - RJ.

O sistema Imunana-Laranjal é composto de 3 subsistemas: o subsistema de captação de água bruta; o subsistema de tratamento da água bruta (ETAs Laranjal, Porto das Caixas, Manilha e Marambaia); e o subsistema de distribuição da água tratada (recalque e adução da água tratada), representados na Figura 51.

Figura 51 – Diagrama esquemático do sistema de abastecimento de água Imunana-Laranjal



Legenda: 1 Subsistema de captação de água bruta
2 Subsistema de tratamento
3 Subsistemas de recalque e adução da água tratada

Fonte: Adaptado de CEDAE, 2019c.

Segundo Silva (2015), o subsistema de captação de água bruta é do tipo superficial, contando com um calço hidráulico (barragem de nível) a jusante da tomada d'água, responsável pela elevação do nível de água para tomada d'água e impedimento da intrusão salina nos períodos de estiagem (Figura 52). A água bruta entra por gravidade na tomada d'água, percorrendo cerca de 3,5 km ao longo do canal artificial desarenador, sendo recalcada por um conjunto de bombas e conduzida por tubulações até o Complexo de Tratamento Laranjal (ETA Laranjal), ETA Porto das Caixas, ETA Manilha e ETA Marambaia. A seguir, apresentam-se seus componentes em detalhes:

- Barragem de nível é uma estrutura de concreto armado, com dimensões de 3 m de altura por 80 m de comprimento, com parte enterrada no solo, tendo sua crista com altitude de 1 metro em relação ao nível do mar, com referência ao nível zero do IBGE, com vazão de extravasamento de 150.000 l/s (COSTA, 1999);
- A tomada d'água situa-se ao lado esquerdo a montante da barragem de nível, em canal lateral com um sistema de comportas, grades e desarenadores. O sistema de 5 comportas é responsável por controlar a vazões captadas e remanescentes, de acordo com o nível de água no canal de Imunana, e podem ser fechadas em caso de acidente. As grades instaladas realizam a contenção de detritos flutuantes de grandes dimensões, e os desarenadores retém a areia transportada pelas águas e possibilitam seu descarte periódico pela abertura das comportas. Após a estrutura de controle, há uma bacia de decantação, que retém partículas mais finas que não foram removidas no desarenador primário (BENAVIDES et al., 2009);
- Elevatória de água bruta: conjunto de cinco bombas, sendo quatro em operação e uma em reserva, com vazão nominal de 1.735 l/s cada. A tomada das bombas é efetuada em poços interligados (ENCIBRA, 2015);
- Sistema adutor de água bruta: as águas captadas na tomada d'água são conduzidas através de quatro tubulações com diâmetros nominais de 800 mm, 1.000 mm, 1.400 mm e 1.500 mm, percorrendo 15 km até a ETA Laranjal (SILVA, 2015).

Figura 52 – Subsistema de captação do sistema Imunana-Laranjal



(A) (B) (C)

Legenda: (A) - Barragem em nível no Canal de Imunana. (B) – Entrada do canal de adução. (C) – Comportas e sistema de gradeamento.
Fonte: FARIAS, 2015.

O subsistema de tratamento é composto por 4 estações de tratamento: ETA Laranjal, localizada em São Gonçalo; e ETAs Manilha, Porto das Caixa e Marambaia, localizadas em Itaboraí, caracterizadas a seguir:

- A ETA Laranjal (Figura 53) é um complexo de tratamento com três estações interligadas (ETA nºs 1, 2 e 3), com vazão nominal de 7.000 l/s de água bruta. A vazão nominal das ETAs é de 3.000 l/s na ETA nº 1, e de 2.000l/s nas ETAs nºs 2 e 3, cada uma (SILVA, 2015). As estações possuem em comum a caixa de chegada de água bruta, canais de água decantada interligados e canais de águas filtradas. O tratamento realizado na ETA é do tipo completo (convencional), ou seja, engloba as etapas de mistura rápida/coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração, desinfecção, correção do pH e fluoretação. Os resíduos de decantadores e filtros (lodo) são direcionados a dois canais de descarga e descartados num riacho afluente do Rio Alcântara (SILVA, 2015).
- Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Itaboraí, as ETAs Porto das Caixas, Manilha e Marambaia possuem vazão nominal de 250 l/s, 100 l/s, e 55 l/s, respectivamente, para o sistema de distribuição de Itaboraí. A ETA Porto das Caixas recebe uma vazão complementar de 35 l/s do sistema de abastecimento de Cachoeiras de Macacu (ANA, 2010). Todas as ETAs utilizam processo convencional de tratamento. Há previsão de construção da ETA Itambi, em Itaboraí.

Figura 53 – ETA Laranjal: unidades constituintes da ETA n 1

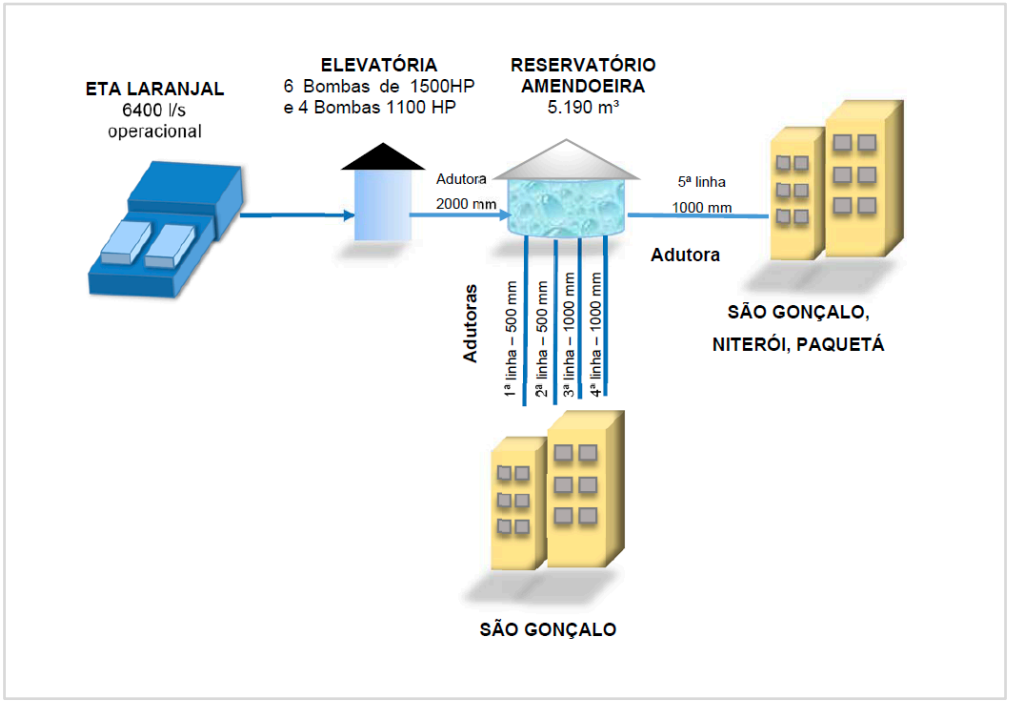


(A) (B) (C)

Legenda: (A) Calha parshall ao centro, e decantadores nas laterais. (B) Decantadores e casas de filtros. (C) Detalhe dos decantadores
Nota: Visita técnica realizada em 06/12/2019.
Fonte: A autora, 2020.

Segundo relato de técnicos da CEDAE (informação verbal [51]), apesar da capacidade de retirada no canal de Imunana ser de 9.400 l/s, a vazão média captada no canal de Imunana é de 7.000 l/s, dos quais 6.400 l/s são aduzidos ao complexo ETA Laranjal, e 600 l/s são aduzidos para as ETAs Porto das Caixas, Manilha e Marambaia. A distribuição da água tratada é realizada por dois subsistemas: o subsistema de recalque da água tratada, e o subsistema adutor de água tratada (Figura 54).

Figura 54 – Esquema dos subsistemas de recalque e adução de água tratada do sistema Imunana-Laranjal



Fonte: ENCIBRA, 2015.

[51] Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

O subsistema de recalque da água tratada, composto de tubulações de sucção, 2 (duas) elevatórias em paralelo, barrilete, adutora de recalque e sistema de proteção, que conduzem a água até o reservatório de carga no morro da Amendoeira, circular, semienterrado, com volume útil de 5,19 milhões de litros, situado a cerca de 1,1 km da ETA Laranjal (ENCIBRA, 2015).

O subsistema adutor de água tratada, composto por adutoras e sub-adutoras, levam a água aos reservatórios setoriais de distribuição situados em Niterói e São Gonçalo. O sistema não possui separação física entre a adução e a distribuição no município de São Gonçalo, tornando o município vulnerável às flutuações da demanda e consumo, provocando falta d'água em vários pontos e pressão excessiva sobre a rede, que pode provocar danos às tubulações e aumento das perdas (INEA, 2014c).

4.2.2.2 Avaliação qualitativa da vulnerabilidade do subsistema de captação

É avaliada, de forma qualitativa, a vulnerabilidade do subsistema de captação face à disponibilidade de água em quantidade, em situações de "Normalidade hidrológica" e de "Estiagem severa/seca", e face à integridade da infraestrutura em situações de "Inundações".

A vulnerabilidade do subsistema de captação em situações de "Normalidade hidrológica" foi considerada média, resultante da combinação dos seguintes fatores:

- Exposição, estimada como de alta intensidade, porque a demanda estimada atual e futura já superaram o limite outorgável;
- Sensibilidade, avaliada sendo de baixa intensidade, pois a barragem submersa mantém os níveis da água para garantir a captação e impede a intrusão salina do canal de Imunana nos períodos de "Normalidade hidrológica".

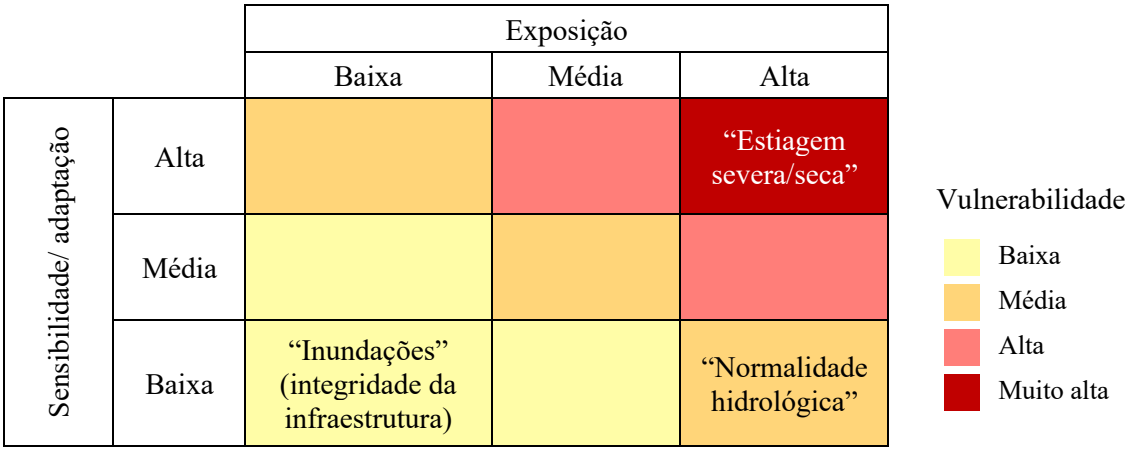
Em situações de "Estiagem severa/seca", a vulnerabilidade do Subsistema de captação foi avaliada como alta, em função de:

- Exposição, estimada como alta intensidade, sendo o quadro ainda mais crítico em função da menor disponibilidade hídrica;
- Sensibilidade, avaliada sendo de alta intensidade, pois não existe reservação na bacia e a captação é sensível à variação ao nível do canal de Imunana nos

períodos de estiagem, mesmo com barragem submersa. O nível do canal atinge limiares críticos e comprometem a captação de água, tendo como consequência a redução da vazão aduzida, desligamento parcial dos grupos de adutoras e até a interrupção do sistema.

A vulnerabilidade do subsistema de captação em situações de "Inundações" foi considerada baixa, pois a sua exposição e sensibilidade foram também avaliadas como baixas. Apesar de estar localizada em área considerada suscetível à inundação, de acordo com relatos de técnicos da CEDAE (informação verbal[52]), a captação nunca teve sua integridade afetada por este tipo de evento, apesar das cheias estarem associadas com a piora na qualidade da água (Figura 55).

Figura 55 – Vulnerabilidade do sistema de abastecimento Imunana-Laranjal/subsistema de captação em diferentes situações hidrológicas



Fonte: A autora, 2020.

4.2.2.3 Avaliação qualitativa da vulnerabilidade do subsistema de tratamento

A vulnerabilidade do subsistema de tratamento é avaliada face à qualidade de água no ponto de captação em situações de "Normalidade hidrológica", "Estiagem severa/seca" e "Inundações" e face à integridade da infraestrutura em situações de inundação.

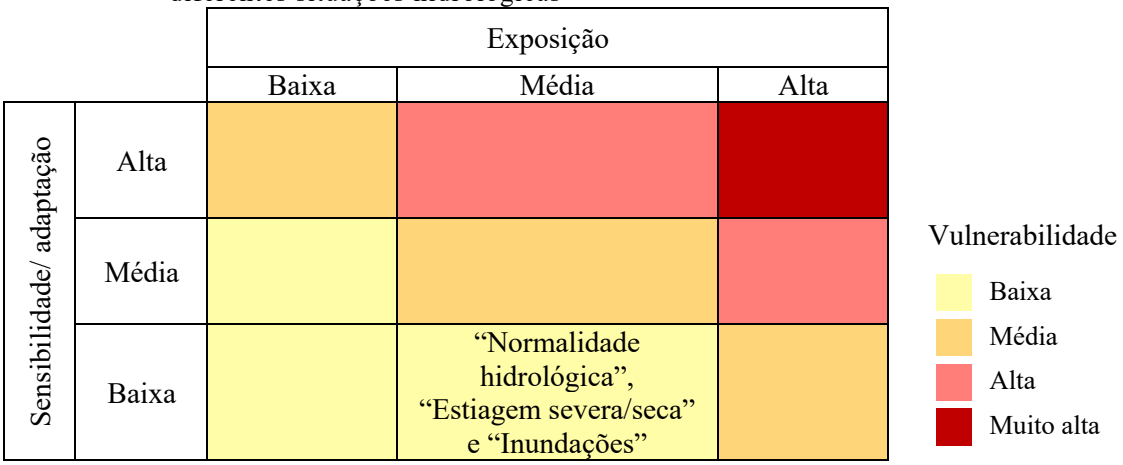
A vulnerabilidade do subsistema de tratamento foi considerada de média intensidade em todas as situações ("Normalidade hidrológica", "Estiagem severa/seca" e

[52]Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

"Inundações") (Figura 56), resultante da combinação dos seguintes fatores:

- Exposição, estimada como de média intensidade, porque há comprometimento de alguns parâmetros de qualidade de água em relação ao enquadramento, em todas as situações hidrológicas. Segundo relato de funcionários da CEDAE, tem se notado a piora na qualidade da água durante as cheias, o que não ocorre nas secas;
- Sensibilidade, avaliada como sendo de baixa intensidade, por conta da tecnologia de tratamento (sistema convencional) que, segundo a Resolução nº CONAMA 357/2005, é capaz de tratar água bruta de qualidade Classe II (ou até mesmo III – convencional ou avançado). Em relação à variação da qualidade da água, técnicos da CEDAE não relataram problemas ou perda de eficiência no tratamento em diferentes situações hidrológicas. Durante as inundações, não há registro de danos a integridade da infraestrutura de tratamento, localizada fora da bacia.

Figura 56 – Vulnerabilidade do sistema Imunana-Laranjal/subsistema de tratamento em diferentes situações hidrológicas



Fonte: A autora, 2020.

Apesar de não previsto na análise, técnicos da CEDAE (informação verbal[53]) relataram outros importantes estressores do sistema Imunana-Laranjal: a violência e falta de segurança na área do entorno e nas vias de acesso da estação, o rompimento das adutoras de água e as recorrentes interrupções no fornecimento de energia elétrica. O último é responsável por 80% das ocorrências de paralisação e funcionamento do sistema. Esses eventos, além de provocarem a interrupção e intermitência do fornecimento de água

[53]Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

a população, expõe o sistema a alterações de pressão, implicando em potenciais danos às tubulações, infiltrações na rede de distribuição e contaminação da água.

4.2.3 Síntese de resultados e recomendações

A concepção e a formulação de uma política partem da compreensão do conjunto de necessidades da população que precisam de intervenção. Um diagnóstico sólido permite que as ações sejam executadas de forma consistente e adequada para produzir os resultados esperados. Esta macroetapa do arcabouço analítico analisou a existência de avaliações de segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal. Na sua ausência, coube a pesquisadora a tarefa de reconstruir e analisar o nível atual de segurança hídrica.

A segurança hídrica do abastecimento do sistema Imunana-Laranjal está relacionada à disponibilidade quali-quantitativa da água bruta e às características do sistema de abastecimento (subsistema de captação e subsistema de tratamento). Esta análise indica que, até o presente, em termos de quantidade de água, no sistema é vulnerável e está exposto aos impactos das estiagens severas/secas, e os problemas relacionados à qualidade da água bruta parecem ter sido capazes de serem resolvidos pelo sistema de abastecimento.

A Bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu já se encontra acima dos limites críticos para alguns estressores, enquanto manancial de abastecimento público do leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Para facilitar a compreensão do conjunto dos resultados relacionados a este manancial, apresenta-se uma matriz síntese com os resultados dos riscos associados a todos os estressores analisados (Figura 57): “Pressão sobre as condições ambientais na bacia” (“Uso e cobertura da terra”, “Processos erosivos”, “Carga poluidora” e “Interferência nos corpos hídricos”); “Demanda pelo uso da água” e “Eventos hidrológicos extremos” (“Estiagem severa/seca” e “Inundações”).

Os estressores que apresentam maiores riscos à segurança hídrica do abastecimento do sistema Imunana-Laranjal, em termos de quantidade e qualidade da água bruta, são “Demanda pelo uso da água”, “Estiagem severa’/seca” e “Interferência nos corpos hídricos”, em função do alto nível de comprometimento da disponibilidade hídrica da Bacia do rio Guapi-Macacu e escassez de água em momentos de estiagem, e do surgimento e agravamento de conflitos. Em seguida, o estressor “Carga poluidora” também apresentou riscos significativos, afetando a qualidade da água bruta. O risco à

segurança hídrica atribuído a esses quatro estressores foi considerado intolerável, do ponto de vista da gestão, requerendo medidas urgentes e imediatas para a sua redução (Figura 58).

Figura 57 – Matriz de determinação do grau de risco associado aos estressores analisados

		Severidade do impacto		
		Baixa	Média	Alta
Ocorrência do estressor	Alta			"Demanda pelo uso da água", "Estiagem severa/seca" e "Interferências nos corpos hídricos"
	Média	"Inundações"	"Uso e cobertura da terra" e "Processos erosivos"	"Carga poluidora"
	Baixa			

Risco aceitável
Risco tolerável
Risco inaceitável

Fonte: A autora, 2020.

Figura 58 – Síntese da avaliação do risco à água bruta captada pelo sistema Imunana-Laranjal por estressor



Fonte: A autora, 2020.

A Bacia do rio Guapi-Macacu não possui reservatórios para acumulação de água, ao contrário da bacia do Rio Paraíba do Sul e da bacia dos rios Guandu, Guarda e Guandu-

Mirim. Essa característica, associada a degradação ambiental e déficit de cobertura florestal tornam este sistema de abastecimento extremamente vulnerável e dependente do regime pluviométrico. Além disso, mesmo a possibilidade de reservação de água proposta atenderia somente a um horizonte de médio prazo (2030), considerando as projeções de demandas futuras. A variabilidade climática é um importante estressor que potencializa e agrava o cenário crítico de déficit hídrico e de escassez hidrossocial existente na bacia, potencializando os conflitos entre os usos da água. Outros fatores, como a gestão da demanda (controle de perdas, uso racional da água, etc.) têm grande implicação para agravar ou atenuar sua ocorrência.

Em um nível de risco imediatamente inferior (tolerável), encontram-se os estressores "Uso e cobertura da terra" e "Processos erosivos", o que implica a necessidade de medidas de gestão para colocá-los em níveis aceitáveis. Somente "Inundações" foi avaliada como sendo um estressor de nível aceitável para a segurança da disponibilidade de água para a ETA, em quantidade e qualidade. A bacia está sujeita a vetores de alteração do padrão de uso e ocupação do solo e a maior pressão sobre esses estressores, pela influência da expansão da mancha urbana da Região Metropolitana e do COMPERJ. Dessa forma, medidas associadas à recuperação de áreas críticas e a conservação de remanescentes sob pressão devem ser consideradas, de modo a mitigar e prevenir riscos.

Este conjunto de resultados aponta sobretudo para a necessidade urgente de ações de gestão para este manancial de abastecimento público, considerando não atender a demanda atual, e sob situações cada vez mais críticas e insustentáveis, considerando os cenários futuros de crescimento demográfico do Leste Fluminense. Dentre as ações de gestão prioritárias propostas, a partir das evidências dos resultados da avaliação, destacam-se:

- Elaboração de Plano Segurança Hídrica para a Bacia do rio Guapi-Macacu e o sistema Imunana-Laranjal, com a devida discussão e participação dos atores envolvidos e afetados e integração do componente relacionado às SbN;
- Redução de perdas no sistema de distribuição, diminuindo a pressão sobre a disponibilidade hídrica;
- Controle do uso da água a montante do ponto de captação, mediante campanhas de regularização do uso da água, e ações de compatibilização dos usos a montante com o abastecimento urbano/humano;
- Aumento dos níveis de coleta e tratamento de esgoto, de modo a reduzir a carga poluidora nos corpos hídricos;

- Manutenção, recuperação e aumento da provisão de serviços ecossistêmicos relacionados à quantidade e qualidade da água por meio das SbN. A contribuição das SbN para a segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal é analisada em profundidade no capítulo 5.

Dentre os elementos que requerem estudos e análises complementares, seja pela lacuna de informação ou pela fragilidade dos dados, cabe destacar:

- Monitoramento adequado de concentrações de parâmetros orgânicos na água bruta, no ponto de captação, de modo a verificar se há de fato problemas de poluição e contaminação da água, em especial, aos agrotóxicos. Recomenda-se que as concessionárias adequem seus protocolos de monitoramento de modo a viabilizar a análise do parâmetro.
- Influência das "interferências nos corpos hídricos" (retificação, dragagem, etc.) sobre a evolução dos sistemas fluviais, tais como alterações de feições geomorfológicas, padrão de drenagem, alterações no regime das descargas e na velocidade dos fluxos, aumento da carga de sedimentos, aumento da erosão nos afluentes, abaixamento do nível de base, dentre outros. Estudos e análises complementares são necessários para avaliar o real impacto das obras no sistema fluvial.
- Demanda por dados hidrossedimentológicos que possibilitem calibrar e validar modelos de quantificação de serviços ecossistêmicos de segurança hídrica (ex. exportação de sedimentos; produção de água sazonal), e de estudos complementares que analisem o comportamento hidrológico da Bacia do rio Guapi-Macacu e a predição das consequências hidrológicas de cenários de mudanças do uso do solo e da adoção de SbN.

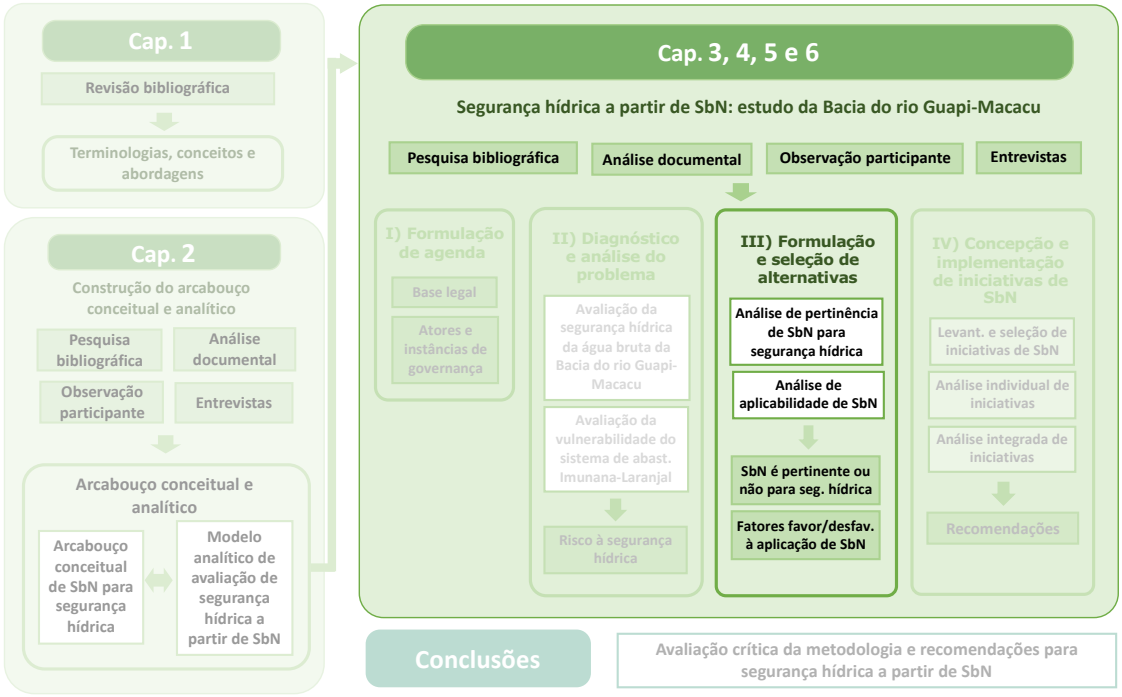
Considera-se que a ausência de avaliações de segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, constatada neste estudo, pode dificultar a implementação de uma política consistente de segurança hídrica. Diversos autores reconhecem as vantagens de traduzir a segurança da água, em termos numéricos, para maior clareza e entendimento comum acerca do tema, e para identificação de aspectos e áreas críticas para melhoria (DUNN; BAKKER, 2009; GWP, 2014b; LAUTZE; MANTHRITHILAKE; 2012). A identificação dos diferentes estressores que determinam a insegurança hídrica do sistema, e análise da relevância de cada estressor trouxe subsídios necessários para fundamentar a proposição de prioridades das ações de gestão.

Cabe ressaltar que os resultados da avaliação do nível da segurança hídrica desta pesquisa limitam-se a um retrato do quadro atual do sistema. Dessa forma, identifica-se a necessidade de estabelecer e institucionalizar métodos e/ou indicadores de avaliação contínua, de modo a subsidiar formulação, revisão, implementação, monitoramento e aperfeiçoamento da política em consonância com a evolução do problema. O modelo analítico traz contribuições nesse sentido, a partir da proposição de indicadores para análise do risco dos principais estressores a disponibilidade quali-quantitativa da água bruta, a partir de dados secundários disponíveis, e de uma matriz de análise simplificada do risco.

5 ANÁLISE DE PERTINÊNCIA, APLICABILIDADE E PRIORIZAÇÃO DE SBN PARA SEGURANÇA HÍDRICA

Este capítulo tem por objetivo apresentar a metodologia para avaliar a pertinência e aplicabilidade das SbN em promover a segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, aplicá-la ao estudo de caso e discutir os resultados obtidos com sua aplicação (Figura 59). De forma integrada com o diagnóstico e análise do problema, realiza-se o exercício de formulação de alternativas, com o intuito de visualizar e identificar possíveis ações de gestão (SbN) que sejam viáveis e possam mitigar o problema e atuar em suas causas e efeitos, e de modo a não se limitar a um conjunto de soluções previamente concebidas.

Figura 59 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de "formulação e seleção de alternativas" (análise de pertinência e aplicabilidade de SbN)



Fonte: A autora, 2020.

5.1 Metodologia para avaliação de pertinência e aplicabilidade das SbN para promover a segurança hídrica

De modo a verificar a hipótese que as SbN são uma abordagem adequada para

promover a segurança hídrica da água bruta para o sistema Imunana-Laranjal, e que devem ser consideradas na análise e seleção de alternativas, foi concebido um modelo analítico, contemplando dois componentes: a avaliação da pertinência das SbN para segurança hídrica da água bruta; e avaliação da aplicabilidade das SbN para uma determinada bacia hidrográfica.

Entende-se por avaliação de pertinência a verificação se as SbN constituem ou não uma estratégia apropriada e relevante para promover a segurança hídrica de um determinado sistema de abastecimento público. Este componente do modelo analítico compreende analisar se o manancial de abastecimento apresenta riscos à quantidade e qualidade da água bruta, e que exigem ações de gestão; e se as SbN podem contribuir para reduzir os riscos associados aos principais estressores à água bruta identificados.

A avaliação de aplicabilidade, por sua vez, contempla a análise de fatores que favorecem ou desfavorecem a aplicação das SbN, de modo a compreender se essa abordagem é viável e aplicável em uma determinada bacia hidrográfica, e identificando potencialidades e/ou barreiras para sua implementação.

Uma vez verificada a hipótese de que as SbN podem contribuir para a segurança hídrica, é necessário analisar e tomar decisões sobre quais medidas são mais adequadas para a redução dos riscos. Para o presente estudo, verificou-se a existência ou não de estudos e documentos relacionados à análise, priorização e/ou seleção de medidas de SbN para segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, e suas implicações.

5.1.1 Avaliação da pertinência de SbN para segurança hídrica da água bruta

Este componente envolve uma análise simplificada que visa evidenciar se as SbN de fato constituem uma alternativa pertinente para mitigar os principais estressores que promovem riscos à segurança hídrica.

Primeiramente, analisam-se os resultados da avaliação do nível de segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, ou seja, a identificação dos principais estressores que afetam a disponibilidade hídrica da água bruta, o nível de risco associado (aceitável, tolerável ou inaceitável), e a necessidade e/ou prioridade de ações para reduzir o risco a níveis aceitáveis.

Em sequência, para cada um dos estressores, é verificado então se ações de SbN podem contribuir para minimizar os impactos sobre a variação da quantidade e qualidade de água bruta na Bacia do rio Guapi-Macacu, considerando as evidências e apontamentos acerca das SbN na literatura.

Além dos estressores relacionados à disponibilidade em quantidade e qualidade de água bruta em uma determinada bacia hidrográfica, analisa-se a vulnerabilidade dos sistemas de tratamento de água, em específico, analisa-se a capacidade adaptativa da ETA sobre a variação da qualidade da água, que está relacionada ao tipo de tecnologia de tratamento da água. Segundo Gartner et al. (2013), sistemas de abastecimento com ETAs de tecnologia mais simples de tratamento são mais vulneráveis a variação da qualidade de água, e portanto, mais propensas a realizar investimentos em SbN; por outro lado, sistemas de abastecimento com ETAs de tecnologia mais complexa de tratamento tendem a ter maior capacidade adaptativa frente às variações ou a piora da qualidade da água.

Caso seja identificado que as SbN podem potencialmente contribuir na redução do risco à segurança hídrica, considera-se que as SbN são pertinentes e elegíveis para a etapa subsequente de avaliação da aplicabilidade, e da etapa de análise e seleção de alternativas, que requerem um maior esforço analítico.

5.1.2 Avaliação da aplicabilidade de SbN para uma bacia hidrográfica

Segundo Huber-Stearns et al. (2017), fatores específicos podem favorecer o surgimento de uma determinada política ambiental, ao passo que a sua ausência pode representar uma barreira ou impeditivo para a gestão ou para a ação política sustentada. Adotou-se para esta pesquisa o conceito de que a aplicabilidade de SbN é resultante da análise de fatores biofísicos, sociais, econômicos, institucionais e de governança que favorecem ou desfavorecem a adoção das SbN para segurança hídrica da água bruta em uma determinada bacia hidrográfica.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, elaborou-se o quadro analítico dos fatores que interferem na aplicabilidade das SbN (Quadro 25), auxiliando no suporte a tomada de decisão quanto a escolha e adoção dessa estratégia em uma determinada bacia hidrográfica, contribuindo para verificação da hipótese que a SbN é uma abordagem adequada para promover a segurança hídrica da água bruta para o sistema Imunana-

Laranjal, e quais aspectos são críticos para a implantação, consolidação e/ou ampliação da agenda na bacia.

Examinou-se a literatura para identificar os principais fatores que interferem na aplicabilidade das SbN, buscando compreender como elas influenciam na concepção, implementação, consolidação e/ou ampliação de programas e projetos. A revisão não se ateve ao uso de expressões específicas (condições facilitadoras, barreiras, oportunidades, etc.) nos artigos analisados, e sim, nas descrições que se encaixavam no conceito adotado para a pesquisa. A partir da extração e organização dos dados coletados na revisão, e conversão dos mesmos em categorias sistemáticas, elaborou-se o quadro analítico de aplicabilidade de SbN para determinada bacia hidrográfica, que contempla a análise de fatores biofísicos e socioeconômicos da bacia hidrográfica; e a análise de fatores associados às capacidades social, institucional, financeira, de geração de conhecimento e de sensibilização dos atores envolvidos para SbN.

Quadro 25 – Quadro analítico da aplicabilidade de Soluções baseadas na Natureza para segurança hídrica em determinada bacia hidrográfica (continua)

Fatores	Questões de análise	Implicações para a aplicação de SbN
Características biofísicas, sociais e econômicas da bacia hidrográfica		
Uso e cobertura da terra	• Quais são os usos predominantes da terra (uso urbano, agrícola, florestal, outros)? • Qual o padrão de mudanças do uso da terra?	[+] Áreas com predomínio de usos agrícolas apresentam alto potencial para conversão do uso da terra, para implementação de boas práticas agropecuárias e manejo conservacionista da água e do solo. [-] Áreas com intensa urbanização e atividades industriais apresentam baixo potencial para conversão do uso da terra e para recuperação dos serviços ecossistêmicos de água (ROMULO et al., 2018). [+] Há maior interesse por SbN em áreas sob pressões que impliquem em perdas em serviços ecossistêmicos, especialmente em territórios afetados pelo desmatamento e queimadas (STANTON et al., 2010).
Tamanho da bacia hidrográfica	• Qual é a extensão da área de atuação? • A área ultrapassa os limites municipais ou do estado. (múltiplas jurisdições)?	[+] A implementação de SbN é favorecida em bahias hidrográficas pequenas, propensas a ter um retorno de investimento muito maior que bacias grandes (ERNST, 2004; FAO, 2006; DARGHOUTH et al., 2008; HANSON et al., 2012; MCDONALD, 2015; UN-WATER, 2018). [-] Bacias maiores implicam em um maior número de parcerias, extensas áreas de intervenção, elevado volume de investimentos, necessidade de envolvimento contínuo do poder público e um longo período de tempo para obtenção de resultados significativos (ERNST, 2004; TTPL, 2005; FAO, 2006; MCDONALD; SHEMIE, 2014). [-] Áreas com múltiplas jurisdições requerem capacidade para articulação, compatibilização de normas e mediação de conflitos e interesses distintos (TTPL, 2005).
População atendida e provedores	• Qual é a relação entre população atendida e provedores de SE na bacia hidrográfica?	[+] A capacidade de investimentos para SbN é maior com o maior número de consumidores urbanos a jusante e menor quantidade de proprietários rurais a montante (WUNDER, 2013; SOUTHGATE; WUNDER, 2009; BOSCH et al., 2019).
Fatores que afetam as decisões de proprietários quanto aos usos da terra	• Qual é a estrutura fundiária (quantidade, tamanho, e distribuição social de imóveis rurais)? • Quais é a estrutura da posse da terra? • Qual é o custo da oportunidade da terra? • Qual é o grau de diversificação das fontes de rendas nas propriedades? • Há limitações em relação à mão-de-obra local?	[+] Menor número de atores e de propriedades a serem envolvidas implicam em menores os custos de transação e maior potencial para mobilização (WUNDER et al., 2008; ENGEL et al., 2008; VOGL et al., 2017) [-] Número muito pequeno e restrito de atores e propriedades pode implicar em pouca concorrência para provisão de serviços trazer dificuldades na execução (LOCKIE, 2013) [+] Proprietários ou posseiros são mais propensos em adotar práticas que trazem benefícios a longo prazo do que arrendatários e meeiros (SOULE et al., 2000; PIEMONTI et al., 2013). [+] Bacias hidrográficas com maior extensão de terras de domínio público podem ser mais facilmente convertidas em áreas protegidas ou a serem recuperadas (ROMULO et al., 2018). [+] Menor custo de oportunidade da terra (predominância de áreas de baixa rentabilidade) implica em maior potencial para mobilização de áreas e menores custos de transação (YOUNG et al., 2007) [-] Quantidade e capacidade de mão-de-obra limitada afeta os custos de produção e dificultam a adesão a SbN, que exigem investimentos em manejo (RICHARDS et al., 2015)
Cobenefícios ambientais, econômicos e sociais	• Há demanda por outros serviços (biodiversidade, carbono, recreação, beleza cênica)?	[+] A existência de demanda cobenefícios potencializa a construção de parcerias, sinergia entre iniciativas e o co-financiamento das intervenções (WUNDER et al., 2008; GARTNER et al., 2013; BROUWER et al., 2011; BENNETT et al., 2013; RAYMOND et al., 2017a)

Quadro 25 – Quadro analítico da aplicabilidade de Soluções baseadas na Natureza para segurança hídrica em determinada bacia hidrográfica (continuação)

Fatores	Questões de análise	Implicações para a aplicação de SbN
Capacidades para adoção de SbN		
Capacidade social	• Existem lideranças para SbN na bacia hidrográfica? Quais são seus papéis e influências? • Existem instâncias de cooperação, integração e articulação entre os atores da bacia em prol das SbN? • Existem instâncias de participação social e de fortalecimento da organização comunitária para SbN?	[+] A presença de defensor(es) e líder(es) contribui para influenciar tomadores de decisão, vencer a inércia para implementar as iniciativas e superar barreiras e desafios ao longo do processo (DE LOË et al., 2002; ALLEN; GUNDERSON, 2011; GARTNER et al., 2013; ROSENTHAL et al., 2015; RUCKELSHAUS et al., 2015; OZMENT et al., 2015; VIRAPONGSE et al., 2016; COHEN-SHACHAM et al., 2016). [+] Estratégias de SbN requerem altos níveis de cooperação entre diversos atores dentro de uma bacia hidrográfica, sendo facilitada quando da existência de instâncias de cooperação e integração (LEACH; PELKEY, 2001; HARDY; KOONTZ, 2010; MARGERUM, 2011; EMERSON et al., 2012; NESSHÖVER et al., 2017; VOGL et al., 2017). [+] Abordagens participativas fortalecem a organização comunitária e aumentam o comprometimento e a adesão para concepção e implementação de SbN (KERR, 2004; DARGHOUTH et al., 2008).
Arranjos institucionais adequados	• Há instituições que atuam no tema e no território? As competências e atribuições são claras? • Legislação: há políticas públicas, diretrizes e incentivos para SbN? Há garantia dos direitos de propriedade e de posse segura da terra?	[+] Existência de instituições que atuam consistentemente no território e apoiam a agenda dos serviços ecossistêmicos favorece a adoção das SbN (HUBER-STEARNS et al., 2017). [+] Base legal clara e coerente que incentive as SbN e a garantia dos direitos de propriedade e posse segura da terra são fundamentais para assegurar o ambiente legal necessário para desenvolvimento de SbN (DARGHOUTH et al., 2008; SOUTHGATE; WUNDER, 2009; WUNDER 2005; WUNDER, 2007; HUBER-STEARNS et al., 2017; ROMULO et al., 2018). [-] Marcos normativos inapropriados e que dificultam a contabilização do capital natural podem constituir barreiras para adoção de SbN (BENNETT et al., 2013; DAVIS et al., 2015; BENNETT; RUEF, 2016; UN-WATER, 2018).
Capacidades institucionais	• Instituições envolvidas têm recursos e capacidade técnica adequadas para SbN?	[+] Disponibilidade de tempo e recursos e capacidades técnicas adequadas nas instituições envolvidas favorecem a adoção e consolidação de SbN (IVEY et al., 2006; TIMMER et al., 2007) [-]Gaps de capacidade podem dificultar a implementação de SbN (BENNETT; RUEF, 2016; NESSHÖVER et al., 2017; UN-WATER, 2018).
Capacidades para monitoramento dos SE e avaliação das SbN	• Há métodos e práticas consolidadas para mapeamento, quantificação e valoração dos SE? • Dados necessários para quantificação, valoração e monitoramento dos SE estão disponíveis? • Há estudos de quantificação e valoração dos SE para a bacia?	[+] A consolidação e disseminação de métodos e ferramentas para estimar custos, quantificar os resultados e medir os impactos das SbN é essencial para ajudar a sociedade a tomar melhores decisões, quando da existência de *trade-offs* (DE GROOT et al., 2010; ROSENTHAL et al., 2015; RUCKELSHAUS et al., 2015; HUBER-STEARNS et al., 2017). [-] Restrições financeiras para mensuração e monitoramento dos SE e lacuna de dados confiáveis e na escala temporal e espacial adequadas constituem barreiras para a avaliação das SbN (BREMER et al., 2016; DE LIMA et al., 2017; UN-WATER, 2018). [+] Existência de estudos técnico-científicos que tragam embasamento e compreensão sobre os serviços ecossistêmicos para água contribuem para facilitar iniciativas de SbN.

Quadro 25 – Quadro analítico da aplicabilidade de Soluções baseadas na Natureza para segurança hídrica em determinada bacia hidrográfica (conclusão)

Fatores	Questões de análise	Implicações para a aplicação de SbN
Capacidades para adoção de SbN (conclusão)		
Mecanismos de financiamento	• Há mecanismos de financiamento para SbN? Quais são as principais fontes de recursos?	[+] A existência de um conjunto diversificado de mecanismos de financiamento de SbN é fundamental para constituí-las e consolidá-las (GARTNER et al., 2013; BENNETT; RUEF, 2016; BREMER et al., 2016; UN-WATER, 2018).
Definição dos limites de atuação e das áreas prioritárias	• Captações e áreas de interesse para proteção de mananciais de água superficial ou subterrânea encontra-se espacialmente identificadas e delimitadas? • Há delimitação de áreas prioritárias de intervenção que subsidiem a concepção de iniciativas de SbN?	[+] Seleção e priorização das áreas de intervenção e a compreensão dos vínculos espaciais e hidrológicos dentro do contexto maior da bacia hidrográfica são fundamentais para o desenvolvimento das iniciativas que apresentem resultados e impactos efetivos e que sejam passíveis de monitoramento e avaliação (ERNST, 2004; TTPL, 2005; DARGHOUTH et al., 2008; GARTNER et al., 2013; GJORUP et al., 2015; FIDALGO et al., 2017).
Instituições intermediárias	• Há instituições intermediárias envolvidas com iniciativas de SbN? Se sim, quais são suas funções?	[+] Intermediários podem contribuir para facilitar a mobilização de proprietários rurais, apoiando em negociações e celebração de contratos, administração de pagamentos, monitoramento e fiscalização de conformidade, dentre outros (ENGEL et al., 2008; SATTLER; MATZDORF, 2013; GARTNER et al., 2013; OZMENT et al., 2016; DE LIMA et al., 2017; ROMULO et al., 2018). [-] Intermediários podem ter efeitos negativos sobre o sucesso e efetividade das SbN (BROUWER et al., 2011; GRIMA et al., 2016), em geral são caros e consome boa parte dos recursos (WUNDER et al., 2008), logo esforços devem realizados para a redução dos custos de transação (LANDELL-MILLS; PORRAS, 2002).
Sensibilização, comunicação e promoção do conceito de SE e SbN	• Qual é a percepção dos principais atores e tomadores de decisão sobre a contribuição das SbN para segurança hídrica? • Há ações para conscientização e sensibilização da sociedade acerca da importância dos SE e das SbN? • Há mitos e generalizações que dificultam a aplicação das SbN? • Há lacunas de evidências e confiança sobre a robustez e efetividade das iniciativas de SbN? • Existem projetos de SbN exitosos e reconhecidos nas vizinhanças?	[+] Ações de sensibilização e comunicação junto as partes interessadas são importantes para que as SbN sejam efetivamente consideradas como opções de gestão para segurança hídrica (IVEY et al., 2006; UN-WATER, 2018). [-] Mitos e generalizações indevidas sobre as SbN geram conflitos e desconfianças sobre a sua aplicação (CHAPPELL, 2005; UN-WATER, 2018). [+]É fundamental evidenciar a robustez das iniciativas de SbN e aumentar a confiança sobre a sua efetividade (DAVIS et al., 2015; MANDER et al., 2017; UN-WATER, 2018). [+] Projetos de SbN exitosos em regiões vizinhas estimular o surgimento e fortalecimento de programas e o desenvolvimento de iniciativas (GARTNER et al., 2013; OZMENT et al., 2016).

Legenda: [+] Favorável para aplicação de SbN. [-] Desfavorável para aplicação de SbN.
Fonte: A autora, 2020.

Cabe destaque para as revisões de Huber-Stearns et al. (2017) e de Bosch et al. (2019), que analisaram as condições facilitadoras para implantação de iniciativas de PSA; de Romulo et al. (2018), que avaliaram a importância de fatores ecológicos e sociais para existência de investimentos em 147 iniciativas de SbN em 416 cidades; e Vogl et al. (2017), que analisaram as principais barreiras e oportunidades para investimento em serviços de bacias hidrográficas. Da literatura cinza, ressalta-se a importância da publicação do Banco Mundial (DARGHOUTH et al., 2008), que aponta as lições aprendidas em 15 anos de investimentos da instituição em projetos de manejo de bacias hidrográficas; da WRI (GARTNER et al., 2013; OZMENT et al., 2016), que identificaram fatores-chave para o sucesso de programas de investimento em proteção de mananciais de abastecimento público nos EUA; e da AWWA e TTPL (ERNST, 2004; TTPL, 2005), que proporam um quadro de suporte a decisão para elaboração de estratégias para proteção de mananciais.

A existência ou não dos fatores que favorecem a aplicabilidade de SbN não é por si só determinante quanto ao surgimento ou consolidação de iniciativas, visto serem resultantes da intenção real dos atores e da interação entre numerosos fatores em sistemas socioecológicos complexos (ROMULO et al., 2018). Com a análise da aplicabilidade de SbN no estudo de caso da Bacia do rio Guapi-Macacu, espera-se compreender as principais oportunidades e barreiras para adoção de SbN, e refletir sobre quais aspectos devem ser aprimorados e trabalhados para favorecer a sua implantação, consolidação ou ampliação.

5.1.2.1 Características biofísicas, sociais e econômicas da bacia hidrográfica

A implantação de iniciativas de SbN é muitas das vezes desafiadora e complexa, considerando que os locais e as práticas a serem selecionadas deve considerar não apenas os fatores físicos, biológicos e químicos, mas também fatores sociológicos e econômicos coexistentes no ambiente e na bacia hidrográfica (PIEMONTI et al, 2013). O tipo de solo, uso da terra e topografia, por exemplo, influenciam a definição de áreas mais adequadas para práticas de conservação e restauração (BABBAR-SEBENS et al., 2013). O padrão de posse da terra, atitudes e preferências dos agricultores, regulamentações, programas de conservação preexistentes, crenças e normas sociais podem afetar a otimização

espacial das decisões tomadas pela comunidade, e a adoção e/ou rejeição final das práticas de SbN em toda a paisagem da bacia hidrográfica (SÖDERQVIST, 2003).

I) Uso e cobertura da terra

Em relação ao uso e cobertura da terra, as SbN são aplicáveis e relevantes em bacias com áreas pouco urbanizadas e com predomínio de uso agropecuário e cobertura florestal, visto que as áreas de uso agropecuário apresentam alto potencial para conversão do uso da terra, para implementação de boas práticas agropecuárias e manejo conservacionista do solo. A partir da análise de 47 iniciativas de investimentos em serviços de bacias hidrográficas, Romulo et al. (2018) identificaram a importância relativa de diversos fatores para a existência de projetos de SbN, sendo o fator mais importante a porcentagem de cobertura de terras agrícolas, indicando que é mais provável que as SbN ocorram em bacias com predomínio de áreas de uso agropecuário. As áreas com baixos percentuais de cobertura florestal, por sua vez, são menos favoráveis para a adoção de SbN, considerando-se o comprometimento de limiares mínimos por unidades de paisagem para assegurar a integridade das comunidades bióticas e a manutenção dos serviços ecossistêmicos em médio e longo prazo (ANDRÉN, 1994; BANKS-LEITE et al., 2014 apud IKEMOTO; NAPOLEÃO, 2018).

Quando a paisagem apresenta abaixo de 30% de cobertura florestal (habitat), os efeitos da fragmentação na perda de espécies e na diminuição do tamanho das populações tende a ser mais drásticos (ANDRÉN, 1994). Segundo Ikemoto e Napoleão (2018), com base nos estudos de Banks-Leite et al. (2014), as unidades de paisagem são classificadas por valores limiares de porcentagem de área preservada: percentuais entre 20-40% de cobertura florestal apresentam maior efeito positivo sobre a manutenção da diversidade local advindo do aumento da quantidade de habitat, da área total e da área-núcleo dos fragmentos e da conectividade; unidades com percentuais superiores a 40% possuem alto potencial ambiental para a conservação e restauração florestal, e unidades com percentuais de cobertura florestal inferiores a 20% têm maior probabilidade de serem dominados por espécies generalistas e requerem maiores investimentos e esforços de intervenção para recuperação.

Em relação a tendências de alteração do uso e cobertura da terra, espera-se maior interesse por SbN em áreas sob pressões que impliquem em perdas em serviços ecossistêmicos, especialmente em territórios afetados pelo desmatamento e queimadas

(STANTON et al., 2010). As áreas com intensa urbanização e atividades industriais apresentam baixo potencial para conversão do uso da terra e para recuperação dos serviços ecossistêmicos, e demandam outras ações prioritárias, tais como a regulação, monitoramento, controle e remoção das fontes pontuais de poluição e investimentos em esgotamento sanitário.

II) Tamanho da bacia hidrográfica

Para Hanson et al. (2012), as SbN são dependentes da escala, e do tamanho da bacia hidrográfica, sendo considerado por vários autores como um fator crítico para viabilidade da aplicação de SbN para segurança hídrica (FAO, 2006; ERNST, 2004; TTPL, 2005; DARGHOUTH et al., 2008; UN-WATER, 2018). Segundo Kiersch (2000), o impacto das intervenções de conservação e restauração ambiental em processos hidrológicos são mais expressivos em áreas de drenagem menores. À medida que as bacias hidrográficas aumentam de tamanho, o impacto do uso da terra no regime hidrológico tende a se tornar menos relevante em comparação com fatores naturais como o regime pluviométrico (FAO, 2006). Em relação à influência do tamanho da bacia sobre a qualidade da água, a influência sobre a matéria orgânica e patógenos são relevantes em bacias menores, e os efeitos cumulativos da poluição (ex. agrotóxicos e metais pesados) podem ser observados até em grandes bacias (KIERSCH, 2000).

Áreas extensas possuem menor viabilidade de execução de projetos de SbN e bacias hidrográficas grandes implicam em um maior número de parcerias, extensas áreas de intervenção (proporcional ao tamanho da bacia), elevado volume de investimentos e um longo período de tempo para implementação e obtenção de resultados significativos (MCDONALD; SHEMIE, 2014). Além disso, áreas de mananciais contidas em mais de uma jurisdição, ou seja, envolvendo mais de um município ou estado, requerem capacidade para articulação, compatibilização de normas e mediação de conflitos e interesses distintos, aumentando a complexidade e as dificuldades de gestão (TTPL, 2005). Em função das razões expostas, pequenas bacias hidrográficas são propensas a ter um retorno de investimento muito maior do que as bacias hidrográficas extensas (MCDONALD, 2015).

III) População atendida

Em relação à população atendida por um determinado manancial, grande parte dos autores assumem que iniciativas de SbN são mais propensas a ocorrerem em bacias com grandes populações urbanas a jusante, em comparação com um número menor de proprietários rurais a montante, considerado o maior potencial para investimentos e intervenções com melhor retorno de investimento (SOUTHGATE; WUNDER, 2009; BOSCH et al., 2019). Por outro lado, se as áreas a montante tiverem grandes densidades populacionais, os custos de transação seriam mais altos e a implantação mais complexa e menos favorável (WUNDER, 2013).

Quanto maior a população atendida, maior é o potencial impacto das intervenções e a capacidade de investimento e de pagamento pelos serviços ambientais, logo, recomenda-se priorizar SbN em bacias hidrográficas de maior relevância para o abastecimento público, considerando a representatividade da população atendida. Cabe ressaltar que esse critério não deve ser analisado de forma isolada, de modo a evitar que a prioridade para investimentos seja direcionada somente em benefício dos que têm capacidade de pagar, e não considerando também aqueles com maior necessidade de intervenções para segurança hídrica (PASCUAL et al., 2014; VOGL et al., 2017).

Para este critério, é analisada a população atendida pela Bacia do rio Guapi-Macacu, e sua relevância no contexto estadual e regional (Região Hidrográfica da Baía de Guanabara).

IV) Fatores que afetam as decisões de proprietários rurais quanto aos usos da terra

Segundo Gartner et al. (2013), Bennett and Carroll (2014) e Ozment et al. (2016), a resistência de proprietários de imóveis rurais é uma importante barreira para adoção de SbN, e diversos fatores econômicos, políticos e culturais, interagem entre si para influenciar as decisões de uso da terra (RICHARDS et al., 2017). Além disso, o custo das SbN não é apenas determinado pelas despesas relacionadas à implantação e manutenção das ações de conservação, recuperação e manejo sustentável, mas também pelos custos de transação de mobilização de provedores, gerenciamento e monitoramento de programas (WUNDER et al., 2008). Dessa forma, menores custos de transação aumentam a viabilidade de SbN.

A estrutura fundiária (quantidade, o tamanho e a distribuição social) de imóveis rurais é um fator-chave para compreensão do potencial de adesão de proprietários de

terras em iniciativas de SbN e dos custos de transação para sua implementação (HUBER-STEARNS et al., 2017). Elevada quantidade de imóveis rurais pequenos apresenta desafios para implementar e monitorar as mudanças no uso da terra em escalas representativas para aumentar a segurança da água (VOGL et al., 2017). O menor número de atores e de propriedades a serem envolvidos implicam em menores custos de transação e maior potencial para mobilização (ENGEL et al., 2008), porém um número muito pequeno e restrito de atores e propriedades pode implicar em pouca concorrência para provisão de serviços ecossistêmicos e trazer dificuldades na execução (LOCKIE, 2013). O tipo de posse da terra é um fator importante nas decisões dos agricultores de adotar práticas conservacionistas: arrendatários e meeiros parecem ser menos propensos do que os proprietários ou posseiros em adotar práticas que tragam benefícios a longo prazo (SOULE et al., 2000; PIEMONTI et al., 2013). Bacias hidrográficas com maior extensão de terras de domínio público, por sua vez, podem ser mais facilmente convertidas em áreas protegidas ou a serem recuperadas (ROMULO et al., 2018).

O nível de diversificação de fontes de renda e o tipo de sistemas produtivos também podem influenciar a decisão de proprietários em aderir a programas de SbN. Propriedades com maior diversificação de fontes de renda, e principalmente nas quais a pecuária não é a única fonte de renda, as práticas de gerenciamento das SbN são mais toleráveis para os participantes (RICHARDS et al., 2015). Áreas de pastagem, com produções de pecuária de corte e de leite são geralmente caracterizadas por baixas taxas de lotação por hectare, apresentando potencial para intensificação e liberação de áreas para a restauração florestal e manejo sustentável em maior escala (LATAWIEC et al., 2015). No entanto, a lucratividade do pastejo rotacionado é altamente sensível à flutuação nos preços do leite e dos insumos da produção, apresentando altos riscos de perdas, diminuindo o potencial de liberação de áreas para SbN (RICHARDS et al., 2017). A quantidade e capacidade de mão-de-obra disponível afeta os custos de produção e dificultam a adesão a boas práticas de manejo e sistemas produtivos de base florestal, pois exigem investimentos em mão-de-obra.

O custo de oportunidade da terra corresponde a rentabilidade para determinado uso da terra a ser sacrificada quando convertida para conservação, restauração ou manejo conservacionista (YOUNG et al., 2007) . Menores custo de oportunidade da terra, portanto, implicam em maior potencial para mobilização de áreas e menores custos de transação. De modo geral, observa-se que as áreas que apresentaram maior custo de oportunidade são as de culturas agrícolas, e as áreas de menor custo são as ocupadas por

pastagens (OSUNA et al., 2014). A produtividade de uma área varia considerando características como a disponibilidade de água, tipo de solo, declive, acessibilidade/distância de vias principais, adoção de técnicas mais eficientes ou menores custos de produção, dentre outros (RICHARDS et al., 2017).

A existência de ações e iniciativas prévias associadas ao desenvolvimento rural sustentável e ao fortalecimento da organização comunitária podem favorecer a mobilização e adesão de proprietários e possuidores de imóveis rurais em iniciativas de SbN, considerando o aumento do capital social e do nível de conhecimento e sensibilização dos mesmos para práticas conservacionistas.

V) Cobenefícios

Os cobenefícios ambientais, econômicos e sociais associados as SbN para segurança hídrica, tais como proteção da biodiversidade, redução da pobreza, desenvolvimento econômico local, segurança alimentar, sequestro de carbono, beleza cênica, dentre outros, podem motivar diferentes grupos de partes interessadas para apoiar e expandir os recursos disponíveis para uma mesma área, aumentando a capacidade e fornecendo capital político para as iniciativas (GARTNER et al., 2013). Dessa forma, a existência de demanda por cobenefícios favorece a adoção das SbN numa bacia hidrográfica, potencializando a construção de parcerias, sinergia entre iniciativas e o cofinanciamento das intervenções.

Embora os cobenefícios façam parte do raciocínio para a escolha de estratégias relacionadas aos serviços ecossistêmicos (WUNDER et al., 2008), as iniciativas carecem de monitoramento e avaliação de resultados e dos impactos em longo prazo, especialmente para os cobenefícios (BROUWER et al., 2011; BENNETT et al., 2013). As análises de custo-benefício são geralmente direcionadas para um único serviço ecossistêmico, e, portanto, não representam os seus reais benefícios a sociedade. Dessa forma, identifica-se a demanda por investimento em análises de cobenefícios em várias escalas e cenários de intervenção (RAYMOND et al., 2017a).

5.1.2.2 Capacidades para adoção de SbN

As capacidades para adoção de SbN possuem um caráter complexo e multidimensional, que depende de um conjunto de fatores, tais como existência de lideranças técnicas e políticas; arranjos institucionais adequados; recursos humanos e institucionais suficientes; dados disponíveis e acessíveis; capacidade financeira; apoio e envolvimento da comunidade (DE LOË et al., 2002; IVEY et al., 2002; IVEY et al., 2006; TIMMER et al., 2007), dentre outros.

I) Capacidade social

Ao contrário das soluções de infraestrutura construída para a água, as estratégias de SbN são geralmente mais complexas, requerendo altos níveis de cooperação entre diversos atores dentro de uma bacia hidrográfica (VOGL et al., 2017). As SbN, de modo geral, envolvem diversas políticas setoriais (gestão de recursos hídricos, meio ambiente, agricultura, engenharia florestal, saneamento, planejamento urbano, energia) e as partes interessadas sempre têm diferentes perspectivas, missões, mandatos e prioridades (NESSHÖVER et al., 2017).

Com frequência, não há precedentes para que os atores envolvidos reconheçam seu interesse mútuo ou visão comum sobre as SbN, nem há incentivos para estabelecer parcerias (BENNETT et al., 2016). A cooperação intersetorial e institucional requer o compartilhamento de poder e construção de consenso, e de liderança de indivíduos nas organizações capazes de transpor limites, construir confiança e relacionamentos e desenvolver instâncias de colaboração e parceria (EMERSON et al., 2012). A existência de redes formais e informais entre participantes é importante para promover o fluxo de informações e relações, especialmente quando há tendência de rotatividade de pessoas (LEACH; PELKEY, 2001; HARDY; KOONTZ, 2010; MARGERUM, 2011).

A presença de lideranças é ressaltada como fator-chave para iniciativas bem sucedidas. Os líderes contribuem para influenciar tomadores de decisão, construir e manter parcerias, vencer a inércia inicial para implementar as iniciativas de SbN, superar barreiras e desafios ao longo de sua implementação e comunicar e sensibilizar acerca da viabilidade e importância dessa estratégia (ROSENTHAL et al., 2015; RUCKELSHAUS et al., 2015). De modo geral, envolvem o poder público, setor privado, concessionárias, academia, instituições financeiras, organismos multilaterais, sociedade civil organizada e grupos de conservação (OZMENT et al., 2015). Seu papel é essencial para coordenação das partes interessadas, construção de uma visão e direção comuns, e resolução de

conflitos, condução do processo de auto-organização e desenvolvimento de vínculos ativos entre as partes interessadas (DE LOË et al., 2002; VIRAPONGSE et al., 2016). A capacidade de facilitar é crítica, e facilitadores e líderes podem ter papéis separados ou não (ALLEN; GUNDERSON, 2011). Lideranças técnicas tem grande impacto e influência dentro de suas respectivas instituições, em especial, gerentes de recursos hídricos ou meio ambiente no poder público e gerentes de riscos em uma concessionária ou empresa privada (GARTNER et al., 2013; OZMENT et al., 2016). Líderes locais, por sua vez, podem surgir em uma comunidade ou de representantes do terceiro setor, desempenhando um importante papel para demonstrar comprometimento e o apoio popular, mediar opinião pública e pressionar grupos de interesse (OZMENT et al., 2015; COHEN-SHACHAM et al., 2016).

Para Vogl et al. (2017), os papéis e níveis de influência dos atores variam em função das escalas de atuação. Na escala global ou nacional, influenciam a formulação do arcabouço legal das políticas públicas, a definição de metas e o direcionamento de recursos, com destaque para organismos multilaterais, países e estados, academia e o terceiro setor. Na escala estadual ou regional, atuam principalmente na construção de parcerias e desenvolvimento de programas e projetos, como governos estaduais e municipais, concessionárias de abastecimento, comitês de bacia hidrográfica e organizações da sociedade civil. Na escala local ou individual, constituem os provedores de serviços ecossistêmicos e potenciais atores responsáveis em implementar as intervenções necessárias, como comunidades, famílias e proprietários de imóveis rurais.

Segundo Darghouth et al. (2008) e Kerr (2004), programas de manejo de bacias hidrográficas de abordagem centralizadora, sem o devido envolvimento e participação da sociedade, enfrentaram a desconfiança, baixa adesão e falta de comprometimento sobre as intervenções por parte da comunidade e dos atores locais, além de dificuldades em garantir a equidade e sustentabilidade das ações. Abordagens participativas para concepção e implementação de SbN vêm sendo amplamente adotadas em programas recentes, criando incentivos para adesão e trazendo os recursos para incentivar a população local a se organizar em torno da melhoria da gestão da bacia hidrográfica, por meio de ações de capacitação, desenvolvimento institucional, diálogo com as partes interessadas e formas de inclusão social (RHOADES, 1999).

II) Arranjos institucionais adequados

A literatura enfatiza a importância do arranjo institucional para a adoção de SbN, destacando a existência de instituições fortes, base legal apropriada, regime de direitos de propriedade e posse segura da terra (HUBER-STEARNS et al., 2017; ROMULO et al., 2018; BOSCH et al., 2019).

A existência de instituições que atuam consistentemente no território e apoiam a agenda dos serviços ecossistêmicos é importante para que as SbN possam ser consideradas como opções de gestão para atender os problemas da sociedade (HUBER-STEARNS et al., 2017). Para que uma SbN seja uma opção relevante de gestão, deve ficar claro os benefícios esperados, os custos envolvidos, as instituições responsáveis e a estratégia de gerenciamento (UN-WATER, 2018). A definição clara de diretrizes, atribuições e competências entre as instituições que permitam a integração entre setores e órgãos de todos os níveis e o desenvolvimento descentralizado e participativo também são fundamentais para que uma abordagem integrada compatível com SbN seja adotada (DARGHOUTH et al., 2008).

Uma base legal clara e coerente de um país é considerada importante para o desenvolvimento de arranjos bem sucedidos de SbN, e marcos normativos inapropriados podem constituir barreiras para sua adoção (BOSCH et al., 2019). Normas, regulamentos, diretrizes e incentivos que regem as SbN não são comuns ou uniformes, portanto, instituições deixam de priorizar o financiamento ou cooperar para SbN frente a ausência de regulamentação do tema, dificultando o aporte de recurso e o ganho de escala dos investimentos (BENNETT; RUEF, 2016; UN-WATER, 2018). Atores locais frequentemente enfrentam desincentivos ou estruturas legais que dificultam a contabilização do capital natural e reconhecimento da provisão dos serviços ecossistêmicos (BENNETT et al., 2016). Para Davis et al. (2015), os marcos regulatórios e legais para a água existentes foram desenvolvidos para abordagens de infraestrutura construída, sendo desafiador reavaliar as SbN nessa estrutura, exigindo esforços de revisão e adaptação.

O adequado regime de direitos de propriedade e de posse segura da terra é considerado uma condição crucial para o sucesso de projetos com finalidade na conservação dos serviços ecossistêmicos (SOUTHGATE; WUNDER, 2009; WUNDER 2005; WUNDER, 2007; HUBER-STEARNS et al., 2017; ROMULO et al., 2018). Iniciativas onde a posse da terra era insegura, a população local não estava disposta a investir em melhorias da terra a médio ou longo prazo (DARGHOUTH et al., 2008), e

proprietários de terra não poderiam se tornar provedores contratados confiáveis para serviços de água (WUNDER, 2013).

III) Capacidades institucionais

A capacidade institucional refere-se à disponibilidade de recursos financeiros, materiais e humanos e capacidade técnica para apoio a tomada de decisão, planejamento e gestão, captação de recursos, implementação de iniciativas e engajamento e sensibilização para SbN (IVEY et al., 2006; TIMMER et al., 2007).

A integração do valor dos SE aos processos de tomada de decisão de políticas públicas ou negócios requer mudança nas práticas, processos e estratégias predominantes. O domínio das soluções de infraestrutura construída para os riscos relacionados à segurança hídrica está internalizado no arcabouço institucional, legal e técnico das concessionárias de abastecimento, nos órgãos públicos, nos formuladores de políticas e no público em geral, resultando em uma inércia geral contra o desenvolvimento e uso de SbN, muitas vezes percebidos como menos eficientes, ou mais arriscados. Dessa forma, o contexto comum é de falta de capacidade técnica, incentivos, recursos financeiros e outros requisitos para que esta essa agenda seja implementada (NESSHÖVER et al., 2017; UN-WATER, 2018).

Para Bennett e Ruef (2016) e UN-Water (2018), uma das principais barreiras para as SbN é a lacuna de capacidade, ou seja, a falta de capacidade técnica para elaborar projetos adequados com intuito de captar recursos potenciais e para implementar investimentos que contemplem SbN em bacias hidrográficas. A capacidade financeira é um dos pré-requisitos mais comumente citados e envolve tanto a capacidade de acessar e captar recursos, quanto de realizar a sua correta gestão e aplicação (IVEY et al., 2006).

É importante ressaltar que a capacidade institucional não é estática, e que ações de capacitação, retenção de pessoal qualificado e ampliação do corpo técnico destinadas às SbN são importantes para alavancar a agenda (TIMMER et al., 2007).

IV) Mecanismos de financiamento

Para Gartner et al. (2013), o principal desafio para constituir e consolidar as SbN é a constituição de um conjunto de mecanismos de financiamento que gerem fundos suficientes para investimentos significativos e sustentados em SbN a longo prazo, e da

capacidade de obter o apoio político necessário para sua concepção e manutenção. Segundo UN-Water (2018), as SbN não exigem necessariamente recursos financeiros adicionais, e podem advir principalmente redirecionamento e o uso mais eficaz dos financiamentos existentes.

Bennett e Ruef (2016) apontam como principais mecanismos de mercado adotados globalmente destinados à infraestrutura natural para água os subsídios públicos, pagamentos de usuários de água, comércio de compensações da qualidade da água e comércio de direitos da água, sendo que 90% destes investimentos vem sendo realizados por meio de programas governamentais. Gartner et al. (2013), por sua vez, destaca como principais mecanismos financeiros adotados nos EUA os investimentos diretos e indiretos pelo poder público e concessionárias de água (recursos governamentais, fundos públicos destinados a conservação, tarifas ou sobretaxas sobre serviços públicos de água, incentivos fiscais, crédito rural, etc.); a doação voluntária de pessoas físicas e jurídicas (*crowdsourcing*, patrocínio, filantropia, etc.) e os mecanismos baseados em mercado (mercados de carbono, certificação de produtos, créditos de mitigação de impacto ambiental, etc.). Na América Latina, o investimento em fundos de água é oriundo principalmente de concessionárias de água e do setor público, por meio da criação de normativas que exigem que parte dos orçamentos públicos seja investido na conservação de bacias hidrográficas (BREMER et al., 2016).

Mecanismos de aumento de tarifas ou sobretaxas sobre serviços públicos de água são praticados em diversas bacias no mundo (GARTNER et al. 2013) e também no país, como é o caso do estado de Minas Gerais. Por meio da Lei Estadual 12.503, de 30 de maio de 1997, definiu-se que empresas concessionárias de serviços de abastecimento de água e de geração de energia elétrica, públicas e privadas, ficam obrigadas a investir, na proteção e na preservação ambiental da bacia hidrográfica em que ocorrer a exploração, o equivalente a, no mínimo, 0,5% (meio por cento) do valor total da receita operacional ali apurada no exercício anterior ao do investimento. A partir da revisão tarifária reconhecida pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG), a COPASA passou a destinar recursos contínuos para proteção de nascentes e matas ciliares, criando o Programa Pró Mananciais (ARSAE-MG, 2018). Somente em 2018, a COPASA investiu cerca de 14 milhões de reais em ações do Programa Pró-Mananciais (COPASA, 2019).

Para Gartner et al. (2013), a revisão tarifária pode ser uma tarefa politicamente difícil, considerando o contexto de taxas crescentes para lidar com o aumento de custos

regulatórios e a deterioração da infraestrutura construída. No entanto, mesmo pequenas sobretaxas ou aumentos de tarifas podem levantar fundos substanciais, dependendo da base do contribuinte.

V) Capacidades para monitoramento dos SE e avaliação das SbN

Explicitar o valor dos serviços ecossistêmicos e do capital natural pode ajudar a sociedade a tomar melhores decisões, quando da existência de *trade-offs* (DE GROOT et al., 2010). As SbN estão em desvantagem em comparação com as abordagens tradicionais de infraestrutura cinza por carecerem de métodos e ferramentas amplamente aceitas para estimar custos, quantificar os resultados e medir seus impactos, embora a consideração dos cobenefícios possa direcionar decisões a seu favor (MCDONALD; SHEMIE, 2014). Os princípios de respostas das SbN sobre o meio ambiente são relativamente conhecidos (RAYMOND et al., 2017a; JONES et al., 2009), mas a magnitude dos benefícios, a relação custo-benefício e os impactos reais proporcionados resultantes de práticas de manejo ainda são pouco claros (JACKSON et al., 2004). Na ausência dessas informações, os defensores das SbN limitam-se a argumentos qualitativos para investimentos (GARTNER et al., 2013).

Segundo Ozment et al. (2016), algumas metodologias de avaliação são adotadas para SbN aplicadas a bacias hidrográficas: (i) análise de custo-benefício, que compara o valor presente de custos e benefícios de duas ou mais opções de gerenciamento de água envolvendo SbN e infraestrutura convencional; (ii) análise de benefícios sociais, a partir da quantificação e valoração dos impactos e benefícios obtidos pelos serviços ecossistêmicos, incluindo ou não os cobenefícios; e (iii) análise da disposição dos beneficiários a pagar; (iv) custos evitados; dentre outros. Para Gartner et al. (2013), a comparação entre avaliações de SbN e de infraestrutura cinza são desafiadores, por adotarem métodos econômicos diferentes, com suposições e/ou *proxies* para medição distintos.

Segundo Vogl et al. (2017), são necessários avanços em métodos e ferramentas de apoio a decisão para seleção, em escala regional, de bacias hidrográficas com a maior oportunidade para SbN prevenirem e mitigarem os riscos relativos à segurança hídrica; mapeamento, quantificação e valoração de serviços ecossistêmicos, de modo a analisar a relação custo-benefício e direcionar as intervenções em programas e projetos; e métricas de desempenho para comparação e avaliação das abordagens projetadas. Para UN-Water,

deve-se estabelecer limiares de capacidade de carga dos ecossistemas e de "pontos de inflexão" (*tipping points*) para os quais quaisquer perturbações (por exemplo, a adição de contaminantes e substâncias tóxicas) levarão a danos irreversíveis ao ecossistema. (UN-WATER, 2018). Uma forte ciência dos serviços ecossistêmicos foi identificada como necessária para uma melhor compreensão dos processos e interações ecológicas que ocorrem em uma bacia pelas partes interessadas envolvidas para tomadas de decisões em torno das SbN, vinculando a ciência ecológica e política à tomada de decisões (ROSENTHAL et al., 2015; RUCKELSHAUS et al., 2015; HUBER-STEARNS et al., 2017).

Modelos de serviços ecossistêmicos estão sendo usados em um número crescente de bacias hidrográficas para estimar, com diferentes graus de precisão, os resultados quantitativos de intervenções como conservação, restauração ecológica e práticas de manejo cada vez mais específicas (GARTNER et al., 2013). No entanto, o acesso a dados de séries temporais de vazão e dados sobre qualidade de água disponibilizados por concessionárias de água e agências governamentais é, na maioria das vezes, inadequado e insuficiente para as necessidades de avaliação (BREMER et al., 2016) e para informar as opções de investimento baseadas em evidências (UN-WATER, 2018). Dentre os principais limitantes, destaca-se a lacuna de dados confiáveis e na escala temporal e espacial adequadas à gestão, a ausência de sistema de informações que integre e gerencie esses dados, e restrições práticas de viabilidade e custo para mensuração e monitoramento dos serviços ecossistêmicos (DE LIMA et al., 2017).

Mesmo em contextos favoráveis, os resultados das modelagens sempre apresentam níveis de incerteza, considerando que os ecossistemas são sistemas sócio-ecológicos complexos e cujas respostas a fatores naturais e de manejo variam com a escala e temporalidade, e são frequentemente não-lineares, heterogêneos e incompletamente conhecidos (SUDING et al., 2004; HAMEL; BRYAN, 2017). Negligenciar incertezas pode levar a expectativas infundadas e avaliações ruins dos resultados das SbN.

Este desafio não se limita a avaliação de iniciativas de SbN, sendo um desafio para avaliação de políticas ambientais, de modo geral. Os problemas ambientais possuem particularidades que trazem desafios tanto para formulação quanto para desenvolvimento de metodologias de avaliação adequadas a temática ambiental (MICKWITZ; BIRNBAUM, 2009), conforme sistematizado no Quadro 26.

Quadro 26 – Problemas e limitações para avaliação de políticas ambientais

Problemas	Implicações
Complexidade	• Padrões complexos de causalidade e impacto: múltiplas relações de causa e efeito e interações entre os componentes humano, social, econômico e ambiental, limitando a compreensão em sua totalidade. • Incertezas: limitação do conhecimento e de dados para avaliar riscos, realizar previsões e construir cenários. • Redução da complexidade: implica em risco de distorções e comprometimento da validade e confiabilidade das análises.
Dimensão espacial	• Escalas variáveis das interações e impactos, atingindo áreas distintas ou remotas em relação ao foco ou causa do problema. • Fenômenos ambientais ultrapassam os limites administrativos e geopolíticos, e envolvem diversos níveis de observação e análise.
Dimensão temporal	• Longo período de alteração dos sistemas naturais, dificultando a percepção do problema e seu devido equacionamento (efeito *time-lag*). • Dificuldade de monitoramento e análise das intervenções e dos impactos.
Disponibilidade de dados	• Lacunas de conhecimento e insuficiência de dados. • Requer monitoramento sistemático, com banco de dados e séries históricas adequadas, organizadas em sistemas de informação integrados.

Nota: Quadro baseado em MICKWITZ, 2003; GYSEN et al., 2006; CRABB; LEROY, 2012.
Fonte: A autora, 2020.

Para lidar com as complexidades, incertezas e longa temporalidade associadas a obtenção de resultados e benefícios de serviços ecossistêmicos, diversos autores convergem que as SbN requerem uma estrutura de gestão adaptativa na qual o planejamento e ações possam ser ajustadas em resposta a novas informações (SCARLETT; BOYD, 2015; SMITH; PORTER, 2010; WILLIAMS; BROWN, 2016; COHEN-SHACHAM et al., 2016; UN-WATER, 2018). Apesar das limitações inerentes dos resultados as avaliações e experimentos, os mesmos têm grande potencial para contribuir em explicações de causalidade e compreensão dos fenômenos, sendo úteis ao aprendizado, aprimoramento e melhor tomada de decisão. Há recentes esforços para adotar estruturas de gestão adaptativa para os recursos naturais em alguns países, como os EUA, mas na prática, sua aplicação ainda tem se mostrado desafiadora (ALLEN; GUNDERSON, 2011; WESTGATE et al., 2013; DE LIMA et al., 2017).

VI) Definição de limites e áreas prioritárias

A definição dos limites de atuação (onde atuar) e das áreas prioritárias (em que locais realizar as intervenções) são fundamentais para a formulação e desenvolvimento

de iniciativas de SbN que apresentem resultados e impactos efetivos (ERNST, 2004; TTPL, 2005). Conforme o conceito adotado de segurança hídrica da água bruta para mananciais superficiais, as áreas de influência para provisão dos serviços ecossistêmicos constituem as bacias drenantes a montante dos pontos de captação de água para o abastecimento público, e para águas subterrâneas, compreendem a área total de captura de recarga de um poço. Dessa forma, a bacia hidrográfica é unidade territorial de planejamento e gestão de iniciativas de SbN para água.

De modo geral, os recursos de projetos não são suficientes para contemplar a demanda total de intervenção para a provisão de serviços ecossistêmicos, tornando essencial a priorização de áreas para otimizar os recursos e potencializar os resultados, impactos e a efetividade das SbN, bem como orientar o seu monitoramento e avaliação (FIDALGO et al., 2017). Além disso, a seleção da escala mais adequada para intervenção e a compreensão dos vínculos espaciais e hidrológicos dentro do contexto maior da bacia hidrográfica são elementos fundamentais no design de programas e projetos (DARGHOUTH et al., 2008). No entanto, com muita frequência os projetos são desenvolvidos de maneira oportunista e aleatória, sem a devida identificação de áreas prioritárias (GARTNER et al., 2013), ou quando adotados, os objetivos e a descrição da metodologia e procedimentos de priorização geralmente não são explicitados com clareza, constituindo-se em uma lacuna de informação (GJORUP et al., 2015).

As ações de intervenção de SbN, por sua vez, devem ser planejadas e implementadas no nível de sub-bacia ou microbacia, gerenciando as intervenções em menor escala e de modo que possam contribuir para os objetivos na escala da bacia hidrográfica (ERNST, 2004; TTPL, 2005). Segundo Darghouth et al. (2008), grande parte dos projetos de manejos de bacias hidrográficas financiados pelo Banco Mundial nos últimos 15 anos adotaram a microbacia como a unidade de gerenciamento básico, comprovando-se que a microbacia é a escala mais viável para a intervenção. Constatou-se que a definição do tamanho das microbacias muito variável entre projetos, em função das características geográficas, topografia, organização social e padrões do uso e ocupação do solo. Para os autores, a seleção e priorização de microbacias e áreas de intervenção deve ser necessariamente realizada dentro do contexto de planejamento maior da bacia hidrográfica, no entanto, a adoção da abordagem de microbacias no mundo ainda enfrentam dificuldades, pois não necessariamente agregam ou capturam interações a montante e a jusante, sendo ainda um desafio integrar programas e projetos com a escala maior da bacia.

VII) Instituições implementadoras ou intermediárias

A implementação de projetos de SbN envolvendo terra privadas e proprietários de imóveis rurais pode ser muito demandante de recursos e tempo (DE LIMA et al., 2017). De modo geral, envolve atividades como mobilização e sensibilização do público-alvo, construção de relacionamento e confiança, assistência técnica, capacitação, monitoramento e verificação de indicadores de resultados e impactos, dentre outros. Entidades/organizações públicas, privadas ou do terceiro setor podem atuar como mediadores entre os as instituições responsáveis e os proprietários rurais e assumir tarefas administrativas e operacionais relacionadas à implementação das SbN (OZMENT et al., 2016).

Não há um consenso na literatura de como a presença ou ausência de instituições implementadoras ou intermediárias influenciam no sucesso das SbN (HUBER-STEARNS et al., 2015; THUY et al., 2010). Para Engel et al. (2008), Sattler e Matzdorf (2013), Gartner et al. (2013), Ozment et al. (2016), de Lima et al. (2017) e Romulo et al. (2018), elas são essenciais quando há falta de capacidade e conhecimento para implementar projetos de SbN pelos atores diretamente envolvidos e lacunas de confiança junto aos proprietários rurais. Grima et al. (2016), ao analisar 40 estudos de caso na América Latina, identificou que projetos sem intermediários tiveram um grau de sucesso mais alto do que aqueles com intermediários, e Brouwer et al. (2011), ao analisar 47 programas de PSA hídricos no mundo, identificou que o maior número de intermediários tem efeito negativo sobre o nível de efetividade das SbN, porém não foram apontadas as possíveis causas desses resultados. Thuy et al. (2010) aponta preocupações sobre a capacidade, qualidade do trabalho, a influência política e a neutralidade dos intermediários, e visto a complexidade do envolvimento dessas instituições, ressaltando tanto potenciais impactos positivos e negativos sobre a população local. Diversos críticos argumentam que intermediários em geral são caros e consome boa parte dos recursos (WUNDER et al., 2008), e que esforços devem realizados para a redução dos custos de transação (LANDELL-MILLS; PORRAS, 2002).

Frente a falta de consenso na literatura e a dificuldade da análise desse fator no contexto estadual, este fator não foi aplicado no estudo de caso.

VIII) Comunicação, engajamento e sensibilização acerca das SbN

Segundo UN-Water (2018), há falta de conhecimento pela sociedade e pelos tomadores de decisão sobre o que são as SbN e da sua importância e contribuição para enfrentar os problemas relacionados à água. A falta de conhecimento técnico, ferramentas e abordagens para integrar as soluções tradicionais de infraestrutura cinza com as SbN fazem com que elas sejam comumente negligenciadas pelas concessionárias e gestores de recursos hídricos e saneamento. Dessa forma, a sensibilização, envolvimento e comunicação junto às partes interessadas são importantes para que as SbN sejam efetivamente consideradas como opções de ação de gestão para segurança hídrica.

Um outro desafio é desconstruir mitos e generalizações indevidas que dominam o campo das SbN, tais como as pré-suposições de que sempre são custo-efetivas, como soluções "concorrentes" e "superiores" a infraestrutura cinza, e de que o aumento da cobertura florestal sempre aumenta a disponibilidade hídrica da bacia, o que gera conflitos e desconfianças sobre a sua aplicação (CHAPPELL, 2005; UN-WATER, 2018). Há grandes variações a respeito dos efeitos líquidos da cobertura florestal nas taxas de infiltração, vazões de estiagem e recarga das águas subterrâneas, e as SbN nem sempre são soluções custo-efetivas para resolver os problemas de uma bacia quando os seus principais estressores são relacionados a outros aspectos, como o controle da poluição e o saneamento, por exemplo. Dessa forma, as aplicações de SbN devem se basear menos em suposições, apresentando uma base sólida de estudos e evidências relacionadas à quantificação e valoração dos SE e ao retorno de investimento, embora a consideração dos cobenefícios não-hidrológicos ainda possa direcionar decisões a seu favor (MANDER et al., 2017).

Por não serem imunes ao mal planejamento e erros de concepção, iniciativas de SbN devem ser cuidadosamente projetadas e implementadas, de modo a evitar falhas e demonstrar a robustez e aumentar a confiança sobre sua efetividade (UN-WATER, 2018). As percepções de incerteza em torno do desempenho e custo-efetividade, a falta de informação sobre as formas de implementação, monitoramento e avaliação dos projetos, e iniciativas falhas ou mal sucedidas são apontadas como fortes limitações e desincentivos para a adoção das SbN (DAVIS et al., 2015). Projetos exitosos em regiões vizinhas são importantes estímulos para o surgimento e fortalecimento de novos programas e o desenvolvimento de iniciativas de SbN (GARTNER et al., 2013; OZMENT et al., 2016).

5.2 **Resultados e discussão**

5.2.1 Análise da pertinência das SbN para segurança hídrica da água bruta da Bacia do rio Guapi-Macacu

O resultado da avaliação qualitativa do nível de atual de segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal (item 4) apontou a necessidade de ações urgentes de gestão para redução do risco dos estressores "Demanda pelo uso da água", "Estiagens severas/secas", "Interferência nos corpos hídricos" e "Carga poluidora", que apresentam níveis inaceitáveis; e em sequência, a necessidade de ações de gestão para redução do risco aos estressores "Uso e cobertura da terra" e "Processos erosivos" para níveis aceitáveis.

Os altos níveis de risco à água bruta do manancial de abastecimento do sistema Imunana-Laranjal se manifestam em recorrentes crises hídricas na bacia em períodos de estiagem severa, em conflitos com outros usos e em impactos no abastecimento da população. Nesse contexto, medidas de redução e mitigação dos riscos à segurança hídrica tornam-se ainda mais relevantes.

A seguir, analisa-se a influência das ações de SbN em relação aos riscos dos principais estressores identificados.

I) Demanda pelo uso da água

As SbN não possuem relação direta com o estressor "Demanda pelo uso da água" para o abastecimento público, apesar da adoção de boas práticas agropecuárias poder contribuir para o aumento da eficiência do uso da água na irrigação (UN-WATER, 2018), e, portanto, atuar para reduzir a demanda dos usos agropecuárias na bacia.

II) Estiagens severas/secas e inundações

Os resultados da avaliação de segurança hídrica evidenciaram que a Bacia do rio Guapi-Macacu sofre com a ocorrência frequente de estiagens severas e de inundações, com impactos de alta severidade em relação às secas, que comprometem a operação e

produção de água pelo sistema Imunana-Laranjal, e com perdas e danos de média severidade para as populações ribeirinhas e em áreas de várzea nas cheias.

Para Southgate e Wunder (2009), espera-se um interesse maior por serviços ecossistêmicos de água onde há escassez hídrica, ou em bacias que sofrem com a variabilidade climática e ocorrência de eventos hidrológicos extremos. Segundo UN-Water (2018), as SbN exercem influência na quantidade de água disponível no tempo e espaço, seja por meio da conservação ou reabilitação dos ecossistemas, seja por meio de várias abordagens de uso e gestão da terra em ambientes urbanos ou rurais, atuando nos processos de infiltração, recarga das águas subterrâneas, escoamento superficial e retenção de umidade do solo.

Conforme apontado no item 4.2.1.3, a bacia apresenta expressiva ocorrência de áreas com média e alta suscetibilidade às inundações, considerando suas características intrínsecas, posição no terreno e fatores ambientais condicionantes e desencadeantes dos eventos. A transição brusca entre as escarpas e as planícies flúvio-marinhas, associada aos elevados valores de precipitação, é responsável por processos de enxurrada nas áreas a montante e por inundações graduais extensas nas áreas de baixada, que sofrem influência de variação das marés. A problemática das inundações, que se constituem em fenômeno natural, é agravada com a falta de manutenção e limpeza das obras de drenagem e de controle de cheias, o assoreamento dos corpos hídricos, o déficit de vegetação e o uso e ocupação inadequada de áreas úmidas, várzeas e APPs.

A adoção de SbN é relevante em bacias com alta suscetibilidade às inundações e a erosão, contribuindo para reverter ou evitar investimentos dispendiosos de mitigação de cheias, desassoreamento de rios e reservatórios e recuperação de áreas degradadas (ERNST, 2004; TTPL, 2005). Com a construção do COMPERJ, iniciada em maio de 2008, a região está sujeita a pressões de expansão urbana, perda de áreas agrícolas e degradação dos remanescentes florestais. Portanto, as medidas de SbN, principalmente aquelas relacionadas ao planejamento e ordenamento territorial, são estratégicas para prevenção de risco a inundações.

Conforme relatos de funcionários da CEDAE (informação verbal [54]), as inundações não afetam a ETA Laranjal, tanto em relação à integridade física das suas estruturas quanto em relação à operação e produção de água tratada. Portanto, em relação ao recorte de pesquisa da segurança hídrica para o abastecimento público, a contribuição

[54]Entrevista realizada com funcionários da CEDAE da ETA Laranjal, São Gonçalo, no dia 06/12/2019.

das SbN para prevenção de risco a inundações na bacia constitui um cobenefício, e não uma contribuição direta.

Em relação às estiagens severas, as SbN podem contribuir para manutenção e/ou aumento das vazões de estiagem, quando a contribuição da capacidade de infiltração do solo e da recarga das águas subterrâneas excedem as taxas de evapotranspiração. Na Bacia do rio Guapi-Macacu, as florestas de altitude podem representar um ingresso adicional de água em função da interceptação horizontal da umidade (captura de neblina), mesmo na ausência de chuva (MASTERPLAN, 2019). No entanto, considerando as incertezas e lacuna de estudos e dados sobre a influência do uso e cobertura no balanço hídrico da região, estudos de quantificação dos serviços ecossistêmicos são fundamentais para aumentar a compreensão da efetiva contribuição das SbN para regulação hídrica deste manancial, especialmente nas secas.

Apesar de não ter sido analisado neste estudo sobre possíveis cenários de mudanças do clima, as SbN também são apontadas como relevantes para uma estratégia de adaptação às mudanças climáticas, especialmente aos eventos extremos (estiagens severas/inundações) (CALLIARI et al., 2019; RAYMOND, 2017b).

III) Interferências nos corpos hídricos

Os rios principais e tributários da bacia, especialmente os rios Macacu e Guapiaçu, foram fortemente impactados pelas intervenções nos corpos hídricos e obras de drenagem realizadas no passado. É observada a tendência de diminuição da capacidade de retenção de água, o rebaixamento do lençol freático, a erosão do talvegue e das margens dos rios, o aumento da carga de sedimentos e o assoreamento dos corpos hídricos na bacia. O resultado desse complexo conjunto de processos pode implicar no agravamento das inundações e menor disponibilidade hídrica em períodos de estiagem, sendo os impactos percebidos especialmente pelos agricultores. Conforme relatado por Masterplan (2019), constatou-se a construção recentes de lagos e tanques escavados para irrigação em propriedades rurais localizadas em áreas úmidas, nas margens dos rios Guapiaçu e Macacu, afetadas pelo rebaixamento do lençol freático.

Segundo UNEP (2014), UN-Water (2018), ações de manejo conservacionista da água e do solo e de bioengenharia ou renaturalização fluvial podem ser uma estratégia relevante para recuperação dos corpos hídricos e para a regulação hídrica, especialmente na manutenção ou aumento dos níveis do lençol freático e das vazões de estiagem.

IV) Carga poluidora, Uso de cobertura da terra e Processos erosivos

Conforme evidenciado no diagnóstico, a bacia apresenta ocorrência representativa de áreas de alta suscetibilidade à erosão. Além disso, segundo o Censo Agropecuário 2017 do IBGE (2019), há um uso significativo de agroquímicos nos municípios da bacia, sendo que 25,2% dos estabelecimentos agropecuários declararam que utilizam agrotóxicos, e 24,9% que utiliza adubação química ou adubação química e orgânica.

Apesar dos valores de turbidez e concentração de sólidos totais na água bruta serem baixos e não comprometerem o funcionamento da ETA Laranjal, observaram-se outros impactos como o assoreamento no ponto de captação e o agravamento das inundações. Em relação aos agrotóxicos, há registros de suspeitas de violação dos limites de enquadramento para algumas substâncias orgânicas, e apesar do sistema de tratamento da ETA Laranjal ter se mostrado eficiente na remoção dos poluentes e no atendimento do padrão de potabilidade, o comprometimento da qualidade da água bruta reforça a importância de adoção de medidas para redução e controle do uso de agroquímicos.

O potencial de contaminação da água é reflexo do uso e manejo do solo na bacia, sendo o transporte e carreamento de poluentes para a rede de drenagem mais intenso quando associados aos processos erosivos e em áreas declivosas e frágeis (MERTEN; MINELLA, 2002). Nesse sentido, em relação às fontes de poluição pontual e difusa em áreas rurais, medidas de SbN como a conservação florestal, restauração ecológica e manejo conservacionista do solo contribuem regulação do fluxo de água e na manutenção da qualidade da água, reduzindo as cargas de sedimentos, prevenindo a erosão do solo e capturando e retendo poluentes (UNEP, 2014).

A adoção de medidas de SbN relacionadas a boas práticas agropecuárias podem contribuir para redução do aporte de poluentes de origem da atividade agropecuária na bacia, em especial, o aporte de nitrogênio, fósforo, sedimentos, agroquímicos (adubos solúveis e agrotóxicos) e metais pesados proveniente das lavouras e dejetos de produção animal em regime confinado (MERTEN; MINELLA, 2002; ABELL et al., 2017; SONNEVELD et al., 2018; UN-WATER, 2018).

Segundo Ernst (2004) e TTPL (2005), as SbN constituem uma importante estratégia para o controle da poluição difusa, seja por abordagens regulatórias, tais como a adequação ambiental e restrições ao uso e ocupação do solo, seja por abordagens voluntárias, vide a adoção de boas práticas agrícolas, manejo conservacionista da água e do solo, a conservação e restauração florestal. Para Engel et al. (2008), áreas rurais

carecem de regulamentação específica para o controle de fontes difusas de poluição e apresentam elevado potencial de provisão de serviços ecossistêmicos.

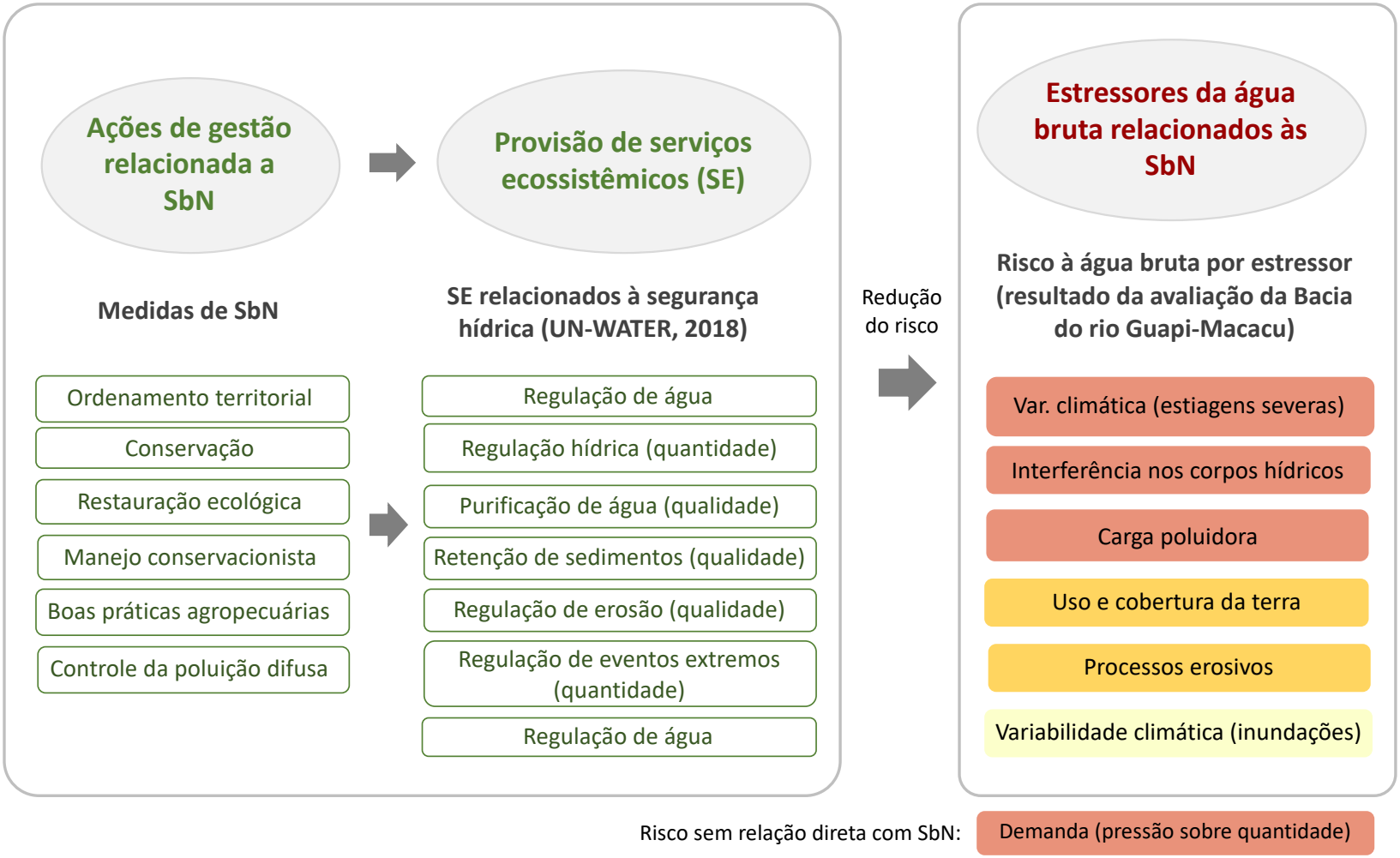
V) Considerações sobre a pertinência das SbN para segurança hídrica

Conforme apontado na revisão de literatura, as ações de SbN contribuem para manutenção, recuperação ou ampliação dos seguintes serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica: provisão de água; regulação climática; purificação da água; regulação hídrica; controle de erosão; regulação de sedimentos; e regulação de eventos extremos como inundações e estiagens (UN-WATER, 2018).

As ações de gestão relacionadas às SbN foram consideradas pertinentes para o aumento da segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal (Figura 56). Medidas como a renaturalização das planícies de inundação, recuperação de várzeas e áreas úmidas; a proteção e recuperação de áreas de maior fragilidade ambiental; disseminação de boas práticas agropecuárias, segundo evidências na literatura acima apontadas, podem potencialmente atuar na redução do risco dos estressores "Interferências nos corpos hídricos", "Uso e cobertura da terra", "Carga poluidora" e "Processos erosivos", ou prevenir o seu agravamento (Figura 60).

Embora os resultados corroborem a necessidade de considerar as SbN na formulação de políticas de segurança hídrica, destaca-se que a etapa de seleção de alternativas, por meio de estudos de quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos e análise do retorno de investimento, são fundamentais para compreender em que medida as SbN podem efetivamente contribuir para mitigar ou prevenir os problemas relacionados à escassez hídrica e eventos hidrológicos extremos (VOGL et al., 2017), especialmente considerando a grande variação dos impactos das SbN sobre os serviços de regulação hídrica.

Figura 60 – Síntese da análise de pertinência das SbN para a segurança hídrica da água bruta da Bacia do rio Guapi-Macacu



Legenda: Risco aceitável Risco tolerável Risco inaceitável

Fonte: A autora, 2020.

5.2.2 Análise da aplicabilidade de SbN para a Bacia do rio Guapi-Macacu

5.2.2.1 Características biofísicas, sociais e econômicas da Bacia do rio Guapi-Macacu

I) Padrão do uso e ocupação do solo

Em muitos casos, iniciativas de SbN ocorrem em escala quando aspectos regulatórios ou de custo são iminentes e substanciais (GARTNER et al., 2013), e muitas vezes, o valor das SbN só se torna claro quando as práticas convencionais se revelam insuficientes e os serviços ecossistêmicos da bacia hidrográfica já foram significativamente comprometidos, sendo necessários elevados investimentos para sua recuperação (UN-WATER, 2018). Verificou-se que a Bacia do rio Guapi-Macacu não se encontra nessa condição. A Bacia do rio Guapi-Macacu possui padrão de uso e ocupação do solo favorável para adoção de SbN.

Com vocação para produção agropecuária e conservação florestal, o território apresenta alto potencial para conversão do uso da terra e implementação de boas práticas agropecuárias e manejo conservacionista da água e do solo. As áreas com cobertura florestal representam 63,9% da área total da bacia, seguido das pastagens (27,6%) e das áreas agrícolas (4,7%). As áreas urbanas representam apenas 2,5% do território (item 4.2.1.1.1).

A adoção de SbN é favorecida também pelas características físico-climáticas e ecológicas da região. Segundo Ikemoto e Napoleão (2018), a bacia apresenta muito alta potencialidade ambiental para restauração ecológica, determinada principalmente pelo excelente grau de conservação da biodiversidade, pela integridade da funcionalidade ecológica de seu território e pelas chuvas orográficas e elevada taxa de precipitação total anual. Outro fator relacionado é a expressiva presença de grandes fragmentos florestais próximos entre si e com bordas de reduzidas arestas, favorecendo o processo de regeneração natural. Essas características reduzem os custos e aumentam as chances de sucesso de projetos de revegetação, o que explica as expressivas áreas com prioridade alta e muito alta para investimentos de restauração florestal.

II) Tamanho da bacia hidrográfica

A Bacia do rio Guapi-Macacu possui área total de aproximadamente 108 mil hectares, sendo considerada uma bacia de tamanho favorável para adoção de estratégias de SbN, segundo Ernst (2004) e TTPL (2005), que recomenda áreas inferiores a 120 mil hectares. Esta bacia apresenta baixa complexidade de arranjo jurisdicional, visto que não envolve múltiplas jurisdições (outros Estados e União), e abrange três municípios, sendo maior parte do território concentrado no município de Cachoeiras de Macacu.

III) População atendida e provedores de serviços ambientais

O rio Guapi-Macacu é o segundo manancial do estado com maior quantitativo de população atendida, estimado em de 1.701.830 habitantes, segundo o Censo Demográfico do IBGE de 2010, e estimada em 2.354.617 habitantes para 2030. Segundo o censo agropecuário de 2017 (IBGE, 2019), os municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí registraram 2.847 estabelecimentos agropecuários e área total de 39.343 hectares, cujo número deve ser menor para a área de estudo, considerando a inserção parcial dos municípios na bacia. Dessa forma, apresenta uma proporção favorável entre população atendida e potenciais provedores de serviços ecossistêmicos (imóveis rurais), cuja capacidade de investimento para SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu favorece a implantação dessa estratégia.

IV) Fatores que afetam as decisões de proprietários quanto aos usos da terra

Nos municípios que integram a Bacia do rio Guapi-Macacu, segundo Censo Agropecuário do IBGE de 2017, os estabelecimentos agropecuários de menor porte, ou seja, com área até 50 hectares, são os mais representativos em termos quantitativos, correspondendo a 91,9% (2.611) dos estabelecimentos e totalizando cerca de 20 mil hectares de área total (Tabela 31). Os estabelecimentos agropecuários de médio porte, ou seja, com área de 50 até 200 hectares representam a 5,8% (166) dos estabelecimentos, e possuem cerca de 16 mil hectares de área total. Os estabelecimentos de maior porte, ou seja, com área maior que 200 hectares, por sua vez, são as mais representativas em área: apesar de representar apenas 2,3% (64) do total de empreendimentos, equivalem a 50,7% (cerca de 37 mil hectares) da área total declarada.

Em relação à condição legal das terras, a maioria dos estabelecimentos agropecuários é de propriedade do produtor, correspondendo a 77,5% (2.223 estabelecimentos) do total. Cerca de 14,9% (427 estabelecimentos) são arrendados, em parceria ou em regime de comodato, e 7,6% (218 estabelecimentos) são de terras concedidas por órgão fundiário sem título definitivo, ocupadas ou de produtores sem área (Tabela 32). Dessa forma, há um expressivo quantitativo de proprietários rurais na bacia, no entanto, observa-se também um alto grau de concentração de terras. Dessa forma, as estratégias de mobilização de atores e propriedades deve ser concebida considerando esse contexto, de modo a buscar um equilíbrio em relação a critérios que garantam equidade e que equacionem os custos de transação. Considerando o elevado percentual de proprietários com terras próprias, o regime de terras não parece fator restritivo ou dificultador para a mobilização de proprietários e para implantação de SbN, conforme a revisão de literatura.

Tabela 31 – Número de estabelecimentos agropecuários e área total por classe de tamanho

Municípios	Nº estabel. agropec. total	Pequeno porte				Médio porte		Maior porte	
		<1 ha		1 ha e <50 ha		50 e <200 ha		>200 ha	
		Nº estabel. agropec.	Área (ha)	Nº estabel. agropec.	Área (ha)	Nº estabel. agropec.	Área (ha)	Nº estabel. agropec.	Área (ha)
Cachoeiras de Macacu	2.152	340	1	1.672	15.822	115	10.685	25	12.785
Guapimirim	241	75	21	129	1.345	16	1.767	21	14.238
Itaboraí	448	83	30	312	2.779	35	3.589	18	10.072
Total	2.841	498	52	2.113	19.946	166	16.041	64	37.095

Nota: Censo Agropecuário 2017.
Fonte: IBGE, 2019.

Tabela 32 – Número de estabelecimentos agropecuários por condição legal das terras

Municípios	Nº estabel. agropec. total	Nº de estabelecimentos agropecuários por condição legal das terras						
		Terras próprias	Terras concedidas por órgão fundiário s/ tít. definitivo	Terras arrendadas de terceiros	Terras a título de parceria	Terras em regime de comodato	Terras ocupadas	Produtor sem área
Cachoeiras de Macacu	2.162	1.641	151	71	182	74	33	10
Guapimirim	258	193	1	9	13	25	-	17
Itaboraí	448	389	-	19	23	11	6	-
Total	2.868	2.223	152	99	218	110	39	27
% em relação nº estabel. agropec. total	100%	77,5%	5,3%	3,5%	7,6%	3,8%	1,4%	0,9%

Nota: Censo Agropecuário 2017.
Fonte: IBGE, 2019.

Não foram encontrados dados secundários que possibilitassem a análise da quantidade e capacidade de mão-de-obra disponível, e como a mesma afeta os custos de produção e suas implicações para limitação da adoção de SbN, constituindo uma lacuna importante desta pesquisa.

Em relação ao custo de oportunidade da terra (CO), Osuna et al. (2014) aplicou entrevistas com proprietários rurais na Bacia do rio Guapi-Macacu no ano de 2013, de modo a definir o custo de oportunidade da terra para converter áreas de pastagens e de culturas em floresta, chegando a valores que variam de R$14,00 a R$ 1.660,00. As áreas que apresentaram maior custo de oportunidade foram as culturas, sendo bastante elevado devido à sua proximidade com a Região Metropolitana, enquanto as sub-bacias com menores custos foram as com maior proporção de pastagens de menor rentabilidade, sendo estas últimas indicadas e propensas para ações de SbN (ibidem). Apesar da defasagem dos dados e da necessidade de atualização do estudo, constitui-se um bom indicativo da potencialidade para adoção de SbN.

V) Cobenefícios

Além da relevância das SbN para segurança hídrica, elas também possuem um importante papel e cobenefícios para prevenção a desastres associados às inundações, conservação da biodiversidade, desenvolvimento rural sustentável e turismo/recreação.

Boa parte do território da bacia é considerada área de muito alta e alta prioridade para conservação da biodiversidade, estando inserida na zona MA137, segundo a Portaria MMA nº 463, de 18 de dezembro de 2018, para a qual é definida como ação prioritária a limitação de atividades degradantes, por meio da implementação de medidas de saneamento.

Essa importância é refletida no número de Unidades de Conservação instituídas, correspondendo a proteção de 53,9% da área da bacia, descontadas as sobreposições entre elas. A região é dotada de diversos atrativos turísticos, sendo sua maior parte relacionada a atrativos de caráter natural (poços, cachoeiras, trilhas, maciços e mirantes), concentrados na porção alta dos rios Guapiaçu e Macacu (MOURA et al., 2009), e cuja integridade e atratividade estão relacionados à manutenção da qualidade ambiental e da beleza cênica. As práticas de produção orgânica e agroecológica podem contribuir também para benefícios sociais e econômicos, como o aumento da produção e renda e garantia da segurança alimentar.

Dessa forma, a demanda pelos serviços ecossistêmicos de proteção da biodiversidade, recreação/beleza cênica e prevenção de desastres potencializa a construção de parcerias, sinergia entre políticas setoriais e o cofinanciamento para implantação de SbN na região.

5.2.2.2 Capacidades para adoção de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu

I) Arranjos institucionais

Identificou-se nesta pesquisa uma significativa quantidade de atores que atuam no território e possuem interesse na agenda de serviços ecossistêmicos e SbN, vide as mais de 15 instituições envolvidas nas iniciativas de SbN analisadas (item 3.2 e 6.2.1). As diretrizes, atribuições e competências de atuação para o poder público são definidas a partir de uma base legal coerente (item 3.1), que fundamenta a atuação em prol das SbN para segurança hídrica.

O regime de direitos de propriedade e posse segura da terra não são um impeditivo para o desenvolvimento de SbN no Brasil. No entanto, observou-se que questões relacionadas à comprovação de titularidade e regularização fundiária de imóveis rurais podem limitar a implantação de projetos de restauração florestal, uma vez que a comprovação da titularidade ou posse da terra são pré-condições para que ocorram investimentos públicos ou privados atrelados a plantios voluntários ou obrigações de reposição florestal.

II) Capacidade social

A cooperação intersetorial e institucional para SbN ainda é tímida. Apesar das iniciativas de SbN analisadas (item 6.2) envolverem a cooperação entre pelo menos duas instituições e/ou fontes de financiamento diversificados, a integração entre políticas setoriais ainda é pontual, restrita a setores específicos entre os órgãos, ou limitadas a um determinado período do tempo. A alta rotatividade de pessoas frente às mudanças de governo dificulta a construção e manutenção de redes e instância de cooperação intra e interinstitucionais, e a continuidade de políticas e projetos.

Considerando que parte significativa da base legal relacionada a SbN (item 3.1) está vinculada aos órgãos gestores de recursos hídricos e meio ambiente, a SEAS e o INEA, em âmbito estadual, e as prefeituras de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí, em âmbito municipal, têm papel fundamental para promover, disseminar e implementar as SbN em prol da segurança hídrica.

A agricultura destaca-se como um setor chave em relação a oportunidades de mudança transformacional, devido a inter-relação entre SbN em áreas rurais e benefícios para segurança hídrica, segurança alimentar e redução da pobreza (UN-WATER, 2018). Nesse sentido, o histórico de atuação da SEAPA e da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro (EMATER-RIO) em programas de desenvolvimento rural em microbacias no estado e na área de estudo contribui para aproximação e adoção de SbN nas políticas agropecuárias.

Dentre as lideranças e atores relevantes para o fortalecimento e consolidação da agenda de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, cabe destaque a REGUA, que tem atuado há longa data, de forma consistente e com ganho crescente de escala, sendo atualmente responsável pelo maior quantitativo de área restaurada no território (item 6.2.1.2.4).

Outro ator relevante é o Ministério Público Estadual do Rio de Janeiro (MPRJ), que tem atuado em prol da tutela quali-quantitativa dos recursos hídricos da Bacia do rio Guapi-Macacu. O MPRJ reconhece a importância dos serviços ecossistêmicos e adota o conceito “Soluções baseadas na Natureza” em suas ações e processos, sendo atualmente responsável pelo acompanhamento da implantação de mais de 5.000 hectares de restauração ecológica de projetos de SbN na bacia, atrelados ao TAC do COMPERJ e ao TAC do sistema Imunana-Laranjal (item 6.2.1.2.3). Constituem os maiores investimentos e compromissos de restauração no estado, e são extremamente promissores para consolidar e equacionar a agenda de SbN na área de estudo.

Mota (2018) discorre sobre o papel fundamental do MPRJ para tutela quali-quantitativa dos recursos hídricos e efetivação do direto à segurança hídrica, e da sua atuação para promover a integração das políticas de meio ambiente e recursos hídricos e garantir a conservação e recuperação em áreas estratégicas para provisão de serviços ambientais hídricos. Para Kishi et al. (2017), apesar do ordenamento jurídico possibilitar a atuação preventiva, o arcabouço normativo e os arranjos institucionais priorizaram até hoje a judicialização excessiva e a responsabilização após a ocorrência do dano.

Nesse sentido, o MPF e o MPRJ têm buscado inovar em sua atuação na esfera da gestão dos recursos hídricos ao focar em ações preventivas e proativas, ou seja, na

composição de interesses no âmbito extrajudicial, as parcerias e redes de cooperação com a sociedade e a indução de políticas públicas e projetos relacionados às suas prioridades estratégicas, inspirados nas premissas do Projeto Conexão Água (KISHI et al., 2017; MOTA, 2018). O referido projeto, regulamentado pela Portaria PGR/MPF nº 636, de 9 de julho de 2018, é um movimento articulado na esfera federal, congregando o Ministério Público dos Estados (inclui o MPRJ), e visa a atuação inovadora para a esfera da gestão de recursos hídricos, a melhoria da qualidade e quantidade das águas no Brasil e governança participativa e transparente.

Cabe destaque a recente criação de rede de atores em prol das SbN em 2019, por meio da iniciativa Oásis Lab Baía de Guanabara (item 6.2.1.6.1), coordenada pela Fundação Grupo Boticário. O projeto foi pioneiro em fortalecer a agenda de SbN e em agregar diferentes atores em prol da segurança hídrica e a resiliência marítimo-costeira da Baía de Guanabara. A ação é recente, o que limita a análise dos seus resultados e impactos, mas sinaliza a importância do fortalecimento das capacidades e redes de colaboração multi-atores para as SbN frente aos esforços e investimentos realizados para consecução do projeto.

III) Capacidade institucional

Há, de modo geral, limitações nos órgãos estaduais e nos municípios quanto a disponibilidade de recursos financeiros, materiais e humanos para captação de recursos, planejamento e implementação de iniciativas de SbN.

Uma das principais barreiras identificadas pelos entrevistados não foi a falta de capacidade técnica das instituições, e sim, a crise fiscal do Estado do Rio de Janeiro e Municípios, que teve como reflexo o comprometimento das regularidades jurídica, fiscal, econômico-financeira e/ou administrativa pelos órgãos, entidades, fundos e outros poderes. A situação de inadimplência com a União implicou em pendências no Serviço Auxiliar para Transferências Voluntárias do Governo Federal (CAUC), gerando graves prejuízos com o bloqueio a entrada de recursos da União por meio de convênios e contratos de repasse, assim como de contratação de operações de crédito interno ou concessão de garantia.

Desde 2015, órgãos estaduais como INEA e SEAPA, e o município de Cachoeiras de Macacu submeteram projetos de SbN para a Bacia do rio Guapi-Macacu com a intenção de celebração de convênios e repasses de recursos com a União, porém foram

inviabilizados por pendências no CAUC. A situação ainda é mais crítica para o poder público municipal, que também encontra restrições para captação de recursos do estado do Rio de Janeiro, segundo técnico da Prefeitura de Cachoeiras de Macacu (informação verbal[55])

A limitação de corpo técnico também tem sido o maior obstáculo para o avanço na implementação da fase de análise e validação do CAR e para efetivação do PRA, segundo técnicos do INEA (informação verbal[56]), conforme apresentado em maior detalhes no item 6.2.1.2.1.

O domínio das soluções de infraestrutura construída para os riscos relacionados à segurança hídrica ainda está internalizado do arcabouço institucional, legal e técnico das concessionárias de abastecimento, nos órgãos públicos, formuladores de políticas e no público em geral, conforme pode-se observar as discussões dos grupos de trabalho do CERHI-RJ e do CBH-BG. Apesar do GT Guapiaçu do CERHI-RJ e o GTSH do CBH-BG se proporem a discutir alternativas para a segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, a ação dos grupos limitou-se a discussão de soluções de infraestrutura cinza, desconsiderando as SbN (item 4.2.1.2.6). Os esforços principais ainda se concentram no investimento em infraestruturas para aumento da disponibilidade de água bruta (reservação e transposição) e capacidade de produção de água potável (sistemas de abastecimento de água), e ainda são tímidos em relação às medidas de gestão da demanda e redução de perdas.

Em paralelo, houve importantes avanços para a agenda de SbN, como a criação do GT de infraestrutura natural no Subcomitê Baía de Guanabara – Trecho Leste do CBH-BG, internalizando a abordagem e deliberando sobre a aplicação de recursos no Plano de Aplicação Plurianual para SbN. Outra medida importante foi a aprovação de Resolução CERHI-RJ nº 218/2019, que passou a definir diretrizes para planejamento, implementação, monitoramento e avaliação de iniciativas para proteção e recuperação de mananciais. Portanto, a agenda de SbN tem se consolidado e sido institucionalizada na gestão de recursos hídricos, porém ainda de forma compartimentada e segregada da agenda de segurança hídrica, atrelada a agenda de gestão do território e conservação, e

[55] Entrevista realizada com técnico da Prefeitura de Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.
[56] Entrevista realizada com técnico da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 11/10/2019

esforços ainda são necessários para a integração das abordagens tradicionais associadas às medidas de gestão e proteção dos ecossistemas.

A elaboração do Plano Estadual de Segurança Hídrica (PESH) parece ser promissora para promover avanços nesse campo, visto que contempla a proteção e conservação dos ecossistemas como um dos quatro eixos de análise da segurança hídrica, conforme definição da ONU (UN-WATER, 2013a).

IV) Mecanismos de financiamento

Em relação às iniciativas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu analisadas, identificou-se uma significativa diversidade de fontes de financiamento público e privado utilizadas para as iniciativas existentes de SbN: doações, editais, patrocínio corporativo, empréstimos internacionais (Banco Mundial), Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FUNDRHI) e investimentos privados associados ao cumprimento de obrigações legais (condicionantes de licenciamento, termos de ajustamento de conduta, etc.) (item 6.2.1).

Apesar da disponibilidade potencial de recursos públicos, o quadro da grave crise econômica e fiscal do Estado do Rio de Janeiro e dos municípios (MERCÊS; FREIRE, 2017) podem limitar e desfavorecer a captação de recursos para projetos de SbN destinados à Bacia do rio Guapi-Macacu.

Não existe, em nível estadual, a normatização de mecanismos de aumento de tarifas ou sobretaxas sobre serviços públicos de água para investimento na proteção de mananciais, limitando o potencial da agenda. No entanto, foram identificadas oportunidades de alavancar recursos para SbN a partir da sinergia de investimentos, como é o caso da integração da agenda da restauração com segurança hídrica, com a priorização da execução de compensações de restauração florestal oriundas do licenciamento e termos de ajustamento de conduta em áreas prioritárias para proteção de mananciais de abastecimento público, conforme estabelecido pela Resolução INEA nº 158/2018. A redução dos custos da restauração também é importante para o ganho de escala das intervenções (informação verbal[57]).

V) Capacidades para monitoramento dos SE e avaliação das SbN

[57] Entrevista realizada com técnico da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 11/10/2019

Não foi possível identificar a existência de estudos de quantificação e valoração das SbN para o sistema Imunana-Laranjal, no que se refere aos impactos na disponibilidade quali-quantitativa da água bruta, ou de análises de custo-benefício em comparação ou em conjunto com soluções de infraestrutura cinza.

Segundo Bremer et al. (2016) e de Lima et al. (2013), o monitoramento de serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas enfrentam dificuldades como a ausência de metodologias consolidadas para monitoramento hidrológico; restrições e dificuldades para compartilhamento de dados existentes; e falta de recursos para a realização do monitoramento. Em geral, há baixos níveis de aplicação de indicadores de monitoramento socioeconômico em investimentos para bacias hidrográficas (BENNETT; CARROLL, 2014). Essas limitações se aplicam à área de estudo.

Apesar disso, observam-se que os estudos dessa natureza têm sido recentemente disseminados no país, como é o caso do sistema Guandu (OZMENT et al., 2018a), sistema Cantareira (OZMENT et al., 2018b) e sistema Camboriú (KROEGER et al., 2017). A escassez de dados consistentes e séries temporais adequadas dos parâmetros quali-quantitativos de água e de seu custo de tratamento nas concessionárias, contudo, tem dificultado a aplicação de modelos de quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos hídricos. Por exemplo, os custos detalhados de tratamento de água e manutenção de reservatórios são mantidos em sigilo pelas companhias de abastecimento no Brasil (OZMENT et al., 2018a).

No contexto estadual, ainda não há metodologias consolidadas e reconhecidas a respeito de monitoramento e avaliação das SbN para segurança hídrica. Este item inclusive foi apontado com uma das prioridades de regulamentação estadual pelo Grupo de Trabalho de Pagamento de Serviços Ambientais (CERHI-RJ, 2018), considerando que gestores públicos e coordenadores de projetos vêm encontrando limitações e carecem de capacidade técnica para projetar e implementar estratégias de monitoramento, mesmo quando há recursos disponíveis para sua execução (vide demais experiências no estado: PRO-PSA Guandu e Programa PSA Hídrico do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP)).

Tomadores de decisão enfrentam um *trade-off* entre estimar os benefícios totais de um programa de SbN e a necessidade de manter os custos de avaliação e transação baixos o suficiente para tornar tais esquemas viáveis, conforme apontado por Muradian et al. (2010). Nesse sentido, a maior integração e promoção de esforços conjuntos entre a

academia e pesquisadores da área de monitoramento de serviços ecossistêmicos e líderes de iniciativas de SbN são necessários para que se possa avançar na formulação de diretrizes e bases técnicas que subsidiem o monitoramento e avaliação das iniciativas viáveis e tecnicamente embasadas.

VI) Comunicação, engajamento e sensibilização acerca das SbN

Conforme apontado anteriormente, a agenda de SbN tem ganhado crescente apoio e suporte na gestão de recursos hídricos, o que demonstra a crescente sensibilização e institucionalização do tema. No entanto, ainda há desafios e barreiras a serem superados.

A diversidade de terminologias e a falta de clareza sobre o arcabouço conceitual de SbN são um limitante geral para a comunicação e o engajamento em prol da agenda, o que se aplica ao contexto regional e local da área de estudo, em todos os níveis. Observou-se o uso mais recorrente dos termos serviços ecossistêmicos, serviços ambientais, infraestrutura verde e infraestrutura natural.

Na Bacia do rio Guapi-Macacu, ainda há dificuldade em reconhecer a importância da complementariedade entre as SbN e a infraestrutura cinza. As soluções tradicionais possuem limitações para alcançar o acesso a água de forma segura e sustentável, e as SbN isoladamente também não são capazes de resolver todos os problemas de gestão da água em quantidade e qualidade. Em algumas ocasiões, como observado na ata da Audiência Pública da CPI da Crise Hídrica da ALERJ, verificou-se a polarização entre as abordagens, com a oposição entre medidas de infraestrutura cinza e verde. Dentre as alternativas propostas para a crise hídrica do sistema Imunana-Laranjal, por exemplo, não foi apresentada alternativa contemplando a implementação integrada e complementar das duas abordagens, nem pelos propositores de medidas de infraestrutura verde quanto os de infraestrutura cinza.

As principais críticas apontadas em relação às SbN são voltadas contra o argumento, por determinados representantes ou segmentos, de que as SbN seriam suficientes para o atendimento do déficit hídrico da bacia. Observa-se, portanto, que ainda há mitos e generalizações indevidas sobre as SbN para a área de estudo, como pré-suposições de que são "superiores" a infraestrutura cinza e de que são capazes de aumentar a disponibilidade hídrica e equacionar o problema de déficit hídrico. Essas afirmativas são desassociadas de uma base sólida de estudos e evidências e de projetos com o detalhamento das intervenções e de uma análise custo-benefício integrada de

infraestrutura verde e cinza, e dificultam, portanto, o diálogo e integração da agenda de SbN com a agenda institucional de segurança hídrica.

VII) Definição dos limites de atuação e das áreas prioritárias

Uma estratégia efetiva de SbN para segurança hídrica somente pode ser concebida a partir da compreensão e delimitação das áreas de interesse para proteção dos mananciais. Para águas superficiais, constituem as bacias hidrográficas contribuintes situadas a montante dos pontos de captação, e para esse estudo, a área drenante ao ponto de captação do manancial de abastecimento público do sistema Imunana-Laranjal. A complexidade da implantação, monitoramento e avaliação de projetos de SbN em extensas porções do território exige que elas sejam planejadas e definidas a partir da seleção de áreas que potencializem o maior custo-benefício e retorno socioambiental das ações implementadas.

O Governo do Estado do Rio de Janeiro, por meio do INEA, em 2018, estabeleceu critérios de delimitação e priorização de áreas destinadas à adoção de SbN para segurança hídrica, regulamentados por meio da Resolução INEA nº 158/2018 e Resolução CERHI-RJ nº 218/2019. Segundo essas normativas, a seleção e priorização de áreas é realizada em uma perspectiva multiescalar, a partir de objetivos e aplicações distintas. Na escala estadual, as bacias drenantes a montante de pontos de captação (Áreas de Interesse para Proteção e Recuperação de Mananciais (AIPMs)) constituem a unidade territorial para concepção de iniciativas de SbN. Na escala regional, para seleção de áreas de abrangência de programas e projetos, as AIPMs são priorizadas de acordo com o tamanho da bacia, a relevância para o abastecimento público e o padrão de uso do solo, cobertura vegetal e pressão sobre os mananciais. São consideradas as AIPMs com área inferior a 120.000 hectares, sendo classificadas em até 20.000 hectares; de 20.000 a 40.000 hectares; de 40.000 a 120.000 hectares, em ordem decrescente de prioridade. No caso de AIPMs com área superior a 20.000 hectares, as mesmas são segmentadas em sub-bacias, de tamanho variável (3.000 a 8.000 hectares), adotando-se a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter, a fim de selecionar uma ou mais sub-bacias para um determinado programa e/ou projeto (IKEMOTO et al., 2019). Em projetos de restauração florestal, adota-se o mapa de áreas prioritárias para restauração florestal, produto da análise multicritério contemplando os índices de potencialidade ambiental para restauração florestal e de pressão sobre os mananciais (IKEMOTO; NAPOLEÃO, 2018) (Figura 57).

A hierarquização das sub-bacias é realizada a partir da análise multicriterial considerando os critérios de viabilidade de mobilização dos proprietários rurais; suscetibilidade à erosão e áreas prioritárias para restauração florestal (INEA, 2019b) (Figura 58).

A Bacia do rio Guapi-Macacu, portanto, dispõe da definição de limites de atuação e de áreas prioritárias que subsidiam a concepção de SbN para segurança hídrica, sendo os mesmos limites adotados para a presente pesquisa. A bacia apresenta o maior quantitativo total e percentual de áreas prioritárias para restauração na Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, com cerca 36.000 hectares de prioridade alta e muito alta para restauração, o que representa 33% da sua área total da bacia (Tabela 33 e Figura 61), vide Resolução CERHI-RJ 218/2019. Das 40 sub-bacias delimitadas para a área de estudo, as sub-bacias qua apresentaram a maior prioridade para restauração florestal foram as sub-bacias 4 e 1, Rio Rabelo (afluente do rio Guapiaçu) e baixo curso do Rio Macacu, respectivamente, vide Figura 62.

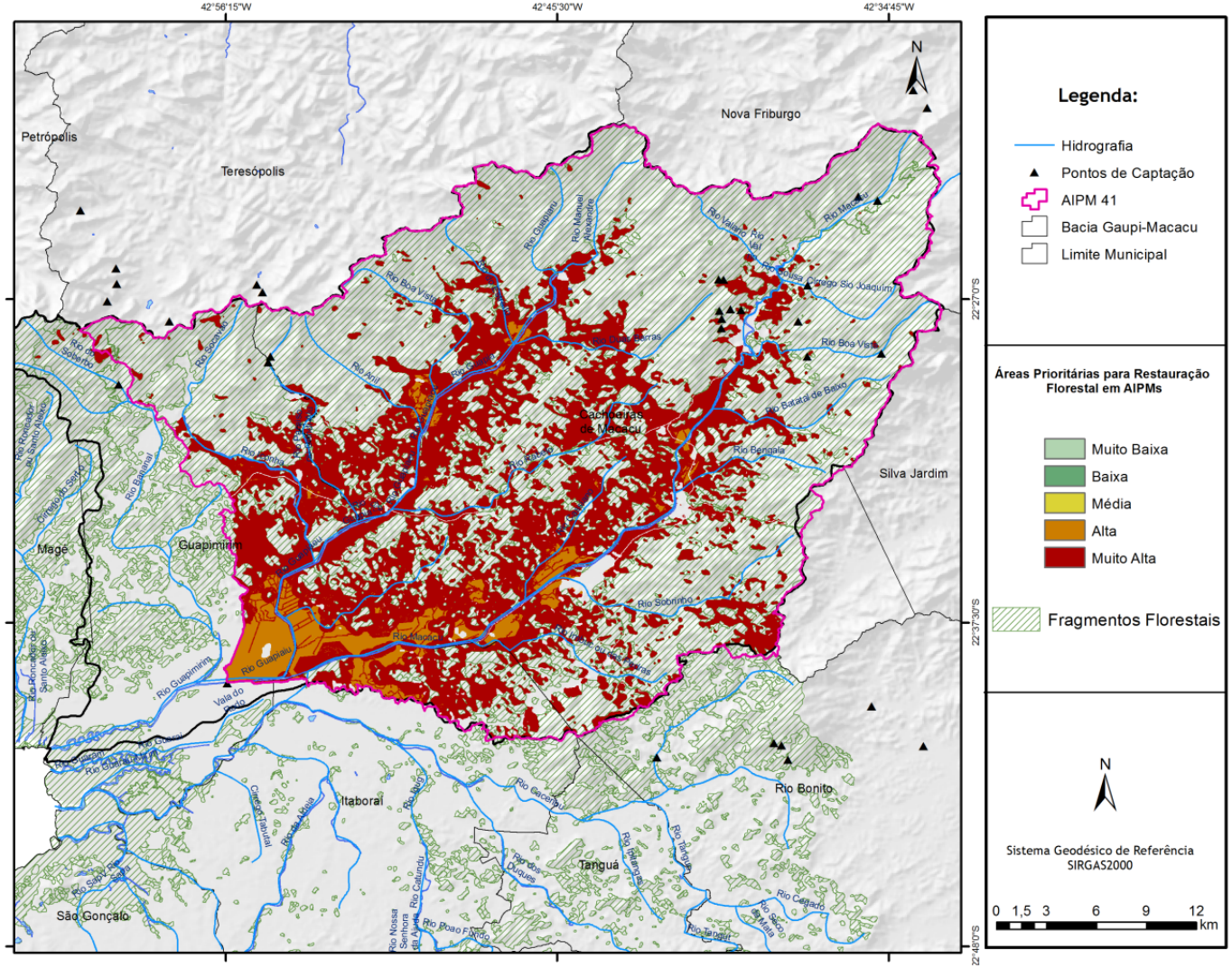
Tabela 33 – Áreas prioritárias para restauração florestal na Bacia do rio Guapi-Macacu

Área da bacia (ha)	**Área não prioritária (ha)**	**Áreas prioritárias para restauração florestal (ha)**					
		Muito baixa	**Baixa**	**Média**	**Alta**	**Muito Alta**	**Total**
108.146,71	66.157,06	0,35	0,08	1,07	3.991,65	31.996,50	35.998,15

Fonte: INEA, 2019b.

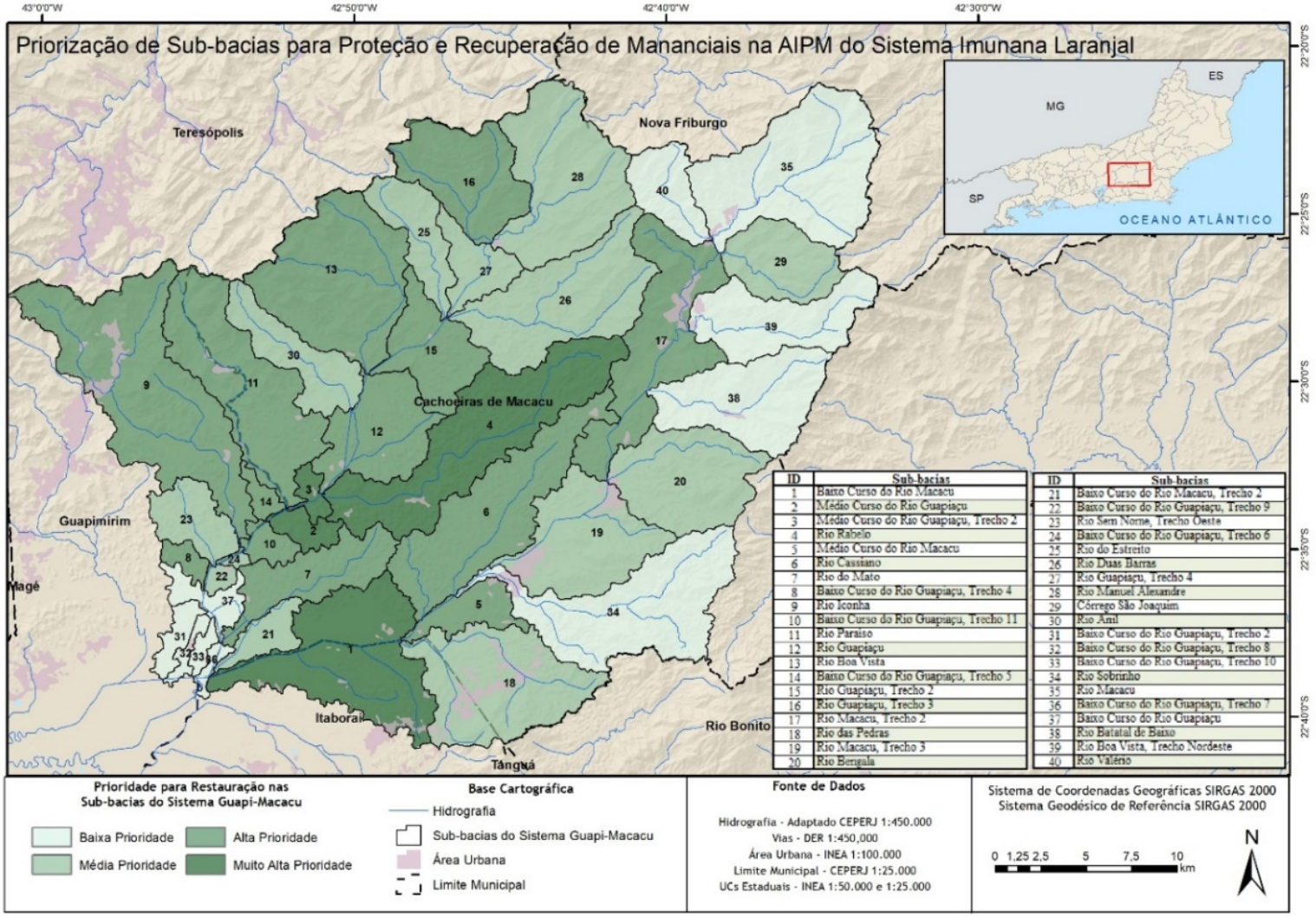
Das iniciativas de SbN analisadas, em geral, a metodologia e procedimentos de priorização de áreas de intervenção não são explicitados com clareza. Além disso, por não terem, em sua maioria, a segurança hídrica como objetivo principal, o tipo de intervenção e as áreas selecionadas não são definidas priorizando maiores benefícios para disponibilidade de água. A maioria das iniciativas prioriza as intervenções em APPs, em função da demanda por adequação ambiental dos imóveis rurais. Dessa forma, esforços ainda são necessários para sensibilizar e capacitar os atores envolvidos considerando a importância e necessidade de procedimentos de seleção e priorização de áreas.

Figura 61 – Mapa de áreas prioritárias para restauração florestal na Bacia do rio Guapi-Macacu



Fonte: INEA, 2019b.

Figura 62 – Mapa de sub-bacias prioritárias para restauração florestal na Bacia do rio Guapi-Macacu



ID	Sub-bacias
1	Baixo Curso do Rio Macacu
2	Médio Curso do Rio Guapiaçu
3	Médio Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 2
4	Rio Rabelo
5	Médio Curso do Rio Macacu
6	Rio Cassiano
7	Rio do Mato
8	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 4
9	Rio Iconha
10	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 11
11	Rio Paraíso
12	Rio Guapiaçu
13	Rio Boa Vista
14	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 5
15	Rio Guapiaçu, Trecho 2
16	Rio Guapiaçu, Trecho 3
17	Rio Macacu, Trecho 2
18	Rio das Pedras
19	Rio Macacu, Trecho 3
20	Rio Bengala

ID	Sub-bacias
21	Baixo Curso do Rio Macacu, Trecho 2
22	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 9
23	Rio Sem Nome, Trecho Oeste
24	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 6
25	Rio do Estreito
26	Rio Duas Barras
27	Rio Guapiaçu, Trecho 4
28	Rio Manuel Alexandre
29	Córrego São Joaquim
30	Rio Aml
31	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 2
32	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 8
33	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 10
34	Rio Sobrinho
35	Rio Macacu
36	Baixo Curso do Rio Guapiaçu, Trecho 7
37	Baixo Curso do Rio Guapiaçu
38	Rio Batatal de Baixo
39	Rio Boa Vista, Trecho Nordeste
40	Rio Valério

Fonte: INEA, 2019b.

5.2.3 Seleção de alternativas de SbN relacionadas à segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal

Não foram identificados estudos ou documentos relativos à análise, priorização e seleção de alternativas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, ou seja, não há estimativas oficiais de custos e benefícios projetados das ações de gestão de SbN para segurança hídrica no sistema Imunana-Laranjal.

A ausência de análises custo-benefício, no entanto, não esse fator não tem impedido o desenvolvimento de iniciativas de SbN, conforme evidenciado no item 6.2. Entende-se que os impactos positivos das SbN sobre a segurança hídrica e seus cobenefícios são relativamente compreendidos pelos atores e pela sociedade, o que vem justificando a implementação e a institucionalização do tema. Porém, a ausência de análises pode ser um fator que vem limitando a continuidade, consolidação e ampliação de investimentos para a agenda de SbN na bacia.

Para Gartner et al. (2013), tomadores de decisão em diferentes bacias hidrográficas requerem diferentes níveis de apoio à tomada de decisões, associado a variações em seu contexto político subjacente e capacidades locais. Apesar de avaliações econômicas de SbN em bacias hidrográficas serem cada vez mais comuns, em muitos casos são um fator adicional para decisão favorável em direção às SbN, e não o fator principal ou decisivo (ibidem).

Conforme apontado por Ozment et al. (2016), não é incomum que investimentos em SbN sejam efetivados sem avaliações econômicas detalhadas para sua implementação, podendo ser favorecidos em contextos de eventos críticos, mudanças regulatórias, e sensibilização perante novos dados científicos ou projetos exitosos similares. As SbN geralmente produzem benefícios além dos resultados de segurança hídrica, incluindo benefícios econômicos, de biodiversidade e de meios de subsistência, o que pode justificar a mobilização e cooperação de atores em prol dessa abordagem (VOGL et al. 2017).

Embora a maioria dos investimentos em SbN para segurança hídrica não tenha se baseado em estudos de mapeamento e quantificação dos serviços ecossistêmicos em bacias hidrográficas, o campo está avançando e pode melhorar a base para a tomada de decisões (GARTNER et al, 2013). A modelagem quantitativa com uso do *software InVEST* tem sido aplicada para auxiliar a tomada de decisões em vários continentes, no

entanto, dados extensivos são necessários para calibrar os modelos levando em conta as condições locais, e muitas vezes são limitadas pela ausência de dados de monitoramento de campo (ibidem).

Em contraposição, há diversos estudos relativos à análise, proposição e seleção de alternativas de infraestrutura cinza para aumento da disponibilidade hídrica, conforme apontado no item 4.2.1.2.6. Segundo WMO (2017), há um domínio histórico das soluções de infraestrutura cinza para os riscos relacionados à variabilidade da água desde políticas públicas aos códigos de construção, o que se reflete na expertise dos provedores de serviços e nas mentes dos formuladores de políticas e do público em geral.

De modo em geral, as SbN estão em desvantagem competitiva em comparação com as abordagens de engenharia tradicionais. Há uma inércia em relação ao desenvolvimento e uso de SbN, além de carência de métodos e ferramentas de apoio à decisão amplamente aceitas e práticas para estimar custos, quantificar os resultados projetados e medir impactos das SbN (MCDONALD; SHEMIE, 2014). As percepções de incerteza em torno do desempenho e custo-efetividade de SbN, bem como o medo de altos custos de implementação, ainda são limitações para a adoção e ganho de escala das SbN (DAVIS et al., 2015).

Em relação a métodos e ferramentas para análise e seleção de alternativas de SbN, o progresso é necessário no desenvolvimento de métodos de triagem regional que identifiquem bacias hidrográficas com a maior oportunidade para SbN mitigar os riscos da água; nas abordagens de modelagem flexíveis e simplificadas para direcionar e quantificar intervenções de bacias hidrográficas com boa relação custo-benefício para orientar a implementação local; e nas métricas de desempenho que permitam a comparabilidade e a integração com abordagens projetadas (VOGL et al, 2017).

Apesar da contribuição desta pesquisa com a proposição de um modelo analítico que identifica bacias hidrográficas com oportunidade para SbN, a partir de uma análise simplificada de pertinência e aplicabilidade de SbN para segurança hídrica, esforços ainda são necessários para o mapeamento, quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica proporcionados pelas SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Segundo UN-Water (2018), a falta de avaliações imparciais e sólidas das SbN em comparação ou em conjunto com soluções cinzas, especialmente quanto ao desempenho hidrológico e análise de custo-benefício, contribui para que as SbN continuem a ser negligenciadas no planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, meio ambiente e

desenvolvimento. Além disso, As funções hidrológicas dos ecossistemas naturais são muito menos compreendidas do que as fornecidas pela infraestrutura cinzenta, e estudos de mapeamento, quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos relacionados a segurança hídrica podem contribuir para superar a falta de conscientização, comunicação e conhecimento em SbN em todos os níveis, desde as comunidades até os planejadores regionais e os formuladores de políticas nacionais (ibidem).

5.2.4 Síntese de resultados e recomendações

Verificada a inexistência de estudos e documentos relacionados à formulação, análise, priorização e/ou seleção de medidas de SbN para segurança hídrica, coube a pesquisadora a tarefa de avaliar a pertinência e aplicabilidade das SbN, de modo a verificar a hipótese de que as SbN podem contribuir para a redução do risco aos estressores à disponibilidade quali-quantitativa da água bruta na Bacia do rio Guapi-Macacu.

As Soluções baseadas na Natureza se mostraram uma estratégia pertinente para o aumento da segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, uma vez que a aplicação do modelo de avaliação do nível atual de segurança hídrica constatou que as SbN podem contribuir para redução do risco aos principais estressores à quantidade e qualidade da água bruta.

Com a aplicação do quadro analítico, constatou-se que as características biofísicas, sociais e econômicas da Bacia do rio Guapi-Macacu em sua maioria favorecem a aplicação da abordagem de SbN.

Em relação ao padrão do uso e ocupação do solo, a bacia possui alta potencialidade para restauração ecológica e para a conversão do uso da terra a fim de se implementar práticas conservacionistas. A representatividade da população atendida implica numa maior capacidade de investimento em serviços ambientais. A extensão da área da bacia e fatores que afetam a decisão dos proprietários (estrutura fundiária e regime de terras) não representam restrições para mobilização de proprietários visando à implantação de SbN, conforme apontamentos da revisão de literatura. A relevância da bacia para proteção da biodiversidade, recreação/beleza cênica e prevenção de desastres (cobenefícios), por sua vez, potencializam a construção de parcerias e co-financiamento das SbNs em sinergia

com outras políticas setoriais.

Em relação às capacidades para adoção de SbN, verificou-se os fatores que favorecem ou desfavorecem a aplicação ou consolidação dessa abordagem.

Os arranjos institucionais se mostraram adequados, com a existência de instituições atuantes em SbN, base clara e coerente e condições de posse segura da terra. Em relação à capacidade social, existem fortes lideranças em prol da agenda de SbN na região, no entanto, ainda é necessário superar barreiras para uma maior integração entre as políticas setoriais e os atores.

A análise das capacidades institucionais identificou diversos gargalos para as SbN como a limitação de corpo técnico e de recursos financeiros associado a crise fiscal do Estado do Rio de Janeiro e de seus municípios. Constatou-se o atual domínio das soluções de infraestrutura construída na agenda institucional de segurança hídrica, que ainda não aborda as SbN de forma integrada.

Em relação aos mecanismos de financiamento, a diversidade de fontes de financiamento existentes e o potencial de recursos vinculados a obrigações legais são oportunidades para agenda, mas desafios quanto a carência de mecanismos de mercado e reduzir os custos de transação e de restauração florestal.

Verificou-se que ainda não há metodologias consolidadas e reconhecidas para monitoramento e avaliação das SbN, associadas à falta de capacidade técnica para gestores e técnicos em implementar os mesmos. A sensibilização e comunicação em prol das SbN têm avançado na crescente institucionalização da abordagem, porém ainda é necessário desconstruir mitos e generalizações indevidas de que as mesmas sempre são custo-efetivas, e superar a falsa polarização que são soluções “concorrentes” e “superiores” à infraestrutura cinza.

O Quadro 27 apresenta a síntese dos fatores que favorecem ou desfavorecem a aplicação de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Não há estimativas oficiais de custos e benefícios projetados das ações de gestão de SbN para segurança hídrica no sistema Imunana-Laranjal. Apesar desse fato não ter impedido o desenvolvimento de iniciativas de SbN, isto pode estar relacionado ao fato de as mesmas continuarem a serem negligenciadas nas discussões de segurança hídrica, e limitar a ampliação e ganho de escala das intervenções.

Quadro 27 – Quadro síntese da aplicabilidade de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu

Fatores	Aplicabilidade de SbN
Características biofísicas, sociais e econômicas da bacia hidrográfica	
Padrão do uso e ocupação do solo	Favorável
Tamanho da bacia hidrográfica	Favorável
População atendida e provedores	Favorável
Fatores que afetam as decisões de proprietários quanto aos usos da terra	Favorável
Cobenefícios ambientais, econômicos e sociais	Favorável
Capacidades para adoção de SbN	
Arranjos institucionais adequados	Favorável
Capacidade social	Favorável/desfavorável
Capacidades institucionais	Desfavorável
Mecanismos de financiamento	Favorável/desfavorável
Capacidades para monitoramento de serviços ecossistêmicos e avaliação das SbN	Desfavorável
Sensibilização, comunicação e promoção do conceito de serviços ecossistêmicos e SbN	Favorável/desfavorável
Definição dos limites de atuação e das áreas prioritárias	Favorável

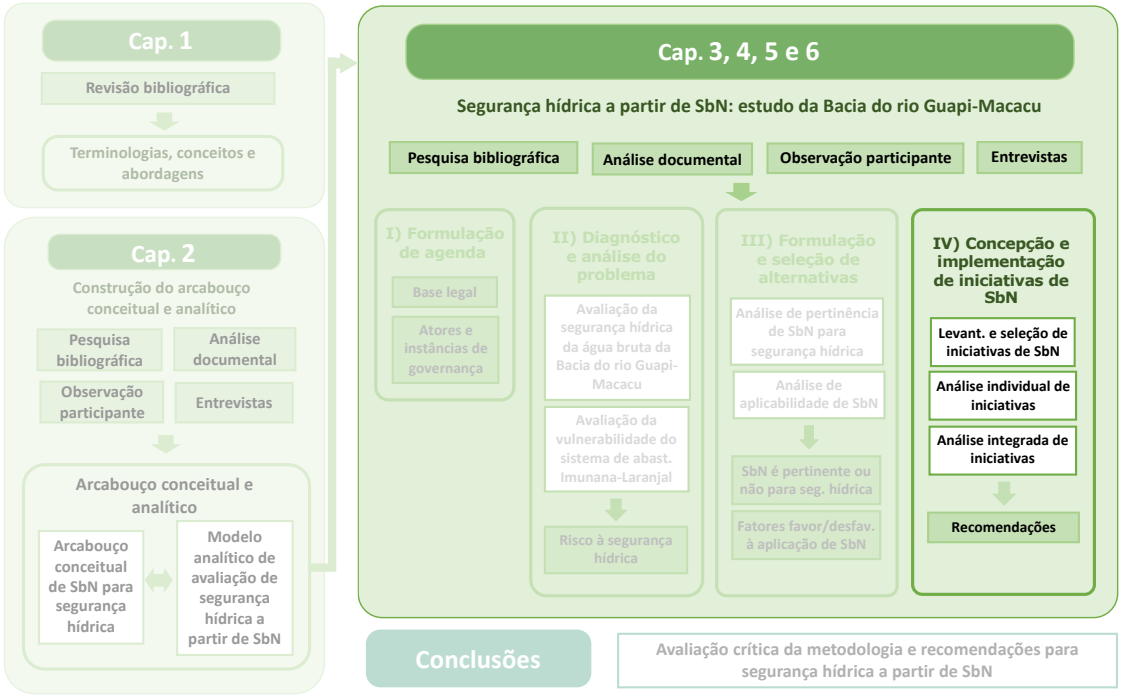
Nota: Favorável – presença de características associadas a potencialidade, oportunidade e/ou ausência de barreira para aplicação de SbN. Desfavorável – presença de características associadas a barreiras ou necessidades de melhorias para aplicação de SbN.

Fonte: A autora, 2020.

6 AVALIAÇÃO DE INICIATIVAS RELACIONADAS ÀS SBN NA BACIA DO RIO GUAPI-MACACU

Este capítulo visa analisar as iniciativas identificadas neste trabalho como sendo relacionadas às Soluções baseadas na Natureza na Bacia do rio Guapi-Macacu. Busca-se compreender suas trajetórias de concepção, implementação e resultados alcançados, bem como os principais fatores relacionados a consolidação, ampliação e desafios para a agenda (Figura 63). Busca-se identificar se essas iniciativas se aproximam ou, ao contrário, se distanciam do arcabouço conceitual de SbN proposto por esta pesquisa, e compreender em que medida as mesmas contribuem para diminuir os riscos associados à qualidade e quantidade de água bruta captada pelo Sistema Imunana-Laranjal. Ou seja, busca-se avaliar o quanto o conjunto de iniciativas de SbN contribuem para aumentar a segurança hídrica do abastecimento do leste metropolitano do Rio de Janeiro.

Figura 63 – Esquema da metodologia de pesquisa e macroetapa de "concepção e implementação de iniciativas de SbN"



Fonte: A autora, 2020.

6.1 Metodologia para avaliação de iniciativas de SbN

Para a presente pesquisa, foram identificadas e analisadas as iniciativas existentes (concluídas, em execução ou previstas) relacionadas a SbN e que potencialmente contribuem para segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal. Para tanto, foram utilizadas as técnicas de coleta de dados de análise documental, entrevistas e observação participante, detalhadas no item 2.3.

Entende-se como iniciativa qualquer programa, projeto ou ação que contemple medidas de SbN que contribuam para manutenção, recuperação e/ou aumento da provisão de serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica, conforme definições adotadas nesta pesquisa, compreendendo as seguintes categorias:

- Conservação, recuperação ou manejo de ecossistemas naturais ou modificados, tais como a conservação de áreas naturais (gestão de Unidades de Conservação); restauração ecológica; boas práticas de manejo agropecuário; apoio e fortalecimento de sistemas produtivos de base florestal, agroecológica e orgânica; controle de fontes de poluição pontual e difusa em áreas rurais, dentre outros;
- Instrumentos econômicos relacionados à provisão dos serviços ecossistêmicos relacionados a água, como o PSA hídricos;
- Fortalecimento de capacidades para adoção de SbN.

Não foram considerados neste estudo as medidas de ordenamento territorial, relacionadas ao disciplinamento do uso e ocupação do solo, frente a dificuldade de obtenção dos dados geoespaciais, especialmente dos Planos Diretores Municipais. Não foram identificadas medidas de SbN em áreas urbanas na área de estudo. Cabe ressaltar que foram consideradas iniciativas cujo objetivo principal das medidas de SbN são relacionadas à segurança hídrica, assim como iniciativas nas quais a segurança hídrica é um cobenefício das medidas de SbN, ou seja, não é o objetivo ou fator motivador principal.

A avaliação individual das iniciativas relacionadas a SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu foi realizada a partir de quatro eixos de análise:

(i) Conteúdo;
(ii) Contexto de concepção da iniciativa;
(iii) Trajetória de implementação e resultados;

(i) Percepção sobre fatores-chave para o sucesso, consolidação, ampliação e/ou replicação da iniciativa relacionadas a SbN e desafios e barreiras para a agenda de SbN.

Em relação ao conteúdo das iniciativas, identificaram-se seus objetivos, abordagem e medidas de SbN adotadas, relacionando e analisando o mesmo com a abordagem e arcabouço conceitual de SbN adotado nesta pesquisa. A partir da análise de contexto da concepção, buscou-se apreender o fator motivador de sua criação, os atores envolvidos, os fatores relevantes para que a mesma fosse viabilizada, e definição da estratégia de implementação. A trajetória de implementação pode ser compreendida como o histórico de execução, ou seja, a efetivação da iniciativa, momento em que são realizadas as ações planejadas, envolvendo instituições, grupos e indivíduos, de natureza pública e/ou privada, quando for o caso. O estudo limitou-se a análise de resultados, visto que a maioria das iniciativas não contemplaram a prévia definição de indicadores de acompanhamento, metas (eficácia) e impacto (efetividade) relacionados à segurança hídrica, o que aponta, portanto, a importância da etapa de planejamento e estruturação lógica das ações a fim de permitir a avaliação desses critérios. Por fim, é verificada a percepção dos executores em relação aos fatores-chave para o sucesso, consolidação, ampliação e/ou replicação da iniciativa e os principais desafios e barreiras para agenda de SbN.

A avaliação integrada do conjunto de iniciativas relacionadas a SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu foi realizada considerando dois eixos de análise:

(i) Aproximação ou distanciamento do arcabouço conceitual de SbN proposto por esta pesquisa (item 2.3.2);
(ii) Contribuição do conjunto para reduzir o risco à segurança hídrica da água bruta.

A partir da avaliação integrada dos resultados obtidos com a aplicação do modelo analítico, discute-se como as iniciativas se articulam, divergem ou convergem entre si em relação ao arcabouço conceitual de SbN adotado nesta pesquisa, e como o conjunto contribui para reduzir os riscos à disponibilidade em quantidade e qualidade de água bruta. Os achados são correlacionados com os apontamentos da revisão de literatura, e por fim, são realizadas contribuições e recomendações para a aprimoramento da agenda de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu.

6.2 **Resultados e discussão**

6.2.1 Análise individual das iniciativas de SbN relacionadas à segurança hídrica

A partir da coleta e análise de dados, constatou-se a existência de iniciativas de SbN concluídas, em execução ou previstas na Bacia do rio Guapi-Macacu, e que potencialmente contribuam para a segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal.

São apresentados os resultados da análise das iniciativas relacionadas a medidas de conservação, recuperação ou manejo de ecossistemas naturais ou modificados, e dos instrumentos econômicos referentes à provisão dos serviços ecossistêmicos relacionados à água. O Quadro 28 sistematiza as iniciativas analisadas neste estudo.

Quadro 28 – Medidas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu selecionadas para análise

Medidas de SbN	**Iniciativas identificadas e analisadas**		
Conservação, recuperação ou manejo de ecossistema naturais ou modificados	Conservação	Criação, ampliação e implementação de Unidades de Conservação	
	Restauração ecológica	Instrumentos de gestão	• CAR e PRA • BANPAR
		Obrigações de restauração	• Obrigações de restauração florestal • MFCF
		Programas/ projetos voluntários	• Projeto Replanta Macacu • REGUA
	Boas práticas agropecuárias e fortalecimento de sistemas produtivos de base sustentável	• Programa Rio Rural • Plano ABC	
	Controle da poluição difusa	• Saneamento rural • Adequação de estradas vicinais	
Instrumentos Econômicos	Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)		
	Cota de Reserva Ambiental (CRA)		
	Certificação e Rotulagem Ambiental		
	ICMS Ecológico		
Fortalecimento de capacidades	Oásis Lab Baía de Guanabara		

Fonte: A autora, 2020.

6.2.1.1 Unidades de Conservação

O art. 5º da Lei Federal nº 4.771/1965 já dispunha sobre o dever do Poder Público em criar áreas protegidas, como os parques e reservas biológicas, com o objetivo de conservar a biodiversidade e resguardar atributos excepcionais da natureza. O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei Federal nº 9.985/2000, veio a disciplinar o uso e as regras para a criação, manutenção e gestão desses espaços e ecossistemas especialmente protegidos.

Apesar dos objetivos principais das UCs estarem relacionados com a conservação da biodiversidade e dos recursos naturais, as mesmas possuem um papel e importância estratégica para a provisão de serviços ecossistêmicos relacionados à qualidade da água e regulação hídrica, seja pela sua expressiva extensão territorial, quanto a sua localização em porções estratégicas da bacia (APPs, áreas de recarga e encostas).

A Bacia do rio Guapi-Macacu encontra-se protegida por um conjunto significativo de Unidades de Conservação (UCs), que contemplam grandes remanescentes de vegetação da Mata Atlântica e importantes afluentes que contribuem para a formação dos rios Guapiaçu e Macacu. A Bacia do rio Guapi-Macacu apresenta elevados percentuais relativos de cobertura de Mata Atlântica, dispondo de cerca de 69.272,40 hectares de vegetação nativa remanescente, o equivalente a 63,9% da área da bacia. Apesar de ter sido intensamente degradada até a metade do século XX, observa-se taxas praticamente nulas de perda de cobertura florestal nas duas últimas décadas (item 4.1.1.1). Isto indica que atividades voltadas para conservação, como a criação, ampliação e gestão de áreas legalmente protegidas, têm trazido resultados positivos para a proteção do bioma.

O quadro de pouca alteração no padrão de uso e cobertura da terra nos últimos 20 anos pode estar associado a criação e implantação, na década de 80, de diversas Unidades de Conservação (UC) no território. A primeira APA da região foi a de Guapimirim, criada em 1984, abrangendo parte dos municípios de Itaboraí, Magé (atualmente Guapimirim) e São Gonçalo. A APA de Guapimirim foi criada especificamente para proteger a zona de mangue que margeia a Baía da Guanabara, por onde deságuam os rios Guaxindiba-Alcântara, Caceribu e Guapi-Macacu. Em 2002 foram criadas duas importantes Unidades de Conservação: a APA do rio Macacu, que se estende ao longo das margens deste rio e seus afluentes, incidindo assim sobre Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim, até fazer limite com a APA Guapimirim, e o Parque Estadual dos Três Picos (PETP), sendo

até os dias de hoje a maior área protegida incidindo sobre as bacias hidrográficas do Macacu e Caceribu.

Cerca de 60 mil hectares (54,9% da área total da bacia) são protegidos por UCs, sendo 40.207,06 hectares (37,2 % da área total) do território da bacia é abrangido por UCs de Proteção Integral, e cerca, 28.074,21 hectares (26,0 % da área total) por UCs de Uso Sustentável, excluídas as sobreposições de área entre as UCs por categoria e em todas as UC (Tabela 34 e 35, e Figura 64).

Tabela 34 – Unidades de Conservação (UCs) na Bacia do rio Guapi-Macacu, com cálculo de área por tipo, excluídas as sobreposições de área entre as UCs

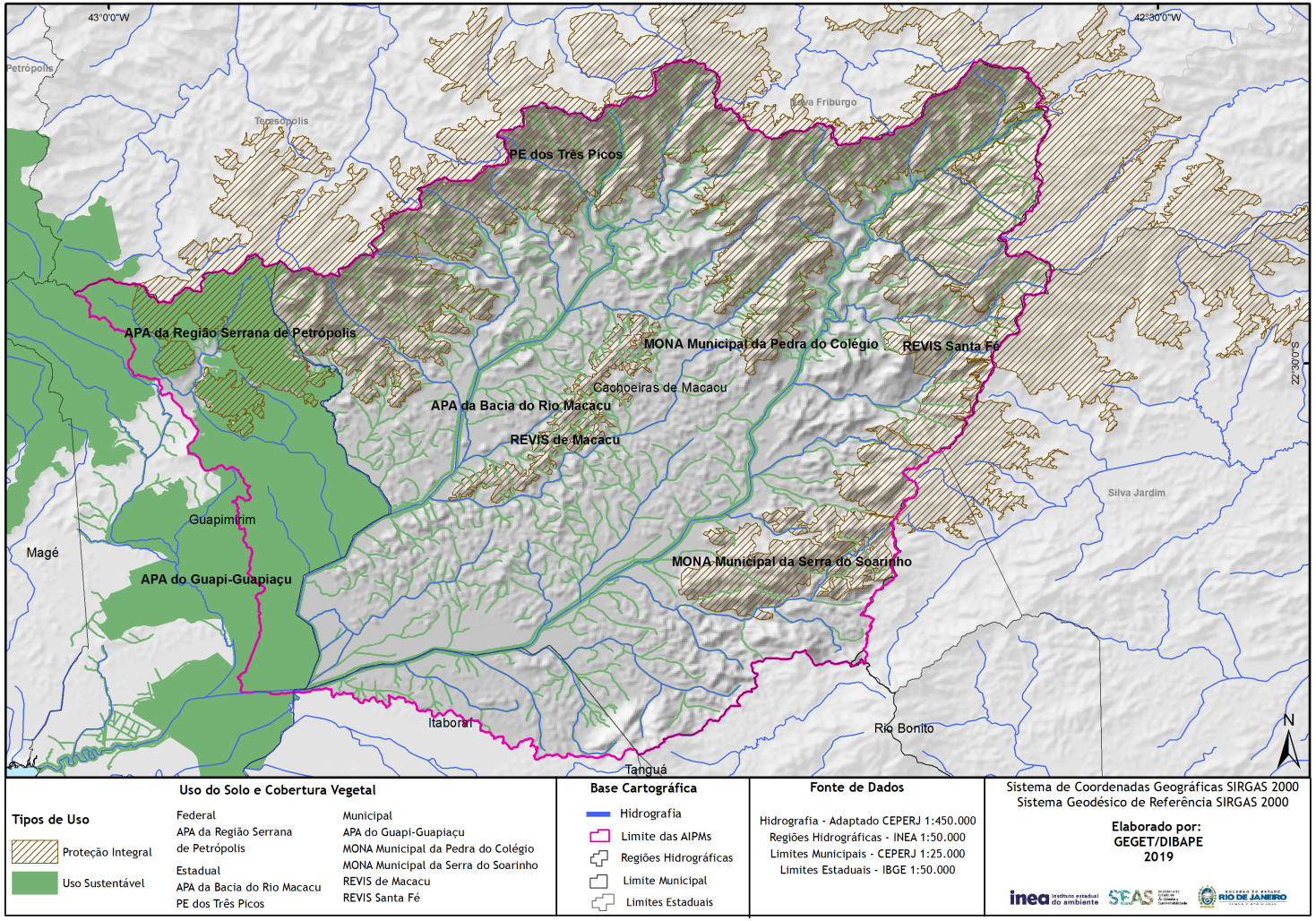
Categoria de UC	Área na Bacia do rio do Guapi-Macacu (ha)	Percentual em relação à área total da bacia (%)
Uso Sustentável	28.074,21	26,0%
Proteção Integral	40.207,06	37,2%
Todas as UCs	59.412,25	54,9%

Fonte: A autora, 2020.

Ao total, há 15 Unidades de Conservação, sendo sete inseridas totalmente na área da bacia: Monumento Natural (MONA) Municipal da Pedra do Colégio, MONA Municipal da Serra do Soarinho, Refúgio de Vida Silvestre de Macacu, Refúgio de Vida Silvestre Santa Fé, Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), Reserva Ecológica do Guapiaçu I, II e III e as demais inseridas parcialmente. Das UCs existentes, as mais representativas em termos de extensão são o Parque Estadual dos Três Picos (PETP), com 31.023,15 ha de área da UC na bacia (28,7% da área total da bacia), a Área de Proteção Ambiental da Bacia do Macacu, com 16.757,64 de área da UC na bacia (15,5% da área total da bacia), e a APA do Guapi-Guapiaçu, com 7.502,48 ha de área da UC na bacia (6,9% da área total da bacia).

Criado pelo Decreto Estadual nº 31.343, de 5 de junho de 2002 e ampliado pelo Decreto Estadual nº 41.990, de 12 de agosto de 2009, o PETP tem como objetivos assegurar a preservação dos remanescentes de Mata Atlântica da porção fluminense da Serra do Mar, bem como recuperar as áreas degradadas ali existentes e assegurar a manutenção das nascentes e dos corpos hídricos que abastecem as cidades circunvizinhas; dentre outros. O PETP é responsável por proteger os remanescentes situados nas áreas de maior altitude e declividade, concentradas na porção alta da bacia, onde se situam as nascentes dos rios Macacu e Guapiaçu.

Figura 64 – Unidades de Conservação na bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu



Fonte: INEA, 2019b.

Tabela 35 – Unidades de Conservação na Bacia do rio Guapi-Macacu

Nome da Unidade de conservação (UC)	Esfera	Área da UC na bacia (ha)	Percentual em relação à área total da bacia (%)	Tipo	FI*	GC*	GI*
Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Macacu	Estadual	16.757,64	15,49%	US	2	4	2
Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio São João	Federal	979,11	0,91%	US	2	4	4
Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis	Federal	4.756,31	4,40%	US	2	4	4
Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima	Estadual	42,91	0,04%	US	2	4	4
Área de Proteção Ambiental do Guapi-Guapiaçu	Municipal	7.502,48	6,94%	US	2	2	1
Área de Proteção Ambiental Municipal Serra do Sambe	Municipal	31,53	0,03%	US	2	4	1
Monumento Natural Municipal da Pedra do Colégio	Municipal	127,02	0,12%	PI	3	4	1
Monumento Natural Municipal da Serra de Soarinho	Municipal	3.518,07	3,25%	PI	3	4	1
Parque Estadual dos Três Picos	Estadual	31.023,15	28,69%	PI	4	4	4
Parque Nacional da Serra dos Órgãos	Federal	664,19	0,61%	PI	4	4	4
Refúgio da Vida Silvestre Santa Fé	Municipal	3.171,25	2,93%	PI	3	4	1
Refúgio de Vida Silvestre de Macacu	Municipal	1.763,21	1,63%	PI	3	4	1
RPPN Reserva Ecológica do Guapiaçu (REGUA) I	Estadual	301,61	0,28%	PI	3	4	2
RPPN Reserva Ecológica do Guapiaçu (REGUA) II	Estadual	35,58	0,03%	PI	3	2	2
RPPN Reserva Ecológica do Guapiaçu (REGUA) IIII	Estadual	31,80	0,03%	PI	3	4	2

Legenda: RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural. Tipo: US – Uso Sustentável, PI – Proteção Integral. FI – Fator de Importância. GC – Grau de Conservação. GI – Grau de Implementação.
Nota: *Dados extraídos da memória de cálculo do ICMS Ecológico 2019, ano fiscal 2020, CEPERJ, 2019.
Fonte: A autora, 2020.

A APA da bacia do Macacu, criada através da Lei Estadual 4.018/02, por sua vez, visa a defesa da qualidade da água e compreende os terrenos situados numa faixa complementar de proteção das margens dos rios Macacu e Guapiaçu (150 m) e seus afluentes (50 m) em ambas as margens. A APA do Guapi-Guapiaçu, instituída pelo Decreto Municipal 620/04, por sua vez, está situada no município de Guapimirim, e abrange a bacia do rio Guapimirim e a porção baixa do rio Guapiaçu.

Em relação ao Fator de Importância, Grau de Implementação (GI)[58] e Grau de Conservação (GC) das Unidades de Conservação, foram considerados os dados atribuídos pelo INEA e Fundação Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Rio de Janeiro (CEPERJ) para o cálculo do ICMS 2019 (Ano fiscal 2020), apresentados na Tabela 35.

Apesar do elevado número de UCs e da sua expressiva representatividade em relação à área da bacia, há uma grande variação quanto ao seu grau de implementação e conservação. Constatou-se que apenas 5 Unidades de Conservação se encontram conservadas e totalmente implementadas (GI 4): o Parque Nacional da Serra dos Órgãos, o Parque Estadual dos Três Picos, a APA Bacia do Rio São João, a APA Macaé de Cima e a APA Petrópolis. A APA Macacu, a APA dos Frades e a RPPN REGUA I, II e II encontram-se parcialmente implementadas (GI 2). Todas as UCs Municipais encontram-se apenas legalmente constituídas (GI 1).

Quanto ao grau de conservação, todas as Unidades de Conservação encontram-se bem conservadas (GC 4), exceto a APA Guapi-Guapiaçu e a RPPN REGUA II. Segundo dados do INEA (IKEMOTO; NAPOLEÃO, 2018), a Bacia do rio Guapi-Macacu dispõe de um quantitativo expressivo de áreas degradadas e prioritárias para restauração florestal em Unidades de Conservação. A APA Macacu e a APA Guapiaçu apresentaram os maiores quantitativos de áreas de alta e muito alta prioridade para restauração florestal 6.705,273 hectares (39,14% da área total da UC) e 4.666,67 hectares (30%,06 da área total da UC), respectivamente.

Apesar de estarem situadas fora da bacia, cabe ainda destaque a 3 Unidades de Conservação situadas no entorno e a jusante do ponto de captação do sistema Imunana-

[58] O grau de implementação (GI) é analisado segundo a existência e/ou operação/implementação dos seguintes instrumentos de gestão: a) conselho consultivo ou deliberativo, conforme o caso; b) plano de manejo; c) sede; d) centro de visitantes; e) regularização fundiária; e f) infraestruturas de fiscalização e controle. É considerada parcialmente implementada (valor 2) a unidade que atenda pelo menos três dos requisitos e totalmente implementada (valor 4) a unidade que atenda pelo menos cinco dos requisitos fixados.

Laranjal, a ESEC Guanabara, a APA Guapimirim e o Parque Natural Municipal Águas de Guapimirim. Essas UCs sofrem impacto direto da captação de água do sistema Imunana-Laranjal, com menor dulcificação a jusante, deslocamento na cunha salina e modificação nos períodos sazonais de alagamentos (Tabela 36).

Tabela 36 – Unidades de Conservação localizadas fora da bacia e a jusante do ponto de captação do sistema Imumana-Laranjal

Nome da Unidade de Conservação	Domínio	Categoria	Área Total(ha)	FI*	GC*	GI*
Área de Proteção Ambiental de Guapimirim	Federal	US	13.890,5	2	4	4
Estação Ecológica da Guanabara	Federal	PI	1.926,25	5	4	4
Parque Natural Municipal da Águas de Guapimirim	Municipal	PI	1.592,42	4	2	1

Legenda: Tipo: US – Uso Sustentável, PI – Proteção Integral. FI – Fator de Importância. GC – Grau de Conservação. GI – Grau de Implementação.
Nota: *Dados extraídos da memória de cálculo do ICMS Ecológico 2019, ano fiscal 2020, CEPERJ, 2019.
Fonte: A autora, 2020.

Segundo Masterplan (2019), as UCs situadas em planícies de inundação têm como desafios reduzirem os processos inercial de aprofundamento da calha dos rios e manterem ou recuperarem as funcionalidades ecológicas das áreas úmidas, pois nos antigos planos de manejo esses problemas não foram observados.

6.2.1.2 Restauração ecológica

O déficit de vegetação e os passivos ambientais decorrentes do processo histórico de ocupação, exploração e degradação dos ecossistemas e corpos hídricos, concentrada principalmente nas porções médias e baixas da bacia, demandam esforços significativos para a reabilitação de áreas degradadas, com destaque para o aumento da cobertura florestal nas áreas de baixada e áreas de preservação permanente.

A bacia possui potencialidade ambiental alta e muito alta para restauração, determinada principalmente pela sua favorabilidade físico climática (elevada taxa de precipitação total anual) e potencial de regeneração natural (alta conectividade estrutural). Foram mapeados 35.988,15 hectares de áreas de alta e muito alta prioridade para restauração florestal, o que corresponde a 33,3% da área total da bacia (Tabela 33).

Segundo INEA (2018), a agenda da restauração florestal no estado do Rio de Janeiro passou por significativos avanços nos últimos anos. Na esfera pública, os avanços se deram em decorrência da criação de instrumentos de gestão, tais como o CAR e o BANPAR, e quanto à padronização de procedimentos, melhoria na qualidade dos projetos de restauração elaborados e aperfeiçoamento dos métodos de monitoramento e acompanhamento de projetos associados a obrigações de reposição florestal. A criação de mecanismos financeiros, como o MFCF, tem se mostrado inovadores e promissores para agilizar a implantação e aprimorar a alocação de recursos para restauração de áreas estratégicas. A agenda também tem evoluído com a participação e envolvimento de outros atores, que tem contribuído para a captação de recursos e para a realização de ações voluntárias de restauração na bacia, apresentadas no capítulo 5.3.3.1.

6.2.1.2.1 Adequação ambiental de imóveis rurais – CAR e PRA

A Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, também conhecida como novo "Código Florestal", estabelece normas gerais sobre a Proteção da Vegetação Nativa. Dentre suas inovações, instituiu o Cadastro Ambiental Rural (CAR), registro público obrigatório para todos os imóveis rurais e que tem a finalidade de reunir as informações ambientais e compor base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento, e o Programa de Regularização Ambiental (PRA), que visa promover a regularização ambiental dos imóveis rurais com passivos ambientais relativos às APP, de Reserva Legal (RL) e de uso restrito, identificados e validados a partir da análise do CAR.

A adequação ambiental de imóveis rurais no estado do Rio de Janeiro é regulamentada pelo Decreto Estadual nº 44.512/2013 e as Resoluções INEA nº 141/2016 (análise e validação do CAR) e Resolução INEA n° 149/2018 (PRA). A coordenação do CAR e do PRA é de competência do INEA, por meio da Gerência de Serviço Florestal, sendo as informações gerenciadas através do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR).

Segundo Ikemoto e Napoleão (2018), a Bacia do rio Guapi-Macacu possui uma demanda estimada de restauração de 9.854,3 hectares de áreas de preservação

permanente, segundo as definições da Lei Federal nº 12.651/2012, o que representa 20,6% das áreas de APP ou 9,1% da área total da bacia. Ou seja, há uma elevada demanda de adequação ambiental e recuperação das áreas degradadas no território.

A legislação prevê que a implementação do CAR e do PRA ocorra em três diferentes etapas para a regularização ambiental do imóvel rural: a inscrição no CAR (cadastramento); o acompanhamento do CAR (análise e validação); e regularização do imóvel mediante celebração de termo de compromisso de adesão ao PRA. A etapa de negociação somente se aplica no caso de excedente de Reserva Legal e mecanismos de compensação (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2019).

Em relação à etapa de cadastramento, houveram significativos avanços na área de estudo. Em consulta ao SICAR realizada em setembro de 2019 (INEA, 2019b), haviam 1.417 propriedades cadastradas no SICAR na Bacia do rio Guapi-Macacu, e cuja área cadastrada totalizava mais de 65 mil hectares ou cerca de 60% da área total da bacia. As pequenas propriedades, com área até 4 módulos fiscais, são as mais representativas em termos numéricos e correspondem a 86,7% (1.228) dos imóveis cadastrados e totalizam pouco mais de 15 mil hectares, o que equivale a 14,3% da área total da bacia. As médias propriedades, com área acima de 4 e até 15 módulos fiscais, correspondem a 8,8% (124) dos imóveis cadastrados e correspondem a 11,4% da área total da bacia. As grandes propriedades, por sua vez, são as mais representativas em área, e representam 4,6% (65) dos imóveis cadastrados e 34,6% da área total da bacia (Tabela 37).

Tabela 37 – Imóveis cadastrados no sistema de cadastro ambiental rural (SICAR) na Bacia do rio Guapi-Macacu

Pequenas Propriedades (Até 4MF)			**Médias Propriedades (4 - 15 MF)**			**Grandes Propriedades (Maior que 15 MF)**			**Total na bacia**		
N°	**Área (ha)**	**% área**	**N°**	**Área (ha)**	**% área**	**N°.**	**Área (ha)**	**% área**	**N°**	**Área (ha)**	**% área**
1.228	15.480,6	14,3	124	12.310,8	11,4	65	37.391,04	34,6	1.417	65.182,4	60,3

Legenda: N° - número de propriedades cadastradas no SICAR. Área (ha) – área total dos imóveis cadastrados no SICAR inseridas dentro da bacia do rio Guapi. MF – Módulos fiscais.
Nota: consulta realizada ao SICAR em setembro de 2019.
Fonte: INEA, 2019b.

Segundo relatório de atividades da Diretoria de Biodiversidade, Áreas Protegidas e Ecossistemas (INEA, 2018), apesar do quadro limitado de profissionais do INEA para implementação do CAR, os avanços alcançados no cadastramento de imóveis são fruto da viabilização de parcerias e projetos, a partir da captação de recursos externos, e da natureza da etapa, que é auto-declatória. Em 2012, reconhecendo a importância do

instrumento para a conservação e recuperação do meio ambiente e dos recursos hídricos, o CERHI-RJ aprovou a destinação de recursos no valor de R$ 2.000.000,00 para apoiar a implementação do CAR em todo o estado (Resolução CERHI-RJ N° 94 de 05/09/2012), incluindo a Região Hidrográfica da Baía de Guanabara. Foram contratados técnicos locais para todas as Região Hidrográfica e realizadas ações de capacitação em todo o estado até a conclusão do projeto, em 2016.

O cadastramento de imóveis na bacia deverá ter grandes avanços, em curto prazo, como desdobramento do projeto "CAR nas UCs" (INEA, 2018). Iniciado em novembro de 2018, o projeto tem como objetivo o levantamento e regularização ambiental dos imóveis rurais localizados no interior e na zona de amortecimento de Unidades de Conservação Estaduais. Das 14 Unidades de Conservação contempladas, três estão inseridas dentro da Bacia do rio Guapi-Macacu: Parque Estadual dos Três Picos; Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio Macacu; e Área de Proteção Ambiental de Macaé de Cima. O projeto tem como meta cadastrar no mínimo 30% da área ainda não cadastrada nas UCs, sendo financiado com recursos da Câmara de Compensação Ambiental (CCA) e executado pela empresa Ambientagro Engenharia (ABREU, 2019; FUNBIO, 2019).

Apesar dos avanços em relação aos imóveis inscritos no CAR, segundo relato dos técnicos da Gerência de Serviço Florestal (GESEF) do INEA (informação verbal[59]), há inúmeros desafios para realizar a validação dos imóveis inscritos no CAR, etapa crucial para viabilizar a celebração do Termo de Compromisso de Regularização Ambiental (TCRA), instrumento que fixa os prazos para a efetiva recuperação das áreas degradadas, observado os prazos máximos estabelecidos pela legislação.

Em relação à etapa de análise e validação, o módulo correspondente do CAR foi disponibilizado ao estado do Rio de Janeiro em maio de 2017. Segundo relatos de técnicos da GESEF/INEA (informação verbal[60]), o SICAR possui falhas e limitações que tornam a consecução da análise e validação demorada e altamente demandante de recursos humanos, inviabilizando o atendimento das demandas. Segundo INEA (2018), até novembro de 2018, cerca de 1,9% dos cadastros totais no estado haviam sido analisados. Dentre as medidas tomadas pelo instituto para contornar ou superar esse entrave, até o

[59] Entrevista realizada com técnicos da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 11/10/2019.
[60] Entrevista realizada com técnicos da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 11/10/2019.

presente momento, destacam-se a definição de prioridades de análise e captação de recursos externos para contratação de serviços de apoio (ibidem).

Em relação às prioridades de análise, além dos critérios definidos pelo Art. 10 da Resolução INEA nº 141/2016, o INEA adotou as áreas prioritárias para proteção de mananciais para abastecimento público de água. Segundo relatório do INEA (INEA, 2018), foram selecionadas as propriedades ou posses rurais com mais de 60% de sua superfície sobrepostas a área com prioridade alta ou muito alta para restauração, contemplando 599 propriedades na Bacia do rio Guapi-Macacu, sendo prevista a contratação de serviços para análise do CAR de cerca de 5.000 propriedades e posses rurais localizadas nos 18 municípios que abrangem a área do Mosaico de Unidades de Conservação da Mata Atlântica Central Fluminense (MCF), em parceria com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e recursos de doação do grupo bancário KfW. Em relação à área de estudo, os municípios de Cachoeiras de Macacu e Guapimirim encontram-se contemplados no projeto. Conforme relato de técnicos do INEA (informação verbal[61]), outras medidas necessárias incluem desenvolver processos de automatização das etapas de análise e avaliação do SICAR, e habilitar instituições externas parceiras, como as prefeituras municipais para apoiar a atividade.

Em relação aos proprietários que tiveram o seu cadastro analisado e validado e apresentaram passivos ambientais, a legislação prevê que a regularização do imóvel rural é efetivada mediante celebração de termo de compromisso de adesão ao PRA. Segundo INEA (2018), até novembro de 2018, menos de 1% dos cadastros analisados e validados no estado haviam efetivado a etapa de regularização. Esse cenário evidencia o grande desafio para que a implementação prática do CAR, ou seja, a recuperação dos passivos ambientais, seja efetivada. Estas dificuldades são enfrentadas pelos órgãos gestores no geral, não se limitando ao contexto da Bacia do rio Guapi-Macacu ou do estado do Rio de Janeiro (ICV, 2019).

A recuperação ambiental em áreas de APP e Reserva Legal, apesar de prevista na lei, não tem previsão de execução imediata. O Art. 66 da Lei nº 12.651/2012 concede um prazo de 20 anos para conclusão da recomposição florestal para fins de regularização da área de Reserva Legal, e em relação à recomposição florestal para fins de regularização da APP, a Lei nº 12.651/2012 e o Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012, não definem

[61] Entrevista realizada com técnicos da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 11/10/2019.

critérios e prazos. O Estado do Rio de Janeiro adotou os mesmos critérios para recomposição das APPs, ou seja, concedendo um prazo máximo de 20 anos para conclusão da recomposição florestal, vide Resolução INEA nº 149/2018. Dessa forma, considerando que o prazo máximo de 20 anos passa a vigorar a partir da celebração do termo de compromisso de regularização ambiental (TCRA), a efetiva recuperação ambiental das APPs e RLs pode vir a ocorrer efetivamente num horizonte de tempo ainda maior, pois ela requer a conclusão das etapas de análise e validação do CAR, e cujo horizonte temporal de execução e conclusão ainda é incerto.

Nesse contexto, é fundamental a execução de projetos de restauração florestal e de PSA em áreas de APP e RL como estratégia para a recuperação de áreas de mananciais, em curto e médio prazo, em consonância com a implementação do CAR e do PRA. Apesar da obrigatoriedade legal dos proprietários e possuidores de imóveis em promover a regularização ambiental das suas propriedades, o prazo para sua recuperação é incerto, considerando as questões expostas. Além disso, de modo geral, o passivo ambiental de recomposição dessas áreas é expressivo, e a provisão de serviços ecossistêmicos e as funções ambientais das APPs e RLs já se encontram fragilizadas e comprometidas em função do significativo déficit de cobertura florestal, requerendo ações imediatas. Projetos de restauração e PSA em APP e RLs, portanto, podem gerar adicionalidade de serviços ambientais, considerando a antecipação da efetiva recuperação dessas áreas em relação aos prazos legais, em curto prazo.

Em relação ao apoio aos proprietários para restauração florestal, o Art. 4º da Resolução INEA nº 149/2018, que define que os órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o INEA devem prestar apoio para os pequenos proprietários (imóveis rurais até 4 módulos fiscais) ou posse rural familiar para adesão e cumprimento do PRA, quando solicitados. Isso representa 86,7% (1.228) dos imóveis cadastrados da bacia até setembro de 2019. Segundo depoimento de técnicos do INEA (informação verbal [62]), uma barreira é a disponibilidade de recursos e investimentos mínimos necessários para a restauração e atendimento da demanda dos compromissos de regularização ambiental, além de viabilizar a coleta de sementes, produção de mudas e a assistência técnica necessárias. A estratégia para enfrentamento desse desafio é a redução do custo da restauração, adotando técnicas de condução da regeneração natural e

[62] Entrevista realizada com técnicos da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 11/10/2019.

incentivando sistemas produtivos de base florestal (sistemas agroflorestais, consórcios florestais), fornecendo a devida assistência e capacitação técnica ao produtor rural.

A execução das ações previstas no TCRA requer o monitoramento da restauração pelo órgão gestor, conforme definido nos Art. 31 a 34 da Resolução INEA nº 149/2018, de modo a verificar o cumprimento da regularização ambiental e atestar a efetiva recuperação das áreas. Para técnicos do INEA (informação verbal[63]), um grande desafio, portanto, será o de acompanhar e monitorar a efetividade da restauração, conforme metodologia definida na Resolução INEA nº 143/2017, para atendimento do PRA, especialmente para imóveis menores que 4 módulos fiscais, considerando a natureza da atividade, que atualmente requer vistorias *in loco*, e portanto, é onerosa em recursos humanos e logísticos. Dentre as possibilidades para superação desse obstáculo, discute-se a possibilidade da aplicação de técnicas e soluções remotas, como o monitoramento por sensoriamento remoto.

6.2.1.2.2 Banco Público de Áreas para Restauração (BANPAR)

O Banco Público de Áreas para Restauração (BANPAR), instituído pela Resolução INEA nº 140/2016, é um cadastro voluntário de áreas disponíveis para restauração no estado do Rio de Janeiro, de modo a facilitar a aproximação entre proprietários de imóveis rurais que dispõem de área para restauração florestal e empreendedores ou interessados que possuem compromissos de restauração decorrentes de licenciamento ambiental, obrigações legais, ou iniciativa voluntária.

Na Bacia do rio Guapi-Macacu, há apenas 3 propriedades cadastradas no BANPAR, com área total disponível para restauração de 627 hectares, conforme consulta ao Portal da Restauração Florestal Fluminense (INEA, 2019e). Na Região Hidrográfica V – Baía de Guanabara, não há empreendedores cadastrados (Quadro 29).

Considerando que há poucas propriedades cadastradas, e que as inscrições ocorreram num período restrito de tempo (2015-2016), identifica-se que o instrumento é

[63] Entrevista realizada com técnicos da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 11/10/2019.

pouco conhecido e que o esforço de divulgação da ferramenta não está associado aos demais instrumentos que podem potencializar o banco de áreas.

Quadro 29 – Área cadastrada no BANPAR na Bacia do rio Guapi-Macacu

ID	Área cadastrada disponível para restauração (ha)	Município	Status	Data de inscrição
36	15	Cachoeiras de Macacu	Disponível	06/11/2015
46	12	Cachoeiras de Macacu	Disponível	18/12/2015
57	600	Cachoeiras de Macacu	Disponível	12/01/2016
Total	627	3 propriedades cadastradas de Cachoeiras de Macacu	3 propriedades disponíveis	-

Nota: Dados obtidos em consulta ao Portal da Restauração Florestal Fluminense em 10/11/2019.
Fonte: A autora, 2020.

6.2.1.2.3 Obrigações de reposição florestal e outras demandas não voluntárias de restauração florestal

Em algumas situações, a instalação e ampliação de empreendimentos podem implicar na supressão da vegetação nativa, a fim de instalar sua infraestrutura. A supressão é impacto em geral irreversível e sem possibilidade de mitigação, sendo a compensação ambiental a única forma possível de reparação dos impactos negativos gerados. A Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006) prevê a possibilidade de corte ou a supressão de vegetação na Mata Atlântica, quando autorizados pela lei, sendo condicionados à compensação ambiental, no mínimo equivalente à extensão da área desmatada.

Com a criação do INEA, órgão executivo da Secretaria do Ambiente, foi implantado o novo Sistema de Licenciamento Ambiental (SLAM) pelo Decreto nº 42.159/2009, sendo revogado pelo Decreto Estadual nº 44.820/2014, atualmente vigente. A reposição florestal, no âmbito do licenciamento ambiental estadual, é regulamentada pela Resolução INEA nº 89/2014, sendo definida como "mecanismo de compensação do volume extraído de vegetação nativa pelo volume resultante de plantio florestal para recuperação de cobertura florestal". A mesma deve preservar as mesmas características ecológicas, e ser compensada na mesma bacia hidrográfica, e quando possível na mesma microbacia hidrográfica. A Resolução INEA nº 89/2014 veio a definir as proporções

mínimas aplicáveis para reposição florestal, decorrentes do corte ou supressão de vegetação, bem como de intervenções em APP, cuja reposição mínima pode chegar até 10 vezes do equivalente da extensão da área desmatada, em função do impacto ambiental do empreendimento e o grau de conservação e tipo de fitofisionomia da área suprimida. Os projetos de reposição florestal podem ser exigidos como condicionantes do processo de licenciamento ambiental, Termo de Ajustamento Conduta (TAC) e Autorizações Ambientais para Supressão de Vegetação (ASV). Em relação a outras demandas não voluntárias de restauração florestal, cabe destacar a reparação de danos ambientais que forem objeto de autuações administrativas e o atendimento de Termo de Compromisso Ambiental (TCA).

A Resolução INEA nº 143/2017 estabeleceu o Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal (SEMAR), revogando a Resolução INEA nº 36/2011. Dentre os avanços trazidos por esta normativa, destaca-se a integração das iniciativas voltadas para a restauração florestal no estado e o estabelecimento de critérios claros e parametrizados para o monitoramento, certificação e quitação dos compromissos de restauração florestal executados no estado. Segundo depoimento de técnicos do INEA, esforços ainda são necessários para sistematizar os compromissos de restauração, geridos por diversos setores do Instituto de forma desintegrada, e para revisar os instrumentos legais existentes, de forma a padronizar a emissão de autorização ambiental de todos compromissos de restauração florestal, conforme estabelecido na Resolução INEA n° 143/2017.

Em novembro de 2019, o estado do Rio de Janeiro apresentava 15.700,77 hectares em compromissos de restauração florestal vinculados a obrigações de reposição florestal, ou seja, pouco mais de três vezes a área de supressão autorizada, de 4.586,87 hectares (INEA, 2019e). Desde 2015, foram implantados e são monitorados pelo INEA 6.691,65 hectares de áreas em manutenção, e há cerca de 9.000 hectares de compromissos pendentes, vide Tabela 38.

Na Bacia do rio Guapi-Macacu, há 6 processos relacionados a obrigações de compensação florestal, totalizando 5.838,22 ha de compromisso de restauração, o que equivale a mais de 3 vezes a área autorizada suprimida (1.683,9 ha) (Quadro 30). O compromisso de restauração representa quase 60% da área estimada de APPs a ser recuperada na bacia (9.854,3 ha). O maior quantitativo de compromisso de restauração é atrelado ao licenciamento ambiental do COMPERJ (5.005,8 ha), e considerando a

instalação e o impacto direto do empreendimento na área de estudo, é esperado que boa parte desse quantitativo seja implantado na Bacia do rio Guapi-Macacu, apesar da legislação permitir que a compensação ocorra em outras áreas da Região Hidrográfica Baía de Guanabara - RH V.

Tabela 38 – Compromissos de restauração florestal para o estado do Rio de Janeiro e para a RH V em novembro de 2019

	Área suprimida via ASV (ha)	**Compromissos de restauração (ha)**	**Área Implantada em fase de manutenção (ha)**	**Compromissos de restauração pendentes (ha)**
RH V - Baía de Guanabara	2.483,03	7.245,95	1.672,62	5.573,33
Estado do Rio de Janeiro	4.586,87	15.700,77	6.691,65	9.009,12

Nota: Dados obtidos em consulta ao Portal da Restauração Florestal Fluminense em 10/11/2019.
Fonte: INEA, 2019e.

Quadro 30 – Compromissos de restauração florestal executados na Bacia do rio Guapi-Macacu, em área parcial ou integral da bacia, e previstos para a RH V em novembro de 2019

Empresa	**Área de ASV**	**Área do compromisso (ha)**	**Área implantada ou quitada (ha)**	**Impl. na bacia**	**Compromisso**	**Status**
Alberto Lewin	-	3,4	3,4	Integral	Reserva Legal	Concluído
Pedras Transmissão de Energia S.A.	-	2,8	2,8	Integral	Medida compensatória	Concluído
Petrobras (licenciamento COMPERJ)	1.405,9	5.005,8	109,41	Previsto para RH V	Medida compensatória e TAC	Em implantação e assinatura TCRF
Petrobras (TAC intramuros)	-	414,3	0	Integral	TAC	A implantar
NTS (licenc. GASDUC III, GASJAP e ECOMP)	266,3	401,82	Em análise	Parcial	Medida compensatória	Em implantação
Petrobrás (licenc. GNL Guanabara)	11,59	13,5	13,5	Integral	Medida compensatória	Concluído
TOTAL	1.683,79	5.838,22	125,71	-	-	-

Nota: Dados obtidos em consulta a Gerência de Serviço Florestal em 21 janeiro de 2020.
Fonte: A autora, 2020.
Legenda: Impl. – Implantado. Licenc. – Licenciamento Ambiental.

Até janeiro de 2020, apenas 125,7 hectares haviam sido efetivamente implantados e quitados, e 5.712,51 hectares estão em execução ou a implantar. Segundo relatado por técnicos do INEA (informação verbal[64]), a PETROBRAS vem enfrentando dificuldades

[64] Comunicação telefônica realizada com técnico da Gerência de Serviço Florestal do INEA, Rio de Janeiro, no dia 21/01/2019.

para cumprir as condicionantes, com significativas perdas das áreas implantadas, tendo quitado somente 109,41 hectares ou menos de 2% do compromisso (Quadro 30). Esse contexto fez com que a PETROBRAS sinalizasse interesse em substituir a obrigação de fazer a reposição florestal pela obrigação de pagar o seu valor correspondente, por meio do Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal (MFCF), em 2018.

O Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal (MFCF) foi instituído pela Resolução Conjunta SEAS/INEA nº 630/2016, tendo como fundamentação legal a Lei Estadual nº 6.572/2013, que estabelece no Art. 3º a possibilidade da SEAS implementar mecanismos operacionais e financeiros para gestão dos recursos das compensações ambientais; e a Lei Estadual nº 7.061/2015, que define nos art. 3ºB e 3ºC que os mecanismos financeiros e operacionais referidos no Art. 3º da Lei Estadual nº 6.572/2013 podem se aplicar a compensação e reposição florestal. A quitação da obrigação da compensação é realizada mediante o depósito integral do valor estipulado no Termo de Compromisso de Restauração Florestal (TCRF), celebrado com a SEAS.

Trata-se de um mecanismo que possibilita a execução conjunta de obrigações de diversos empreendedores, visando o ganho de escala, de sinergia e de impactos positivos para a proteção da biodiversidade e recursos hídricos. A Resolução Conjunta SEAS/INEA nº 654/2017, por sua vez, estabeleceu os procedimentos institucionais para regular a celebração de Termos de Compromisso de Restauração Florestal (TCRF) entre a Secretaria de Estado do Ambiente (SEAS), o Instituto Estadual do Ambiente (INEA) e o empreendedor.

A destinação dos recursos do MFCF é definida por um colegiado, cujo nome e composição variaram desde sua implantação, sendo atualmente exercida pela Câmara de Compensação Ambiental, por meio da Resolução SEAS nº 12/2019, que revogou a Resolução Conjunta SEAS/INEA nº 630/2016 e Resolução SEA nº 586/2018. A normativa atualizou os valores correspondentes a conversão da obrigação de compensação de restauração florestal em obrigação de depositar, que para a fitofisionomia floresta, por exemplo, corresponde a R$ 82.886,46 por hectare, considerado o valor da UFIR para o exercício de 2020 definido pela Resolução SEFAZ nº 101/2019 (Tabela 39).

Tabela 39 – Valor correspondente a conversão da obrigação de compensação de restauração florestal em obrigação de depositar conforme Resolução SEA Nº 12/2019

Fitofisionomia Suprimida	**Valor correspondente por hectares ou fração (UFIR)**	**Valor correspondente por hectares ou fração (UFIR Resolução SEFAZ 101**/2019) (R$)
Floresta	23.315,46 UFIR	R$82.886,46
Restinga	16.653,90 UFIR	R$59.204,61
Manguezal	13.323,12 UFIR	R$47.363,69

Fonte: A autora, 2020.

Dentre outros pontos positivos do mecanismo, é fundamental a definição das áreas prioritárias para restauração a partir de critérios técnicos. As ações de restauração florestal, até então executadas sem um critério que beneficiasse a maior provisão de serviços ambientais relacionados à água, passaram a priorizar áreas que gerassem benefícios para a segurança hídrica e conservação da biodiversidade. A Resolução INEA nº 158/2018, que instituiu o Programa Pacto pelas Águas, estabeleceu no Art. 16º que projetos decorrentes do MFCF deverão ser direcionados para as áreas de interesse para proteção e recuperação de mananciais, assim como o cumprimento de obrigações de restauração florestal originária de demandas não voluntárias, tais como medidas compensatórias de condicionantes de processos de licenciamento ambiental, termos de ajustamento de conduta e outras obrigações. O mesmo entendimento é apresentado na regulamentação do MFCF, que define as áreas de mananciais de abastecimento público como áreas prioritárias para utilização dos recursos de restauração florestal, vide Art. 2º da Resolução SEAS nº 12/2019:

> **§ 2º -** [...] serão consideradas prioritárias à restauração as áreas caracterizadas como:
> **I**- Mananciais de abastecimento público;
> **II** - áreas de Preservação Permanente - APP;
> **III -** pequenas propriedades ou posses rurais familiares, conforme Lei nº 12.651/2012;
> **IV -** áreas de pequenos produtores rurais e de agricultura familiar, conforme Lei Federal nº 11.326/2006;
> **V-** Unidades de conservação de proteção integral e suas respectivas zonas de amortecimento;
> **VI -** Unidades de conservação de uso sustentável;
> **VII** - unidades de assentamentos rurais, quilombolas, comunidades e populações tradicionais;
> **VIII** - áreas identificadas como prioritárias pelos Planos Municipais de Recuperação e Conservação da Mata Atlântica;
> **IX -** áreas que abriguem espécies da fauna e flora endêmicas e ameaçadas de extinção, conforme indicadas nos respectivos Planos de Ação;
> **X-** áreas inseridas em programas de Pagamentos por Serviços Ambientais – PSA.
> (SEAS, 2019, Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, de 09 de maio de 2019, Poder Executivo, Seção I, p. 32).

Os recursos do MFCF também podem ser utilizados em áreas passíveis de recuperação identificadas no Cadastro Ambiental Rural (CAR), de acordo com o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e em áreas cadastradas no Banco Público de Áreas para Restauração (BANPAR).

Até maio de 2019, 60 TCRFs haviam sido assinados, totalizando o valor de R$8.727.748,08 para o estado do Rio de Janeiro, dos quais R$ 3.880.284,11 correspondiam a RH V (BORGES, 2019). Em 09 de agosto de 2019, foi celebrado o Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) entre Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro, o Instituto Estadual do Ambiente e a PETROBRAS[65], que determinou a PETROBRÁS celebrar TCRF com a SEAS referente ao quantitativo da obrigação de compensação ainda não quitado pelo INEA, vide cláusula segunda, item 5.1.11. Desde então, a companhia celebrou o TCRF e efetivou o depósito da primeira parcela no ano de 2019. Dos 5.005 hectares de compensação, cerca de 4.900 hectares serão quitados por meio do MFCF.

Considerando a complexidade em executar a restauração florestal dos quase 4.900 hectares e gerir os recursos do MFCF aportados pela PETROBRAS, a SEAS e o INEA identificaram a necessidade de revisar a normativa relacionada ao mecanismo. Isso foi refletido na Resolução SEAS nº 041/2019, onde o Art. 6º flexibiliza a aplicação dos recursos do TCRF, permitindo a destinação de até 30% do valor da vegetação nativa em área excedente para atividades relacionadas à gestão e operacionalização do mecanismo: contratação de equipe de apoio a gestão; apoio ao cadastramento e validação do CAR; implantação do PRA, auxílio na elaboração dos Projetos de Recomposição de Área Degradada e Alterada (PRADA); e apoio e extensão técnica a produtores rurais. No entanto, também prevê destinação de recursos para fins distintos da restauração florestal, como a arborização urbana e desapropriação.

Dessa forma, o MFCF tem se mostrado atrativo para alguns empreendedores, e tem contribuído para que compromissos de restauração pendentes de execução sejam quitados. Além disso, pode promover a sinergia entre as politicas de restauração e segurança hídrica, considerando a priorização das intervenções do mecanismo em áreas

[65] TAC celebrado em referência a Ação Civil Pública MPRJ nº 9919-12.2018.819.0023, decorrente de questionamentos sobre o cumprimento das medidas mitigatórias e compensatórias do licenciamento ambiental do COMPERJ, por meio dos Inquéritos Civis n.º 314/09 (MPRJ 200800200748), Inquérito Civil n.º 132/13 (MPRJ 201301218630), Inquérito Civil n.º 161/15 (MPRJ 20150067759), Inquérito Civil n.º 126/13 (MPRJ 201301201999) e Inquérito Civil nº 34/2014 (MPRJ 201400277033).

de mananciais. No entanto, esforços deverão ser empreendidos para efetivar a sua operacionalização, e o devido cumprimento das obrigações. Os primeiros projetos de restauração florestal no estado do Rio de Janeiro a serem financiados com recursos do MFCF foram aprovados em maio de 2019, pela Câmara de Compensação Ambiental (CCA) (INEA, 2019f), porém ainda não foram implementados. Há um significativo esforço para a estruturação do fluxo operacional do mecanismo, que deve ser dimensionado para um programa de restauração em grande escala, e que demanda o fortalecimento e capacitação das equipes técnicas envolvidas.

A Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu também apresenta medidas compensatórias de restauração florestal no âmbito do licenciamento municipal, conforme relatado por técnico da secretaria de meio ambiente (informação verbal[66]). No entanto, os dados não se encontram sistematizados, o que impediu a inclusão e análise dos mesmos para a presente pesquisa.

6.2.1.2.4 Programas e projetos voluntários de restauração

I) Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA)

A Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA) é uma Organização Não Governamental criada em 2001, e que tem como objetivo a conservação da alta bacia do Rio Guapiaçu (REGUA, 2019). O surgimento da REGUA foi inspirado pelos resultados de um estudo de um ornitólogo que documentou a significativa biodiversidade da avifauna na região, destacando a importância da conservação das florestas do alto curso do rio Guapiaçu (informação verbal[67]). A Organização Não Governamental (ONG) foi idealizada e é presidida pelo casal Nicholas e Rachel Locke, que residem na região e são ativistas ambientais reconhecidos no estado.

O conjunto de ações da REGUA foi identificado neste estudo como a iniciativa de SbN mais relevante na bacia. A instituição destaca-se por atuar de forma consistente e

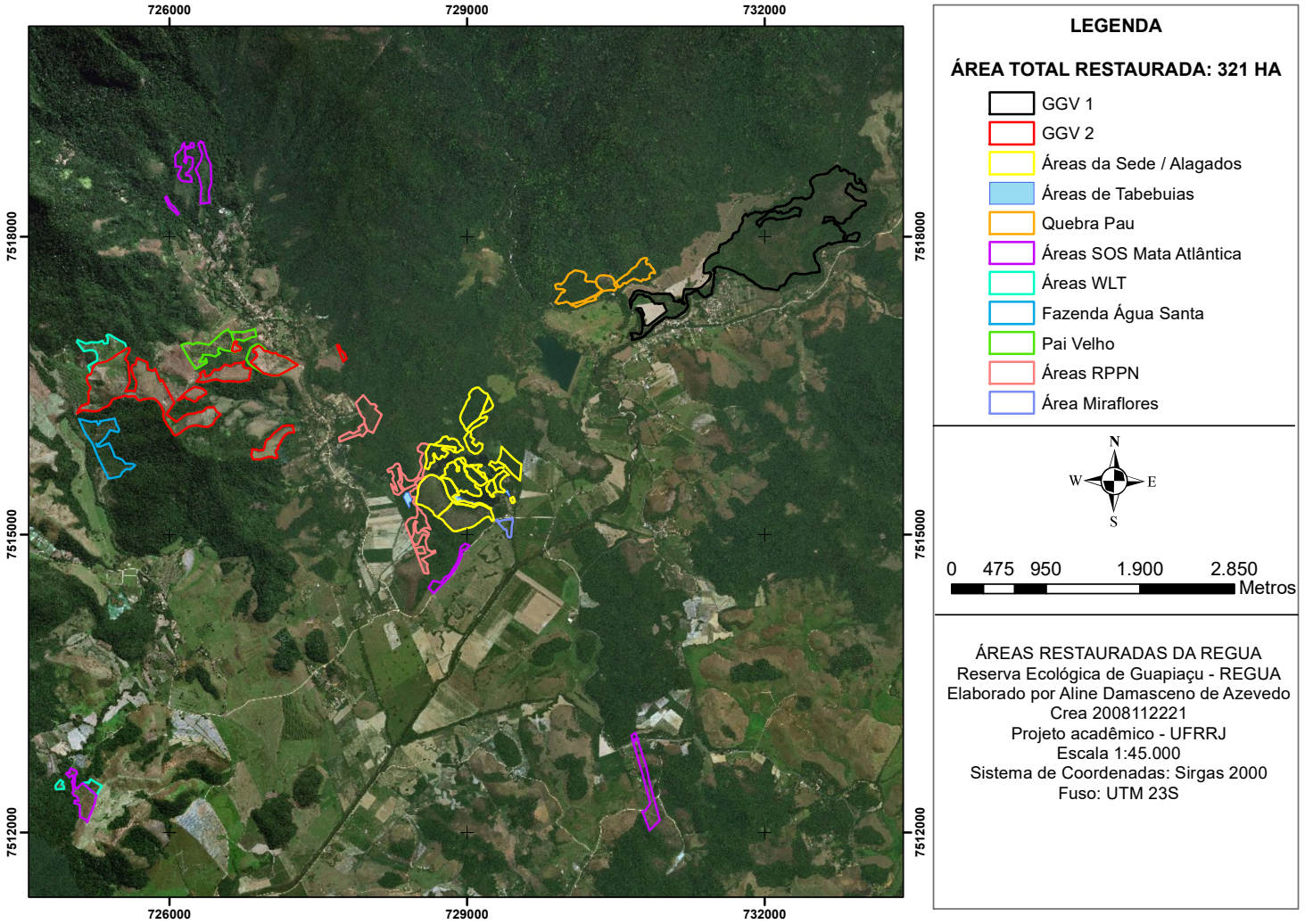
[66] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

contínua há quase 20 anos na região, e segundo relato do representante da REGUA (informação verbal[68]), até dezembro de 2019, havia adquirido pouco mais de 7.000 hectares de terras a serem destinadas exclusivamente às ações de conservação ambiental, o que corresponde a cerca de 6,4% do território da bacia. A REGUA desenvolve nessas áreas ações de educação ambiental, restauração florestal apoio/incentivo a pesquisas, contando com corpo de guardas-parque próprios e instituindo 3 RPPNs. Além disso, a ONG desenvolve atividades de ecoturismo e cursos de capacitação para arcar com os custos de funcionamento e manutenção da reserva (informação verbal[69]).

Desde sua criação, a REGUA já implantou 321,25 hectares de restauração no alto curso do rio Guapiaçu, vide Tabela 40 e Figura 65, o que corresponde a 3,3% da demanda de APPs a ser recuperada na bacia (9.854,3 ha), e é considerada referência no estado pela qualidade dos resultados. Segundo relato do responsável pela ONG (informação verbal[70]), as atividades de restauração foram iniciadas em 2004, com o projeto de recuperação de 12 hectares de áreas úmidas e alagadas, com apoio financeiro do *Wetland Trust UK,* e desde então, vem sendo continuamente ampliadas. Em 2006, a REGUA obteve financiamento do *World Land Trust* para restauração de 60 hectares, e a ONG vem realizando aportes anuais para recuperação de novas áreas. A partir de 2012, a REGUA passou a contar um viveiro com capacidade de produção de mais de 120.000 mudas nativas por ano, produzidas a partir de sementes coletadas na reserva. Neste mesmo ano, foi reintroduzida na área a espécie *Tabebuia cassinoides,* característica de florestas paludosa, com apoio financeiro da *Chester Zoo*. Em 2009, a SOS Mata Atlântica passou a financiar ações de restauração na REGUA, trazendo também o apoio e participação da Iniciativa Verde. Em 2014, cerca de 160 hectares foram implantados com patrocínio da PETROBRAS, por meio do projeto Guapiaçu Grande Vida (GGV), que veio a ser renovado em 2017, promovendo a restaurar de mais 60 hectares de áreas degradadas na bacia do rio Guapiaçu, em área conhecida como Morro do Pai Velho.

[70]Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

Figura 65 – Mapa das áreas restauradas pela REGUA



Fonte: AZEVEDO, 2019.

Tabela 40 – Resultados das ações de restauração florestal promovidas pela REGUA por ano

Ano de plantio	Nº mudas plantadas	Área implantada (ha)	Nº espécies plantadas
2004	2.867	3,44	60
2005	2.292	2,75	73
2006	1.925	2,31	70
2007	8.117	9,74	73
2008	16.258	19,51	80
2009	14.858	17,83	80
2010	47.500	21,50	100
2011	6.533	3,92	38
2012	45.480	24,84	73
2013	16.117	9,67	115
2014	89.250	53,55	178
2015	84.112	50,70	156
2016	14.167	8,50	123
2017	19.367	11,62	98
2018	70.250	38,10	143
2019	77.117	43,27	153
Total	**516.210**	**321,25**	-

Nota: Planilha eletrônica disponibilizada em 16/01/2019.
Fonte: REGUA, 2019.

Um dos fatores de sucesso da REGUA, segundo a percepção dos responsáveis pela reserva (informação verbal[71]), é a capacidade de celebrar parcerias e convênios para captação de recursos externo, nacionais e internacionais, de diferentes naturezas e múltiplos doadores, e a agilidade na sua execução e prestação de contas, o que pode ser evidenciado pelos inúmeros projetos e ações de restauração viabilizados com recursos externos de forma contínua desde 2004. Dentre as principais linhas de financiamento das ações da REGUA, destacam-se as doações internacionais viabilizadas por meio de organizações privadas sem fins lucrativos que captam recursos para ações de conservação, como a *Brasilian Recover Green Forest Trust,* o *World Land Trust* e a *Rain Forest Trust*, além de filantropos que visitam a reserva .

[71] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

A principal estratégia adotada pela REGUA para alcance desses resultados é a de aquisição de terras, com os recursos de doações (informação verbal[72]). Esse procedimento que é difundido como estratégia de proteção de mananciais em diversos países, como EUA e Canadá, com a participação de organizações não governamentais denominadas de "*Land Trusts*", que intermediam ou viabilizam recursos para aquisições ou servidões de terras e o manejo para a conservação (GARTNER et al., 2013). Apesar de não ser uma prática usual no Brasil, a REGUA tem obtido sucesso em obter o apoio de doadores internacionais para esse fim, considerando a perpetuidade e maior efetividade da aquisição de áreas para a conservação e restauração.

As características biofísicas da bacia também favorecem os resultados alcançados. Segundo o responsável da reserva (informação verbal[73]), a região abriga altos níveis de biodiversidade e é considerada uma área de muito alta prioridade para a conservação. A beleza cênica da floresta exuberante e da cadeia de montanhas atrai turistas e encanta potenciais doadores. Os altos níveis de precipitação, a proximidade de fragmentos e o banco de sementes no solo favorecem a restauração de áreas degradadas, apresentando bons e rápidos resultados. Por serem implantadas nas áreas da REGUA, há um maior controle sobre a execução do projeto e menores riscos de interferências externas (informação verbal[74]).

Apesar da perspectiva de continuidade e ampliação das ações da REGUA, com a aquisição e recuperação de novas áreas, e dos excelentes resultados alcançados até o momento, há ainda desafios a serem superados para o ganho de escala das ações de SbN e a recuperação da bacia do rio Guapiaçu. A REGUA atualmente ainda não promove ações de restauração em áreas de terceiros e premente atuar nesse sentido, no entanto, identifica que, além da complexidade de intervir nessas áreas, há uma grande resistência dos proprietários rurais em disponibilizar e recuperar áreas, de forma voluntária, ao longo de todo o processo (informação verbal[75]). A resistência de proprietários rurais em participar de projetos de SbN não se limita a bacia, sendo recorrente em diversas outras iniciativas (BENNETT; CARROLL, 2014; OZMENT et al., 2016).

---

[72] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.
[73] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.
[74] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.
[75] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

Para o representante da REGUA (informação verbal[76]), a segurança hídrica da bacia depende da mudança dos padrões de produção agropecuária, de baixa sustentabilidade e dependente de agroquímicos. Para tanto, a estratégia deve ser baseada em ações locais e contínuas, de modo a estruturar novos modelos de base sustentável que cresçam e amadureçam de forma consolidada. Na percepção do entrevistado, outro problema observado é especulação imobiliária e a ocupação desordenada nas partes mais altas da bacia, próximos a cursos d'água e no entorno dos fragmentos, que deve ser contida e ordenada.

Em relação às perspectivas futuras, a REGUA vislumbra continuar a captação de recursos para ações de conservação e recuperação da bacia do rio Guapiaçu, tendo como meta a restauração de 650 hectares na bacia, em médio prazo (informação verbal[77]), o que representa 6,5% do passivo de APPs na bacia.

II) Replanta Macacu

O projeto Replanta Macacu é uma iniciativa que promoveu o reflorestamento de 52 hectares nas margens do rio Macacu, no período de 2008 a 2012, sob coordenação geral da CEDAE e parceria com a Águas de Niterói, UFRRJ, Fundação de Apoio à Pesquisa Científica e Tecnológica da UFRRJ (FAPUR), Fundação Santa Cabrini, prefeitura de Cachoeiras de Macacu, SEAS e INEA (LELES, 2012).

Segundo relato do coordenador técnico do projeto (informação verbal[78]), a iniciativa foi idealizada pelo técnico Alcione, atual coordenador do Programa Replantando Vida, e surgiu em função da existência de uma pendência financeira da concessionária Águas de Niterói com a CEDAE, no qual a última propôs ações de recuperação ambiental da Bacia do rio Guapi-Macacu. Dessa forma, a Concessionária Águas de Niterói foi responsável pelo aporte de recursos financeiros, e a FAPUR foi a instituição responsável por gerir parte do recurso, cuja coordenação técnica do projeto de restauração foi realizada pelo Instituto de Florestas da UFRRJ. As ações de implantação e manutenção das áreas de restauração foram executadas por meio de convênio da

[76] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.
[77] Entrevista realizada com representante da REGUA, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.
[78] Entrevista realizada com professor da UFRRJ e Coordenador Técnico do Projeto Replanta Macacu, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

CEDAE com a Fundação Santa Cabrini, com uso de mão-de-obra de apenados. A prefeitura de Cachoeiras de Macacu realizou a mobilização e seleção de áreas para restauração, e a SEAS e o INEA realizaram ações de monitoramento.

O projeto foi iniciado em abril de 2008, e abrangeu a elaboração de diagnóstico rápido participativo e projeto executivo para cada propriedade participante; e o levantamento florístico, marcação de matrizes e coleta de sementes florestais para produção de mudas florestais (LELES, 2012). A recomposição florestal envolveu áreas de mata ciliar da parte média da Bacia do rio Guapi-Macacu, com a adesão voluntária de 52 proprietários ou possuidores de imóveis rurais das localidades de Papucaia e Japuíba. A Tabela 41 apresenta a evolução da implantação por ano.

Tabela 41 – Resultados do Projeto Replanta Macacu: número total de propriedades participantes e área restaurada por ano

Ano de plantio	Nº de propriedades	Área (ha)
2008	4	5,99
2009	38	36,57
2010	8	9,09
2011	2	0,77
Total	**52**	**52,42**

Fonte: LELES, 2019.

Segundo Leles (2019), as ações de restauração apresentaram baixo percentual de falhas, de aproximadamente 18,5%. Ao total, foram utilizadas 72 espécies, pertencentes a 25 famílias. A restauração de 52,4 hectares nas margens do rio Macacu apresentou uma largura média de 35 metros, correspondendo a cerca de 15 km de extensão de APPs.

Para o coordenador técnico do projeto (informação verbal[79]), dentre os fatores que contribuíram para o alcance dos resultados, destacam-se a integração das equipes e instituições e a gestão adaptativa do projeto, aprimorado e ajustado ao longo da sua implantação. Dentre os aprendizados, destacou a importância da priorização de áreas menos problemáticas, com menor grau de degradação e infestação de gramíneas e a mobilização e seleção de proprietários mais abertos e engajados, num primeiro momento; e adoção de técnicas de redução de custos da restauração, como doação de mudas e

[79] Entrevista realizada com professor da UFRRJ e Coordenador Técnico do Projeto Replanta Macacu, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

parcerias. Essas recomendações contribuem para reduzir os riscos e aumentar as chances de sucesso das intervenções.

Segundo a coordenação técnica do projeto (informação verbal[80]), ao realizar a restauração em áreas de particulares, tem-se como desafios transmitir confiança ao proprietário rural e ter capacidade de prover assistência técnica em relação aos aspectos relacionados à adequação ambiental e gestão da propriedade. A mobilização e o envolvimento dos proprietários nas ações de SbN requerem maior interface com as questões de interesse do produtor, ou seja, que tenham relação com a sustentabilidade da produção e melhoria da sua qualidade de vida e renda. Ações mais consistentes requerem orientação e assistência para os aspectos econômicos, legais e financeiros da propriedade e da produção.

Apesar da região apresentar condições biofísicas favoráveis para a restauração, há como dificultador a forte matocompetição, apresentando maiores custos de manutenção (informação verbal [81]). Nesse contexto, a adoção de técnicas de controle da matocompetição com a aplicação de herbicidas tem se mostrado relevante não somente para redução do custo da restauração, como para obter melhores resultados.

Os resultados do projeto não se limitam a recuperação das matas ciliares, mas principalmente na formação de capacidades das instituições e da criação do Programa Replantando Vida. Segundo depoimento da coordenação técnica (informação verbal[82]), no início do projeto, a CEDAE ainda não dispunha de viveiros florestais próprios, e as mudas florestais eram adquiridas. A partir do Replanta Macacu, a CEDAE implantou diversos viveiros florestais, e já no segundo e terceiro ano do projeto, foram utilizadas mudas produzidas pela companhia, sendo as sementes coletadas em parceria com a REGUA, dentro da área da reserva. Antes do projeto, a CEDAE não tinha um corpo técnico próprio para acompanhamento das ações de restauração florestal, e a partir de concurso realizado no ano de 2011, passou a ter engenheiros florestais no quadro de funcionários da companhia.

---

[80] Entrevista realizada com professor da UFRRJ e Coordenador Técnico do Projeto Replanta Macacu, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

[81] Entrevista realizada com professor da UFRRJ e Coordenador Técnico do Projeto Replanta Macacu, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

[82] Entrevista realizada com professor da UFRRJ e Coordenador Técnico do Projeto Replanta Macacu, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

Segundo o coordenador técnico (informação verbal[83]), a iniciativa contribuiu para o fortalecimento da capacidade técnica da universidade, e possibilitou a consolidação da parceria com a CEDAE, que até hoje realizam de pesquisas e ações de capacitação em conjunto. Em função da dificuldade em obter adubo orgânico, a UFRRJ desenvolveu estudos para aproveitamento de biossólido das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) para produção das mudas, sendo essa técnica adotada para os viveiros da CEDAE, frente aos resultados positivos identificados. O projeto gerou também como resultado publicações, monografias de conclusão de curso e dissertações de mestrado, evidenciando a importância científica dos dados gerados pelo projeto.

Apesar dos bons resultados obtidos, o quantitativo de área restauradas é relativamente pequeno, e representa 0,5% do passivo de APPs a ser recuperado na bacia. Dessa forma, a contribuição da iniciativa para o aumento da provisão dos serviços ecossistêmicos relacionados à água é limitada.

6.2.1.3 Incentivo a boas práticas agropecuárias e fortalecimento de sistemas produtivos de base sustentável

As atividades agropecuárias são relevantes tanto em termos econômicos, quanto em sua representatividade e extensão no território da bacia.

Segundo o Acompanhamento Sistemático da Produção Agropecuária (ASPA) 2018, elaborado pela SEAPA, os municípios de Cachoeiras de Macacu, Guapimirim e Itaboraí apresentaram um faturamento bruto de cerca de R$ 83 milhões oriundos da atividade agropecuária, sendo cerca de R$ 59 milhões relativos à produção agrícola, R$ 16 milhões à bovinocultura de corte e R$ 8 milhões à bovinocultura de leite em 2018. Dos municípios que integram a bacia, Cachoeiras de Macacu é o que apresenta produção agropecuária mais representativa, e corresponde a 70,9% (R$ 58,8 milhões) do faturamento bruto total dos municípios (Tabelas 42 a 44). As principais produções agrícolas na região são a goiaba, aipim, milho verde e banana, que representam cerca de 63,6% do faturamento bruto de 2018 da região, sendo responsáveis por 61,1% do

[83] Entrevista realizada com professor da UFRRJ e Coordenador Técnico do Projeto Replanta Macacu, Rio de Janeiro, no dia 16/12/2019.

faturamento bruto do município de Cachoeiras de Macacu, 83,6% de Guapimirim e 23,9% de Itaboraí .

Tabela 42 – Produção agrícola em 2018 por município

Município	Número de produtores	Área de produção (ha)	Faturamento bruto (R$)
Cachoeiras de Macacu	1.744	2.906,6	R$ 45.081.160,00
Guapimirim	186	912,3	R$ 11.148.365,00
Itaboraí	184	155,8	R$ 2.845.400,00
Total	2.114	3.975	R$ 59.074.925,00

Nota: Acompanhamento Sistemático da Produção Agropecuária – ASPA 2018
Fonte: SEAPA, 2019.

Tabela 43 – Faturamento da bovinocultura de corte em 2018 por município

Município	Número de produtores	Rebanho (nº de cabeças)	Produção de carne (T)	Faturamento bruto (R$)
Cachoeiras de Macacu	180	19.144	957	R$ 8.579.348,15
Guapimirim	36	18.197	910	RS 8.458.235,19
Itaboraí	202	16.004	800	R$ 7.268.483,33
Total	418	53.345	2.667	R$15.847.831,48

Nota: Relatório Bovinocultura: pecuária de leite/corte 2018
Fonte: SEAPA, 2019.

Tabela 44 – Faturamento da bovinocultura de corte em 2018 por município

Município	Número de produtores	Rebanho (nº de cabeças)	Área de pastagem (m^2)	Produção total de leite (l)	Faturamento bruto (R$)
Cachoeiras de Macacu	122	12.763	4.421	4.308.657	R$ 5.197.763,40
Guapimirim	52	7.855	2.011	1.905.220	R$ 2.557.966,00
Itaboraí	16	10.500	750	240.000	R$ 288.000,00
Total	190	31.118	7.182	6.453.877	R$ 8.043.729,40

Nota: Relatório Bovinocultura: pecuária de leite/corte 2018
Fonte: SEAPA, 2019.

Os usos agropecuários correspondem a mais de 30% do território da bacia, sendo 27,6% de pastagens e 4,7% de culturas agrícolas. Dessa forma, ações e iniciativas relacionadas à disseminação de boas práticas e ao fortalecimento de sistemas produtivos de base sustentável na bacia são relevantes, tanto para o aumento da renda e qualidade de vida, como para melhoria das condições ambientais e para proteção, recuperação ou aumento da provisão dos serviços ecossistêmicos.

No entanto, segundo o Censo Agropecuário 2017 do IBGE (2019), somente 74 dos estabelecimentos agropecuários declaram fazer agricultura e/ou pecuária orgânica nos municípios inseridos na bacia, o que corresponde a menos de 3% do total dos declarantes. A produção convencional representa a prática adotada por 97,4% dos

estabelecimentos agropecuários (Tabela 45). Em relação ao uso de práticas conservacionistas da água e do solo, cerca de 1.856 estabelecimentos agropecuários (58,8% do total) declararam não adotar nenhuma prática. Dentre as práticas disseminadas, destacam-se a prática de rotação de culturas, adotada por 729 estabelecimentos, e o pousio, por 325 estabelecimentos, correspondendo a 22,8% e 10,2% do total de declarantes. As demais práticas, tais como recuperação de matas ciliares, nascentes e de encostas, são adotadas por menos de 5% dos declarantes (Tabela 46).

Segundo o Censo Agropecuário, a assistência técnica aos produtores é deficiente na região. Cerca de 82% dos estabelecimentos agropecuários (2.259) declararam não receber nenhuma assistência técnica. Daqueles que são assistidos, 49,7% (285 estabelecimentos) conta com assistência técnica própria, e 48,3% recebe assistência técnica do governo (277 estabelecimentos) (Tabela 47).

O contexto apresentado ressalta a importância de iniciativas relacionadas ao desenvolvimento rural sustentável e adoção de boas práticas. Em 5.3.4.1 e 5.3.4.2, são apresentadas as principais iniciativas identificadas, concluídas, em execução ou a iniciar, na Bacia do rio Guapi-Macacu.

Tabela 45 – Número de estabelecimentos agropecuários que fazem agricultura e pecuária orgânica

Município	nº total estab. agrop.	Agricultura/ pecuária orgânica				
		não faz	faz	faz para produção vegetal	faz para produção animal	faz para produção vegetal e animal
Cachoeiras de Macacu	2.154	2.121	33	30	1	2
Guapimirim	245	215	30	25	1	4
Itaboraí	448	437	11	10	1	-
Total	2.847	2.773	74	65	3	6

Tabela 46 – Número de estabelecimentos agropecuários que adotam práticas de conservação do solo

Município	Plantio em nível	Rotação de culturas	Pousio ou descanso dos solos	Proteção de encostas	Restaur. mata ciliar	Restaur. nascentes	Estabil. voçoro-cas	Manejo florestal	Outra	Nenhuma
Cachoeiras de Macacu	27	653	282	24	37	36	1	6	16	1317
Guapimirim	5	59	35	14	12	13	-	19	12	159
Itaboraí	11	17	8	9	4	2	2	2	35	380
Total	43	729	325	47	53	51	3	27	63	1.856

Tabela 47 – Número de estabelecimentos agropecuários que recebem assistência técnica e origem da assistência

Município	Número de estabelecimentos agropecuários										
	nº total estab. agrop.	Recebe assistência técnica		Origem da assistência técnica							
		Sim	Não	ONG	Sist. S	Cooper.	EI	EPJ	Governo	Própria	Outra forma
Cachoeiras de Macacu	2.154	396	1758	-	-	5	13	-	158	229	1
Guapimirim	245	88	157	8	6	3	1	1	62	29	6
Itaboraí	448	90	344	-	-	-	-	4	57	27	3
Total	2.847	574	2.259	8	6	8	14	5	277	285	10

Nota: Censo Agropecuário 2017. ONG – Organização não governamental. EI – Empresas integradas. EPJ – Empresas privadas e Planejamento. Cooper. – Cooperativas. Sist. S – Sistema S (SENAR, SEBRAE, etc.)
Fonte: IBGE, 2019.

6.2.1.3.1 Plano ABC e Plano ABC-RJ

O Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC) é um dos planos setoriais vinculados à Política Nacional sobre Mudança do Clima, instituída pelo Decreto nº 7.390/2010. O Plano ABC tem por finalidade a organização e o planejamento das ações a serem realizadas para a adoção das tecnologias de produção sustentáveis no setor agropecuário, sendo gerido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Para tanto, disponibiliza linha de financiamento em crédito de Agricultura de Baixo Carbono (ABC), que podem ser destinados a projetos de investimentos para recuperação de pastagens degradadas (ABC Recuperação); implantação e melhoramento de sistemas orgânicos de produção agropecuária (ABC Orgânico), de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ABC Integração), de manejo de florestas comerciais (ABC Florestas), dentre outros.

Segundo relatório elaborado pela FIRJAN (2019), a criação do plano estadual surgiu ano de 2016 como demanda do setor empresarial e de agricultores da Região Centro Sul Fluminense, de modo a viabilizar a realização de capacitações para acesso aos recursos de financiamento de crédito disponibilizados pelo governo federal. Até 2017, o Rio de Janeiro era um dos poucos estados que ainda não havia aprovado o plano correspondente.

A mobilização do setor culminou na publicação Decreto Estadual nº 45.892/2017, que instituiu o grupo gestor para elaboração do Plano Estadual de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura no estado do Rio de Janeiro – Plano ABC-RJ. Segundo o Decreto, o grupo gestor conta com a participação de onze instituições colaboradoras, sob a coordenação da Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento (SEAPA). A secretaria executiva do grupo foi exercida pela FIRJAN durante o ano de 2017 e 2018 (FIRJAN, 2019).

O lançamento do Plano ABC-RJ aconteceu 07 de março de 2018, tendo como prioridades a divulgação do plano e ações de sensibilização, capacitação, assistência técnica e extensão rural (FIRJAN, 2019). Foram realizados de eventos regionais de mobilização (Três Rios, Nova Friburgo, Itaperuna, Campos dos Goytacazes, Paty de Alferes, Sapucaia) que alcançaram 260 pessoas. As capacitações técnicas foram realizadas no escopo do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), e as capacitações financeiras realizadas pelo Banco do Brasil (ibidem).

Segundo relatório da secretaria executiva do grupo gestor (FIRJAN, 2019), o Banco do Brasil oferece linhas de crédito ABC, principalmente na atividade agropecuária de grande porte e o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF) com foco de atividades de pequeno porte. Na época, os encargos financeiros na Safra 2018/2019 eram de 6,00 % ao ano ou 5,25% ao ano para Reserva Legal / APP, e para o PRONAF, entre 2,5% e 5,5% ao ano. Foram liberados no período de 01/05/2018 à 22/11/2018, um valor total de R$ 10.296.704,00 para financiar 128 projetos com práticas consideradas como agricultura de baixa emissão de carbono no Rio de Janeiro (ibidem).

No estado do Rio de Janeiro, o valor total dos contratos até o ano safra 2016/2017 era da ordem de R$ 5 milhões, frente a um histórico de diminuição anual. Segundo relato de técnico da FIRJAN (informação verbal[84]), o resultado alcançado em 2018 para o estado evidencia a importância de ações de capacitação em projetos no âmbito dos programas contemplados pela ABC nacional e consequente melhoria dos projetos para conseguir aumentar o acesso aos recursos financeiros disponíveis.

[84] Entrevista realizada com funcionário da FIRJAN e membro do conselho gestor do Plano ABC-RJ, Rio de Janeiro, no dia 18/12/2019.

Apesar do potencial do programa, os resultados para os municípios da bacia são pouco expressivos. Identificou-se a aprovação de apenas 6 projetos e o acesso a R$ 278.783,29 para o município de Cachoeiras de Macacu desde a implementação do Programa ABC[85], o que pode estar relacionado ao fato da região não ter sido contemplada nas ações de capacitação promovidas em 2018.

Segundo relato de membro do conselho gestor do Plano ABC-RJ (informação verbal[86]), um outro aspecto de atenção é que os valores acessados no estado do Rio de Janeiro se destinavam exclusivamente para a recuperação de pastagens. Apesar do Programa ABC disponibilizar linhas de crédito para produção orgânica, Integração Lavoura, Pecuária e Floresta (ILPF) e manejo de florestas, as mesmas não foram acessadas. Esse é um indicativo da carência e da demanda por ações de capacitação e extensão rural direcionadas e intensivas para disseminação desses sistemas produtivos e práticas. Para o entrevistado, uma das possíveis barreiras para a expansão do manejo florestal no estado é o marco legal da silvicultura, que deve ser revisado (informação verbal[87]).

Constatou-se que a variação da taxa de juros e o acesso a capacitação técnica e financeira são fatores que influenciam de forma direta os resultados do Plano ABC-RJ. Para o entrevistado, as taxas de juros devem ser atrativas ao produtor, e a ausência de assistência dificulta e muitas das vezes inviabiliza o acesso ao financiamento (informação verbal[88]). Outra lacuna relatada foi a ausência de indicadores de monitoramento e quantificação dos resultados, tanto na avaliação do cumprimento e/ou qualidade das intervenções realizadas, quanto na quantificação da redução das emissões ou sequestro de carbono. As lacunas e gargalos identificados convergem com os apontamentos na literatura sobre desafios nacionais do Programa ABC (FOLLADOR, 2017; GURGEL, 2017).

---

[85] Dados obtidos em consulta da base de dados do Banco Central do Brasil para o período de 01/01/2013 a 07/07/2019.

[86] Entrevista realizada com funcionário da FIRJAN e membro do conselho gestor do Plano ABC-RJ, Rio de Janeiro, no dia 18/12/2019.

[87] Entrevista realizada com funcionário da FIRJAN e membro do conselho gestor do Plano ABC-RJ, Rio de Janeiro, no dia 18/12/2019.

[88] Entrevista realizada com funcionário da FIRJAN e membro do conselho gestor do Plano ABC-RJ, Rio de Janeiro, no dia 18/12/2019.

6.2.1.3.2 Programa Rio Rural

O Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável do Rio de Janeiro (RIO RURAL) é um programa governamental que tem como objetivo reverter a pobreza rural e a degradação ambiental, por meio da transição da agricultura convencional para sistemas agroecológicos, apoiando o aumento da renda dos pequenos proprietários, a recuperação ambiental e o aumento da resiliência e biodiversidade em paisagens rurais (HISSA et al., 2019).

Inicialmente executado como um projeto piloto e, posteriormente transformado em uma política pública de desenvolvimento rural sustentável, foi desenvolvido desde 2006 pela Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro (SEAPA), por meio de sua Superintendência de Desenvolvimento Sustentável, contando com o apoio e financiamento do *Global Environment Facility* (GEF) (2006-2011) e do Banco Mundial (2009-2018) (ibidem).

A metodologia adotada é baseada no desenvolvimento rural comunitário em microbacias hidrográficas, com o fortalecimento das organizações rurais e das instâncias decisórias em níveis local, municipal e regional, fortalecendo o sentido de governança e gestão social do projeto pelos beneficiários (SEAPA, 2009). Segundo Manual Operacional do projeto, os recursos financeiros são destinados a projetos individuais e coletivos, com práticas de incentivo à transição agroecológica dos sistemas produtivos, de adequação ambiental das propriedades, de gestão hídrica e de conservação de estradas rurais. A autonomia das ações do projeto tem sido construída através dos coinvestimentos e do amplo estabelecimento de parcerias. Os investimentos nos subprojetos propostos são priorizados pelas comunidades rurais conforme regras, limites e linhas de incentivos rurais acordados com o Banco Mundial (ibidem). Cada beneficiário deve voluntariamente acessar os incentivos financeiros do programa, concordando em adotar práticas produtivas e ambientais sustentáveis. Os subprojetos executivos são divididos em quatro categorias principais (HISSA et al., 2019). :

(i) subprojetos produtivos sustentáveis, ou seja, para intensificação sustentável, agregação de valor e desenvolvimento de cadeias de suprimento;

(ii) subprojetos ambientais, ou seja, apoiar a adequação ambiental de fazendas e a transição agroecológica;

(iii)estradas rurais; e

(iv)gerenciamento de água.

Segundo dados extraídos da base de dados do Programa Rio Rural em 26/12/2019, na área de estudo, das 18 microbacias inseridas na área de estudo, 8 foram trabalhadas pelo programa (Apêndice H). A Tabela 48 sintetiza os principais resultados do Programa Rio Rural na Bacia do rio Guapi-Macacu. Ao total, foram apoiados 65 subprojetos executivos ambientais, totalizando um investimento de cerca de 120 mil reais, com 27,6 hectares de áreas manejadas, dos quais 19,9 hectares correspondem a recuperação de nascentes e áreas de recarga, e 7,7 hectares a implantação de sistemas agroflorestais. Não foi possível realizar a espacialização das áreas em função da limitação da base de dados disponível.

Segundo relatos de funcionários da SEAPA (informação verbal[89]), o programa foi iniciado no ano de 2016 nos municípios da bacia, e encerrado em 2018, e o baixo quantitativo de recursos aplicados e de resultados alcançados na Bacia do rio Guapi-Macacu, em comparação ao panorama estadual, pode estar associado à implementação tardia do programa e ao curto período de execução. Dentre os aspectos para melhoria, apontou-se que o programa não adota ações de monitoramento e avaliação sistemática das áreas de restauração, o que dificulta a análise sobre a qualidade dos resultados e do efetivo impacto ambiental.

[89] Entrevista realizada com técnicos da Secretaria de Desenvolvimento Sustentável da SEAPA envolvidos com a execução do Programa Rio Rural, Rio de Janeiro, no dia 12/07/2019.

Tabela 48 – Investimentos do Programa Rio Rural em subprojetos ambientais na Bacia do rio Guapi-Macacu (continua)

Município	Microbacia	Tipo de projeto	N° de projetos	Valor aplicado (R$)	Área (ha)
Itaboraí	**Macacu**	Proteção de área de recarga (isolamento)	1	R$ 2.800,00	1,6
		Proteção de nascentes (isolamento)	3	R$ 4.360,00	1,2
		Recuperação de área de recarga (plantio)	1	R$ 5.200,00	1,0
		Recuperação de mata ciliar	2	R$ 6.430,00	1,2
		Subtotal da microbacia	***7***	***R$ 18.790,00***	***5,0***
		Subtotal do município	**7**	**R$ 18.790,00**	**5,0**
Guapimirim	**Iconha**	Proteção de nascentes (isolamento)	7	R$ 6.925,30	2,0
		Recuperação de mata ciliar	7	R$ 8.970,00	1,5
		Sistema Agroflorestal	5	R$ 8.199,00	1,5
		Subtotal da microbacia	***19***	***R$ 24.094,30***	***5,0***
	Rio Guapimirim-Macacu	Recuperação de mata ciliar	5	R$ 3.480,00	0,6
		Sistema Agroflorestal	5	R$ 5.580,00	1,2
		Subtotal da microbacia	***10***	***R$ 9.060,00***	***1,8***
		Subtotal do município	**29**	**R$ 33.154,30**	**6,8**
Cachoeiras de Macacu	**Rio Caboclo**	Recuperação de mata ciliar	2	R$ 1.856,00	0,5
		Subtotal da microbacia	**2**	**R$ 1.856,00**	**0,5**
	Rio Cassiano	Sistema Agroflorestal	2	R$ 7.400,00	1,5
		Proteção de nascentes (isolamento)	1	R$ 2.800,00	1,0
		Recuperação de mata ciliar	1	R$ 1.800,00	0,5
		Subtotal da microbacia	***4***	***R$ 12.000,00***	***3,0***
	Rio do Mato	Sistema Agroflorestal	1	R$ 920,00	0,5
		Manutenção de restauração florestal	1	R$ 960,00	-
		Proteção de área de recarga (isolamento)	2	R$ 4.920,00	1,6
		Proteção de nascentes (isolamento)	1	R$ 2.800,00	1,0
		Recuperação de mata ciliar	1	R$ 2.570,00	0,5
		Subtotal da microbacia	***6***	***R$ 12.170,00***	***3,6***
	Rio Rabelo	Adequação ambiental da propriedade	1	R$ 4.200,00	-
		Manutenção de restauração florestal	1	R$ 1.280,00	-
		Proteção de área de recarga (isolamento)	4	R$ 11.200,00	3,2
		Proteção de nascentes (isolamento)	1	R$ 2.000,00	0,6
		Recuperação de área de recarga (plantio)	1	R$ 1.200,00	0,5
		Sistema agroflorestal	2	R$ 8.512,00	1,5
		Subtotal da microbacia	***10***	***R$ 28.392,00***	***5,8***

Tabela 48 – Investimentos do Programa Rio Rural em subprojetos ambientais na Bacia do rio Guapi-Macacu (conclusão)

Município	Microbacia	Tipo de projeto	Nº de projetos	Valor aplicado (R$)	Área (ha)
Cachoeiras de Macacu	Rio Soarinho	Manutenção de restauração florestal	3	R$ 3.134,00	-
		Proteção de nascentes (isolamento)	1	R$ 2.500,00	0,8
		Recuperação de área de recarga (plantio)	1	R$ 2.400,00	0,6
		Sistema Agroflorestal	1	R$ 920,00	0,5
		Subtotal da microbacia	***6***	***R$ 8.954,00***	***1,9***
	Rio Bengala	Sistema Agroflorestal	1	R$ 4.600,00	1,0
		Subtotal da microbacia	***1***	***R$ 4.600,00***	***1,0***
	Subtotal do município		**29**	**R$ 67.972,00**	**15,8**
Total da Bacia do rio Guapi-Macacu			**65**	**R$ 119.916,30**	**27,6**

Notas: Dados extraídos da base de dados do Programa Rio Rural em 26/12/2019.

6.2.1.4 Instrumentos econômicos associados aos serviços ecossistêmicos

6.2.1.4.1 Pagamento por Serviços Ambientais

Por meio do Decreto Estadual nº 42.029/2011, que institui o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, os proprietários ou possuidores de imóveis rurais que adotam práticas que favoreçam a conservação e recuperação ambiental podem ser retribuídos pelos benefícios que geram para toda a sociedade através do mecanismo de PSA. O pagamento por serviços ambientais constitui uma transação voluntária entre um provedor (proprietário rural) e pagador, na qual o provedor deverá assegurar a provisão do serviço ambiental por meio de práticas e ações de recuperação e conservação ambiental.

Segundo o Decreto, são considerados serviços ambientais passíveis de retribuição as práticas e iniciativas de proprietários rurais do estado do Rio de Janeiro que favoreçam a conservação, a manutenção, a ampliação ou a restauração dos serviços ecossistêmicos de melhoria da disponibilidade quali-quantitativa, conservação da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas. Os investimentos do Programa Estadual de PSA devem priorizar, ainda, as áreas rurais e os mananciais de abastecimento público.

O mecanismo de PSA tem sido adotado em diversas Regiões Hidrográficas no estado do Rio de Janeiro como uma estratégia para promover ações de proteção e recuperação dos recursos hídricos. No ano de 2019, segundo o Cadastro Estadual de PSA, registrou-se nove projetos de PSA em execução em território fluminense, beneficiando 18 municípios, cujos investimentos previstos totalizam mais de R$ 40 milhões (INEA, 2020). As iniciativas são executadas por um conjunto de instituições, e são financiadas por fontes de financiamento distintas, envolvendo o poder público, Comitês de Bacia Hidrográfica e organizações da sociedade civil, dentre outros. Dos 9 projetos de PSA existentes, 8 envolvem CBHs, com aporte de recursos do FUNDRHI, o que destaca a relevância desses organismos colegiados para a implantação do instrumento (ibidem).

A Bacia do rio Guapi-Macacu apresenta um conjunto de características que tanto favorecem a adoção desse instrumento, quanto a tornam uma área muito prioritária para intervenção, conforme detalhado no item 5.2. No entanto, até janeiro de 2020, não se identificou nenhum esquema de PSA em execução na bacia no Cadastro Estadual de PSA (INEA, 2020).

O INEA, em 2016, celebrou o Acordo de Cooperação nº 003/2016 com a ANA para implementação do Programa Produtor de Água no estado do Rio de Janeiro. Segundo a Resolução CBH-BG n° 041/2016, foi autorizada em 2016 a aplicação de recursos financeiros da rubrica do "Programa PSA/Fundo de boas práticas e reflorestamento" para implementação do projeto "Produtor de Água da Bacia do rio Guapi-Macacu". No entanto, a crise fiscal e orçamentária que atingiu o Estado veio a comprometer a regularidade jurídica, fiscal, econômico-financeira e/ou administrativa do governo, sendo os repasses dos recursos da União para implementação do Programa Produtor de Água inviabilizados por pendências no CAUC.

O município de Cachoeiras de Macacu aprovou a Lei nº 2.280/2016, que institui o programa municipal de pagamento por serviços ambientais. Segundo depoimento de técnico da prefeitura de Cachoeiras de Macacu (informação verbal[90]),o município também submeteu projeto de PSA no edital do Programa Produtor de Água, no entanto, vem enfrentando dificuldades frente a crise fiscal e pendências no CAUC.

Através do contrato INEA nº 02/2017, foi contratada a entidade delegatária do CBH-BG, e no ano de 2019, o CBH-BG elaborou seu planejamento estratégico, a partir da revisão do seu Plano Plurianual (PAP), da contratação da revisão do Plano de Bacias do CBH-BG e da organização das ações por meio de 8 macroprogramas, sendo um deles o de Infraestrutura Verde. Segundo a Resolução CBH-BG n.º 068/2019, que revisa o PAP 2019-2022, os recursos financeiros para as ações de infraestrutura verde encontram dispostos no Componente 3 – Melhoria das condições ambientais. O valor total das ações de infraestrutura verde é de R$ 839.861,16, prevendo recursos de R$ 251.958,35 para o subcomitê Leste[91]. O planejamento estratégico do CBH-BG define como ações prioritárias implementar projetos de PSA e promover a restauração florestal, buscando com sinergia com TAC e programas existentes nas sub-bacias (CBH-BG, 2019).

Conforme registro de reunião do GT de infraestrutura verde do Subcomitê Leste realizada em 15/08/2019, foi autorizada a aplicação de recursos financeiros ao projeto Produtor de Água para a bacia, sob coordenação do INEA e SEAPA. Segundo técnicos do INEA e SEAPA, o projeto encontra-se em fase de elaboração de termo de referência, não havendo repasse de recursos até janeiro de 2020.

[90] Entrevista realizada com funcionário da Prefeitura de Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.
[91] Informações prestadas na Carta CBG-BG nº 098/2019 de 26/08/2019.

Dessa forma, observa-se que historicamente o CBH-BG vem apoiando a proposição de ações para implantação do PSA, no entanto, gargalos institucionais, especialmente a crise fiscal do Estado e dos municípios, vem dificultando a sua efetivação pelo poder público.

6.2.1.4.2 Certificação e rotulagem ambiental

Segundo Gartner et al. (2013), outro importante mecanismo de financiamento de SbN para proteção de mananciais de abastecimento são os mecanismos baseados em mercado, tais como certificação e rotulagem ambiental. A certificação é concedida a produtores e empresas que, nos métodos e processos de geração e produção, respeitam os dispositivos legais referentes às questões ambientais e apresentam determinados procedimentos exigidos pelo órgão certificador. A rotulagem ambiental, por sua vez, é um instrumento econômico e de comunicação com o mercado consumidor acerca de produtos de menor impacto ambiental e com características benéficas, em relação aos demais produtos concorrentes disponíveis no mercado (MOURA, 2013a). Iniciativas que alavancam a preferência do consumidor e a disposição de pagar mais por esses bens fornecem incentivos para que os proprietários usem práticas sustentáveis, sendo uma forma de compensação.

Não foram encontrados dados oficiais que sistematizassem informações sobre esses mecanismos, de modo a caracterizar e analisar os mesmos, constituindo uma importante lacuna de informações. Segundo depoimento de técnico da prefeitura de Cachoeiras de Macacu (informação verbal[92]) e de pesquisador da EMBRAPA (informação verbal[93]) envolvidos com o tema, há um grupo de produtores orgânicos no município de Cachoeiras de Macacu que adotam o Sistema Participativo de Garantia (SPG) para certificação de conformidade orgânica, no entanto, segundo depoimento dos mesmos, há gargalos na comercialização dos produtos, além da carência de assistência e apoio técnico. Outra dificuldade apontada nos relatos é a ausência de mecanismos de apoio a transição agroecológica no estado, de modo a incentivar e viabilizar o processo gradual de mudanças do sistema produtivo convencional para produção agroecológica e orgânica. No estado de São Paulo, por exemplo, o poder público emite um

[92] Entrevista realizada com funcionário da Prefeitura de Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.
[93] Comunicação com pesquisador da EMBRAPA, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.

certificado ou declaração reconhecendo produtores que aderem ao protocolo de transição agroecológica (CODEAGRO-SP, 2019).

6.2.1.4.3 Cota de Reserva Ambiental (CRA)

O Art. 44º da Lei nº 12.651/2012 institui a Cota de Reserva Ambiental (CRA[94]), que possibilita que a área excedente da Reserva Legal de um imóvel rural seja utilizada para fins de compensação do déficit de outros imóveis rurais. O Decreto nº 9.640/2018, que regulamenta o CRA, define no Art. 29º que a cota pode ser emitida e utilizada também para outros usos, como a aquisição de cotas para provisão de serviços ambientais pela sociedade, empresas, dentre outros. Cabe ao Serviço Florestal Brasileiro (SFB), emitir o título e realizar seu registro em bolsas de mercadorias de âmbito nacional ou em sistemas de registro e de liquidação financeira de ativos autorizados pelo Banco Central do Brasil. Apesar do aspecto inovador do instrumento, até o presente momento, o SFB não emitiu nenhuma CRA, uma vez que o módulo CRA do SICAR ainda está em processo de desenvolvimento (LIMA, 2019).

O CRA tem sido objeto de questionamento e preocupação de especialistas por suas possíveis implicações negativas e problemas de equidade (MAY et al., 2016). A possibilidade de compensação de imóveis situado no mesmo bioma, segundo Art. 48, §2º, possibilitaria que a compensação ocorra em diferentes bacias hidrográficas, estados e/ou desassociada das fitofisionomias correspondentes, sendo objeto de análise de Ação Direta de Inconstitucionalidade (ADI) pelo Supremo Tribunal Federal (STF). Além disso, áreas com maiores custos de restauração e custos de oportunidade da terra poderiam ser severamente impactados, com o abandono desta opção em detrimento de negociações de CAR em áreas mais baratas. A possibilidade de aquisição de cotas de Reserva Legal, ao invés da efetiva recuperação de áreas, pode também reduzir o potencial de aumento da cobertura florestal previsto na lei.

[94] A Cota de Reserva Florestal – CRF, emitida nos termos do art. 44-B da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, passa a ser considerada, pelo efeito desta Lei, como Cota de Reserva Ambiental. Apesar de previsto, o CRF nunca foi regulamentado pelo Governo Federal.

6.2.1.4.4 ICMS Ecológico

O ICMS Ecológico no estado do Rio de Janeiro foi criado em 2007, pela Lei Estadual nº 5.100, que alterou a lei nº 2.664 de 1996, incluindo o critério de Conservação Ambiental na divisão do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços aos municípios do estado do Rio de Janeiro. Criado para impactar positivamente a qualidade ambiental dos municípios, o ICMS Ecológico é um mecanismo tributário que garante às prefeituras que investem em conservação ambiental uma fatia maior do ICMS repassados a elas. Atualmente, o percentual a ser distribuído é de 2,5% subtraídos da parcela total do ICMS (25%) distribuída aos municípios.

Os objetivos do ICMS Ecológico são ressarcir os municípios pela restrição ao uso de seu território, no caso de unidades de conservação da natureza e mananciais de abastecimento; e recompensar os municípios pelos investimentos ambientais realizados, uma vez que os benefícios são compartilhados por todos os vizinhos, como no caso do tratamento do esgoto e na gestão adequada de seus resíduos, corroborando o princípio do protetor-recebedor originado do princípio da precaução.

Para o repasse do recurso do ICMS Ecológico aos municípios são considerados os critérios ambientais: Áreas Protegidas; Qualidade Ambiental dos Recursos Hídricos; Índice de tratamento de esgotos e índice de mananciais de abastecimento e Resíduos Sólidos. Os repasses são proporcionais às metas alcançadas nessas áreas. Ou seja, quanto melhores os indicadores, mais recursos as prefeituras recebem. A cada ano, os índices são recalculados, oferecendo aos municípios que investiram em conservação ambiental o aumento da sua participação no repasse do imposto. Após análises realizadas em cooperação técnica com os órgãos ambientais do Estado (SEAS, INEA e a Fundação CEPERJ) é publicado o Índice Final de Conservação Ambiental (IFCA), cujo cálculo, consolidação e publicação ficam a cargo da Fundação CEPERJ.

O percentual correspondente a cada componente no cálculo do Índice de Conservação Ambiental, utilizado para o repasse do ICMS Ecológico aos municípios, é: 45% para unidades de conservação; 30% para qualidade da água; e 25% para gestão dos resíduos sólidos. Cada componente temático do IFCA possui uma fórmula matemática que pondera e/ou soma indicadores. Após a obtenção dos subíndices temáticos relativos do município, estes são inseridos na seguinte fórmula, gerando o Índice Final de Conservação Ambiental do Município, que indica o percentual do ICMS Verde que cabe ao município:

IFCA (%) = (10 x IrMA) + (20 x IrTE) + (20 x IrDL) + (5x IrRV) + (36 x IrAP) + (9 x IrAPM)

Sendo:

IrMA = Índice relativo de Mananciais de Abastecimento
IrTE = Índice relativo de Tratamento de Esgoto
IrDL = Índice relativo de Destinação Final de Resíduos Sólidos Urbano
IrRV = Índice relativo de Remediação de Vazadouros
IrAP = Índice relativo de Área Protegida
IrAPM = Índice relativo de Áreas Protegidas Municipais.

O IFCA é recalculado a cada ano, oferecendo aos municípios que investiram em conservação ambiental oportunidade para aumentar sua arrecadação de ICMS. Para aumentar seu IFCA, o município precisa saber como é realizado o cálculo, quais variáveis podem ser consideradas e como ampliar o seu repasse a partir de diagnósticos sobre o potencial de arrecadação do município para cada variável.

Para beneficiar-se dos recursos, cada município deve organizar seu próprio Sistema Municipal do Meio Ambiente, composto no mínimo por um Conselho Municipal do Meio Ambiente, um Fundo Municipal do Meio Ambiente, um órgão administrativo executor da política ambiental municipal e da Guarda Municipal Ambiental. Neste último, o Decreto n° 43.284/2011 estabelece requisitos relativos à Guarda Municipal Ambiental, para efeito de repartição do ICMS Ecológico.

A Bacia do rio Guapi-Macacu atende aos critérios do IrMA, por abastecer municípios que estão fora de sua bacia hidrográfica, e representou no ano de 2019 – ano fiscal 2020 um quarto do valor total do Índice para o Estado (Cachoeiras de Macacu – 21,84%, Guapimirim – 3,01%, e Itaboraí – 1,1 %) (CEPERJ, 2019) (Tabela 49). O IrMA é um diferencial do ICMS Ecológico Estadual, e pode vir a ser aprimorado incluindo critérios que visem incentivar a proteção efetiva dessas áreas pelos municípios, como aqueles associados ao grau de conservação ou degradação dos mananciais. Atualmente, o Índice considera somente o fato de o município abrigar em seu território áreas de drenagem de mananciais de abastecimento público.

A regulamentação do ICMS Ecológico no estado do Rio de Janeiro foi atualizada pelo Decreto Estadual nº 46.884, de 19 de dezembro de 2019. Com o novo decreto, este mecanismo beneficiará com uma bonificação os municípios que investirem os recursos recebidos pelo ICMS Ecológico no Fundo Municipal de Meio Ambiente, o que pode gerar incentivos para financiamento de projetos e ações para conservação e recuperação ambiental nos municípios.

Tabela 49 – Valor de repasse do ICMS ecológico em 2019

Munícipio	Valor Total de repasse do ICM em 2019		IrAP		IrAPM		IrMA	
	Valor (R$)	%*	Valor (R$)	%*	Valor (R$)	%*	Valor (R$)	%*
Cachoeiras de Macacu	R$10.821.403,66	4,8	R$3.058.342,85	3,8	R$244.845,35	1,2	R$4.920.028,82	21,8
Guapimirim	R$4.397.905,42	2,0	R$2.917.487,56	3,6	R$386.202,47	1,9	R$679.593,96	3,0
Itaboraí	R$1.265.960,52	0,6	R$314.038,06	0,4	R$0,00	0,0	R$246.251,84	1,1
Total Estado	R$225.249.999,98	-	R$81.090.000,00	-	R$20.272.500,00	-	R$22.524.999,98	-

Nota: Base de dados da Fundação CEPERJ, 2019. * A coluna "%" representa percentual em relação ao total repassado para os 92 municípios do estado. IrAP = Índice relativo de Área Protegida. IrAPM = Índice relativo de Áreas Protegidas Municipais. IrMA = Índice relativo de Mananciais de Abastecimento.
Fonte: A autora, 2020.

6.2.1.5 Controle da poluição difusa

Foram encontradas poucas informações relacionadas às ações de controle da poluição difusa na bacia, limitando-se a informações oficiais de projetos com recursos públicos aprovados, e que ainda estão em vias de serem executados.

A Resolução CBH-BG n.º 059/2018 aprovou a aplicação de R$ 500.000,00 para ações de saneamento rural no Subcomitê Baía de Guanabara – Trecho Leste, contemplando a instalação de fossas sépticas e/ou biodigestoras em propriedades rurais. A minuta do Edital de Chamamento público aos municípios inseridos na porção leste da Baía de Guanabara, área de abrangência do projeto, encontra-se em análise pelo Grupo de Acompanhamento do projeto de saneamento do subcomitê Baía de Guanabara – Trecho Leste[95]. Dessa forma, não houve o repasse de recursos ou intervenções realizadas até o presente momento.

Segundo informações de técnicos da Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu (informação verbal[96]), foram instalados (i) 631 sistemas individuais de saneamento rural com fossa e filtro[97], e (ii) dois biodigestores, em áreas rurais das localidades de Japuíba e de Castália. Segundo relatado, os biodigestores tem capacidade para atendimento de até 35 famílias ou 140 pessoas por unidade, e foram instalados no ano de 2018. A ação foi viabilizada por meio de parceria da prefeitura com a ONG Campo, responsável pela captação de recursos, e com a ONG Projeto Papucaia, responsável pela articulação social e execução técnica. A prefeitura investiu

[95] Informações prestadas na Carta CBG-BG nº 098/2019 de 26/08/2019.

[96] Entrevista realizada com funcionário da Prefeitura de Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.

[97] A Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu deve fornecer esgotamento sanitário individual, coletivo ou público, vide Instrução Normativa SEMA 01, de 04 de maio de 2017.

cerca de R$ 20 mil reais para instalação da rede, além de ser responsável pela mão de obra para construção e manutenção dos sistemas.

6.2.1.6 Fortalecimento de capacidades

6.2.1.6.1 Oásis Lab Baía de Guanabara

O Oásis Lab Baía de Guanabara é uma iniciativa da Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, com parceria da FIRJAN e INEA. Lançado em 2019, teve como objetivos identificar e alavancar ações de SbN para aumento da segurança hídrica e segurança costeiro-marinha, promovendo o desenvolvimento econômico e o bem-estar social (REDE OÁSIS, 2020a).

Para tanto, adotou o formato de Lab de Inovação Multiatores, de modo a promover o engajamento de diversos atores (poder público, academia, setor privado, setor financeiro, sociedade civil organizada, mídia, comunidade, etc.) para criação de redes de colaboração e a aceleração de iniciativas e projetos integrados, novos ou já existentes (ibidem).

A atuação do Lab de Inovação foi orientada a partir de um diagnóstico realizado pelos membros das instituições idealizadoras em relação aos problemas da RH V, a identificação de entraves e barreiras para a agenda e definição das alavancas a serem abordadas pelo Oásis Lab. O diagnóstico identificou os seguintes entraves para as SbN (REDE OÁSIS, 2019):

- Falta de financiamento de curto ou contínuo/de longo prazo: indisponibilidade de recursos e falta de prioridade política para as SbN;
- Alto custo das SbN: considerando o elevado passivo ambiental e demanda por conservação, recuperação e manejo sustentável dos ecossistemas, a redução dos custos é fundamental para o ganho de escala. Os maiores custos envolvem:
    - Restauração florestal: custos elevados por hectare, com destaque para as atividades de manutenção;
    - Custos de transação: os projetos, de modo geral, para além da intervenção, envolve esforços de coordenação e contratação de serviços, mobilização de proprietários, monitoramento dos resultados e impactos, comunicação e

sensibilização, dentre outros. Isso torna difícil captar recursos para todos os elos do programa.

- Ausência de gestão integrada e da construção de visão comum entre os atores envolvidos sobre o tema;
- Ambiente pouco favorável para parceria entre os atores;
- Necessidade de maior sensibilização da sociedade, dos atores e tomadores de decisão em relação à importância das SbN;
- Alta resistência de proprietários rurais em aderir às SbN;
- Conflitos entre SbN e infraestrutura cinza: a "falsa" oposição entre as soluções dificulta o diálogo dos setores e a proposição de soluções integradas;
- Falta de projetos bem elaborados e com foco em SbN;
- Dificuldade em mensurar resultados dos investimentos e comprovar a eficácia das SbN: necessidade de adaptar a linguagem e a forma de apresentação dos benefícios para viabilizar financiamento do setor privado.

Com base dos desafios mapeados, foram selecionadas as seguintes alavancas a serem abordadas pelo Oásis Lab (REDE OÁSIS, 2020a):

- Demonstrar os benefícios das SbN para garantir a segurança hídrica;
- Sensibilizar e engajar a população e os diversos atores em relação aos desafios socioambientais e suas potenciais soluções;
- Desenvolver e atrair Fontes de Financiamento para SbN;
- Construir capacidades para implementação das SbN;
- Gerar oportunidade de negócio de SbN.

Segundo relatório final da iniciativa, o Oásis Lab contou com a realização de encontros presenciais, mentorias e webinars, e contou com a participação de mais de 80 atores no Oásis Lab Baía de Guanabara, representando cerca de 60 organizações multissetoriais (REDE OÁSIS LAB, 2020b). Como resultado, foram criados 07 projetos multiatores com foco em SbN voltados para o aumento da segurança hídrica e da resiliência costeiro-marinha da Região Hidrográfica da Baía da Guanabara.

Dentre os projetos elaborados, o território da Bacia do rio Guapi-Macacu foi contemplado com propostas para disseminação de boas práticas e fortalecimento de sistemas produtivos de base sustentável, visto que esta é uma demanda social e ambiental da região. Ressaltam-se dois projetos estruturantes, de abrangência regional, que também podem beneficiar a área de estudos, que prevê a criação de um mecanismo financeiro de longo prazo;

e a proposta de criação de uma plataforma que reúna e sistematize dados sobre os benefícios das SbN e informações relevantes para o desenvolvimento de iniciativas na Baía de Guanabara (monitoramento, resultados, experiências, etc.) (ibidem).

Apesar dos resultados preliminares da iniciativa, e da necessidade da captação de recursos para viabilizar os projetos mencionados, trata-se de uma ação pioneira voltada para fortalecimento das capacidades e integração dos atores em prol das SbN no estado.

6.2.2 Análise integrada das iniciativas de SbN relacionadas à segurança hídrica e recomendações

6.2.2.1 Quanto ao arcabouço conceitual de SbN

I) Objetivo das SbN

Nem todas as iniciativas relacionadas às SbN têm como objetivo principal o aumento da provisão de serviços ecossistêmicos para a disponibilidade em quantidade e qualidade da água bruta, sendo motivadas, por exemplo, pelos objetivos principais de conservação da biodiversidade, (UCs, REGUA), mitigação de mudanças climáticas (Plano ABC-RJ) e de desenvolvimento rural sustentável (RIO RURAL). Ou seja, a segurança hídrica é um cobenefício para alguns desses projetos e programas. Dessa forma, para o avanço da agenda de segurança hídrica a partir de SbN, é importante que a concepção das políticas, medidas ou ações seja desenvolvida a partir da clareza dos seus benefícios e custos para redução dos riscos à quantidade e qualidade da água bruta, fortalecendo a adoção das SbN para o enfrentamento deste problema (UN-WATER, 2018).

II) Princípios de gestão para SbN

Quanto aos princípios de gestão para SbN, as iniciativas analisadas adotam medidas que contribuem para manter a capacidade de provisão dos serviços ecossistêmicos relacionados à água a longo prazo. Apesar de valorizarem e reconhecerem o capital natural, os custos a serem suportados pela degradação ou perda dos ecossistemas permanecem desconhecidos, e ainda não

são contabilizados. A indisponibilidade de dados relacionados ao monitoramento socioeconômico das iniciativas limitou realizar inferências em relação ao compartilhamento equitativo dos benefícios. Ser mais explícito sobre o valor dos serviços ecossistêmicos e do capital natural pode ajudar a sociedade a tomar melhores decisões abrangentes, e para tanto, requer-se maiores esforços para construção de uma base de conhecimento aprimorada (BRAAT, 2018; DE GROOT et al., 2010).

A gestão da segurança hídrica do abastecimento público do sistema Imunana-Laranjal ainda não adota um planejamento integrado e complementar da infraestrutura construída com as SbN, de forma a prover maior sustentabilidade e resiliência do sistema. Percebeu-se, por exemplo, que os esforços principais da agenda de segurança hídrica desenvolvidos no estado do Rio de Janeiro ainda se concentram no investimento em infraestruturas para aumento da disponibilidade de água bruta (reservação e transposição) e capacidade de produção de água potável (sistemas de abastecimento de água), vide item 4.2.1. Não foram identificadas ferramentas e modelos de gestão que integrem e combinem as opções de infraestrutura cinza e SbN, e observa-se que as SbN ainda são em parte negligenciadas na avaliação de políticas e no planejamento e gerenciamento da segurança hídrica. Segundo Talberth et al. (2012), nessas circunstâncias, tomadores de decisão enfrentam uma "falha de informação" em relação à magnitude e distribuição de como a natureza beneficia as pessoas. Para Nesshöver et al. (2017), são necessárias mais pesquisas e avaliações imparciais e robustas sobre as SbN, especialmente em comparação com a infraestrutura cinza, de modo a superar a inércia ou viés contra o desenvolvimento e uso de SbN.

III) Diretrizes de ação para SbN

Quanto às diretrizes de ação propostas no arcabouço conceitual, observou-se que o Brasil ainda carece de normatização e regulamentação específica voltada à segurança hídrica de mananciais de abastecimento público a partir de SbN. Segundo UN-Water (2018), normas, regulamentos, diretrizes e incentivos que regem as SbN ainda não são comuns ou uniformes no nível nacional.

Apesar disso, os conceitos encontram-se contemplados em diversas normativas relacionada à gestão integrada de recursos hídricos e à proteção dos ecossistemas e das bacias hidrográficas. No âmbito estadual, houveram importantes avanços normativos, com destaque para a criação dos instrumentos de gestão/programas PROHIDRO, PRO-PSA, e Programa

Pacto pelas Águas, voltados a proteção dos corpos hídricos e de mananciais, e do Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal (MFCF), conforme abordado no capítulo 3.

A análise da eficácia da legislação e da implementação das políticas de segurança hídrica a partir de SbN não é satisfatória, considerando a existência de passivos ambientais de recuperação de áreas de preservação permanente e de regularização dos usos da água, e da desconformidade recorrente em relação ao enquadramento dos corpos hídricos (item 4.2.1.1).

A experiência de outras bacias sugere que a legislação relacionada à proteção de mananciais isoladamente pode não ser um meio econômico para alcançar a segurança hídrica, sendo necessário considerar estratégias que atendam aos *trade-offs* implícitos (COOK, 2016). Para UN-Water (2018), muito pode ser alcançado através da promoção das SbN por meio de estruturas normativas existentes, sem requerer necessariamente grandes mudanças ou inovações na base legal existente.

Quanto a cooperação e arranjos institucionais, as instâncias de governança existentes, como o CBH-BG e a CMIG, possibilitam o desenvolvimento de políticas descentralizadas e participativas, no entanto, ainda são necessários maiores esforços para promover a cooperação intersetorial e institucional em prol das SbN. A análise das iniciativas relacionadas a SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu demonstrou o envolvimento de muitos atores e diferentes políticas setoriais (biodiversidade, agricultura, saneamento, recursos hídricos), mas as ações ainda são pontuais e limitadas no tempo, e não ocorrem de forma coordenada ou integrada.

Nesse sentido, Margerum (2011) pontua a vulnerabilidade das parcerias dependentes de indivíduos quando há rotatividade nas organizações, e da necessidade da construção de redes formais e informais que construam pontes entre participantes e organizações para promover o fluxo de informações e a tomada de decisões em conjunto. Esforços são necessários para criar compromissos e investimentos de maior prazo, promover mudança de cultura organizacional e o compartilhamento de informações, de modo a sustentar parcerias e grupos a longo prazo (MARGERUM; ROBINSON, 2015).

Além disso não há uma compreensão sobre o conjunto de iniciativas de SbN, e do universo de atores e intervenções, e das fragmentações, sobreposições e/ou lacunas de atuação e intervenção existentes entre as mesmas. Torna-se necessária a maior interação entre as instituições responsáveis pela política e atores envolvidos, com vistas a sistematizar as informações, sanar falhas comuns, integrar esforços, compartilhar conhecimento e disseminar boas práticas de gestão.

Parte das iniciativas não teve continuidade ou ampliação de investimentos na bacia, limitando-se a iniciativas-piloto, como o projeto Replanta Macacu, concluído em 2012, e o

Programa Rio Rural, concluído em 2018. Os mecanismos de financiamento analisados apresentam limitações em relação ao financiamento sustentável a longo prazo e no aporte de recursos suficientes para atuar na escala da paisagem. Com exceção das Unidades de Conservação, as iniciativas relacionadas à restauração, incentivo a boas práticas e instrumentos econômicos ainda não são aplicadas em escalas espaciais e temporais adequadas e condizentes com a demanda legal e ambiental.

Considerando o elevado passivo ambiental e demanda por conservação, recuperação e manejo sustentável dos ecossistemas, a redução dos custos das medidas de SbN é fundamental para o ganho de escala e potencialização de oportunidades de financiamento. O Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa destaca a importância de metodologias e tecnologias que reduzam os custos por hectare da recuperação (BRASIL, 2017). Custos de transação de projetos de SbN devem ser otimizados, a partir do aperfeiçoamento de metodologias de monitoramento das ações e de estratégias de mobilização de proprietários rurais, associados à adoção de novas tecnologias (GARTNER et al., 2013). Nesse sentido, estudos futuros de avaliação e comparação dos custos das iniciativas de SbN entre si e com outras experiências similares podem trazer importantes contribuições.

Considerando a relevância e extensão das atividades agropecuárias na bacia, que correspondem a mais de 30% do território (27,6% de pastagens e 4,7% de culturas agrícolas), associado a um quadro de pobreza rural, ações e iniciativas relacionadas ao manejo de agroecossistemas na bacia ainda são insuficientes. Medidas relacionadas à disseminação de sistemas produtivos de base sustentável e do fortalecimento da capacidade social das comunidades e beneficiários são tímidas.

Dessa forma, esforços são necessários para promover e fortalecer uma abordagem integrada que compatibilize os objetivos de conservação ambiental, aumento da produção e redução da pobreza rural, possibilitando que proprietários rurais se apropriem dos benefícios e também consigam viabilizar o atendimento das suas demandas e serem indutores da transformação. Mecanismos baseados em mercado, com a certificação e rotulagem ambiental, foram apontados por entrevistados[98] como de grande potencial para contribuir nesse sentido, visto que são menos onerosos por serem financiados pela disposição de pagar a mais dos consumidores. Outro aspecto a ser considerado é que programas de gerenciamento de bacias hidrográficas bem-sucedidos no mundo foram baseados em abordagens participativas e

[98] Entrevista realizada com técnico da Prefeitura de Cachoeiras de Macacu, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019; e comunicação com pesquisador da EMBRAPA, Rio de Janeiro, no dia 17/12/2019.

adequadas ao contexto local, na qual as tecnologias representam um conjunto flexível de opções para contemplar diferentes preferências dos proprietários, possibilitando investimentos mais eficientes na mudança de comportamento desejada (DARGHOUTH et al., 2008). Segundo os autores, experiências demonstram que proprietários rurais adotaram novas tecnologias, mesmo sem subsídio, somente quando elas produzem benefícios tangíveis, com risco gerenciável, e quando os mesmos tinham recursos para investir e administrá-los. De modo geral, proprietários resistem à adoção de técnicas caras, muito trabalhosas ou que não correspondem às suas prioridades.

Dessa forma, para Darghouth et al. (2008), os programas precisam de uma análise cuidadosa da dinâmica social e ambiental de uma bacia hidrográfica, para evitar falhas do projeto em um ou nos dois objetivos simultâneos de conservação e aumento da produção e renda. Os impactos ambientais da intensificação do uso de recursos precisam ser cuidadosamente analisados e mitigados, e custos na adoção de práticas de conservação devem ser acessíveis. Os autores apontam ainda a existência de *trade-offs* inevitáveis entre meios de subsistência e conservação: práticas conservacionistas nem sempre podem gerar o lucro das partes interessadas, e os interesses locais podem entrar em conflito com os objetivos de conservação. Dessa forma, esses elementos devem ser considerados para concepção de projetos de SbN bem fundamentados, e soluções criativas devem ser formuladas para equacionamento dos *trade-offs* entre as partes. Embora os incentivos, monetários ou não monetários (assistência técnica, insumos e equipamentos, serviços, etc.) sejam parte central de programas de SbN, a confiança e a compreensão dos proprietários rurais são relevantes na sua decisão de participação (GARTNER et al., 2013).

Além disso, parte dos proprietários rurais na bacia são altamente impactados por conta do assoreamento dos canais, falta de dragagem dos rios e ausência de manutenção de diques e comportas. Dessa forma, a resolução desses problemas é importante tanto para a recuperação dos corpos hídricos quanto para redução da vulnerabilidade social dessas comunidades.

Uma importante lacuna identificada é ausência de prévia definição de indicadores de acompanhamento, metas (eficácia) e impacto (efetividade) das políticas ou de cada iniciativa, a fim de permitir a avaliação desses critérios. Apesar de sua reconhecida importância do monitoramento e avaliação para subsidiar melhorias na gestão, Bagdonas et al. (2012) e Moura (2013b) apontam resistência nas instituições e dos agentes públicos ambientais para a adoção da prática, seja em função do desconforto provocado pela exposição de problemas e/ou falhas, seja pela percepção de demanda excessiva de tempo e de recursos para produzir resultados que podem ser pouco úteis e efetivos.

Segundo Assis et al. (2012), a insuficiência de informações e de monitoramento sistemático, com banco de dados e séries históricas adequadas, de sistemas de informação e a pouca integração dos sistemas existentes, constituem limitações recorrentes para o planejamento e avaliação das políticas ambientais no país. Dentre os avanços necessários para a política de segurança hídrica a partir de SbN, cabe a definição prévia de indicadores e as formas de acompanhamento da política, bem como os seus instrumentos de acompanhamento.

As SbN ainda carecem de métodos e ferramentas de monitoramento, reconhecidas e aplicáveis para quantificar os resultados projetados e medir impactos. Das iniciativas de SbN analisadas, nenhuma previu ações de monitoramento dos serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica da água bruta, portanto, não é possível estimar a magnitude dos benefícios e demonstrar o retorno de investimento dessas intervenções. Esses problemas não são exclusivos da Bacia do rio Guapi-Macacu. Em recente estudo realizado por Trémolet et al. (2019), constatou-se que a maioria dos projetos na Europa carece de estudos quantitativos sobre os benefícios das SbN para segurança hídrica, e a ausência de estudos de custo-efetividade constituindo um fator limitante para que as mesmas sejam consideradas nos programas de investimento em água.

Nesse sentido, o gerenciamento adaptativo parece ser uma estratégia apropriada, na qual ações de gestão de SbN devem ser realizadas de forma concomitante com o desenvolvimento de experimentos, geração e aumento de conhecimentos sobre os seus impactos sobre os serviços ecossistêmicos e segurança hídrica, que contribuem para o ajuste e revisões do planejamento de ações futuras.

Apesar dos impactos socioeconômicos em geral não serem o objetivo final dos programas e projetos de SbN, o monitoramento das ações implantadas contribui para compreender como os participantes percebem benefícios, custos e riscos de participação, e ajustar questões relacionadas a equidade e sustentabilidade dos programas (DARGHOUTH et al., 2008). Somente o Programa RIO RURAL apresentou monitoramento e avaliação de impactos. A EMBRAPA Solos foi responsável por monitorar parâmetros relacionados à qualidade de água, clima, solos e estoque de carbono em três microbacias no estado do Rio de Janeiro, sendo uma delas localizada na área de estudo, a microbacia de Batatal, em Cachoeiras de Macacu (SEAPA, 2016).

Quanto aos critérios de seleção e priorização das áreas de intervenção, as iniciativas não adotam critérios relacionados diretamente a um maior benefício para segurança hídrica, mas sim outros tipos de parâmetros, como priorização do atendimento da legislação ambiental, como recuperação de áreas de APP (Replanta Macacu), ou o atendimento a outros objetivos,

como áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (REGUA) e para o desenvolvimento rural sustentável (Programa Rio Rural, Plano ABC). Nesse sentido, é fundamental que a integração dessas iniciativas ocorra a partir de um planejamento geral da bacia hidrográfica, sendo capaz de gerenciar as intervenções em nível local de modo que elas contribuam para os objetivos na escala maior da área de contribuição do manancial de abastecimento.

6.2.2.2 Contribuição das SbN para segurança hídrica

Por envolver muitas instituições e setores (meio ambiente, agricultura, saneamento), incluindo iniciativas do terceiro setor, da iniciativa privada e produtores rurais, grande parte das iniciativas de SbN possuem sua análise sobre resultados e desempenhos dificultada, e devido as diferenças entre os setores e atores, é esperado que os resultados sejam heterogêneos.

As SbN já prestam importante papel para manutenção da provisão de serviços ecossistêmicos relacionados à qualidade da água e para regulação hídrica, onde 63,9% da área total da Bacia do rio Guapi-Macacu encontra-se com cobertura florestal, e 54,9% é protegida em UCs. As intervenções de SbN relacionadas à recuperação dos passivos e melhoria das condições ambientais na bacia, ou seja, da recuperação e incremento da provisão dos serviços ecossistêmicos comprometidos, principalmente nas porções médias e baixas, ainda não são aplicadas em escalas espaciais adequadas e condizentes a demanda legal, e, portanto, apresentam impacto muito limitado para aumento da segurança hídrica.

Constataram-se grandes avanços na criação de áreas protegidas nos últimos 20 anos. As UCs correspondem a mais de 60 mil hectares ou 54,9% da área total da bacia. No entanto, esforços ainda devem ser realizados para sua efetiva proteção e implementação. Das 15 UCs existentes, apenas 5 se encontram conservadas e totalmente implementadas. Identificou-se um passivo ambiental expressivo de áreas degradadas, com destaque para a APA Macacu e a APA Guapiaçu, que dispõem juntas o total de 6.705,273 hectares de áreas prioritárias adequadas à restauração florestal para proteção do manancial.

Cerca de 1.400 imóveis rurais estão em processo de adequação ambiental na área de estudo, ou seja, estão inscritas no CAR, o que corresponde a cerca de 60% da área total da bacia. No entanto, constatou-se que há um grande gargalo para a análise e validação desses cadastros e para a adesão ao PRA, tornando-se preocupante o horizonte temporal da efetiva

recuperação ambiental dos passivos existentes, sobretudo em função da aprovação da Lei nº 13.887, de 17 de outubro de 2019, que extingue o prazo máximo para inscrição no CAR, porém limita o direito a adesão ao PRA aos imóveis inscritos até o dia 31 de dezembro de 2020. Investimentos em reforço das capacidades institucionais, disseminação de técnicas de redução do custo da restauração e novas metodologias para monitoramento foram apontados como fundamentais para superar os desafios existentes. Projetos de restauração florestal e de PSA em áreas de APP e RL tornam-se estratégicos para a recuperação de áreas de mananciais, em curto e médio prazo, por gerar adicionalidade de serviços ambientais, com antecipação da efetiva recuperação dessas áreas em relação ao cumprimento da obrigação frente aos prazos legais.

O Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal tem se mostrado promissor para alavancar a agenda de SbN. Avanços recentes nas normativas estaduais possibilitaram que as ações de restauração florestal sejam priorizadas em áreas que gerem maiores benefícios para a segurança hídrica do abastecimento público, o que até então não era realizado; ressalte-se que estas ações terminam beneficiando o conjunto de usuários da Bacia. No entanto, ainda são necessários significativos esforços para a estruturação do fluxo operacional do MFCF, que deve ser dimensionado para um programa de restauração em grande escala.

Em relação à área restaurada, até janeiro de 2019, foram implantados 526,9 hectares de restauração florestal na bacia, o que equivale a 5,3% do passivo ambiental para recuperação de APPs. Desse quantitativo, 401,2 hectares ou 76,1% correspondem a plantios voluntários (Replanta Macacu, Programa Rio Rural e REGUA), e 125,7 hectares ou 23,9% é referente ao cumprimento de compensações ambientais de licenciamento ambiental.

Quanto a previsão de execução de obrigações de restauração florestal, há 6.175,81 hectares que podem ser potencialmente executados na Bacia do rio Guapi-Macacu, o que corresponderia ao atendimento de 62,7% do passivo ambiental existente para recuperação de APPs. Desse quantitativo, 5.712,51 hectares ou 92,5% são referentes a compensações ambientais de licenciamento ambiental, e 463,3 hectares ou 7,5% são derivados de TACs, sob tutela do MPRJ. A disponibilidade de estudos e mapeamento de áreas prioritárias para restauração florestal visando a proteção e recuperação de mananciais (APRFs) e aplicação destes para implementação dessas áreas pode contribuir para sua maior eficácia.

Segundo a maioria dos entrevistados, duas iniciativas foram citadas como relevantes e exitosas: o projeto Replanta Macacu e as ações de conservação e restauração ambiental promovidos pela REGUA. O primeiro, considerado como um projeto piloto, teve importantes desdobramentos para consolidação do Programa Replantando Vida, coordenado pela CEDAE, e de contribuições para pesquisa e capacitação na temática da restauração florestal. No entanto,

limitou-se a um quantitativo de áreas pequeno (52,2 ha), e não há perspectivas de continuidade ou ampliação do mesmo na bacia, em curto prazo. A REGUA, por sua vez, vem atuando de forma contínua e consistente há quase 20 anos na bacia do rio Guapiaçu, e conta com 7.000 hectares de terras adquiridas destinadas à conservação, nas quais promoveu a restauração de 321,2 hectares de áreas degradadas. A reserva tem perspectivas de continuidade e expansão das ações, sendo um ator relevante para a agenda de SbN no território.

Apesar das ações e resultados significativos do Plano ABC-RJ e do Programa RIO RURAL em âmbito estadual, ambos obtiveram resultados pouco expressivos no território dos municípios inseridos na bacia. Ainda não há esquemas de PSA implantados na Bacia do rio Guapi-Macacu, apesar de existirem projetos submetidos e recursos mobilizados a região no âmbito do Programa Produtor de Água e PRO-PSA.

A certificação e rotulagem ambiental é uma prática pouco disseminada, e esforços são necessários para a potencialização desses mecanismos de mercado. As medidas de controle da poluição difusa no meio rural levantadas são limitadas e pontuais, e em sua maioria, encontram-se na fase de planejamento. Como principais obstáculos, conforme apontado pelos entrevistados, destacam-se a falta de assistência técnica, a demanda por capacitação e disseminação das práticas, e problemas no beneficiamento, comercialização e certificação de produtos de base sustentável.

Por meio do ICMS Ecológico, os municípios de Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Guapimirim receberam em 2019 cerca de R$5,8 milhões de reais referente ao Índice relativo de Mananciais de Abastecimento (IrMA), o que correspondente a 26% do recurso total repassado deste índice para o Estado.

Ações estruturantes são essenciais de modo que as mesmas ganhem escala. Nesse sentido, o programa Oásis LAB veio a contribuir para a integração de atores e a elaboração de projetos intersetoriais, que parecem ser promissores para atendimento das lacunas e demandas existentes, caso seja o programa seja continuado e os projetos venham a ser efetivados.

O Quadro 31 apresenta a sistematização das iniciativas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu analisadas e seus principais indicadores de resultado.

Quadro 31 – Sistematização das iniciativas de SbN existentes na Bacia do rio Guapi-Macacu e indicadores de resultado

<table>
<tr><th>Indicador</th><th>Valor</th></tr>
<tr><td>Percentual do território da bacia protegido por UCs – excluída sobreposição de áreas (%)</td><td>
<table>
<tr><td>Tipologia</td><td>Área</td><td>%</td></tr>
<tr><td>Uso Sustentável</td><td>28.074,2</td><td>26,0%</td></tr>
<tr><td>Proteção Integral</td><td>40.207,1</td><td>37,2%</td></tr>
<tr><td>Todas as UCs</td><td>59.412,3</td><td>54,9%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Percentual da área da bacia cadastrada no CAR (%)</td><td>
<table>
<tr><td>% área da bacia cadastrada</td><td>60,3%</td></tr>
<tr><td>Área cadastrada</td><td>65.182,4</td></tr>
<tr><td>Imóveis cadastrados</td><td>1.417</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Área de restauração ecológica (ha)</td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">Em execução/concluídas</td></tr>
<tr><td>Replanta Macacu</td><td>52,4</td></tr>
<tr><td>Programa Rio Rural</td><td>27,6</td></tr>
<tr><td>REGUA</td><td>321,2</td></tr>
<tr><td>Medidas compensatórias (INEA)</td><td>125,7</td></tr>
<tr><td>Subtotal</td><td>526,9</td></tr>
<tr><td colspan="2">A iniciar (metas ou compromissos)</td></tr>
<tr><td>Medidas compensatórias</td><td>5.712,51</td></tr>
<tr><td>TAC COMPERJ</td><td>413,3</td></tr>
<tr><td>TAC Imunana-Laranjal</td><td>50</td></tr>
<tr><td>Subtotal</td><td>6.175,81</td></tr>
<tr><td>Total</td><td>6.702,71</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Área de sistemas produtivos de base florestal (ha)</td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">Em execução/concluídas</td></tr>
<tr><td>Programa Rio Rural</td><td>6,2 ha (SAFs)</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Sistemas de saneamento rural instalados (unidade)</td><td>
<table>
<tr><td colspan="2">Em execução/concluídas</td></tr>
<tr><td>Prefeitura Municipal de Cachoeiras de Macacu</td><td>2 biodigestores (35 famílias cada) e 631sistemas individuais de saneamento rural</td></tr>
<tr><td colspan="2">A iniciar (metas ou compromissos)</td></tr>
<tr><td>CBH-BG</td><td>Implantação de fossas sépticas e biodigestores</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

Fonte: A autora, 2020.

Apesar de observar que as condições de degradação ambiental da bacia claramente necessitam de ações de gerenciamento, não foram encontradas avaliações de eficiência e de impacto que possibilitassem quantificar a contribuição efetiva das iniciativas de SbN para aumento da disponibilidade quali-quantitativa da água bruta para o sistema Imunana-Laranjal. As iniciativas não contemplaram a prévia definição de indicadores de impacto (efetividade) relacionado à segurança hídrica, o que aponta, portanto, a importância da etapa de planejamento e estruturação lógica das ações a fim de permitir a avaliação *ex post* desses critérios.

CONCLUSÕES

A presente pesquisa trouxe duas principais contribuições: (I) a proposição de um arcabouço conceitual e analítico de avaliação de segurança hídrica para o abastecimento público a partir de SbN, parte adaptado de modelos existentes e parte desenvolvido pela própria autora; e (II) a avaliação do panorama geral de políticas públicas relacionadas à segurança hídrica e à iniciativas de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, manancial estratégico de abastecimento da população do leste metropolitano do Rio de Janeiro.

A pesquisa bibliográfica nos permitiu concluir de que há diferentes metodologias e abordagens para avaliar uma determinada política pública, considerando a diversidade de dimensões territoriais, políticas e administrativas, de circunstâncias, de contextos e de propósitos da avaliação. O interesse crescente pelos temas "segurança hídrica" e "SbN" tem motivado esforços em organizar conceitos, princípios e estruturas de avaliação abrangentes, resultando em bases consistentes para o desenvolvimento potencial de quadros analíticos que integrem ambos os conceitos visando dar subsídios ao processo de tomada de decisões.

Foi nesse contexto que esta pesquisa foi desenvolvida, tendo como motivação principal a necessidade de um método simplificado que possibilitasse a análise global da segurança hídrica da água bruta e das SbN. A aplicação do modelo, baseado em uma metodologia de avaliação qualitativa, possibilitou tanto analisar temas prioritários em maior profundidade, como avaliá-las de forma integrada. O arcabouço conceitual e analítico sobre o qual se baseia o modelo de segurança hídrica foi construído a partir de evidências e achados na literatura acadêmica e cinzenta, de entrevistas com especialistas e da observação e experiência da autora. Este arcabouço traz definições, princípios e diretrizes para orientar sua aplicação. O modelo analítico finalmente proposto aplica-se a estudos de caso de mananciais de abastecimento público urbano, de modo a traçar um panorama geral da segurança hídrica a partir de SbN, tendo sido delineado para aplicação ao caso da Bacia do rio Guapi-Macacu.

Especificamente quanto aos principais resultados da aplicação do modelo ao caso da Bacia do rio Guapi-Macacu, ressaltamos:

I) Análise da base legal, atores e instâncias de governança

Apesar de não existir legislação específica para segurança hídrica e SbN, os conceitos são embutidos em diversas normativas, especialmente em âmbito estadual. No entanto, a

eficácia da legislação e cumprimento das políticas relacionadas não é satisfatória, considerando os problemas e passivos ambientais existentes na Bacia do rio Guapi-Macacu.

A análise das iniciativas relacionadas a SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu demonstrou o envolvimento de muitos atores e diferentes políticas setoriais, refletindo a complexidade da agenda. Instâncias de governança existentes possibilitam o desenvolvimento de políticas descentralizadas e participativas, no entanto, ainda não há uma visão e compreensão integrada para segurança hídrica e sobre o conjunto de iniciativas de SbN, e torna-se necessária a maior interação entre as instituições responsáveis pela política e atores envolvidos, com vistas à sistematizar as informações, sanar falhas comuns, identificar lacunas e eliminar sobreposições, integrar esforços, compartilhar conhecimento e disseminar boas práticas de gestão.

II) Resultados da pesquisa quanto à avaliação qualitativa da segurança hídrica

Constata-se a inexistência de estudos ou documentos oficiais que avaliem o nível de segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal, o que demonstra que o conceito ainda não está devidamente institucionalizado e internalizado, especialmente em ferramentas e modelos relacionados ao planejamento e gestão. A pesquisa contribui com a adaptação e a aplicação de modelo qualitativo de avaliação do nível atual de segurança hídrica para o abastecimento público, a partir da utilização de dados secundários disponíveis, de modo a compreender e evidenciar as principais causas, impactos e necessidades para enfrentamento do problema.

A aplicação do modelo analítico de segurança hídrica indica que a Bacia hidrográfica do rio Guapi-Macacu já se encontra acima dos limites críticos para alguns estressores, enquanto manancial de abastecimento público do leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Identificou-se o alto nível de comprometimento da disponibilidade hídrica da Bacia do rio Guapi-Macacu, a escassez frequente de água em momentos de estiagem, o surgimento e agravamento de conflitos pelo uso da água, apontando a necessidade urgente de ações de gestão para reduzir os riscos associados aos principais estressores da quantidade e qualidade da água bruta.

III) Resultados da pesquisa quanto à pertinência, aplicabilidade e priorização de SbN para segurança hídrica

Não foram identificados estudos e documentos oficiais que abordem critérios de análise, priorização e/ou seleção de medidas de SbN para segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, o que evidencia uma lacuna de conhecimento e de geração de subsídios para tomada de decisões em prol das SbN.

A pesquisa traz uma contribuição original, a partir da proposição de um quadro analítico para avaliação simplificada da pertinência e aplicabilidade das SbN, de modo a verificar a hipótese de que as SbN podem contribuir para o aumento da segurança hídrica da água bruta. A aplicação do quadro analítico evidenciou que as SbN se mostraram uma ação de gestão pertinente para viabilizar o aumento da segurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, considerando a necessidade de redução do risco aos estressores "Uso e cobertura da terra", "Processos erosivos", "Carga poluidora" e "Interferência nos corpos hídricos". Evidências na literatura apontam que medidas como a proteção e recuperação de áreas de maior fragilidade ambiental, recuperação de várzeas e áreas úmidas e disseminação de práticas conservacionistas da água e do solo podem reduzir os níveis de risco existentes, ou prevenir o seu agravamento.

Esses resultados não substituem a necessidade de estudos de quantificação e valoração dos serviços ecossistêmicos, de modo a avaliar a efetividade das SbN, especialmente considerando a grande variação dos impactos sobre os serviços de regulação hídrica. A ausência de estudos pré-existentes e a inviabilidade de gerar estimativas nesta pesquisa tornam este um item a ser abordado em trabalhos futuros. A ausência de análises de custo-benefício não tem impedido a adoção de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu, mas evidências na literatura apontam que este pode ser um importante limitador da continuidade, consolidação e ampliação de investimentos para a agenda.

Em relação à aplicabilidade das SbN na área de estudo, as características biofísicas, sociais e econômicas da Bacia do rio Guapi-Macacu se mostraram favoráveis para a implementação dessa estratégia, em especial, a alta favorabilidade à restauração da região e seus diversos cobenefícios. A existência de bases técnicas para definição de áreas prioritárias, a presença de fortes lideranças/influenciadores e a potencial destinação de recursos oriundo de obrigações legais para restauração de áreas de mananciais são características de gestão e governança que contribuem fortemente para o fortalecimento da capacidade de implementação e consolidação de ações de SbN. Por outro lado, avanços são necessários para fortalecimento das capacidades institucionais, de mecanismos de financiamento e da sensibilização e comunicação do conceito de SbN.

IV) Resultados da pesquisa quanto à avaliação de iniciativas de SbN relacionadas à segurança hídrica

A aplicação do arcabouço conceitual e analítico possibilitou avaliar a trajetória de concepção, implementação e resultados das iniciativas relacionadas a SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu. Evidenciou-se que há iniciativas de SbN na bacia – concluídas, em curso, e a iniciar – que contribuem potencialmente para o aumento dos serviços ecossistêmicos de regulação hídrica e melhoria da qualidade da água.

Foram identificados esforços e avanços de ações de SbN para conservação da biodiversidade, restauração ecológica, incentivo a boas práticas agropecuárias e instrumentos econômicos associados ao aumento da provisão de serviços ecossistêmicos hídricos na bacia. No entanto, com exceção das medidas de conservação, pode-se afirmar que a escala de intervenção ainda é limitada frente ao passivo ambiental existente e ao tamanho da bacia. Em curto e médio prazo, estão previstos quantitativos expressivos de obrigações de restauração florestal a serem executados na região; caso venham a ser efetivados, estes poderão contribuir para reduzir de modo significativo o quadro atual de passivos ambientais da bacia. Medidas de SbN relacionadas ao desenvolvimento rural sustentável, por sua vez, ainda são tímidas.

A ausência de prévia definição de indicadores de acompanhamento, metas (eficácia) e impacto (efetividade) das políticas e de cada iniciativa, impossibilitou a avaliação desses critérios. Das iniciativas de SbN analisadas, nenhuma previu ações de monitoramento dos serviços ecossistêmicos relacionados à segurança hídrica da água bruta, portanto, não foi possível estimar a magnitude dos benefícios e demonstrar o retorno de investimento dessas intervenções. Os custos a serem suportados pela degradação ou perda dos ecossistemas, ou dos benefícios proporcionados pela recuperação ou manejo sustentado permanecem desconhecidos e, portanto, não são contabilizados.

V) Recomendações para a agenda de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu

Para o avanço da agenda de segurança hídrica a partir de SbN, é importante que o conceito de segurança hídrica a partir de SbN seja devidamente institucionalizado, e que as lacunas de geração de conhecimento e de subsídios para tomadas de decisão, concepção e implementação de SbN identificadas sejam superadas. Avanços metodológicos são necessários para definição prévia de indicadores, de modo a possibilitar o acompanhamento, monitoramento e avaliação das iniciativas de SbN.

A partir dos achados desta pesquisa, identifica-se a necessidade da consolidação e ampliação das ações de SbN, em escalas espaciais e temporais adequadas, a fim de que possam contribuir significativamente para o aumento da segurança hídrica. De modo a possibilitar a implantação das SbN em escala, é fundamental alavancar e estabelecer mecanismos de financiamento que gerem recursos contínuos e de longo prazo; adotar estratégias de redução dos custos de transação e implementação; e fortalecer mecanismos de mercado e tecnologias de produção que atendam simultaneamente aos objetivos de conservação ambiental, aumento da renda e redução da pobreza rural.

Em relação às capacidades para adoção das SbN, é necessário criar estratégias ou ambiente legal que favoreça e/ou promova maior cooperação intersetorial e institucional, em especial, a institucionalização da política e a construção de redes formais e informais que construam pontes entre participantes e organizações, que promova o fluxo de informações e a tomada de decisão conjunta. A implantação de cadastros, base de dados ou plataformas que sistematizem e integrem dados sobre serviços ecossistêmicos e SbN podem também contribuir para integrar e divulgar os resultados e benefícios dessas ações.

Esforços de sensibilização da sociedade, gestores e tomadores de decisão podem contribuir para aumentar o conhecimento e a compreensão da importância das SbN para segurança hídrica, e para desmistificar generalizações indevidas e superar a falsa oposição entre medidas de infraestrutura cinza e SbN.

A aplicação, calibração e validação de modelos de quantificação e valoração de serviços ecossistêmicos de segurança hídrica demandam estudos específicos, de modo a estimar as consequências hidrológicas dos cenários de mudanças do uso do solo e da adoção de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu. Constituem lacunas de dados os parâmetros físico-hídricos de solos, dados hidrológicos e sedimentológicos medidos *in situ,* e os custos detalhados de tratamento de água e manutenção de reservatórios pela concessionária.

VI) Sobre o arcabouço conceitual e analítico

O arcabouço conceitual e analítico mostrou-se adequado para o alcance dos objetivos dessa pesquisa, possibilitando: (i) compreender o contexto de formação e de institucionalização da política de segurança hídrica a partir de SbN; (ii) identificar as principais causas da insegurança hídrica do sistema Imunana-Laranjal, seus impactos e as necessidades para redução do risco à segurança hídrica da água bruta a níveis aceitáveis; (iii) verificar a hipótese de que as SbN podem contribuir para a segurança hídrica da água bruta na Bacia do rio Guapi-Macacu;

(iv) identificar as iniciativas de SbN existentes e compreender em que medida esse conjunto contribui para a segurança hídrica da água bruta do sistema Imunana-Laranjal, e (v) identificar oportunidades, barreiras e lacunas que devem ser consideradas para a seleção, concepção, implantação ou ampliação de SbN na Bacia do rio Guapi-Macacu; e formular recomendações gerais de aprimoramento.

Dessa forma, constitui-se uma contribuição metodológica original desta pesquisa, que pode vir a ser aperfeiçoada ou adaptada para aplicação em outras bacias hidrográficas e para avaliação de sistemas de abastecimento.

VII) Sobre limites desta pesquisa e recomendações para pesquisas posteriores

Apesar do arcabouço conceitual e analítico proposto ter se mostrado útil e gerado contribuições, algumas limitações quanto a sua aplicação ao estudo de caso podem ser destacadas. Dentre os aspectos a serem investigados e desenvolvidos em pesquisas futuras, identifica-se a necessidade da aplicação do método "painel de especialistas" ou "Delphi", com objetivo tanto de aperfeiçoamento e validação do arcabouço conceitual e analítico, a partir da análise e estruturação da opinião de especialistas para mananciais de abastecimento público. Outro ponto importante seria o retorno e considerações dos atores e gestores estratégicos entrevistados, de modo a validar e/ou aprofundar a discussão sobre os principais resultados para o estudo de caso.

Cabe ressaltar que os resultados da avaliação de segurança hídrica de SbN desta pesquisa limitam-se a um retrato do quadro atual do sistema. Dessa forma, identifica-se a necessidade de estabelecer e institucionalizar métodos e/ou indicadores de avaliação contínua, de modo a subsidiar formulação, revisão, implementação, monitoramento e aperfeiçoamento da política em consonância com a evolução do problema e do contexto.

Identificaram-se importantes fragilidade de dados e lacunas de informações, que devem ser sanados ou abordados por estudos complementares, para adequada aplicação do modelo analítico:

- Não há o monitoramento adequado de concentrações de parâmetros orgânicos na água bruta, no ponto de captação, de modo a verificar se há de fato problemas de poluição e contaminação da água, em especial, aos agrotóxicos. É necessário que a concessionária adeque seus protocolos de monitoramento, de modo a viabilizar a análise do parâmetro, e que disponibilizem para a sociedade a série histórica de dados;

- A avaliação do impacto das “interferências nos corpos hídricos” (retificação, dragagem, etc.) nos sistemas fluviais demandam estudos hidrológicos específicos. A pesquisa limitou-se a apontar os questionamentos, reivindicações e suposições documentadas e relatadas;
- A disponibilidade de mão-de-obra para atividade agropecuária, o envelhecimento e êxodo da população rural e grau de pluriatividade (esvaziamento de práticas agrícolas do meio rural e crescimento de atividades e ocupações não agrícolas) são fatores relevantes para compreender barreiras ou oportunidades para adoção de SbN e não puderam ser abordadas nesta pesquisa. Contribuições de estudos de campo das ciências sociais e análises complementares seriam fundamentais;
- A ausência de estudos e dados oficiais que sistematizem informações acerca do mercado de certificação e rotulagem ambiental de produtos agropecuários impossibilitou a caracterização e análise adequada dessa categoria de medida de SbN.

Apesar do recorte de pesquisa adotado de segurança hídrica da água bruta não contemplar a análise da exposição e vulnerabilidade dos sistemas de abastecimento, estudos nesse sentido são importantes para compor uma avaliação global da segurança hídrica para o consumo humano da porção leste da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. O escopo deste estudo não contemplou a análise em profundidade desses aspectos, considerando a exequibilidade metodológica frente às restrições de tempo e à complexidade do tema.

Cada uma das macro etapas do modelo analítico tem potencial de gerar novas pesquisas, que tenham como foco aprofundar-se em um dos aspectos da segurança hídrica a partir de SbN. Outras propostas analíticas podem ser desenvolvidas visando abordar questões específicas, e outros problemas e questões podem ser utilizados como entrada. Cabe ressaltar que o arcabouço conceitual e analítico pode e deve ser aperfeiçoado, e a aplicação ajustada a outros estudos de caso (bacias hidrográficas e sistemas de abastecimento) contribuirão para melhor compreensão de construção conjunto de indicadores e parâmetros de avaliação comuns aplicados a mananciais de abastecimento público.

Os modelos analíticos de avaliação qualitativa do nível de segurança hídrica e de análise de pertinência e aplicabilidade de SbN propostos nesta pesquisa trazem contribuições metodológicas para subsidiar as etapas de diagnóstico do problema e de formulação de alternativas. Contudo, estudos complementares devem ser desenvolvidos para aprimorar e adaptar metodologias aplicáveis para a área de estudo quanto as etapas de análise e priorização de alternativas de SbN. Apesar do modelo analítico proposto não ter como objetivo a quantificação dos benefícios das SbN, identificou-se que este é um aspecto crítico e essencial

para avanço da agenda, sendo necessário o desenvolvimento de estudos futuros de modelagem de serviços ecossistêmicos e análises de custo-efetividade ou custo-benefício que examinem de forma integrada as SbN e soluções de infraestrutura cinza, para diferentes cenários de intervenção, de modo a subsidiar a tomada de decisão de investimentos de SbN para segurança hídrica.

REFERÊNCIAS

2030 WRG. *Charting our water future*: Economic frameworks to inform decision-making. Washington DC (USA), 2009.

ABELL, R. et al. *Beyond the source*: the environmental, economic and community benefits of source water protection. Arlington VA (USA): The Nature Conservancy, 2017.

ABREU, V. Apresenta a notícia: Instituto Estadual do Ambiente realiza Cadastro Ambiental Rural (CAR) nas Unidades de Conservação ES. 16 out. 2019. In: Gerência do Serviço Florestal, INEA, *Site Restauração Florestal Fluminense*. Rio de Janeiro, INEA, 2019. Disponível em: <https://www.restauracaoflorestalrj.org/post/2019/01/09/instituto-estadual-do-ambiente-realiza-cadastro-ambiental-rural-car-nas-unidades-de-conse>. Acesso em: 27 dez. 2019.

AGARWAL, A. et al. *Integrated water resources management*. [S.l.]: Global Water Partnership, 2000.

ALENCAR, E. Apresenta a notícia: *Guapiaçu: precisamos falar sobre a barragem*. ONG O ECO, 14 abr. 2016. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/colunas/emanuel-alencar/guapiacu-precisamos-falar-sobre-barragem/>. Acesso em: 15 jul. 2019.

_____. Apresenta a notícia: *São Gonçalo e Niterói sem água*. In: Projeto Colabora - Juntos por um mundo + sustentável. Publicada em 14 de novembro de 2017. Disponível em: <https://projetocolabora.com.br/ods6/sao-goncalo-e-niteroi-sem-agua/>. Acesso em: 6 dez. 2019.

ALLEN, C. R.; GUNDERSON, L. H. Pathology and failure in the design and implementation of adaptive management. *Journal of environmental management*, [S.l.], 2011. v. 92, n. 5, p. 1379-1384.

ALMEIDA, R. M. R. et al. *Planejamento Estratégico da Região Hidrográfica dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu – Macacu*. Niterói, RJ: UFF/FEC, 2010. 544p.

ALVES, A. et al. *Multi-criteria approach for selection of green and grey infrastructure to reduce flood risk and increase co-benefits*. [S.l.]: Water Resour. Manag., v. 32, p. 2505–2522, 2018.

AMARAL, E. F. L. et al. (ed.). *Aplicações de técnicas avançadas de avaliação de políticas públicas.* [S.l.]: Fino Traço Editora, 2018.

AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA. *Elaboração de EIA/RIMA para Análise da Viabilidade Ambiental da Implantação da Barragem do Rio Guapi-Açu com vistas à ampliação da Oferta de Água para a região do Conleste Fluminense, localizado no Município de Cachoeiras de Macacu/RJ.* Rio de Janeiro, Secretaria do Ambiente (RJ), dez. 2015. Relatório Técnico. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/downloads/EIA-RIMA/2015/E_07_508.365_2012%20Cachoeira%20de%20

Macac%C3%BA%20Barragem%20Guapi-A%C3%A7u%20SEA.7z >. Acesso em: 1 mai. 2019.

ANA. *Atlas Brasil*: abastecimento urbano de água. Apresenta os resultados por estado. Brasília, 2010. Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/ResultadosEstado.aspx>. Acesso em: 23 jul. 2019.

_____. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009*. Brasília, 2009. 209 p. Disponível em < http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2009_rel.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2019.

_____. *Encarte Especial sobre a Crise Hídrica*. In: CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS no BRASIL - INFORME 2014. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2015. 31p.

_____. *Plano Nacional de Segurança Hídrica* / Agência Nacional de Águas. Brasília, 2019. 112p. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2019. il. color.

_____. Portaria No 149, de 26 de março de 2015. Define a Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. 46p. *Diário Oficial da União*, Brasília (DF), 23 dez. 2014. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019.

ANDREASSIAN, V. *Waters and forests*: from historical controversy to scientific debate. [S.l.]: J. Hydrol. v. 291, p. 1–27, 2004.

ANDRÉN, H. *Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat*: a review. Copenhagen (Denmark): Oikos Copenhagen, 1994. v. 71, n. 3, p. 355-366.

ANTUNES et al. Conscientização da Necessidade do PSA-GUANDU. In: *EXPOSEAC*, Rio de Janeiro, 2016.

ARRETCHE, M. T. S. Uma contribuição para fazermos avaliações menos ingênuas. In: BARREIRA, M. C. R; CARVALHO, M. C. B. (org.). *Tendências e perspectivas na avaliação de políticas e programas sociais.* São Paulo: IEE/PUC-SP, p. 43-56, 2001.

ARSAE-MG. Apresenta informações sobre: *Garantido pela Arsae-MG, Pró Mananciais é exemplo de sucesso na preservação de recursos hídricos*. Publicado em 11 de dez. 2018, 14:48. Disponível em: <http://www.arsae.mg.gov.br/component/gmg/story/355-garantido-pela-arsae-mg-pro-mananciais-e-exemplo-de-sucesso-na-preservacao-de-recursos-hidricos>. Acesso em: 18 out. 2019.

ARTMANN, M.; SARTISON, K. *The role of urban agriculture as a nature-based solution: a review for developing a systemic assessment framework*. [S.l.]: Sustainability, v. 10, n. 6, p. 1937, 2018.

ASSIS, M. P. et al. *Avaliação de políticas ambientais*: desafios e perspectivas. [S.l.]: Saúde e Sociedade, v. 21, p. 7-20, 2012.

ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. *Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do rio Macaé (RJ)*. Recife: Revista de Geografia (UFPE), V. 29, No. 3, 2012.

AWWA. *Buried No Longer:* Confronting America's Water Infrastructure Challenge. Denver CO (USA), 2013.

AZEVEDO, A. D. *Mapa de áreas restauradas da Reserva Ecológica de Guapiaçu*. Cachoeiras de Macacu: REGUA, 2019. il. color.

BABBAR-SEBENS, M. et al. *Spatial identification and optimization of upland wetlands in agricultural watersheds*. [S.l.]: Ecological Engineering, v. 52, p. 130-142, 2013.

BAGDONAS, N. F. C. et al. *Análise e planejamento de políticas públicas no Sistema Ambiental Paulista*: desafios, resultados e recomendações. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Coordenadoria de Planejamento Ambiental) 2012. 130 p.

BAKKER, K. *Water security*: research challenges and opportunities. [S.l.]: Science, v. 337, n. 6097, p. 914-915, 2012.

BANKS-LEITE, C. et al. *Using ecological thresholds to evaluate the costs and benefits of set-asides in a biodiversity hotspot*. Washington DC (USA): Science, v. 345, n. 6200, p. 1041-1045, 2014 apud IKEMOTO, S. M.; NAPOLEÃO, P. R. M. (Coord.). *Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro*: Subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Rio de Janeiro: INEA, 2018. 464p. Disponível em: < http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Livro_Atlas-dos-Mananciais-de-Abastecimento-do-Estado-do-Rio-de-Janeiro.pdf>

BAPTISTA, T. W. F.; REZENDE, M. A ideia de ciclo na análise de políticas públicas. In: MATTOS, R. A; BAPTISTA, T. W. F. (org.) *Caminhos para análise das políticas de saúde.* Porto Alegre: Rede UNIDA, 2015.

BARBOZA, L. F. Sobrevoo da Serla e da Cedae constata captação irregular de água do Rio Macacu. *Jornal EXTRA*, Rio de Janeiro, 11 out. 2007. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/rio/sobrevoo-da-serla-da-cedae-constata-captacao-irregular-de-agua-do-rio-macacu-724869.html>. Acesso em: 22 out. 2019.

BARBOZA, R. S. et al. Air Basins of Rio de Janeiro State, Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, v. 7, n. 10, p. 781, 2015. Disponível em: https://Doi.org/10.4236/jwarp.2015.710064>. Acesso em: 10 out. 2019.

_____. *Caracterização das bacias aéreas e avaliação da chuva oculta nos contrafortes da serra do Mar-RJ*. [S.l.:s.n.]: 2007.

BARTON, M. A. *Nature-Based Solutions in Urban Contexts*: A Case Study of Malmö, Sweden. Dissertação (Mestrado) – International Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE), Sweden, Lund, 2016 apud UN-WATER. *The United Nations World Water Development Report 2018:* Nature-Based Solutions for Water. [S.l.]: 2018 pp: 1-138.

Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/>. Acesso em: 08 out. 2019.

BASTOS, R. *Entrevista de Rafael Bastos concedida a Maria de Lourdes Wolff*. Reportagem "Plano de Segurança da Água é fundamental para a cidade manter a qualidade da água". ECOS - Revista Quadrimestral de Saneamento Ambiental, n 39, Ano 22, p. 6-9, dez. 2016.

BEEK, E. V.; ARRIENS, W. L. *Water security:* putting the concept into practice. Stockholm: Global Water Partnership, nº 20, 2014. 52 p.

BEERY, T. et al. *Perceptions of the ecosystem services concept: opportunities and challenges in the Swedish municipal context*. [S.l.]: Ecosystem Services, v.17, p.123-130, 2016. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/j. ecoser.2015.12.002>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BENAVIDES, Z. C. et al. *Consumo e abastecimento de água nas bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 158 p. Disponível em: <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/doc115_2009_consumo_agua_guapi_macacu_caceribu.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2019.

BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green Infrastructure, Linking Landscapes and Communities.* Washington DC (USA): Island Press, 2006.

BENNETT, G. et al. *Charting New Water State of Watershed Payments 2012*. Washington DC (USA): Forest Trends, 2013. 98 p.

_____. *Natural infrastructure investment and implications for the nexus*: A global overview. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 17, p. 293-297, 2016.

BENNETT, G.; CARROLL, N. *Gaining Depth*: State of Watershed Investment 2014. Washington DC (USA): Ecosystem Marketplace, 2014. Disponível em: <www.ecosystemmarketplace.com/reports/sowi2014>. Acesso em: 27 mar. 2019.

BENNETT, G.; RUEF, F. *Alliances for Green Infrastructure*: State of Watershed Investment, 2016. Washington DC (USA): Forest Trends, 2016. 61 p.

BERNARDELI, M. A. F. D. *Bacia do córrego São João & Segurança hídrica do abastecimento urbano do município de Porto Nacional/TO*. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Tocantins, Tocantins, 2017.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 6ª ed., 2008. 355 p.

BIGAS, H. *The global water crisis*: Addressing an urgent security issue. [S.l.]: United Nations University-Institute for Water, 2012.

BIORIO. *Plano Municipal de Água e Esgoto do Município de Itaboraí.* Itaboraí (RJ): Prefeitura Municipal de Itaboraí*,* 2014.

BIRKINSHAW S. J.; BATHURST J. C. *Model study of the relationship between sediment yield and river basin area*. [S.l.]: Earth Surf. Process. Landf., v. 31, pg. 750–761, 2006.

BISWAS, A. K. *Integrated water resources management*: a reassessment. [S.l.]: International Water Resources Association, vol. 29, n. 2, p. 248-256, jun. 2004.

_____. *Integrated water resources management: is it working?* [S.l.]: International Journal of Water Resources Development, v. 24, n. 1, p. 5-22, 2008.

BNDES. *Avaliação do Projeto de Assentamento de São José da Boa Morte (mimeo)*. Rio de Janeiro, 1986. 46p. apud PAIXÃO, R. L. *A pecuária bovina no Assentamento Rural São José da Boa Morte, Cachoeira de Macacu, RJ, 2000*. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2000. 90 p.

BORGES, R. B. *Vulnerabilidade Social na Área do COMPERJ*: O Assentamento São José Da Boa Morte, Cachoeiras De Macacu-RJ. Niterói, RJ: 2014. Dissertação (Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil), Programa de Pós-Graduação em Defesa e Segurança Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ), 2014.

BORGES, T. Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal. In: *Encontro do Observatório Florestal fluminense,* III, realizado em 24 mai. 2019. Rio de Janeiro, 2019.

BOSCH, M. et al. Why do payments for watershed services emerge? A cross-country analysis of adoption contexts. [S.l.]: Elsevier, 2019. *Journal World Development*, Volume 119, July 2019, Pages 111-119. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.03.010>. Acesso em: 20 out. 2019.

BOTELHO, J.; CRUZ, V. *Metodologia Científica*. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

BOYER, E. et al. *Anthropogenic Nitrogen Sources and Relationships to Riverine Nitrogen Export in the Northeastern U.S.A*. [S.l.]: Biogeochemistry, 2002. Disponível em: <http://dx.doi. org/10.1023/A:1015709302073.>. Acesso em: 4 dez. 2019.

BPBES. *Apresenta as contribuições da natureza para as pessoas*. Disponível em: <https://www.bpbes.net.br/contribuicoes-da-natureza-para-as-pessoas/>. Acesso em: 5 de mai. 2019.

BRAAT, L. C. *Five reasons why the Science publication "Assessing nature's contributions to people" (Díaz et al. 2018) would not have been accepted in Ecosystem Services*. [S.l.]: Ecosystem Services, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.002.>. Acesso em: 5 dez. 2019.

BRAGA, R. Schincariol é proibida de captar água dos Rio de Cachoeira de Macacu. *Jornal EXTRA*, Rio de Janeiro, 16 out. 2007. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/rio/schincariol-proibida-de-captar-agua-dos-rio-de-cachoeira-de-macacu-723251.html>. Acesso em: 22 out. 2019.

BRANDES, O. M. *At a Watershed: Ecological Governance and Sustainable Water Management in Canada*. Victoria (Canada): University of Victoria, 2005. The POLIS Project on Ecological Governance.

BRANDT, P. et al. *A review of transdisciplinary research in sustainability science*. [S.l.]: Ecological Economics, v.92, p.1–15, 2013.

BRASIL. *Avaliação de políticas públicas:* guia prático de análise ex post, volume 2. Brasília: Casa Civil da Presidência da República, 2018. 301 p.

_____. *Glossário de proteção e defesa civil*. Brasília: Ministério da Integração Nacional (Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – Departamento de Prevenção e Preparação), 2017.

_____. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 9 jan. 1997. P. 470.

_____. Ministério do Meio Ambiente. *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Guapimirim*. Brasília, 2001.

_____. Ministério Público Federal. Procuradoria da República do Município de São Gonçalo. Ação Civil Pública. Rio de Janeiro, 30 out. 2012. Disponível em:<http://www.prrj.mpf.gov.br/arquivos_pdf/ACP_Incra.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2013.

_____. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Institui a Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Brasília, 2017.

BRAUMAN, K. A. et al. Ecosystem services and river basin management. In: *Risk-Informed Management of European River Basins*. Berlin, Heidelberg: Springer, p. 265-294, 2014.

_____. *The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services*. [S.l.]: The Annual Review of Environment and Resources, v.32, p.67–98, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>. Acesso em: 4 dez. 2019.

BREARS, R. C. *Urban water security:* challenges in water management. West Sussex (UK): John Wiley & Sons, 2017. 320 p.

BREMER, L. L. et al. *One size does not fit all*: Natural infrastructure investments within the Latin American Water Funds Partnership. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 17, p. 217-236, 2016.

BRITTO, A. et al. *Abastecimento público e escassez hidrossocial na Metrópole do Rio de Janeiro*. Campinas: Revista Ambiente & Sociedade, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt_1809-4422-asoc-19-01-00183.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2019.

BROUWER, R. O. Y. et al. *Meta-analysis of institutional-economic factors explaining the environmental performance of payments for watershed services*. [S.l.]: Environmental Conservation, v. 38, n. 4, p. 380-392, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/s0376892911000543>. Acesso em: 3 dez. 2019.

BROWN, A.; MATLOCK, M. D. *A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies*. [S.l.]: White Paper, v. 106, p. 19, 2011.

BRUIJNZEEL, L. A. *Hydrological functions of tropical forests*: not seeing the soil for the trees? [S.l.]: Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 104, p. 185–228, 2004. Disponível em: <doi:http://dx.doi.org/ 10.1016/j.agee.2004.01.015>. Acesso em: 3 dez. 2019.

BRUIJNZEEL, L. A. et al. *Hydrometeorology of tropical montane cloud forests*: emerging patterns. [S.l.]: Hydrological Processes, v. 25, p. 465–498, 2011. Disponível em: <doi: http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7974>. Acesso em: 3 dez. 2019.

BUREK, P. et al. *Water Futures and Solution* - Fast Track Initiative (Final Report). Laxenburg (Austria): IIASA, 2016. IIASA Working Paper.

BURKHARD, B. et al. *An operational framework for integrated Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES)*. [S.l.]: One Ecosystem, v. 3, 2018.

CACHOEIRAS DE MACACU. Câmara Municipal. *Lei 1.653, de 10 de outubro de 2006*. Aprova o Plano Diretor Estratégico do Município de Cachoeiras de Macacu. Cachoeiras de Macacu (RJ), 2006.

CALDER, I. R. *Water use by forests, limits and controls*. [S.l.]: Tree Physiol., v. 18, p. 625–631, 2018.

CALLIARI, E. et al. *An assessment framework for climate-proof nature-based solutions*. [S.l.]: Science of The Total Environment, v. 656, p. 691-700, 2019.

CARNEIRO, M. J. et al. *Histórico do processo de ocupação das bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu.* Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 48 p.

CASTRO, J. S. M.; CONFALONIERI, U. *Uso de agrotóxicos no Município de Cachoeiras de Macacu (RJ)*. Rio de Janeiro, 2005. *Revista Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 10, p. 473-482, 2005.

CAVALCANTI, P. A. *Sistematizando e comparando os enfoques de avaliação e de análise de politicas publicas*: uma contribuição para a área educacional. 2007. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2007.

CBH-BG. *Planejamento Estratégico, Controle Social e Gestão Financeira 2019-2022 - CBH-BG*. Disponível em: <http://www.comitebaiadeguanabara.org.br/biblioteca-digital-docomite/>. Acesso em: 12 dez. 2019.

CDB. *Apresenta Ecosystem Approach*. Publicado em 8 ago. 2019. Disponível em: < https://www.cbd.int/ecosystem/>. Acesso em: 12 dez. 2019.

CDB. *Report of The Fifth Meeting Of The Conference Of The Parties To The Convention On Biological Diversity*. Nairobi (KE), 15-26 May 2000. UNEP/CBD/COP/5/23.

CEDAE. Apresenta a notícia: *CEDAE conclui obra da nova adutora do sistema Imunana-Laranjal*. Rio de Janeiro, Seção de Notícias, 28 ago. 2017. Disponível em:

<https://www.cedae.com.br/Noticias/detalhe/cedae-conclui-obra-da-nova-adutora-do-sistema-imunana-laranjal/id/158>. Acesso em: 18 jul. 2019.

CEDAE. Apresenta a notícia: *Estiagem afeta produção no sistema Imunana-Laranjal*. Rio de Janeiro, 14 set. 2016. Disponível em: <https://www.cedae.com.br/Noticias/detalhe/estiagem-afeta-producao-no-sistema-imunana-laranjal/id/113>. Acesso em: 14 out. 2019.

_____. Apresenta informações sobre: Estações de Tratamento do Guandu e Laranjal. Rio de Janeiro, 2019c. il. color. Disponível em: <https://www.cedae.com.br/estacoes_tratamento>. Acesso em: 18 nov. 2019.

_____. *Plano Diretor de Abastecimento de Água da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, 1988*. Rio de Janeiro, 1988 apud DANTAS J. R. C. et al. Impactos ambientais na bacia hidrográfica de Guapi-Macacu e suas consequências para o abastecimento de água nos municípios do leste da Baía de Guanabara. *Série Gestão e Planejamento Ambiental, 10*, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2008. 26p. Coleção Artigos Técnicos nº 7. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/337/1/sgpa-10_final.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

_____. *Qualidade de água*. Rio de Janeiro, 2019b. Relatório Técnico. Disponível em: https://www.cedae.com.br/relatorios. Acesso em: 18 nov. 2019.

_____. *Sistema Imunana-Laranjal 2018*. Rio de Janeiro, 2019a. Relatório Técnico apresentado na Reunião Extraordinária do Comitê da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH-BG) realizada em 30 de janeiro de 2019 no Auditório do INEA. Gravação disponível CBH-BG.

CEPERJ. Apresenta informações sobre: *Cartografia Fluminense*. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/ >. Acesso em: 28 out. 2018.

_____. *ICMS Ecológico*: republicação ICMS Ecológico 2019/ ano fiscal 2020 do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ceperj.rj.gov.br/Conteudo.asp?ident=84>. Acesso em: 27 out. 2019.

CERHI-RJ. Rio de Janeiro. *Ata Registro da 2ª Reunião do GT PSA, realizada em 14 nov. 2018*. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/10/Registro-2ª-reunião-GT-PSA_14nov18.pdf>. Acesso em 8 jan. 2020.

CETESB. *Ficha de Informação Toxicológica*. São Paulo, 2017. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental.

_____. *Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo* | Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade. São Paulo, 2018. 57p. Relatório Técnico.

CHAPPELL, N. A. *Water pathways in humid forests*: Myths vs. observations. Japan: Suiri Kagaku, Vol. 48, No. 6, pp. 32–46, 2005.

CHAVES, H. M. L. *Assessing water security with appropriate indicators*: challenges and recommendations. Brasília (DF): EFL-School of Technology (University of Brasilia-UnB), 2014.

CHAVES, H. M. L; ALIPAZ, S. *An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life, and policy*: the watershed sustainability index. [S.l.]: Water Resources Management, v. 21, n. 5, p. 883-895, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: E. Blucher, 1990. 313 p.

CLARK, W. C. et al. *Crafting usable knowledge for sustainable development*. [S.l.]: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1073/ pnas.1601266113>. Acesso em: 26 dez. 2019.

COATES, D. et al. Water-related ecosystem services and food security. In: BOELEE, E. (ed.). *Managing Water and Agroecosystems for Food Security*. Wallingford (UK) / Boston (USA): Centre for Agriculture and Bioscience (CAB) International, Cap. 3, p. 29–41, 2013.

COATES, D.; SMITH; M. Natural infraestrutucte solutions for water security. In: ARDAKANIAN, R.; JAEGER, D. *Water and the Green Economy*: Capacity Development Aspects. UNW-DPC, 1 ed., Bonn, Alemanha, 2012.

CODEAGRO-SP. Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SP). *Apresenta Comparativo com Certificação Orgânica.* São Paulo, 2019. Disponível em: <http://www.codeagro.sp.gov.br/transicao-agroecologica/comparativo-com-certificacao-organica>. Acesso em: 19 out. 2019.

COHEN-SHACHAM, E. et al. *Nature-based solutions to address global societal challenges*. Gland (Switzerland): IUCN, v. 97, 2016. Disponível em: <portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2016-036.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2019.

CONCREMAT Engenharia e Tecnologia S.A. *Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro*: estudo de impacto ambiental - EIA. Rio de Janeiro, 2007. il. color apud AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA. *Elaboração de EIA/RIMA para [...] Barragem do Rio Guapiaçu [...], localizado no Município de Cachoeiras de Macacu/RJ.* Rio de Janeiro, Secretaria do Ambiente (RJ), dez. 2015.

CONEN. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Maricá*. Maricá (RJ), 2015. 182p. Portaria 2.084/2014. Disponível em: <https://www.marica.rj.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/P6_PMSB_Marica2.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2019.

CONNOP, S. et al. *Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led multifunctional benefits approach to urban green infrastructure*. [S.l.]: Environmental Science & Policy, v. 62, p. 99-111, 2016.

CONSÓRCIO ECOLOGUS-AGRAR. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara*. Rio de Janeiro, 2005.

CONSTANZA, R. et al. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. []S.l.]: Nature, v. 387, p. 253–260, 2014. Disponível em: <doi:10.1038/387253a0>. Acesso em: 4 dez. 2019.

COOK, B. R.; SPRAY, C. J. *Ecosystem services and integrated water resource management*: Different paths to the same end? [S.l.]: Journal of environmental management, v. 109, p. 93-100, 2012.

COOK, C. *Implementing drinking water security*: the limits of source protection. [S.l.]: Wiley Interdisciplinary Reviews (Water), v. 3, n. 1, p. 5-12, 2016.

COOK, C.; BAKKER, K. *Water security*: Debating an emerging paradigm. [S.l.]: Global environmental change, v. 22(1), p. 94-102, 2012.

COOPER, H. M. *Synthesizing research*: A guide for literature reviews. California (USA): Sage, 1998.

COPASA. Apresenta informações sobre: *Programa Pró Mananciais*. Cia de Saneamento de Minas Gerais. Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/meio-ambiente/pro-mananciais>. Acesso em: 28 out. 2019.

CORREIO DO BRASIL. Incra realiza ações emergenciais em assentamentos atingidos pelas cheias. *Jornal Correio do Brasil*, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://arquivo.correiodobrasil.com.br/incra-realiza-acoes-emergenciais-em-assentamentos-atingidos-pelas-cheias/>. Acesso em: 31 dez. 2019.

COSTA, H. *Subsídios para gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos Rios Macacu, São João, Macaé e Macabu.* Rio de Janeiro: SEMA, p.203-274, 1999.

COSTA, H.; TEUBER, W. *Enchentes no estado do Rio de Janeiro*: uma abordagem geral. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 160 p.

COSTA, L. F. et al. *A precipitação traduzida em índices*: o Estado do Rio de Janeiro enfrentando a pior estiagem dos últimos 85 anos. In: Revista INEANA Especial. nov/2018. Rio de Janeiro: INEA, p. 56-76, 2018.

COSTA, T. C. et al. Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. *Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*, 2005.

CPRM. Serviço Geológico. *Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Cachoeiras de Macacu-RJ*. [S.l.], 2015. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-Naturais/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes---Rio-de-Janeiro-5082.html>. Acesso em: 14 out. 2019.

CPRM. Serviço Geológico. *Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 59*. [S.l.], 2002. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/projetos/relatorios_sintese_regionalizacao/sint_reg59.pdf>. Acesso em: 23 out. 2019.

CRABB, A.; LEROY, P. *The handbook of environmental policy evaluation*. [S.l.]: Routledge, 2012.

CRHi. *Releitura dos Indicadores para Gestão de Recursos Hídricos 2010*. São Paulo: SMA-SP, 2010. 322 p. Relatório Técnico.

CRISTAN, R. et al. *Effectiveness of forestry best management practices in the United States: Literature review*. [S.l.]: Forest Ecology and Management, v. 360, p. 133-151, 2016.

CRUZ, M. M. Avaliação de Políticas e Programas de saúde: contribuições para o debate. In: MATTOS R. A.; BAPTISTA, T. W.F. (org.). *Caminhos para análise das políticas de saúde*. Rio de Janeiro: IMS/UERJ, p. 181-99, 2011.

CRUZ, R. C. *Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados*. 2005. 135f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DAFLON, R.; NOBREGA, C. INEA suspende licença de barragem no Guapiaçu. *Canal Ibase*, Rio de Janeiro, 30 mai. 2014. Disponível em: <http://www.canalibase.org.br/inea-suspende-licenca-de-barragem-no-guapiacu/>. Acesso em: 10 set. 2019.

DALY, H.; FARLEY, J. *Ecological Economics:* Principles and Applications. 2nd ed. Washington DC (USA): Island Press, 2010.

DANTAS J. R. C. et al. Impactos ambientais na bacia hidrográfica de Guapi/Macacu e suas consequências para o abastecimento de água nos municípios do leste da Baía de Guanabara. In: Coleção Artigos Técnicos nº 7, *Série Gestão e Planejamento Ambiental, 10*, Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2008. 26p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/337/1/sgpa-10_final.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

DARGHOUTH, S. et al. *Watershed management approaches, policies, and operations*: lessons for scaling up. Washington DC (USA): The World Bank, pp: 1-164, 2008. Journal Article. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/pt/142971468779070723/Watershed-management-approaches-policies-and-operations-lessons-for-scaling-up>. Acesso em: 15 out. 2019.

DAVIS, M. et al. *Coastal Protection and SUDS*: Nature-Based Solutions. Berlin: Ecologic Institute , 2015. Disponível em: <https://ec.europa.eu/environment/integration/green_semester/pdf/Recreate_PB_2015_NBS_final_druck10-02-2016.pdf>. Acesso em: 15 out. 2019.

DE GROOT, R. S. et al. *Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation*. In: The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), Ecological and Economic Foundations, London, Earthscan, p. 9-40, 2010.

DE LIMA, A. P. M. et al. *Pagamentos por Serviços Ambientais Hídricos no Brasil*: Experiências Iniciais e os desafios do monitoramento. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/973936/pagamento-por-servicos-ambientais-hidricos-no-brasil-experiencias-iniciais-e-os-desafios-do-monitoramento>. Acesso 27 mai. 2019.

DE LIMA, L. S. et al. *Uncertainties in demonstrating environmental benefits of payments for ecosystem services*. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 27, p. 139-149, 2017.

DE LOË, R. C. et al. *Local capacity for groundwater protection in Ontario*. [S.l.]: Environmental management, v. 29, n. 2, p. 217-233, 2002.

DELZON, S.; LOUSTAU, D. *Age-related decline in stand water use*: sap flow and transpiration in a pine forest chronosequence. [S.l.]: Agricultural and Forest Meteorology, v. 129, p. 105– 119, 2005. Disponível em: <doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.01.002>. Acesso em: 23 jul. 2019.

DEUBEL, A. N. R. *Políticas públicas:* Formulación, implementación y evaluación. Colombia: Aurora, 2006.

DÍAZ, S. et al. *Assessing nature's contributions to people*. [S.l.]: Science, v.359(6373), p.270-272, 2018. Disponível em: <http://dx.doi. org/10.1126/science.aap8826>. Acesso em: 2 jul. 2019.

DICKSON, S. E. et al. *Water security assessment indicators*: The rural context. [S.l.]: Water resources management, v. 30, n. 5, p. 1567-1604, 2016.

DNPM. Banco de Dados. Sistema de Informações Geográficas da Mineração – SIGMINE. Dados sobre extração mineral. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br>. Acesso em: 2 jul. 2019.

DRAIBE, S. M. Avaliação de implementação: esboço de uma metodologia de trabalho em políticas públicas. In: BARREIRA, M. C. R. N.; CARVALHO, M. C. B. (org.). *Tendências e perspectivas na avaliação de políticas e programas sociais*. São Paulo: IEE/PUC-SP, p.13-42, 2001.

DRM-RJ. Banco de Dados Georreferenciado (BDGEO). Dados sobre Registro Mineral 2018. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/bdgeo.html>. Acesso em: 3 jun. 2019.

_____. *Panorama Mineral do Estado do Rio de Janeiro 2014*. Rio de Janeiro, 2014. 102 f. Disponível em: <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/downloads/category/79-panorama-mineral-2014.html?download=551%3Apanorama-mineral-2014>. Acesso em: 23 jul. 2019.

DUNN, G.; BAKKER, K. *Canadian approaches to assessing water security*: an inventory of indicators: Policy Report. Vancouver: University of British Columbia, 2009. 39 p.

DYE, T. R. Mapeamento dos modelos de análise de políticas públicas. In: HEIDEMANN, F. G.; SALM, J. F. *Políticas públicas e desenvolvimento*: bases epistemológicas e modelos de análise. Brasília: UnB, 2009.

EC. Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities. In: *FINAL REPORT OF THE HORIZON 2020,* [S.l.], 2015, Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities'.

EEA. *EEA core set of indicators*: Guide. Luxembourg: European Environmental Agency Office for Official Publications of the European Communities, 2005. 38p. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2005_1/file>. Acesso em 12 jan. 2020.

EGGERMONT, H. et al. *Nature-based solutions*: new influence for environmental management and research in Europe. [S.l.]: GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society, 2015. v. 24, n. 4, p. 243-248.

ELLISON, D. N. et al. *On the forest cover–water yield debate*: from demand-to supply-side thinking. [S.l.]: Global Change Biology, v. 18, p. 806–820, 2012. Disponível em: <doi: http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486..02589.x>. Acesso em: 4 dez. 2019.

ELLISON, D. N. et al. *Trees, forests and water:* Cool insights for a hot world. [S.l.]: Global Environmental Change, v. 43, p. 51-61, 2017.

EMATER-RIO. *Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola - ASPA*. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://www.emater.rj.gov.br/Emater/images/ASPA2014_MUNIval.htm>. Acesso em: 4 dez. 2019.

EMBRAPA. *Apresenta As Boas Práticas Agropecuárias*. Disponível em: <https://cloud.cnpgc.embrapa.br/bpa/>. Acesso em: 19 dez. 2018.

EMERSON, K. et al. An integrative framework for collaborative governance. *Journal of public administration research and theory*, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 1-29, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/jopart/mur011>. Acesso em: 4 dez. 2019.

ENCIBRA. *Projeto: Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de São Gonçalo*. Relatório Final do PMSB. São Gonçalo (RJ), 2015. Relatório parte integrante do Contrato no PMSG 264/2012 do processo 10.272/12, celebrado entre a Prefeitura de São Gonçalo e a ENCIBRA S.A.

ENGEL, S. et al. *Designing payments for environmental services in theory and practice*: an overview of the issues. [S.l.]: Ecological economics, v. 65, n. 4, p. 663-674, 2008.

ENGLE, N.; LEMOS, M. C. *Capacidade de adaptação às mudanças climáticas e gerenciamento de recursos hídricos no nordeste brasileiro: estudo preliminar*. São Paulo: SBRH, 2007.

ERNST, C. *Protecting the Source*. [S.l.]: The Trust for Public Land, 2004. Disponível em: <https://www.tpl.org/sites/default/files/cloud.tpl.org/pubs/water-protecting_the_source_final.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2019.

ESDEC. *Mapa de Ameaças Naturais do Estado do Rio de Janeiro e Artigo Prevenindo Desastres*. Revista Emergência, Rio de Janeiro, ago. 2012. Escola de Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro.

EXTRA. Água já começa a faltar. *Jornal EXTRA*, Rio de Janeiro, 27 ago. 2002. p.1-5 apud DANTAS J. R. C. et al. Impactos ambientais na bacia hidrográfica de Guapi-Macacu [...]. Rio

de Janeiro, 2008. 26p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/337/1/sgpa-10_final.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

EXTRA. Rio Macacu: Fiscalização contra captação ilegal. *Jornal EXTRA*, Rio de Janeiro, 12 out. 2007b. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/rio/rio-macacu-fiscalizacao-contra-captacao-ilegal-724552.html>. Acesso em: 13 abr. 2019.

_____. SERLA interdita bombas que faziam captações clandestinas de água no Rio Macacu. *Jornal EXTRA*, Rio de Janeiro, 17 out. 2007a. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/rio/serla-interdita-bombas-que-faziam-captacoes-clandestinas-de-agua-no-rio-macacu-722214.html>. Acesso em: 22 out. 2019.

FAO. Status of the World's Soil Resources Main Report. In: *INTERGOVERNMENTAL TECHNICAL PANEL ON SOILS (ITPS)*. [S.l.], 2015.

_____. *The new generation of watershed management programs and projects.* Rome: FAO Forestry, 2006. paper 150.

_____. *The Water-Energy-Food Nexus:* A new approach in support of food security and sustainable agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-bl496e.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

FARIAS, J. E. F., Jr. *Importância da Bacia do Guapi-Macacu para o Abastecimento*. Rio de Janeiro: INEA, 2015. Relatório Técnico apresentado em reunião realizada em outubro de 2015 ao Grupo Técnico Barragem Guapiaçu.

_____. *Monitoramento Hidrometeorológico das Bacias Hidrográficas dos rios Guapiaçu, Macacu e Guapimirim*. Rio de Janeiro: INEA, 2019. il. color. In: Relatório Técnico apresentado na Reunião Extraordinária do Comitê da Baía de Guanabara e dos Sistemas Lagunares de Maricá e Jacarepaguá (CBH-BG) realizada em 30 de janeiro de 2019. Gravação disponível CBH-BG.

FARLEY, K. A. et al. *Effects of afforestation on water yield*: A global synthesis with implications for policy. [S.l.]: Global Change Biology, v.11(10). p. 1565–76, 2005.

FERRARO, P. J. et al. *Forest figures*: ecosystem services valuation and policy evaluation in developing countries. [S.l.]: Rev. Environ. Econ. Policy, v. 6, n. 1, p. 20–44, 2012.

FERREYRA, C. et al. Imagined communities, contested watersheds: challenges to integrated water resources management in agricultural areas. *Journal of Rural Studies*, Toronto (Canada), Elsevier, n. 24, p. 304-321, 2008.

FIDALGO, E. C. C. et al. *Manual para Pagamento por Serviços Ambientais Hídricos*. Brasília: Embrapa, 2017. 84p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1071113/manual-para-pagamento-por-servicos-ambientais-hidricos-selecao-de-areas-e-monitoramento>. Acesso em: 12 abr. 2019.

FIRJAN. *Relatório de Atividades do Grupo Gestor do Plano ABC*: Secretaria Executiva (2017-2018). Rio de Janeiro, 2019. 17p.

FOLLADOR, M. (Coord.). *Programa Água Brasil*. Análise da viabilidade econômico financeira da recuperação florestal em áreas de reserva legal com foco no Programa ABC: Sumário Executivo. [S.l.]: Banco do Brasil, 2017. WWF: 2017.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M. *Water allocation in Brazil*: A global overview and the case of Ceará State. 2013. [S.l.:s.n.]: 2013. Final Report for the World Bank Project Turkey: Watershed Dialogue–National Basin Strategy and Project, 2013.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; MELO, M. C. *Modelo conceitual e metodológico para análise qualitativa da segurança hídrica no abastecimento público de áreas urbanas*. Relatório final do Grupo de Pesquisa "Água, Gestão e Segurança Hídrica em tempos de Mudanças Ambientais Globais". Rio de Janeiro, 2016.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M. et al. Segurança hídrica e capacidade adaptativa urbana e metropolitana em tempos de mudanças climáticas. In: PHILLIPI JR, A.; SOBRAL, M.C. *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade*. São Paulo: Editora Manole, 2019, p. 427-459.

FRANCO, M. L. P. B. *Análise de conteúdo*. 2. ed. Brasília: Liber Livro, 2005.

FREEMAN, J. et al. *Statistical Analysis of Drinking Water Treatment Plant Costs, Source Water Quality, and Land Cover Characteristics*. [S.l.]: Trust for Public Land, 2008. 30 p.

FREIRE, E. H. B. *ST 4 Direito à água*: conflitos e disputas na Região do Leste Metropolitano do Rio de Janeiro. In: Anais ENANPUR, v. 17, n. 1, 2017.

FREY, K. Políticas públicas: um debate conceitual e reflexões referentes á prática da análise de políticas públicas no Brasil. In: *Revista de Sociologia e Política*, v.17, n.15, nov, 2000.

FRIEDENREICH, G.; PINHEIRO, A. *Transformações Geomorfológicas e Fluviais Decorrentes da Canalização do Rio Itajaí-Açu na Divisa dos Municípios de Blumenau e Gaspar (SC)*. São Paulo: Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 3, nº 1, p. 1-9, 2002.

FUNBIO. *Projeto Identificação e regularização ambiental dos imóveis rurais localizados no interior e na zona de amortecimento das Unidades de Conservação Estaduais (CAR nas UCs)*. Termo de Referência 2018.0720.00057-6 pertencente ao INEA. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.funbio.org.br/wp-content/uploads/2018/07/TDR-CAR-nas-UCs-Versão-Final.pdf>. Acesso em: 4 out. 2019.

G1. Apresenta a notícia: Polícia flagra extração ilegal de barro em Cachoeiras de Macacu, no RJ. *Jornal G1 (GLOBO)*, Rio de Janeiro, 13 set. 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/regiao-serrana/noticia/2018/09/13/policia-flagra-extracao-ilegal-de-barro-em-cachoeiras-de-macacu-no-rj.ghtml>. Acesso em: 17 jul. 2019.

G1 RIO. Apresenta a notícia: Moradores de bairros de São Gonçalo, RJ, reclamam de falta d'água. *Jornal G1 Rio*, Rio de Janeiro, 22 out. 2015. Disponível em: <http://g1.globo.com/rio-de-janeiro/noticia/2015/10/moradores-de-bairros-de-sao-goncalo-rj-reclamam-de-falta-dagua.html>. Acesso em: 19 nov. 2019.

GARRICK, D.; HALL, J. W. *Water security and society*: risks, metrics, and pathways. [S.l.]: Annual Review of Environment and Resources, v. 39, p. 611-639, 2014.

GARRICK, D. E. et al. *Valuing water for sustainable development. Measurement and governance must advance together*. [S.l.]: Science, 2017.

GARTNER, T. et al. *Natural Infrastructure Investing in Forested Landscapes for Source Water Protection in the United States*. Washington DC (USA): World Resources Institute, 2013. 134p. Disponível em: <https://www.wri.org/publication/natural-infrastructure>. Acesso em: 14 jul. 2019.

_____. Protecting forested watersheds is smart economics for water utilities. *Journal-American Water Works Association (AWWA)*, Denver CO (USA), v. 106, n. 9, p. 54-64, 2014.

GERLAK, A. K. et al. *Water security*: A review of place-based research. [S.l.]: Environmental Science & Policy, v. 82, p. 79-89, 2018.

GHAZOUL, J.; SHEIL, D. *Tropical Rain Forest Ecology, Diversity, and Conservation.* Oxford (UK): University Press, 2010.

GIORDANO, M.; SHAH, T. From IWRM back to integrated water resources management. *International Journal of Water Resources Development*, v. 30, n. 3, p. 364-376, 2014.

GIULIANI, G. M.; CASTRO, E. G. *Recriando espaços sociais:* uma análise de dois assentamentos rurais no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Estudos, Sociedade & Agricultura, 1996. Revista semestral de ciências sociais aplicadas ao estudo do mundo rural, p. 138-169.

GJORUP, A. F. et al. *Análise de procedimentos para seleção de áreas prioritárias em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos*. Revista Ambiente e Água, [S.l.], v. 11, n. 1, n. 1, p. 225-238, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-993X2016000100225&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acesso em: 29 jun. 2019.

GLEICK, P. H. *Global Freshwater Resources*: Soft-Path Solutions for the 21st Century. [S.l.]: *SCIENCE*, v. 302, 28 nov. 2003.

GOIS, G. *Caracterização da seca e seus efeitos na produção da cultura do milho para as diferentes regiões do estado de Minas Gerais.* 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (MG), 2005.

GOLDMAN-BENNER, R. L. et al. *Water funds and payments for ecosystem services*: practice learns from theory and theory can learn from practice. [S.l.]: Oryx, v. 46, p. 55–63, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/S0030605311001050>. Acesso em 09 fev. 2020.

GOMES, E. R. *Potencialidades e Limitações para a Adoção de Praticas Agroecológicas:* Estudo de caso no Assentamento São José da Boa Morte - Cachoeiras de Macacu-RJ. 2018. 54f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GRIMA, N. et al. *Payment for Ecosystem Services (PES) in Latin America*: Analyzing the performance of 40 case studies. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 17, p. 24-32, 2016.

GRIZZETTI, B. et al. *Assessing water ecosystem services for water resource management*. [S.l.]: Environmental Science & Policy, v. 61, p. 194-203, 2016.

GURGEL, A. C. *Observatório ABC*. Impactos econômicos e ambientais do Plano ABC. [S.l.]: FGV, 2017. EESP e Climate and Land Use Alternative.

GUSWA, A. J. et al. *Ecosystem services*: Challenges and opportunities for hydrologic modeling to support decision making. [S.l.]: Water Resources Research, v. 50, n. 5, p. 4535-4544, 2014.

GWP. *A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins*. Stockholm (Sweden), 2009.

_____. Apresenta informações sobre: *GWP history at a glance.* Disponível em: <https://www.gwp.org/en/About/who/History/>. Acesso em: 3 dez. 2019.

_____. *Briefing Note. Ecosystem services and water security*. Stockholm (Sweden), 2014a. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/about-gwp/publications/briefing-notes/p816_gwp_ecosystems_briefing-note_web.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2019.

_____. *Global Water Security* – an engineering perspective. Stockholm (Sweden), 2010. Disponível em: <http://www.raeng.org.uk/publications/reports/global-water-security>. Acesso em: 3 dez. 2019.

_____. *PERSPECTIVES PAPER*: Linking ecosystem services and water security - SDGs offer a new opportunity for integration. Stockholm (Sweden), 2016. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/publications/perspective-papers/gwp_pp_-ecosystemservices.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2019.

_____. *Proceedings from the GWP workshop*: Assessing water security with appropriate indicators. Stockholm (Sweden): GWP, 2014b.

GYSEN, J. et al. *The Modus Narrandi:* A Methodology for Evaluating Effects of Environmental Policy. London (UK): SAGE Publications, Vol 12(1): 95–118, 2006.

HAMEL, P.; BRYANT, B. P. *Uncertainty assessment in ecosystem services analyses*: Seven challenges and practical responses. [S.l.]: Ecosystem Services, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.008>. Acesso em: 4 out. 2019.

HANSON, C. et al. *The Corporate Ecosystem Services Review*: Guidelines for Identifying Business Risks and Opportunities Arising from Ecosystem Change. Washington DC (USA): World Resources Institute (WRI), 2012. Version 2.0. Disponível em: <www.wri.org/publication/corporate-ecosystem-services-review>. Acesso em: 11 dez. 2019.

HARDY, S. D.; KOONTZ, T. M. *Collaborative watershed partnerships in urban and rural areas: Different pathways to success?* [S.l.]: Landscape and Urban Planning, v. 95, n. 3, p. 79-90, 2010.

HARRISON, I. J. et al. *Protected areas and freshwater provisioning*: a global assessment of freshwater provision, threats and management strategies to support human water security. [S.l.]: Marine and Freshwater Ecosystems, v. 26, p. 103-120, 2016. Aquatic Conservation.

HARTLEY, J. Case study research. In: CASSELL, C.; SYMON, G. *Essential guide to qualitative methods in organizational research*. London (UK): Sage, 2004. cap. 26.

HASSAN, M. A. et al. *Spatial and Temporal Dynamics of Wood in Headwater Streams of the Pacific Northwest*. [S.l.]: Journal of the American Water Resources Association, v. 41(4), p. 899–919, 2005.

HERMOSO, V. et al. *Prioritizing catchment rehabilitation for multi objective management*: an application from SE - Queensland, Australia. [S.l.]: Ecol. Model., v. 316, p. 168–175, 2015.

HISSA, H. R. et al. Sustainable rural development in Rio de Janeiro state: the Rio rural program. In: NEHREN, U. et al. (ed.). *Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro*. Springer, Cham, 2019. p. 23-39.

HOEKSTRA, A. Y. et al. Urban water security: A review. *Environmental research letters*, v. 13, n. 5, p. 053002, 2018.

HOFF, J. *Understanding the nexus:* Background Paper for the Bonn 2011. Stockholm (Sweden): Stockholm Environment Institute (SEI), 2011. Disponível em: <https://www.water-energy-food.org/uploads/media/understanding_the_nexus.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2020.

HORNBECK, J. W.; KOCHENDERFER, J. N. A Century of Lessons About Water Resources in Northeastern Forests. In: GEORGE, G. I.; STEDNICK, J. D. (Eds.). *A Century of Forest and Wildland Watershed Lessons*, Bethesda (Publisher), The Society of American Foresters, 2004. p. 19–31.

HOWLETT, M.P.; CUENCA, J. S. *The use of indicators in environmental policy appraisal*: Lessons from the design and evolution of water security policy measures. [S.l.]: J. Environ. Policy Plan., v. 19, p. 229–243, 2017.

HUBER-STEARNS, H. R. et al. *Institutional analysis of payments for watershed services in the western United States*. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 16, p. 83-93, 2015.

HUBER-STEARNS, H. R. et al. *Social-ecological enabling conditions for payments for ecosystem services*. [S.l.]: Ecology and Society, v. 22, n. 1, 2017. Journal article. Disponível em: < https://www.ecologyandsociety.org/vol22/iss1/art18/>. Acesso em: 11 dez. 2019.

IBGE. *Censo Demográfico 2010*. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: < http://www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 set. 2019.

IBGE. Banco de Dados. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. *Dados do Censo Agropecuário de 2017.* Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/CA/A/Q>. Acesso em: 19 fev. 2019.

ICV. *Estados buscam soluções para validação do Cadastro Ambiental Rural*. Notícia publicada em 28 out. 2019. Disponível em: <https://www.icv.org.br/2019/10/estados-buscam-solucoes-para-validacao-do-cadastro-ambiental-rural/>. Acesso em: 17 dez. 2019.

IKEMOTO, S. M. et al. Seleção de áreas para projetos de restauração florestal nas áreas de interesse para proteção e recuperação de mananciais (AIPM) no estado do Rio de Janeiro - múltiplas escalas. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, XXIII, Foz do Iguaçu, 24 – 28 nov. 2019. Rio de Janeiro, INEA, 2019. Disponível em: <http://anais.abrh.org.br/works/5716>. Acesso em: 26 dez. 2019.

IKEMOTO, S. M.; NAPOLEÃO, P. R. M. (Coord.). *Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro*: Subsídios ao planejamento e ordenamento territorial. Rio de Janeiro: INEA, 2018. 464p. Disponível em: < http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Livro_Atlas-dos-Mananciais-de-Abastecimento-do-Estado-do-Rio-de-Janeiro.pdf>

INCRA. *Programa de Desenvolvimento Rural para a Área de São José da Boa Morte (mimeo)*. Rio de janeiro, 1986. 15p. apud PAIXÃO, R. L. *A pecuária bovina no Assentamento Rural São José da Boa Morte, Cachoeira de Macacu, RJ, 2000*. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2000. 90 p.

INEA. Apresenta a notícia: *Após denúncia, homens que realizavam extração de areia do leito de rio em Cachoeiras de Macacu são encaminhados à delegacia*. Rio de Janeiro, 4 de setembro de 2017c. Seção de Notícias. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/apos-denuncia-homens-que-realizavam-extracao-de-areia-do-leito-de-rio-em-cachoeiras-de-macacu-sao-encaminhados-a-delegacia/>. Acesso em: 20 jul. 2019.

_____. Apresenta a notícia: Câmara de Compensação Ambiental aprova projetos para restauração florestal no Estado do Rio. 31 mai. 2019. Seção de Notícias. Rio de Janeiro, 2019f. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/camara-de-compensacao-ambiental-aprova-projetos-para-restauracao-florestal-no-estado-do-rio/>. Acesso em 25 dez. 2019.

_____. Apresenta informações sobre: Segurança Hídrica. Seção de Notícias. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/seguranca-hidrica/>. Acesso em: 23 dez. 2019a.

_____. Apresenta o Pagamento por Serviços Ambientais em sua respectiva seção. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/biodiversidade-territorio/pagamento-servicos-ambientais-psa/>. Acesso em: 10 jan. 2020.

_____. *Diagnóstico dos acidentes ambientais no Estado do Rio de Janeiro, 1983-2016*: enfoque no transporte rodoviário de produtos perigosos. Rio de Janeiro, 2017b. 136p. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2019/01/Diagn%C3%B3stico-dos-Acidentes-Ambientais-no-Estado-do-Rio-de-Janeiro-1983-2016.pdf >. Acesso em: 2 out. 2019.

INEA. *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro*: R8-B – Cenários de Demandas e Balanço Hídrico. Rio de Janeiro, 2014a.

_____. *Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro*: R3-A - Temas Técnicos Estratégicos - RT-03 - Vulnerabilidade a Eventos Críticos. Rio de Janeiro, 2014d.

_____. Gerência de Instrumentos de Recursos Hídricos e Governança das Águas - GEAGUA. *Tabela Outorgas concedidas para captação de água superficial na Bacia do rio Guapi-Macacu*. Rio de Janeiro, 2019c. Tabela obtida do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH). Acesso em: 11 dez. 2019.

_____. Gerência do Serviço Florestal - GESEF. *Portal da Restauração Florestal*. Rio de Janeiro, 2019e. Disponível em: <https://www.restauracaoflorestalrj.org/observatorio>. Acesso em: 25 dez. 2019.

_____. *Indicação de Áreas para Restauração Florestal na Região da Captação de Água do sistema Imunana-Laranjal*. Rio de Janeiro, 2019b. Relatório Técnico.

_____. Licença de Operação LO IN024701. Dispõe sobre a licença para operar o sistema de captação do Complexo Imunana-Laranjal concedida a Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro (DOERJ)*, Rio de Janeiro, 3 out. 2013 apud MPRJ. *Ação Civil Pública [...] Complexo Imunana-Laranjal*. Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2017. [...]. p.25

_____. *Mapa da Área de Interesse para Proteção e Recuperação de Mananciais(AIPM) da Bacia do rio Guapi-Macacu, com localização das captações para abastecimento público*. Rio de Janeiro: INEA/DIGAT/GEGET, 2015b. il. color.

_____. *Mapa da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) e localização da área de estudo, a Bacia do rio Guapi-Macacu.* Rio de Janeiro: INEA/DIGAT/GEGET, 2015a. il. color.

_____. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro*: Fontes Alternativas para o Abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, com ênfase na RMRJ. Rio de Janeiro: Fundação COPPETEC, 2014c. 64 p.

_____. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro*: Rio de Janeiro, 2014b. Relatório Síntese.

INEA. *Relatório consolidado da Diretoria de Biodiversidade, Áreas Protegidas e Ecossistemas*: Gestão 2015-2018. Rio de Janeiro, 2018. Relatório técnico.

_____. *Resolução INEA Nº 143/2017*, Rio de Janeiro, INEA, 2017a, realizado em 31 de maio, Lei Estadual nº 5.101, de 04 de outubro de 2007, o art. 8°, XVIII do Decreto Estadual n° 41.628, de 12 de janeiro de 2009, na forma que orienta o Parecer RD n.º 02/2009, da Procuradoria do INEA e conforme processo administrativo E07/002.04633/2017, que Instituiu o Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal – SEMA.

INEA. *Qualidade das Águas da Região Hidrográfica V*. Rio de Janeiro, 2019d. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/qualidade-das-aguas-por-regiao-hidrografica-rhs/>. Acesso em: 10 dez. 2019.

IPEA. *Avaliação de políticas públicas:* guia prático de análise ex ante: volume 1. Brasília: Casa Civil da Presidência da República – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2018. 192 p.

IRVINE, J. et al. *Age-related changes in ecosystem structure and function and effects on water and carbon exchange in ponderosa pine*. [S.l.]: Tree Physiol., v. 24, p. 753–763, 2004.

ITABORAÍ. Prefeitura Municipal. *Plano De Contingência De Enfrentamento Em Desastres Naturais Do Município De Itaboraí / RJ*. Itaboraí (RJ): Vigilância Ambiental em Saúde – VAS, 2018. 164 pg. Disponível em: <https://www.itaborai.rj.gov.br/wp-content/uploads/2017/12/P-C-VIGIDESASTRE-2016-a-2018-01.12.017.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2019.

IUCN. *Going with the flow Working with the nature*. il. color. Disponível em: < https://www.iucn.org/downloads/iucn_water_infographic.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2018.

_____.*Position paper for UNFCCC COP15*, Copenhagen. Gland (Switzerland), 2009.

_____. *Resolution 069 on Defining Nature-based Solutions*. Gland (Switzerland), 2016.

IVEY, J. L. et al. *An institutional perspective on local capacity for source water protection*. [S.l.]: Geoforum, v. 37, n. 6, p. 944–957, 2006.

_____. *Groundwater management by watershed agencies*: an evaluation of the capacity of Ontario's conservation authorities. [S.l.]: Journal of Environmental Management, v. 64, n. 3, p. 311-331, 2002.

IWA. *The Bonn Charter for Safe Drinking Water*. [S.l.]: 2004. 17p. Disponível em: <http://www.iwa-network.org/downloads/1447946928-IWA%20bonn%20charter.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2019.

JACKSON, C. R. et al. *Fifty years of forest hydrology in the Southeast*. USA: United States Department of Agriculture (USDA), 2004. U.S. Forest Service. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/21312>. Acesso em: 14 ago. 2019.

JANNUZZI, P. M. *Indicadores sociais no Brasil*: conceitos, fontes de dados e aplicações. Campinas: Alínea, 2004.

JONES, J. A. et al. *Hydrologic Effects of a Changing Forested Landscape*: Challenges for the Hydrological Sciences. [S.l.]: Hydrological Processes, 2009.

KENRICK, D. T. et al. *Social Psychology*: Unravelling the mystery. Needham Heights, MA (USA): Allyn & Bacon, 1999.

KERR, J. G. "*Watershed Management for Agricultural Development*". Washington DC (USA): The World Bank, 2004. pp. 228–32. Agriculture Investment Sourcebook, Agriculture and Rural Development Department.

KEUNE, H. et al. *Emerging ecosystem services governance issues in the Belgium ecosystem services community of practice*. [S.l.]: Ecosystem Services, v.16, p. 212–219, 2015.

KIERSCH, B. *Land use impacts on water resources*: a literature review. Rome: FAO, 2000. Discussion paper n.1: Land-Water Linkages in Rural Watershed.

KISHI, S. A. S. et al. Ministério Publico Resolutivo: Projeto Qualidade da Água e Projeto Conexão Água. In: Revista "*Ministério Público e Sustentabilidade*: O Direito das Presentes e Futuras Gerações". Brasília: CNMP- Conselho Nacional do Ministério Público, 8 set. 2017.

KROEGER, T. et al. *Análise do Retorno do Investimento na Conservação de Bacias Hidrográficas*: Referencial Teórico e Estudo de Caso do Projeto Produtor de Água do Rio Camboriú, Santa Catarina, Brasil. Arlington VA (USA): The Nature Conservancy, 2017. Disponível em: <https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/BrazilWaterROI_Portuguese.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

KUMAR, P. *The economics of ecosystems and biodiversity*: ecological and economic foundations. Abingdon ENG (UK): Routledge, 2012.

LANDAU, M. E. Ámbito propio del análisis de políticas. In: AGUILAR VILLANUEVA, L.F. (org.). *El estudio de las políticas públicas*. México: Miguel Ángel Porrúa, 1996.

LANDELL-MILLS, N.; PORRAS, T. I. *Silver Bullet or Fools' Gold?* A Global Review of Markets for Forest Environmental Services and Their Impact on the Poor. London (UK): International Institute for Environment and Development, 2002. Instruments for Sustainable Private Sector Forestry Series.

LANNA, A. E. L. *Gerenciamento de Bacia Hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos*. Brasília: IBAMA, 1995.

LATAWIEC, A. E. et al. *Creating space for large-scale restoration in tropical agricultural landscapes*. [S.l.]: Frontiers in Ecology and the Environment, v. 13, n. 4, p. 211-218, 2015.

LAUTZE, J.; MANTHRITHILAKE, H. Water security: old concepts, new package, what value? In: *Natural Resources Forum*. Oxford (UK): Blackwell Publishing Ltd, 2012. p. 76-87.

LEACH, W. D.; PELKEY, N. W. Making watershed partnerships work: a review of the empirical literature. *Journal of water resources planning and management*, [S.l.], v. 127, n. 6, p. 378-385, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1061/>. Acesso em: 14 ago. 2019.

LELES, P. S. S. Ações de Reflorestamento em Mata Ciliar do rio Macacu. 2019. In: *PALESTRA*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Departamento de Silvicultura. Rio de Janeiro, 2019.

LELES, P. S. S. Capítulo X – Recomposição Florestal. In *Programa Replanta Macacu,* Cachoeiras de Macacu, 2012. [S.l.: s.n.], 2012. Relatório Técnico.

LENTON, R.; MULLER, M. *Integrated Water Resources Management in Practice*: Better Water Management for Development. London (UK): Earthscan, 2009.

LIMA, J. E. C. *Os fatores de risco da Cota de Reserva Ambiental.* Disponível em: <https://www.jota.info/autor/joao-emmanuel-cordeiro-lima>. Acesso em: 28 nov. 2019.

LIQUETE, C. et al. *Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control:* highlighting hidden benefits. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 22, p. 392-401, 2016.

LIRA, O. O. Capacitação em Plano de Segurança da Água: Analises a serem realizadas em pontos críticos. In: *REUNIÃO DA SEÇÃO DE CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA*, Santa Barbara D'Oeste – SP, 25 de maio de 2017, Serviço de Saúde Ambiental da Superintendência Estadual de Pernambuco, Ministério da Saúde.

LIU, S. et al. Bringing ecosystem services into integrated water resources management. *Journal of Environmental Management*, [S.l.], v. 129, p. 92-102, 2013.

LOCKIE, S. *Market instruments, ecosystem services, and property rights*: assumptions and conditions for sustained social and ecological benefits. [S.l.]: Land Use Policy, v. 31, p. 90-98, 2013. Disponível em: < http://dx.doi. org/10.1016/j.landusepol.2011.08.010>. Acesso em: 21 jul. 2019.

LOHANI, B.; AIT-KADI, M. *Asian Water Development Outlook 2013:* Measuring Water Security in Asia and the Pacific. Manila: Asian Development Bank, 2013.

MAAS, T. Water and Environmental Security: Supporting Ecosystems and People. In: BIGAS, H. (Ed.). *The Global Water Crisis*: Addressing an Urgent Security Issue. Canada: Hamilton, 2012. UNU-INWEH, pp.26-33. Papers for the InterAction Council 2011-2012.

MACHADO, L.; CASTRO, B. *Gente do Caceribu, sua geografia, sua história*: diagnóstico socioeconômico da bacia do Caceribu. Rio de Janeiro: IBG, 1997.

MACLEOD, C. J. A. et al. Integration for sustainable catchment management. *Science of the Total Environment 373 (2007)*, Elsevier, Toronto (Canada), p. 591-602, 18 jan. 2007.

MAES, J.; JACOBS, S. *Nature-based solutions for Europe's sustainable development*. [S.l.]: Conservation Letters, v. 10, n. 1, p. 121-124, 2017.

MAES, J. et al. *Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services*: An analytical framework for ecosystem condition. Luxembourg: Publications office of the European Union, 2018.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. *Indicadores ambientais e recursos hídricos*: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MAKARIEVA, A. M. et al. *Revisiting forest impact on atmospheric water vapor transport and precipitation*. [S.l.]: Theoretical and Applied Climatology, v.111, p.79–96, 2013. Disponível em: <doi:http://dx.doi.org/10.1007/s00704-012-0643-9>. Acesso em: 29 dez. 2019.

MANDER, M. et al. *Modelling potential hydrological returns from investing in ecological infrastructure*: Case studies from the Baviaanskloof-Tsitsikamma and uMngeni catchments, South Africa. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 27 (Part B), pp. 261–271, 2017. Disponível em: <doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.03.003>. Acesso em: 29 dez. 2019.

MARGERUM, R. D. *Beyond consensus*: Improving collaborative planning and management. Massachusetts (USA): MIT Press, 2011.

MARGERUM, R. D.; ROBINSON, C. J. *Collaborative partnerships and the challenges for sustainable water management*. [S.l.]: Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 12, p. 53-58, 2015.

MASTERPLAN. Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica Central Fluminense. In *Projeto Biodiversidade e Mudanças Climáticas na Mata Atlântica - Cooperação Financeira BMUB 2098.10.961*. Relatório Técnico referente ao Produto 10: Minuta do Diagnóstico Municipal do Município de Cachoeiras de Macacu. Rio de Janeiro, 2019.

MARTIN-ORTEGA, J. et al. *Payments for water ecosystem services in Latin America*: a literature review and conceptual model. [S.l.]: Ecosystem Services, v.6, p. 122-132, 2013.

MAY, P. H. et al. *Cotas de Reserva Ambiental no Novo Código Florestal Brasileiro*: Uma Avaliação Ex-Ante. [S.l.:s.n.]: 2016.

MAZZUOLI, V. O. *Eficácia E Aplicabilidade Dos Tratados Em Matéria Tributária No Direito Brasileiro*. Revista de Informação Legislativa, Brasília, ano 44, n. 175, jul./set., 2007.

MCDONALD, R. I. *Conservation for Cities*: how to plan & build natural infrastructure. [S.l.]: Island Press, 2015.

MCDONALD, R. I. et al. *Water on an urban planet*: urbanization and the reach of urban water infrastructure. [S.l.]: Elsevier, 2014. Journal Global Environmental Change, v. 27, p. 96-105, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014000880>. Acesso em: 21 jul. 2019.

MCDONALD, R. I.; SHEMIE, D. *Urban Water Blueprint*: Mapping conservation solutions to the global water challenge. Washington DC (USA): The Nature Conservancy, 2014.

MCGONIGLE, D. F. et al. Towards a more strategic approach to research to support catchment-based policy approaches to mitigate agricultural water pollution: A UK case-study. In: *ENVIRONMENTAL SCIENCE POLICY*, Toronto, CA, Elsevier, v. 24, p. 4-14, 2012.

MCKEE, T. et al. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: CONFERENCE ON APPLIED CLIMATOLOGY, 8., 1993, Anaheim, CO. *Anais*... Fort

Collins (CO/USA): Colorado State University. Colorado (CO/USA): Department of Atmospheric Science, 1993.

MCKENZIE, E. et al. *Understanding the use of ecosystem service knowledge in decision making*: lessons from international experiences of spatial planning. [S.l.]: Environment and Planning A, p. 320–340, 2014.

MEDEIROS, P. C. et al. *Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental*. Taubaté, SP: Ambi-Água, , v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.179>. Acesso em: 21 jul. 2019.

MEDEMA, W.; JEFFREY, P. IWRM and adaptive management: synergy or conflict. In: *REPORT SERIES*: NeWater (New Approaches to Adaptive Water Management under Uncertainty), 2005.

MELO, M. C. *Segurança hídrica para abastecimento urbano: proposta de modelo analítico e aplicação na Bacia do Rio das Velhas, Minas Gerais*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

MELO, M. C.; FORMIGA-JOHNSSON, R. M. *O conceito emergente de segurança hídrica*. [S.l.]: Sustentare, v. 1, n. 1, p. 72-92, 2017.

MENASCE, M. Governo quer agilizar licença ambiental para construir represa no Rio Guapiaçu: Obra atenderia demanda reprimida por água no Leste Fluminense. *Jornal O GLOBO*, Rio de Janeiro, 2 fev. 2015. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/bairros/governo-quer-agilizar-licenca-ambiental-para-construir-represa-no-rio-guapiacu-15204298>. Acesso em: 21 jul. 2019.

MERCÊS, G.; FREIRE, N. *Crise fiscal dos estados e o caso do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Geo UERJ, n. 31, p. 64-80, 2017.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. *Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais:* um desafio atual para a sobrevivência futura. Porto Alegre: Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002. Disponível em: <http://taquari.emater.tche.br/docs/agroeco/revista/ano3_n4/artigo2.pdf>. Acesso em: 29 out. 2019.

MICHAELIS. Infraestrutura. In: *Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa*. Disponível em: < http://michaelis.uol.com.br/busca?r=0&f=0&t=0&palavra=infraestrutura>. Acesso em: 29 jan. 2016.

MICKWITZ, P. *A Framework for Evaluating Environmental Policy Instruments*: Context and Key Concepts. London (UK): SAGE Publications, Vol 9(4): 415–436, 2003.

MICKWITZ, P.; BIRNBAUM, M. *Key insights for the design of environmental evaluations.* [S.l.]: New Directions for Evaluation, v. 2009, n. 122, p. 105-112, 2009.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems And Human Well-Being: Wetlands And Water Synthesis.* Washington DC (USA): World Resources Institute, 2005.

MITCHELL, B. *Integrated water resource management, institutional arrangements, and land-use planning*. [S.l.]: Environment and Planning A, v. 37, p. 1335-1352, 2005.

MONITOR MERCANTIL. Cedae inaugura reservatório do Colubandê e adutora em S. Gonçalo. *Jornal Monitor Mercantil*, Rio de Janeiro, 19 out. 2011. Disponível em: <https://monitordigital.com.br/cedae-inaugura-reservaturio-do-colubandu-e-adutora-em-s-gonualo>. Acesso em: 14 set. 2019.

MOURA, A. M. M. *Governança das políticas ambientais no Brasil*: desafios à construção de um sistema integrado de avaliação. Rio de Janeiro: IPEA, 2013b. Texto para discussão n. 1904.

_____. *O mecanismo de rotulagem ambiental*: perspectivas de aplicação no Brasil. [S.l.]: Boletim regional, urbano e ambiental, v. 07, Jan-Jun, p. 11-21, 2013a.

MOURA, I. B. et al. *Diagnóstico do espaço turístico e das propostas de gestão no município de Cachoeiras de Macacu*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

MOTA, J. A. M. Apresenta o artigo científico: *O reflorestamento à serviço da segurança hídrica*: breves considerações acerca das potencialidades da atuação do Ministério Público. Publicado em 04 dez. 2018 In: Ministério Público Federal (MPF), Conexão Água, *Boletim das Águas*. Brasília, 2018. Disponível em: <http://conexaoagua.mpf.mp.br/conexao-agua/boletim-das-aguas/edicao-especial-forum-mundial-das-aguas/artigos-cientificos>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MPRJ. Ação Civil Pública com Pedido de Antecipação dos Efeitos da Tutela. *Dispõe sobre o licenciamento ambiental do Complexo Imunana-Laranjal*. Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2017. Processo nº: 0236902-67.2017.8.19.0001.

MULDER, C. et al. Chapter one - 10 years later: revisiting priorities for science and society a decade after the millennium ecosystem assessment. In: GUY, W.; DAVID, A.B. (Eds.), *Adv. Ecol. Res. 53*, Academic Press, 2015. pp. 1–53

MURADIAN, R. et al. *Reconciling theory and practice*: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. [S.l.]: Ecological economics, v. 69, n. 6, p. 1202-1208, 2010.

NAEEM, S. et al. *Get the science right when paying for nature's services*. [S.l.]: Science, v. 347, n. 6227, p. 1206–1207, 2015.

NAGABHATLA et al. *Forests as nature-based solutions for ensuring urban water security*. Roma: Unasylva, v. 69, n. 250, p. 43-52, 2018. FAO's journal of forestry and forest industries.

NAPOLEÃO P. R. M. et al. Indicações metodológicas para o mapeamento da suscetibilidade às inundações aplicadas à bacia dos rios Guapi-Macacu/RJ. In: *Anais do I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres*. Paraná, Curitiba, 2016.

NARAYAN, S. et al. *The value of coastal wetlands for flood damage reduction in the northeastern USA.* [S.l.]: Sci. Rep., v. 7, p. 9463, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09269-z>. Acesso em 03 fev. 2020.

NEARY, D. G. et al. *Linkages between forest soils and water quality and quantity*. [S.l.]: Forest ecology and management, v. 258(10), p. 2269–81, 2009.

NEL, J. L. et al. *Strategic water source areas for urban water security*: Making the connection between protecting ecosystems and benefiting from their services. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 28, p. 251-259, 2017.

NESSHÖVER, C. et al. Biodiversity governance: a global perspective from the Convention on Biological Diversity. In: Gaspartos, A., Willis, K. J. (Eds.), *BIO- DIVERSITY IN THE GREEN ECONOMY*. London (UK): Routledge, pp. 289–308, 2015.

_____. *The science, policy and practice of nature-based solutions*: An interdisciplinary perspective. [S.l.]: Science of the Total Environment, v. 579, p. 1215-1227, 2017.

NETO, P. N. et al. *Análise de políticas públicas*: entre a modelagem e a realidade da política habitacional brasileira. [S.l.]: Revista de Administração Pública, v. 49, n. 4, p. 847-868, 2015.

NORMAN, E. S. et al. *Water security assessment*: integrating governance and freshwater indicators. [S.l.]: Water Resources Management, v. 27, n. 2, p. 535-551, 2013.

NRC (National Research Council). *Watershed Management for Potable Water Supply*: Assessing New York City's Approach. Washington DC (USA): National Academy Press, 2000.

O FLUMINENSE. Abastecimento de água é suspenso em Niterói e São Gonçalo. *Jornal O Fluminense*, Niterói, p.1, 27 ago. 2002 apud DANTAS J. R. C. et al. Impactos ambientais na bacia hidrográfica de Guapi/Macacu [...] Rio de Janeiro, CETEM/MCT, 2008. [...] 26p. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/bitstream/cetem/337/1/sgpa-10_final.pdf>. Acesso em: 16 out. 2019.

_____. Alerta no abastecimento de água. *Jornal O Fluminense*, Niterói, 17 out. 2015. Disponível em: <https://www.ofluminense.com.br/pt-br/pol%C3%ADtica/alerta-no-abastecimento-de-%C3%A1gua>. Acesso em: 6 out. 2019.

O GLOBO. União diz que tem cobrado mais agilidade nas obras: São Gonçalo recebe R$ 150 milhões para aumentar oferta de água. *Jornal O GLOBO*, Rio de Janeiro, 18 mai. 2013. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/uniao-diz-que-tem-cobrado-mais-agilidade-nas-obras-8432103>. Acesso em: 10 out. 2019.

OECD. *Environmental indicators*: development, measurement and use. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 2003. 37 p. Disponível em: <http://www.oecd.org/environment/environmentalindicatorsmodellingandoutlooks/24993546.pdf>. Acesso em 03 fev. 2020.

_____. Studies on Water. *Water Security for better lives*. 2013 Disponível em: <dx.doi.org>. Acesso em: 30 mai. 2019.

OEDC. *The New Rural Paradigm*: Policies and Governance. Paris: OECD Publishing, 2006. 168 p. Disponível em: <http://www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/governance/the-new-rural-paradigm_9789264023918-en#.V96rIlfgWOM#page1>. Acesso em: 10 mar. 2019.

OLIVEIRA, D. C. Planos de Segurança da Água. In: *APRESENTAÇÃO AO MINISTÉRIO DA SAÚDE SOBRE OS PLANOS DE SEGURANÇA DA ÁGUA*, Porto Alegre (RS), dez. 2015. Disponível em: <https://www.abes-rs.org.br/novo/_materiais/materiais_7ninkd4da33x.pdf>. Acessado em: 3 ago. 2019.

OSUNA, V. R. et al. *Priority areas for watershed service conservation in the Guapi-Macacu region of Rio de Janeiro, Atlantic Forest, Brazil*. [S.l.]: Ecological Processes, v. 3, n. 1, p. 16, 2014.

OZMENT, S. et al. *Infraestrutura Natural para Água no Sistema Cantareira, São Paulo*. Washington DC (USA) (USA), WRI, 2018b. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/sites/default/files/InfraestruturaNaturalCantareiraSP.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

OZMENT, S. et al. *Infraestrutura Natural para Água no Sistema Guandu, Rio De Janeiro*. Washington DC (USA) (USA), WRI, 2018a. Disponível em: <https://wribrasil.org.br/sites/default/files/InfraestruturaNaturalGuanduRJ.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2019.

OZMENT, S. et al. *Natural infrastructure in the nexus.* Nexus Dialogue Synthesis Papers. Gland, Switzerland: IUCN, 2015.

OZMENT, S. et al. *Protecting drinking water at the source:* lessons from watershed investment programs in the United States. Washington DC (USA): World Resources Institute, 2016. Disponível em: <https://www.wri.org/publication/protecting-drinking-water-source>. Acesso em: 21 out. 2019.

PAGANO, A. et al. *Engaging stakeholders in the assessment of NBS effectiveness in flood risk reduction*: A participatory System Dynamics Model for benefits and co-benefits evaluation. [S.l.]: Science of The Total Environment, v. 690, p. 543-555, 2019.

PAIVA, M. H. R. et al. Qualidade da água e exportação de sedimentos em sub-bacias dos rios Guapi-Macacu-bioma Mata Atlântica-RJ. In: Embrapa Solos - artigo em Anais de Congresso (ALICE). In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO*, 33, 2011, Uberlândia. *Solos nos biomas brasileiros*: sustentabilidade e mudanças climáticas. Uberlândia: SBCS, 2011.

PAIXÃO, R. L. *A pecuária bovina no Assentamento Rural São José da Boa Morte, Cachoeira de Macacu, RJ, 2000*. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2000.

PALMER, M. A. et al. *Water security*: gray or green? Manage water in a green way. [S.l.]: Science, v. 349 (6248), p. 584–585, 2015.

PASCUAL, U. et al. *Social equity matters in payments for ecosystem services*. [S.l.]: Bioscience, v. 64, n. 11, p. 1027-1036, 2014.

_____. *Valuing nature's contributions to people*: the IPBES approach. [S.l.]: Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 26, p. 7-16, 2017.

PAULA, D. Estiagem vira preocupação e alerta para racionamento de água no Rio: Seca no Rio Guapi-Macacu pode prejudicar abastecimento da Região Metropolitana. *Jornal O GLOBO*, Rio de Janeiro, 22 set. 2017. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/estiagem-vira-preocupacao-alerta-para-racionamento-de-agua-no-rio-21853288>. Acesso em: 20 out. 2019.

PEDREIRA, B. C. C. G. et al. *Dinâmica de uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas de Guapi- Macacu e Caceribu - RJ*. Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2009. 65 p. Relatório técnico.

PEDREIRA, B. C. G. P. et al. *Áreas prioritárias para recuperação na região da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, RJ*. Embrapa Solos-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2011.

PEREIRA, V. C. R. et al. *Diagnóstico Hidrogeoquímico na Bacia do Guapimirim-Macacu (RJ)*. Rio de Janeiro, UFRJ, Anuário do Instituto de Geociências, v. 40, n. 3, p. 82-93, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/download/27011/14752>. Acesso em: 4 ago. 2019.

PERRET, S. et al. *Water Governance for Sustainable Development*: Approaches and Lessons from Developing and Transitional Countries. London, UK: Earthscan, 2006.

PERROT-MAITRE, D.; DAVIS, P. *Case Studies of Markets and Innovative Financial Mechanisms for Water Services from Forests*. Washington DC: Forest Trends, The Katoomba Group, 2001. Disponível em: <http://www.forest-trends.org/documents/files/doc_134.pdf>. Acesso em 10 mai. 2018.

PETERSON, G. et al. *Welcoming different perspectives in IPBES*: "Nature's contributions to people" and "Ecosystem services". [S.l.]: Ecology and Society, v. 23, n. 1, 2018.

PETROBRAS. *Reavaliação Ambiental Estratégica da Área de Abrangência da Baía de Guanabara e Região do Entorno do COMPERJ*: Relatório Executivo. Rio de Janeiro: Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente – LIMA (Universidade Federal do Rio de Janeiro), 2016.

PIEMONTI, A. et al. *Optimizing conservation practices in watersheds*: Do community preferences matter? [S.l.]: Water Resources Research, v. 49, n. 10, p. 6425-6449, 2013.

PLUMMER, R. et al. *A systematic review of water vulnerability assessment tools*. [S.l.]: Water Resources Management, v. 26, n. 15, p. 4327-4346, 2012.

_____. Probing the integration of land use and watershed planning in a shifting governance regime. In: *WATER RESOURCES RESEARCH*, 2011. v. 47. Disponível em: <doi :10.1029/2010WR010213>. Acesso em: 4 dez. 2019.

PLUMMER, R. et al. The development of new environmental policies and processes in response to a crisis: the case of the multiple barrier approach for safe drinking water. In: *ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY I3 (2010)*, Toronto, CA, Elsevier, p. 535-548. 22. jun. 2010.

PNUMA. *Iniciativa latino-americana e caribenha para o desenvolvimento sustentável – ILAC*: indicadores de acompanhamento. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 173 p. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/173/_publicacao/173_publicacao24062009042213.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2020.

POFF, N. L. et al. *Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling.* [S.l.]: Nat. Clim. Change, v. 6 (1), p. 25–34, 2015.

POSTEL, S. L.; THOMPSON, B. H., Jr. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. In: Natural Resources Forum. Oxford, UK: Blackwell Publishing, Ltd., p. 98-108, 2005.

POTSCHIN, M. et al. *Nature-based Solutions*. [S.l.]: OpenNESS Ecosystem Service Reference Book, 2015. OpenNESS Synthesis Paper. Disponível em: <http://www. openness-project. eu/library/reference-book/sp-NBS>. Acesso em: 3 out.2019.

PRADO, R. B. et al. *Marco inicial do monitoramento do uso e cobertura da terra do COMPERJ*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 22p. Contrato No 6000.00419115.08.2, Produto 28, jun. 2010.

PRUSKI, F. F. *Conservação de solo e água*: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa (MG): UFV, 2. ed., 279 p., 2009.

QIU, J.; TURNER, M. G. *Importance of landscape heterogeneity in sustaining hydrologic ecosystem services in an agricultural watershed*. [S.l.]: Ecosphere, v. 6, n. 11, p. 1-19, 2015.

RAHAMAN, M. M.; VARIS, O. *Integrated water resources management*: evolution, prospects and future challenges. [S.l.]: Sustainability, science, practice and policy, v. 1, n. 1, p. 15-21, 2005.

RAYMOND, C. M. et al. *A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas*. [S.l.]: Environmental Science & Policy, v. 77, p. 15-24, 2017a.

_____. *An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects*. Report prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-Based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Wallingford, UK: Centre for Ecology and Hydrology, 2017b. Disponível em: <www.eklipse-mechanism.eu/apps/Eklipse_data/website/EKLIPSE_Report1-NBS_FINAL_Complete-08022017_ LowRes_4Web.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

REDE OÁSIS. Apresenta a Rede Oásis Lab Baía de Guanabara na seção principal. Disponível em: <https://www.labguanabara.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2020a.

REDE OÁSIS. *Relatório do 1º Encontro de ativação do grupo, jornada de aprendizado e ideação de projetos conjuntos, 01 e 02 de agosto de 2019*. Rio de Janeiro: Sense-Lab, 2019. Relatório Técnico.

_____. *Relatório Final Rede Oásis Lab Baía de Guanabara*. Rio de Janeiro: Sense-Lab, 2020b. Relatório técnico.

REGUA. Apresenta a Organização Não Governamental na seção: Quem somos. Disponível em: <http://regua.org.br>. Acesso em: 10 nov. 2019.

RESENDE, D. Sistema que abastece região de Niterói e São Gonçalo também é afetado pela seca. *Jornal O Globo*, Rio de Janeiro, 1 fev. 2015. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/sistema-que-abastece-regiao-de-niteroi-sao-goncalo-tambem-afetado-pela-seca-15211801>. Acesso em: 09 set. 2019.

RHOADES, R. E. *Participatory watershed research and management*: Where the shadow falls. [S.l.:s.n.]: 1999. Gatekeeper Series no. 81.

RICHARDS, R. C. et al. *Considering farmer land use decisions in efforts to 'scale up' Payments for Watershed Services*. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 23, p. 238-247, 2017.

_____. *Governing a pioneer program on payment for watershed services*: Stakeholder involvement, legal frameworks and early lesson from the Atlantic forest of Brazil. [S.l.]: Ecosystem Services, v. 16, p. 23-32, 2015.

RIITTERS, K. et al. *A global evaluation of forest interior area dynamics using tree cover data from 2000 to 2012*. [S.l.]: Landsc. Ecol., v. 31, p. 137–148, 2016. Disponível em: <doi:http://dx.doi.org/10.1007/s10980-015-0270-9>. Acesso em: 4 dez. 2019.

RODRIGUES, D. B. B. et al. *A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security*. [S.l.]: Water Resour. Res., v. 50, n. 9, p. 7187–7205, 2014.

RODRÍGUEZ, J. P. et al. *Trade-offs across space, time, and ecosystem services*. [S.l.]: Ecology and Society, v. 11, n. 1, 2006.

ROMULO, C. L. et al. *Global state and potential scope of investments in watershed services for large cities*. [S.l.]: Nature communications, v. 9, n. 1, p. 4375, 2018. Disponível em: < https://www.nature.com/articles/s41467-018-06538-x>. Acesso em: 09 set. 2019.

ROSENTHAL, A. et al. Process matters: a framework for conducting decision-relevant assessments of ecosystem services. *International Journal of Biodiversity Science*, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 190-204, 2015. Ecosystem Services & Management. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/21513732.2014.966149>. Acesso em: 10 set. 2019.

ROSENVALD, N. *Dignidade humana e boa-fé no Código Civil*. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

RUA, M. G. *Políticas Públicas.* Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração (UFSC), 2009. 130 p.

RUCKELSHAUS, M. et al. *Notes from the field*: lessons learned from using ecosystem service approaches to inform real-world decisions. [S.l.]: Ecological Economics, v. 115, p. 11-21, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.07.009>. Acesso em: 10 set. 2019.

S2iD. Base de Dados. Apresenta: *Relatórios do Sistema Integrado de Informações de Desastres do período de 2013 a 2019*. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios/>. Acesso em: 23 jun. 2019.

SALZMAN, J. et al. *The global status and trends of Payments for Ecosystem Services*. [S.l.]: Nat Sustain, v. 1, p. 136-144, 2018.

SANDSTROM K. *Can forests "provide" water*: widespread myth or scientific reality? [S.l.]: Ambio, v. 27, p. 132–38, 2019.

SATTLER, C.; MATZDORF, B. *PES in a nutshell*: from definitions and origins to PES in practice - approaches, design process and innovative aspects. [S.l.]: Ecosystem Services, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.09.009>. Acesso em: 30 dez. 2019.

SCARLETT, L.; BOYD, J. *Ecosystem services and resource management*: institutional issues, challenges, and opportunities in the public sector. [S.l.]: Ecological Economics, v. 115, p. 3-10, 2015.

SCOTT, D. F.; PRINSLOO, F. W. *Longer-term effects of pine and eucalypt plantations on streamflow.* [S.l.]: Water Resour., 2008. Disponível em: <doi:http://dx.doi.org/10.1029/2007wr006781>. Acesso em: 5 dez. 2019.

SEAPA. Base de informação. Apresenta: *Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola – ASPA.* Disponível em: <http://www.emater.rj.gov.br/tecnica.asp>. Acesso em: 14 abr. 2019.

_____. *Projeto Desenvolvimento Rural Sustentável em microbacias hidrográficas no Estado do Rio de Janeiro*: Manual Operacional, Volume I. Rio de Janeiro, 2009.

_____. *Projeto Rio Rural BIRD*. Niterói: Superintendência de Desenvolvimento Sustentável, 2016. 145 p. Relatório técnico.

_____. *Relatório de perdas no setor agropecuário no Estado do Rio de Janeiro com foco no crédito rural: estiagem 2014 e 2015*. Rio de Janeiro, 2015.

SEAS. Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (Rio de Janeiro). Art. 2º da Resolução SEAS nº 12/2019, de 8 de maio de 2019. Dispõe sobre a Câmara de Compensação Ambiental, de caráter deliberativo. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, de 09 de maio de 2019, Poder Executivo, Seção I, p. 32

SECCHI, L. *Políticas públicas*: conceitos, esquemas de análise, casos práticos. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SEDEC-RJ. Base de Dados. Consulta sobre: *Informações de Desastre do período de 2000 a 2012*. Rio de Janeiro, 2012.

_____. *Percepção de Riscos por parte dos Coordenadores Municipais de Defesa Civil do Estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://defesacivil.rj.gov.br/mapa/index.php/painel/index/14>. Acesso em: 5 dez. 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Apresenta o cadastro ambiental rural na seção: Etapas do CAR e Regularização Ambiental. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/inventario-florestal-nacional/61-car>. Acesso em: 16 dez. 2019.

SHEIL, D.; MURDIYARSO, D. *How forests attract rain*: an examination of a new hypothesis. [S.l.]: Bioscience, v. 59, p. 341–347, 2009.

SILVA, E. R. A. da. *Avaliação Estratégica para a Recuperação das Águas Residuais da ETA Laranjal / RJ*. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, P. R. da. *Avaliação qualitativa da segurança hídrica do abastecimento de municípios fluminenses da Bacia do Rio Pomba*. 2017. 157f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SIMMS, G. et. al. Tools and Approaches for Source Water Protection in Canada. In: *Governance for Source Water Protection in Canada*, Report No. 1. Waterloo, CA: Water Policy and Governance Group, 2010.

SMITH, L. E. D.; PORTER, K. S. *Management of Catchments for the Protection of Water Resources*: Drawing on the New York City Watershed Experience. [S.l.]: Reg Environ Change, v.10, p. 311-326, 2010.

SNIS. *Diagnóstico dos serviços de água e esgoto 2017*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional/Secretaria Nacional de Saneamento, 2018. Relatório Técnico. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 4 dez. 2019.

_____. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2018, XXIV. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional/Secretaria Nacional de Saneamento, 2019. 180 p. Relatório Técnico. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf>. Acesso em: 2 dez. 2019.

SOARES, G. F. S. *Curso de direito internacional público*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2004. v.1

SÖDERQVIST, T. *Are farmers prosocial?* Determinants of the willingness to participate in a Swedish catchment-based wetland creation program. [S.l.]: Ecological Economics, v. 47, n. 1, p. 105-120, 2003.

SONNEVELD, B. G. J. S. et al. *Nature-Based Solutions for agricultural water management and food security.* Rome: FAO, Land and Water Discussion Paper nº 12, 2018. 66 p.

SOPPER, W. E. *Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds*. Madison (WI): Journal of Environmental Quality, v. 4, n. 1, p. 24-29, 1975.

SOULE, M. et al. *Land tenure and the adoption of conservation practices.* [S.l.]: American journal of agricultural economics, v. 82, n. 4, p. 993-1005, 2000.

SOUTHGATE, D.; WUNDER, S. *Paying for watershed services in Latin America*: A review of current initiatives. [S.l.]: Journal of Sustainable Forestry, vol: 28 (3-5), pp: 497-524, 2009.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. *Sub-bacias hidrográficas*: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. Belo Horizonte, Inf. Agropec., 2000.

STAKE. R. E. Case studies. In: DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. (ed.) *Handbook of qualitative research*. London: Sage, 2000. p. 435-454 apud ALVES-MAZZOTTI, A. J. *Uso e abusos dos estudos de caso*. [S.l.]: Cadernos de Pesquisa, v.36, n.129, p.637-651, 2006.

STANTON, T. et al. *State of watershed payments*: an emerging marketplace. Washington DC (USA): Ecosystem Marketplace, 2010.

STEFFEN, W. et al. *The trajectory of the Anthropocene*: the great acceleration. [S.l.]: Anthropocene Review, v.2(1), p.81-98, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1177/2053? 019614564785>. Acesso em: 26 dez. 2019.

STOBERL, A. P. M. et al. Trajetória Do Conceito Soluções Baseadas Na Natureza E A Relação Com O Brasil: Uma Análise Bibliográfica. In: *Anais ENANPUR 2019*, XVIII, Natal, 2019.

STOCKER, T. et al. Climate Change *2013*: The Physical Science Basis. In: *Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Summary for Policymakers (IPCC, 2013). Disponível em: <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_Frontmatter_FINAL.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2019.

SUÁREZ, C. B.; LLANEZA, J. L. O. *Reflexiones epistemológicas y metodológicas para la evaluación de políticas públicas*. [S.l.]: Andamios, v. 10, n. 21, p. 95-117, 2013.

SUDING, K. N. et al. *Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology*. [S.l.]: Trends in ecology & evolution, v. 19, n. 1, p. 46-53, 2004.

SUMMERILL, C. et al. An international review of the challenges associated with securing 'buy-in' for water safety plans within providers of drinking water supplies. *Journal of Water and Health*, 08.2, IWA Publishing, 2010.

SUN, F. et al. *Developing and applying water security metrics in China*: Experience and challenges. [S.l.]: Curr. Opin. Environ. Sustain., v. 21, p. 29-36, 2016.

SUNDFELD, C. A. *Licitação e Contrato Administrativo*. 2. ed. São Paulo: Malheiros, 1995. p.18.

TALBERTH, J. et al. *Insights from the Field:* Forests for Water. [S.l.]: World Resources Institute, 2012. Disponível em: <http://pdf.wri.org/insights_from_the_field_forests_for_water.pdf>. Acesso em 15 jan. 2020.

TEEB. *A Economia Dos Ecossistemas E Da Biodiversidade: Fundamentos Ecológicos E Econômicos*. Editado Por Pushpam Kumar. Londres: Earthscan, 2010.

THUO, S. Viewpoints. *Journal Natural Resources Forum,* 33, UK, 2009. p.87-89.

THUY, P. T. et al. *Importance and impacts of intermediary boundary organizations in facilitating payment for environmental services in Vietnam*. [S.l.]: Environmental Conservation, v. 37, n. 1, p. 64-72, 2010.

TIMMER, D. K. et al. *Source water protection in the Annapolis Valley, Nova Scotia*: Lessons for building local capacity. Toronto, CA: Elsevier , Land Use Policy , v. 24, n. 1, p. 187-198, 2007.

TRABADA, A. L. Entre la ciencia política básica y la ciencia política aplicada: de la política a las políticas, del análisis a la gestión. In: *Revista de Investigaciones Políticas y Sociologicas*, v.2, n.1-2, p. 63-81, 2003.

TRÉMOLET, S. et al. *Investing in Nature for Europe Water Security*. London (UK): The Nature Conservancy, Ecologic Institute and ICLEI, 2019.

TTPL. *Source Protection Handbook*: *Using Land Conservation to Protect Drinking Water Supplies*. San Francisco: The Trust for Public Land, 2005. 88 p.

UFF/FEC. *Planejamento Estratégico da Região Hidrográfica dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu-Macacu*. 1. ed. Niterói, RJ: 2010. 544p.

UN-WATER. *Monitoring framework for water*. Colombella (Italy): United Nations, 2011. 8 p.

_____. *The United Nations World Water Development Report 2018:* Nature-Based Solutions for Water. [S.l.]: 2018. 138 p. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018/>. Acesso em: 08 out. 2019.

_____. *Water Security & the Global Water Agenda*: An UN-Water Analytical Brief. Canada: United Nations University, 2013a.

_____. What Is Water Security? Infographic. Canada: United Nations University, 2013b. il. color.

UNDESA. *World Urbanization Prospects*: The 2014 revision. Highlights. New York, (USA): United Nations Department of Economic and Social Affairs (UNDESA), 2014. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/ wup/publications/files/wup2014-report.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2019.

UNEP. *A Snapshot of the World's Water Quality*: Towards a global assessment. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2016. Disponível em: <http://uneplive.unep.org/media/docs/assessments/unep_wwqa_report_web.pdf>. Acesso em 11 jan. 2020.

_____. *Ecosystem-based management Markers for assessing progress*. The Netherlands, 2006. 58 p. Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land Based Activities (GPA).

_____. *Green Infrastructure Guide for Water Management*: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects. Geneva, 2014.

_____. *The United Nations World Water Development Report 2015*: Water for a sustainable World. Paris: UNESCO, 2015. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>. Acesso em: 9 fev. 2016.

_____. *The United Nations World Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management*. Nairobi (KE): United Nations Environment Programme (UNEP), 2012a. Disponível em: < http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/un_water_status_report_2012.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2019.

_____. *Towards a Green Economy*: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication, Water-Investing in Natural Capital. Nairobi, KE: United Nations Environment Programme (UNEP), 2011. Disponível em: <http://www.unep.org/greeneconomy>. Acesso em: 4 mai. 2019.

_____. *UN WATER REPORT*: Status Report on The Application of Integrated Approaches to Water Resources Management. Nairobi (KE): United Nations Environment Programme (UNEP), 2012b. Disponível em: <https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/un_water_status_report_2012.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2019.

UNESCO. Glossário hidrológico internacional. Paris: UNESCO, 1983. Disponível em: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/>. Apud ANA (Brasil). Portaria No 149, [...] Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos [...]. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 23 dez. 2014. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019.

VALCARCEL, R. *Inundação registrada em 2019 na área do antigo encontro das calhas do Macacu e Guapiaçu*. [S.l.: s.n.], 2019. il. apud MASTERPLAN. Planos Municipais de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica Central Fluminense. In *Projeto Biodiversidade e Mudanças Climáticas na Mata* [...]. Rio de Janeiro, 2019.

VAN DER ENT, R. J. et al. *Origin and fate of atmospheric moisture over continents.* [S.L.]: Water Resource, 2010. Res. 46.

VERTESSY, R. A. et al. *Factors determining relations between stand age and catchment water balance in mountain ash forests.* [S.l.]: Forest Ecol. Manag., v. 143, p. 13–26, 2001.

VIANA, V. J. et al. Riscos ambientais envolvendo o transporte de produtos perigosos para as águas captadas pela ETA Guandu, RJ. Revista Ineana, v. 1, n.1, jan-jun., p. 46-63, 2012.

VIEIRA, I. CPI da Crise Hídrica no Rio discute polêmica barragem em Cachoeiras de Macacu. *Jornal Agência Brasil*, Brasília, 30 mar. 2015. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-03/cpi-da-crise-hidrica-no-rio-vai-discutir-polemica-barragem-do-rio-guapiacu-0> Acesso em: 19 out. 2019.

VILELA JÚNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. (Org.). *Modelos e ferramentas de gestão ambiental:* desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: Senac, 2013.

VIRAPONGSE, A. et al. A social-ecological systems approach for environmental management. *Journal of Environmental Management*, [S.l.], v. 178, p. 83-91, 2016.

VOGL, A. et al. *Mainstreaming investments in watershed services to enhance water security*: Barriers and opportunities. Environmental Science and Policy, v. 75, 2017.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Perímetros de proteção de poços: uma importante ferramenta para a sustentabilidade de mananciais públicos. In: *SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE*, II. Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, XIV, Ribeirão Preto (SP), 2005. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23240/15351>. Acesso em: 26 dez. 2019.

WAHREN, A. et al. *Potentials and limitations of natural flood retention by forested land in headwater catchments*: evidence from experimental and model studies. [S.l.]: J. Flood Risk Manag., v. 5, p. 321–335, 2012. Disponível em: <doi:http://dx. doi.org/10.1111/j.1753-318X.2012.01152.x>. Acesso em: 6 dez. 2019.

WATSON, N. et al. Critical perspectives on integrated water management. *The Geographical Journal,* WBGU, v. 173, p. 297–299, 2007.

WAYLEN, K. A. et al. The need to disentangle key concepts from Ecosystem-Approach jargon. *Journal Conservation Biology*, v. 28, n. 5, p. 1215-1224, 2014.

WBCSD. *The business case for natural infrastructure*. Washington DC (USA): World Business Council for Sustainable Development, 2015. 28 p. Disponível em: <http://www.naturalinfrastructureforbusiness.org/wp-content/uploads/2016/02/WBCSD_BusinessCase_jan2016.pdf >. Acesso em: 16 abr. 2016.

WCED. *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press, 1987.

WEF. *The Green Investment Report*: The Ways and Means to Unlock Private Finance for Green Growth. Geneva, Switzerland: World Economic Forum (WEF), 2013. Disponível em: <http://reports.weforum.org/green-investing-2013/>. Acesso em: 7 jul. 2019.

WERNECK, A. Sobe para dez número de cidades do Rio em estado de emergência devido a estiagem e seca. *Jornal O GLOBO*, Rio de Janeiro, 21 out. 2017. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/rio/sobe-para-dez-numero-de-cidades-do-rio-em-estado-de-emergencia-devido-estiagem-seca-21973596>. Acesso em: 19 out. 2019.

WESTGATE, M. J. et al. *Adaptive management of biological systems*: a review. [S.l.]: Biological Conservation, v. 158, p. 128-139, 2013.

WHITTINGTON, D. et al. *The Economic Value of Moving Toward a More Water Secure World*. Estocolmo: GWP, 2013.

WHO. *Guidelines for Drinking-water Quality: fourth edition incorporating the first addendum.* Genebra (Switzerland), 4. ed., 631 p., 2017.

_____. *Protecting surface water for health*: Identifying, assessing and managing drinking-water quality risks in surface-water catchments. Genebra (Switzerland), 2016.

WILKINSON, J. et al. *Caracterização socioeconômica das bacias hidrográficas dos rios Guapi-Macacu e Caceribu*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. 160 p.

WILLIAMS, B. K.; BROWN, E. D. *Technical challenges in the application of adaptive management*. [S.l.]: Biological Conservation, v. 195, p. 255-263, 2016.

WINIECKI, E. *Economics and Source Water Protection*. Washington DC (USA): EPA, 2012.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. *Predicting rainfall erosion losses*: a guide to conservation planning. Washington DC: USDA-ARS, Agriculture Handbook, 1978. 67p.

WMO. *Selecting Measures and Designing Strategies for Integrated Flood Management*: A Guidance Document. Geneva: WMO, 2017. Disponível em: <http://www.floodmanagement.info/publications/guidance%20-%20selecting%20measures%20and%20designing%20strategies_e_ web.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2020.

WORLD BANK. *Biodiversity, Climate Change and Adaptation*: Nature-Based Solutions from the World Bank Portfolio. Washington DC (USA), 2008.

_____. *Implementing nature-based flood protection:* principles and implementation guidance. [S.l.], 2017.

WU, S. et al. *Valuation of Forest Ecosystem Goods and Services and Forest Natural Capital of the Beijing Municipality, China*. Roma: Unasylva, 2010. FAO's journal of forestry and forest industries. Disponível em: <www.fao.org/docrep/012/i1507e/i1507e07. pdf>. Acesso em: 4 dez. 2019.

WUNDER, S. *Payments for environmental services*: Some nuts and bolts. Bogor (Indonesia): International Center for Forestry Research, 2005.

_____. *The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation*. [S.l.]: Conservation Biology, 2007.

WUNDER, S. *When payments for environmental services will work for conservation*. [S.l.]: Conservation Letters, v. 6, n. 4, p. 230-237, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/conl.12034>. Acesso em: 20 out. 2019.

WUNDER, S. et al. *Taking stock*: a comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. [S.l.]: Ecological economics, v. 65, n. 4, p. 834-852, 2008.

YIN, R. K. *Case study research*: design and methods. London: Sage, 1984.

YOHE, G.; E. TOL, R. S. *Indicators for social and economic coping capacity* — moving toward a working definition of adaptive capacity. Global Environmental Change, v. 12, n. 1, p. 25–40, 2002.

YOUNG, C. E. F. et al. Desmatamento e custo de oportunidade da terra: o caso do Mato Grosso. In: *ENCONTRO NACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA*, [S.l.], 2007. p. 1-26.

ZÖLCH, T. et al. *Regulating urban surface runoff through nature-based solutions–An assessment at the micro-scale*. [S.l.]: Environmental research, v. 157, p. 135-144, 2017.

APÊNDICE A – Legislação Federal relacionada a SbN

Quadro 32 – Quadro resumo da Legislação Federal relacionada a SbN para segurança hídrica (continua)

Legislação Federal	**Descrição / súmula**	**Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados**
Constituição Federal de 1988	-	Art. 182. A política de desenvolvimento urbano, executada pelo Poder Público municipal, conforme diretrizes gerais fixadas em lei, tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem- estar de seus habitantes. Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.
Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979	Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências	Estabelece as áreas de interesse especial de proteção de mananciais, a partir do qual diversos Estados instituíram legislações específicas para sua regulamentação. Art. 13: "Aos Estados caberá disciplinar a aprovação pelos Municípios de loteamentos e desmembramentos nas seguintes condições: Inciso I – quando localizados em áreas de interesse especial, tais como as de proteção aos mananciais ou ao patrimônio cultural, histórico, paisagístico e arqueológico, assim definidas por legislação estadual ou federal".
Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989	Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos: I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.
Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000	Regulamenta o art. 225, § 1º, inciso I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.	As Unidades de Conservação podem ter, dentre seus objetivos diretos e/ou indiretos, a proteção de áreas de interesse de mananciais de abastecimento públicos.

Quadro 32 – Quadro resumo da Legislação Federal relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Federal	Descrição / súmula	Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados
Lei nº 10.2574 de 10 de julho de 2001 (Estatuto das Cidades)	Regulamenta os art. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.	Art. 2º. A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais: Inciso I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações; Inciso III – cooperação entre os governos, a iniciativa privada e os demais setores da sociedade no processo de urbanização, em atendimento ao interesse social; Inciso IV – planejamento do desenvolvimento das cidades, da distribuição espacial da população e das atividades econômicas do Município e do território sob sua área de influência, de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente; Inciso VI – ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar: g) a poluição e a degradação ambiental;
Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.	Art. 2. Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais: III – abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente. Art. 54-A. Fica instituído o Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento do Saneamento Básico - REISB, com o objetivo de estimular a pessoa jurídica prestadora de serviços públicos de saneamento básico a aumentar seu volume de investimentos por meio da concessão de créditos tributários. Art. 54-B. É beneficiária do REISB a pessoa jurídica que realize investimentos voltados para a sustentabilidade e para a eficiência dos sistemas de saneamento básico e em acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico. § 1 – Para efeitos do disposto no caput, ficam definidos como investimentos em sustentabilidade e em eficiência dos sistemas de saneamento básico aqueles que atendam: II – à preservação de áreas de mananciais e de unidades de conservação necessárias à proteção das condições naturais e de produção de água.

Quadro 32 – Quadro resumo da Legislação Federal relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Federal	Descrição / súmula	Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados
Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.	Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, nº 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e nº 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências	Estabelece o regime de proteção das florestas e das áreas de preservação permanente, tendo como um dos objetivos a proteção dos recursos hídricos. Art. 1 -A. Esta Lei estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos. Parágrafo único. Tendo como objetivo o desenvolvimento sustentável, esta Lei atenderá aos seguintes princípios: I - afirmação do compromisso soberano do Brasil com a preservação das suas florestas e demais formas de vegetação nativa, bem como da biodiversidade, do solo, dos recursos hídricos e da integridade do sistema climático, para o bem estar das gerações presentes e futuras; III - ação governamental de proteção e uso sustentável de florestas, consagrando o compromisso do País com a compatibilização e harmonização entre o uso produtivo da terra e a preservação da água, do solo e da vegetação. Art. 41. É o Poder Executivo federal autorizado a instituir, sem prejuízo do cumprimento da legislação ambiental, programa de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente, bem como para adoção de tecnologias e boas práticas que conciliem a produtividade agropecuária e florestal, com redução dos impactos ambientais, como forma de promoção do desenvolvimento ecologicamente sustentável, observados sempre os critérios de progressividade, abrangendo as seguintes categorias e linhas de ação: I - Pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais, tais como, isolada ou cumulativamente: d) a conservação das águas e dos serviços hídricos.
Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012.	Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nº s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.	

Quadro 32 – Quadro resumo da Legislação Federal relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Federal	Descrição / súmula	Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados
Decreto Federal nº 5.440, de 4 de maio de 2005.	Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano	Art. 5º Na prestação de serviços de fornecimento de água é assegurado ao consumidor, dentre outros direitos: I - receber do prestador de serviço de distribuição de água relatório anual contendo, pelo menos, as seguintes informações: g) identificação dos mananciais de abastecimento, descrição das suas condições, informações dos mecanismos e níveis de proteção existentes, qualidade dos mananciais, fontes de contaminação, órgão responsável pelo seu monitoramento e, quando couber, identificação da sua respectiva bacia hidrográfica. j) particularidades próprias da água do manancial ou do sistema de abastecimento, como presença de algas com potencial tóxico, ocorrência de flúor natural no aquífero subterrâneo, ocorrência sistemática de agrotóxicos no manancial, intermitência, dentre outras, e as ações corretivas e preventivas que estão sendo adotadas para a sua regularização.
Decreto nº 8.235, de 5 de maio de 2014	Estabelece normas gerais complementares aos Programas de Regularização Ambiental dos Estados e do Distrito Federal, de que trata o Decreto no 7.830, de 17 de outubro de 2012, institui o Programa Mais Ambiente Brasil, e dá outras providências.	Art. 2º Os programas a que se refere este Decreto restringem-se à regularização das Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de uso restrito, que poderá ser efetivada mediante recuperação, recomposição, regeneração ou compensação.
Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017	Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.	Art. 13 Compete ao responsável pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano: **IV -** manter avaliação sistemática do sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base nos seguintes critérios: **a)** ocupação da bacia contribuinte ao manancial; **b)** histórico das características das águas; **c)** características físicas do sistema; **d)** práticas operacionais; **e)** na qualidade da água distribuída, conforme os princípios dos Planos de Segurança da Água (PSA) recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS) ou definidos em diretrizes vigentes no País. **VII -** monitorar a qualidade da água no ponto de captação, conforme estabelece o art. 40; **VIII -** comunicar aos órgãos ambientais, aos gestores de recursos hídricos e ao órgão de saúde pública dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios qualquer alteração da qualidade da água no ponto de captação que comprometa a tratabilidade da água para consumo humano; **IX -** Contribuir com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, por meio de ações cabíveis para proteção do(s) manancial(ais) de abastecimento(s) e das bacia(s) hidrográfica(s).

Quadro 32 – Quadro resumo da Legislação Federal relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Federal	Descrição / súmula	Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados
Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências	Art. 3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. Art. 38. O enquadramento dos corpos de água dar-se-á de acordo com as normas e procedimentos definidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos Art. 40. No caso de abastecimento para consumo humano, sem prejuízo do disposto nesta Resolução, deverão ser observadas, as normas específicas sobre qualidade da água e padrões de potabilidade. Art. 42. Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classes 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente.
Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências	Art. 20. Os órgãos ambientais em conjunto com os órgãos gestores dos recursos hídricos deverão promover a implementação de Áreas de Proteção de Aquíferos e Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento, objetivando a proteção da qualidade da água subterrânea. Art. 21. Os órgãos ambientais, em conjunto com os órgãos gestores dos recursos hídricos e da saúde, deverão promover a implementação de Áreas de Restrição e Controle do Uso da Água Subterrânea, em caráter excepcional e temporário, quando, em função da condição da qualidade e quantidade da água subterrânea, houver a necessidade de restringir o uso ou a captação da água para proteção dos aquíferos, da saúde humana e dos ecossistemas.
Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011	Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de 2005	Art. 3º Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis.
Resolução CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001	Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas	Art. 6° O SINGREH, os Sistemas Estaduais e do Distrito Federal de Gerenciamento de Recursos Hídricos deverão orientar os Municípios no que diz respeito às diretrizes para promoção da gestão integrada das águas subterrâneas em seus territórios, em consonância com os planos de recursos hídricos. Parágrafo único. Nessas diretrizes deverão ser propostos mecanismos de estímulo aos Municípios para a proteção das áreas de recarga dos aquíferos e a adoção de práticas de reúso e de recarga artificial, com vistas ao aumento das disponibilidades hídricas e da qualidade da água.

Quadro 32 – Quadro resumo da Legislação Federal relacionada a SbN para segurança hídrica (conclusão)

Legislação Federal	Descrição / súmula	Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados
Resolução CNRH nº 22, de 24 de maio de 2002	-	Art. 3º As informações hidrogeológicas e os dados sobre as águas subterrâneas necessários à gestão integrada dos recursos hídricos devem constar nos Planos de Recursos Hídricos e incluir, no mínimo, por aquífero: VI – as devidas medidas de uso e proteção dos aquíferos.
Resolução CRNH nº 91 de 05 de novembro de 2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos.	Art. 2º - O enquadramento dos corpos de água se dá por meio do estabelecimento de classes de qualidade conforme disposto nas Resoluções CONAMA nos 357, de 2005, e 396, de 2008 [...] § 4º - O alcance ou manutenção das condições e dos padrões de qualidade, determinados pelas classes em que o corpo de água for enquadrado, deve ser viabilizado por um programa para efetivação do enquadramento.
Resolução CRNH nº 92 de 05 de novembro de 2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro	Art. 2 - Os órgãos gestores deverão promover estudos hidrogeológicos, a serem executados por entidades públicas ou privadas, com abrangência e escalas adequadas nas seguintes categorias: I - estudos hidrogeológicos regionais para delimitar as áreas de recarga dos aquíferos e definir suas zonas de proteção; II - estudos hidrogeológicos regionais, para identificar as potencialidades, disponibilidades e vulnerabilidades dos aquíferos para utilização das águas subterrâneas, em especial nas áreas com indícios de superexplotação, poluição ou contaminação, que poderão determinar áreas de restrição e controle de uso de água subterrânea [...]; III - estudos hidrogeológicos locais para a delimitação de perímetros de proteção de fontes de abastecimento. Art. 3º - Os planos de recursos hídricos devem delimitar as áreas de recarga de aquíferos e definir suas zonas de proteção. Art. 4º - O órgão gestor de recursos hídricos competente, em articulação com os órgãos de meio ambiente, poderá instituir com aprovação dos comitês de bacias, onde houver, e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, áreas de restrição e controle de uso de águas subterrâneas, desde que tecnicamente justificadas, com ênfase na proteção, conservação e recuperação de: I - mananciais para o abastecimento humano e dessedentação de animais. [...] Parágrafo único - Para as áreas previstas no caput deverão ser indicadas as medidas de restrição e controle, com vistas a disciplinar o uso do solo e da água subterrânea.

Fonte: A autora, 2020.

APÊNDICE B – Legislação Estadual relacionada a SbN

Quadro 33 – Quadro resumo da Legislação Estadual relacionada a SbN para segurança hídrica (continua)

Legislação Estadual	**Descrição / súmula**	**Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados**
Constituição do Estado do Rio de Janeiro, 05 de outubro de 1989	-	Estabelece no Art. 231, § 1º, que o plano diretor é parte integrante de um processo contínuo de planejamento a ser conduzido pelos municípios, contemplando a defesa dos mananciais e demais recursos naturais. Estabelece no Art. 278 a vedação da criação de aterros sanitários à margem de rios, lagos, lagoas, manguezais e mananciais.
Lei Estadual nº 650 de 11 de janeiro de 1983	Dispõe sobre a Política Estadual de Defesa e Proteção das Bacias Fluviais e Lacustres do Rio de Janeiro.	Estabelece no Art. 4º, Inciso IV, a política de conservação da água na natureza envolvendo a proteção dos mananciais de água superficial e de água subterrânea.
Lei Estadual nº 1.130, de 12 de fevereiro de 1987	Define as áreas de interesse especial do estado e dispõe sobre os imóveis de área superior a 1.000.000m2 e imóveis localizados em áreas limítrofes de municípios, para efeito do exame e anuência prévia a projetos de parcelamento de solo para fins urbanos, a que se refere o art. 13 da Lei nº 6766/79	Art. 3º - Consideram-se de Interesse Especial do Estado as seguintes áreas: III - Áreas de proteção de mananciais Art. 6º - Consideram-se áreas de interesse especial para a proteção de mananciais, as áreas das bacias contribuintes situadas a montante, ou seja, acima dos pontos de captação dos mananciais, cujo o interesse especial é o de assegurara o abastecimento d'água atual e futuro da população do Estado. § 1º - Na Região Metropolitana serão considerados os mananciais atualmente utilizados e os potencialmente utilizáveis, conforme definidos pela CEDAE e pela CAEMPE. § 2º - Nas demais regiões do Estado, as áreas a que se refere o caput deste artigo abrangem as seguintes categorias de mananciais, a saber: a) Classe I - são os mananciais cujas águas podem ser utilizadas sem prévia desinfecção; b) Classe II - são os mananciais cujas águas dependem de tratamento convencional, a fim de que possam ser utilizadas.
Lei nº 1315, de 07 de junho de 1988	Institui a Política Florestal do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências	Art. 9º - A Fundação IEF funcionará com órgão técnico e executor da Política Florestal do Estado do Rio de Janeiro, tendo como principais objetivos: II - Promover, orientar, assistir e fomentar o reflorestamento econômico, o de fins ecológicos e o de proteção, a utilização racional da flora e da fauna e colaborar na proteção do solo e dos recursos hídricos.
Lei Estadual n° 3.239 de 02 de agosto de 1999	Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos	Estabelece no Art. 49, Inciso I, letra a), que a aplicação dos recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos deverá contemplar o financiamento de estudos, programas, projetos e obras incluídos nos respectivos Planos de Bacia Hidrográfica, inclusive para proteção de mananciais ou aquíferos.

Quadro 33 – Quadro resumo da Legislação Estadual relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Estadual	**Descrição / súmula**	**Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados**
Lei Estadual nº 4.191, de 30 de setembro de 2003	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências	Estabelece no Art. 3°, § 1°, Inciso III, a proibição do lançamento ou disposição de resíduos sólidos em mananciais e em suas áreas de drenagem, cursos d'água, lagoas, praias, áreas de várzea, terrenos baldios, cavidades subterrâneas, poços e cacimbas.
Lei Estadual nº 4.930, de 20 de dezembro de 2006	Regulamenta o Art. 282 da Constituição Estadual ao dispor sobre monitoramento e as ações relacionadas ao controle da potabilidade da água própria para consumo humano distribuída à população do estado do rio de janeiro	Art. 1º - [...] as empresas concessionárias de serviços de abastecimento público de água executarão as seguintes ações: a) Monitorar ou contratar serviços para o monitoramento da potabilidade da água; d) Tomar providências imediatas para solução de problemas relacionados ao tratamento e à distribuição inadequada de água, em função de resultados do monitoramento de mananciais, fontes alternativas e, principalmente, da água distribuída. Art. 2º - [...] os órgãos estaduais de meio ambiente, no exercício de suas atribuições de controle relacionadas ao monitoramento da água distribuída à população do Estado do Rio de Janeiro, garantirão as seguintes ações: a) Levantamento junto aos municípios da situação sobre o abastecimento público de água, fontes alternativas e mananciais utilizados; b) controle da poluição e monitoramento dos mananciais e fontes alternativas de abastecimento de água para consumo humano. Art. 4º - Os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, a serem utilizados no monitoramento e controle, serão os estabelecidos pelo Ministério da Saúde.
Decreto Estadual nº 9.760 de 11 de março de 1987	Regulamenta a Lei nº 1.130, de 12/02/87, localiza as áreas de interesse especial do interior do estado, e define as normas de ocupação a que deverão submeter-se os projetos de loteamentos e desmembramento a que se refere o art. 13 da Lei nº 6766/79	Localiza as áreas de interesse especial do interior do estado, e define as normas de ocupação a que deverão submeter-se os projetos de loteamentos e desmembramento a que se refere o art. 13 da Lei Federal nº 6.766/79.
Decreto Estadual n° 41.844 de 04 de maio de 2009	Estabelece definições técnicas para alocação do percentual a ser distribuído aos municípios em função do ICMS ecológico	Um dos critérios adotados é o Índice relativo de Mananciais de Abastecimento (IrMA), beneficiando municípios que abrigam em seu território parte ou o todo de bacias de mananciais superficiais, com captação para abastecimento público de municípios localizados fora da bacia.

Quadro 33 – Quadro resumo da Legislação Estadual relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Estadual	Descrição / súmula	Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados
Decreto Estadual n° 42.029 de 15 de junho de 2011	Regulamenta o Programa Estadual de Pagamento por Serviços Ambientais, subordinado ao Programa Estadual de Conservação e Revitalização de Recursos Hídricos - PROHIDRO, previsto nos artigos 5 e 11 da Lei n 3.239, de 02 de agosto de 1999, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências.	Art. 2º - São considerados serviços ambientais, passiveis de retribuição, direta ou indireta, monetária ou não, as práticas e iniciativas prestadas por possuidores, a qualquer título, de área rural situada no estado do rio de Janeiro, que favoreçam a conservação, manutenção, ampliação ou a restauração de benefícios propiciados aos ecossistemas, que se enquadre em uma das seguintes modalidades: I- conservação e recuperação da qualidade e da disponibilidade das águas; II- conservação e recuperação da biodiversidade; III- conservação e recuperação das faixas marginais de proteção - FMP; IV- sequestro de carbono originado de reflorestamento das matas ciliares, nascentes e olhos d´água para fins de minimização dos efeitos das mudanças climáticas globais. Art. 3º - Parágrafo único - os investimentos do PRO-PSA deverão priorizar as áreas rurais e de mananciais de abastecimento público, observados os critérios a serem aprovados pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERHI-RJ.
Decreto Estadual nº 44.512 de 9 de dezembro de 2013	Dispôs sobre o Cadastro Ambiental Rural (CAR), o Programa de Regularização Ambiental (PRA), a Reserva Legal e seus instrumentos de regularização, o regime de supressão de florestas e formações sucessoras para uso alternativo do solo, e a reposição florestal	Art. 1° - Este Decreto regulamenta o Cadastro Ambiental Rural – CAR, o Programa de Regularização Ambiental – PRA, a Reserva Legal e seus instrumentos de regularização, o regime de supressão de florestas e formações sucessoras para uso alternativo do solo, a Reposição Florestal, a Cota de Reserva Ambiental – CRA e o Crédito de Reposição Florestal- CRF. Art. 58 - Compete ao INEA executar e fazer cumprir, em âmbito estadual, os termos da Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e da Lei Federal n° 11.428, de 22 de dezembro de 2006 [...].
Resolução CERHI-RJ nº 117, de 19 de fevereiro de 2014	Dispôs sobre a aprovação do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (PERHI-RJ)	O documento estabeleceu em seu Plano de Ação dois eixos temáticos e quatro programas associados à proteção de mananciais de abastecimento público
Resolução INEA Nº 89, de 03 de junho de 2014	Dispõe sobre as proporções mínimas aplicáveis para reposição florestal, decorrentes do corte ou supressão de vegetação pertencente às formações florestais nativas e ecossistemas associados do bioma Mata Atlântica, bem como de intervenções em Áreas de Preservação Permanente, para fins de licenciamento ambiental e/ou de autorização para supressão de vegetação nativa no estado do Rio de Janeiro	Art. 1 - Dispor sobre as proporções mínimas aplicáveis para reposição florestal, decorrentes do corte ou supressão de vegetação pertencente às formações florestais nativas e ecossistemas associados do Bioma Mata Atlântica, bem como de intervenções em Áreas de Preservação Permanente-APP, para fins de licenciamento ambiental e/ou de autorização para supressão de vegetação nativa-ASV no Estado do Rio de Janeiro. Art. 4 - Para fins de cumprimento do disposto nesta Resolução, o empreendedor deverá, prioritariamente: I - Destinar área para conservação, de acordo com o art. 3, com as mesmas características ecológicas, na mesma bacia hidrográfica, sempre que possível na mesma microbacia hidrográfica.

Quadro 33 – Quadro resumo da Legislação Estadual relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Estadual	**Descrição / súmula**	**Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados**
Resolução Conjunta SEA/INEA nº 630, de 18 de maio de 2016	Regulamenta o Mecanismo Financeiro de Compensação Florestal de que trata o Art. 3-B da Lei 6.572/2013, introduzido pela Lei 7.061/2015, e dá outras providências.	Art. 10 - Para fins de utilização dos recursos de restauração florestal serão consideradas prioritárias à restauração as áreas caracterizadas como: I - mananciais de abastecimento público; II - áreas de Preservação Permanente - APP; X - áreas inseridas em programas de Pagamentos por Serviços Ambientais - PSA. Art. 11 - Os recursos de restauração florestal poderão ser aplicados nas áreas passíveis de recuperação, assim identificadas no Cadastro Ambiental Rural – CAR e de acordo com o previsto no PRA – Programa de Regularização Ambiental da propriedade, bem como na restauração florestal de áreas cadastradas no Banco Público de Áreas para Restauração – BANPAR.
Resolução INEA nº 124 de 21 de setembro de 2015	Dispõe sobre procedimentos e parâmetros técnicos para a exploração florestal sob regime de manejo florestal sustentável	Estabelece procedimentos técnicos para a exploração sustentável da vegetação nativa primária, bem como as suas formações sucessoras, existentes no Estado do Rio de Janeiro.
Resolução INEA nº 134 de 14 de janeiro de 2016	Define critérios e procedimentos para a implantação, manejo e exploração de sistemas agroflorestais e para a prática do pousio no estado do rio de janeiro	Art. 3º - Para efeito desta Resolução, entende-se por: Área comum não protegida: área sem a presença de remanescentes de Mata Atlântica conforme definido no parágrafo único, do art. 2, da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, localizada fora de reserva legal, área de preservação permanente, unidades de conservação ou respectivas zonas de amortecimento, área de proteção e recuperação de mananciais, ou de quaisquer outros locais com restrições de uso definidos em legislações específicas. Art. 6º A implantação, manejo e exploração de Sistemas Agroflorestais deverão ser autorizados pelo INEA mediante procedimento administrativo específico de emissão de Autorização Ambiental nas seguintes situações: I - áreas de preservação permanente localizadas em pequena propriedade ou posse rural familiar; II - recomposição e manejo de Reservas Legais; III - pequenas propriedades rurais inseridas em Unidades de Conservação de Proteção Integral pendentes de regularização fundiária. Art. 9o - Nas áreas comuns não protegidas de que trata o inciso VI do art. 2, deverá instruído procedimento administrativo contendo o Formulário de Comunicação de Implantação, Manejo e Exploração de Sistemas Agroflorestais, conforme modelo constante no Anexo II, juntamente com o requerimento (Anexo I) [...]

Quadro 33 – Quadro resumo da Legislação Estadual relacionada a SbN para segurança hídrica (continuação)

Legislação Estadual	**Descrição / súmula**	**Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados**
Resolução INEA nº 140, de 20 de julho de 2016	Dispõe sobre a criação do Banco Público de Áreas para Restauração (BANPAR) no estado do Rio de Janeiro, no âmbito do Instituto Estadual do Ambiente (INEA)	.Art. 2°- O BANPAR funcionará como mecanismo facilitador de aproximação entre proprietários ou possuidores que possuem interesse em ter áreas restauradas em seus imóveis e empreendedores ou interessados que possuem compromissos de restauração decorrentes de licenciamento ambiental, obrigações legais, ou iniciativa voluntária, promovendo o cruzamento das informações cadastradas por ambas as partes e direcionando os compromissos ou intenções, conforme os critérios de priorização definidos em regulamento específico.
Resolução INEA nº 143, de 14 de junho de 2017	Instituiu o Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração Florestal (SEMAR) e estabeleceu as orientações, diretrizes e critérios sobre elaboração, execução e monitoramento de projetos de restauração florestal no Estado do Rio de Janeiro	Estabelece diretrizes e orientações para a elaboração, execução, monitoramento e avaliação de Projetos de Restauração Florestal no Estado do Rio de Janeiro, além de critérios e parâmetros para avaliar seus resultados e atestar sua conclusão
Resolução SEA/INEA nº 654 de 23/10/2017	Estabelece procedimentos para a celebração de Termos de Compromisso de Restauração Florestal - TCRF para cumprimento da obrigação referente à compensação de que trata o art. 3º-B da Lei nº 6.572/2013 , introduzido pela Lei nº 7.061/2015 , e dá outras providências	-
Resolução INEA nº 149 de 24 de janeiro de 2018	Regulamenta o Programa de Regularização Ambiental no estado do Rio de Janeiro, instituído pelo Decreto nº 44.512, de 09 de dezembro de 2013, e dá outras providências	Disciplina a regularização ambiental dos imóveis rurais do Estado do Rio de Janeiro que possuem passivos ambientais relativos às Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de Uso Restrito.
Resolução SEAS nº 586 de 04 de maio de 2018	Aprova o regimento interno da Comissão Estadual de Restauração Florestal - CERF, da Secretaria de Estado do Ambiente	Art. 16 - Deverão ser adotados como instrumentos para elaboração dos Termos de Referência, análise e seleção de projetos: I - o Mapa das Áreas Prioritárias para Restauração Florestal visando à proteção de mananciais de abastecimento no estado do Rio de Janeiro, elaborado pelo INEA; II - o Banco Público de Áreas para Restauração - BANPAR, conforme disposto na Resolução INEA nº 140/2016; III - o Sistema Estadual de Monitoramento e Avaliação da Restauração (SEMAR), conforme disposto na Resolução INEA nº 143/2017; IV - o Cadastro Ambiental Rural - CAR e o Programa de Regularização Ambiental - PRA do estado do Rio de Janeiro, conforme regulamento.

Quadro 33 – Quadro resumo da Legislação Estadual relacionada a SbN para segurança hídrica (conclusão)

Legislação Estadual	**Descrição / súmula**	**Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados**
Resolução INEA nº 158 de 2018 de 27 de novembro de 2018	Institui o Programa de Proteção e Recuperação de Mananciais no Estado do Rio de Janeiro - Pacto pelas Águas	Art. 1, § 1º- O Programa Pacto pelas Águas tem como objetivos: I. Proteger e recuperar mananciais estratégicos de abastecimento do Estado do Rio de Janeiro, de modo a garantir bem-estar humano, a segurança hídrica e a saúde dos ecossistemas associados à água a médio e longo prazo. II. Promover e apoiar iniciativas de conservação florestal, restauração florestal, conversão produtiva e conservação da água e do solo; pagamento por serviços ambientais e subsídios ao planejamento e ordenamento territorial em áreas de mananciais de abastecimento público.
Resolução CERHI-RJ nº 218/2019, de 16 de outubro de 2019	Dispõe sobre diretrizes para planejamento, implementação, monitoramento e avaliação de iniciativas para proteção e recuperação de mananciais	Art. 4° - Os instrumentos de gestão de recursos hídricos, digam-se os planos de bacias hidrográficas e o PROHIDRO, deverão priorizar que as iniciativas para proteção e recuperação de mananciais sejam desenvolvidas em Áreas de Interesse para Proteção e Recuperação de Mananciais (AIPMs). Art. 5° - As áreas prioritárias para restauração florestal visando à proteção e recuperação de mananciais (APRF) constituem áreas prioritárias para investimentos e intervenções dos planos de bacia e subsequente projetos dos comitês, PROHIDRO, e PRO-PSA considerando critérios relacionados à maior potencialidade ambiental para a restauração florestal e de maior pressão sobre os recursos hídricos em áreas de interesse para proteção e recuperação de mananciais. Art. 9° - Fica instituído o Cadastro Estadual de Iniciativas de Proteção e Recuperação de Mananciais (CEPRM).

Fonte: A autora, 2020.

APÊNDICE C – Legislação municipal relacionada a SbN

Quadro 34 – Quadro resumo da Legislação Municipal relacionada a SbN para segurança hídrica

Legislação	Vinculação ao tema e/ou principais artigos relacionados
Cachoeiras de Macacu	
Lei Orgânica Municipal de Cachoeiras de Macacu, de 05 de outubro de 1988	Titulo VI – Da Ordem Econômica, Financeira e do Meio Ambiente
Lei nº 2.280/2016	Dispõe sobre a Instituição do Programa Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).
Lei nº 1653/2006	Aprova o Plano Diretor do Município de Cachoeiras de Macacu (Art. 109 – Área Agrícola de Fragilidade Ambiental e Art. 110 – Áreas de Preservação Ambiental)
Itaboraí	
Lei nº 2176, de 28 de dezembro 2010	Dispõe sobre a política ambiental do Município de Itaboraí, e dá outras providências
Lei Complementar nº 71, de 15 de dezembro de 2008	Institui o Código do Meio Ambiente do Município de Itaboraí- RJ e dá outras providências
Lei Complementar 054 de 2006	Aprova o Plano Diretor do Município de Itaboraí (Subseção II – Dos recursos hídricos)
Guapimirim	
Lei Orgânica Municipal de Guapimirim, de 30 de junho de 1993	Capítulo IX - Seção VI - Da Política do Meio Ambiente (Art. 282)
Lei Complementar nº de 29 de dezembro de 2003	Aprova o Plano Diretor do Município de Guapimirim (Art. 3 e Art. 48 – Área de Preservação e Proteção e Art. 56 - Área de Especial Interesse Ambiental)
Lei Complementar nº 02 de 28 de junho de 2004.	Dispõe sobre o Código Municipal de Meio Ambiente e dá outras providências

Fonte: A autora, 2020.

APÊNDICE D – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do Sistema Imunana-Laranjal

Quadro 35 – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 1º semestre de 2018 (28/06/2018) e violação ao enquadramento (continua)

	Parâmetros	**Unidade**	**Resultado**	**VMP**	**Atende enquadramento?***
Biológicos	Coliformes totais	col./100 ml	12033	Não requerido	-
	Coliforme termotolerante	col./100 ml	1480	<1000 em 80% de 6	**Acima do limite**
	Clorofila a	µg/L	< 2	<30	Sim
	Densidade de Cianobactérias	cél./ml	0	<50.000	Sim
	Contagem outras algas	cél./ml	0	Não requerido	-
	Sólidos dissolvidos totais	mg/L	30,8	<500	Sim
Inorgânicos	Alumínio Dissolvido	mg/L	<0,007	0,1	Sim
	Antimônio	mg/L	<0,008	0,005	**Acima do limite**
	Arsênio	mg/L	<0,011	0,01	Sim
	Bário	mg/L	<0,002	0,7	Sim
	Berílio	mg/L	<0,003	0,04	Sim
	Boro	mg/L	<0,026	0,5	Sim
	Cádmio	mg/L	<0,002	0,001	Sim
	Chumbo	mg/L	<0,008	0,01	Sim
	Cianeto	mg/L	< 0,002	0,005	Sim
	Cloreto	mg/L	3,1	250	Sim
	Cloro Residual	mg/L	< 0,2	0,01	**Acima do limite**
	Cobalto	mg/L	<0,002	0,05	Sim
	Cobre Dissolvido	mg/L	<0,002	0,009	Sim
	Cromo	mg/L	<0,002	0,05	Sim
	Ferro Dissolvido	mg/L	0,071	0,3	Sim
	Fluoreto	mg/L	0,04	1,4	Sim
	Fósforo Total	mg/L	0,16	0,02	**Acima do limite**
	Lítio	mg/L	<0,003	2,5	Sim
	Manganês	mg/L	<0,002	0,1	Sim
	Mercúrio	mg/L	< 0,0002	0,0002	Sim
	Níquel	mg/L	<0,002	0,025	Sim
	Nitrato (como N)	mg/L	0,33	10	Sim
	Nitrito (como N)	mg/L	< 0,02	1	Sim
	Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,09	3,7	Sim
	Prata	mg/L	<0,001	0,01	Sim
	Selênio	mg/L	<0,016	0,01	Sim
	Sulfato	mg/L	2,32	250	Sim
	Sulfetos (como H2S não dissociado)	mg/L	< 0,002	0,002	Sim
	Urânio	mg/L	<0,02	0,02	Sim
	Vanádio	mg/L	<0,007	0,1	Sim
	Zinco	mg/L	<0,005	0,18	Sim

Quadro 36 – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 1º semestre de 2018 (28/06/2018) e violação ao enquadramento (conclusão)

Parâmetros		Unidade	Resultado	VMP	Atende enquadramento?*
Físico -químicos	Materiais flutuantes	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Óleos e graxas visíveis	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Substancias que comunicam odor	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Corantes Artificiais	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Resíduos Sólidos Objetáveis	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	DBO	mg/L	2,8	<5	Sim
	OD	mg/L	5,7	>5,0	Sim
	Turbidez	UNT	10,8	<100	Sim
	Cor	Pt/L	11,5	<75	Sim
	pH	pH	7,3	6,0 a 9,0	Sim
	DQO	mg/L O2	< 15	Não Requerido	-
	Condutividade	µS/cm	45,9	Não Requerido	-

Quadro 37 – Parâmetros orgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 1º semestre de 2018 (28/06/2018) e violação ao enquadramento (continua)

Parâmetros Orgânicos	Unidade	Resultado	VMP (CONAMA 357/05 Classe 2)	Atende enquadramento?*
Substancias tensoativas	mg LAS / L	<0,1	0,5	Sim
Acrilamida	µg/L	<0,08	0,5	Sim
Alaclor	µg/L	<0,05	20	Sim
Aldrin e Dieldrin	µg/L	<0,02	0,005	**Acima do limite**
Atrazina	µg/L	<0,05	20	Sim
Benzeno	mg/L	<0,001	0,005	Sim
Benzidina	µg/L	<0,0002	0,001	Sim
Benzo(a)antraceno	µg/L	<0,5	0,05	**Acima do limite**
Benzo(a)pireno	µg/L	<2,5	0,05	**Acima do limite**
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	<2,5	0,05	**Acima do limite**
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	<5	0,05	**Acima do limite**
Carbaril	µg/L	<1	0,05	**Acima do limite**
Clordano (cis e trans)	µg/L	<0,05	0,04	**Acima do limite**
2-Clorofenol	µg/L	<0,25	0,1	**Acima do limite**
Criseno	µg/L	<0,5	0,05	**Acima do limite**
2,4-D	µg/L	<2	4	Sim
Demeton (Demeton-O e Demeton-S)	µg/L	<1	0,1	**Acima do limite**
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	<0,5	0,05	**Acima do limite**
1,2-Dicloroetano	mg/L 0,01	<0,001	0,01	Sim
1,1-Dicloroeteno	mg/L 0,003	<0,002	0,003	Sim
2,4-Diclorofenol	µg/L 0,3	<0,25	0,3	Sim
Diclorometano	mg/L 0,02	<0,01	0,02	Sim
DDT (p,p´-DDT, p,p´-DDE e p,p´-DDD)	µg/L 0,002	<0,05	0,002	**Acima do limite**
Dodecacloropentaciclodecano	µg/L 0,001	<0,02	0,001	**Acima do limite**
Endossulfan (a, b e sulfato)	µg/L 0,056	<0,05	0,056	Sim
Endrin	µg/L 0,004	<1	0,004	**Acima do limite**
Estireno	mg/L 0,02	<0,001	0,02	Sim

Quadro 36 – Parâmetros orgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 1º semestre de 2018 (28/06/2018) e violação ao enquadramento (conclusão)

Parâmetros Orgânicos	Unidade	Resultado	VMP (CONAMA 357/05 Classe 2)	Atende enquadramento?*
Etilbenzeno	µg/L 90	<1	90	Sim
Índice de Fenóis	mg/L 0,003	<0,002	0,003	Sim
Glifosato	µg/L 65	<50	65	Sim
Gution	µg/L 0,005	<0,005	0,005	Sim
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	µg/L 0,01	<0,05	0,01	Acima do limite
Hexaclorobenzeno	µg/L 0,0065	<0,05	0,0065	Acima do limite
Indeno(1,2,3,cd)pireno	µg/L 0,05	<0,5	0,05	Acima do limite
Lindano (g-HCH)	µg/L 0,05	<0,1	0,05	Acima do limite
Malation	µg/L 0,1	<0,1	0,1	Sim
Metolacloro	µg/L 10	<0,5	10	Sim
Metoxicloro	µg/L 0,03	<0,05	0,03	Acima do limite
Paration	µg/L 0,04	<1	0,04	Acima do limite
PCB´s - Bifenilas Policloradas	µg/L 0,001	<0,005	0,001	Acima do limite
Pentaclorofenol	mg/L 0,009	<0,005	0,009	Sim
Simazina	µg/L 2	<0,1	2	Sim
2,4,5-T	µg/L 2	<2	2	Sim
Tetracloreto de Carbono	mg/L 0,002	<0,002	0,002	Sim
Tetracloroeteno	mg/L 0,01	<0,001	0,01	Sim
Tolueno	µg/L 2	<1	2	Sim
Toxafeno	µg/L 0,01	<0,00028	0,01	Sim
2,4,5-P	µg/L 10	<2	10	Sim
Tributilestanho	µg/L 0,063	<0,063	0,063	Sim
Triclorobenzenos	mg/L 0,02	<0,001	0,02	Sim
Tricloroeteno	mg/L 0,03	<0,001	0,03	Sim
2,4,6-Triclorofenol	mg/L 0,01	<0,003	0,01	Sim
Trifluralina	µg/L 0,2	<0,1	0,2	Sim
Xilenos	µg/L 300	<1	300	Sim

Quadro 38 – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 2º semestre de 2018 (18/12/2018) e violação ao enquadramento (continua)

Parâmetros		Unidade	Resultado	VMP	Atende enquadramento?*
Físico -Químicos	Materiais flutuantes	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Óleos e graxas visíveis	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Substancias que comunicam odor	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Corantes Artificiais	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	Resíduos Sólidos Objetáveis	Pres/Aus	Ausente	Ausente	Sim
	DBO	mg/L	< 4,0	<5	Sim
	OD	mg/L	5,7	>5,0	Sim
	Turbidez	UNT	13,8	<100	Sim
	Cor	Pt/L	< 0,38	<75	Sim
	pH	pH	6,2	6,0 a 9,0	Sim
	DQO	mg/L O2	17,2	Não Requerido	-
	Condutividade	µS/cm	53	Não Requerido	-

Quadro 37 – Parâmetros físico químicos, biológicos e inorgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 2º semestre de 2018 (18/12/2018) e violação ao enquadramento (conclusão)

Parâmetros		Unidade	Resultado	VMP	Atende enquadramento?*
Biológicos	Coliformes totais	col./100 ml	<10	Não requerido	-
	Coliforme termotolerante	col./100 ml	<10	<1000 em 80% de 6 amostras/ ano	Sim
	Clorofila a	µg/L	< 2,0	<30	Sim
	Densidade de Cianobactérias	cél./ml	0	<50.000	Sim
	Contagem outras algas	cél./ml	0	Não requerido	-
	Sólidos dissolvidos totais	mg/L	33,9	<500	Sim
Inorgânicos	Alumínio Dissolvido	mg/L	0,067	0,1	Sim
	Antimônio	mg/L	<0,008	0,005	**Acima do limite**
	Arsênio	mg/L	<0,011	0,01	Sim
	Bário	mg/L	<0,002	0,7	Sim
	Berílio	mg/L	<0,003	0,04	Sim
	Boro	mg/L	<0,026	0,5	Sim
	Cádmio	mg/L	<0,002	0,001	Sim
	Chumbo	mg/L	<0,008	0,01	Sim
	Cianeto	mg/L	< 0,002	0,005	Sim
	Cloreto	mg/L	3,3	250	Sim
	Cloro Residual	mg/L	<0,01	0,01	**Acima do limite**
	Cobalto	mg/L	<0,002	0,05	Sim
	Cobre Dissolvido	mg/L	<0,002	0,009	Sim
	Cromo	mg/L	<0,002	0,05	Sim
	Ferro Dissolvido	mg/L	0,461	0,3	Sim
	Fluoreto	mg/L	< 0,10	1,4	Sim
	Fósforo Total	mg/L	0,04	0,02	**Acima do limite**
	Lítio	mg/L	<0,003	2,5	Sim
	Manganês	mg/L	<0,002	0,1	Sim
	Mercúrio	mg/L	< 0,0002	0,0002	Sim
	Níquel	mg/L	<0,002	0,025	Sim
	Nitrato (como N)	mg/L	0,3	10	Sim
	Nitrito (como N)	mg/L	< 0,006	1	Sim
	Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,12	3,7	Sim
	Prata	mg/L	<0,001	0,01	Sim
	Selênio	mg/L	<0,016	0,01	Sim
	Sulfato	mg/L	2,88	250	Sim
	Sulfetos (como H2S não dissociado)	mg/L	< 0,02	0,002	Sim
	Urânio	mg/L	<0,004	0,02	Sim
	Vanádio	mg/L	<0,003	0,1	Sim
	Zinco	mg/L	<0,007	0,18	Sim

Quadro 39 – Parâmetros orgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 2º semestre de 2018 (18/12/2018) e violação ao enquadramento (continua)

Parâmetros Orgânicos	Unidade	Resultado	VMP (CONAMA 357/05 - Classe 2)	Atende enquadramento?*
Substancias tensoativas	mg LAS / L	< 0,05	0,5	Sim
Acrilamida	µg/L	< 0,080	0,5	Sim
Alaclor	µg/L	< 0,050	20	Sim
Aldrin e Dieldrin	µg/L	< 0,030	0,005	**Acima do limite**
Atrazina	µg/L	< 0,100	20	Sim
Benzeno	mg/L	< 0,001	0,005	Sim
Benzidina	µg/L	<0,001	0,001	Sim
Benzo(a)antraceno	µg/L	< 0,050	0,05	Sim
Benzo(a)pireno	µg/L	< 0,050	0,05	Sim
Benzo(b)fluoranteno	µg/L	< 0,050	0,05	Sim
Benzo(k)fluoranteno	µg/L	< 0,050	0,05	Sim
Carbaril	µg/L	< 0,050	0,05	Sim
Clordano (cis e trans)	µg/L	< 0,050	0,04	**Acima do limite**
2-Clorofenol	µg/L	< 0,010	0,1	Sim
Criseno	µg/L	< 0,050	0,05	Sim
2,4-D	µg/L	< 2,00	4	Sim
Demeton (Demeton-O e Demeton-S)	µg/L	< 0,050	0,1	Sim
Dibenzo(a,h)antraceno	µg/L	< 0,050	0,05	Sim
1,2-Dicloroetano	mg/L 0,01	< 0,001	0,01	Sim
1,1-Dicloroeteno	mg/L 0,003	< 0,002	0,003	Sim
2,4-Diclorofenol	µg/L 0,3	< 0,050	0,3	Sim
Diclorometano	mg/L 0,02	< 0,010	0,02	Sim
DDT (p,p´-DDT, p,p´-DDE e p,p´-DDD)	µg/L 0,002	< 0,050	0,002	**Acima do limite**
Dodecacloropentaciclodecano	µg/L 0,001	< 0,050	0,001	**Acima do limite**
Endossulfan (a, b e sulfato)	µg/L 0,056	< 0,050	0,056	Sim
Endrin	µg/L 0,004	< 0,100	0,004	**Acima do limite**
Estireno	mg/L 0,02	< 0,001	0,02	Sim
Etilbenzeno	µg/L 90	< 1,00	90	Sim
Índice de Fenóis	mg/L 0,003	< 0,002	0,003	Sim
Glifosato	µg/L 65	< 100	65	**Acima do limite**
Gution	µg/L 0,005	<0,005	0,005	Sim
Heptacloro e Heptacloro Epóxido	µg/L 0,01	< 0,100	0,01	**Acima do limite**
Hexaclorobenzeno	µg/L 0,0065	< 0,010	0,0065	**Acima do limite**
Indeno(1,2,3,cd)pireno	µg/L 0,05	< 0,050	0,05	Sim
Lindano (g-HCH)	µg/L 0,05	< 0,100	0,05	**Acima do limite**
Malation	µg/L 0,1	< 0,100	0,1	Sim
Metolacloro	µg/L 10	< 0,500	10	Sim
Metoxicloro	µg/L 0,03	< 0,020	0,03	Sim
Paration	µg/L 0,04	< 0,200	0,04	**Acima do limite**

Quadro 38 – Parâmetros orgânicos da água bruta do sistema Imunana-Laranjal para 2º semestre de 2018 (18/12/2018) e violação ao enquadramento (conclusão)

Parâmetros Orgânicos	Unidade	Resultado	VMP (CONAMA 357/05 - Classe 2)	Atende enquadramento?*
PCB´s - Bifenilas Policloradas	µg/L 0,001	< 0,001	0,001	Sim
Pentaclorofenol	mg/L 0,009	< 0,001	0,009	Sim
Simazina	µg/L 2	< 0,100	2	Sim
2,4,5-T	µg/L 2	< 2,00	2	Sim
Tetracloreto de Carbono	mg/L 0,002	< 0,002	0,002	Sim
Tetracloroeteno	mg/L 0,01	< 0,001	0,01	Sim
Tolueno	µg/L 2	< 1,00	2	Sim
Toxafeno	µg/L 0,01	<0,01	0,01	Sim
2,4,5-P	µg/L 10	< 2,00	10	Sim
Tributilestanho	µg/L 0,063	<0,063	0,063	Sim
Triclorobenzenos	mg/L 0,02	< 0,002	0,02	Sim
Tricloroeteno	mg/L 0,03	< 0,001	0,03	Sim
2,4,6-Triclorofenol	mg/L 0,01	< 0,100	0,01	**Acima do limite**
Trifluralina	µg/L 0,2	< 0,100	0,2	Sim
Xilenos	µg/L 300	< 1,00	300	Sim

Legenda: VMP – Valor Máximo Permitido. *As substâncias categorizadas como “acima do limite” implicam em dois possíveis cenários: (i) o nível de acurácia do monitoramento do parâmetro pela CEDAE é superior aos valores máximos permitidos definidos pela Resolução nº CONAMA 357/05 para a classe 2 de águas doces, ou (ii) o valor monitorado é possivelmente superior ao VMP, considerando que os valores mensurados não valores precisos, e sim, indicativos (menor que).

Fonte: A autora, 2020. Dados extraídos de CEDAE (2019c).

APÊNDICE E – Produção agrícola na área afetada pela barragem do Guapiaçu

Quadro 40 – Produção agrícola na área diretamente afetada pela barragem do Guapiaçu

Tipo	**Propriedades**	**Produção**	**Valor (R$) / ano**	**Local de comercialização**	**Nº de Colheitas**
Aipim	73	180.000 caixas	4.502.544	CEASA	1 ou mais vezes ao ano
Milho	35	663.108 sacos	3.085.632	CEASA	Mais de duas vezes por ano
Inhame	31	69.780 caixas	1.210.152	CEASA	Mais de duas vezes por ano
Jiló	18	35.640 caixas	922.236	CEASA	Mais de duas vezes por ano
Feijão Mauá	16	43.824 caixas	896.520	CEASA	Mais de duas vezes por ano
Limão	16	20.532 caixas	271.440	CEASA	Mensal
Pecuária de Corte	15	não informado	Não Informado	Não Informado	Não Informado
Pecuária Leiteira	14	75.420 litros	785.424	Cooperativa	Mensal
Banana	13	4.440 caixas	76.200	CEASA / comércio local	Mensal
Coco	13	125.640 unidades	138.630	CEASA	Mais de duas vezes por ano
Feijão	13	44.172 caixas	954.300	CEASA	Mais de duas vezes por ano
Goiaba	11	144.684 caixas	2.583.780	CEASA	Mais de duas vezes por ano
Laranja	10	38.760 caixas	494.400	CEASA	Mais de duas vezes por ano

Fonte: AMBIENTAL ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2015.

APÊNDICE F – Ocorrência de inundações, entre 2000 a 2009, na Bacia do rio Guapi-Macacu

Quadro 41 – Dados de identificação das ocorrências de inundações registradas entre 2000 e 2019, por ano, mês e município (continua)

Ano	Mês	Data	Município	Causa	Localidades afetadas	Tipificação do desastre	Ocorrido	Fora de casa	Mortes	Pessoas afetadas	Zona atingida	SE ou ECP	Decreto RJ	Portaria BR
2004	1	01/01/2004	Cachoeiras de Macacu	Chuvas intensas e rompimento de 3 diques inundando 800 ha de áreas agrícolas	Assentamento em São José da Boa Morte	Alagamentos	Inund	40	0	40	rur	SE	-	216
2005	12	11/12/2005	Cachoeiras de Macacu	Chuva de 130 mm em menos de 3 h de duração		Enxurradas ou inundações bruscas	Inund-Desl	250	2	28.475	urb e rur	SE	38.773	-
2008	3	10/03/2008	Guapimirim	Tromba d'água a montante causou enxurrada no rio Soberbo, matando 7 banhistas	Rio Soberbo	Enxurradas ou inundações bruscas	Inund	0	7	0	-	-	-	-
2008	11	17/11/2008	Guapimirim	Chuva de 60 mm em 40 min		Alagamentos	Inund	18	0	470	urb	-	-	-
2009	1	20/01/2009	Itaboraí	Chuvas intensas		Alagamentos	Inund	168	0	366	urb	-	-	-
2009	1	22/01/2009	Cachoeiras de Macacu	Chuvas intensas, enxurradas, inundações		Enxurradas ou inundações bruscas	Inund-Desl	250	0	25.350	urb e rur	SE	41.787	622
2009	2	12/02/2009	Guapimirim	Chuva de 170 mm em 6 h		Enchentes ou inundações graduais	Inund	20	0	2.000	urb	-	-	-
2009	2	12/02/2009	Itaboraí	Chuvas intensas 2 dias, transbordamento de valões e riachos	Jardim Imperial, Sossego, São Joaquim, Joaquim de Oliveira, Reta Nova, Reta Velha, Engenho Velho, Ampliação, Nancilândia, Vila, Porto das Caixas	Enchentes ou inundações graduais	Inund-Desl	1.624	0	1.624	urb	SE	41.824	603
2009	11	16/11/2009	Guapimirim	Chuva de 210 mm em 10 h		Enchentes ou inundações graduais	Inund	0	0	30	urb	-	-	-
2009	11	21/11/2009	Guapimirim	Tromba d'água a montante causou enxurrada matando 1 banhista		Enxurradas ou inundações bruscas	Inund	0	1	0	urb	-	-	-
2010	1	15/01/2010	Guapimirim	Chuva de 80 mm em 1 h		Enchentes ou inundações graduais	Inund	0	0	100	urb	-	-	-
2010	2	25/02/2010	Guapimirim	Chuva de 200 mm		Enchentes ou inundações graduais	Inund	6	0	2.000	urb	-	-	-
2010	4	05/04/2010	Guapimirim	Chuva de 170 mm em 6 h		Enchentes ou inundações graduais	Inund	0	0	2.000	urb	-	-	-
2010	4	05/04/2010	Itaboraí	Chuvas intensas, acumulado de 290 mm em 05/abr		Enchentes ou inundações graduais	Inund	1.579	0	1.579	-	SE	42.444	382
2010	4	06/04/2010	Cachoeiras de Macacu	Chuva de 210 mm em 12 h	Boca do Mato, Cidade Alta, Japuiba, Papucaia, Ganguri de Cima; São José da Boa Morte, Bonanza, Faraó de Cima, Faraó de Baixo, Areal, Vecchi, Ilha Vecchi, Matumbo, Guapiaçu, Imbira e Quizanga	Enxurradas ou inundações bruscas	Inund-Desl	337	0	1.463	urb e rur	SE	42.459	444
2010	4	07/04/2010	Guapimirim	Fortes chuvas		Enchentes ou inundações graduais	Inund	7	0	7.000	urb	-	-	-

Quadro 40 – Dados de identificação das ocorrências de inundações registradas entre 2000 e 2019, por ano, mês e município (conclusão)

Ano	Mês	Data	Município	Causa	Localidades afetadas	Tipificação do desastre	Ocorrido	Fora de casa	Mortes	Pessoas afetadas	Zona atingida	SE ou ECP	Decreto RJ	Portaria BR
2010	12	05/12/2010	Guapimirim	Chuva de 180 mm em 1:40 h		Alagamentos	Inund	21	0	415	urb	-	-	-
2016	1	02/01/2016	Guapimirim	Chuva de 117mm em 3 h 30	Estrada da Caneca Fina, Bairro Caneca Fina	Alagamentos	Inund	3	0	3	urb.	-	-	-
2016	1	14/01/2016	Guapimirim	Chuva de 213mm em 48 horas	Jardim Guapimirim Paz; Segredo; Quinta Mariana; Centro; Caneca Fina	Inundações	Inund	9	0	29	urb.	-	-	-
2016	2	28/02/2016	Cachoeiras de Macacu	Chuvas de mais de 300 mm entre os dias 28/02 a 01/03	Boca do Mato, Castália, Valério, Rasgo, Tuim, Campo do Prado, Taborda, Boa Vista, Ganguri de Cima, Morro do Cleber, Cidade Alta, Parque Veneza, Japuíba, Ribeira, Papucaia, Morro do Sossego, Maraporã, Marubaí, Vecchi, Soarinho, São José da Boa Morte, Serra Queimada, Itaperiti e Agro Brasil.	Inundações	Inund	1.556	1	1.557	urb e rur	SE	3.344	077
2016	3	27/02/2016	Guapimirim	Chuva de 34 mm em menos de duas horas	Parque Santa Eugenia, Parada Modelo e Caneca Fina	Inundações	Inund	0	0	52	urb	-	-	-
2017	1	23/01/2017	Guapimirim			Alagamentos	Inund	0	0	0	urb.	-	-	-
2018	2	06/02/2018	Itaboraí			Enxurradas	Inund	42	0	1.192	urb.	-	-	-
2018	2	20/02/2018	Guapimirim			Inundações	Inund	16	0	96	urb.	-	-	-
2018	2	22/02/2018	Guapimirim			Inundações	Inund	36	0	176	urb.	-	-	-
2018	3	05/03/2018	Guapimirim			Inundações	Inund	7	0	215	urb.	SE	46.264	115
2018	11	08/11/2018	Guapimirim			Alagamentos	Inund	10	0	10	urb.	-	-	-
2019	1	04/01/2019	Guapimirim			Enxurradas	Inund	0	0	59.613	urb.	-	-	-

Legenda: **Tipificação do desastre** - conforme registro da ocorrência pela Defesa Civil; **Ocorrido** - conforme descrição no texto. **Inund** = Inundações; **Inund-Desl** = Inundações e Deslizamentos. **SE** - situação de emergência; **ECP** - estado de calamidade pública. **Fora de casa** = pessoas desalojadas, desabrigadas e/ou deslocadas. **Zona atingida**: **urb** = urbana, **rur** = rural. **DecretoRJ** e **PortariaBR** - números dos decretos estaduais e portarias federais que homologam SE ou ECP nos municípios.

Fonte: SEDEC, 2012 apud INEA, 2014d. Base de dados do S2iD, 2019.

APÊNDICE G – Registros dos níveis do canal de Imunana, de 2002 a 2018, em eventos de estiagem

Quadro 42 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de julho) de 2002 a 2018

Julho	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2002	1,00	0,90	0,98	0,97	1,02	1,02	0,98	0,98	0,98	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,96	0,96	0,95	0,95	0,90	0,84	0,80	0,79	0,74	0,70	0,63	0,52	0,43	0,42	0,47
2003	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,22	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,30	1,24	1,23	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,22	1,22	1,20	1,20	1,20	1,20	1,24	1,24	1,22	1,21
2004	1,12	1,12	1,12	1,10	1,10	1,14	1,16	1,13	1,12	1,18	1,28	1,14	1,10	1,13	1,12	1,11	1,12	1,30	1,22	1,31	1,30	1,20	1,15	1,15	1,17	1,17	1,16	1,16	1,17	1,16	1,16
2005	1,14	1,16	1,14	1,14	1,12	1,18	1,12	1,16	1,18	1,18	1,11	1,12	1,16	1,16	1,12	1,15	1,12	1,14	1,14	1,26	1,18	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,18	1,16	1,14	1,14	1,13
2006	1,00	1,03	1,03	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,02	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	0,98	0,97	0,97	0,97	1,10	1,09
2007	1,02	1,00	1,00	0,98	0,98	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	1,04	1,00	0,97	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,96	0,94	0,95	0,97	0,97	1,00	0,99	0,80	0,95	1,07
2008	1,03	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,06	1,06	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,04	1,03	1,02	1,00	1,00	0,99	0,98	1,02	1,02	1,00	1,00	0,98	1,00	0,98
2009	1,15	1,17	1,17	1,20	1,16	1,14	1,13	1,17	1,14	1,11	1,10	1,20	1,15	1,11	1,09	1,08	1,06	1,07	1,08	1,12	1,13	1,10	1,09	1,06	1,13	1,16	1,15	1,17	1,14	1,14	1,16
2010	1,09	1,09	1,08	1,07	1,08	1,08	1,08	1,07	1,06	1,06	1,09	1,07	1,11	1,20	1,15	1,15	1,34	1,20	1,11	1,13	1,10	1,10	1,08	1,06	1,07	1,06	1,06	1,06	1,06	1,05	1,04
2011	1,20	1,09	1,08	1,08	1,34	1,12	1,09	1,28	1,14	1,12	1,14	1,12	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,06	1,09	1,10	1,08	1,08	1,14	1,20	0,95	1,07	1,07	1,05	1,04	1,06	1,01
2012	1,09	1,08	1,09	1,09	1,07	1,07	1,05	1,05	1,36	1,17	1,10	1,09	1,20	1,14	1,10	1,16	1,12	1,10	1,15	1,14	1,10	1,08	1,08	1,08	1,06	1,06	1,05	1,02	1,03	1,03	1,03
2013	1,10	1,31	1,04	1,04	1,09	1,11	1,08	1,07	1,31	1,12	1,12	1,09	1,10	1,11	1,30	1,13	1,27	1,32	1,20	1,16	1,14	1,10	1,06	1,03	1,06	1,22	1,45	1,50	1,40	1,18	1,18
2014	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,06	1,28	1,19	1,35	1,22	1,23	1,15	1,18	1,12	1,10	1,08	1,15	1,14	1,09	1,06	1,05	1,04	1,03	1,11	1,12	1,28	1,19	1,12	1,08
2015	1,05	1,05	1,05	1,05	1,25	1,13	1,07	1,06	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,94	1,06	1,04	0,98	1,06	1,06	1,00	0,98	0,95	0,95	1,09
2016	1,03	1,03	1,03	1,02	1,00	1,05	1,03	0,98	0,96	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,92	1,02	1,00	0,96	0,95	1,02	1,06	1,03	1,00	0,97	0,97	0,95	0,95	0,95	0,95	0,94
2017	1,00	1,24	1,15	1,05	1,03	1,03	1,02	1,01	1,00	1,02	1,08	1,07	1,07	1,05	1,04	1,04	1,04	1,02	1,15	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,02	1,01	1,02	1,02	1,01	1,01	1,00
2018	1,10	1,09	1,08	1,12	1,20	1,28	1,06	1,05	1,05	1,04	1,13	1,15	1,09	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,04	1,03	1,02	1,01	1,04	1,06	1,48	1,10	1,07	1,04	1,05	1,04	1,04

Quadro 43 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de agosto) de 2002 a 2018

Agosto	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2002	0,35	0,35	0,61	0,54	0,36	0,29	0,67	1,03	1,15	1,06	1,01	1,00	0,98	1,00	1,17	1,11	1,10	1,07	1,03	1,02	1,00	1,00	1,02	0,99	0,98	0,96	0,92	0,90	1,14	1,09	1,09
2003	1,20	1,21	1,20	1,20	1,20	1,20	1,18	1,18	1,18	1,20	1,27	1,22	1,20	1,20	1,20	1,20	1,30	1,25	1,22	1,20	1,20	1,20	1,19	1,17	1,16	1,22	1,18	1,25	1,48	1,20	1,24
2004	1,16	1,16	1,16	1,16	1,10	1,16	1,12	1,12	1,22	1,19	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,15	1,14	1,14	1,12	1,10	1,12	1,10	1,10	1,13	1,12	1,10	1,12	1,11	1,11	1,10
2005	1,14	1,14	1,14	1,12	1,12	1,10	1,12	1,11	1,10	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,09	1,10	1,09	1,10	1,10	1,10	1,09	1,08	1,08	1,08	1,07	1,12	1,08	1,07	1,07	1,08	1,07
2006	1,05	1,05	1,06	1,02	1,00	1,00	0,99	0,98	0,97	0,97	0,95	0,95	0,95	0,94	0,92	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	1,08	1,06	1,01	1,00	0,99	0,98	0,95	0,95	0,97	0,97	0,96
2007	1,04	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,96	0,97	0,98	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94	0,94	0,92	0,94	0,97	0,95	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0,98	1,00	0,98
2008	0,98	0,96	0,96	0,96	0,98	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	1,01	0,99	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	1,04	1,02	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	1,16
2009	1,12	1,11	1,09	1,09	1,10	1,09	1,07	1,07	1,06	1,05	1,03	1,06	1,06	1,05	1,05	1,04	1,03	1,04	1,03	1,03	1,02	1,10	1,07	1,05	1,04	1,09	1,08	1,05	1,04	1,04	1,03
2010	1,04	1,02	1,03	1,26	1,09	1,13	1,07	1,04	1,03	1,09	1,07	1,07	1,00	1,04	1,27	1,24	1,14	1,08	1,06	1,06	1,04	1,04	1,02	1,11	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	1,04
2011	1,02	1,02	1,07	1,08	1,13	1,08	1,07	1,06	1,06	1,07	1,15	1,10	1,05	1,04	1,03	1,04	1,02	1,02	1,00	1,01	1,00	1,24	1,08	1,06	1,06	1,08	1,04	1,04	1,03	1,02	1,01
2012	1,03	1,02	1,02	1,01	1,07	1,10	1,04	1,02	1,02	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,96	1,00	0,98
2013	1,08	1,07	1,05	1,05	1,04	1,05	1,04	1,04	1,02	1,01	1,00	1,03	1,02	1,01	1,21	1,11	1,05	1,08	1,08	1,05	1,04	1,02	1,00	1,00	1,00	0,99	1,00	1,17	1,05	1,00	0,99
2014	1,03	1,03	1,03	1,03	1,20	1,10	1,07	1,06	1,05	1,06	1,04	1,03	1,03	1,35	1,11	1,08	1,11	1,07	1,05	1,09	1,08	1,05	1,03	1,02	1,02	1,01	1,01	1,07	1,09	1,05	1,02
2015	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88	0,90	0,88	0,88	0,91	0,89	0,84	0,80	0,81	0,86	0,81	0,80	0,88	0,88	0,81	0,81	0,91	0,91	0,86	0,82	0,80	0,91
2016	0,94	0,93	1,25	1,08	0,99	0,95	0,93	0,93	0,93	0,94	1,10	1,10	0,97	0,95	0,94	0,94	0,98	0,93	0,93	0,88	0,83	1,04	1,05	0,98	0,92	0,98	0,92	0,90	0,88	0,88	0,97
2017	1,00	1,00	1,00	1,00	1,06	1,07	1,00	0,97	1,00	1,18	1,06	0,98	0,98	0,97	1,00	1,01	1,04	1,05	1,05	1,01	1,24	1,13	1,11	1,07	1,03	1,00	0,99	0,98	0,98	1,05	0,99
2018	1,06	1,10	1,11	1,15	1,22	1,11	1,45	1,13	1,07	1,10	1,10	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,05	1,10	1,09	1,05	1,03	1,01	1,02	1,03	1,00	0,99	1,30	1,10	1,07	1,20	1,03

Quadro 44 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de setembro) de 2002 a 2018

Setembro	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
2002	1,13	1,13	1,09	1,07	1,04	1,02	1,02	1,05	1,05	1,02	1,02	1,02	1,00	0,98	0,97	0,97	0,87	0,74	0,68	0,65	0,55	0,45	0,75	0,62	0,50	0,44	0,58	0,48	0,87	1,03
2003	1,30	1,30	1,34	1,31	1,28	1,27	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,37	1,34	1,48	1,30	1,38	1,40	1,40	1,26	1,31	1,29	1,29	1,30	1,31	1,31	1,30	1,28	1,30	1,28	1,36
2004	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,07	1,08	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,08	1,08	1,07	1,08	1,06	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,05	1,05
2005	1,06	1,06	1,08	1,10	1,00	1,06	1,12	1,10	1,07	1,04	1,04	1,04	1,05	1,25	1,12	1,10	1,10	1,16	1,13	1,10	1,10	1,10	1,09	1,08	1,07	1,07	1,34	1,04	1,05	1,10
2006	0,95	0,98	0,98	0,95	1,07	1,10	1,01	1,00	1,03	1,00	0,99	0,99	0,99	0,96	0,95	0,94	0,94	0,95	1,02	1,01	1,03	1,00	0,99	0,98	1,12	1,06	1,02	1,02	1,00	1,00
2007	0,96	0,94	0,95	0,94	0,92	0,93	0,91	0,91	0,89	0,89	0,87	0,83	0,78	0,79	0,84	0,84	0,86	0,88	0,90	0,84	0,78	0,80	0,82	0,77	0,80	0,98	0,94	0,94	0,96	1,07
2008	1,08	1,04	1,05	1,04	1,03	1,02	1,19	1,05	1,10	1,04	1,03	1,02	1,01	1,02	1,12	1,16	1,18	1,18	1,12	1,08	1,08	1,08	1,06	1,07	1,06	1,06	1,19	1,24	1,18	1,10
2009	1,03	1,01	1,01	1,03	1,04	1,00	1,01	1,03	1,01	1,02	1,02	1,00	1,00	0,97	1,05	1,05	1,02	1,00	1,02	1,01	1,02	1,11	1,00	0,99	1,09	1,05	1,00	1,02	1,00	1,28
2010	1,05	1,02	1,01	1,01	1,01	1,04	1,02	1,09	1,09	1,01	0,98	0,96	0,95	1,00	0,94	0,98	0,98	1,12	1,22	1,05	1,05	0,96	0,94	0,93	0,94	0,94	0,98	0,98	0,96	0,95
2011	1,03	1,14	1,04	1,01	1,02	1,00	1,26	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98	1,08	1,01	1,11	1,04	1,00	1,00	0,99	0,96	0,95	0,96	0,96	0,97	0,99	1,20	1,05	1,00	1,00	1,00
2012	1,03	1,02	1,02	1,01	1,07	1,10	1,04	1,02	1,02	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,96	1,00
2013	0,97	0,97	0,97	1,21	1,26	1,14	1,08	1,05	1,04	1,01	1,02	1,01	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,98	1,00	0,99	0,98	0,96	0,97	1,09	1,31	1,11	1,07	1,06	1,03	1,04
2014	1,17	1,17	1,17	1,17	1,14	1,07	1,04	1,01	1,00	0,99	0,98	0,99	0,96	0,96	0,95	0,93	0,98	0,97	0,95	0,94	0,95	1,08	0,97	0,95	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92
2015	0,87	0,87	0,87	0,87	0,89	1,02	0,97	1,04	0,97	0,97	0,98	1,10	1,35	1,12	1,11	1,07	1,02	0,99	0,95	0,94	0,92	0,90	0,87	0,84	0,80	0,81	0,81	0,82	0,80	0,82
2016	1,12	1,03	0,94	0,92	0,91	0,90	0,90	0,93	0,94	0,95	0,94	0,90	0,88	0,88	0,89	0,93	0,94	0,93	1,20	0,98	1,32	1,04	0,97	0,94	0,94	1,23	1,05	1,02	0,98	0,96
2017	0,96	0,96	0,96	0,96	0,94	0,93	0,92	1,15	0,97	0,90	0,84	0,90	0,95	0,96	0,91	0,86	0,89	0,89	0,89	0,88	0,87	0,85	0,85	0,94	0,97	0,96	0,97	0,94	0,89	0,88
2018	1,00	1,00	1,00	1,05	1,04	1,01	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99	1,13	1,28	1,14	1,23	1,12	1,08	1,06	1,20	1,07	1,03	1,01	1,00	0,98	1,14	1,10	1,04

Quadro 45 – Níveis do canal de Imunana no período seco (mês de outubro) de 2002 a 2018

Outubro	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2002	0,98	0,97	0,92	0,50	0,76	0,70	1,02	0,98	0,97	0,97	0,87	0,74	0,68	0,65	0,55	0,45	0,75	0,62	0,50	0,44	0,58	0,48	0,87	1,03	0,98	0,97	0,92	0,50	0,76	0,70	1,02
2003	1,30	1,30	1,29	1,28	1,26	1,26	1,26	1,32	1,28	1,28	1,30	1,27	1,26	1,26	1,32	1,32	1,35	1,35	1,32	1,30	1,28	1,30	1,33	1,30	1,32	1,32	1,30	1,38	1,38	1,40	1,36
2004	1,14	1,10	1,12	1,28	1,15	1,26	1,10	1,10	1,11	1,10	1,10	1,10	1,08	1,08	1,08	1,10	1,08	1,07	1,07	1,35	1,20	1,16	1,12	1,11	1,11	1,19	1,16	1,20	1,16	1,14	1,10
2005	1,10	1,10	1,10	1,09	1,10	1,08	1,10	1,10	1,07	1,07	1,09	1,08	1,06	1,06	1,04	1,06	1,06	1,05	1,15	1,10	1,08	1,08	1,06	1,06	1,07	1,06	1,05	1,05	1,18	1,14	1,16
2006	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	1,00	1,04	1,20	1,09	1,05	1,00	1,00	1,07	1,03	1,00	1,00	1,15	1,16	1,25	1,06	1,02	1,11	1,04	1,10	1,07	1,06	1,06	1,02	1,01	1,00
2007	0,97	0,94	0,92	0,93	0,90	0,86	0,80	0,76	0,73	0,67	0,60	0,59	0,61	0,61	0,63	0,63	0,58	0,59	0,69	0,89	0,90	0,69	0,82	1,16	1,20	1,14	1,15	1,02	0,96	0,92	0,92
2008	1,08	1,08	1,07	1,06	1,05	1,06	1,13	1,18	1,13	1,18	1,07	1,05	1,04	1,13	1,10	1,10	1,10	1,10	1,16	1,16	1,15	1,12	1,10	1,10	1,08	1,10	1,07	1,06	1,07	1,07	1,09
2009	0,99	0,95	0,98	1,04	1,09	1,06	1,05	1,05	1,09	1,07	1,09	1,06	1,15	1,14	1,19	1,17	1,18	0,98	1,18	1,10	1,20	1,18	1,16	1,09	1,10	1,17	1,10	1,12	0,99	0,94	1,11
2010	0,96	1,04	1,32	1,26	1,25	1,00	0,98	0,95	0,94	0,99	0,97	1,02	1,20	1,21	0,98	0,92	0,90	1,28	1,53	1,13	1,00	0,95	0,96	0,97	1,05	1,40	1,40	1,24	1,10	1,05	1,16
2011	0,97	0,96	0,96	1,08	1,13	1,04	1,00	0,98	0,98	0,96	0,96	1,20	1,16	1,05	1,02	1,44	1,20	1,34	1,26	1,10	1,20	1,14	1,11	1,10	1,08	1,07	1,04	1,03	1,01	1,01	1,01
2012	0,98	0,99	1,00	0,97	0,90	0,93	0,95	0,93	0,91	0,91	0,91	1,17	1,22	1,26	1,17	1,11	1,05	1,01	0,99	0,99	0,97	0,99	0,97	1,01	0,96	0,95	0,95	0,93	0,99	0,92	0,92
2013	1,02	1,01	1,03	1,03	1,04	1,06	1,02	1,07	1,03	1,00	0,99	1,00	0,99	0,97	0,96	1,23	1,26	1,15	1,19	1,07	1,01	1,03	1,09	0,94	0,91	0,93	0,92	1,06	1,01	0,98	0,95
2014	1,23	1,23	1,23	1,23	1,18	1,17	1,15	1,15	1,13	1,12	1,11	1,09	1,13	1,09	1,10	1,13	1,10	1,09	1,10	1,47	1,45	1,35	1,25	1,22	1,18	1,23	1,52	1,33	1,22	1,17	1,15
2015	0,84	0,87	0,86	0,83	1,03	1,04	0,87	0,82	0,82	0,80	0,90	0,85	0,84	0,82	0,80	0,90	0,86	0,97	1,00	0,86	0,87	0,85	0,88	0,85	0,93	1,01	0,87	0,85	1,18	1,13	0,86
2016	1,04	1,02	0,98	1,10	1,28	1,23	1,20	1,09	1,02	1,06	1,09	1,01	0,98	0,96	0,95	1,08	0,95	0,94	0,93	0,92	0,95	1,30	1,18	1,10	1,04	1,10	1,03	1,05	1,25	1,11	1,05
2017	0,93	0,90	0,86	0,94	0,95	0,88	0,87	0,95	0,88	0,88	0,88	0,87	0,88	0,86	0,85	1,17	0,93	0,88	0,86	0,88	0,88	0,90	0,93	1,17	1,10	0,99	0,93	0,94	0,95	0,98	0,87
2018	1,01	0,99	0,97	0,96	1,26	1,17	1,11	1,06	1,07	1,21	1,45	1,19	1,11	1,27	1,17	1,14	1,08	1,10	1,20	1,21	1,14	1,10	1,09	1,12	1,17	1,10	1,10	1,19	1,15	1,09	1,04

Quadro 46 – Níveis do canal de Imunana no período úmido (01/12/2015 a 31/01/2016)

Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
dez/15	1,24	1,24	1,24	1,24	1,17	1,14	1,35	1,34	1,33	1,22	1,16	1,18	1,22	1,15	1,13	1,08	1,19	1,16	1,11	1,26	1,30	1,12	1,09	1,06	1,02	1,04	1,03	1,02	1,02	1,00	1,22
jan/16	1,12	1,12	1,12	1,12	1,23	1,11	1,02	0,94	0,88	0,84	0,85	0,88	0,88	0,9	0,89	0,88	0,87	0,87	0,86	0,87	0,87	0,94	1,31	0,95	0,90	0,89	1,03	1,12	0,97	0,93	1,30

Legenda: Igual e acima de 1,00m – nível normal de operação do sistema Imunana-Laranjal. ●Entre 0,99 e 0,90 m – abaixo do nível normal de operação. ●Entre 0,89 m e 0,80 m - nível crítico de operação, com ativação da bomba de transposição e redução do volume aduzido ● Abaixo de 0,8 m – redução de vazão aduzida com desligamento de um grupo da elevatória de água bruta.

Fonte: A autora, 2020. Dados extraídos de CEDAE, 2019a

APÊNDICE H – Microbacias do programa Rio Rural na bacia do rio Guapi-Macacu

Quadro 47 – Caracterização das microbacias trabalhadas no programa Rio Rural na Bacia do rio Guapi-Macacu

Município	Microbacia	Área (ha)	Priorização	Status
Cachoeiras de Macacu	Rio Batatal	3.333	1	Implementado
Cachoeiras de Macacu	Rio do Mato	7.348	2	Implementado
Cachoeiras de Macacu	Rio Caboclo	9.143	3	Implementado
Cachoeiras de Macacu	Rio Soarinho	11.671	4	Implementado
Cachoeiras de Macacu	Rio Cassiano	5.947	5	Implementado
Cachoeiras de Macacu	Rio Rabelo	7.665	6	Implementado
Cachoeiras de Macacu	Rio Boa Vista	5.894	7	Não trabalhada
Cachoeiras de Macacu	Nascente do Rio Macacu	10.594	8	Não trabalhada
Cachoeiras de Macacu	Rio Duas Barras	8.346	9	Não trabalhada
Cachoeiras de Macacu	Nascente do Rio Guapiaçu	9.086	10	Não trabalhada
Cachoeiras de Macacu	Rio Bengala	5.159	11	Implementado
Cachoeiras de Macacu	Rio do Estreito	1.847	12	Não trabalhada
Cachoeiras de Macacu	Rio Paraíso	3.888	13	Não trabalhada
Cachoeiras de Macacu	Rio São João	5.510	14	Não trabalhada
Guapimirim	Iconha	7.833	2	Implementado
Guapimirim	Paraíso	2.055	3	Não trabalhada
Guapimirim	Rio Guapimirim-Macacu	8.813	4	Implementado
Itaboraí	Macacu	4.893	3	Implementado

Nota: Consulta a base de dados do Programa Rio Rural em 26/06/2019.
Fonte: A autora, 2020.