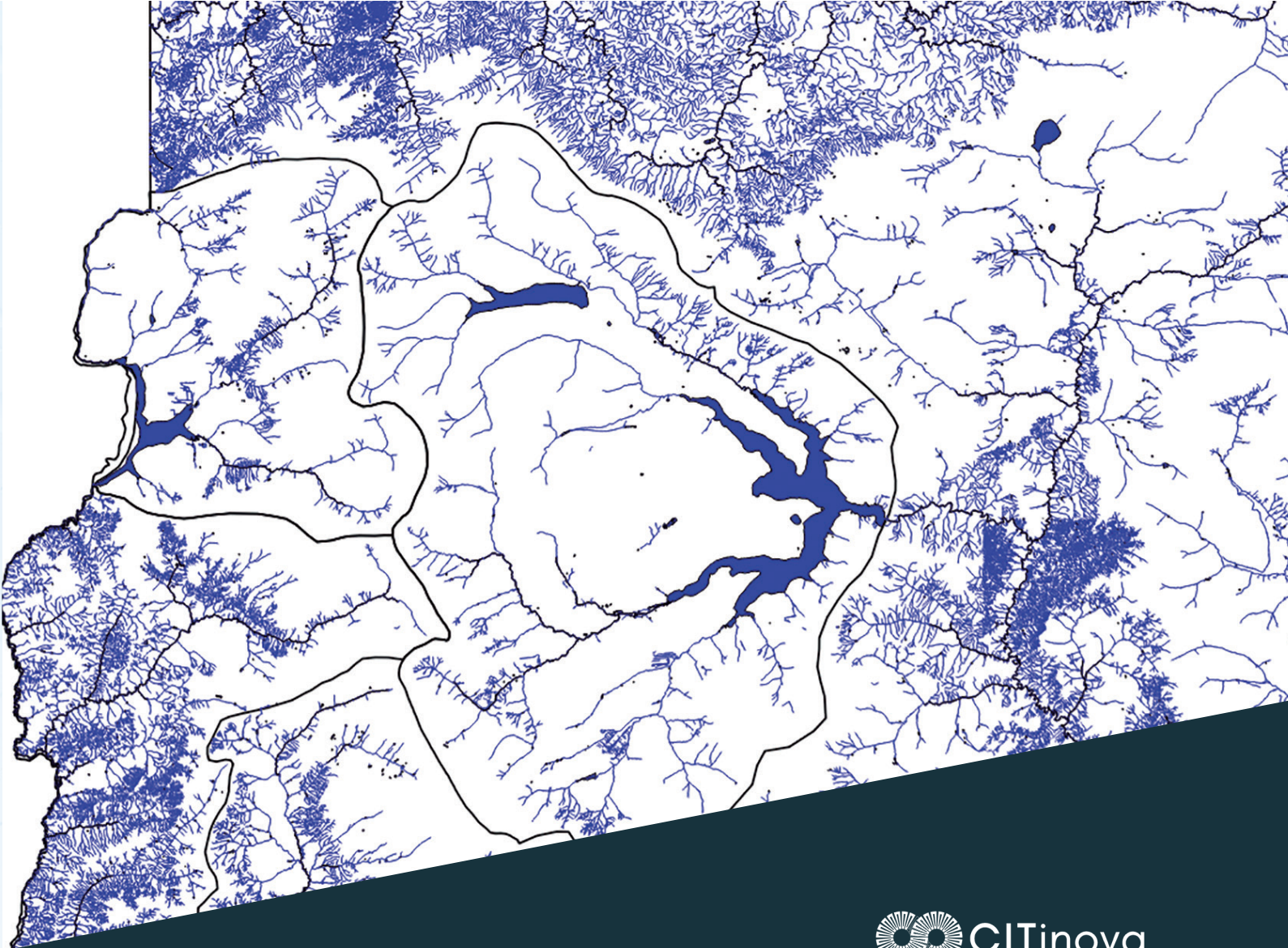




SUSTENTABILIDADE E RISCO HÍDRICO DE BACIAS ESTRATÉGICAS DO DISTRITO FEDERAL

Secretaria de
Meio Ambiente



SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO DISTRITO FEDERAL
GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL

SUSTENTABILIDADE E RISCO HÍDRICO DE BACIAS ESTRATÉGICAS DO DISTRITO FEDERAL

BRASÍLIA, 2021

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL

IBANEIS ROCHA BARROS JUNIOR

SECRETÁRIO DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DO DISTRITO FEDERAL

JOSÉ SARNEY FILHO

SECRETÁRIA-EXECUTIVA (SECEX)

MARÍLIA MARRECO CERQUEIRA

SUBSECRETÁRIO DE GESTÃO DAS ÁGUAS E RESÍDUOS SÓLIDOS (SUGARS)

JOÃO CARLOS COUTO LOSSIO FILHO

SUBSECRETÁRIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS (SUEST)

MÁRCIA COURA

EQUIPE TÉCNICA DA SUBSECRETARIA DE GESTÃO DAS ÁGUAS E RESÍDUOS SÓLIDOS

ELISA MARIA LIMA MEIRELLES - ASSESSORA ESPECIAL (SUGARS)

PATRÍCIA VALLS E SILVA - COORDENADORA DE RECURSOS HÍDRICOS (CRH/SUGARS)

MONA GRIMOUTH BITTAR - ASSESSORA ESPECIAL (CRH/SUGARS)

COORDENADORA TÉCNICA PROJETO CITInova/SEMA-DF

NAZARÉ SOARES

EQUIPE TÉCNICA PROJETO CITInova/SEMA-DF

ANDRÉA PAULA DE CARESTIATO COSTA

ANDRÉ LUIZ F. DE SOUZA

CONSULTORIA CONTRATADA

CENTRO INTERNACIONAL DE ÁGUA E TRANSDISCIPLINARIDADE (CIRAT)

RESPONSÁVEL TÉCNICO

HENRIQUE MARINHO LEITE CHAVES

COLABORADORA

THAIANE V. M. NASCENTE DOS SANTOS

PROJETO GRÁFICO, DIAGRAMAÇÃO E REVISÃO

CT COMUNICAÇÃO



AGRADECIMENTO

A Sema agradece a todos os que forneceram informações que contribuíram para a elaboração deste material para avaliação da Sustentabilidade e Risco Hídrico de Bacias Estratégicas do Distrito Federal.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 METODOLOGIA	05
3 RESULTADOS	23
4 INCERTEZAS DAS ESTIMATIVAS	67
5 RECOMENDAÇÕES	73
6 CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE	85



RESUMO-EXECUTIVO

A sustentabilidade e o risco hídrico são aspectos fundamentais para o planejamento e a gestão sustentável das bacias hidrográficas e também para o estabelecimento de medidas efetivas de adaptação às distintas ameaças climáticas e humanas.

Este livro tem por objetivo estimar o grau de sustentabilidade hídrica e integrada de bacias estratégicas do Distrito Federal, avaliar o risco hídrico de uma bacia-piloto e propor medidas de adaptação às ameaças identificadas.

As bacias analisadas foram a do Rio Paranoá (1.056 km²), a do Rio Descoberto, considerando a parte contida no Distrito Federal (801 km²), e a do Ribeirão Rodeador (113 km²), uma sub-bacia do Descoberto, tomada como bacia-piloto neste estudo. As duas primeiras são reguladas por reservatórios e a última não é regulada.

Para estimar a sustentabilidade hídrica *inter-anual* das bacias foi usado o Índice SDRH de Xu et al. (2002), que faz um balanço entre as ofertas e as demandas anuais de água. O SDRH foi aplicado no cenário atual (1979-2017) às Bacias do Descoberto, do Paranoá e do Rodeador e também a dois cenários futuros de clima e de demanda de água na última.

Os cenários futuros da Bacia-piloto do Rodeador incluíram o *tendencial* (RPC 4.5) e o pessimista (RPC 8.5) de emissões do IPCC. Para tanto, foram utilizadas projeções de precipitação e temperatura em 2040 e 2070, geradas pelo modelo HadGEM2 e regionalizadas pelo modelo Eta, na escala de 5 x 5 km.

No cenário atual, a *sustentabilidade hídrica* das Bacias do Descoberto e do Paranoá foi de 0,32 e 0,66, respectivamente, sendo classificadas como *mediana* ($0,2 < \text{SDRH} < 0,8$). A sustentabilidade hídrica da Bacia do Ribeirão Rodeador, que foi de 0,58 (média) no cenário atual, passaria para valores inferiores a 0,2 (baixa) nos futuros cenários de clima e de demanda de água.

Para avaliar o risco hídrico *intra-anual* da Bacia piloto do Ribeirão Rodeador foi desenvolvido um índice estocástico de *risco hídrico* (IRH) baseado na probabilidade de falha de sistemas, em que a oferta e a demanda de água foram consideradas variáveis aleatórias. O IRH foi aplicado à Bacia do Ribeirão Rodeador no cenário atual e nos anos de 2040 e 2070 (RPC 4.5 e 8.5).



O risco hídrico da Bacia do Ribeirão Rodeador passou de 15,3% no cenário atual para valores entre 25% e 100% em 2040 e 2070, principalmente em função da redução das vazões na bacia, decorrente da diminuição da precipitação anual e do aumento da temperatura.

Para avaliar a sustentabilidade integrada das Bacias dos Rios Paranoá e Descoberto foi aplicado o Índice de Sustentabilidade de Bacias (ISB) (CHAVES; ALÍPAZ, 2007). Neste índice, dados relativos aos quatro indicadores (hidrologia, meio ambiente, vida humana e políticas públicas) foram obtidos de dados secundários e de questionários enviados para gestores, permitindo o cálculo do índice ISB.

No cenário atual (2015-2018), as Bacias do Descoberto e do Paranoá apresentaram um nível *médio* de sustentabilidade integrada (0,66 e 0,68, respectivamente). Os fatores que limitaram a sustentabilidade nessas bacias foram a baixa disponibilidade *per capita* de água e a limitada capacidade de resposta às ameaças presentes.

As incertezas associadas aos resultados obtidos pelos índices aplicados foram discutidas. Visando reduzir os riscos hídricos e aumentar a sustentabilidade integrada das bacias estudadas, medidas de adaptação foram propostas, seguindo o estado-da-arte no tema.

Em função de seu aspecto integrado e universal, a metodologia deste estudo pode ser replicada nas demais bacias do DF e do Entorno, permitindo a estimativa de sua sustentabilidade e seu risco hídrico, fortalecendo assim o processo de planejamento e gestão dessas bacias.



ABREVIATÓES

Adasa Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal

ANA Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Caesb Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CITInova Planejamento Integrado e Tecnologias para Cidades Sustentáveis

Cptec Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

D Demanda de água

D.P. Desvio-padrão

ET Evapotranspiração potencial

GCM Modelo de Circulação Geral

GHG Gases de efeito estufa

Inpe Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPA Índice de Pressão Antrópica

IPCC Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

IRH Índice de Risco Hídrico

ISB Índice de Sustentabilidade de Bacias

MMA Ministério do Meio Ambiente

O Oferta de água

ODS Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU



P Precipitação

Pf Probabilidade de falha

PDCA *Plan, Do, Check, Adapt* (Planejar, Fazer, Checar, Adaptar)

PNRH Plano Nacional de Recursos Hídricos

Q Vazão

Q95% Vazão de permanência em 95% do tempo

r Coeficiente de correlação

RCM Modelo Regional de Circulação

RCP Caminho de concentração representativa de gases estufa

RH Risco Hídrico

SDRH Sistema Dinâmico de Recursos Hídricos

Sema/DF Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Distrito Federal

SIG Sistemas de Informações Geográficas

SH Sustentabilidade hídrica

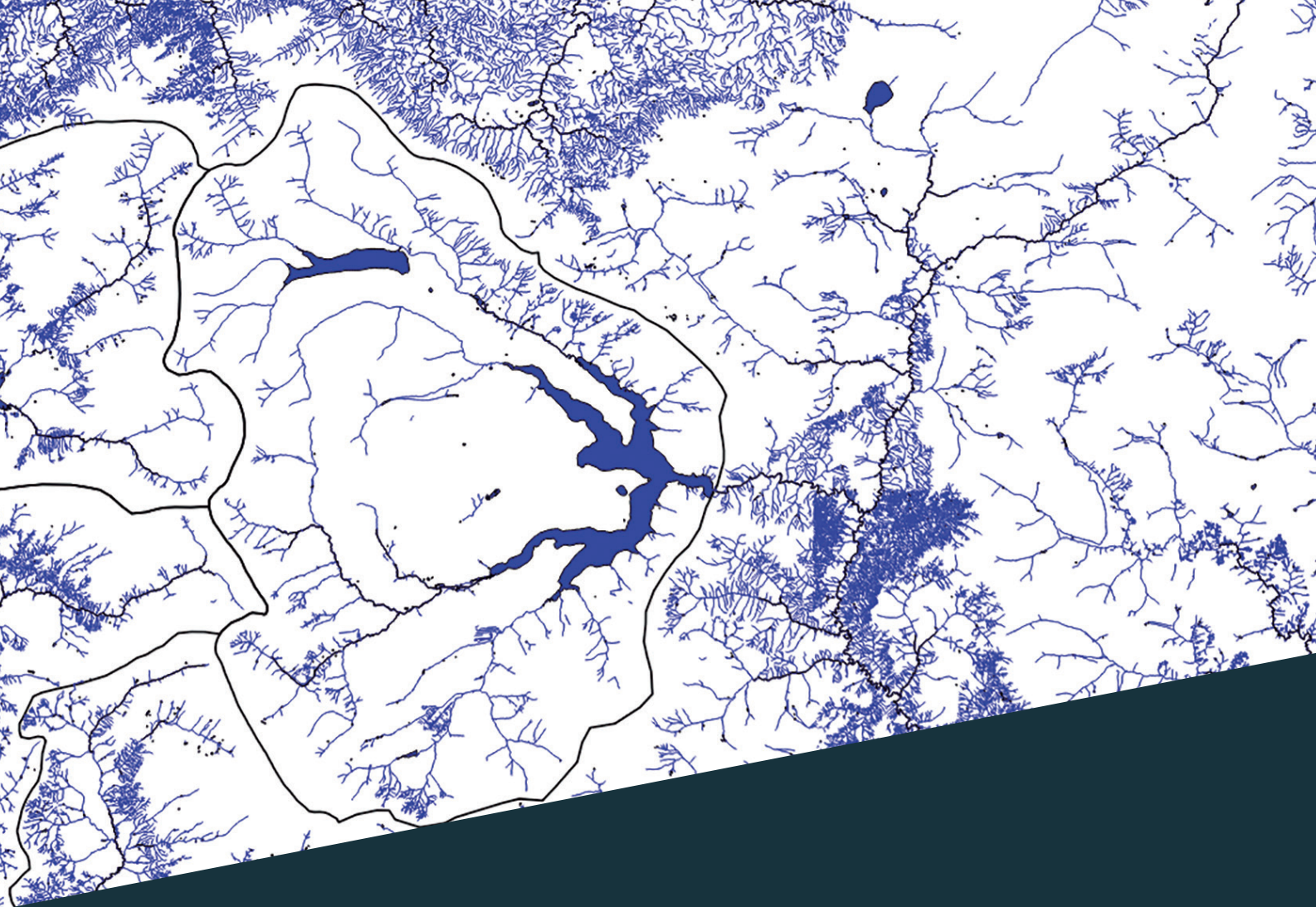
T Temperatura

VA Análise de vulnerabilidade

WRSD *Water Resources System Dynamics* (Sistema Dinâmico de Recursos Hídricos)

WSI *Watershed Sustainability Index* (Índice de Sustentabilidade de Bacias)





1 INTRODUÇÃO

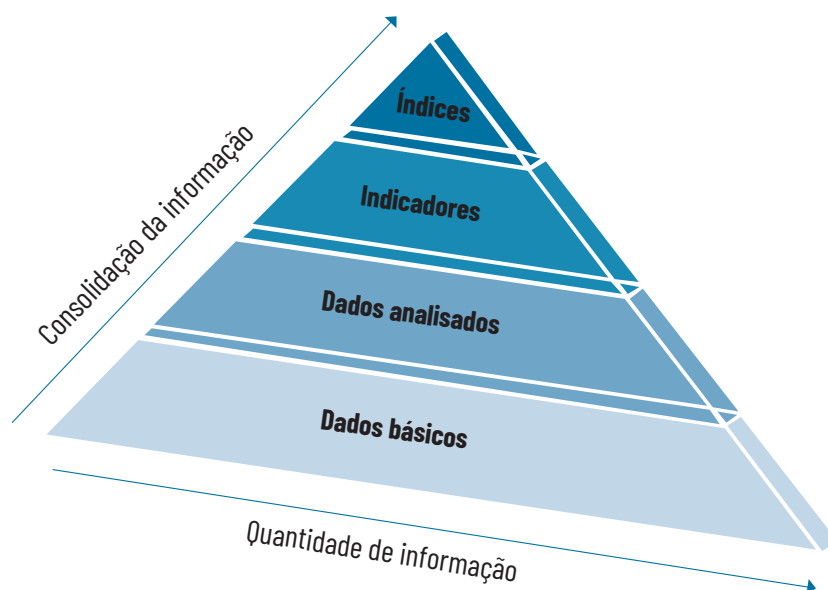
A gestão ambiental e socialmente sustentável da água e dos recursos naturais requer mais do que indicadores que avaliem os impactos ambientais e hidrológicos em uma bacia. Ela demanda um novo enfoque, extrapolando a simples definição de objetivos e metas de planejamento e gestão de recursos hídricos e ambientais.

Este enfoque requer a análise das complexas inter-relações entre os processos hidrológicos, ecológicos, sociais e econômicos, bem como a avaliação de políticas, ações, leis e instituições adequadas, atuando de forma transversal ao longo de todo o processo de tomada de decisão (SMITH; RAST, 1998).

Nesse sentido, indicadores vêm sendo usados para apoiar o processo de planejamento, gestão e tomada de decisão em bacias hidrográficas, decorrentes de compromissos dos países em relação à gestão integrada de recursos hídricos e à sustentabilidade (GALLOPÍN, 1996).

Indicadores e índices são, por sua vez, ferramentas que consolidam dados originais em dados analisados, e estes em indicadores e índices (Figura 1.1), facilitando a compreensão do funcionamento de sistemas complexos e a definição de políticas e ações apropriadas por parte de gestores e da sociedade civil.

FIGURA 1.1 – OBTENÇÃO DE INDICADORES E ÍNDICES



Fonte: adaptado de Goutzee et al. (1995)

De acordo com a OCDE (2008), índices devem ser desenvolvidos e selecionados atendendo a alguns critérios básicos, como a relevância em termos de políticas, a robustez analítica e a capacidade de mensuração. Além disso, sua aplicabilidade e sua utilidade para governos e sociedade são proporcionais à facilidade de uso e à disponibilidade dos dados e das informações.

Nesse sentido, indicadores de sustentabilidade e de risco hídrico devem buscar utilizar um enfoque de sistemas, identificar interconexões entre variáveis e relações causa-efeito, acessar as condições atuais e as tendências das bacias, comparar diferentes locais e situações e alertar para pontos críticos (CHAVES, 2011).



Uma vez conhecidas as fragilidades relativas à segurança e à sustentabilidade hídrica das bacias, medidas apropriadas de gestão devem ser implementadas para reduzir os riscos e as ameaças a valores aceitáveis. Esse processo de busca da sustentabilidade e da redução do risco hídrico deve seguir o enfoque da gestão adaptativa, em que a experiência adquirida no processo serve para o aprimoramento das ações futuras.

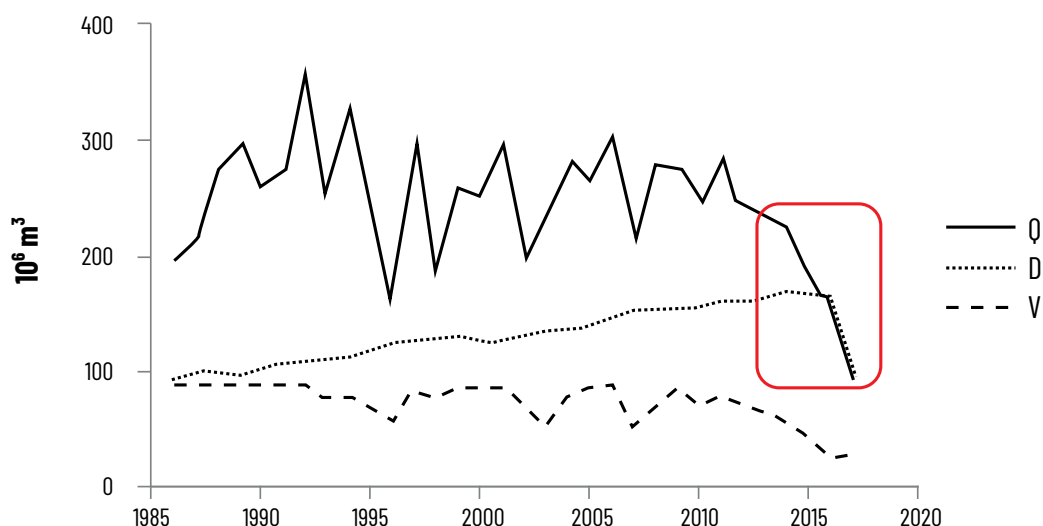
A estimativa da sustentabilidade integrada de bacias hidrográficas, por sua vez, está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), particularmente no tocante ao ODS-6, que *visa assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos*.

Considerando que o Projeto CITInova/CGEE tem como objetivo desenvolver soluções tecnológicas inovadoras e oferecer metodologias e ferramentas de planejamento urbano integrado para apoiar gestores públicos, incentivar a participação social e promover cidades mais justas e sustentáveis, este estudo centrou-se no desenvolvimento e na aplicação de indicadores robustos de sustentabilidade hídrica e integrada em nível local.

Há razões que requerem essa análise mais localizada. Em função do racionamento de 2017, a segurança hídrica do Distrito Federal ganhou uma dimensão inédita, exigindo dos gestores e da sociedade civil uma abordagem mais ampla e integrada, mostrando de forma transparente a relação causa-efeito entre as ameaças e as ações resultantes. Além disso, o risco hídrico é uma importante informação para o processo de tomada de decisão, pois incorpora a combinação intuitiva de vulnerabilidade e perigo.

No caso da Bacia do Rio Descoberto, o fator determinante para o recente colapso do sistema de abastecimento de água, mesmo obedecendo a sua vazão firme, foi a ocorrência de uma anomalia climática conhecida como fenômeno de Hurst, detectada com testes apropriados (Figura 1.2).

FIGURA 1.2 – VOLUMES AFLUENTES (Q), DEMANDA DE ÁGUA (D) E VOLUMES ARMAZENADOS (V) ANUAIS NO RESERVATÓRIO DO DESCOBERTO ENTRE 1986 E 2017, MOSTRANDO EM VERMELHO O PERÍODO DE PERSISTÊNCIA DE BAIXAS VAZÕES (HURST) E O RESPECTIVO RACIONAMENTO DE ÁGUA



Fonte: Chaves e Lorena (2019)

Entretanto, como anomalias fazem parte da variabilidade climática regional, elas devem ser levadas em conta no processo de planejamento e gestão das bacias hidrográficas, principalmente daquelas estratégicas, como é o caso das bacias aqui analisadas.

Em função de sua impossibilidade de regularização de vazões, bacias de rios não regulados, como a do Rodeador, são mais afetadas pela variabilidade climática e pela demanda crescente de água do que as bacias reguladas, requerendo marcos regulatórios complexos e raramente efetivos. Uma dessas bacias é a do Ribeirão Pipiripau, que praticamente todo ano atinge uma situação de emergência hídrica durante o período de estiagem.

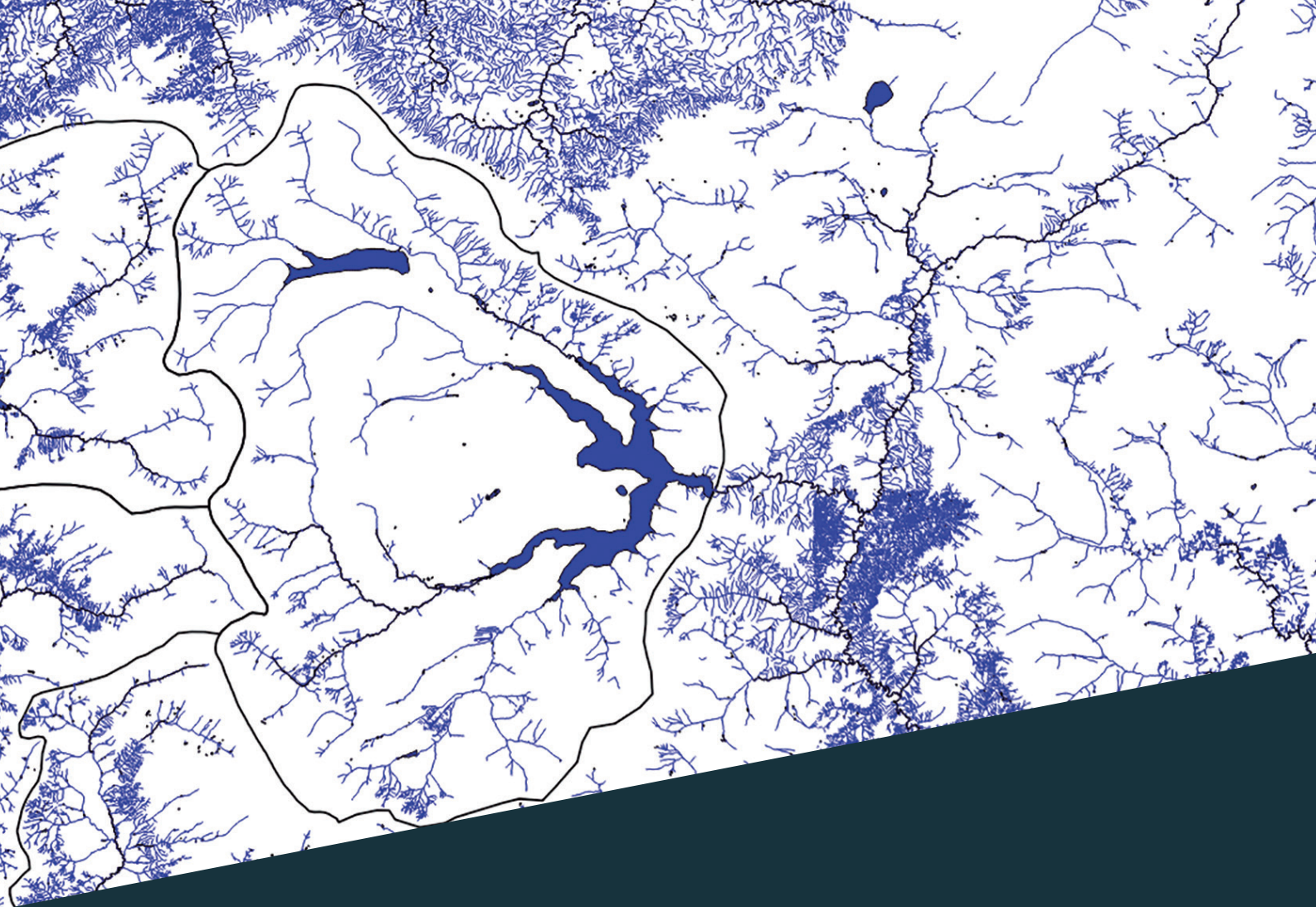
Adicionalmente, os cenários futuros de clima no Distrito Federal para os próximos cinquenta anos, resultantes de diferentes níveis de emissão de gases estufa, apontam para uma piora da disponibilidade hídrica regional, ameaçando a segurança e a sustentabilidade das suas principais bacias e requerendo medidas efetivas de prevenção e adaptação.

Não é apenas a quantidade da água que limita a sustentabilidade das bacias, mas também a qualidade da água, bem como dimensões ambientais, humanas e de governança. Nesse sentido, este volume buscou levantar as vulnerabilidades, as pressões e as ameaças às três bacias analisadas, bem como as respostas atuais e as medidas de adaptação recomendadas para o futuro.

Longe de apresentar soluções definitivas para os problemas dos recursos hídricos do Distrito Federal, os autores esperam, com este estudo, demonstrar a importância do tema sustentabilidade e risco hídrico e aprofundar sua discussão nas diversas esferas de gestão.

Para facilitar a leitura e o entendimento das análises realizadas, este volume foi dividido em capítulos, abordando os principais aspectos metodológicos (Capítulo 2), os resultados alcançados (Capítulo 3), as incertezas presentes na análise (Capítulo 4), as recomendações para o planejamento e a gestão (Capítulo 5) e, finalmente, as conclusões (Capítulo 6).

Ressalta-se que este volume é um resumo de cinco relatórios técnicos produzidos no âmbito do Projeto CITInova/CGEE. Consequentemente, para facilitar a leitura e o entendimento, parte dos dados e das informações neles contidos foi suprimida, sem prejuízo do seu conteúdo principal.



2 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentadas as metodologias utilizadas no estudo, incluindo a descrição das bacias estudadas, os indicadores de sustentabilidade hídrica e integrada, o desenvolvimento do modelo de risco hídrico, as fontes e o tratamento dos dados secundários e os distintos cenários utilizados.

BACIAS ESTUDADAS

As bacias analisadas neste estudo de sustentabilidade e risco hídrico foram aquelas consideradas estratégicas para o abastecimento de água do Distrito Federal e previamente definidas no âmbito do Projeto CITInova/CGEE.

Nesse sentido, foram selecionadas as Bacias do Rio Paranoá, a do Rio Descoberto, e a Bacia do Ribeirão Rodeador, tomada como piloto para a análise de risco hídrico. A descrição de cada uma dessas Bacias é feita a seguir.

Bacia do Rio Paranoá

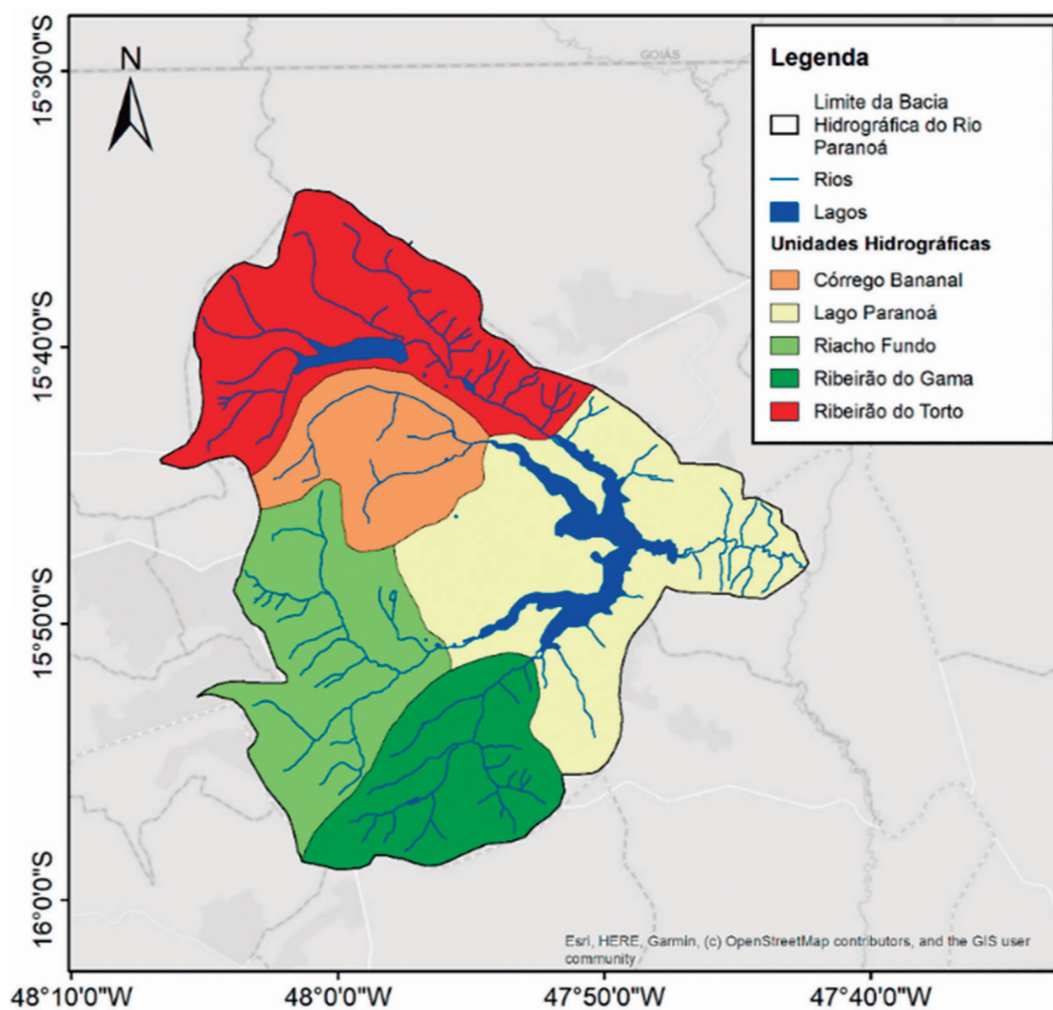
Situada na região central do Distrito Federal, a Bacia do Rio Paranoá tem uma área total de 1.056 km². Trata-se de uma Bacia estratégica, onde está localizada a capital da república e onde vivem 500 mil pessoas (Figura 2.1).

A Bacia do Paranoá recebe, em média, uma precipitação anual de 1.500 mm, apresenta um relevo suave ondulado e é coberta predominantemente por latossolos argilosos. A vazão média anual de longo termo do Rio Paranoá, em sua barragem, é de 14 m³/s. O uso predominante do solo na bacia é o urbano, com áreas remanescentes de vegetação de cerrado.

O Lago Paranoá, formado artificialmente em 1960, tem um volume útil de 35 hm³, sendo um reservatório multipropósito, servindo para a geração de energia, a diluição de esgoto tratado, sendo também um importante ecossistema de diversas espécies de peixes e anfíbios, bem como local de esporte e lazer para a população de Brasília.

A demanda de água *per capita* da Bacia do Paranoá é relativamente alta (1.400 hab./hm³). Durante a crise hídrica de 2017, o Lago Paranoá tornou-se um manancial de abastecimento suplementar para a cidade, reduzindo a pressão sobre o Sistema Descoberto.

FIGURA 2.1 – BACIA DO RIO PARANOÁ E SUAS PRINCIPAIS SUB-BACIAS



Localização no Brasil



Localização no Distrito Federal



Sistema de Coordenadas:
Datum: SIRGAS 2000
Projeção: UTM Zona 23 S

0 3 6 12 18 24 Km

Fonte: Geoportal/DF

Neste estudo foram aplicados à Bacia do Rio Paranoá os índices de sustentabilidade hídrica (SDRH) e de sustentabilidade de bacias (ISB), ambos no cenário atual.

Bacia do Rio Descoberto

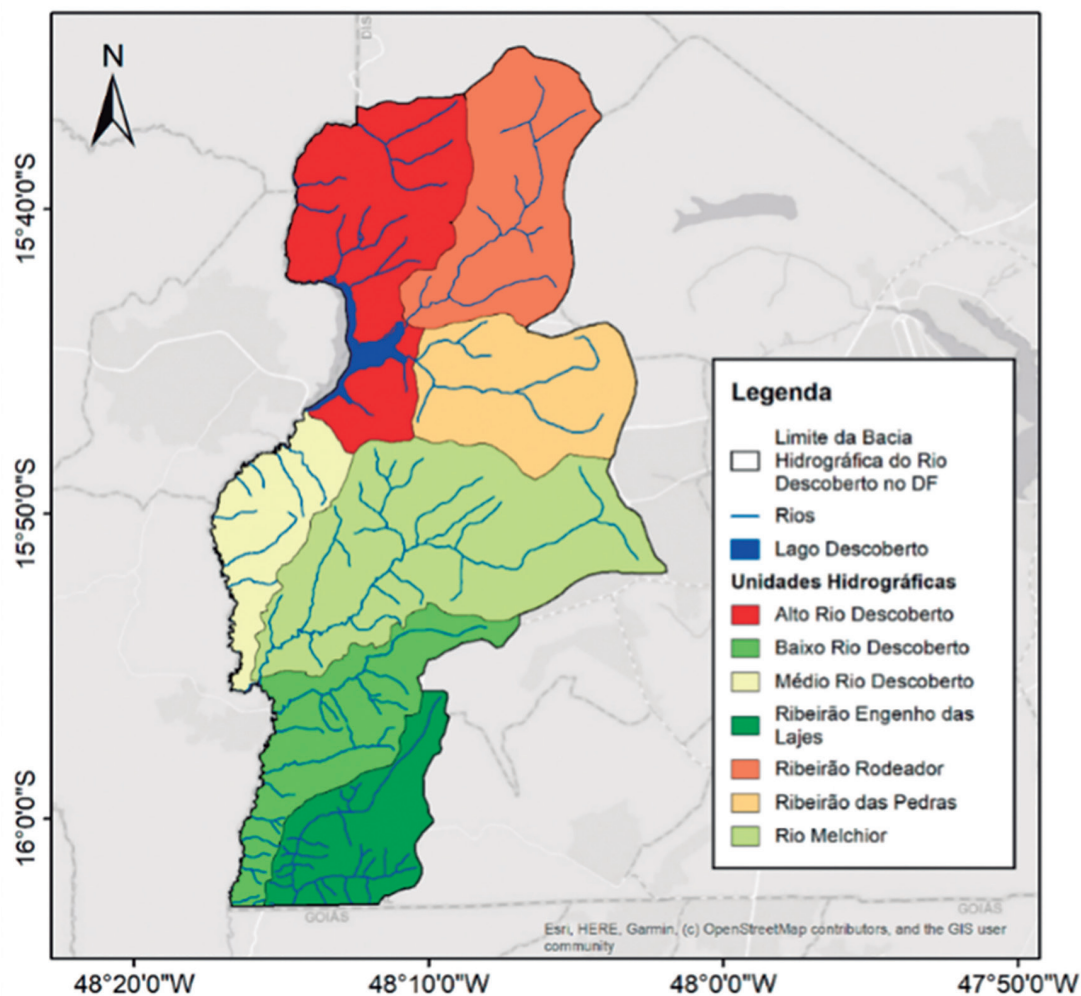
A Bacia do Rio Descoberto tem, no interior do Distrito Federal, uma área total de 801 km² (Figura 2.2). Seu relevo é suave ondulado, com latossolos dominando a paisagem e tendo os usos agropecuário e cerrado nativo como dominantes.

A precipitação média anual na bacia é de 1.400 mm, e a vazão média afluente ao seu reservatório é de 8 m³/s. O Lago do Descoberto tem uma área de drenagem de 431 km² e um volume útil de 86 hm³, aportando uma vazão firme de 5,2 m³/s, capaz de abastecer 1,7 milhão de pessoas. A Bacia do Rio Descoberto é também uma importante produtora de hortifrútis, com o uso intensivo de irrigação.

A demanda específica de água na Bacia do Rio Descoberto é elevada (6.000 hab./hm³), tornando-a uma bacia com alto estresse hídrico (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992). Em 2017, o reservatório do Rio Descoberto sofreu um deplecionamento significativo, mesmo operando abaixo da sua vazão de projeto.

A causa do rebaixamento abrupto do reservatório, que chegou a 5% do volume útil no final de 2017, foi a sequência de seis anos seguidos de precipitação abaixo da média histórica, ocasionando um processo de persistência hidrológica (CHAVES; LORENA, 2019).

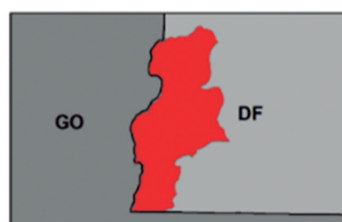
FIGURA 2.2 – BACIA DO RIO DESCOBERTO



Localização no Brasil



Localização no Distrito Federal



Sistema de Coordenadas:
Datum: SIRGAS 2000
Projeção: UTM Zona 23 S

0 2,5 5 10 15 20 Km

Fonte: Geoportal/DF

Na Bacia do Rio Descoberto foram aplicados os índices de sustentabilidade hídrica (SDRH) e de sustentabilidade de bacias (ISB), ambos no cenário atual.

Bacia do Ribeirão Rodeador

A Bacia do Ribeirão Rodeador é uma sub-bacia do Descoberto (Figura 2.2), com uma área total de 113 km². A bacia recebe uma precipitação média anual de 1.417 mm, possui um relevo plano a suave ondulado, com latossolos dominantes e onde predominam as agriculturas irrigada e de sequeiro.

Apesar de não regulado, o Ribeirão Rodeador é um dos maiores contribuintes de água para o reservatório do Descoberto, a jusante, com uma vazão média anual de longo termo de 1,7 m³/s. A demanda de água na Bacia do Rodeador, considerando as fontes superficiais e subterrâneas, é de 22 hm³/ano.

Em razão de a Bacia do Ribeirão Rodeador ter sido selecionada como uma bacia-piloto neste estudo, a ela aplicaram-se o Índice de Sustentabilidade Hídrica (SDRH) e o Índice de Risco Hídrico (IRH) nos cenários atual e futuros (2040 e 2070).

ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE E DE RISCO HÍDRICO

Nesta análise foram aplicados às bacias selecionadas um Índice de Sustentabilidade Hídrica, um Índice de Sustentabilidade de Bacias e um Índice de Risco Hídrico, desenvolvido especialmente para o estudo.

No caso dos dois primeiros, eles foram selecionados na literatura internacional, usando-se critérios previamente estabelecidos, levando em conta os objetivos do estudo, as condições hidrológicas, ambientais e socioeconômicas das bacias estudadas, além da disponibilidade de dados, da robustez e da facilidade de uso, bem como da transparência e da replicabilidade.

Em função dos critérios utilizados, foram selecionados os índices do Sistema Dinâmico de Recursos Hídricos (SDRH) (XU *et al.*, 2002) e o Índice de Sustentabilidade de Bacias (ISB) (CHAVES; ALÍPAZ, 2007), ambos publicados no periódico internacional *Water Resources Management* (Springer).

Durante uma oficina técnica realizada em julho de 2019 na sede da Sema-DF (Figura 2.3), os índices pré-selecionados foram apresentados a gestores e representantes da sociedade civil do Distrito Federal, tendo sido sugeridos ajustes, os quais foram incorporadas ao estudo.

FIGURA 2.3 – OFICINA SOBRE SUSTENTABILIDADE E RISCO HÍDRICO REALIZADA EM JULHO DE 2019



Fonte: elaboração do próprio autor

Índice de Sustentabilidade Hídrica

Desenvolvido por Xu e colaboradores, o índice SDRH avalia a *performance* de sistemas hídricos com base no grau de comprometimento da oferta de água pela demanda em bacias hidrográficas. Assim, o SDRH realiza o balanço entre as médias da oferta e da demanda de água nas bacias (XU *et al.*, 2002):

$$\begin{aligned} \text{SDRH} &= \frac{(O - D)}{O} && \text{se } O > D \\ \text{SDRH} &= \text{zero} && \text{se } O \leq D \end{aligned} \quad [2.1]$$

Onde:

SDRH (0-1) = índice SDRH da bacia;

D (hm³/ano) = demanda efetiva anual média de água na bacia; e

O (hm³/ano) = oferta efetiva anual média de água na bacia.

Uma vez calculado o SDRH pela equação 2.1, a sustentabilidade hídrica interanual foi classificada de acordo com a Tabela 2.1. Mais detalhes sobre o índice SDRH podem ser encontrados no trabalho de Xu *et al.* (2002).

TABELA 2.1 – CLASSIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA INTERANUAL USANDO O ÍNDICE SDRH

VARIÁVEL	SDRH ≥ 0,8	0,2 < SDRH < 0,8	SDRH ≤ 0,2
Sustentabilidade hídrica	Alta	Média	Baixa

Fonte: Xu *et al.* (2002)

Índice de Sustentabilidade de Bacias

No índice desenvolvido por Chaves e Alípaz (2007), a sustentabilidade integrada da bacia é dada pela média aritmética dos escores obtidos nas quatro linhas e três colunas de uma matriz, onde os indicadores são as linhas (H, E, L, P) e as colunas representam a pressão, o estado e a resposta observados na bacia (Tabela 2.2).

TABELA 2.2 – INDICADORES E PARÂMETROS DO ISB

INDICADOR	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA
Hidrologia (H)	Variação da demanda unitária de água (D_u) no período analisado	Demanda de água unitária (D_u) de longo prazo na bacia	Evolução na eficiência do uso da água na bacia no período
	Variação do P total no período	IQA da bacia (longo prazo)	Variação no IQA da bacia no período
Ambiente (E)	Índice de Pressão Ambiental (IPA) da bacia no período	% da bacia com vegetação natural	Evolução na % de áreas protegidas da bacia no período
Vida Humana (L)	Variação do IDH-Renda da bacia no período	IDH médio ponderado da bacia	Evolução do IDH da bacia no período
Políticas Públicas (P)	Variação do IDH-Ed. da bacia no período	Capacidade legal e institucional da bacia	Evolução dos gastos em GIRH na bacia no período

Fonte: adaptado de Chaves e Alipaz (2007)

A matriz completa do ISB, com os valores e os escores dos parâmetros, é apresentada no Apêndice. As pequenas adaptações feitas no ISB para sua adequação às condições das Bacias do Paranoá e do Descoberto dizem respeito ao indicador de *hidrologia-qualidade*, proposto durante a oficina do Projeto CITInova em 2019.

Nesse sentido, o parâmetro de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) do índice original foi substituído pelo fósforo total e pelo Índice de Qualidade de Água (IQA) da Bacia. Essa substituição era prevista no artigo de Chaves e Alipaz (2007) sempre que o parâmetro de qualidade mais crítico para a situação local fosse distinto do sugerido originalmente no artigo (DBO).

Uma vez obtidos os escores relativos aos indicadores H, E, L e P, bem como os escores relativos à pressão, ao estado e à resposta (ver Apêndice), a sustentabilidade integrada da bacia no período selecionado foi calculada utilizando-se a equação (CHAVES; ALÍPAZ, 2007):

$$ISB = \frac{H + E + L + P}{4} \quad [2.2]$$

Onde:

H (0-1) = indicador de hidrologia;

E (0-1) = indicador de meio ambiente;

L (0-1) = indicador de vida humana; e

P (0-1) = indicador de políticas públicas ou governança.

Como consequência da média aritmética da equação 2.2, tanto os indicadores como o índice ISB variam entre 0 e 1. Semelhantemente ao índice SDRH, a sustentabilidade integrada calculada pelo ISB é classificada em três faixas (Tabela 2.3):

TABELA 2.3 – CLASSES DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE BACIAS

VALOR DO ISB	< 0,5	0,5 – 0,8	> 0,8
Sustentabilidade integrada	Baixa	Média	Alta

Fonte: Chaves e Alipaz (2007)

Além da média global de sustentabilidade da bacia, dada pela equação 2.2, e sua respectiva classificação, é possível identificar na Tabela A1 (Apêndice) os gargalos individuais (parâmetros com escores $\leq 0,5$) que afetam sua sustentabilidade global, permitindo que os fatores limitantes possam ser mitigados. Maiores detalhes sobre o índice ISB podem ser obtidos em Chaves e Alipaz (2007).

Finalmente, a sustentabilidade integrada das Bacias do Descoberto e do Paranoá, calculada pelo ISB, foi comparada com a sustentabilidade de bacias brasileiras e latino-americanas, calculadas pelo mesmo índice.

Índice de Risco Hídrico

Para avaliar o risco hídrico *intra-anual* da Bacia piloto do Ribeirão Rodeador, considerando os aspectos dinâmicos de oferta e demanda de água durante os períodos seco e chuvoso do ano, foi desenvolvido neste estudo um modelo computacional de risco, visando complementar a análise de sustentabilidade hídrica *inter anual* estimada pelo índice SDRH.

Tomando a probabilidade de falha como o indicador de risco de um sistema, representado pela bacia hidrográfica, o risco é dado pela seguinte equação (HARR, 1987):

$$R = p_f = P(C < D) \quad [2.3]$$

Onde:

R = risco de falha do sistema;

P = função de probabilidade;

C = capacidade do sistema; e

D = demanda sobre o sistema.

Tomando agora a oferta de água (O) como a capacidade do sistema (bacia) e a demanda de água (D) como a demanda sobre ele, e sabendo que estas são variáveis aleatórias, com distribuições e potencialmente correlacionadas entre si, suas distribuições e sua matriz de variância-covariância devem ser obtidas para a estimativa do risco R.

Definindo-se agora a margem de segurança (M_s) como a diferença entre a oferta e a demanda de água, temos que $M_s = O - D$ (GANOULIS, 2009). Assim, o risco hídrico, dado pela probabilidade de falha de abastecimento da bacia, será a probabilidade de M_s ser igual a zero ou menor que ele, ou seja:

$$R = p_f = P(M_s \leq 0) \quad [2.4]$$

Onde:

M_s = margem de segurança ($O - D$) do sistema (bacia).

Dividindo-se agora o valor médio esperado da margem de segurança pelo seu desvio-padrão, obtém-se o Índice de Confiabilidade do Sistema (I_c) (HARR, 1987):

$$I_c = E [M_s] / s [M_s] \quad [2.5]$$

Onde:

I_c = índice de confiabilidade do sistema;

$E [M_s]$ = média da margem de segurança;

$s [M_s]$ = desvio-padrão da margem de segurança.

Como a margem de segurança média de um sistema hídrico é a diferença das médias da oferta e da demanda, o coeficiente de variação da margem de segurança é dado pela seguinte equação (MCCUEN; SNYDER, 1986):

$$V [M_s] = V [O - D] = V [O] + V [D] - 2 r s [O] s [D] \quad [2.6]$$

Onde:

$V [M_s]$ = coeficiente de variação da margem de segurança do sistema;

$V [O]$ = coeficiente de variação da oferta;

$V [D]$ = coeficiente de variação da demanda;

r = coeficiente de correlação entre a oferta e a demanda;

$s [O]$ = desvio-padrão da oferta; e

$s [D]$ = desvio-padrão da demanda.

Reconhecendo o fato de que a equação 2.5 é a recíproca do coeficiente de variação da margem de segurança do sistema, temos que:

$$V [M_s] = s [M_s] / E [M_s] \quad [2.7]$$

Onde:

$V [M_s]$ = coeficiente de variação da margem de segurança do sistema.

Tendo em vista que a equação 2.7 é o complemento da probabilidade de falha (equação 2.4), o *índice de risco hídrico*, dado pela probabilidade de falha do sistema, é a recíproca da equação 2.7, ou seja:

$$IRH = p_f = 1 - \Psi \left[\frac{E[O] - E[D]}{\sqrt{s^2[O] + s^2[D] - 2 r s[O] s[D]}} \right] \quad [2.8]$$

Onde:

IRH = índice de risco hídrico, estimado pela probabilidade de falha, p_f ;

$E[O]$ = média da oferta mensal de água;

$E[D]$ = média da demanda mensal de água;

$s[O]$ = desvio-padrão da oferta;

$s[D]$ = desvio-padrão da demanda;

r = coeficiente de correlação entre a oferta e a demanda;

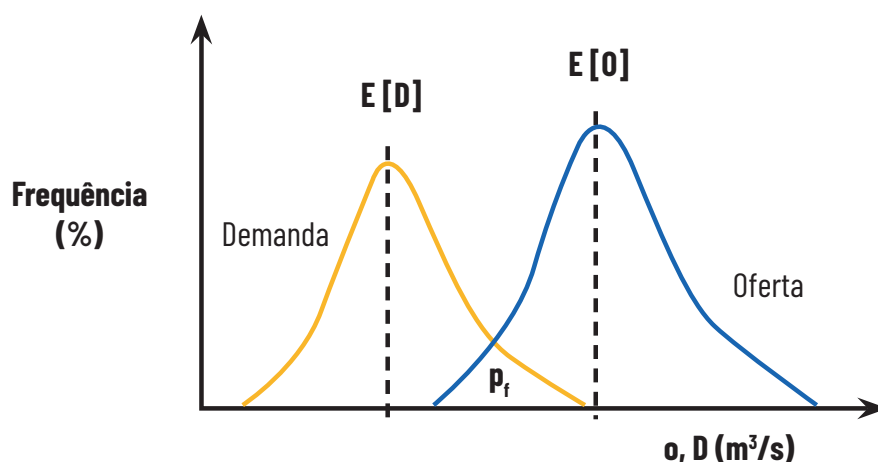
$\Psi[\cdot]$ = o valor da função de distribuição normal, obtido através da função `DISTNORMP()` do MS-Excel.

Na equação 2.8, o operador $\Psi[\cdot]$ requer que as distribuições da oferta e da demanda de água sejam normais. Para testar a normalidade das distribuições de oferta e demanda de água, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (HAAN, 1994).

Assim, conhecendo-se as distribuições da oferta e da demanda média mensal de água na bacia e de sua correlação, obtém-se a probabilidade de falha do sistema, que é um indicador imparcial do risco hídrico intra-anual.

Graficamente, a probabilidade de falha (p_f), tomada aqui como o Índice de Risco Hídrico (IRH), é representada pela área do cruzamento das caudas das distribuições de oferta (O) e demanda de água (D), indicando as situações nas quais a demanda é maior que a oferta, sendo ambas variáveis aleatórias (Figura 2.4).

FIGURA 2.4 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA PROBABILIDADE DE FALHA (PF) COM BASE NAS DISTRIBUIÇÕES DE OFERTA (O) E DEMANDA (D) DE ÁGUA NA BACIA (SISTEMA)



Fonte: elaboração do próprio autor

Assim, a equação 2.8, representada graficamente pela Figura 2.4, foi utilizada para a estimativa do *risco hídrico intra-anual* da Bacia do Rodeador com base nos dados de ofertas e demandas médias anuais de água da bacia.

Tanto o índice de risco hídrico (IRH) como o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov foram programados em um *macro* do MS-Excel, o qual é disponibilizado junto com este volume, permitindo seu cálculo com base nos valores mensais de oferta e demanda de água das bacias.

FONTES DE DADOS E SUA COMPILAÇÃO

Como os índices ISB e SDRH demandam dados secundários locais, incluindo os relativos à hidrologia, ao meio ambiente, à socioeconomia e aos aspectos de governança, estes foram levantados, sempre que possível, em bases de dados oficiais.

Tanto a Bacia do Descoberto como a do Paranoá atenderam ao critério de tamanho do ISB, ou seja, área da bacia inferior a 2.500 km² (CHAVES; ALÍPAZ, 2007). Suas áreas são de 801 e 1.056 km², respectivamente. No caso do SDRH, não há critério em relação à área mínima ou máxima da bacia (XU *et al.*, 2002).

No tocante às *informações hidrológicas*, foram utilizados dados de vazão de postos pluviométricos e fluviométricos existentes nas bacias, bem como dados de qualidade de água dos principais parâmetros químicos, físicos e biológicos. A base de dados incluiu o Hidroweb da ANA (http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf), bem como dados repassados pela Adasa e pela Caesb.

Em relação aos dados *socioeconômicos*, as informações para os índices SDRH e ISB foram obtidas no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), na Companhia de Planejamento do Distrito Federal (Codeplan) (população por RA) e no Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (IDH).

Por sua vez, as *informações ambientais* (áreas naturais remanescentes, unidades de conservação, parques, etc.) foram obtidas na base de dados da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Habitação (Seduh-DF/GeoPortal) (<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>).

Para a obtenção dos dados sobre *regulação e gestão ambiental* e de recursos hídricos foram levantadas as leis, as resoluções, as outorgas de uso de água (superficial e subterrânea), o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), os planos de recursos hídricos e de bacias, bem como dados de questionários aplicados a gestores e a representantes da sociedade civil organizada.

As projeções de precipitação (P) e temperatura (T) médias anuais para distintos cenários futuros de emissões de GHG foram obtidas no estudo do Cptec-Inpe (2019) realizado para o Distrito Federal e a Ride. As projeções foram geradas pelo modelo HadGEM2/Eta, numa grade de 5 x 5 km. A Tabela 2.4 apresenta os dados utilizados no estudo, com as respectivas fonte e finalidade.

TABELA 2.4 – DADOS SECUNDÁRIOS UTILIZADOS NESTA ANÁLISE, COM AS RESPECTIVAS FONTE E FINALIDADE

DADO	FONTE	FINALIDADE
Vazões	ANA, Adasa, Caesb	Estimar a oferta e a demanda de água nas duas bacias
Qualidade da água	ANA, Adasa, Caesb	Estimar a qualidade da água nos cursos d'água das duas bacias
População	Codeplan, Censo	Estimar a oferta de água <i>per capita</i> e indicadores de pressão antrópica
Uso do solo e unidades de conservação	Codeplan, Brasília Ambiental	Estimar o grau de proteção ambiental e a pressão antrópica nas bacias
IDH	Pnud, Codeplan	Estimar o grau de desenvolvimento humano das distintas regiões administrativas das duas bacias
Políticas públicas em Girh	ANA, Sema DF, Adasa, Caesb, Brasília Ambiental, UGP-Descoberto, CITInova	Levantar as principais políticas públicas no setor de Girh existentes nas duas bacias estudadas
P e T em cenários futuros	Cptec-Inpe (2019)	Obter as ofertas futuras de água na Bacia do Rodeador em diferentes cenários de emissões de GHG nos anos de 2040 e 2070

Fonte: elaboração do próprio autor

CENÁRIOS UTILIZADOS NA ANÁLISE

No caso dos índices ISB e SDRH das Bacias do Descoberto e do Paranoá, estes tiveram sua sustentabilidade calculada no *cenário atual* de clima, disponibilidade de água, uso do solo e políticas públicas.

No ISB, aplicado às Bacias do Paranoá e do Descoberto, o *cenário atual* compreendeu um período de quatro anos (2015 a 2018), conforme recomendado por Chaves e Alípaz (2007). Para o índice SDRH, aplicado às Bacias do Descoberto, do Paranoá e do Rodeador, o cenário atual de oferta de água considerou o período entre 1999 e 2018, e o de demanda, o ano de 2017 (UNESCO, 2017).

No caso do Ribeirão Rodeador, distintos cenários de clima e demanda de água, atuais e futuros, foram aplicados aos índices SDRH e IRH. Esses cenários são apresentados a seguir.

Cenários de oferta de água

No caso da aplicação do índice SDRH às Bacias dos Rios Descoberto e Paranoá, a oferta de água no cenário atual utilizou a série de vazões médias anuais de longo prazo (1999-2018), as quais foram somadas ao volume médio anual remanescente de seus principais reservatórios. A demanda de água nas bacias foi baseada nas vazões outorgadas das fontes superficial e subterrânea no ano de 2017 (UNESCO, 2017).

Para o índice ISB, o cenário atual de oferta de água e dos outros indicadores socioeconômicos e ambientais levou em conta o período entre 2015 e 2018. No caso do índice IRH, o cenário atual de oferta de água intra-anual utilizou a série histórica de vazões naturalizadas em seu exutório no período entre 1999 e 2018 (vinte anos). A demanda de água, por sua vez, levou em conta as outorgas de água na bacia em 2017. Os períodos utilizados nos cenários atuais dos índices ISB, SDRH e IRH são apresentados na Tabela 2.5.

TABELA 2.5 – CENÁRIOS ATUAIS DOS ÍNDICES ISB, SDRH E IRH NAS BACIAS DO PARANOÁ, DO DESCOBERTO E DO RODEADOR

ÍNDICE	OFERTA	DEMANDA
ISB	1999-2018 e 2015-2018	2015-2018
SDRH	1999-2018	2017
IRH	1999-2018	2017

Fonte: elaboração do próprio autor

Os cenários futuros de oferta de água utilizados para os índices SDRH e IRH na Bacia do Ribeirão Rodeador utilizaram projeções de temperatura (T) e precipitação (P) anuais, calculadas pelo modelo HadGEM2 e regionalizadas em células de 5 x 5 km pelo modelo Eta (INPE, 2019). Diferentes cenários de emissões de gases de efeito estufa do IPCC foram utilizados nos anos de 2040 e 2070 (Tabela 2.6 e Figura 2.5).

TABELA 2.6 – CENÁRIOS CLIMÁTICOS PARA A ESTIMATIVA DA OFERTA DE ÁGUA PARA A BACIA DO RODEADOR PARA APLICAÇÃO DOS ÍNDICES SDRH E IRH

CENÁRIO CLIMÁTICO	ATUAL	TENDENCIAL	PESSIMISTA
Variáveis	P & T anual	P & T anual	P & T anual
Código IPCC	-	RCP 4.5	RCP 8.5
Descrição do cenário	Atual	Forçante radiativo de 4,5 W/m ²	Forçante radiativo de 8 W/m ²
Período	1999-2018	2040 e 2070	2040 e 2070

Fonte: elaboração do próprio autor

No *cenário atual*, a oferta de água na Bacia do Rodeador foi tomada como a vazão média de longo termo (1999-2018) em sua foz depois da reconstituição da vazão natural (OLIVEIRA *et al.*, 2008), retirando-se assim o viés da vazão consuntiva, ou seja:

$$Q_n = Q_o + Q_c \quad [2.9]$$

Onde:

Q_n (m³/s) = vazão natural reconstituída;

Q_o (m³/s) = vazão observada; e

Q_c (m³/s) = vazão consuntiva na bacia.

Nos *cenários futuros*, a oferta de água na Bacia do Rodeador foi obtida por meio de simulações com o modelo hidrológico de Gardner (2009), usando-se as projeções de P e T anuais do modelo HadGEM2/Eta para os anos de 2040 e 2070. Assim, a vazão específica média anual na Bacia do Rodeador foi calculada utilizando-se a seguinte equação (GARDNER; 2009):

$$Q_e = P \cdot e^{(-ET/P)} \quad [2.10]$$

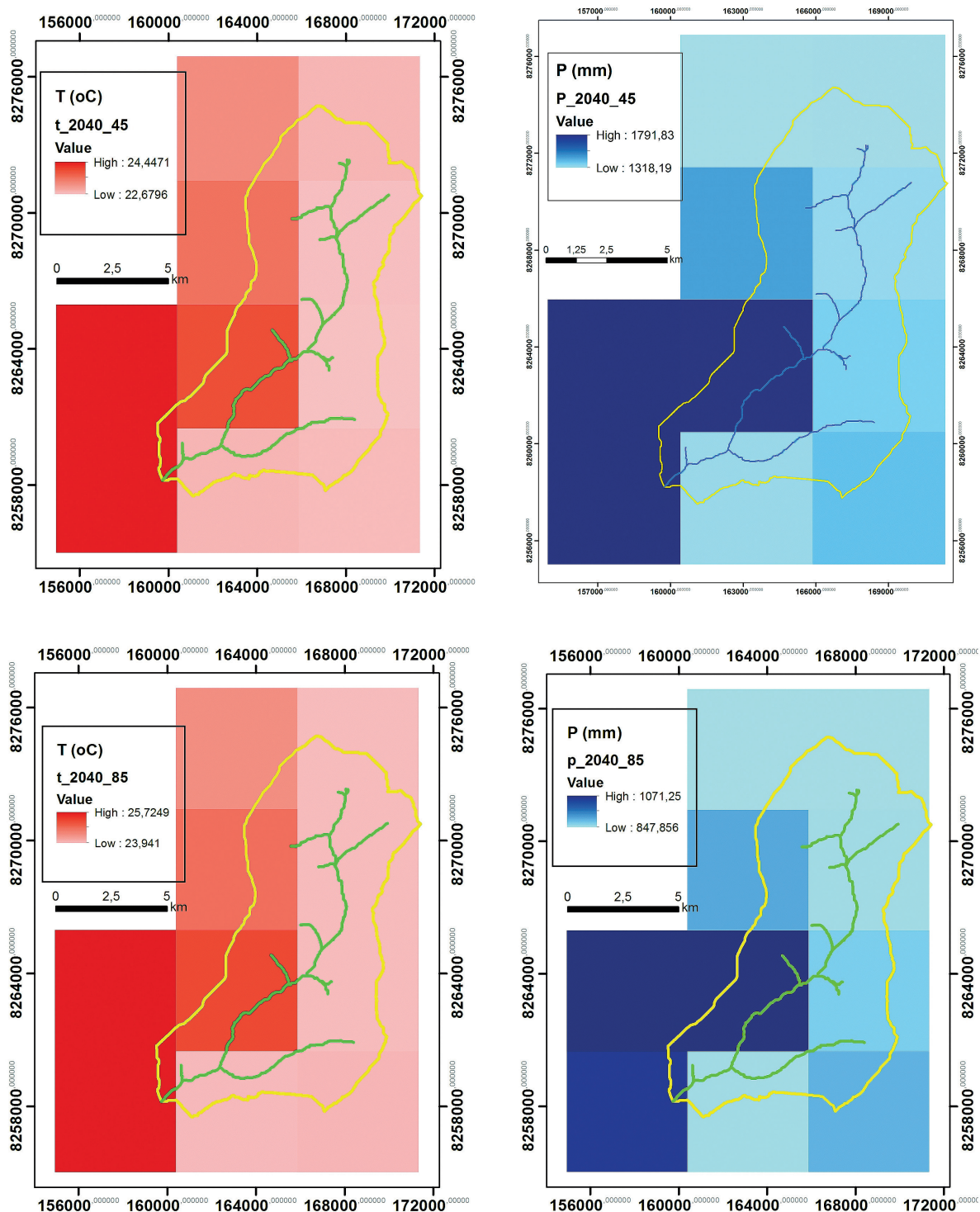
Onde:

Q_e (mm) = escoamento total anual específico na bacia;

P (mm) = precipitação anual média na bacia; e

ET (mm) = evapotranspiração potencial anual na bacia.

FIGURA 2.5 – PROJEÇÕES DE TEMPERATURA (T) E PRECIPITAÇÃO (P) DO MODELO HADGEM2/ETA PARA O ANO DE 2040 EM DISTINTOS CENÁRIOS FUTUROS DE EMISSÕES DE GHG NA BACIA DO RODEADOR



Fonte: elaboração do próprio autor

O valor de ET anual na bacia nos distintos cenários foi obtido para a bacia por meio da equação de Holland (1978):

$$ET = 1,2 \cdot 10^{10} e^{(-4620/T_k)} \quad [2.11]$$

Onde:

ET (mm) = evapotranspiração potencial anual média na bacia;

T_k (° Kelvin) = temperatura média anual na bacia ($T_{Kelvin} = T_{Celsius} + 273,2$).

Como se trata de um modelo do tipo Budyko, a equação 2.10 não requer calibração prévia (GARDNER; 2009). Por outro lado, ela foi validada na Bacia do Rodeador, usando a série histórica de P, T e Q, obtendo-se um erro relativo inferior a 5%, considerado aceitável.

Cenários de demanda de água

No caso do índice ISB, o cenário atual de demanda de água tomou como base o consumo médio de água das regiões administrativas, servidas pelos mananciais das Bacias do Descoberto e do Para-noá no período entre 2015 e 2018.

Para o índice SDRH, a demanda atual de água para as três bacias estudadas foi tomada como a soma das outorgas de água superficial e metade das outorgas subterrâneas no ano de 2017. Isso decorreu do fato de que há uma captura parcial do escoamento de base do rio pelo bombeamento dos poços tubulares na bacia (USGS, 2012), principalmente naquelas com sistemas porosos dominantes, como é o caso do Rodeador.

Nos cenários de 2040 e 2070, as demandas de água no Ribeirão Rodeador tomaram como base as projeções da evolução da demanda de água na bacia no ano de 2026 (UNESCO, 2017).

ANÁLISE DOS RESULTADOS E RECOMENDAÇÕES DE GESTÃO

Com base nos resultados dos índices SDRH e ISB, bem como no índice IRH, eles foram classificados em *alto*, *médio* e *baixo*, de acordo com as respectivas metodologias. Além disso, foram identificados os gargalos que contribuíram para a redução dos índices e, posteriormente, feitas recomendações visando aumentar a sustentabilidade hídrica e integrada das bacias estudadas, bem como diminuir seu risco hídrico.

COMPARAÇÕES COM OS RESULTADOS DE OUTRAS BACIAS

Com o intuito de avaliar o grau de sustentabilidade hídrica e integrada das bacias analisadas, os resultados calculados foram comparados com os resultados obtidos em distintas bacias brasileiras e estrangeiras.

Além disso, os resultados dos índices SDRH e IRH, calculados no cenário atual na Bacia do Ribeirão Rodeador, foram comparados com os dos cenários futuros de clima (RCP 4.5 e 8.5) em 2040 e 2070, de forma que fosse avaliado o impacto das mudanças climáticas e da variação da demanda para o risco e a sustentabilidade hídrica na bacia.

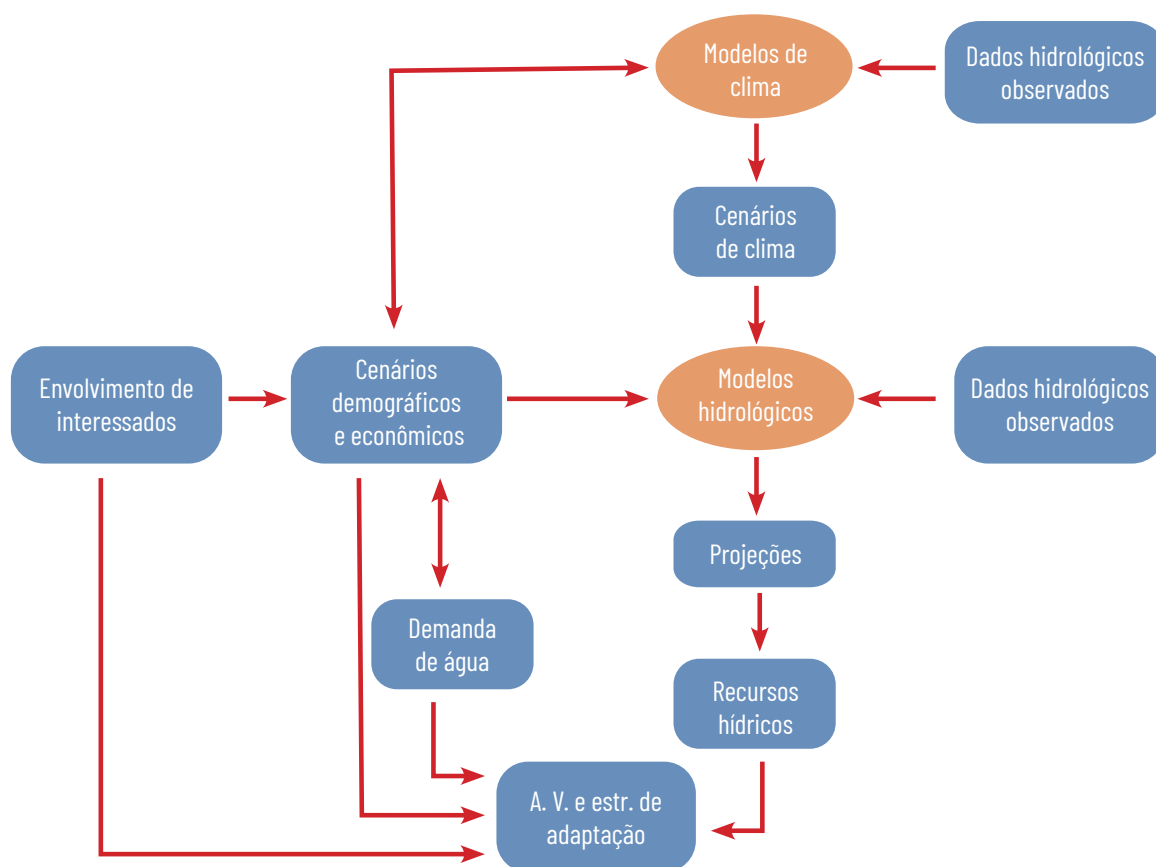
INCERTEZAS ASSOCIADAS À SUSTENTABILIDADE E AO RISCO HÍDRICO

Como no caso dos índices, os dados utilizados e as projeções futuras possuem distintos graus de incertezas. Assim, ambos os casos foram analisados, bem como a incerteza nos resultados obtidos de forma que fosse balizado o processo de tomada de decisão.

ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO ÀS AMEAÇAS FUTURAS

Uma vez avaliados os impactos das ameaças das mudanças climáticas e do aumento da demanda de água para a sustentabilidade e para o risco hídrico na Bacia do Rodeador, foram propostas medidas de adaptação seguindo as diretrizes utilizadas pela União Europeia (Figura 2.6).

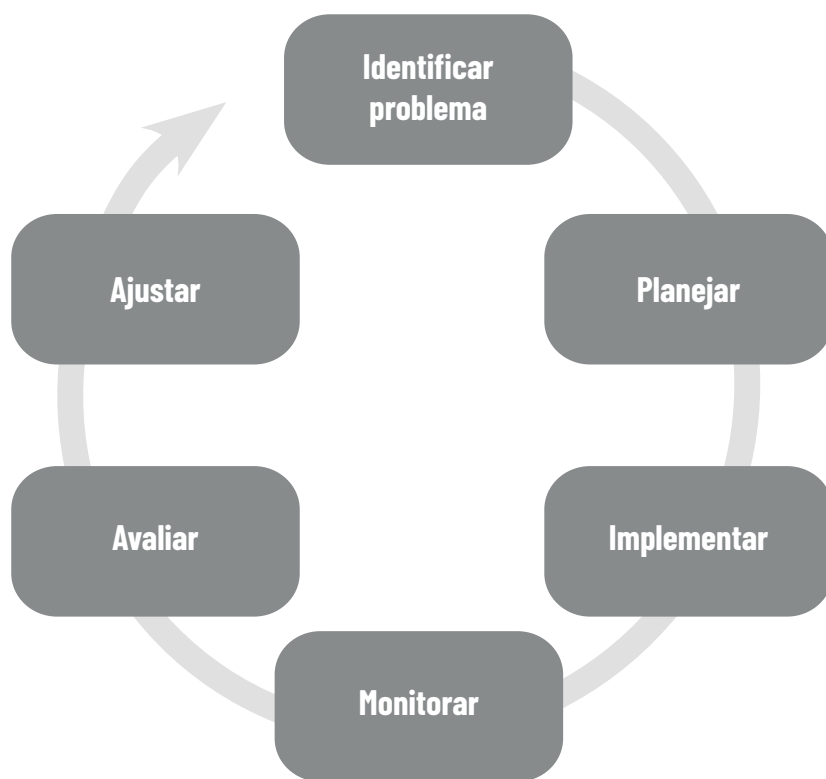
FIGURA 2.6 – PROCESSO DE ANÁLISE DE VULNERABILIDADE HÍDRICA E ESTRATÉGIA DE ADAPTAÇÃO



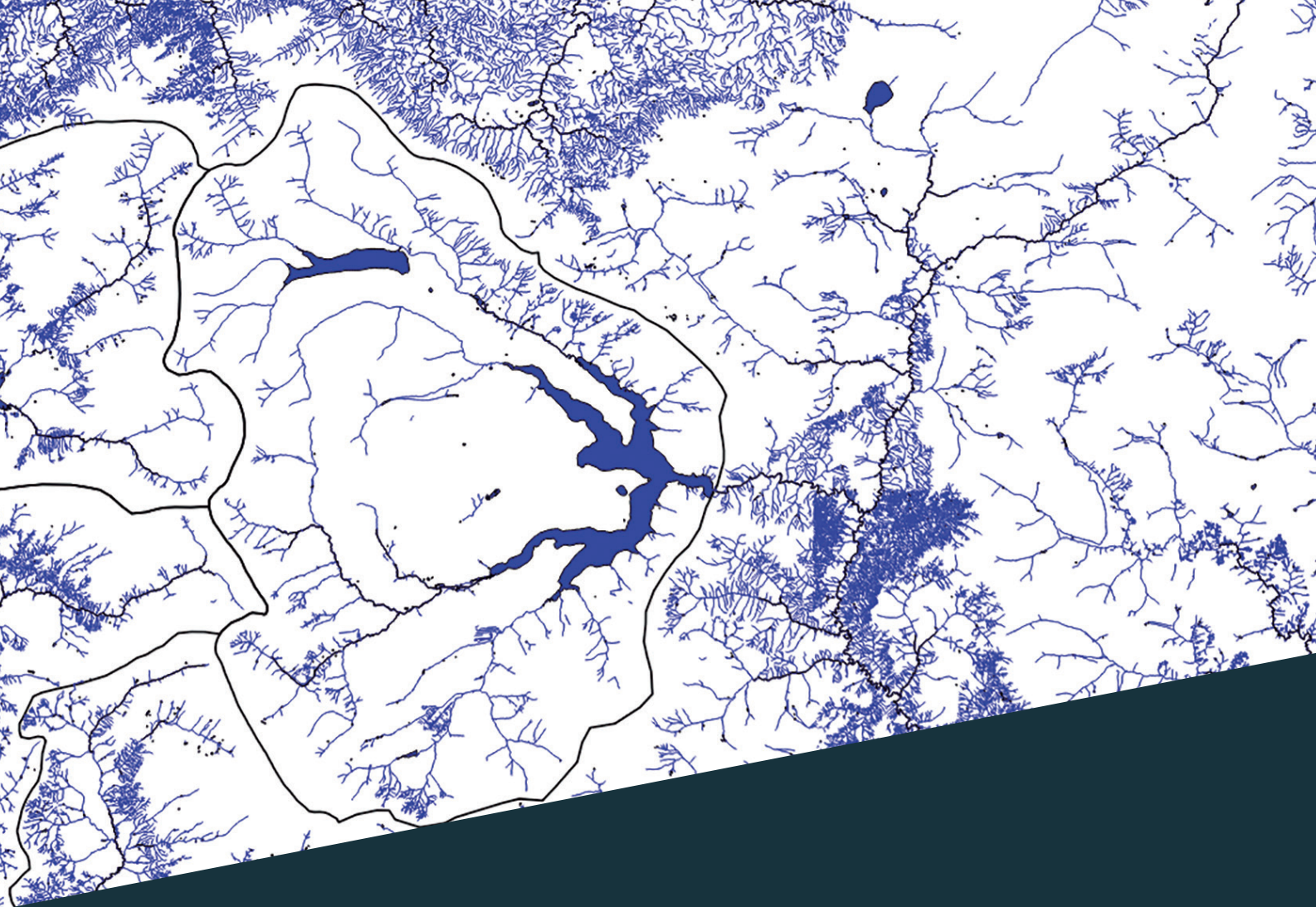
Fonte: adaptado de ECE (2009)

Essas medidas de adaptação incluem diferentes instrumentos legais, regulatórios, econômicos, de governança e educativos, seguindo sempre o processo de gestão adaptativa (Figura 2.7).

FIGURA 2.7 – GESTÃO ADAPTATIVA EM MANEJO DE BACIAS



Fonte: elaboração do próprio autor



3 RESULTADOS

SUSTENTABILIDADE INTEGRADA DAS BACIAS

A sustentabilidade integrada das Bacias do Descoberto e do Paranoá, calculadas com o ISB no cenário atual (2015-2018), foi obtida com base na média dos indicadores de hidrologia (H), meio ambiente (E), vida humana (L) e políticas públicas (P). A seguir são apresentados os resultados da sustentabilidade integrada das duas bacias, calculadas pelo índice.

Bacia do Rio Descoberto

Indicador de hidrologia (H)

Conforme estabelecido anteriormente, o indicador de hidrologia é composto pelos subindicadores de *quantidade e de qualidade* de água (linhas da Tabela 2.2). Estes, por sua vez, são formados pelos parâmetros *depressão, estado e resposta* (colunas da Tabela 2.2), totalizando seis parâmetros.

Hidrologia-quantidade

No caso da *oferta* de água da Bacia do Alto Descoberto a montante da barragem, tomada como a área para a estimativa da disponibilidade hídrica, foi utilizada a série de volumes afluentes anuais ao reservatório entre 1999 e 2018 com base em dados dos distintos postos fluviométricos de seus afluentes, incluindo as áreas incrementais da bacia.

No período entre 1999 e 2018, o volume médio afluente anual foi de 233,7 hm³/ano. No período base do ISB (2015-2018), o volume afluente médio anual foi de 150,2 hm³/ano. Considerando que o volume médio remanescente no final do ano no reservatório do Descoberto no período foi de 54,9 hm³ (ver Figura 1.1), correspondendo a 76% do seu volume útil, este valor foi acrescido às vazões afluentes médias nos dois períodos analisados para obtenção das ofertas efetivas. Assim, nos últimos vinte anos, a oferta efetiva de água na bacia foi de 233,7+54,9 = 288,6 hm³/ano, e no período entre 2015 e 2018 foi de 150,2+54,9 = 205,1 hm³/ano.

Em termos da *demanda* de água da bacia, a população atendida pela água pelo Sistema Descoberto era, em 2018, de 1.717.405 habitantes, com 376.212 ligações de água, distribuídas em 13 regiões administrativas do DF.

Considerando que a demanda unitária de água da bacia é a razão entre a população consumidora e a oferta efetiva de água na bacia (CHAVES; ALÍPAZ 2007), este parâmetro, nos dois períodos analisados, foi simplesmente:

$$D_a = 1.717.405 / (233,7 + 54,9) = 5.951 \text{ hab./hm}^3\text{.ano} \quad (1999-2018)$$

$$D_a = 1.717.405 / (150,2 + 54,9) = 8.374 \text{ hab./hm}^3\text{.ano} \quad (2015-2018)$$

A Tabela 3.1 apresenta os valores de D_a para os dois períodos de análise e o respectivo escore do parâmetro hidrologia-quantidade-estado para a bacia.

TABELA 3.1 – DEMANDA UNITÁRIA MÉDIA DE ÁGUA (D_a) NA BACIA DO RIO DESCOBERTO NOS DOIS PERÍODOS DE ANÁLISE E O RESPECTIVO ESCORE DO PARÂMETRO HIDROLOGIA-QUANTIDADE-ESTADO

PERÍODO	1999-2018	2015-2018	ESCORE
D_a (hab./hm ³ .ano)	5.951	8.374	0,0

Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a Tabela 3.1, o escore correspondente ao parâmetro *hidrologia-quantidade-estado* foi zero (0). Isso decorre do fato de que, quando ultrapassa os 2.000 hab./hm³.ano, há situação de estresse hídrico (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

No caso do parâmetro *hidrologia-quantidade-pressão* do ISB, a demanda unitária de água entre 2015 e 2018 foi de 8.890 hab./hm³.ano, e sua variação no período foi obtida da seguinte forma (CHAVES; ALÍPAZ, 2007):

$$\Delta Da = 100 \frac{Da_{2015-2018} - Da_{1999-2018}}{Da_{1999-2018}} \quad [3.1]$$

Onde:

ΔDa = percentual de variação da demanda unitária de água no período de estudo;

$Da_{1999-2018}$ (hab./hm³.ano) = demanda unitária média de água de longo prazo; e

$Da_{2015-2018}$ (hab./hm³.ano) = demanda unitária média de água no período 2015-2018.

Para a Bacia do Descoberto, a variação relativa da demanda *per capita* (ΔD_a) foi de +40,7%, correspondendo, no ISB, a um escore de zero. Como o valor de 2.000 hab./hm³.ano foi ultrapassado, tanto a demanda unitária de longo prazo (1999-2018) quanto sua variação de curto prazo (2015-2018) indicam uma situação de estresse hídrico potencial (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Esse estresse, por sua vez, culminou com a crise hídrica em 2017, exatamente quando a demanda unitária ultrapassou os 8.000 hab./hm³.ano, exigindo uma redução de 30% das vazões derivadas do reservatório para que não houvesse um colapso no abastecimento de 2 milhões de consumidores.

Finalmente, o parâmetro *hidrologia-quantidade-resposta* analisou a evolução da eficiência no uso de água na bacia no período atual (2015-2018). Com o intuito de reduzir a subjetividade na estimativa desse parâmetro, quesitos foram estabelecidos para avaliá-lo, conforme indica a Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO USO DE ÁGUA NA BACIA PARA A ESTIMATIVA DO PARÂMETRO HIDROLOGIA-QUANTIDADE-RESPOSTA DO ISB

CRITÉRIO	NÍVEL	ESCORE
Houve aumento da eficiência em mais de 20%, com medidas duradouras	Muito bom	1,00
Houve aumento de eficiência em mais de 20%, com medidas temporárias	Bom	0,75
Houve aumento de eficiência em mais de 10%, com medidas temporárias	Médio	0,50
Não houve aumento ou diminuição da eficiência do uso da água	Ruim	0,25
Houve diminuição da eficiência no uso da água	Muito ruim	0,00

Fonte: elaboração do próprio autor

Além disso, durante o período de estudo (2015-2018), que incluiu a crise hídrica de 2017-2018, foram adotadas respostas positivas de gestão para a mitigação do estresse hídrico na bacia, dentre as quais se destacam:

- estabelecimento de rodízio de distribuição de água pela Caesb em todas as regiões administrativas servidas pelo manancial;
- instalação de válvula bidirecional na adutora de interligação entre os Sistemas Produtores do Santa Maria/Torto e Descoberto, aumentando a eficiência da macroalocação de água nas regiões administrativas servidas por esses sistemas;
- cobrança de tarifa de contingência dos consumidores durante a crise hídrica e utilização dos recursos auferidos em ações de gestão integrada de recursos hídricos;
- realização de campanhas de conscientização da população consumidora de água durante o período da crise hídrica (2017-2018) quanto à importância da economia de água;
- estabelecimento de restrição no uso de água de irrigação na bacia para permitir uma maior vazão afluente ao reservatório do Descoberto e assim aumentar a oferta de água para abastecimento humano.

Tais medidas permitiram uma redução significativa na derivação de água do reservatório do Descoberto durante a crise hídrica, passando de 5,2 m³/s para 3,5 m³/s, a qual foi seguida de um aumento da eficiência do uso e redução do desperdício de água pelos consumidores.

Apesar de positivo, esse aumento de eficiência apresentou dois aspectos negativos. O primeiro foi que muitas das medidas adotadas foram temporárias, assim como a economia de 20% no consumo de água durante o ano de crise hídrica.

O segundo foi que os irrigantes da Bacia do Descoberto, que sofreram uma significativa restrição de uso de água e se sacrificaram em prol dos consumidores urbanos, tiveram perdas econômicas importantes, não sendo compensados financeiramente pelo prejuízo.

Em função da transitoriedade e da falta de sustentabilidade econômica das ações, foi atribuído um valor *médio* ao parâmetro *hidrologia-quantidade-resposta*, correspondendo a um escore de 0,50.

Hidrologia-qualidade

Os dados de fósforo total (P) e do Índice de Qualidade de Água (IQA), utilizados na obtenção do parâmetro *hidrologia-qualidade*, foram obtidos dos seis principais afluentes do reservatório do Descoberto e também do próprio lago (Figura 3.1). As séries históricas dos parâmetros compreenderam o período entre 2001 e 2018.

FIGURA 3.1 – RESERVATÓRIO DO DESCOBERTO



Fonte: Caesb

Assim, as médias de P e IQA foram obtidas para os períodos entre 2001 e 2018 e entre 2015 e 2018. A variação relativa em P (e, semelhantemente, no IQA) entre os dois períodos foi obtida por meio da seguinte equação:

$$\Delta P = 100 \frac{P_{2015-2018} - P_{2001-2018}}{P_{2001-2018}} \quad [3.2]$$

Onde:

ΔP (%) = variação na concentração média de fósforo entre os períodos;

$P_{2015-2018}$ (mg/L) = concentração média de fósforo no período entre 2015 e 2018;

$P_{2001-2018}$ (mg/L) = concentração média de fósforo no período entre 2001 e 2018.

No caso do parâmetro *hidrologia-qualidade-pressão*, a Tabela 3.4 apresenta os valores médios de fósforo total medidos nos principais afluentes e no Lago do Descoberto para os dois períodos analisados, bem como a variação percentual entre as médias dos dois períodos.

TABELA 3.4 – VALORES MÉDIOS DE P TOTAL DA BACIA DO DESCOBERTO PARA O PERÍODO DE ESTUDO, SUA VARIAÇÃO RELATIVA E O ESCORE CORRESPONDENTE PARA O PARÂMETRO

PARÂMETRO	MÉDIA 2001-2018	MÉDIA 2015-2018	VARIAÇÃO %	ESCORE
P total (mg/L)	0,025	0,016	-38,5	1,00

Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a Tabela 3.4, houve uma redução de 38,5% nos níveis de fósforo total na Bacia do Descoberto entre os dois períodos, correspondendo, na Tabela A1, a um escore de 1,00 para o parâmetro *hidrologia-qualidade-pressão*. No caso do parâmetro *hidrologia-qualidade-estado* do ISB, a Tabela 3.5 apresenta os valores médios do parâmetro IQA e a variação entre os dois períodos de análise.

TABELA 3.5 – VALORES MÉDIOS DE IQA DA BACIA DO DESCOBERTO PARA O PERÍODO DE ESTUDO, SUA VARIAÇÃO RELATIVA E O ESCORE CORRESPONDENTE PARA O PARÂMETRO HIDROLOGIA-QUALIDADE-ESTADO

PARÂMETRO	MÉDIA 2005-2018	MÉDIA 2015-2018	VARIAÇÃO %	ESCORE
IQA	74,4	69,0	-7,2	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

O parâmetro *hidrologia-qualidade-resposta* foi obtido pela variação no IQA da bacia no período de estudo (2015-2018). A redução de 7,2% observada no IQA entre os dois períodos analisados corresponde a um escore de 0,75 na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 – VALORES E ESCORES DO SUBINDICADOR HIDROLOGIA-QUALIDADE NA BACIA DO DESCOBERTO NO PERÍODO 2015-2018

HIDROLOGIA-QUALIDADE	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA
Valor	-38,5%	74,4	-7,2%
Escore	1,00	0,75	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

Considerando que o indicador de hidrologia (H) do ISB é a média aritmética dos valores dos subindicadores *H-quantidade* e *H-qualidade*, a Tabela 3.7 apresenta a síntese do indicador H para a Bacia do Rio Descoberto.

TABELA 3.7 – SÍNTESE DO INDICADOR DE HIDROLOGIA (H) DA BACIA DO DESCOBERTO

SUBINDICADOR	PARÂMETRO/ESCORES			MÉDIA
	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	
H-quantidade	0,00	0,00	0,50	0,17
H-qualidade	1,00	0,75	0,75	0,83
H (hidrologia)	0,50	0,38	0,63	0,50

Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a Tabela 3.7, o escore do indicador de hidrologia da Bacia do Rio Descoberto foi 0,50, considerado um valor *médio*. Observa-se que o fator limitante em termos de sustentabilidade é a disponibilidade de água na bacia, cujo escore (0,17) foi quatro vezes inferior ao da qualidade de água (0,83).

Indicador de meio ambiente (E)

Para a estimativa do indicador de meio ambiente (E) da Bacia do Descoberto foram utilizadas informações secundárias sobre o uso e a cobertura do solo do Distrito Federal, obtidas de diferentes fontes oficiais, considerando o período entre 2015 e 2018. Depois de compiladas, essas informações foram analisadas para a obtenção dos diferentes valores e escores dos três parâmetros do indicador. O parâmetro de pressão do indicador de meio ambiente do ISB foi calculado usando-se o Índice de Pressão Ambiental (IPA) (CHAVES; ALÍPAZ, 2007):

$$IPA = \frac{\Delta Aa + \Delta Au}{2} \quad [3.3]$$

Onde:

IPA = índice de pressão ambiental da bacia;

ΔAa (%) = variação percentual nas áreas agrícolas na bacia no período 2015-2018;

ΔAu (%) = variação percentual nas áreas urbanas da bacia no período 2015-2018.

As áreas agrícolas e urbanas da Bacia do Rio Descoberto foram estimadas por análise espacial no SIG usando-se mapas de uso e cobertura do solo da bacia (Figura 3.2) nos anos de 2015 e 2018.

A base geoespacial utilizada para a quantificação espacial das classes de uso do solo na bacia foi o MapBiomias (MAPBIOMAS, 2019). Assim, foram consideradas *áreas agrícolas* as classes de uso “pastagem” e “cultura anual e perene” da legenda daquela base de dados.

Os valores das variações nas áreas agrícolas e urbanas e o respectivo IPA da Bacia do Descoberto são apresentados na Tabela 3.8. Como o IPA foi negativo (-0,15%), o escore para o parâmetro meio ambiente-pressão foi elevado (1,0).

FIGURA 3.2. USO DO SOLO NA BACIA DO RIO DESCOBERTO EM 2015 (ACIMA) E 2018 (ABAIXO)

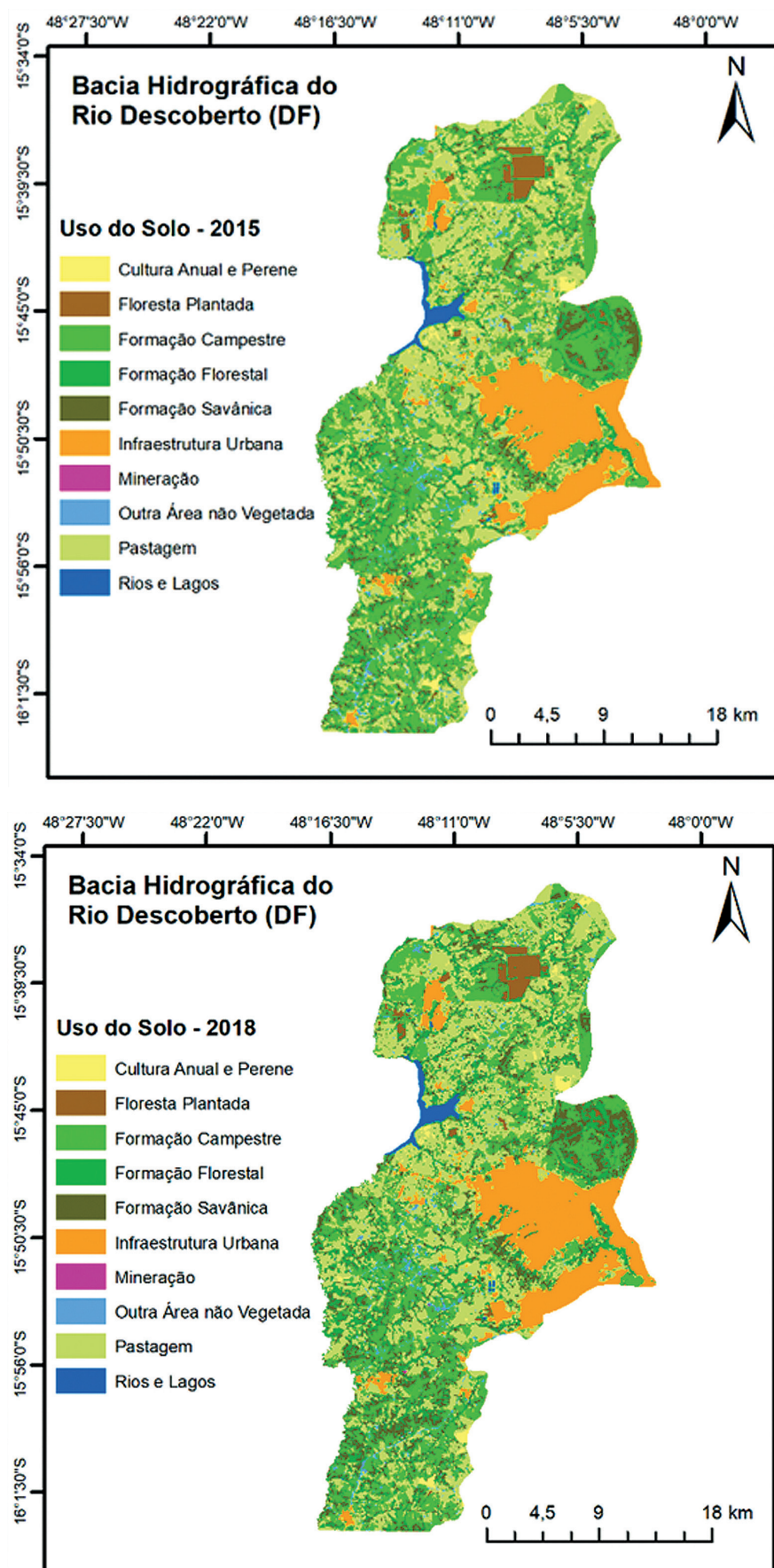


TABELA 3.8 – VALORES E ESCORES DO ISB PARA O PARÂMETRO MEIO AMBIENTE-PRESSÃO (IPA) PARA A BACIA DO DESCOBERTO NO PERÍODO ANALISADO

ÁREAS AGRÍCOLAS NA BACIA (KM²)			ÁREAS URBANAS (KM²)			IPA	ESCORE
2015	2018	VARIAÇÃO %	2015	2018	VARIAÇÃO %		
285,34	277,78	-3	102,11	104,52	2	-0,15%	1,00

Fonte: elaboração do próprio autor

Em 2018, a área de vegetação nativa na Bacia do Descoberto era de 384,13 km² (Tabela 3.9), correspondendo a 47,9% da sua área total. Esse valor corresponde a um escore de 1,00 para o parâmetro *meio ambiente-estado*, indicando um alto percentual de áreas conservadas na bacia.

TABELA 3.9 – PERCENTUAL DE VEGETAÇÃO NATIVA NA BACIA DO DESCOBERTO E O RESPECTIVO ESCORE PARA O PARÂMETRO MEIO AMBIENTE-ESTADO

COBERTURA VEGETAL	ÁREA (KM²)	% DA BACIA	ESCORE
Formação campestre	167,72	20,9	-
Formação savânica	129,10	16,1	-
Formação florestal	87,30	10,9	-
Total	384,13	47,9	1,00

Fonte: elaboração do próprio autor

Para o parâmetro *meio ambiente-resposta* do ISB, calculou-se a evolução nas áreas protegidas efetivas (AP) na Bacia do Rio Descoberto no período de estudo (2015-2018). Para tanto, foram analisados dados sobre as unidades de conservação (UCs) federais e distritais existentes na bacia obtidos no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2019) e no GeoPortal do DF (GEOPORTAL, 2019).

O uso do solo correspondendo a essas unidades de conservação foi verificado na Bacia do Descoberto por meio da sobreposição das suas poligonais com os mapas de uso do solo da bacia nos anos de 2015 e 2018. A evolução efetiva das áreas conservadas ou manejadas no período 2015-2018 foi obtida pela diferença relativa de suas áreas:

$$EAP = 100 \frac{AP_{2018} - AP_{2015}}{AP_{2015}} \quad [3.4]$$

Onde:

EAP (%) = evolução efetiva na área de áreas protegidas ou manejadas na bacia;

AP₂₀₁₅ (ha) = soma das áreas de formação florestal, formação savânica e formação campestre em 2015;

AP₂₀₁₈ (ha) = soma das áreas de formação florestal, formação savânica e formação campestre em 2018.

Na Bacia do Descoberto foram identificados 19 parques e unidades de conservação federais e distritais, com um total de 866,3 ha, todos criados antes do período de análise (2015-2018).

Para a obtenção da evolução efetiva das áreas protegidas na bacia entre 2015 e 2018 comparou-se a variação do uso do solo nessas UCs durante o período. Nesta análise foram excluídas as Áreas de Proteção Ambiental (Apas) e as Áreas de Relevante Interesse Ecológico (Aries), que são unidades de conservação de uso sustentável e menos restritivas, e onde foi observada sobreposição com outras UCs, como parques ecológicos e parques distritais.

Entre os anos de 2015 e 2018 foi observado nas UCs da bacia um aumento de 10% e 23% nas formações florestais e nas formações savânicas, respectivamente. No entanto, foi observada uma redução de 13% na área de formações campestres. Em termos líquidos, houve um aumento relativo de 2,3% nas formações nativas dentro das UCs da bacia. Esse aumento correspondeu a um escore de 0,5 para o parâmetro.

TABELA 3.10 – EVOLUÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA NOS PARQUES E NAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO DESCOBERTO ENTRE 2015 E 2018

ANO	ÁREA DE VEGETAÇÃO NATIVA (KM²)	ESCORE
2015	69,42	-
2018	71,03	-
Variação	2,3%	0,50

Fonte: elaboração do próprio autor

A Tabela 3.11 apresenta a síntese do indicador de meio ambiente (E) da Bacia do Rio Descoberto, que é a média aritmética dos seus parâmetros de pressão, estado e resposta (CHAVES; ALÍPAZ, 2007). Nesta tabela, o valor do indicador de meio ambiente da Bacia do Descoberto foi de 0,83, classificado como *alto*.

TABELA 3.11 – SÍNTESE DO INDICADOR DE MEIO AMBIENTE (E) DA BACIA DO RIO DESCOBERTO

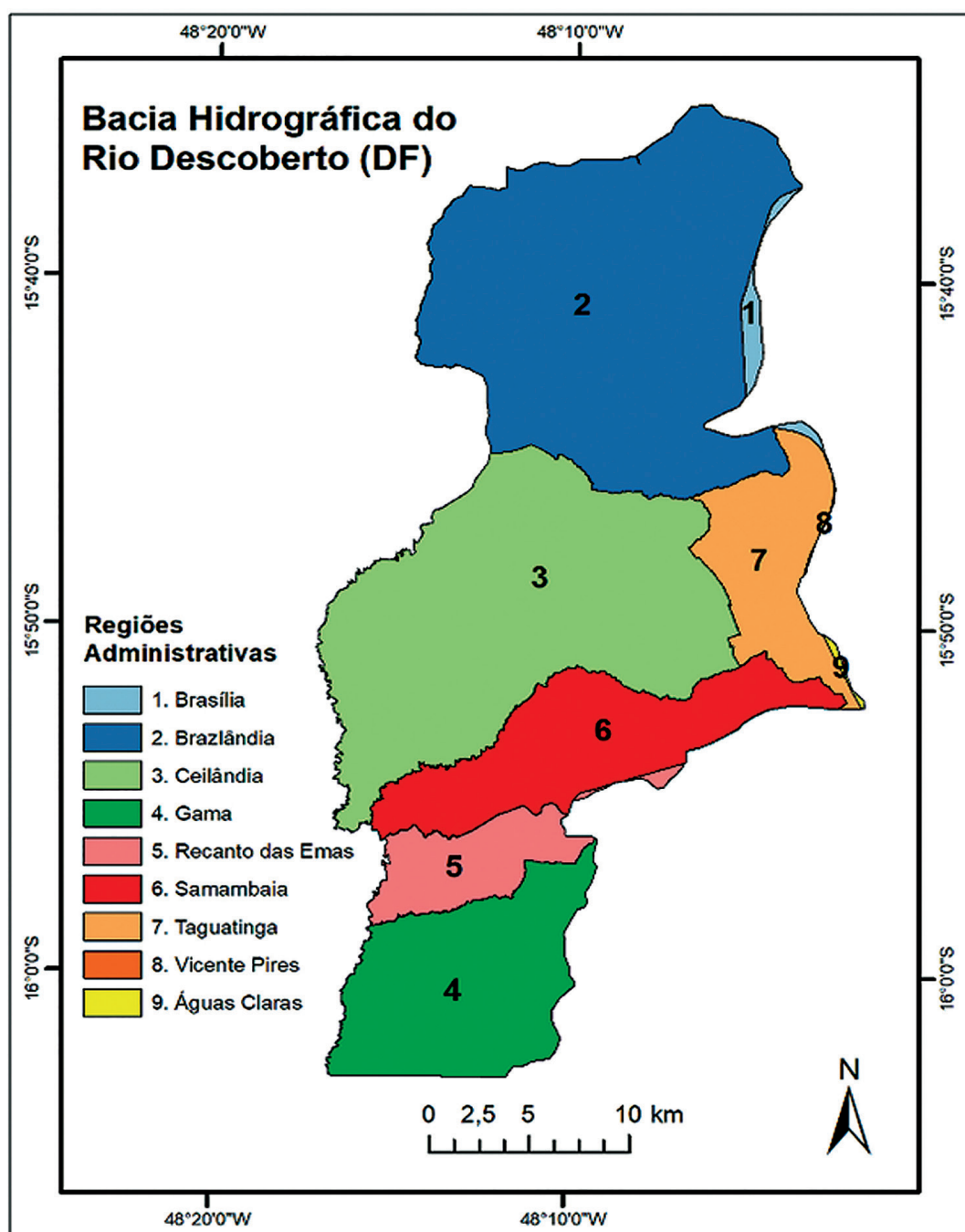
INDICADOR E	PARÂMETRO			MÉDIA
	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	
Escore	1,00	1,00	0,50	0,83

Fonte: elaboração do próprio autor

Indicador de vida humana (L)

O indicador de vida humana (L) do ISB avaliou os aspectos humanos da sustentabilidade da Bacia do Rio Descoberto (ver Tabela 2.2), centrando-se no IDH-M e seus subindicadores. Os valores de IDH-M e IDH-Renda foram obtidos para cada uma das regiões administrativas da bacia (Figura 3.3), correspondentes aos anos de 2000 e 2010, no site <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/download/>.

FIGURA 3.3 – REGIÕES ADMINISTRATIVAS DA BACIA DO RIO DESCOBERTO



Fonte: Geoportal/DF

O IDH-Renda médio para a Bacia do Rio Descoberto, ponderado pelas áreas das RAs da bacia, foi de 0,680 em 2000 e de 0,746 em 2010, com variação média anual de 0,007. Projetando-se linearmente esse aumento para os anos de 2015 e 2018, obtiveram-se os valores de 0,780 e de 0,800 para o IDH-Renda, respectivamente. Isso representou uma variação positiva de 2,6% nos cinco anos do período estudado. Essa variação, por sua vez, correspondeu a um escore de 0,75 para o parâmetro *vida humana-pressão*, indicando um incremento no da renda *per capita* da bacia.

TABELA 3.12 – VARIAÇÃO DO IDH-REND A NA BACIA DO DESCOBERTO

INDICADOR	VALOR	ESCORE
IDH-Renda 2000	0,680	-
IDH-Renda 2010	0,746	-
Variação anual (2000-2010)	0,007	-
IDH-Renda 2015	0,780	-
IDH-Renda 2018	0,800	-
Variação % (2015-2018)	2,5	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

No caso do parâmetro *vida humana-estado*, o IDH-Renda médio para a Bacia do Rio Descoberto, ponderado pelas áreas das RAs da bacia, foi de 0,680 em 2000 e de 0,746 em 2010, com variação média anual de 0,007 no período. Projetando-se linearmente esse aumento para os anos de 2015 e 2018, obtiveram-se os valores de 0,780 e de 0,800 para o IDH-R, respectivamente. Isso representou uma variação positiva de 2,6% nos quatro anos do período. Essa variação, por sua vez, correspondeu a um escore de 0,75 na tabela do ISB (Tabela 3.13) para o parâmetro, indicando um incremento na renda *per capita* da bacia.

TABELA 3.13 – IDH NA BACIA DO RIO DESCOBERTO NOS ANOS 2015 E 2018 E O RESPECTIVO ESCORE PARA O PARÂMETRO VIDA HUMANA-ESTADO

INDICADOR	VALOR	ESCORE
IDH-M 2000	0,649	-
IDH-M 2010	0,761	-
Variação anual (2000-2010)	0,011	-
IDH-M 2015	0,818	-
IDH-M 2018	0,852	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

Finalmente, com base nos valores de IDH-M da bacia em 2015 e 2018 e de sua variação relativa foi obtido o parâmetro *vida-resposta* do ISB. Como o IDH-M teve uma variação de 2,5% no período, o escore para este parâmetro foi de 0,5 (Tabela 3.14).

TABELA 3.14 – VARIAÇÃO DO IDH NA BACIA DO RIO DESCOBERTO NO PERÍODO 2015-2018 E O RESPECTIVO ESCORE PARA O PARÂMETRO VIDA-RESPOSTA

INDICADOR	VALOR	VARIAÇÃO %
IDH-M 2015	0,818	-
IDH-M 2018	0,852	2,5
Escore	-	0,5

Fonte: elaboração do próprio autor

A síntese do indicador de *vida humana* para a Bacia do Rio Descoberto, com a respectiva média dos respectivos parâmetros, é apresentada na Tabela 3.15. De acordo com esta tabela, o escore do indicador de *vida humana* da Bacia do Rio Descoberto no período entre 2015 e 2018 foi de 0,67, considerado médio.

TABELA 3.15 – SÍNTESE DO INDICADOR DE VIDA HUMANA (L) DA BACIA DO RIO DESCOBERTO

INDICADOR L	PARÂMETRO			MÉDIA
	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	
Escore	0,75	0,75	0,50	0,67

Fonte: elaboração do próprio autor

Indicador de políticas públicas (P)

O indicador de políticas públicas do ISB utilizou informações relativas aos aspectos legais, institucionais, gestão participativa e de investimentos em Girh na Bacia do Descoberto.

Para a obtenção do parâmetro *políticas-pressão*, o subindicador IDH-Educação foi calculado para a Bacia do Descoberto no período entre 2015 e 2018. Depois de obtidos os valores de IDH-Educação dos anos de 2000 e 2010 para cada RA da bacia, foram obtidos valores médios de IDH-Educação ponderados pelas respectivas áreas para os mesmos anos.

Com base na variação anual no IDH-Educação da bacia, os valores deste indicador foram projetados linearmente para os anos de 2015 e 2018, resultando nos valores de 0,788 e 0,842, respectivamente. Com base nestes últimos obteve-se uma variação de 6,9% no parâmetro, correspondendo a um escore de 0,75 (Tabela 3.16).

TABELA 3.16 – IDH-EDUCAÇÃO PONDERADO PARA A BACIA DO DESCOBERTO E O ESCORE DO PARÂMETRO POLÍTICAS-PRESSÃO

INDICADOR	VALOR	ESCORE
IDH-Educação 2000	0,519	-
IDH-Educação 2010	0,699	-
Variação anual (2000-2010)	0,018	-
IDH-Educação 2015	0,788	-
IDH-Educação 2018	0,842	-
Variação % 2015-2018	6,9	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

No caso do parâmetro *políticas-estado*, a capacidade legal e institucional da Bacia do Descoberto foi avaliada no período entre 2015 e 2018 relativamente aos aspectos de Girh. Para tanto, um questionário com quatro perguntas foi elaborado pela equipe técnica do projeto e posteriormente enviado pela Sema-DF a distintos gestores e representantes da sociedade civil do Distrito Federal com atuação no tema.

A Tabela 3.17 apresenta os resultados das respostas desses entrevistados com as respectivas médias finais, e a Tabela 3.18 mostra os resultados da pesquisa e o escore do parâmetro. De acordo com essas duas tabelas, a média da pontuação dos questionários foi 10, de um máximo de 12, correspondendo a um escore de 0,75 para o parâmetro *políticas-estado* do ISB.

TABELA 3.17 – PONTUAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS ENVIADOS A GESTORES GOVERNAMENTAIS (G) E DA SOCIEDADE CIVIL (SC). PONTUAÇÃO: 1 = NÃO; 2 = EM PARTE; 3 = SIM

IDENTIFICAÇÃO DO GESTOR	HÁ LEIS E NORMAS RELATIVAS À GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA (Girh)?	ESSAS LEIS E NORMAS SÃO EFETIVAS EM TERMOS DE PROVER AS POLÍTICAS ADEQUADAS EM Girh NA BACIA?	HÁ INSTITUIÇÕES DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA?	ESSAS INSTITUIÇÕES SÃO EFETIVAS EM TERMOS DE PROVER AS AÇÕES ADEQUADAS EM Girh NA BACIA?	TOTAL
G1	2	3	3	3	11
G3	3	2	3	2	10
G4	3	3	3	3	12
G5	3	2	3	2	10
G6	3	2	3	2	10
G7	3	2	3	2	10
G8	3	2	3	2	9
SC1	2	2	3	2	10
SC2	3	2	3	2	9
SC3	2	2	3	2	10
SC4	2	2	3	2	9
SC5	3	2	2	2	9
Média	2,7	2,2	2,9	2,2	10,0

Fonte: elaboração do próprio autor

TABELA 3.18 – CLASSIFICAÇÃO E ESCORE DO RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS ENVIADOS AOS GESTORES

MÉDIA DOS QUESTIONÁRIOS	CAPACIDADE LEGAL E INSTITUCIONAL	ESCORE
4	Muito ruim	0,00
5 a 6	Ruim	0,25
7 e 8	Média	0,5
9 e 10	Boa	0,75
11 e 12	Excelente	1,00

Fonte: elaboração do próprio autor

Para o parâmetro *políticas-resposta*, estimou-se a evolução relativa nos investimentos em ações de gestão integrada de recursos hídricos na Bacia do Descoberto no período entre 2015 e 2018. Esses resultados, bem como o escore do parâmetro, são apresentados na Tabela 3.19. De acordo com esta tabela, houve um aumento de 0,15% no nível de investimentos em Girh na bacia, o que corresponde a um escore de 0,5 para o parâmetro *políticas-resposta*.

TABELA 3.19 – VALORES INVESTIDOS EM GIRH NO DF EM 2015 E EM 2018 E SUA VARIAÇÃO PERCENTUAL NO PERÍODO E O RESPECTIVO ESCORE DO PARÂMETRO POLÍTICAS-RESPOSTA

ANO	2015	2018	VARIAÇÃO %	ESCORE
Investimento (R\$)	178.043.642,28	178.315.878,93	0,15	0,5

Fonte: elaboração do próprio autor

A síntese do indicador de políticas para a Bacia do Rio Descoberto, considerando o período entre 2015 e 2018, é apresentada na Tabela 3.20. De acordo com essa tabela, o valor do indicador foi 0,67, considerado *médio*.

TABELA 3.20 – SÍNTESE DO INDICADOR DE POLÍTICAS (P) DA BACIA DO RIO DESCOBERTO (2015-2018)

INDICADOR P	PARÂMETRO			MÉDIA
	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	
Escore	0,75	0,75	0,50	0,67

Fonte: elaboração do próprio autor

Sustentabilidade integrada da bacia

A sustentabilidade integrada da Bacia do Rio Descoberto no período entre 2015 e 2018, com os respectivos escores dos parâmetros e dos indicadores, é apresentada na Tabela 3.21.

TABELA 3.21 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO DESCOBERTO (2015 E 2018)

INDICADOR	PRESSÃO		ESTADO		RESPOSTA		MÉDIA
	VALOR	ESCORE	VALOR	ESCORE	VALOR	ESCORE	
Hidrologia	-	0,50	-	0,38	-	0,50	0,46
Meio ambiente	-0,15%	1,00	47,94%	1,00	2,3%	0,50	0,83
Vida humana	2,6%	0,75	0,852	0,75	4%	0,50	0,67
Políticas	6,9%	0,75	Boa	0,75	0,15%	0,50	0,67
Média		0,75		0,72		0,50	0,66

Fonte: elaboração do próprio autor

O valor global do ISB da Bacia do Descoberto foi de 0,66, correspondendo a uma classe de *média* sustentabilidade. Em termos dos indicadores do ISB, a menor média correspondeu à *hidrologia* (0,46), que foi o fator limitante na bacia.

No caso das médias das colunas (P, E, R), o fator que limitou a sustentabilidade global foi a resposta (média de 0,50). Em termos dos parâmetros individuais (células da Tabela 3.21), os gargalos foram os três parâmetros de *hidrologia* e os quatro parâmetros de *resposta*, indicados em vermelho na tabela.

Esses gargalos, por sua vez, são os aspectos que deveriam receber maior atenção na Bacia do Descoberto para que sua sustentabilidade fosse mais rapidamente aumentada.

Bacia do Rio Paranoá

Semelhantemente à Bacia do Rio Descoberto, o ISB foi aplicado à Bacia do Rio Paranoá no período entre 2015 e 2018, e os resultados dos seus quatro indicadores e o índice final são apresentados nos subitens a seguir. Como a metodologia para a obtenção do ISB é a mesma nas duas bacias, apenas os principais resultados são apresentados.

Indicador de hidrologia (H)

Hidrologia-quantidade

Considerando que a Bacia do Paranoá possui dois reservatórios de acumulação (Santa Maria e Paranoá), sua *oferta* média de água foi tomada como a soma da vazão média afluente anual (1999-2018) e dos volumes médios remanescentes anuais dos reservatórios ao final da estação chuvosa, representando estes 76% de seus respectivos volumes úteis.

Como os volumes úteis dos reservatórios de Santa Maria e Paranoá são 61 e 35 hm³, respectivamente, um volume total anual de 73 hm³ foi acrescido ao volume afluente anual médio da bacia, ou seja, $444,7 + 0,76 * (61 + 35) = 517,7$ hm³/ano. Este foi tomado como a oferta efetiva de água na Bacia do Paranoá no período base (1999-2018).

Em termos de *demanda* de água na bacia, um total de 721.608 habitantes eram abastecidos pelo Sistema Produtor Paranoá em 2018 (CAESB, 2019), utilizando os mananciais Santa Maria/Torto, Gama, Cabeça de Veado, Bananal e Lago Paranoá, tendo estes dois últimos entrado em funcionamento durante a crise hídrica de 2017.

Considerando a população abastecida e a oferta de água indicada anteriormente, a demanda unitária de água na bacia no período entre 1999 e 2018 foi: $D_a = 721.608 / 517,7 = 1.394$ hab./hm³.ano.

Essa demanda unitária de água, por sua vez, corresponde a um escore de 0,25 para o parâmetro *hidrologia-quantidade-estado* (Tabela 3.22). Como o valor de D_a ficou entre 1.000 e 2.000 hab./hm³.ano, a bacia apresenta uma situação de estresse hídrico (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

TABELA 3.22 – DEMANDA UNITÁRIA MÉDIA DE ÁGUA NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO ENTRE 1999 E 2018 E O RESPECTIVO ESCORE DO PARÂMATRO

PERÍODO	1999-2018	ESCORE
D_a (hab./hm ³ .ano)	1.394	0,25

Fonte: elaboração do próprio autor

No caso do parâmetro *hidrologia-quantidade-pressão* no período entre 2015 e 2018, o volume afluente total médio mais a reservação média remanescente foi de $408,4 + 73,0 = 481,8$ hm³/ano, sendo a demanda unitária $D_a = 721.608/481,8 = 1.498$ hab./hm³.ano (Tabela 3.23). De acordo com essa tabela, o aumento $\Delta D_a = 7,5\%$, ocorrido entre os dois períodos analisados, corresponde a um escore de 0,50 para o parâmetro *hidrologia-quantidade-pressão*.

TABELA 3.23 – DEMANDA UNITÁRIA MÉDIA DE ÁGUA NA BACIA DO RIO PARANOÁ E A VARIAÇÃO ENTRE OS PERÍODOS 2015-2018 E 1999-2018

PERÍODO	1999-2018	2015-2018	VARIAÇÃO %	ESCORE
D_a (hab./hm ³ .ano)	1.394	1.498	7,5	0,50

Fonte: elaboração do próprio autor

No tocante ao parâmetro *hidrologia-quantidade-resposta* houve, entre 2015 e 2018, uma série de ações efetivas para a gestão integrada de recursos hídricos na Bacia do Paranoá em resposta à crise hídrica de 2017. Dentre ela, destacam-se:

- estabelecimento de duas novas captações de água na bacia, uma no Córrego Bananal e outra no Lago Paranoá, gerando uma oferta adicional nominal de 1,2 m³/s, equivalente a 37,8 hm³/ano;
- instalação de válvula bidirecional na adutora de interligação entre os Sistemas Produtores do Santa Maria/Torto e Descoberto, aumentando a eficiência da macroalocação de água nas regiões administrativas servidas por esses sistemas;
- estabelecimento de um rodízio na distribuição de água nas RAs da bacia, gerando uma economia de água de 20%;
- veiculação de campanhas educativas de economia de água na mídia;
- estabelecimento e cobrança de tarifa de contingência durante a crise hídrica e a utilização dos recursos auferidos em ações de gestão integrada de recursos hídricos da bacia.

De acordo com os critérios estabelecidos anteriormente e com os resultados acima, e ainda levando em conta a economia de água de 20% pela população durante a crise hídrica, a evolução da eficiência do uso de água na Bacia do Paranoá no período entre 2015 e 2018 foi considerada boa, correspondendo a um escore de 0,75 para o parâmetro.

A síntese do subindicador *hidrologia-quantidade* da Bacia do Rio Paranoá é apresentada na Tabela 3.24. De acordo com esta tabela, o subindicador apresentou-se na faixa de média sustentabilidade (0,5) no ISB, refletindo o nível de escassez hídrica observado na bacia.

TABELA 3.24 – SÍNTESE DO SUBINDICADOR *HIDROLOGIA-QUANTIDADE* NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO 2015-2018

HIDROLOGIA-QUANTIDADE	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	MÉDIA
Valor	7,5%	1.394hab./hm ³ .ano	Bom	-
Escore	0,50	0,25	0,75	0,50

Fonte: elaboração do próprio autor

Hidrologia-qualidade

No caso do parâmetro *hidrologia-qualidade-pressão*, os valores médios anuais do fósforo total na Bacia do Paranoá e seus principais afluentes nos períodos de 2001-2018 e 2015-2018 foram de 0,028 e 0,020 mg/L, respectivamente. A redução nas concentrações de P entre os dois períodos foi de 28,6%, correspondendo a um escore de 1,0 para o parâmetro (Tabela 3.25).

TABELA 3.25 – VALORES MÉDIOS DE P TOTAL DA BACIA DO PARANOÁ PARA OS ANOS 2015 E 2018, SUA VARIAÇÃO RELATIVA E O RESPECTIVO ESCORE

PARÂMETRO	MÉDIA 2001-2018	MÉDIA 2015-2018	VARIAÇÃO%	ESCORE
P total (mg/L)	0,028	0,020	-28,6	1,0

Fonte: elaboração do próprio autor

No parâmetro *hidrologia-qualidade-estado*, o IQA médio da Bacia do Paranoá, obtido de amostras no lago e seus principais afluentes no período entre 2015 e 2018, foi de 67,5, o que corresponde a um escore de 0,50 para o parâmetro (Tabela 3.26).

TABELA 3.26 – VALOR MÉDIO DO IQA DA BACIA DO PARANOÁ PARA OS ANOS 2015 E 2018 E O RESPECTIVO ESCORE

PARÂMETRO	MÉDIA 2015-2018	ESCORE
IQA	67,5	0,50

Fonte: elaboração do próprio autor

Finalmente, para o parâmetro *hidrologia-qualidade-resposta* foi observada uma variação de 6,9% entre os valores de IQA médio na Bacia do Rio Paranoá nos anos de 2015 e 2018 (ou seja, $\Delta IQA = (IQA_{2018} - IQA_{2015}) / IQA_{2018}$). A essa variação corresponde o escore de 0,75 para o parâmetro (Tabela 3.27).

TABELA 3.27 – IQA DA BACIA DO PARANOÁ ENTRE 2015 E 2018 E O RESPECTIVO ESCORE

PARÂMETRO	MÉDIA 2015	MÉDIA 2018	VARIAÇÃO 2015-2018	ESCORE
IQA	62,7	72,5	6,9%	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

A síntese do indicador de *hidrologia-qualidade* da Bacia do Rio Paranoá é apresentada na Tabela 3.28, obtendo-se um escore médio de 0,75 para o indicador.

TABELA 3.28 – SÍNTESE DO SUBINDICADOR *HIDROLOGIA-QUALIDADE* NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO 2015-2018

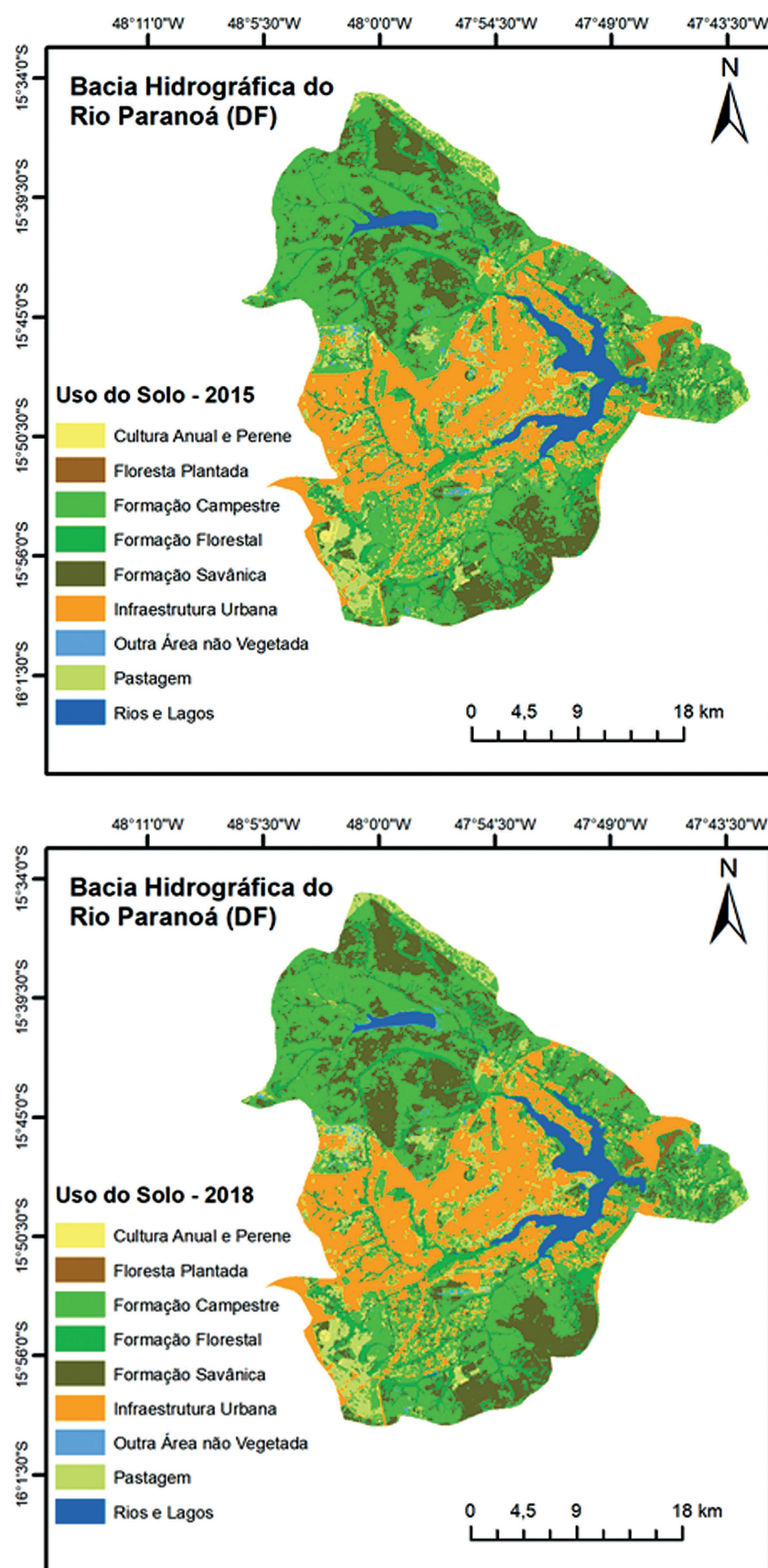
HIDROLOGIA-QUALIDADE	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	MÉDIA
Valor	-28,6%	67,5	6,9%	-
Escore	1,00	0,50	0,75	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

Indicador de meio ambiente (E)

Para a obtenção do Índice de Pressão Antrópica (IPA) da Bacia do Paranoá foi calculada a variação das áreas urbanas e das áreas agrícolas na bacia, tomadas como a soma das áreas de *agricultura e pastagem* (MapBiomas) no período entre 2015 e 2018 (Figura 3.4).

FIGURA 3.4 – USO DO SOLO DA BACIA DO RIO PARANOÁ EM 2015 (ACIMA) E 2018 (ABAIXO)



Fonte: elaboração do próprio autor

As áreas agrícolas da Bacia do Paranoá cresceram 1,0% no período 2015-2018, passando de 92,63 km² para 93,54 km². Por sua vez, as áreas urbanas passaram de 240,11 km² em 2015 para 245,71 km² em 2018, representando um crescimento de 2,3% (Tabela 3.29). Em função desses percentuais, o IPA da bacia foi de 1,6%, o que corresponde a um escore de 0,75 para o parâmetro *meio ambiente-pressão*.

TABELA 3.29 – VALORES E ESCORES DO ISB PARA O PARÂMETRO *MEIO AMBIENTE-PRESSÃO* (IPA) PARA A BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO ENTRE 2015 E 2018

ÁREAS AGRÍCOLAS NA BACIA (KM ²)			ÁREAS URBANAS NA BACIA (KM ²)			IPA %	ESCORE
2015	2018	VARIAÇÃO %	2015	2018	VARIAÇÃO %		
92,63	93,54	1,0	240,11	245,71	2,3	1,65	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

Como a área de vegetação nativa na Bacia do Paranoá era em 2018 de 659,08 km², representando 62,40% de sua área total, esse valor corresponde a um escore de 1,00 para o parâmetro *meio ambiente-estado*, indicando um elevado nível de conservação ambiental na bacia.

Para o parâmetro *meio ambiente-resposta* foi calculada a evolução nas áreas conservadas/manejadas na Bacia do Rio Paranoá no período entre 2015 e 2018. Em 2018 havia na bacia um total de 66 parques e outras unidades de conservação.

Entretanto, na Bacia do Paranoá não foi criado nenhum novo parque ou unidade de conservação entre 2015 e 2018. Nesse sentido, buscou-se avaliar a evolução no grau de efetividade das coberturas vegetais nativas nas UCs no mesmo período por meio do cruzamento destas com os tipos de uso do solo observados em 2018.

Nessa análise foram excluídas as Aries e as Apas da bacia, uma vez que a primeira é pouco restritiva e a área da última se sobrepõe às outras UCs da bacia. Assim, verificou-se que entre 2015 e 2018 as formações florestais dentro de parques e outras UCs na Bacia do Paranoá passaram de 41,71 para 49,36 km², resultando num aumento de 18%.

No caso das formações savânicas, estas passaram de 147,19 km² para 165,18 km² no mesmo período, com um aumento de 12%. As formações campestres, por sua vez, sofreram uma redução de 14% no período (Tabela 3.30). A redução de 1,0% nas áreas efetivamente naturais nas UCs da bacia no período entre 2015 e 2018 correspondeu a um escore de 0,25 no parâmetro *meio-ambiente-resposta* do ISB.

TABELA 3.30 – TIPOS DE USO DO SOLO OBSERVADOS NOS PARQUES E NAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DA BACIA DO PARANOÁ (EXCETO APAS E ARIES).

LEGENDA	ÁREA 2015 (KM²)	ÁREA 2018 (KM²)	VARIAÇÃO %
Formação florestal	41,71	49,36	18
Formação savânica	147,19	165,18	12
Formação campestre	204,84	176,90	-14
Total	393,74	391,44	-1,0
Escore	-	-	0,25

Fonte: elaboração do próprio autor

A síntese do indicador de meio ambiente da Bacia do Rio Paranoá é apresentada na Tabela 3.31. De acordo com esta tabela, o indicador de meio ambiente da bacia foi de 0,67, considerado *mediano* (CHAVES; ALÍPAZ 2007).

TABELA 3.31 – SÍNTESE DO INDICADOR DE MEIO AMBIENTE NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO 2015-2018

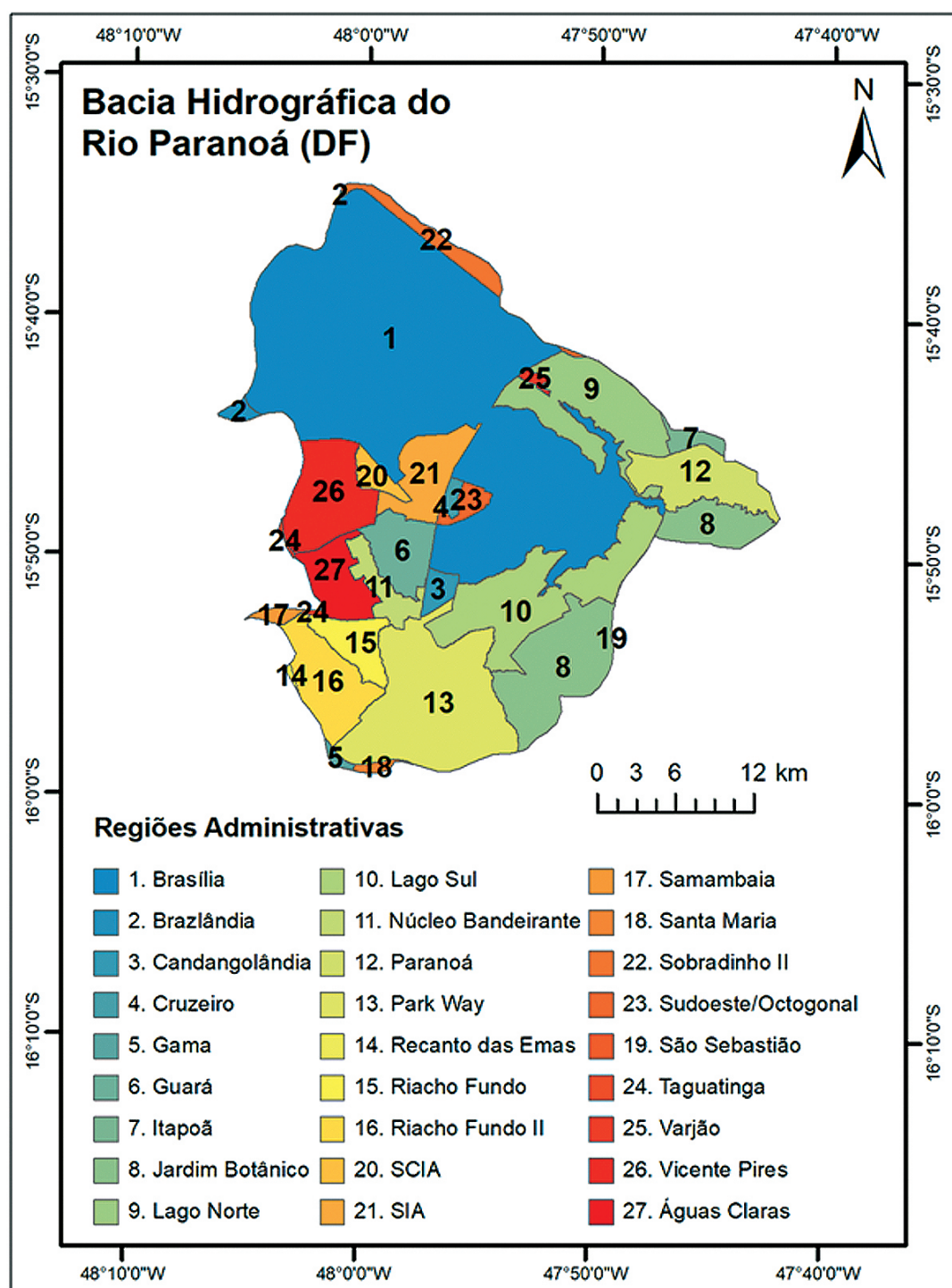
MEIO AMBIENTE (E)	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	MÉDIA
Valor	1,6%	62,4%	-1,0%	-
Escore	0,75	1,00	0,25	0,67

Fonte: elaboração do próprio autor

Indicador de vida humana (L)

Neste indicador avaliaram-se os aspectos humanos da sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Paranoá, focando no IDH-M e em seus subindicadores. Semelhantemente ao caso da Bacia do Descoberto, os valores de IDH-M e IDH-Renda foram obtidos no site <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/download/> para cada uma das RAs que compõem a bacia (Figura 3.5).

FIGURA 3.5 – REGIÕES ADMINISTRATIVAS DA BACIA DO RIO PARANOÁ EM 2018



Fonte: Geoportal/DF

No caso do parâmetro *vida humana-pressão*, o valor médio ponderado (por área) do IDH-Renda para a Bacia Hidrográfica do Rio Paranoá foi de 0,891 em 2000 e de 0,939 em 2010, com aumento médio anual de 0,005 no período. Considerando que dados de IDH e seus subindicadores para as RAs do Distrito Federal estavam disponíveis apenas para os anos de 2000 e 2010, extrapolou-se linearmente essa taxa anual para os anos de 2015 e 2018.

Assim, o IDH-Renda projetado para a Bacia do Rio Paranoá em 2015 foi 0,962, e de 0,977 em 2018, representando uma variação positiva de 1,5% nos quatro anos analisados (Tabela 3.32), indicando uma melhoria da renda *per capita* na bacia. Essa variação, por sua vez, correspondeu a um escore de 0,75 para o parâmetro *vida humana-pressão*.

TABELA 3.32 – IDH-RENDAS EM 2015 E 2018 E SUA VARIAÇÃO NA BACIA DO PARANOÁ

INDICADOR	VALOR	ESCORE
IDH-Renda 2000	0,891	-
IDH-Renda 2010	0,939	-
Variação anual (2000-2010)	0,005	-
IDH-Renda 2015	0,962	-
IDH-Renda 2018	0,977	-
Variação % (2015-2018)	1,5	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

Quanto ao parâmetro *vida humana-estado*, depois de os valores de IDH-M terem sido linearmente extrapolados dos anos de 2000 e 2010 para 2015 e 2018, estes resultaram em 0,935 e 0,959 para estes dois últimos, respectivamente (Tabela 3.33). O valor médio ponderado 0,959 para o IDH-M da Bacia do Paranoá em 2018, por sua vez, corresponde a um escore de 1,00 para o parâmetro *vida humana-estado*, refletindo a alta qualidade de vida dos habitantes da bacia.

TABELA 3.33 – IDH-M NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO 2015-2018 E O ESCORE DO PARÂMETRO VIDA HUMANA-ESTADO

INDICADOR/ANO	VALOR
IDH-M 2000	0,813
IDH-M 2010	0,894
Variação anual (2000-2010)	0,008
IDH-M 2015	0,935
IDH-M 2018	0,959
Escore	1,00

Fonte: elaboração do próprio autor

Conforme indica a Tabela 3.34, a variação do IDH-M ponderado da bacia entre 2015 e 2018 foi de 2,5%, correspondendo a um escore de 0,5 para o parâmetro *vida humana-resposta* do ISB.

TABELA 3.34 – VARIAÇÃO DO IDH NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO 2015-2018 E SEU ESCORE

INDICADOR/ANO	VALOR
IDH-M 2015	0,935
IDH-M 2018	0,959
Variação % (2015-2018)	2,5
Escore	0,50

Fonte: elaboração do próprio autor

A síntese do indicador de *vida humana* (L) da Bacia do Rio Paranoá é apresentada na Tabela 3.35. Nela observa-se que o indicador teve um escore de 0,75, refletindo os elevados valores de IDH e sua variação positiva no período entre 2015 e 2018.

TABELA 3.35 – SÍNTESE DO INDICADOR DE VIDA HUMANA NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO 2015-2018

VIDA HUMANA (L)	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	MÉDIA
Valor	1,5%	0,959	2,5%	-
Escore	0,75	1,00	0,50	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

Indicador de políticas (P)

Semelhantemente ao caso da Bacia do Rio Descoberto, para o parâmetro *políticas-pressão* foi obtida a variação do IDH-Educação médio ponderado da Bacia do Rio Paranoá no período entre 2000 e 2010 e a variação anual foi extrapolada para os anos de 2015 e 2018. Os resultados são apresentados na Tabela 3.36.

TABELA 3.36 – IDH-EDUCAÇÃO NA BACIA DO RIO PARANOÁ E SUA VARIAÇÃO NO PERÍODO 2015-2018

INDICADOR/ANO	VALOR
IDH-Educação 2000	0,717
IDH- Educação 2010	0,832
Variação anual (2000-2010)	0,011
IDH- Educação 2015	0,889
IDH- Educação 2018	0,924
Variação entre 2015 e 2018	4,0%
Escore	0,75

Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a tabela acima, a variação do IDH-Educação na Bacia do Rio Paranoá no período entre 2015 e 2018 foi de 4%, correspondendo a um escore de 0,75 para o parâmetro *políticas-pressão* do ISB da bacia.

No caso do parâmetro *políticas-estado*, o valor médio dos questionários aplicados a 13 gestores hídricos e ambientais do Distrito Federal para avaliar o nível de Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Bacia foi 10 (de um total de 12), correspondendo a um escore de 0,75 para o parâmetro.

De maneira análoga à Bacia do Descoberto, a obtenção do parâmetro *políticas-resposta* do ISB na Bacia do Paranoá utilizou a evolução dos gastos e dos investimentos em Gestão Integrada de Recursos Hídricos entre os anos de 2015 e 2018.

Para tanto, supôs-se que a evolução dos gastos nessa bacia fosse a mesma da ocorrida em todo o Distrito Federal, conforme indicado anteriormente. Assim, a Tabela 3.37 apresenta a variação nos investimentos em Girh entre os anos de 2015 e 2018.

TABELA 3.37 – VALORES INVESTIDOS EM GIRH NO DF EM 2015 E EM 2018 E SUA VARIAÇÃO PERCENTUAL ENTRE OS DOIS ANOS, ESTA ÚLTIMA UTILIZADA TAMBÉM PARA A BACIA DO RIO PARANOÁ. ADAPTADO DE CHAVES E ALÍPAZ (2007)

ANO	2015	2018	VARIAÇÃO	ESCORE
Investimento (R\$)	178.043.642,28	178.315.878,93	0,15%	0,50

Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a tabela acima, a variação positiva de 0,15% no investimento entre os anos de 2015 e 2018 na Bacia do Paranoá correspondeu a um escore de 0,50 para o parâmetro *políticas-resposta*. A síntese do indicador de *políticas* para a Bacia do Rio Paranoá no período entre 2015 e 2018 é apresentada na Tabela 3.38. De acordo com essa tabela, o valor do indicador foi de 0,67.

TABELA 3.38 – SÍNTESE DO INDICADOR DE POLÍTICAS (P) DA BACIA DO RIO PARANOÁ (2015-2018)

INDICADOR P	PARÂMETRO			MÉDIA
	PRESSÃO	ESTADO	RESPOSTA	
Escore	0,75	0,75	0,50	0,67

Fonte: elaboração do próprio autor

Sustentabilidade integrada

A Tabela 3.39 apresenta a matriz do ISB para a Bacia do Paranoá no período entre 2015 e 2018. De acordo com essa tabela, a média global (ISB) foi de 0,68, sendo classificada como *média sustentabilidade*.

TABELA 3.39 – ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PARANOÁ ENTRE 2015 E 2018

INDICADOR	PRESSÃO		ESTADO		RESPOSTA		MÉDIA
	VALOR	SCORE	VALOR	SCORE	VALOR	SCORE	
Hidrologia	-	0,75	-	0,38	-	0,75	0,63
Meio ambiente	1,6%	0,75	62,4%	1,00	-1%	0,25	0,67
Vida humana	1,5%	0,75	0,959	1,00	2,5%	0,50	0,75
Políticas	4,0%	0,75	Bom	0,75	0,15%	0,50	0,67
Média		0,75		0,78		0,50	0,68

Fonte: elaboração do próprio autor

Semelhantemente à Bacia do Descoberto, o indicador limitante foi a *hidrologia* (0,63), sendo a resposta a coluna com a menor média geral (0,50). As células em vermelho na Tabela 3.39 indicam os fatores que limitaram a sustentabilidade da bacia.

O valor ligeiramente maior do ISB da Bacia do Paranoá em relação à do Descoberto (0,68 e 0,66, respectivamente) decorre do menor nível de estresse hídrico da primeira, refletido pela média do indicador *hidrologia* (0,63 versus 0,46, respectivamente).

Comparação com a sustentabilidade integrada de bacias latino-americanas

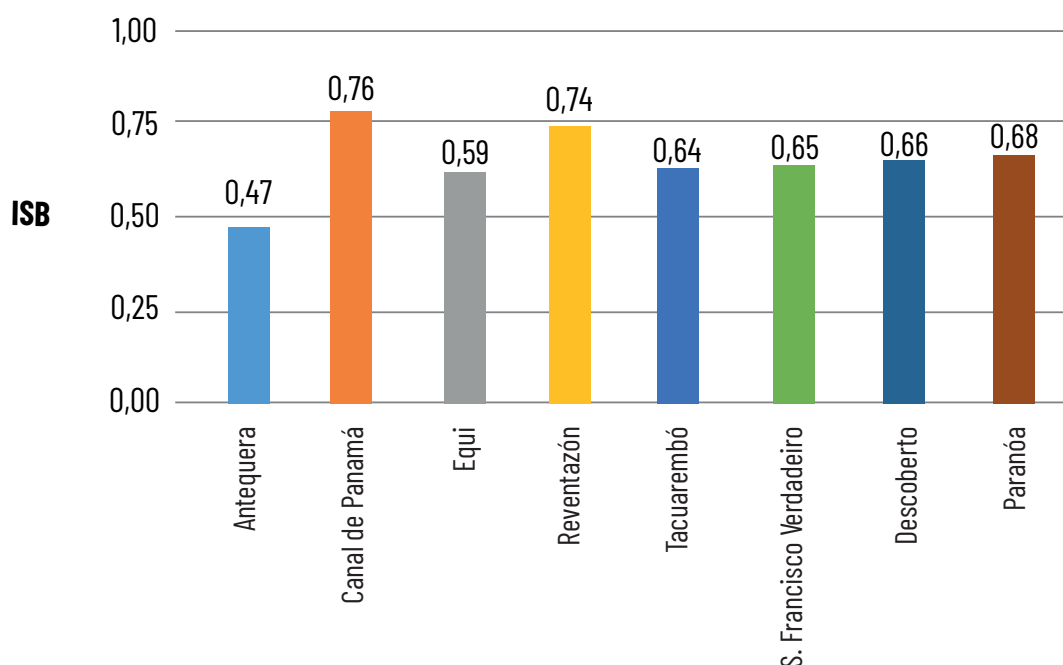
Os resultados do ISB das Bacias do Descoberto e do Paranoá, apresentados acima, foram comparados com os de outras bacias brasileiras e latino-americanas para avaliar seu grau de sustentabilidade integrada em termos nacionais e globais. As características das bacias analisadas são apresentadas na Tabela 3.40, e os resultados do índice ISB de cada uma delas são mostrados na Figura 3.6.

TABELA 3.40 – CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS BRASILEIRAS E LATINO-AMERICANAS QUE TIVERAM SEUS ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE DE BACIAS COMPARADOS

BACIA	PAÍS	ÁREA (KM²)	PERÍODO DE ANÁLISE
Antequera	Bolívia	226	1997-2001
Canal de Panamá	Panamá	3.000	2003-2007
Elqui	Chile	9.826	2001-2005
Reventazón	Costa Rica	3.000	2001-2005
Tacuarembó	Uruguai	16.900	1999-2004
S. Francisco Verdadeiro	Brasil	2.200	1996-2000
Descoberto	Brasil	801,2	2015-2018
Paranoá	Brasil	1.056	2015-2018

Fonte: elaboração do próprio autor

FIGURA 3.6 – COMPARAÇÃO ENTRE A SUSTENTABILIDADE DAS BACIAS DO DESCOBERTO E DO PARANOÁ COM A DE BACIAS BRASILEIRAS E ESTRANGEIRAS



Fonte: Chaves (2011)

Como se observa na Figura 3.6, as Bacias do Descoberto e do Paranoá apresentaram valores de ISB ligeiramente acima da média das seis bacias brasileiras e latino-americanas (0,64). Com exceção da bacia boliviana (baixa sustentabilidade), todas as outras apresentaram níveis médios de sustentabilidade integrada, com o ISB variando entre 0,5 e 0,8.

Apesar de os valores de ISB das bacias da Figura 3.6 serem semelhantes, os fatores limitantes (parâmetros com escores $\leq 0,5$) foram distintos em cada uma delas (CHAVES, 2011), requerendo ações diferenciadas para aumentar sua sustentabilidade integrada.

SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Os resultados da análise de sustentabilidade hídrica interanual para as Bacias do Descoberto e do Paranoá no cenário atual, levando em conta as condições presentes de oferta e demanda de água, são apresentados a seguir. Após são também apresentados os resultados da sustentabilidade hídrica da Bacia do Ribeirão Rodeador nos cenários atual e futuros de oferta e demanda de água.

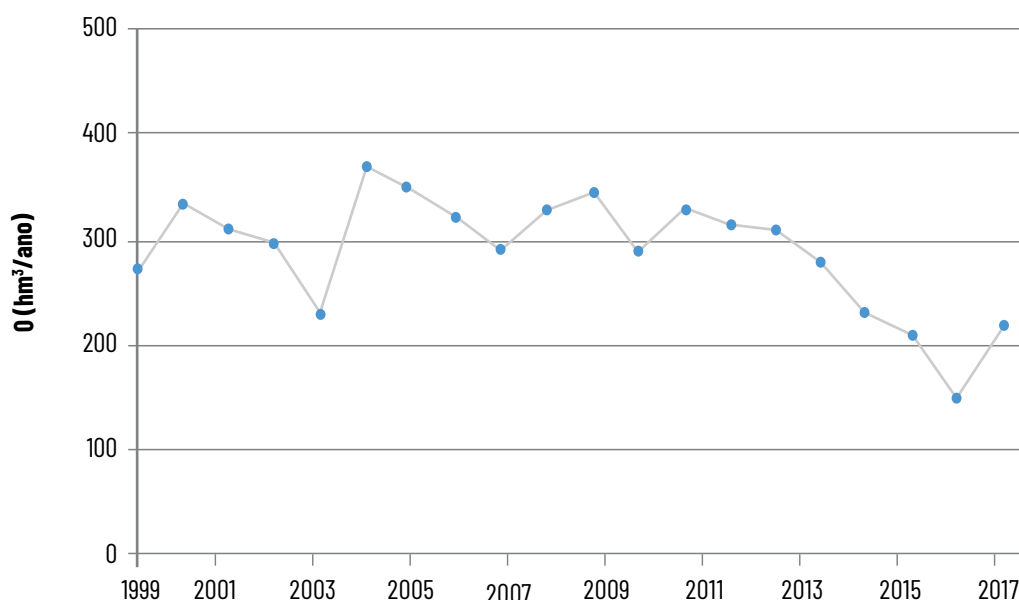
Bacia do Rio Descoberto

Para a estimativa de sustentabilidade hídrica da Bacia do Rio Descoberto foram quantificadas a oferta e a demanda efetivas de água na bacia no cenário atual. Esses resultados são apresentados a seguir.

Oferta de água

A oferta efetiva média anual de água na bacia foi tomada como a média das vazões afluentes anuais ao reservatório (1999-2018) somada a 76% do seu volume útil, que foi a média de volume remanescente ao final do ano. Essa oferta efetiva é apresentada na Figura 3.7.

FIGURA 3.7 – OFERTA DE ÁGUA MÉDIA ANUAL NA BACIA DO RIO DESCOBERTO ENTRE 1999 E 2018



Fonte: elaboração do próprio autor

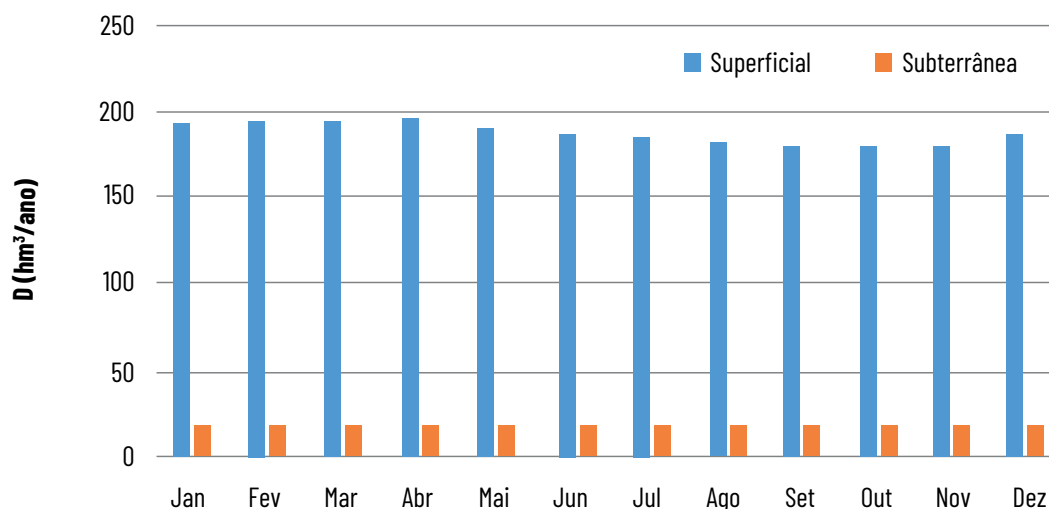
Considerando que a média das vazões afluentes médias anuais no período foi de 233,7 hm³/ano e que o volume útil do reservatório do Descoberto é de 72,2 hm³, a oferta efetiva média anual nos vinte anos da série da Figura 3.7 foi $O = 233,7 + 0,76 \cdot 72,2 = 288,6$ hm³/ano.

Demanda de água

A Figura 3.8 apresenta as outorgas mensais superficiais e subterrâneas da Bacia do Descoberto em 2017, as quais foram utilizadas para a estimativa da demanda média de água anual na bacia.

Conforme indicado anteriormente, a demanda efetiva total da bacia foi a soma do volume de outorga superficial médio anual e 50% do volume médio anual de outorga subterrânea, os quais são apresentados na Tabela 3.41. De acordo com essa tabela, a demanda efetiva de água na Bacia do Descoberto, refletindo os usos superficiais e subterrâneos, foi de 197,6 hm³/ano.

FIGURA 3.8 – OUTORGAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DE ÁGUA NA BACIA DO DESCOBERTO



Fonte: Unesco (2017)

TABELA 3.41 – OUTORGAS MÉDIAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS ANUAIS E DEMANDA EFETIVA DE ÁGUA ANUAL NA BACIA DO DESCOBERTO

VARIÁVEL	OUT _{SUP}	OUT _{SUB}	DEMANDA
	----- HM³/ANO -----		
Valor	188,7	17,8	197,6

Fonte: elaboração do próprio autor

Sustentabilidade hídrica da bacia no cenário atual

A sustentabilidade hídrica da Bacia do Descoberto no cenário atual foi obtida pela aplicação do índice SDRH (equação 2.1). Considerando que a oferta efetiva média de água na bacia foi de 288,6 hm³/ano e que a demanda efetiva foi 197,6 hm³/ano, a sustentabilidade hídrica interanual da bacia foi $SDRH = (288,6 - 197,6) / 288,6 = 0,32$.

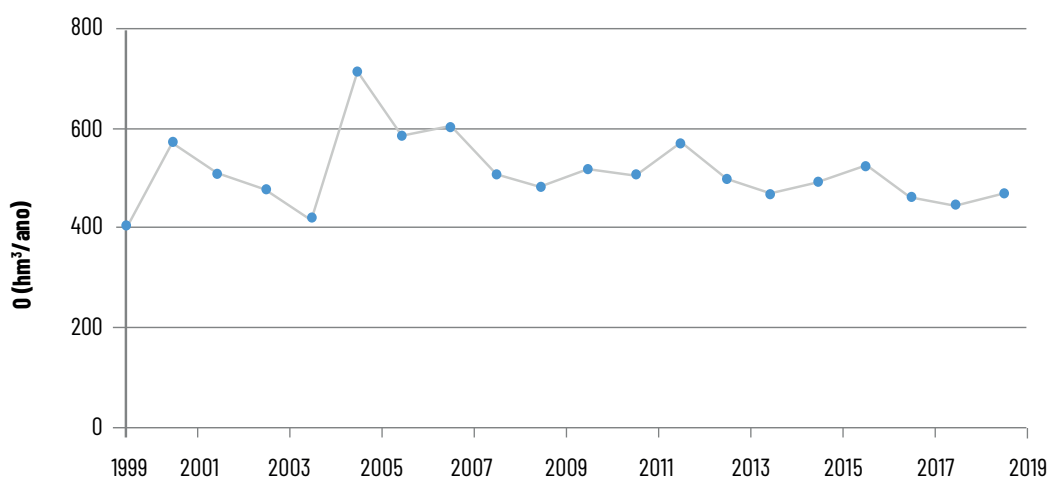
De acordo com Xu *et al.* (2002), o valor de 0,32 corresponde a uma *média* sustentabilidade hídrica. Entretanto, de acordo com os autores, o valor aproxima-se da condição de estresse hídrico (0,2).

Bacia do Rio Paranoá

Oferta de água na bacia

Semelhante à Bacia do Descoberto, a oferta efetiva de água média anual na Bacia do Paranoá foi obtida pela soma da média das vazões afluentes anuais ao reservatório e de 76% do volume útil dos reservatórios do Paranoá e de Santa Maria. A Figura 3.9 apresenta a oferta efetiva anual na bacia no período entre 1999 e 2018.

FIGURA 3.9 – OFERTA EFETIVA DE ÁGUA NA BACIA DO RIO PARANOÁ NO PERÍODO ENTRE 1999 E 2018



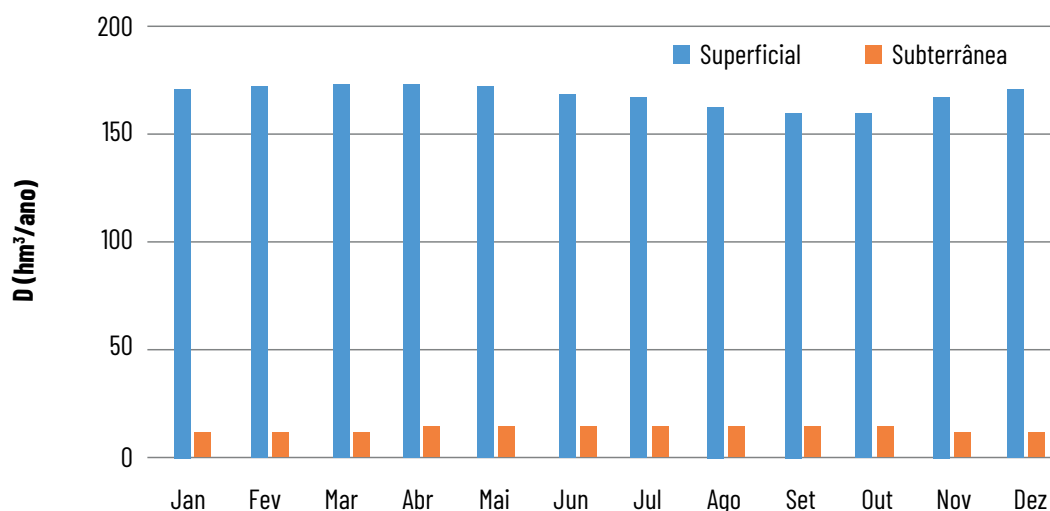
Fonte: elaboração do próprio autor

Conforme indica o valor médio da Figura 3.9, a oferta efetiva de água na Bacia do Paranoá na situação atual é de 517,7 hm³/ano.

Demanda de água na bacia

A Figura 3.10 apresenta as outorgas mensais superficiais e subterrâneas da Bacia do Paranoá, cuja média foi utilizada para a estimativa da demanda efetiva de água anual na bacia.

FIGURA 3.10 – OUTORGAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO RIO PARANOÁ



Fonte: Adasa (2017)

Conforme indicado anteriormente, a demanda efetiva total da bacia foi a soma do volume de outorga superficial médio anual e metade do volume de outorga subterrânea na bacia, os quais são apresentados na Tabela 3.42. De acordo com essa tabela, a demanda efetiva de água na Bacia do Paranoá, refletindo os usos superficiais e subterrâneos, foi de 175,6 hm³/ano.

TABELA 3.42 – OUTORGAS MÉDIAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS ANUAIS E DEMANDA EFETIVA DE ÁGUA ANUAL NA BACIA DO PARANOÁ

VARIÁVEL	OUT _{SUP}	OUT _{SUB}	DEMANDA
	HM³/ANO		
Valor	168,8	13,7	175,6

Fonte: elaboração do próprio autor

Sustentabilidade hídrica da bacia no cenário atual

Considerando que a oferta efetiva de água na Bacia do Paranoá é de 517,7 hm³/ano e que a demanda efetiva é de 175,6 hm³/ano, a sustentabilidade hídrica interanual da bacia no cenário atual foi $SDRH = (517,7 - 175,6) / 517,7 = 0,66$. De acordo com Xu *et al.* (2002), este valor corresponde a uma *média* sustentabilidade hídrica.

Bacia do Ribeirão Rodeador

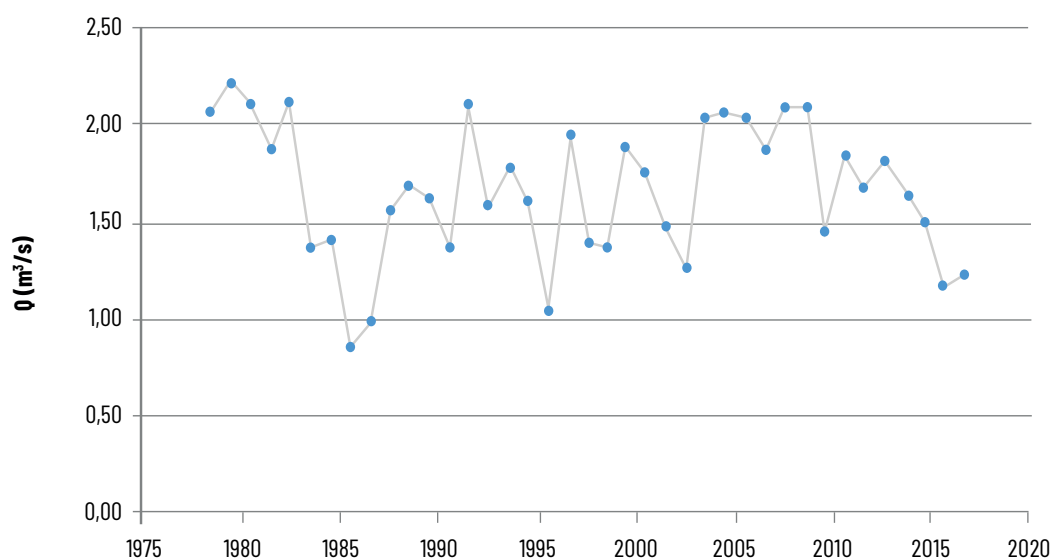
Oferta de água no cenário atual

Uma vez que se trata de um curso d'água não regulado, a oferta de água efetiva da Bacia do Ribeirão Rodeador no cenário atual foi sua vazão média de longo termo, obtida do posto fluviométrico n. 60435200, situado no seu exutório, no período entre 1979 e 2017 (N = 39 anos).

Esta série observada foi naturalizada por meio da reconstituição de vazões (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Esse procedimento foi necessário para retirar o viés do uso consuntivo de irrigação pelo Canal do Rodeador (0,38 m³/s) para se obter a oferta natural de água na bacia (ONS, 2003).

Além disso, foi descontada a vazão remanescente do Ribeirão Rodeador em sua foz, estimada como 0,14 m³/s, a qual foi obtida a partir da regionalização de vazões (CHAVES *et al.*, 2002), tomando como base a vazão de restrição na Barragem do Descoberto (0,6 m³/s) (ROCHA; CEZAR, 2015). Assim, a oferta efetiva de água anual na Bacia do Ribeirão Rodeador é apresentada na Figura 3.11, e a média e o desvio-padrão da oferta são mostrados na Tabela 3.43.

FIGURA 3.11 – OFERTA DE ÁGUA ANUAL DO RIBEIRÃO RODEADOR (1979-2017) DEPOIS DA RECONSTITUIÇÃO DE VAZÕES, JÁ DESCONTADA A VAZÃO DE RESTRIÇÃO



Fonte: elaboração do próprio autor

TABELA 3.43 – VAZÃO MÉDIA, OFERTA EFETIVA MÉDIA ANUAL DE ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO RODEADOR E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS-PADRÃO

VARIÁVEL	Q _m	D.P.	O	D.P.
	M ³ /S	M ³ /S	HM ³ /ANO	HM ³ /ANO
Valor	1,66	0,36	52,3	11,3

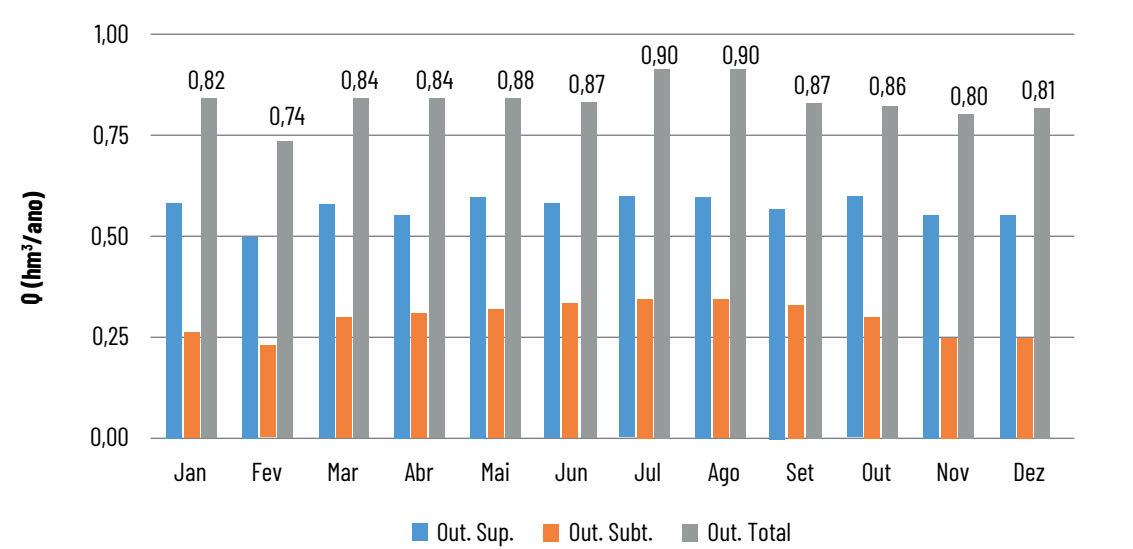
Fonte: elaboração do próprio autor

Como se observa na Tabela 3.43, a oferta efetiva média de água da Bacia do Rodeador no longo termo é de 1,66 m³/s, equivalente a 52,3 hm³/ano. Este valor foi usado para a estimativa da sustentabilidade hídrica da bacia no cenário atual.

Demanda de água na bacia no cenário atual

A demanda de água na Bacia do Rodeador foi obtida das outorgas superficiais e subterrâneas na bacia (Figura 3.12). Ambas as fontes de água dessa figura são usadas na irrigação de 2.921 ha de olericultura e 238 ha de fruticultura. O pequeno valor usado para abastecimento humano (0,04 m³/s) (UNESCO, 2017) já está embutido nos valores totais outorgados.

FIGURA 3.12 – VOLUMES DE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA OUTORGADOS NA BACIA DO RODEADOR NO CENÁRIO ATUAL



Fonte: Unesco (2017)

Conforme indicado anteriormente e em função da hidrogeologia local e da captura parcial do escoamento de base do Ribeirão Rodeador pelos poços tubulares, supôs-se que a demanda efetiva total anual de água na bacia fosse a soma do volume anual de outorgas superficiais e da metade do volume de outorgas subterrâneas. No caso da Bacia do Rodeador, esses valores são apresentados na Tabela 3.44.

TABELA 3.44 – OUTORGAS MÉDIAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS ANUAIS E DEMANDA EFETIVA DE ÁGUA ANUAL NA BACIA DO RIBEIRÃO RODEADOR

VARIÁVEL	OUT _{SUP}	OUT _{SUB}	DEMANDA
	HM³/ANO		
Valor	17,6	9,0	22,1

Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a Tabela 3.44, a demanda média anual de água na Bacia do Ribeirão Rodeador foi de 22,12 hm³/ano, equivalente a 0,70 m³/s. Este foi o valor utilizado para a estimativa da demanda usando o índice SDRH.

Sustentabilidade hídrica no cenário atual

Considerando que a oferta efetiva anual de água na Bacia do Rodeador foi de 52,3 hm³/ano e que a demanda efetiva foi de 22,1 hm³/ano, a sustentabilidade hídrica interanual da bacia no cenário atual foi $(52,3 - 22,1) / 52,3 = 0,58$. Este valor, de acordo com Xu *et al.* (2002), é considerado *média* sustentabilidade hídrica.

Sustentabilidade hídrica nos cenários futuros

A oferta de água da Bacia do Rodeador em cenários futuros de clima utilizou dados de vazões obtidas de projeções de P e T do modelo HadGEM2/Eta (5 x 5 km) nos cenários de emissões RCP 4.5 e 8.5 nos anos de 2040 e 2070. A transformação de P e T em vazões anuais futuras foi feita com o modelo hidrológico de Gardner (equação 2.10).

A demanda de água futura da bacia, por sua vez, utilizou projeções de demanda para o ano de 2026 (UNESCO, 2017), a qual foi tomada como 0,72 m³/s. A Tabela 3.45 apresenta os resultados de oferta e demanda de água na bacia, bem como o índice SDRH nos cenários futuros.

TABELA 3.45 - VALORES DE P E T MÉDIOS ANUAIS PARA OS DISTINTOS CENÁRIOS FUTUROS NA BACIA DO RODEADOR, BEM COMO OS VALORES DE O, D E DO ÍNDICE SDRH

ANO	CENÁRIO	T (°C)	P (MM)	O (M ³ /S)	D (M ³ /S)	SDRH	NÍVEL
2040	RCP 4.5	23,4	1463,5	1,29	0,72	0,44	Médio
2040	RCP 8.5	24,8	831,8	0,21	0,72	0,00	Baixo
2070	RCP 4.5	24,9	939,2	0,31	0,72	0,00	Baixo
2070	RCP 8.5	26,8	678,5	0,06	0,72	0,00	Baixo

Fonte: elaboração do próprio autor

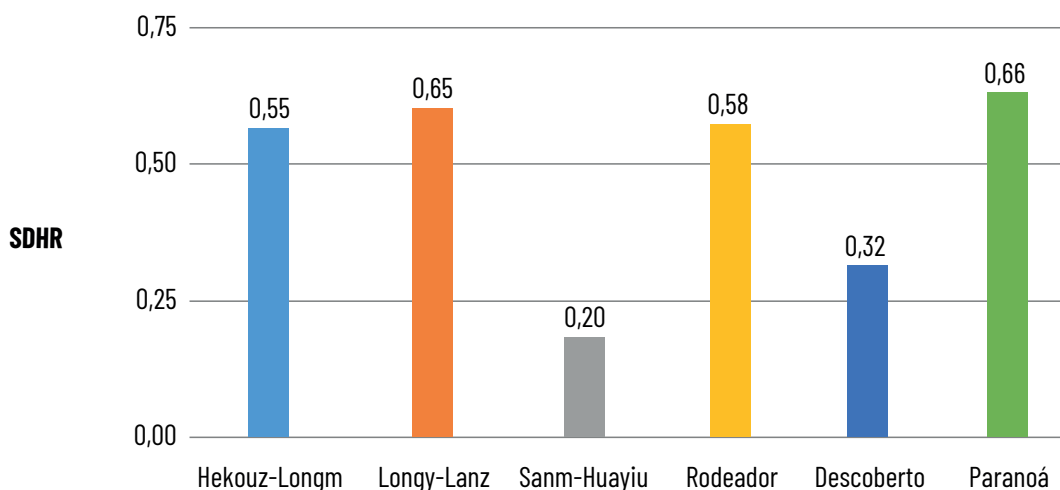
De acordo com a Tabela 3.45, a sustentabilidade hídrica da Bacia do Rodeador, que no cenário atual foi de 0,58 (média), seria reduzida drasticamente nos cenários futuros de clima de demanda de água, chegando a zero em três dos quatro cenários futuros analisados.

Essa drástica redução na sustentabilidade hídrica dar-se-ia principalmente em função da forte redução da precipitação anual na bacia nos cenários futuros, diminuindo significativamente a oferta de água. Contribuíram em menor grau para a redução do SDRH o aumento da temperatura e o aumento da demanda de água.

Comparação com a sustentabilidade hídrica de outras bacias

A Figura 3.13 apresenta os valores de sustentabilidade hídrica atual das Bacias do Descoberto, do Paranoá e do Rodeador e os de bacias estrangeiras calculados por Xu *et al.* (2002) usando o índice SDRH.

FIGURA 3.13 – SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DAS BACIAS DO DESCOBERTO, DO PARANOÁ E DO RODEADOR E DE TRÊS OUTRAS BACIAS CHINESAS



Fonte: Xu *et al.* (2002)

Conforme indica a Figura 3.13, as Bacias do Rodeador, do Paranoá e do Descoberto apresentam valores médios de SDRH (0,2-0,8), embora a última se aproxime do limite inferior de sustentabilidade hídrica (0,2).

RISCO HÍDRICO DA BACIA DO RODEADOR

O risco hídrico intra-anual da Bacia do Ribeirão Rodeador nos cenários atual e futuros de clima e demanda de água foi calculado pelo Índice de Risco Hídrico, desenvolvido neste estudo. Esses resultados são apresentados a seguir para a Bacia do Rodeador.

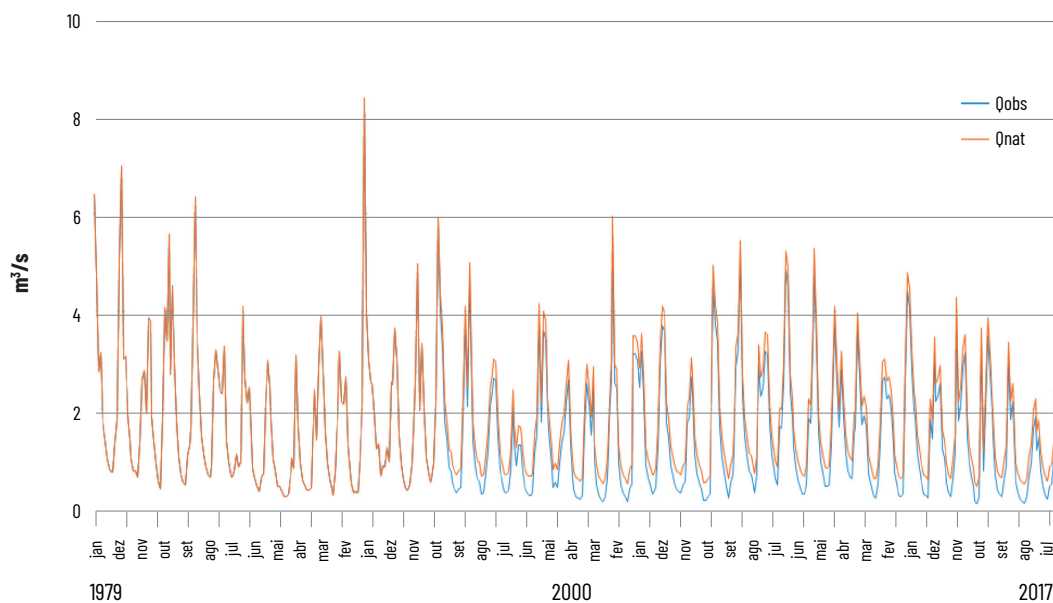
Risco hídrico no cenário atual

O risco hídrico intra-anual da Bacia do Rodeador na situação atual utilizou cenários atuais de oferta (1979-2017) e demanda (2017) de água na bacia, e os resultados são apresentados a seguir.

Oferta de água no cenário atual

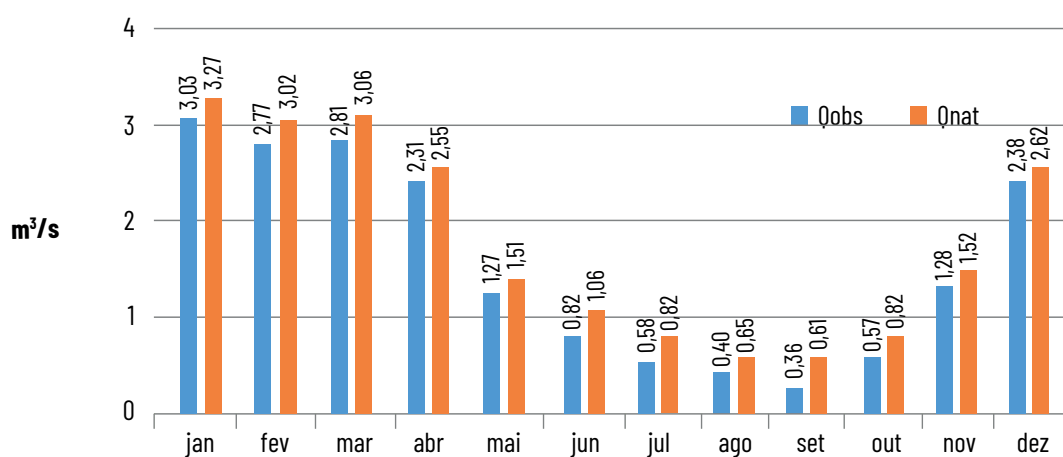
A série de vazões naturais mensais do Ribeirão Rodeador no período entre 1979 e 2017, depois da reconstituição de vazões, é apresentada na Figura 3.14. A Figura 3.15 apresenta as médias mensais das vazões naturais do ribeirão.

FIGURA 3.14 – VAZÕES OBSERVADAS E NATURAIS MENSAS DO RIBEIRÃO RODEADOR (1979-2017)



Fonte: elaboração do próprio autor

FIGURA 3.15 – VAZÕES MENSAS MÉDIAS OBSERVADAS E NATURAIS DO RIBEIRÃO RODEADOR (1979-2017)



Fonte: elaboração do próprio autor

Os valores mensais médios de Q_{nat} da Figura 3.15, mostradas em cor laranja na Figura 3.15, foram utilizados como a oferta mensal média de água, uma vez que eles representam a variabilidade média intra-anual das vazões naturais da bacia. A vazão média mensal de longo termo da série da Figura 3.15 foi de 1,79 m³/s. Esta e as outras estatísticas da série de vazões naturais mensais são apresentadas na Tabela 3.46.

TABELA 3.46 – ESTATÍSTICAS DAS VAZÕES NATURAIS MENSAIS RECONSTITUÍDAS NO RIBEIRÃO RODEADOR (1979-2017)

VARIÁVEL	Q_{MED}	Q_{MAX}	Q_{MIN}	D.P.
	M ³ /S			
Valor	1,79	3,27	0,61	1,04

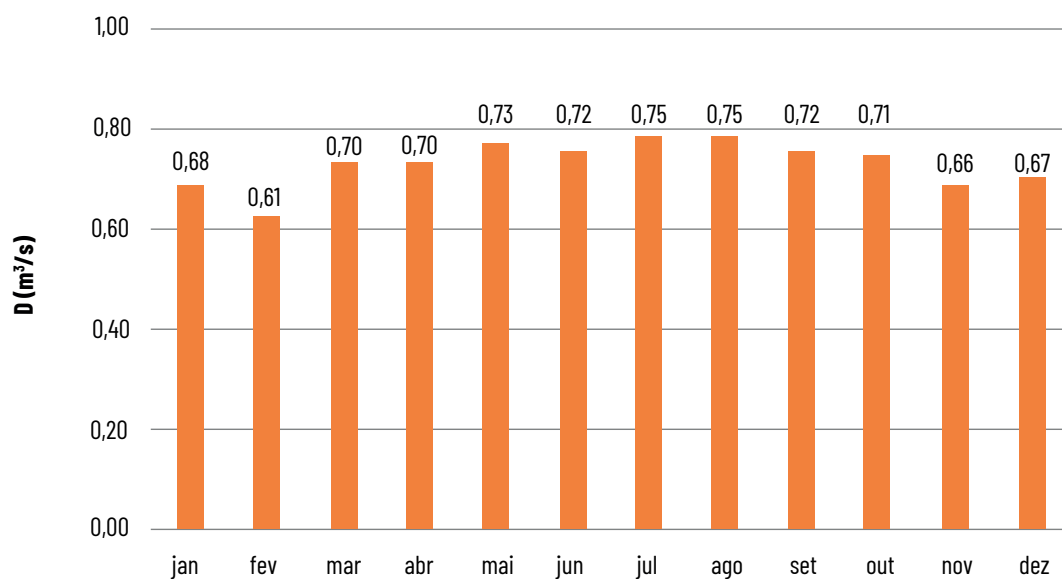
Fonte: elaboração do próprio autor

Considerando a pequena dimensão da Bacia do Rodeador, seu caráter alongado e a elevada porosidade e condutividade do seu sistema subterrâneo (ADASA, 2018), supôs-se que no longo prazo e em condições naturais (sem bombeamento de poços) a rede de drenagem da bacia recebe toda a descarga dos seus aquíferos pelo escoamento de base (ALBUQUERQUE; CHAVES, 2011). Assim, a oferta de água superficial da bacia, estimada acima, inclui, de forma indireta, sua oferta de água subterrânea.

Demanda de água no cenário atual

A demanda de água intra-anual no cenário atual foi obtida com base na demanda média anual atual, indicada anteriormente (0,70 m³/s), sendo a demanda mensal proporcional aos valores mensais outorgados (Figura 3.12). Assim, a Figura 3.16 apresenta as demandas mensais médias na Bacia do Rodeador no cenário atual.

FIGURA 3.16 – DEMANDAS MENSAIS MÉDIAS NA BACIA DO RODEADOR NO CENÁRIO ATUAL



Fonte: elaboração do próprio autor

Risco hídrico na Bacia do Rodeador no cenário atual

Para que a equação 2.8 pudesse ser aplicada corretamente e o risco hídrico para a bacia pudesse ser calculado, a normalidade das distribuições de oferta e demanda efetiva de água foi verificada. Como os valores do teste KS foram inferiores ao limite de Kolmogorov-Smirnov para um nível 95% de probabilidade (0,38), as distribuições de oferta e demanda de água foram consideradas normalmente distribuídas.

Assim, o risco hídrico intra-anual da Bacia do Rodeador, estimado pela probabilidade de falha (p_f) no cenário atual e utilizando as distribuições de oferta e demanda efetiva de água, é apresentado na Tabela 3.47.

TABELA 3.47 – RISCO HÍDRICO INTRA-ANUAL DA BACIA DO RODEADOR NO CENÁRIO ATUAL

RISCO HÍDRICO INTRA-ANUAL		
MÊS	OFERTA	DEMANDA
	M ³ /S	M ³ /S
Jan.	3,27	0,68
Fev.	3,02	0,61
Mar.	3,06	0,70
Abr.	2,55	0,70
Mai.	1,51	0,73
Jun.	1,06	0,72
Jul.	0,82	0,75
Ago.	0,65	0,75
Set.	0,61	0,72
Out.	0,82	0,71
Nov.	1,52	0,66
Dez.	2,62	0,67
Média	1,79	0,70
D.P.	1,04	0,04
r_{o,d}	-0,69	
IRH (p_f)	15,3%	

Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a Tabela 3.47, o risco hídrico *intra-anual* da Bacia do Rodeador no cenário atual foi de 15,3%. Em termos práticos isso significa que a demanda de água ultrapassaria a oferta 1,5 vezes a cada dez anos. Isso porque a oferta de água durante a estação seca de alguns anos estaria abaixo da demanda, gerando um colapso no atendimento, mesmo com a média da oferta superior à da demanda.

Como indicado na Tabela 3.47, a oferta é negativamente correlacionada com a demanda de água na bacia ($r = -0,69$), fato que contribuiu para que p_f ultrapassasse o limite aceitável de 5% na bacia (CHAVES; LORENA; 2019).

Risco hídrico nos cenários futuros

A estimativa do risco hídrico intra-anual da Bacia do Ribeirão Rodeador utilizou distintos cenários futuros de oferta e demanda de água, e os resultados são apresentados a seguir.

Oferta de água nos cenários futuros

A oferta de água intra-anual na Bacia do Rodeador em 2040 e 2070 foi calculada usando os cenários de emissões RCP 4.5 e 8.5 do IPCC para a obtenção de P e T médias anuais utilizando o modelo HadGEM2/Eta.

Depois de os valores de P e T anuais médios terem sido obtidos na bacia por meio de análise espacial no SIG, foram obtidas a evapotranspiração média anual, com o modelo de Holland (equação 2.11), e a vazão média anual, com o modelo de Gardner (equação 2.10), para os anos de 2040 e 2070 nos dois cenários de emissões de GHG supramencionados.

As vazões mensais médias nos diferentes cenários foram obtidas utilizando uma relação linear entre as médias mensais e a média anual da série histórica de vazões da bacia (Tabela 3.48).

TABELA 3.48 – OFERTAS MENSAIS DE ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO RODEADOR COM BASE NAS PROJEÇÕES DO MODELO HADGEM2/5 KM E DOS MODELOS DE HOLLAND (1978) E GARDNER (2009)

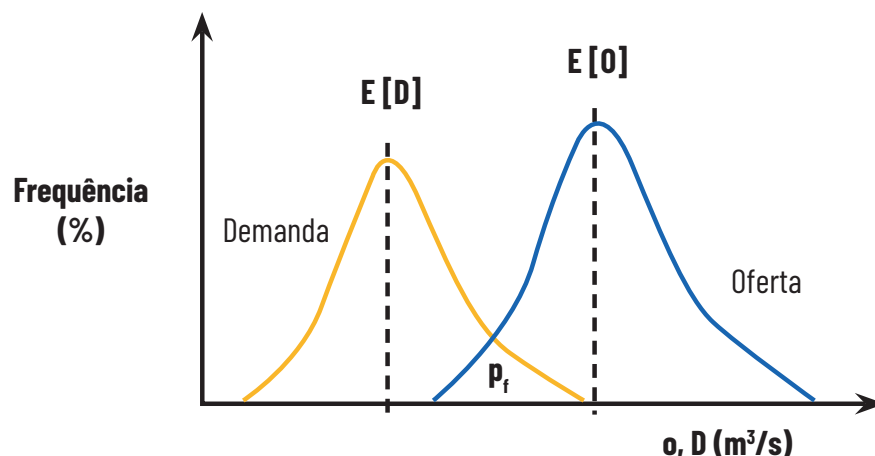
MÊS	OFERTAS MENSAIS DE ÁGUA/MODELO HADGEM2/5KM				
	1979-2017	2040		2070	
		RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5
		----- (M³/S) -----			
Jan.	3,27	2,35	0,38	0,57	0,12
Fev.	3,02	2,17	0,35	0,53	0,11
Mar.	3,06	2,20	0,35	0,54	0,11
Abr.	2,55	1,83	0,30	0,45	0,09
Mai.	1,51	1,09	0,18	0,27	0,05
Jun.	1,06	0,77	0,12	0,19	0,04
Jul.	0,82	0,59	0,10	0,14	0,03
Ago.	0,65	0,47	0,08	0,11	0,02
Set.	0,61	0,44	0,07	0,11	0,02
Out.	0,82	0,59	0,09	0,14	0,03
Nov.	1,52	1,09	0,18	0,27	0,06
Dez.	2,62	1,89	0,30	0,46	0,10

Fonte: elaboração do próprio autor

Como se observa na Tabela 3.48, haveria uma drástica redução da oferta de água na Bacia do Rodeador em todos os cenários futuros em relação ao cenário atual. Essas reduções decorrem do significativo incremento da temperatura média anual, aumentando a evapotranspiração na bacia, e, principalmente, da forte redução na sua precipitação anual.

Apesar de esta análise hidrológica não incluir as vazões de referência mínima da bacia, utilizadas para fins de outorga de água, o cálculo do risco hídrico utiliza a distribuição das vazões mensais médias, incorporando tanto a variabilidade inter-anual da série histórica como a intra-anual (períodos seco e chuvoso). Como a cauda inferior da distribuição da oferta de água (Figura 3.17) incorpora as vazões mínimas da série, as vazões de referência estão, indiretamente, embutidas na análise estocástica do IRH.

FIGURA 3.17 – DISTRIBUIÇÕES DE OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA E A RESPECTIVA PROBABILIDADE DE FALHA



Fonte: elaboração do próprio autor

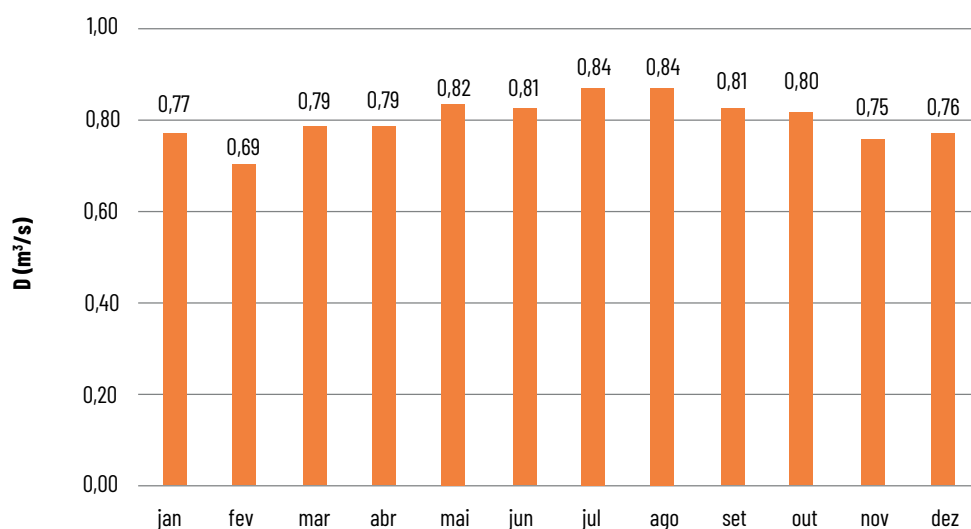
Demanda de água nos cenários futuros

A estimativa da demanda futura de água na Bacia do Rodeador partiu do valor da demanda efetiva total média de água na situação atual ($0,70 \text{ m}^3/\text{s}$) e de uma projeção de aumento de 12,7% no ano de 2026 (UNESCO, 2017). Desse modo, aplicando-se este aumento à demanda total no cenário atual teríamos, em 2026, uma demanda de água de $0,79 \text{ m}^3/\text{s}$.

Considerando que a oferta média de água anual na bacia é de $1,79 \text{ m}^3/\text{s}$ e que a demanda de $0,79 \text{ m}^3/\text{s}$ já ultrapassa o nível crítico da razão demanda/oferta usada no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) ($d/o = 0,4$), o valor de $0,79 \text{ m}^3/\text{s}$ foi tomado como a demanda efetiva média anual de água na Bacia do Rodeador.

Aplicando-se linearmente a distribuição de vazões outorgadas mensais na bacia à média anual acima obteve-se a demanda efetiva mensal de água na bacia nos cenários futuros (Figura 3.18).

FIGURA 3.18 – DEMANDA MENSAL MÉDIA DE ÁGUA NA BACIA DO RIBEIRÃO RODEADOR EM 2040 E 2070



Fonte: elaboração do próprio autor

Risco hídrico na Bacia do Rodeador nos cenários futuros

Os valores de risco hídrico intra-anual para a Bacia do Rodeador, calculados pela probabilidade de falha e usando as projeções futuras de oferta e demanda efetiva de água da bacia, são apresentados na Tabela 3.49.

TABELA 3.49 – RISCO HÍDRICO INTRA-ANUAL PARA A BACIA DO RODEADOR EM 2040 E 2070 USANDO AS PROJEÇÕES FUTURAS DE OFERTA E DEMANDA DE ÁGUA

MÊS	OFERTA				DEMANDA
	2040		2070		
	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 4.5	RCP 8.5	
	----- M³/S -----				
Jan.	2,35	0,38	0,57	0,12	0,77
Fev.	2,17	0,35	0,53	0,11	0,69
Mar.	2,20	0,35	0,54	0,11	0,79
Abr.	1,83	0,30	0,45	0,09	0,79
Mai.	1,09	0,18	0,27	0,05	0,82
Jun.	0,77	0,12	0,19	0,04	0,81
Jul.	0,59	0,10	0,14	0,03	0,84
Ago.	0,47	0,08	0,11	0,02	0,84
Set.	0,44	0,07	0,11	0,02	0,81
Out.	0,59	0,09	0,14	0,03	0,80
Nov.	1,09	0,18	0,27	0,06	0,75
Dez.	1,89	0,30	0,46	0,10	0,76
Média	1,29	0,21	0,32	0,07	0,79
D.P.	0,74	0,12	0,18	0,04	0,04
r _{0,0}	-0,69	-0,68	-0,69	-0,72	-
IRH (p _i)	25,9	100,0	98,7	100,0	-

Fonte: elaboração do próprio autor

A tabela acima indica que o risco hídrico no cenário RCP 4.5 em 2040 seria de 25,9%, quase o dobro do observado no cenário atual (15,3%). Por outro lado, nos três outros cenários futuros, o risco hídrico seria ainda maior (98,7% a 100%). Em todos os cenários futuros o risco hídrico para a Bacia do Rodeador seria inaceitável (> 5%) (CHAVES; LORENA, 2019), requerendo medidas efetivas de prevenção e adaptação para seu enfrentamento.

INTEGRAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE E DO RISCO HÍDRICO NA BACIA DO RODEADOR

Os resultados da sustentabilidade e do risco hídrico na Bacia do Rodeador nos distintos cenários analisados são apresentados de maneira integrada na Tabela 3.50. Esta tabela indica que à medida que a sustentabilidade hídrica inter-anual diminui o risco hídrico intra-anual aumenta, e vice-versa.

TABELA 3.50 – RESUMO DOS RESULTADOS DA SUSTENTABILIDADE E DO RISCO HÍDRICO NA BACIA DO RODEADOR NOS CENÁRIOS ATUAL E FUTUROS

INDICADOR/CENÁRIO	ATUAL	2040		2070	
		4.5	8.5	4.5	8.5
Sustentação hídrica	0,70	0,44	0,00	0,00	0,00
Risco hídrico	15,3%	25,9%	100,0%	98,7%	100,0%

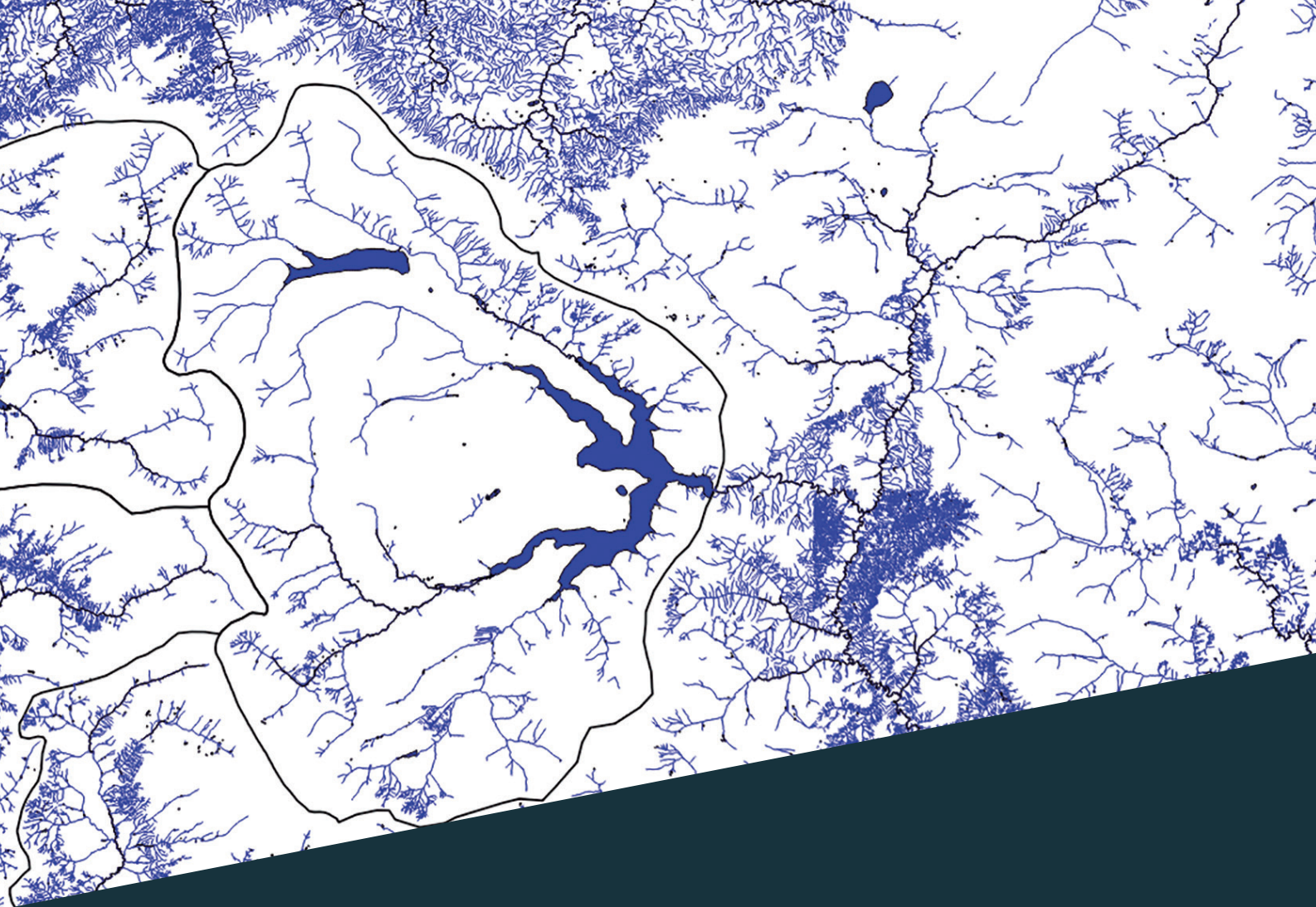
Fonte: elaboração do próprio autor

De acordo com a tabela acima, além do fato de três dos cinco cenários na bacia terem ficado abaixo do limite inferior de sustentabilidade hídrica (0,2), o limite tolerável de 5% para o risco hídrico foi ultrapassado em todos eles. Esses resultados indicam que medidas de prevenção e adaptação são necessárias para que os cenários da Tabela 3.50 sejam evitados, sob pena de haver graves consequências socioeconômicas e ambientais para a bacia.

Apesar de o escopo deste estudo não ter abrangido os cenários futuros de oferta e demanda de água nas Bacias do Descoberto e do Paranoá, considerando seus resultados de SDRH no cenário atual (Figura 3.13), é muito provável que sua sustentabilidade e seu risco hídrico fossem também inaceitáveis no futuro.

Além disso, como a sustentabilidade hídrica da Bacia do Rodeador foi negativamente correlacionada com seu risco hídrico (Tabela 3.50), esperar-se-ia no futuro uma tendência de aumento do IRH para as Bacias do Descoberto e do Paranoá.





4 INCERTEZAS DAS ESTIMATIVAS

Previsões de sustentabilidade e de risco hídrico possuem incertezas que podem reduzir a confiabilidade dos seus resultados e, conseqüentemente, afetar o processo de tomada de decisão.

Os índices utilizados neste estudo apresentam, por sua vez, incertezas *intrínsecas* e *extrínsecas*, as quais devem ser analisadas em conjunto com seus resultados objetivando melhor orientar os usuários e os decisores. Neste capítulo, essas fontes de incertezas e seus impactos são analisados.

SUSTENTABILIDADE INTEGRADA

Apesar de dados oficiais e quantitativos terem sido utilizados na estimativa da sustentabilidade integrada das bacias estudadas, reduzindo as principais fontes de erro, alguns dos dados usados foram qualitativos, tais como as avaliações feitas pelos gestores e pela sociedade civil por meio de questionários.

Essa subjetividade nos parâmetros qualitativos, por sua vez, contribui para a incerteza dos resultados dos respectivos indicadores e, por consequência, do resultado final do ISB. Entretanto, como o número de parâmetros qualitativos e subjetivos foi pequeno, essa incerteza foi reduzida.

Mesmo no caso dos dados quantitativos existem incertezas associadas, tais como variabilidades espaciais e temporais, bem como erros de medição, inerentes ao processo de monitoramento hidroambiental e socioeconômico.

Todavia, em função da estrutura linear e aditiva do ISB (equação 2.2), uma eventual superestimativa em um dos indicadores do índice seria, com boa chance, compensada por uma subestimativa em outro (CHAVES; ALÍPAZ, 2007), reduzindo assim a incerteza do resultado final do ISB. Essa linearidade matemática potencialmente redutora de propagação de erro é também uma qualidade desejável em modelos matemáticos (CHAVES; NEARING; 1991).

Ressalta-se que os resultados do ISB para as Bacias do Descoberto (0,66) e do Paranoá (0,68) foram próximos. Como as duas bacias apresentam características fisiográficas, hidrológicas e socioeconômicas semelhantes, seus valores de ISB provavelmente refletiram de forma realística as respectivas sustentabilidades.

SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Considerando que a sustentabilidade hídrica das Bacias do Paranoá, do Descoberto e do Rodeador, calculada pelo SDRH (equação 2.3), levou em conta as médias da oferta e a demanda anual de água na bacia, é possível que estas tenham sido super/subestimadas no estudo. Contudo, como foram utilizados dados oficiais de vazões e de volumes outorgados de água, esse viés foi reduzido.

Apesar de os valores outorgados nas bacias analisadas não serem totalmente utilizados pelos usuários de água, potencialmente superestimando a demanda, é sabido que nas três bacias existem derivações de água e poços não autorizados, o que pode ter contribuído para uma subestimativa. Nesse sentido, os valores outorgados oficiais, usados no estudo, tornam-se um meio-termo entre as duas situações citadas, reduzindo o viés na estimativa da demanda.

Quanto à oferta de água, os valores médios das vazões afluentes e dos volumes remanescentes nos reservatórios, obtidos de séries históricas, é um estimador imparcial da oferta de água na situação atual. A soma dessas médias representa, por sua vez, o comportamento médio de longo prazo de oferta de água nas bacias, mas não sua variabilidade. No entanto, considerando o pequeno desvio-padrão da oferta de água interanual (Figuras 3.7 e 3.9), não se esperariam grandes variações na sua sustentabilidade hídrica ao longo dos anos.



Semelhantemente ao caso do ISB, a estrutura linear e aditiva do SDRH (equação 2.3) permite que eventuais superestimativas num dos dois indicadores seja compensada por subestimativa no outro, reduzindo assim a incerteza na estimativa do valor do índice.

RISCO HÍDRICO

No caso do risco hídrico intra-anual calculado para a Bacia-piloto do Rodeador nos cenários atuais e futuros de clima e demanda de água as incertezas resultam tanto dos erros nos dados atuais como daqueles das projeções futuras.

No caso dos dados atuais, tanto a oferta como a demanda de água utilizaram valores médios mensais de dados oficiais. No caso da oferta, as médias usaram a série histórica de vazões de longo prazo, refletindo o comportamento hidrológico médio da bacia, sendo uma estimativa imparcial da oferta atual.

No caso da demanda de água, sua estimativa partiu de dados oficiais de outorga de água na bacia, ajustados para refletir a realidade de seu consumo de água. Apesar de o índice de risco hídrico (equação 2.8) ter uma estrutura matemática não linear, potencializando a propagação de erro no interior da equação, a incorporação da variabilidade temporal do processo (distribuições de oferta e demanda de água mensais) e o caráter estocástico do índice, parte das incertezas foram incorporadas ao resultado final do IRH.

Em relação aos cenários futuros de clima e à demanda de água, é sabido que há incertezas relativas às projeções de modelos GCM, mesmo regionalizadas, principalmente em baixas latitudes (YOO; CHO; 2018). Além disso, a utilização de projeções de P e T de apenas um modelo (HadGEM2/Eta) pode gerar um viés na análise (TEUTSCHBEIN; SEIBERT; 2012).

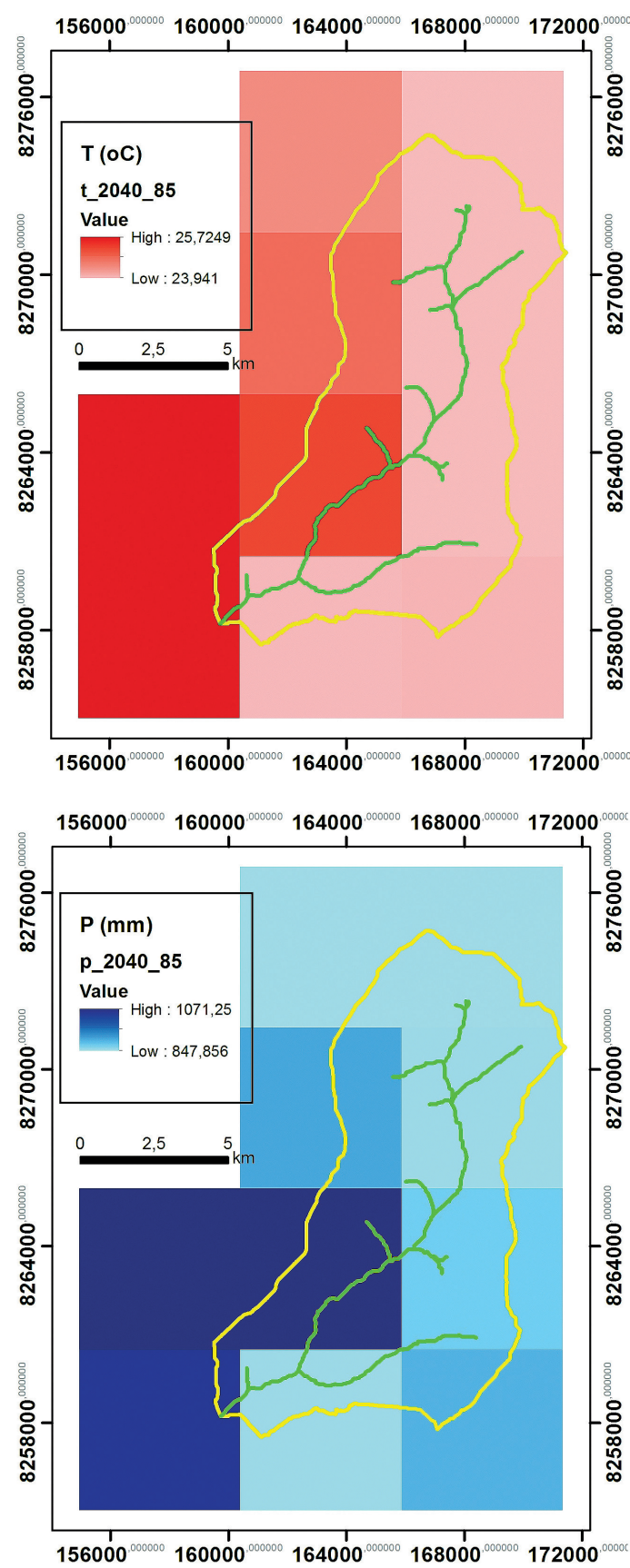
Contudo, para avaliar esse viés potencial, dados de P e T anuais de quatro outros GCM (BESM, CanESM2, HadGEM2 e MIROC5), regionalizados pelo modelo Eta (20 km) em 2040 e 2070, foram comparados com os projetados pelo modelo HadGEM2 (20 km). As projeções de P e T médias dos cinco modelos para a bacia foram estatisticamente iguais pelo teste de Tukey, indicando que o modelo GCM utilizado neste estudo (HadGEM2/Eta-5 km) foi adequado.

Além disso, o modelo de Gardner (equação 2.10) foi validado usando-se simulações com dados históricos de P e T projetados pelo modelo HadGEM2/Eta. As vazões calculadas pelo modelo e as observadas na bacia revelaram um bom ajuste estatístico, indicando sua robustez.

As incertezas espaciais nos cenários futuros de clima foram reduzidas pela sua regionalização na escala de 5 x 5 km (Figura 4.1), permitindo assim que a variabilidade espacial climática fosse mais realística no processo de estimativa da oferta de água futura.



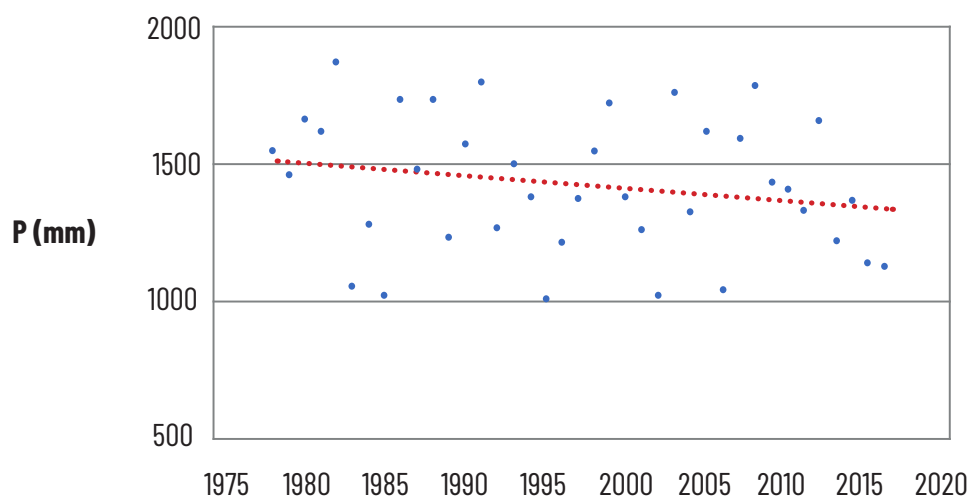
FIGURA 4.1 – PROJEÇÕES DE P (ACIMA) E T (ABAIXO) DO MODELO HADGEM2/ETA PARA A BACIA DO RODEADOR NA GRADE DE 5 X 5 KM



Fonte: elaboração do próprio autor

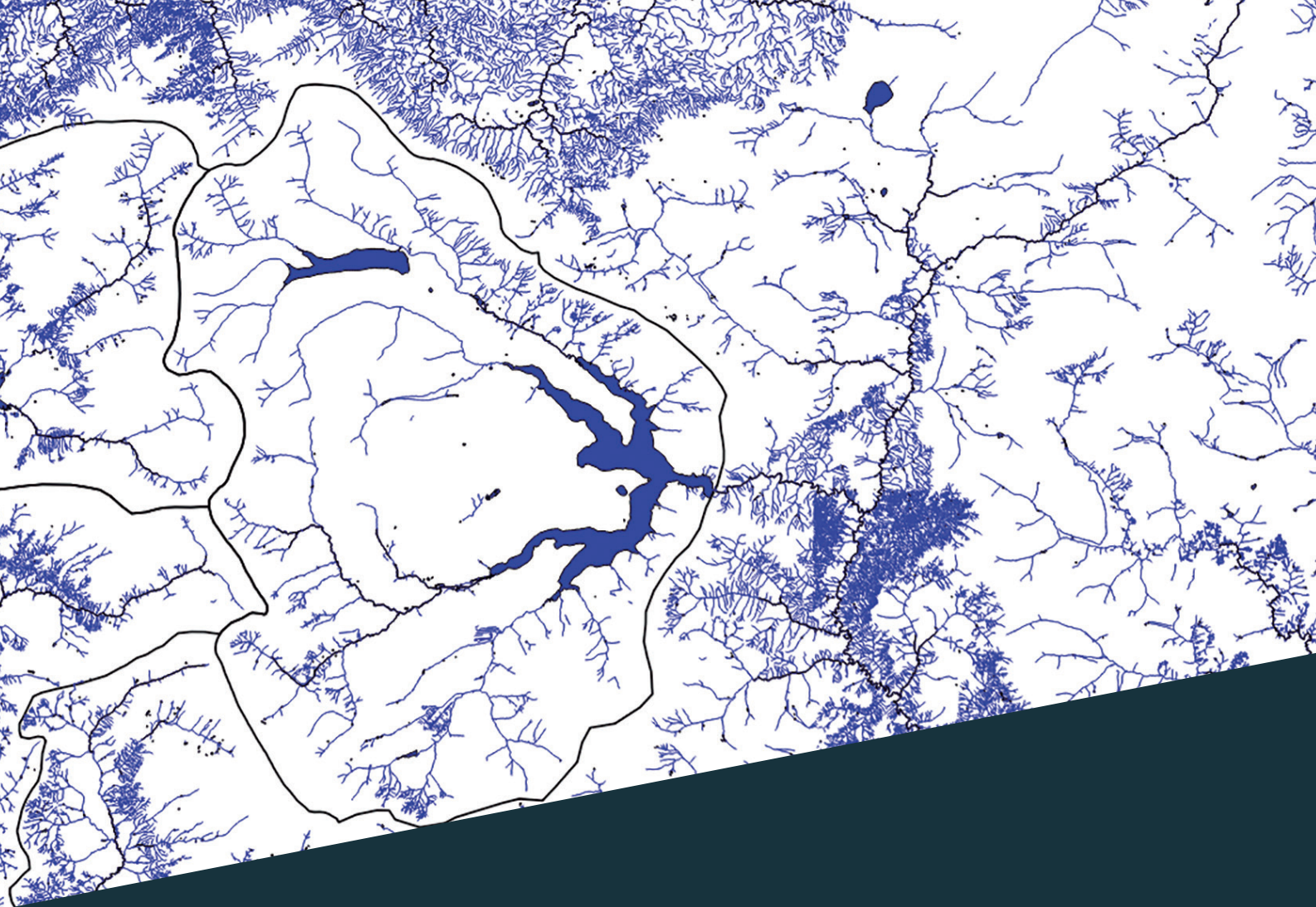
A drástica redução da precipitação nos cenários futuros, indicada pelas projeções do modelo Had-GEM2/Eta, é reforçada por evidências da série histórica atual. A Figura 4.2 apresenta a tendência de redução da precipitação no Distrito Federal nos últimos quarenta anos, reforçando as tendências prognosticadas pelo modelo.

FIGURA 4.2 – PRECIPITAÇÃO ANUAL NA BACIA DO RIO DESCOBERTO ENTRE 1979 E 2017



Fonte: elaboração do próprio autor





5 RECOMENDAÇÕES

Os resultados da sustentabilidade integrada e da sustentabilidade e risco hídricos obtidos nas bacias estudadas indicam a necessidade de medidas efetivas de prevenção e adaptação, principalmente em razão das ameaças futuras. Essas medidas são apresentadas nos subcapítulos a seguir.

SUSTENTABILIDADE INTEGRADA

Bacia do Rio Descoberto

Seis parâmetros limitantes (escores $\leq 0,5$) foram observados na sustentabilidade integrada da Bacia do Rio Descoberto, sendo três deles relativos ao indicador *hidrologia*, em razão da baixa disponibilidade hídrica *per capita* da bacia.

Essas limitações deveriam receber atenção prioritária na forma de ações e políticas públicas para que a sustentabilidade global da bacia (ISB) viesse a ser aumentada no futuro. Esses gargalos são apresentados e discutidos a seguir.

- No caso do indicador *hidrologia*, seu baixo escore (0,46) deveu-se à alta demanda unitária de água na bacia e ao aumento desta entre 2015 e 2018, ou seja, um problema de oferta de água. Para melhorar esse indicador são recomendáveis ações de gestão da demanda, incluindo a redução das perdas de distribuição e a adoção do reúso de água nas RAs abastecidas pela bacia.
- Em relação ao parâmetro *meio ambiente-resposta* (0,25), seu aumento poderia ser obtido pela criação de novas áreas protegidas na bacia, como Apas e parques, o que faria subir o valor desse escore.
- No tocante ao parâmetro *vida-resposta* (0,50), seu aumento dar-se-ia com uma melhoria das condições de vida da população (renda, educação e expectativa de vida).
- Para o parâmetro *políticas-resposta* (0,50), seu aumento estaria condicionado a um incremento nos investimentos em ações de Gih na bacia, como educação ambiental, aumento da eficiência do uso de água, controle da erosão, alguns dos quais já estão ocorrendo no âmbito do Projeto CITInova.

Bacia do Rio Paranoá

Quatro fatores limitantes contribuíram para a redução da sustentabilidade da Bacia do Rio Paranoá.

- O baixo escore do parâmetro *hidrologia-estado* (0,38) resultou de uma demanda unitária elevada ($D_a = 1.394 \text{ hab./hm}^3\text{.ano}$), sendo recomendável ações de gestão da demanda, como a redução das perdas no sistema de distribuição (atualmente de 30%) e a adoção do reúso de água na bacia.
- Em relação ao parâmetro *meio ambiente-resposta* (0,25), seu aumento poderia ser obtido por meio de ações de criação de novas áreas protegidas na bacia, como Apas e parques, o que faria subir o valor desse quesito.
- No tocante ao parâmetro *vida-resposta* (0,50), seu aumento dar-se-ia com uma melhoria das condições de vida da população (renda, educação e expectativa de vida), as quais contribuiriam para o aumento do IDH-M da bacia.



- Quanto ao parâmetro *políticas-resposta* (0,50), seu aumento estaria condicionado a um incremento nos investimentos em ações de Gih na bacia, como educação ambiental, aumento da eficiência do uso de água, melhoria da drenagem urbana, etc.

SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Conforme indica a Figura 3.13, as Bacias do Rodeador e do Paranoá apresentam um nível médio de sustentabilidade hídrica, em função de seu SDRH estar entre 0,2 e 0,8.

Entretanto, a sustentabilidade hídrica da Bacia do Rio Descoberto é bastante preocupante (0,32), aproximando-se do limite inferior de 0,2 recomendado por Xu *et al.* (2002). A crise hídrica de 2017, quando o volume do reservatório do Descoberto chegou a irrisórios 5% do volume útil, é uma forte evidência dessa vulnerabilidade.

Nesse sentido, recomenda-se maior atenção dos gestores e da sociedade civil em relação à sustentabilidade hídrica da bacia, podendo esta ser aumentada com ações estruturais (obras) e não estruturais (gestão), buscando, ao mesmo tempo, o aumento da oferta e a redução da demanda de água.

A conclusão das obras de adução de água do reservatório de Corumbá IV para a região oeste do Distrito Federal aliviará parte de demanda atual sobre o Sistema Descoberto, atualmente sobrecarregado. Além disso, a demanda global de água poderá ser reduzida com campanhas educativas de racionalização do uso de água e com incentivos financeiros ao reúso de água a usuários abastecidos pelo sistema.

Considerando que parte da demanda de água da Bacia do Descoberto é de irrigação e que o Canal do Rodeador não é revestido, sua impermeabilização, semelhantemente ao que ocorreu com o Canal Santos Dumont (Pipiripau), poderia gerar uma importante economia de água, aumentando a oferta para os múltiplos usos.

Além disso, incentivos financeiros, como pagamento por serviços ambientais, podem ser utilizados na Bacia do Descoberto, permitindo que os irrigantes aumentem sua eficiência de irrigação ao substituir sistemas menos eficientes (gravidade, sulcos) por outros mais eficientes (microaspersão, gotejamento).

RISCO HÍDRICO

A redução do elevado risco hídrico intra-anual na Bacia do Ribeirão Rodeador, principalmente nos cenários futuros, requererá um grande esforço dos gestores e da sociedade civil do Distrito Federal. Nesses cenários haverá reduções significativas das vazões em relação aos níveis atuais decorrentes da diminuição da precipitação. Além disso, a pequena dimensão da bacia faz com que medidas estruturais, como a construção de reservatórios de regularização de vazão, não sejam viáveis.

Por sua vez, medidas de gestão da demanda de água, como o aumento da eficiência do uso da água pela irrigação e a cobrança efetiva pelo seu uso, podem reduzir o risco hídrico intra-anual da bacia. Todavia, essas mudanças requerem importantes mudanças no comportamento dos usuários de água da bacia, que podem ser atingidos com campanhas educativas e incentivos financeiros.

Como os preocupantes riscos hídricos atuais e futuros desta bacia devem se repetir em outras bacias não reguladas do Distrito Federal, recomenda-se que para enfrentar as ameaças identificadas seja realizada uma análise de risco hídrico nessas bacias, avaliando-se distintos cenários de gestão de oferta e demanda de água.

Portanto, para enfrentar as ameaças futuras em relação aos recursos hídricos, mesmo na presença de incertezas, deve ser observado o Princípio da Precaução (KRIEBEL, 2001) e adotadas medidas preventivas de gestão antes da ocorrência dos impactos futuros.

ESTRATÉGIAS E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Estratégias e medidas de adaptação visando ao aumento da sustentabilidade hídrica e à redução do risco hídrico das bacias analisadas devem basear-se neste estudo de vulnerabilidade hídrica. Estas incluem metas que devem ser estabelecidas pela sociedade, bem como os recursos financeiros para implementá-las.

Medidas de adaptação incluem uma mescla de instrumentos estruturais, não estruturais, econômicos e educativos, que são aplicadas de forma transversal e multissetorial. Dentre os mecanismos de adaptação não estruturais estão (ECE, 2009):

- instrumentos legais e regulatórios;
- instrumentos econômicos e financeiros;
- instrumentos educativos e informativos; e
- instrumentos de governança.

No caso de instrumentos econômicos, devem ser cuidadosamente avaliados os custos *econômicos* dos impactos e dos riscos climáticos para os diferentes usos e usuários da água, permitindo que as medidas de adaptação sejam mais eficazes.

Adicionalmente, podem ser adotadas *medidas preventivas*, tais como melhoria da eficiência de uso da água pelos diferentes setores, restauração e manejo do solo e da água em bacias, entre outras (ECE, 2009).

Por sua vez, medidas de *aumento da resiliência* incluem melhoramento genético de plantas para menor consumo de água e mudança nas regras de operação de reservatórios, passando do nível anual, atualmente, para plurianual, como nas regiões semiáridas do país.

Medidas de preparação buscam reduzir os impactos negativos de eventos extremos para os recursos hídricos, incluindo sistemas de alerta precoce, aumento da capacidade de reservação de água, transposição de bacias, gestão da demanda e inovações tecnológicas.

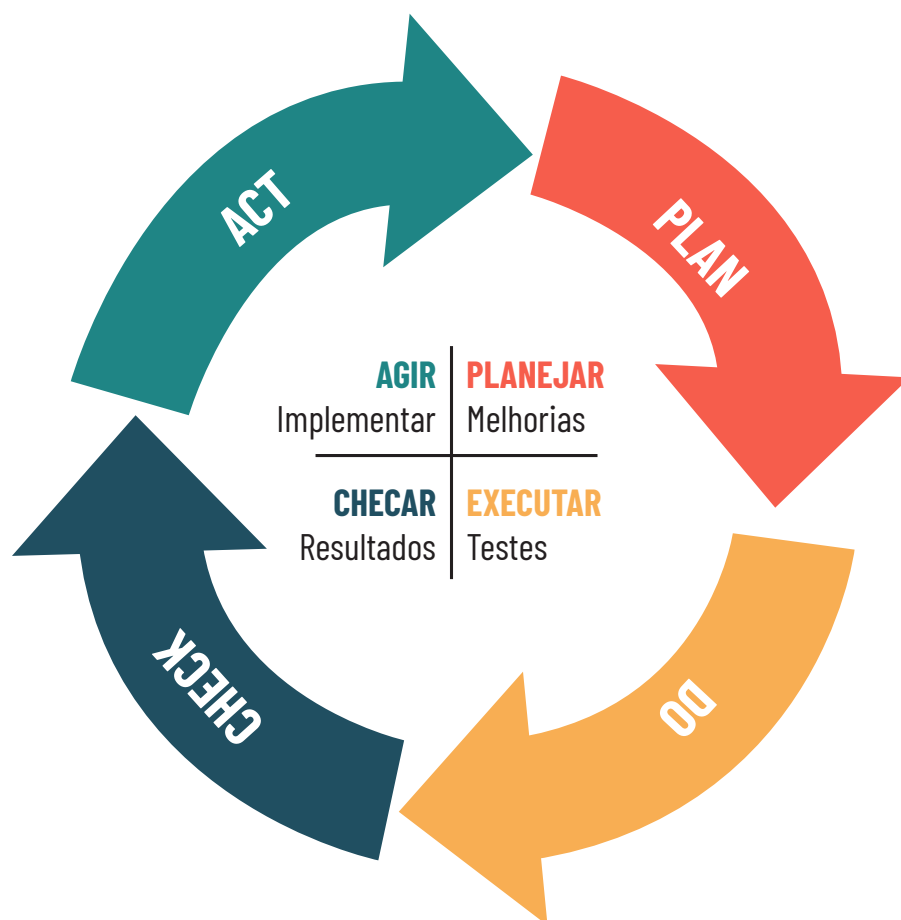
Adicionalmente, *medidas de resposta* buscam aliviar os efeitos diretos de eventos extremos, incluindo o desenvolvimento de fontes alternativas de abastecimento, reparação de obras hidráulicas em mau estado e estabelecimento de seguros contra eventos extremos, como secas prolongadas.

Para que sejam eficazes, as medidas de adaptação supracitadas devem ser implementadas em horizontes de *curto, médio e longo* prazos. Inicialmente, políticas e medidas de adaptação devem ser avaliadas em relação à sua capacidade de enfrentar os impactos atuais e futuros (de mudanças climáticas ou aumento da demanda), reduzindo a vulnerabilidade das bacias.

Adicionalmente, *medidas alternativas* de adaptação devem ser desenvolvidas e comparadas com as anteriores, em um processo contínuo de gestão adaptativa (Figura 5.1). Desse modo, as medidas de adaptação selecionadas devem ser devidamente aprovadas nos níveis político e social antes de sua implementação.



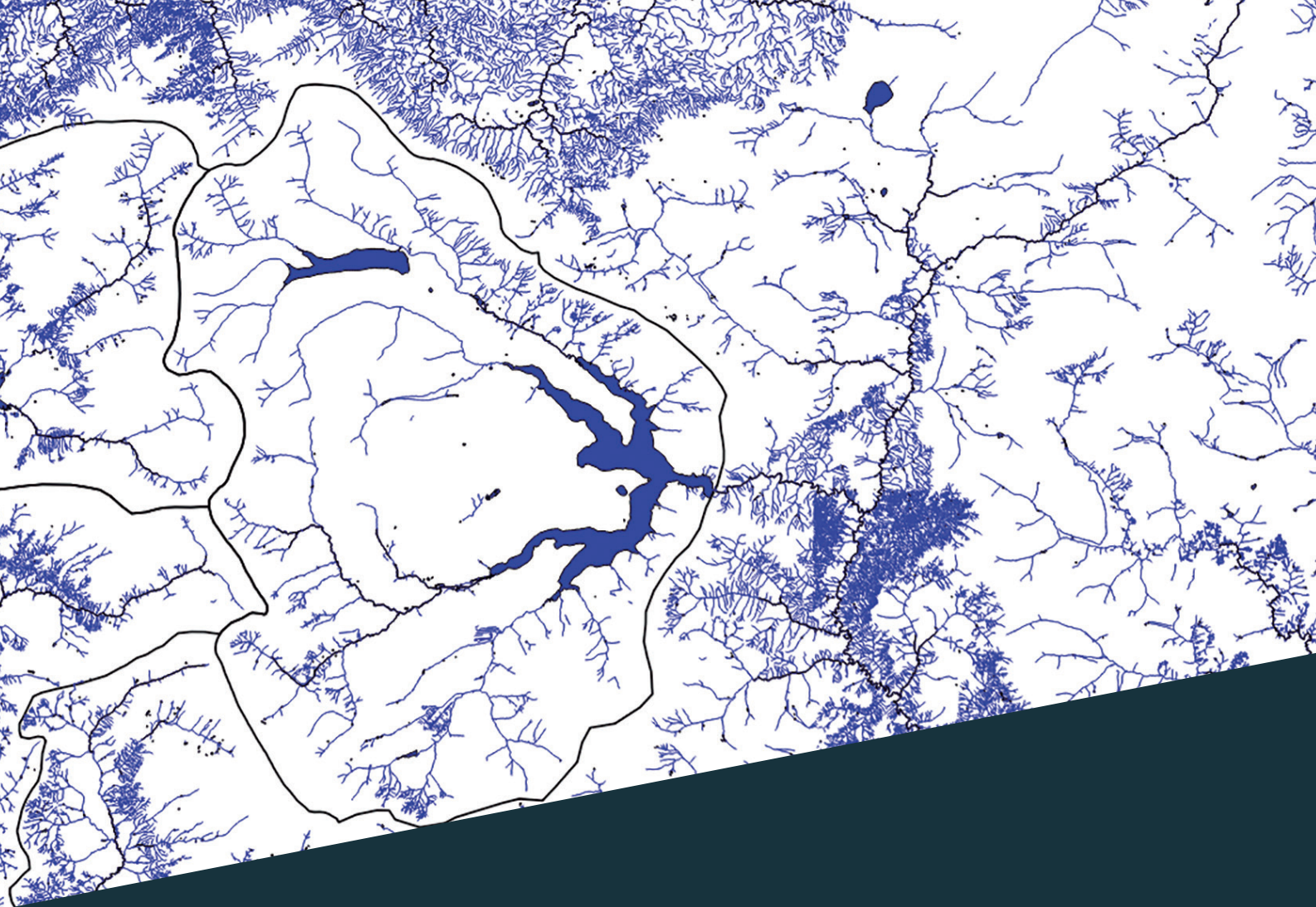
FIGURA 5.1 – PROCESSO PDCA DE ADAPTAÇÃO



Fonte: elaboração do próprio autor

Finalmente, a estratégia de adaptação deverá ser acompanhada por um plano de implementação, com responsabilidades e orçamentos especificados (ECE, 2009). Considerando o exposto, bem como as projeções de sustentabilidade e de risco hídrico na Bacia-piloto do Rodeador, recomenda-se que um estudo apropriado de adaptação seja preparado para a bacia, levando em consideração os aspectos supramencionados.

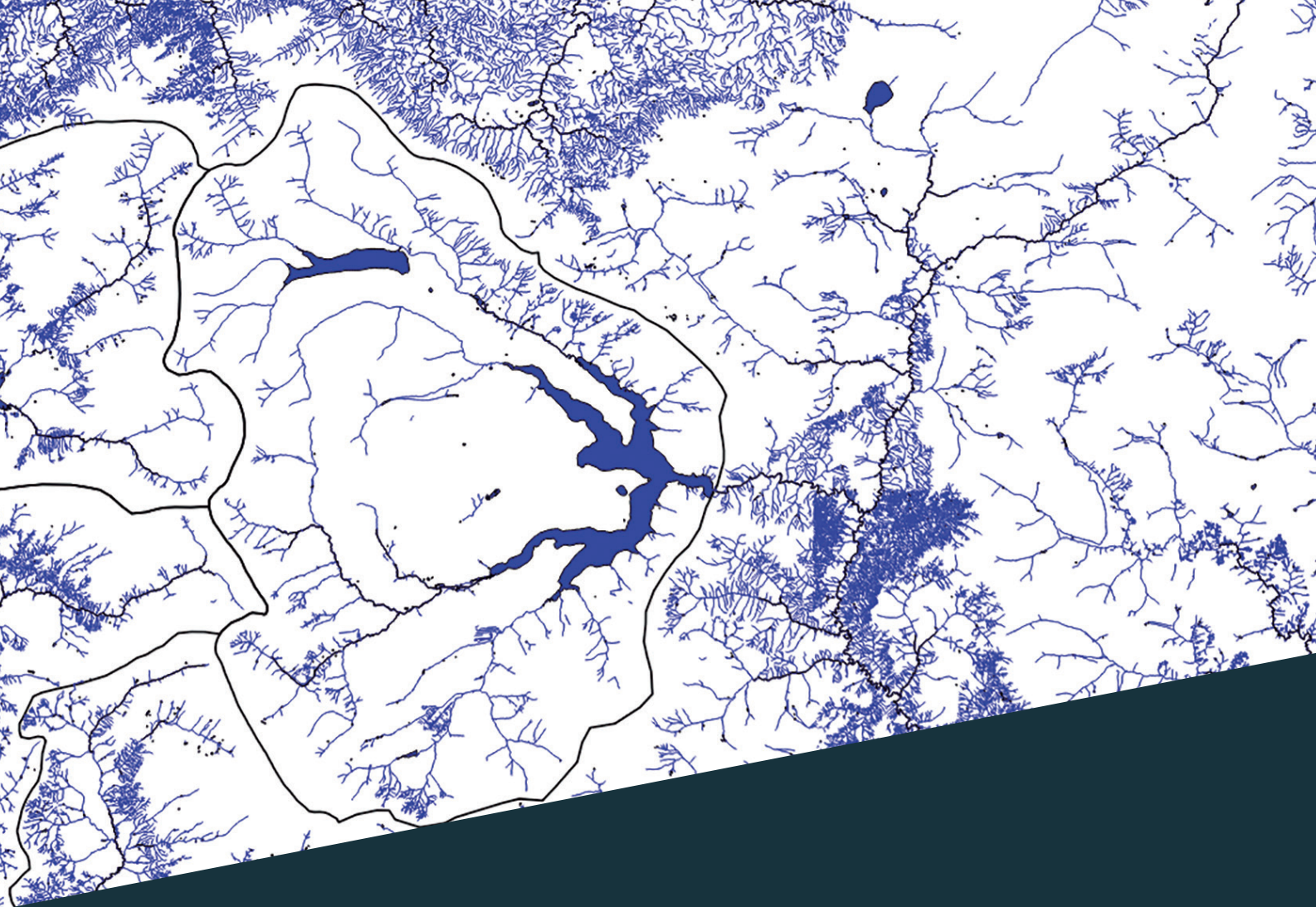




6 CONCLUSÕES

As principais conclusões deste estudo relativas à estimativa da sustentabilidade integrada e hídrica das Bacias do Descoberto e do Paranoá e da sustentabilidade hídrica e do risco hídrico da Bacia do Rodeador foram as seguintes:

- A sustentabilidade integrada da Bacia do Rio Descoberto, calculada pelo índice ISB, no período entre 2015 e 2018 foi de 0,66, considerada *média*. Os principais gargalos limitantes da sustentabilidade da bacia foram a alta demanda *per capita* de água bem como a limitada gestão das pressões existentes na bacia.
- A sustentabilidade integrada da Bacia do Rio Paranoá no período entre 2015 e 2018 foi de 0,68 (*média*). O principal fator limitante da sustentabilidade desta bacia foi a insuficiente resposta às pressões observadas em todos os indicadores do índice.
- A sustentabilidade hídrica calculada pelo índice SDRH nas Bacias do Descoberto, do Paranoá e do Rodeador no cenário atual foi de 0,32, 0,66, e 0,58, respectivamente, sendo consideradas *médias*.
- Como os índices ISB e SDRH são complementares em termos da avaliação da sustentabilidade, a utilização dos dois indicadores permitiu captar, ao mesmo tempo, os aspectos hidrológicos, socioeconômicos, ambientais e de governança das bacias estudadas nas condições atuais.
- Apesar de não ter sido o escopo deste estudo, recomenda-se que os índices ISB e SDRH sejam aplicados às Bacias do Descoberto e do Paranoá usando cenários futuros.
- O risco hídrico da Bacia do Ribeirão Rodeador, que avaliou o aspecto *intra-anual* da oferta de água no cenário atual, foi de 15,3%, ultrapassando o valor aceitável de 5%. Além disso, nos cenários futuros de emissões de GHG (RCP 4.5 e 8.5), nos anos 2040 e 2070, e em função da forte redução na precipitação o risco hídrico aumentará significativamente, chegando a 100% nos casos mais severos.
- Os índices de sustentabilidade (SDRH) e de risco hídrico (IRH), quando aplicados à Bacia do Rodeador, foram inversamente proporcionais e mostraram-se úteis para a estimativa da segurança hídrica inter e intra-anual da bacia em distintos cenários de oferta e demanda de água.
- As preocupantes projeções futuras de sustentabilidade hídrica e risco hídrico, por sua vez, requerem ações e políticas públicas efetivas para fazer frente às ameaças prognosticadas.
- Em função de sua importância e replicabilidade, os índices aplicados neste estudo podem ser aplicados a outras bacias estratégicas do Distrito Federal.
- As incertezas relativas aos resultados dos índices foram minimizadas com a utilização de dados oficiais quantitativos. Os poucos dados qualitativos utilizados no ISB foram obtidos de gestores locais, reduzindo a incerteza nos resultados.
- As maiores incertezas na análise decorreram de projeções de clima de GCMs utilizadas no índice de risco hídrico futuro na Bacia do Rodeador. No entanto, a regionalização dos dados climáticos para a escala da bacia reduziu as potenciais incertezas a níveis aceitáveis.
- Finalmente, para enfrentar as ameaças futuras à sustentabilidade e ao risco hídrico da microbacia-piloto, foram apresentadas medidas e estratégias de adaptação, seguindo o estado-da-arte no tema.



REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, A. C. L. S.; CHAVES, H. M. L. Estimativa da recarga da Bacia do Rio das Fêmeas através de métodos manuais e automáticos. **R. Bras. Eng. Agr. Amb.** 15, p. 1123-1129, 2011.

CHAVES, H. M. L. Integrated sustainability analysis of six latin-american HELP Basins. **Journal of Hydrologic Environment**, v. 7, n. 1, p. 149-153, 2011.

CHAVES, H. M. L.; ALIPAZ, S. An integrated indicator based on basin hydrology, environment, life & policy: The Watershed Sustainability Index. *Water Resour. Management*. 21, p. 883-895, 2007.

CHAVES, H. M. L.; LORENA, D. R. Assessing reservoir reliability using classical and long-memory statistics. **J. of Hydrol. Reg. Stud**, 26, p. 100641, 2019.

CHAVES, H. M. L.; NEARING, M. A. Uncertainty analysis of the WEPP soil erosion model. **Trans. of the ASABE**, v. 34, n. 6, p. 2437-2444, 1991.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. T. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em SIG. **RBRH**, 7, p. 43-51, 2002.

CHAVES, H. M. L. Indicador integrado de sustentabilidade de gestão ambiental de bacias hidrográficas e sua aplicação. **Inf. Agrop.**, v. 30, n. 252, p. 7-12, 2010.

CODEPLAN. **Projeções populacionais para as regiões administrativas do Distrito Federal 2010-2020**. Brasília, 2018. Disponível em: <http://codeplan.df.gov.br/pdad-2015-em-processo-de-reponderacao/>.

CPTEC-INPE/CGPDI. **Relatório do Projeto GEF-CGEE-CGPDI**: estudos de projeções de clima para a região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno – Ride. Brasília, 2019.

DEWANDEL, B.; GANDOLFI, J. M.; CONDAPPA, D.; AHMED, S. An efficient methodology for estimating irrigation return flow coefficients of irrigated crops at watershed and seasonal scale. **Hydr. Proc.**, 22, p. 1700-1712, 2008.

ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE-ECE. **Guidance on water and adaptation to climate change**. Bruxelas, 144 p., 2009.

FALKENMARK, M.; WIDSTRAND, C. Population and water resources: a delicate balance. *Pop. Bull. Pop. Reference Bureau*, Washington, 33 p., 1992.

GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *Envir. Model. Assess.* 1, p. 101-117, 1996.

GAOULIS, J. **Risk analysis of water pollution**. Nova York: Wiley, 2009. 311 p.

GARDNER, L. R. Assessing the effect of climate change on mean annual runoff. **J. Hydrol.**, 379, p. 351-359, 2009.

GEOPORTAL. Infraestrutura de dados espaciais (IDE/DF), 2019. Disponível em: <https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>.

- HAAN, C. T. **Statistical methods in hydrology**. Iowa St., Ames, 1994. 378 p.
- HARR, M. E. **Reliability-design in civil engineering**., Nova York: McGraw-Hill, 1987. 290 p.
- HOLLAND, H. D. **The chemistry of the atmosphere and oceans**. Nova York: John Wiley and Sons, 1978. p. 351.
- IUCN. **Caudal**: elementos esenciales de caudales ambientales;. Gland, 2003. 125 p.
- KRIEBEL, D. The precautionary principle in environmental science. **Env. Health Pers**, 109, p. 871-876, 2001.
- MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 4.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Setembro, 2019. Disponível em: https://mapbiomas.org/downloads_colecoes.
- MCCUEN, R. H.; SNYDER, W. M. **Hydrologic modeling**: statistical methods and applications. Nova York: Prentice-Hall, 1986. 550p.
- MMA. Download de dados geográficos. 2019. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/data-download.htm>
- MMA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, 2006. 288 p.
- NETER, J.; KUTNER, M. H.; WASSERMAN, W.; NACHSHEIM, C. J. **APPLIED LINEAR regression models**. Irwin,. 1996. 720 p.
- OECD. **Key environmental indicators**. Paris, 2008. 38 p.
- OLIVEIRA, F. A. et al. Impacto do uso de vazões naturais em estudos hidrológicos. **R. Bras. Rec. Hídricos**, 13, p. 191-197, 2008.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA-ONS. **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água nas principais bacias do Sistema Integrado Nacional**. Brasília, 2003. 209 p.
- PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras**: Distrito Federal e Entorno. 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/download/>.
- ROCHA, E. R. L.; CÉZAR, M. C. M. **Balanço hídrico do reservatório do Rio Descoberto**. Trabalho apresentado no XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 2015, 8 p.
- SMITH, D.; RAST, W. Environmentally sustainable management and use of internationally shared freshwater resources. In: REIMOLD, R (ed.). **Watershed management**., Nova York: McGraw-Hill, 1998. p. 277-297.

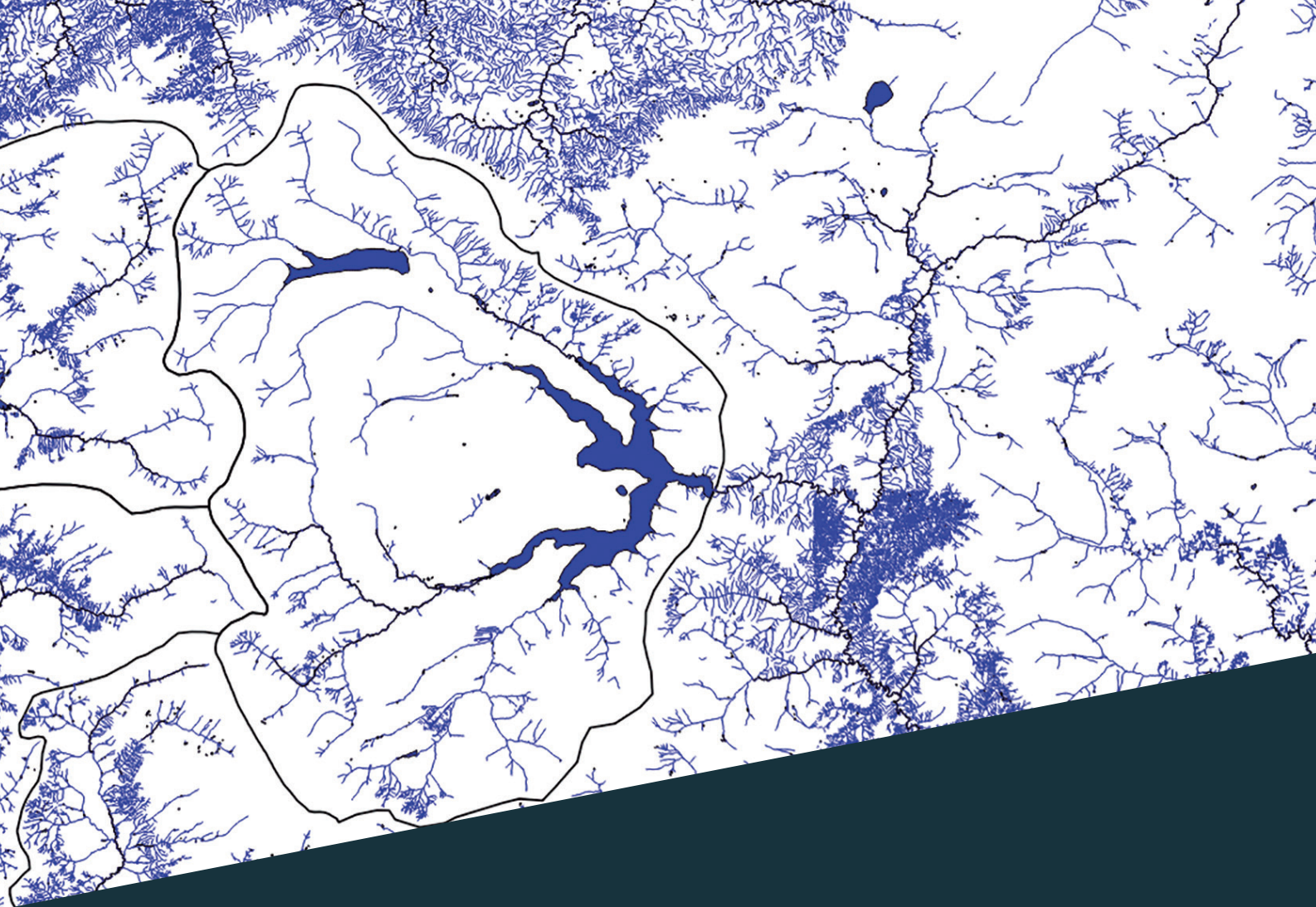
TEUTSCHBEIN, C.; SEIBERT, J. Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: review and evaluation of different methods. **J. Hydrol**, p. 456-457 (2012); p. 12-19, 2012.

UNESCO. Estudo técnico sobre demanda de recursos hídricos na Bacia do Alto Descoberto: Produto 3, Proj. Unesco 914BRZ2016 – modelagem hidrológica da Bacia do Alto Descoberto. Brasília, 2017. 58 p.

USGS. Streamflow depletion by wells – understanding and managing the effects of groundwater pumping on streamflow. **Circular 1376**, Washington, 2012, 95 p.

XU, Z. X. et al. Sustainability analysis for Yellow river water resources using the system dynamics approach. **Water Res. Mgt.**, 16, p. 239-261, 2002.

YOO, C.; CHO, E. Comparison of GCM precipitation predictions with their RMSEs and pattern correlation coefficients. *Water* 19 28 w10010028, 2018.



APÊNDICE

TABELA A1 – INDICADORES, PARÂMETROS, NÍVEIS E ESCORES DO ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE DE BACIAS (ISB) PARA AS CONDIÇÕES DO DISTRITO FEDERAL (CHAVES; ALÍPAZ, 2007)

INDICADOR	PRESSÃO			ESTADO			RESPOSTA		
	PARÂMETRO	VALOR	ESCORE	PARÂMETRO	VALOR	ESCORE	PARÂMETRO	VALOR	ESCORE
Hidrologia (H)	Variação da demanda unitária de água (D_a) no período analisado	$\Delta > 20\%$	0,00	Demanda unitária de água de longo prazo na bacia D_a (hab./hm ³ .ano)	$D_a > 2000$	0,00	Evolução na eficiência do uso da água na bacia no período	Muito ruim	0,00
		$20\% > \Delta > 10\%$	0,25		$2000 > D_a > 1000$	0,25		Ruim	0,25
		$10 > \Delta > 0\%$	0,50		$1000 > D_a > 600$	0,50		Média	0,50
		$0 > \Delta > -10\%$	0,75		$600 > D_a > 100$	0,75		Boa	0,75
		$\Delta < -10\%$	1,00		$D_a < 100$	1,00		Excelente	1,00
Hidrologia (H)	Variação de P total na bacia no período	$\Delta > 20\%$	0,00	IQA da bacia (longo prazo)	$IQA < 25$	0,00	Variação no IQA da bacia no período estudado	$\Delta < -20\%$	0,00
		$20\% > \Delta > 10\%$	0,25		$25 < IQA < 50$	0,25		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25
		$10 > \Delta > 0\%$	0,50		$50 < IQA < 70$	0,50		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50
		$0 > \Delta > -10\%$	0,75		$70 < IQA < 90$	0,75		$0 < \Delta < +10\%$	0,75
		$\Delta < -10\%$	1,00		$IQA > 90$	1,00		$\Delta > 10\%$	1,00
Ambiente (E)	Índice de Pressão Ambiental (IPA) da bacia no período	$IPA > 20\%$	0,00	% da bacia com vegetação natural (VN)	$VN < 5\%$	0,00	Evolução no % de áreas protegidas da bacia no período	$\Delta < -10\%$	0,00
		$20\% > IPA > 10\%$	0,25		$5\% < VN < 10\%$	0,25		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$10\% > IPA > 5\%$	0,50		$10\% < VN < 25\%$	0,50		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$5\% > IPA > 0\%$	0,75		$25\% < VN < 40\%$	0,75		$10\% < \Delta < 20\%$	0,75
		$IPA < 0\%$	1,00		$VN > 40\%$	1,00		$\Delta > 20\%$	1,00
Vida humana (L)	Variação do IDH-Renda da bacia no período	$\Delta < -20\%$	0,00	IDH médio ponderado da bacia	$IDH < 0,5$	0,00	Evolução do IDH da bacia no período	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25		$0,5 < IDH < 0,6$	0,25		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50		$0,6 < IDH < 0,75$	0,50		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$0 < \Delta < +10\%$	0,75		$0,75 < IDH < 0,9$	0,75		$10\% < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 10\%$	1,00		$IDH > 0,9$	1,00		$\Delta > 20\%$	1,00
Políticas públicas (P)	Variação do IDH-Educação da bacia no período	$\Delta < -20\%$	0,00	Capacidade legal e institucional da bacia	Muito ruim	0,00	Evolução dos gastos em Gih na bacia no período	$\Delta < -10\%$	0,00
		$-20\% < \Delta < -10\%$	0,25		Ruim	0,25		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,25
		$-10\% < \Delta < 0\%$	0,50		Média	0,50		$0\% < \Delta < 10\%$	0,50
		$0 < \Delta < +10\%$	0,75		Boa	0,75		$10\% < \Delta < 20\%$	0,75
		$\Delta > 10\%$	1,00		Excelente	1,00		$\Delta > 20\%$	1,00

Fonte: elaboração do próprio autor

REALIZAÇÃO

**Secretaria de
Meio Ambiente**



CONSULTORIA CONTRATADA



PARCEIROS COEXECUTORES



FINANCIADOR MULTILATERAL



AGÊNCIA IMPLEMENTADORA



AGÊNCIA EXECUTORA

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES

