



MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA

NA BACIA DO RIO

PARANAPANEMA

BASES PARA O ENQUADRAMENTO

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Jair Bolsonaro
Presidente da República

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

Daniel Ferreira
Ministro

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Victor Godoy Veiga
Ministro

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

Diretoria Colegiada

Veronica Sánchez da Cruz Rios (Diretora-Presidente)
Vitor Saback
Maurício Abijaodi
Filipe de Mello Sampaio Cunha
Ana Carolina A. N. de Castro

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARANÁ

Reitoria

Ricardo Marcelo Fonseca (Reitor)
Graciela Bolzón de Muniz (Vice-reitora)

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO PARANÁ

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA

NA BACIA DO RIO

PARANAPANEMA

BASES PARA O ENQUADRAMENTO

BRASÍLIA - DF

ANA

2022

© 2022, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M, N, O e T.
CEP: 70610-200, Brasília-DF
PABX: (61) 2109-5400 / (61) 2109-5252
Endereco eletrônico: www.ana.gov.br

COMITÊ DE EDITORAÇÃO

Joaquim Gondim (Coordenador)
Flávio Hadler Tröger
Humberto Cardoso Gonçalves
Rogério Menescal (Secretário Executivo)

As ilustrações, tabelas e gráficos sem indicação de fonte foram elaborados pela ANA.
Informações, críticas, sugestões, correções de dados: cedoc@ana.gov.br.
Disponível também em: https://www.ana.gov.br/

Todos os direitos reservados
É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

EQUIPE EDITORIAL

Supervisão editorial
Diana Leite Cavalcanti
Daniel Izoton Santiago
Marcelo Luiz de Souza

Projeto gráfico, diagramação, capa e infografia
Vanessa da Silva Cardoso - DATA AO CUBO

Fotografias
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

Produção
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)

Coordenação Geral
Flavio Hadler Tröger
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Coordenação Executiva
Diana Leite Cavalcanti
Marcelo Luiz de Souza
Celio Bartole Pereira

Equipe Técnica
Daniel Izoton Santiago
Alexandre de Amorim Teixeira.
Carlos Alberto Perdigão Pessoa
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Coordenação Geral
Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes

Coordenação Técnica
Eduardo Vedor de Paula
Regina Tiemy Kishi
Tobias Bernward Bleninger
Joaquin Ignacio Bonnecarrere Garcia

Equipe técnica

Pós-Graduados
Alexei Nowatski
Bruna Arcie Polli
Danieli Mara Ferreira
Gabriel Henrique de Almeida Pereira
Julio Werner Yoshioka Bernardo
Marcelo Coelho

Pós-Graduandos
Alana Louise Werneck Lassen
Ana Carolina Canossa Becker
Arthur Humberto Rocha Ferreira
Camila Goulart
Camila Carvalho Almeida de Bitencourt
Daniel Passeti
Eileen Andrea Acosta Porras
João Marcos Carvalho

Especialistas
Carlos Augusto Wroblewski
Luis Henrique da Costa
Luiz Carlos Zem

Iniciação científica
André Luiz de Souza Bonfim
Beatriz Tiemi Kawano
Dário Hossoda
Gabrieli Senger
Haddoula Galbert
Irani dos Santos
Jhenifer Priscila
Laura Beatriz Krama
Mariana Gomes dos Santos
Marina Fernanda de Oliveira Cordeiro
Thiago Francisco Godoy
Ugo Maranhão Leal
Vitória Pfaffenzeller

Consultores
Antonio Ostensky Neto
Fernando Mainardi Fan
Helder Nocko
Klajdi Sotiri
Luciene Stamato Delazari
Sidnei Agra
Silvana Philippi Camboim
Stephan Fuchs

Catalogação na fonte: Divisão de Biblioteca/CEDOC

A265f Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil).
Modelagem da Qualidade da Água na Bacia do Paranapanema: Bases para o Enquadramento / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.
– Brasília : ANA, 2022.
84p.: il.
ISBN: 978688101230

1. Qualidade de água – Água – Uso. 2. Paranapanema, Rio, Bacia. I. Título.

CDU 628.161.1

Elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA (CBH)

DIRETORIA

Presidente

José Luiz Scroccaro

Primeiro Vice-Presidente

Marco André F. D'Oliveira

Segundo Vice-Presidente

Carla Beck

Secretária

Suraya Damas O. Modaelli

Secretário Adjunto

Carlos Eduardo S. Camargo

CÂMARA TÉCNICA DE INSTRUMENTOS DE GESTÃO (CTIG)
COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA (CBH)

Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRHidro)

Luis Sergio de Oliveira - Suplente

Associação do Sudoeste Paulista de Irrigantes e Plantio na Palha (Aspipp)

Uiara Queli Valim Almeida - Titular

Rosimeire Borges Passos Aveiro - Suplente

Associação Regional dos Engenheiros de Itapeva (Arespi)

Marco André Ferreira D'Oliveira - Titular

Associação Turística do Norte Pioneiro do Paraná (Atunorpi)

Michael Couto Mendes - Titular

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb)

Hilton Iwao Ubukata - Titular

Geraldo do Amaral Filho - Suplente

Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp)

Sérgio Hideki Yamashita - Titular

Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar)

Thaís Carolina Ferreira Waiss - Titular

Julio Kazuhiro Tino - Suplente

Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE)

David Franco Ayub - Titular

Álvaro Yanagui - Suplente

Faculdade Cristo Rei (FacCRei)

Moniki Campos Janegitz - Suplente

Federação da Agricultura do Estado do Paraná (Faep)

Carla Beck Kersting - Titular

Bruno Vizioli - Suplente

Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de São Paulo (Faesp)

Gilmar Ogawa - Titular

Antonio Salvador Consalter - Suplente

Instituto Água e Terra (IAT)

Christine da Fonseca Xavier - Titular

Luiz Fornazzari Neto - Suplente

Prefeitura Municipal de Alvares Machado

Guilherme Bortoluzzi Cabrera - Titular

Prefeitura Municipal de Alvorada do Sul/PR

André Luiz Debiasio - Titular

Ever Donizete Dugolin - Suplente

Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado PR (Seab)

Antonio Carlos Barreto - Titular

Fernando Emmanuel G. Vieira - Suplente

Secretária de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (Sedest)

João Lech Samek - Titular

Danielle Teixeira Tortato - Suplente

Secretaria Estadual de Infraestrutura e Meio Ambiente (Sima)

Carlos Eduardo S. Camargo - Titular

Suraya Damas Oliveira Modaelli - Suplente

Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) Palmital/SP

Luís Antonio Ferreira - Titular

Sindicato Rural de Jacarezinho/PR

Eduardo Sérgio Assumpção Q. Braga - Titular

Universidade Estadual do Norte do Paraná (Uenp)

Carlos Eduardo Gonçalves Aggio - Suplente

Universidade do Oeste Paulista (Unoeste)

Elson Mendonça Felici - Suplente

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Antonio Cezar Leal - Titular

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Ricardo Nagamine Costanzi - Titular

Usina Santa Terezinha (Usaçucar)

Dominique Martins Sala - Titular

Vivian Mussolini Desidério - Suplente

Sumário

Rio Paranapanema, em Marilena (PR)
Raylton Alves / Banco de imagens ANA

APRESENTAÇÃO

09

1

CONTEXTO

11

2

BACIA DO RIO PARANAPANEMA

17

3

PROCESSO DE ELABORAÇÃO

27

4

BASES PARA O ENQUADRAMENTO

45

5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

79

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

82

APRESENTAÇÃO

O **enquadramento dos corpos de água em classes**, segundo os usos preponderantes da água, é um dos instrumentos previstos da Política Nacional de Recursos Hídricos, a Lei 9433/1997, e tem como objetivo “assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas” e “diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes”. O enquadramento oferece ainda subsídio à outorga para o uso da água, sempre condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e respeitando a classe em que o corpo de água estiver enquadrado.

O processo de enquadramento é participativo e exige estudos para determinar os usos dos recursos hídricos na bacia, as condições de qualidade da água presentes e futuras e as classes de qualidade adequadas para os trechos dos corpos de água da bacia hidrográfica. Para orientar o processo, a Resolução CNRH nº 91/2008 estabelece procedimentos gerais para o enquadramento, incluindo a elaboração de uma proposta de enquadramento, que prevê etapas de diagnóstico, prognóstico, propostas de metas relativas às alternativas de enquadramento e programa para efetivação. Por fim, o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso deve ser submetido à apreciação do Comitê da bacia hidrográfica, para posteriormente ser encaminhado ao Conselho de Recursos Hídricos para sua aprovação e publicação da respectiva Resolução.

As águas da bacia do rio Paranapanema foram classificadas em 1980 de acordo com a proposta apresentada pelo Comitê Executivo de Estudos Integrados da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema (CEEIPEMA). A legislação vigente sobre o tema à época

era a Portaria nº 13, de 15 de janeiro de 1976, do antigo Ministério do Interior. Contudo, em função da revogação desta portaria e em virtude dos novos normativos de enquadramento aqui mencionados, surge a necessidade de adequação do instrumento a partir de uma nova proposta de enquadramento para a Bacia do Paranapanema.

Esta nova proposta demanda uma abordagem técnica mais robusta no que se refere ao diagnóstico e prognóstico da qualidade da água nos rios e reservatórios da bacia. Neste sentido, é recomendável a utilização de modelos de simulação de qualidade de água capazes de apontar a origem, o caminho e o destino das cargas poluentes, bem como apontar cenários e alternativas para que se alcancem as metas de qualidade de água propostas com base nos usos dos recursos hídricos na bacia hidrográfica.

Dessa forma, uma cooperação entre a Universidade Federal do Paraná – UFPR e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA foi firmada e, a partir do uso de modelos hidrodinâmicos de simulação de qualidade de água, o presente estudo foi concebido com o objetivo de gerar bases técnicas para subsidiar a construção de uma proposta de enquadramento com a participação dos atores envolvidos com a gestão dos recursos hídricos na bacia do Paranapanema.

Portanto, a ANA e a UFPR apresentam o estudo Qualidade de Água na Bacia do Rio Paranapanema – Bases para o Enquadramento como uma relevante contribuição ao planejamento e à implementação deste importante instrumento de gestão dos recursos hídricos na bacia do Paranapanema e no Brasil.

PONTO DE PARTIDA - PIRH PARANAPANEMA

O PIRH Paranapanema foi concebido como um instrumento de planejamento, gestão e integração da bacia, pactuado a partir de um arranjo institucional que envolveu a ANA, os órgãos gestores estaduais, o CBH Paranapanema e os seis CBHs Afluentes, além da participação contributiva de atores estratégicos.

Com vistas à construção de um adequado planejamento do uso dos recursos hídricos na bacia, o PIRH Paranapanema estabeleceu diretrizes para o aumento da quantidade e a melhoria da qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

A partir dessas diretrizes, o Plano de Ações do PIRH definiu estratégias de atuação reunidas nos componentes temáticos Gestão de Recursos Hídricos (GRH) e Intervenções e Articulações com Planejamento Setorial (STR).

No âmbito do primeiro componente, o programa GRH.A – Instrumentos de Gestão, subprograma GRH.A.4 – Enquadramento apontou como meta a necessidade de avanços na definição de estratégias para elaboração de propostas de enquadramento de cursos d'água federais.

Como agente condutor da implementação e acompanhamento das ações do PIRH Paranapanema, e visando atender às expectativas dos usuários da bacia, o CBH Paranapanema contemplou as ações GRH.A.4.1 e GRH.A.4.2 no conjunto das 20 ações, dentre as 123 integrantes do PIRH que, devido à sua importância ou interesse prioritário da sociedade, foram inseridas no Manual Operativo (MOP).

Esse instrumento de planejamento (MOP) tem por objetivo promover a concretização das medidas eleitas como prioritárias no Plano de Ações, por meio do estabelecimento de roteiros e procedimentos detalhados, elaboração de estudos de base e configuração dos arranjos institucionais necessários.

Portanto, as diretrizes e recomendações apontadas no PIRH Paranapanema e a ação correspondente, priorizada no MOP, conjugaram-se e resultaram na contratação, pela ANA, do presente estudo, cujo objetivo é a produção de subsídios técnicos para o processo de enquadramento dos rios e reservatórios federais da bacia em classes de qualidade que atendam os usos preponderantes da água.

Tais subsídios focam principalmente na necessidade de redução das cargas poluidoras que alcançam os rios e reservatórios bacia, tendo como objetivo assegurar que a qualidade da água esteja adequada para seus diversos usuários. Neste caso, entende-se que a qualidade da água é avaliada por meio dos parâmetros que geralmente são priorizados no processo de enquadramento e considerados na expedição de outorgas para o uso da água.

Com base nas concentrações destes parâmetros nas águas superficiais, a Resolução CONAMA nº 357/2005 define conjuntos de padrões de qualidade para cinco classes para as águas doces de rios e lagos: Especial, 1, 2, 3 e 4.

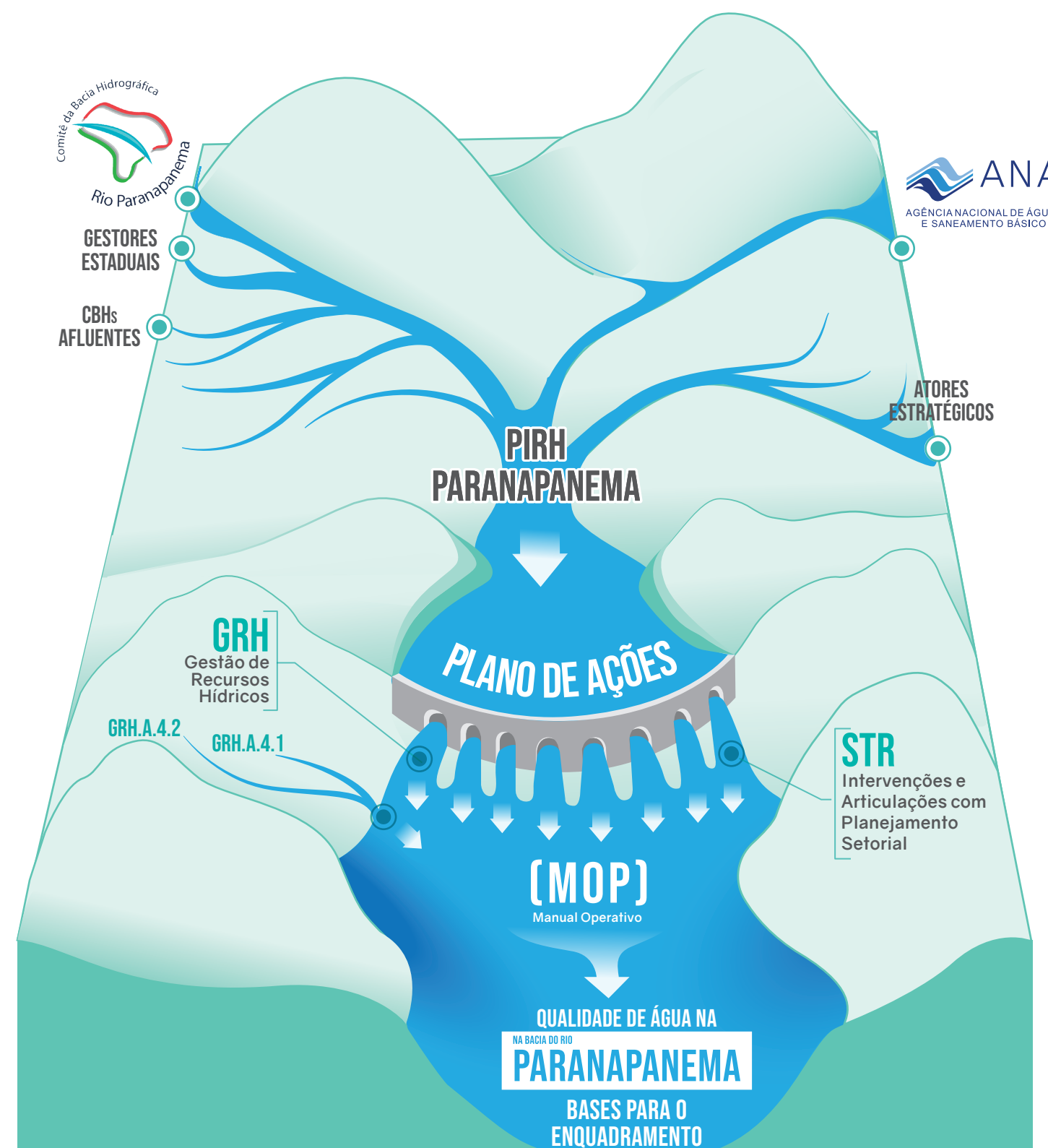
A Classe Especial é a categoria em que a qualidade da água deve estar praticamente livre de interferências humanas, isto é, livre de lançamentos de cargas poluidoras decorrentes de atividades antrópicas. Portanto, é a classe adequada para a proteção e preservação dos ecossistemas aquáticos em sua integridade.

Para as classes intermediárias são exi-

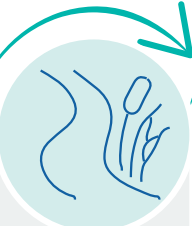





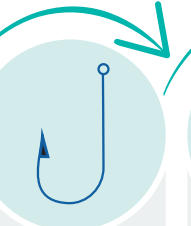
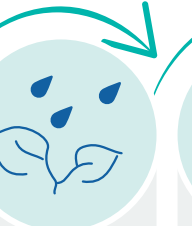

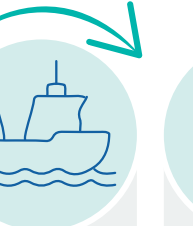

gidos critérios de qualidade que permitem o uso da água para os usos preponderantes mais comuns nas bacias onde há a implementação do instrumento do enquadramento, notadamente o abastecimento público após tratamento. Por outro lado, a Classe 4 envolve padrões de qualidade da água menos exigentes, o que restringe o uso dos recursos hídricos a poucas atividades, tais como a navegação.

Neste contexto, o presente estudo foi desenvolvido com foco em:

- Apontar as áreas prioritárias para a gestão da qualidade da água na bacia em função da produção de cargas poluidoras da água;
- Identificar as principais fontes de poluição, quantificando suas respectivas cargas;
- Estimar o potencial de redução das cargas poluidoras nas divisões hidrográficas;
- Indicar a necessidade de redução para que as metas previstas nas classes de qualidade de água sejam atingidas nos trechos de domínio federal.



Usos da ÁGUA

												
	PRESERVAÇÃO DO EQUILÍBRIO NATURAL DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS	PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS	RECREAÇÃO COM CONTATO DIRETO	AQUICULTURA	ABASTECIMENTO PARA O CONSUMO HUMANO		RECREAÇÃO COM CONTATO INDIRETO	PESCA	IRRIGAÇÃO	DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS	NAVEGAÇÃO	HARMONIA PAISAGÍSTICA
Classe ESPECIAL	Classe mandatória em Unidades de Conservação e Proteção Integral				Após desinfecção							
Classe 01		Classe mandatória em Terras Indígenas			Após tratamento simplificado				Hortaliças consumidas cruas e frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas com casca			
Classe 02					Após tratamento convencional				Hortaliças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer			
Classe 03					Após tratamento avançado				Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras			
Classe 04												

BACIA DO RIO PARANAPANEMA



O rio Paranapanema se localiza na divisa entre os estados de Paraná e São Paulo. Após percorrer um curso de 930 km desde sua nascente principal, no sudeste de São Paulo, o Paranapanema deságua no rio Paraná. O PIRH Paranapanema (ANA, 2016) reúne importantes informações sobre a bacia.

A bacia hidrográfica do rio Paranapanema ocupa 1,2% do território brasileiro e possui área total de 106 mil km², com 49% desta área no Paraná e 51% em São Paulo. Dentro dos limites da bacia estão inseridos, total ou parcialmente, 247 municípios. Destes municípios, 230 possuem suas sedes na bacia.

A população da bacia é de cerca de 4,7 milhões de habitantes, segundo o censo de 2010 (IBGE, 2010). Quase 90% desta população é urbana. O Paraná concentra a maior parte dos habitantes da bacia (63%). Os municípios mais populosos com sede na bacia são Londrina, Maringá e Ponta Grossa, no lado paranaense, e Presidente Prudente e Itapetininga, no estado de São Paulo.

No contexto socioeconômico nacional, a bacia do Paranapanema abriga 2,3% da população do país e concentra aproximadamente 2% do PIB brasileiro (ANA, 2016). Entre as principais atividades econômicas

realizadas na bacia destacam-se a agropecuária e a indústria.

O rio Paranapanema representa um importante eixo de geração de energia hidrelétrica no país, contando para isso com uma cascata de reservatórios em seu corpo principal. Além da geração de energia, estes reservatórios fornecem água para usos diversos e estratégicos na escala regional, com destaque para a produção agrícola e industrial.

A Resolução CNRH nº 109, de 13 de abril de 2010, incluiu no território da bacia a Unidade de Gestão de Recursos Hídricos do Paranapanema - UGRH Paranapanema com o objetivo de priorizar a implementação dos comitês de bacia e dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos. Entre tais instrumentos, o enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade segundo os usos preponderantes da água é aquele com foco específico na gestão da qualidade de água. Dentro da UGRH Paranapanema, também foram definidas seis Unidades de Gestão Hídrica (UGHs) e seus respectivos comitês com base nos principais rios afluentes. A Figura 2 apresenta a UGRH Paranapanema, com suas UGHs e as sedes urbanas mais populosas.

2 BACIA DO RIO PARANAPANEMA

BR



A bacia do rio Paranapanema ocupa uma área de cerca de

106.500 KM²

49%
no estado de São Paulo

51%
no estado do Paraná

BACIA DO RIO
PARANAPANEMA



A bacia do rio
Paranapanema abrange

247

municípios
no total

230

sedes
municipais

4,7

milhões de
habitantes

A gestão dos recursos hídricos da bacia do rio Paranapanema conta, além da ANA e dos órgãos gestores estaduais (IAT e DAEE), com o CBH Paranapanema, no âmbito interestadual, e com os seis CBHs Afluentes, cuja área de atuação coincide com a delimitação das Unidades de Gestão Hídrica (UGHs).



2,3%

da população
do país

90%

da população da
bacia é urbana

2%

do PIB
brasileiro

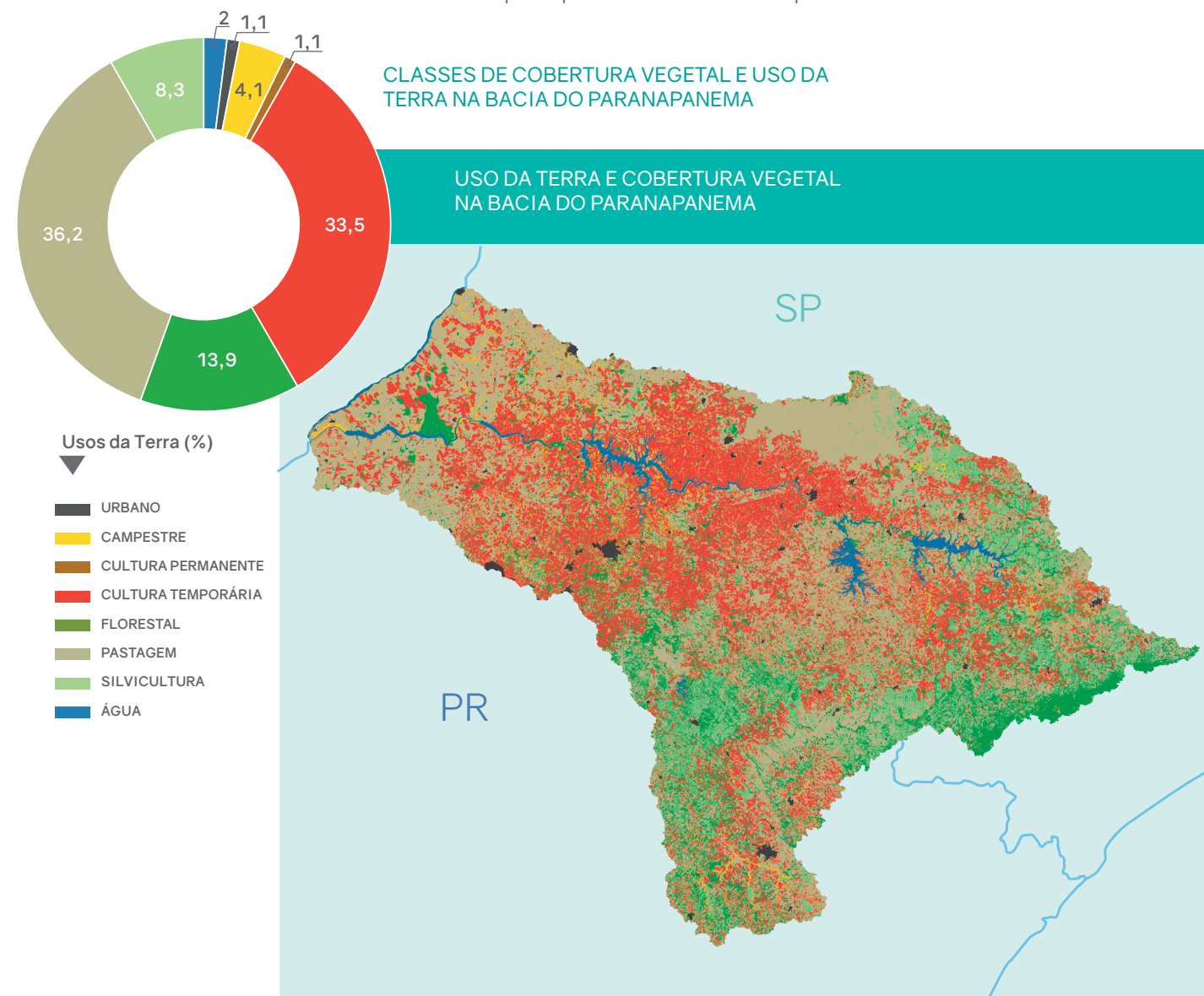
A qualidade da água numa bacia hidrográfica tem forte relação com as atividades exercidas em seu território, uma vez que esta reflete o aporte de poluentes delas decorrentes. O levantamento do uso da terra fornece uma visão geral das atividades praticadas na bacia.

Neste estudo, a informação apresentada no PIRH Paranapanema sobre o uso da terra e a cobertura vegetal na bacia do Paranapanema foi fundamental para as estimativas da produção de cargas poluidoras pelos modelos computacionais. A figura abaixo mostra um levantamento dos principais usos da ter-

ra na área de estudo.

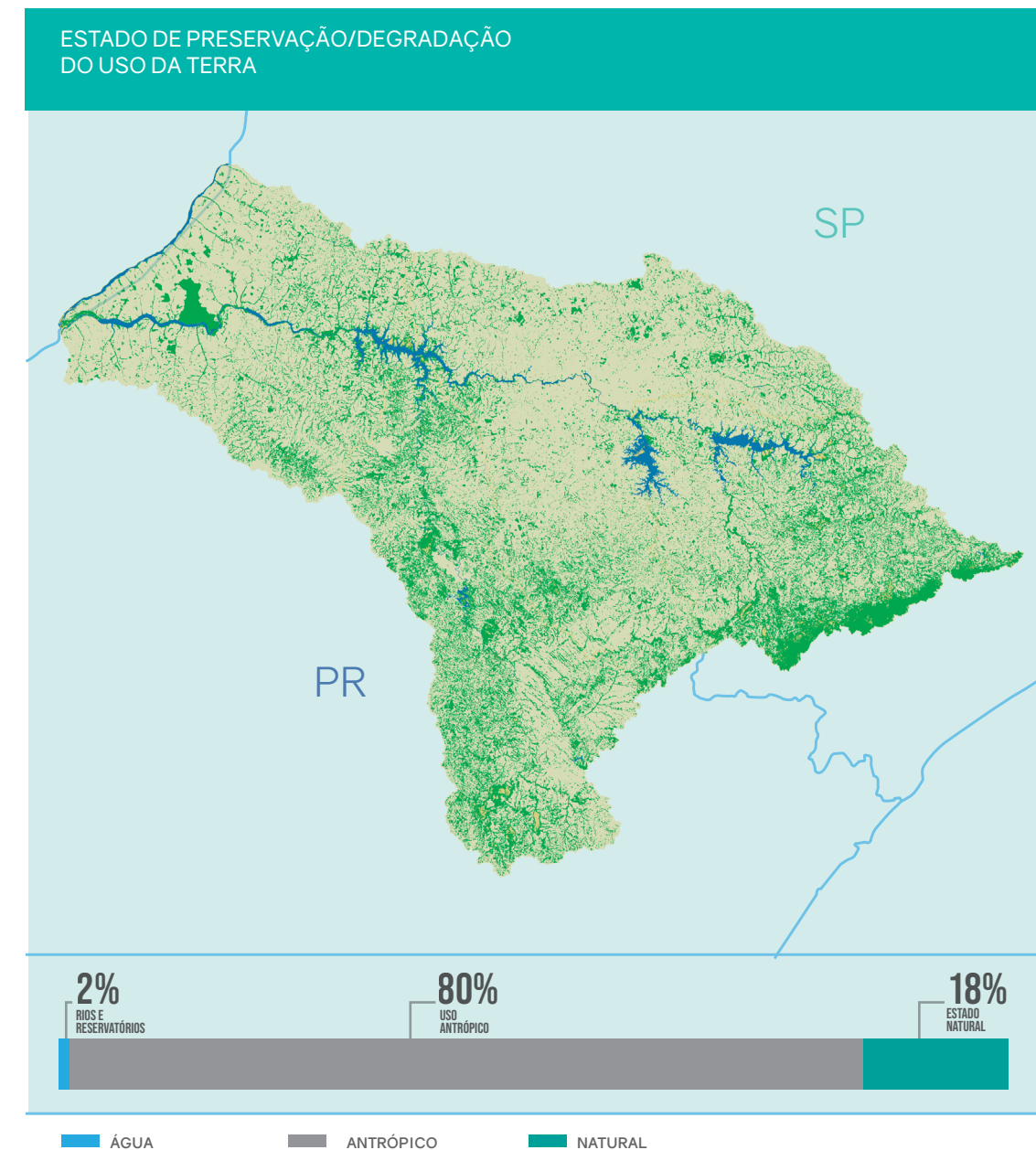
Para fins de modelagem, no presente estudo, optou-se por agrupar as classes de cultura temporária, cana-de-açúcar, milho, soja e os pivôs, na classe "Cultura Temporária". Do mesmo modo, as classes de culturas permanentes (citrus e café) foram agrupadas em apenas uma única classe denominada "Cultura Permanente" reduzindo o total de classes de uso de doze para oito.

Neste novo mapeamento, predominam as classes de pastagem e de culturas temporárias. Somadas, estas classes de uso chegam a aproximadamente 70% da área do estudo.



Para estimar o grau de intervenção humana no território da bacia do Paranapanema, as classes de uso da terra foram agrupadas em áreas sob influência antrópica e aquelas que se apresentam em seu estado natural de preservação, como as áreas de floresta e campestres, seguindo as propostas metodológicas do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).

A partir deste levantamento, conclui-se que 18% da área da bacia ainda se encontra em seu estado natural e 80% estão ocupadas por classes de uso antrópico, incluindo culturas permanentes e temporárias, áreas urbanizadas, pastagens e silvicultura. Dois por cento da área total são ocupadas por rios e reservatórios dos mais variados portes.



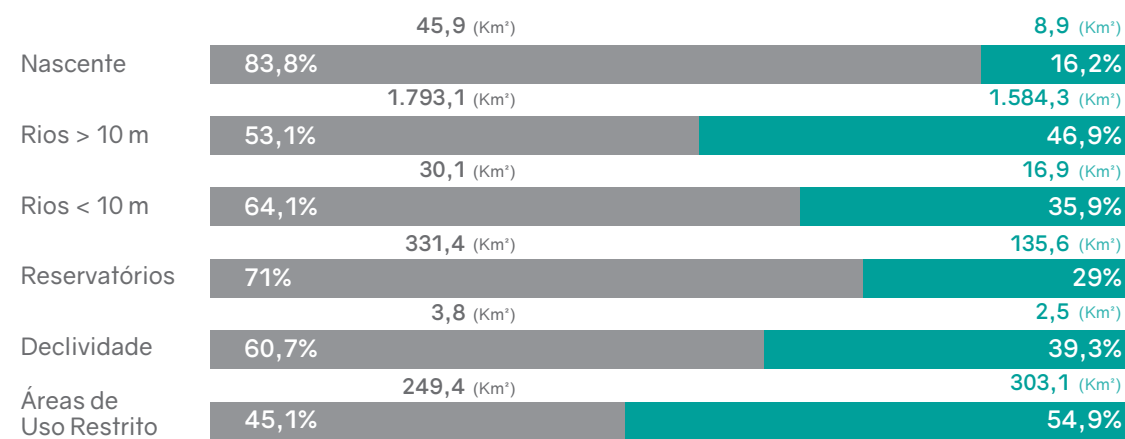
ESTADO DE PRESERVAÇÃO/DEGRADAÇÃO DO USO DA TERRA

As Áreas de Preservação Permanente - APPs são áreas protegidas pela Lei 12.651/2012 com a função de preservar os recursos hídricos, a paisagem, proteger a biodiversidade, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. As APPs também têm um papel importante de

reter parte da poluição hídrica de fonte difusa, contribuindo para a qualidade da água em rios e reservatórios.

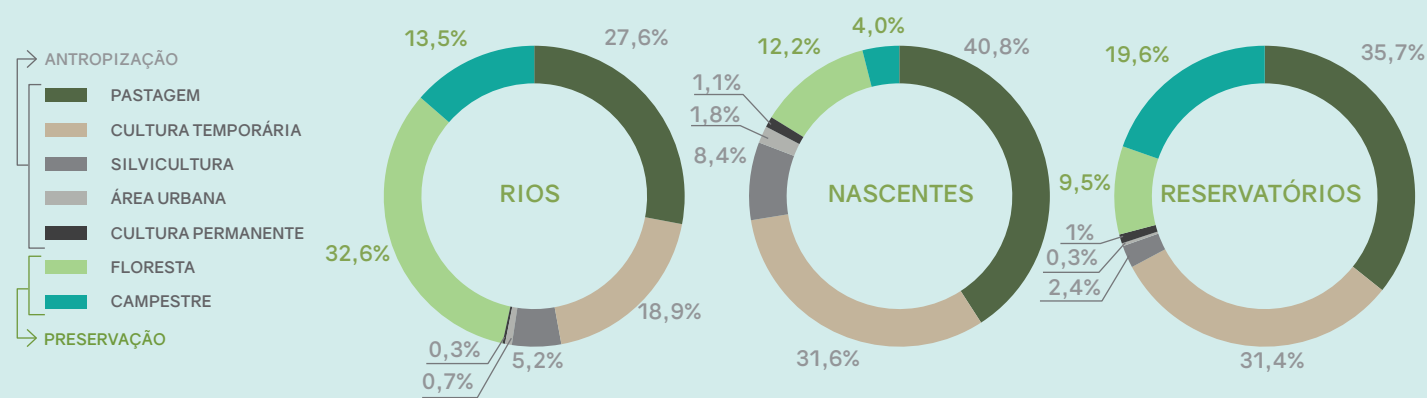
Neste estudo foi realizada a delimitação das APPs da bacia do Paranapanema. A partir daí, foi feita uma análise espacial sobre o grau de preservação destas áreas.

CATEGORIAS DE APPS E SEU RESPECTIVO GRAU DE PRESERVAÇÃO/DEGRADAÇÃO



A partir dos resultados desta análise espacial, observa-se que as APPs das nascentes apresentam maior grau de antropização (84%), seguidas das áreas que margeiam reservatórios (71%) e dos rios com menos de 10 metros de largura (54%). A figura abaixo mostra a situação das categorias de APPs com maior grau de antropização. As classes de uso antrópico que mais avançam sobre as APPs da bacia são as pastagens e culturas temporárias.

PROPORÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE USO DA TERRA NAS APPS DA BACIA.

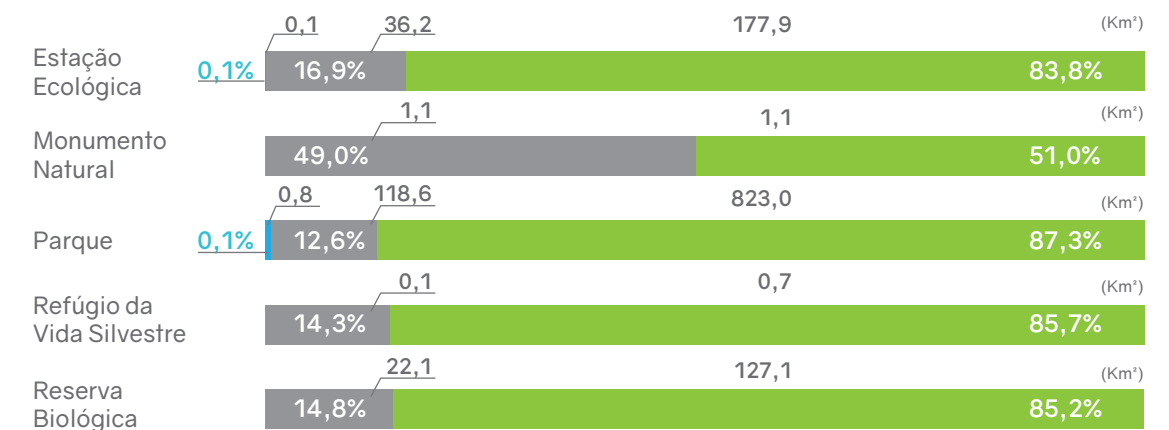


A bacia do rio Paranapanema possui diversas unidades de conservação. Para o enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade, segundo os usos preponderantes, as Unidades de Conservação de Proteção Integral são áreas de especial interesse. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, nestes locais, as águas que banham estas unidades devem ser destinadas prioritariamente à preservação dos ambientes aquáticos e, portanto, de-

vem ser enquadradas na classe especial, mantendo as condições de qualidade mais próximas às condições naturais.

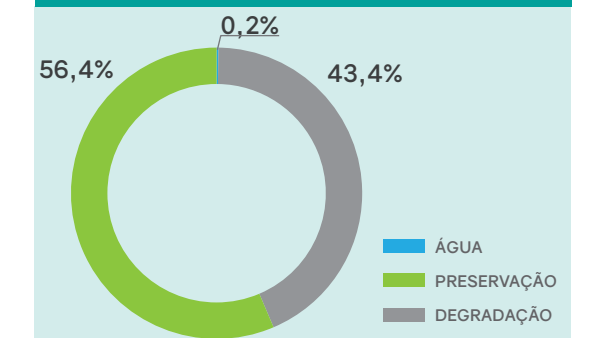
Em função da importância destas unidades de conservação para o enquadramento, estas áreas também foram analisadas quanto ao grau de preservação/degradação. Os resultados mostram que as áreas de proteção integral da bacia, que representam 1,2% do total de seu território, estão em bom estado de conservação.

PRESERVAÇÃO E DEGRADAÇÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL



Assim como as unidades de conservação de proteção integral, as águas que banham terras indígenas têm uma classe de enquadramento predefinida pela resolução CONAMA nº 357/2005. Nas Terras Indígenas, a água deve ser destinada principalmente à proteção das comunidades aquáticas, mantendo qualidade compatível com os critérios da classe 1. Segundo a análise, pouco mais da metade das terras indígenas se encontra preservada quanto à cobertura vegetal original.

ESTADO DE PRESERVAÇÃO DAS TERRAS INDÍGENAS NA BACIA.

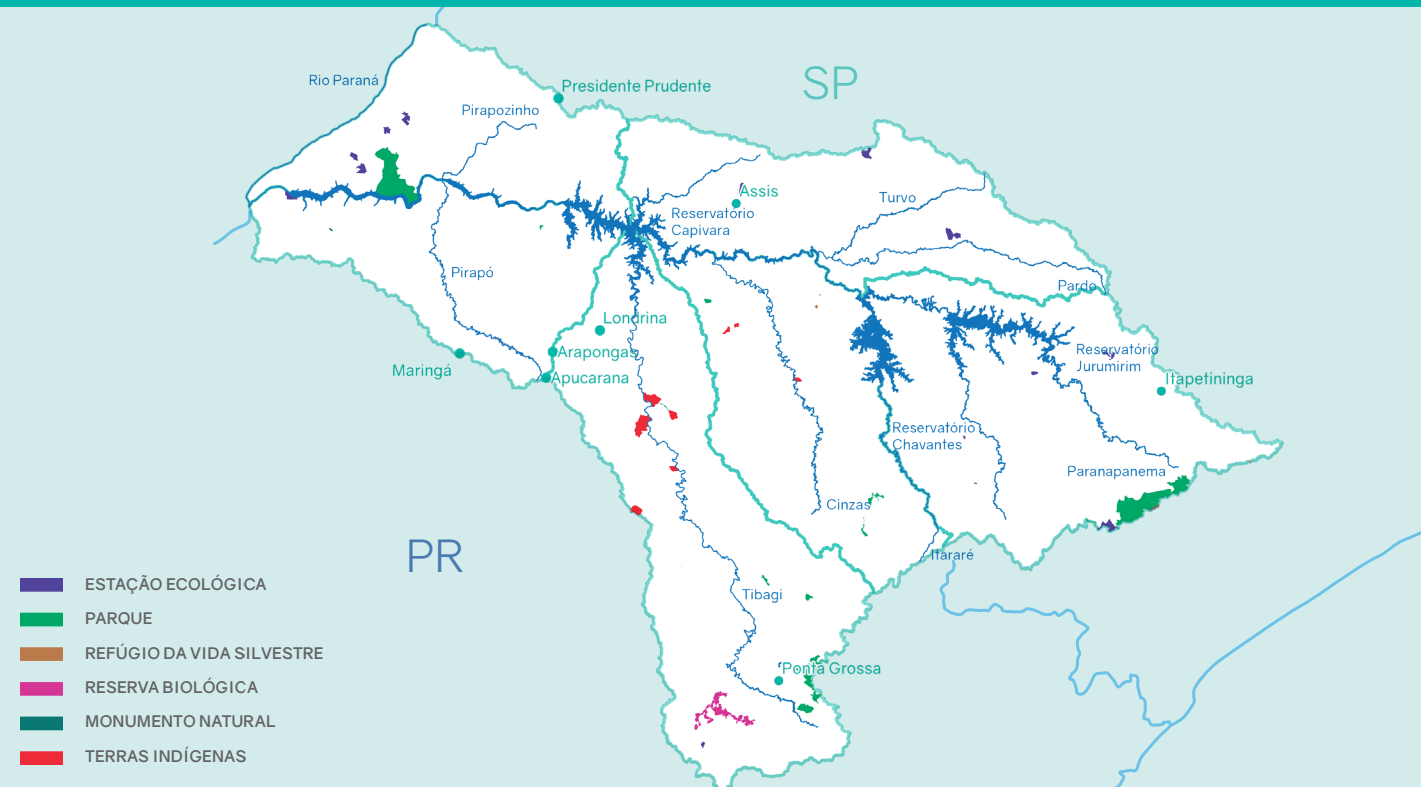


2 BACIA DO RIO PARANAPANEMA

A Figura aponta áreas da bacia do Paranapanema onde o enquadramento deve seguir estas classes mandatórias (especial e classe 1). No mapa é possível identificar terras indígenas no curso médio do rio Tibagi, indicando que aqueles trechos deve-

rão ser enquadrados na classe 1, e unidades de conservação de proteção integral a montante do reservatório de Rosana, no rio Paranapanema, onde, em princípio, a água deverá ser compatível com a classe especial.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE PROTEÇÃO INTEGRAL E TERRAS INDÍGENAS



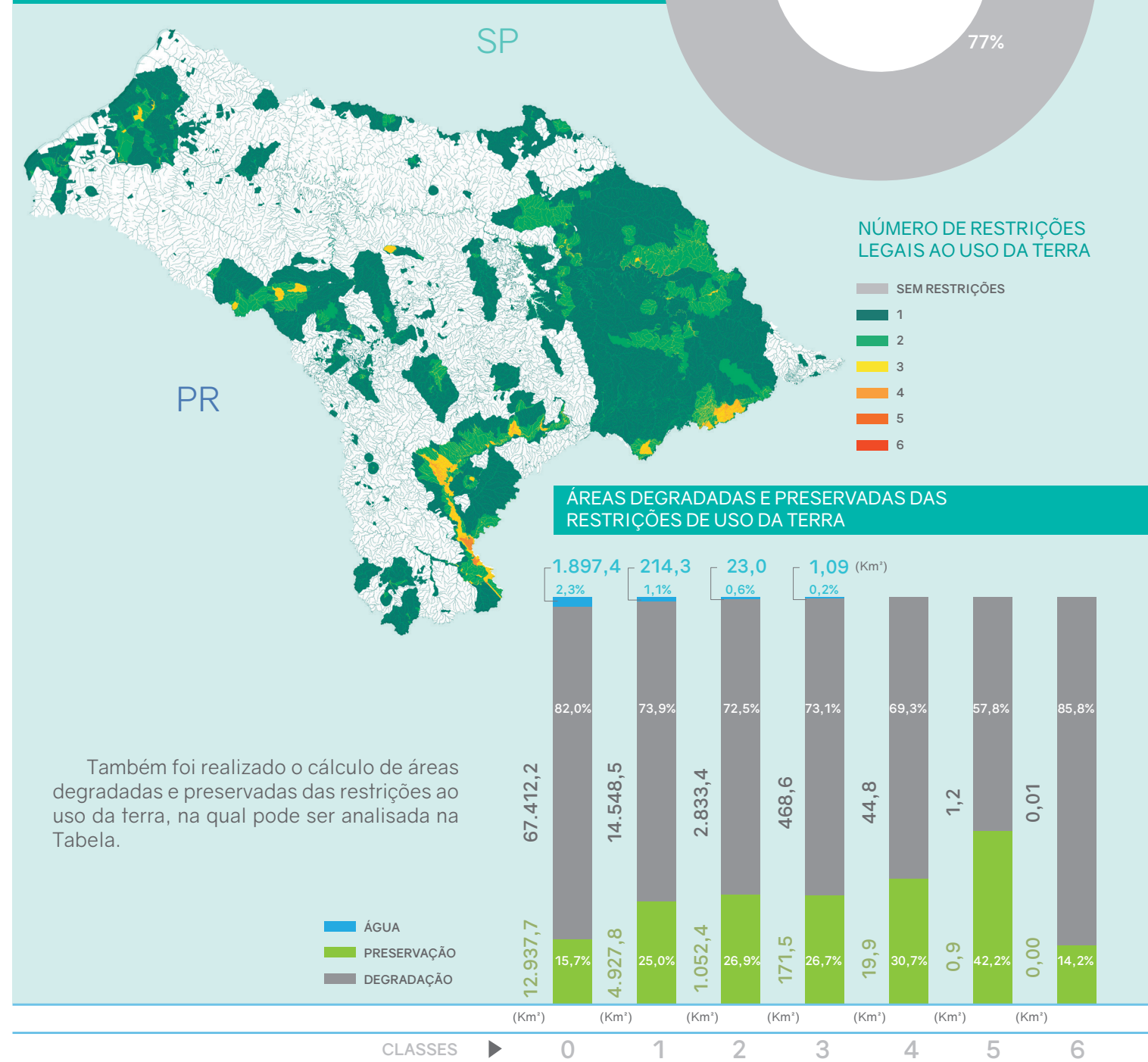
Também foi realizada uma análise espacial integrada levando em consideração informações sobre as restrições legais ao uso da terra na bacia do Paranapanema, entre elas: **APPs, Unidades de Conservação e suas subdivisões, Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade Brasileira, Terras Indígenas, Tombamentos, mananciais de abastecimento e assentamentos do INCRA.**

A análise, baseada no relatório técnico de Silva (2019) e Silva e Paula (2020), envolveu 15 variáveis, com a sobreposição das classes de restrições ao uso da terra na forma de matrizes (NOWATZKI, 2019).

O resultado é o somatório das diferentes categorias de restrições sobrepostas, cujo valor máximo foi de seis na bacia do Paranapanema.

Observa-se que, além das APPs, que são áreas com uso restrito bem distribuídas por toda a bacia, as regiões de cabeceiras do Paranapanema e seus maiores tributários apresentam pelo menos uma restrição legal ao uso do solo. Isto revela uma preocupação do poder público com a conservação dessas áreas e indica maior potencial de efetividade das ações voltadas para a garantia da qualidade da água relacionadas com a implementação do processo de enquadramento.

SOBREPOSIÇÃO DAS RESTRIÇÕES AO USO DA TERRA NA BACIA DO PARANAPANEMA



3 PROCESSO DE ELABORAÇÃO



A gestão da qualidade da água por meio do enquadramento dos corpos hídricos visa principalmente o controle das cargas poluidoras que a impacta de modo a evitar sua degradação e garantir o recurso para os múltiplos usos na bacia hidrográfica.

A qualidade da água nos rios e reservatórios é variável no tempo e no espaço, dependendo da produção de cargas poluentes na bacia hidrográfica e de onde, quando e como estas cargas atingem os corpos hídricos. Existem também questões intrínsecas aos corpos hídricos e às próprias cargas e seus constituintes que determinam a qualidade da água, além de inúmeros outros fatores.

Reservatório de Capivara, Sertaneja (PR)
Raylton Alves / Banco de imagens ANA

Entender a dinâmica dos poluentes, principalmente cargas orgânicas e nutrientes, desde sua origem no território da bacia, seu fluxo, nos rios, e seu destino, nos reservatórios do Paranapanema, é um passo fundamental para planejar ações de controle da poluição hídrica que garantam água de qualidade para o meio ambiente e os usuários da água.

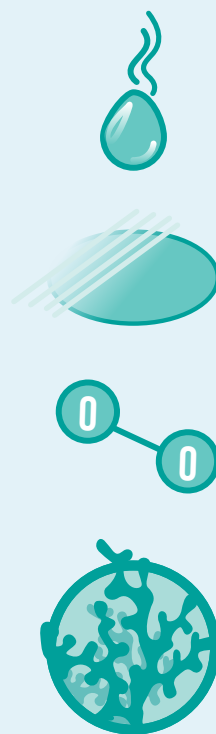
Modelos computacionais e simulações de qualidade da água tem sido cada vez mais empregados para a compreensão da dinâmica destes poluentes ao longo da rede hidrográfica. Estes modelos permitem relacionar causas e efeitos da poluição hídrica, orientar ações e aperfeiçoar estratégias de gestão voltadas para a garantia da qualidade da água diante de diversos cenários.

Neste estudo foi utilizada uma abordagem metodológica que integra diferentes modelos matemáticos utilizados para simular a produção das cargas poluidoras na bacia, isto é, a origem, o caminho destas cargas ao longo dos rios Paranapanema e Itararé e o impacto das cargas nos reservatórios da bacia. O objetivo do estudo é fornecer bases técnicas e conhecimentos para o processo de enquadramento dos corpos hídricos em classes de qualidade de água, de acordo com o que prevê a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal 9.433/1997).

O desenvolvimento de modelos depende de informações de entrada. Portanto, a organização de uma base de dados consistente foi uma frente de trabalho importante para as etapas deste estudo.

Na bacia do rio Paranapanema, onde os reservatórios são fundamentais para a oferta regional de água, o controle da poluição da água deve ter foco especial nas causas da eutrofização. A eutrofização é um processo de degradação da qualidade da água difícil de se reverter e capaz de comprometer importantes usos da água. Combater as causas da eutrofização é, portanto, essencial para assegurar padrões de qualidade compatíveis com os usos mais nobres da água.

Basicamente, a eutrofização envolve o enriquecimento das águas, sobretudo, de lagos, naturais ou artificiais, por nutrientes que acarretam o crescimento excessivo da flora aquática. Este desequilíbrio ecológico provoca um processo de degradação da qualidade da água que normalmente se caracteriza por:



Alterações no sabor, odor e aspecto, além de outros parâmetros de qualidade da água;

Perda da área do espelho d'água;

Reduções agudas do oxigênio dissolvido na água e mortandade de peixes e outras espécies aquáticas;

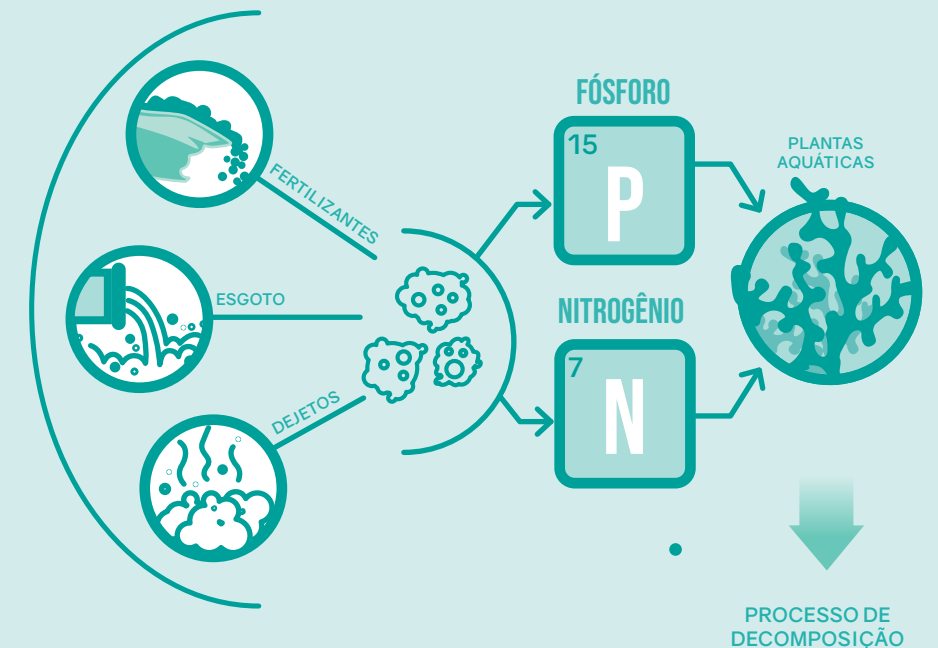
Crescimento de algas com capacidade de liberar toxinas.

EUTROFIZAÇÃO - INDICADORES

Os indicadores de qualidade de água mais estreitamente relacionados com a eutrofização representam fontes poluidoras ricas em nutrientes e matéria orgânica. São eles:

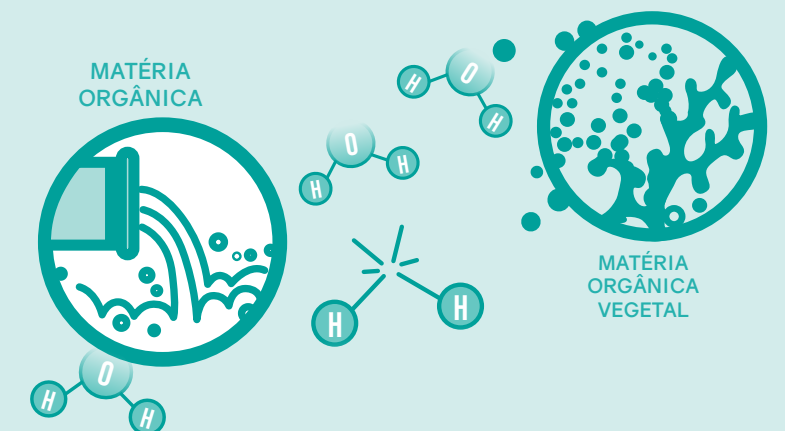
FÓSFORO E NITROGÊNIO

São nutrientes para plantas aquáticas e algas que desencadeiam o processo de eutrofização nos reservatórios. A **EUTROFIZAÇÃO** é um processo de degradação da água difícil de ser revertido, que pode prejudicar o abastecimento público e o uso da água pela indústria e agricultura. Suas principais fontes são os esgotos domésticos, fertilizantes e dejetos animais.



DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

Indica o consumo de oxigênio dissolvido na água no processo biológico de degradação da matéria orgânica. A matéria orgânica é abundante em esgotos não tratados. O aumento da DBO também ocorre em função da degradação da matéria orgânica vegetal que se acumula com o processo de eutrofização.



BASE DE DADOS

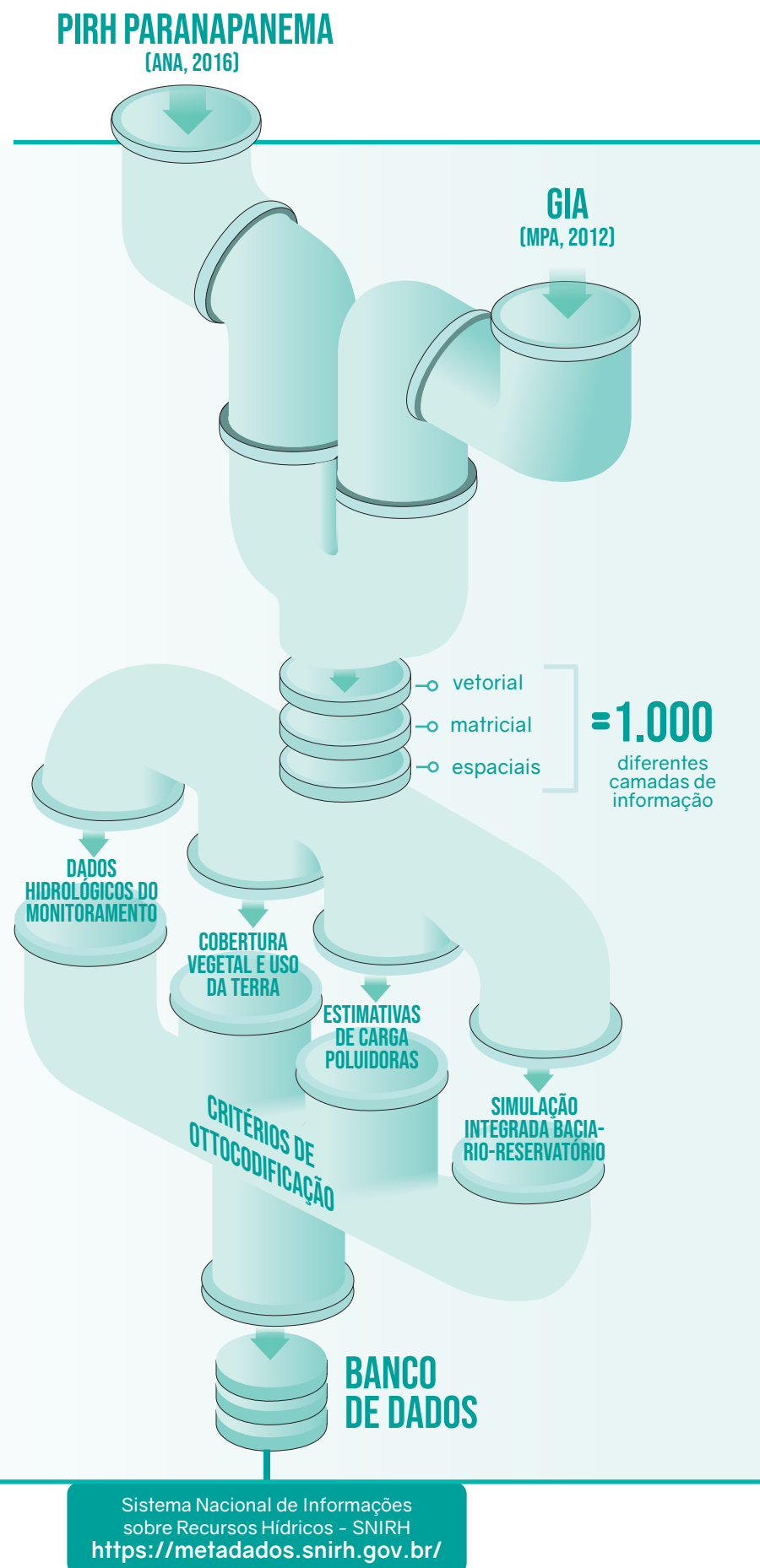
O desenvolvimento de modelos de simulação de qualidade de água depende de uma sólida base de dados. Os dados de entrada determinam em boa parte a precisão e complexidade dos modelos. As principais fontes de dados utilizadas neste estudo são provenientes do PIRH Paranapanema (ANA, 2016) e do Estudo/Relatório do Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais - GIA (MPA, 2012). Somados, os dois estudos possuem cerca de 1.000 diferentes camadas de informação nos formatos vetorial, matricial e de banco de dados espaciais.

A partir dos dados de entrada, os modelos produzem dados de saída. Esta grande quantidade de informação também precisa ser organizada numa base de dados para que seja aproveitada futuramente nos processos de gestão dos recursos hídricos, o que inclui até mesmo o aperfeiçoamento dos próprios modelos. Os dados e metadados gerados pelo estudo foram sistematizados, categorizados e estão disponibilizados no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos - SNIRH (<https://metadados.snirh.gov.br/>).

Para a construção das bases técnicas para o enquadramento, foram compilados os seguintes grupos de informações:

- **Dados hidrológicos do monitoramento;**
- **Cobertura vegetal e uso da terra;**
- **Estimativas de carga poluidoras;**
- **Simulação integrada bacia-rio-reservatório.**

Com a geoespacialização das informações e sua representação seguindo os critérios de Ottocodificação foi possível estabelecer pontos de contato entre os modelos de produção de cargas nas bacias e os trechos dos rios e reservatórios aos quais são aportadas, o que confere a esta etapa do trabalho caráter integrador dos modelos aqui utilizados para a simulação da qualidade da água na bacia.



PRODUÇÃO DE CARGAS POLUIDORAS NA BACIA

A gestão da qualidade da água e o controle da poluição hídrica se apoiam no conhecimento sobre as origens dos poluentes. A poluição pode ser proveniente de uma fonte pontual, a partir de um lançamento localizado direto no corpo receptor. Os poluentes também podem ser provenientes de fontes difusas, tendo sua origem em extensas áreas urbanas ou rurais e sendo carregadas principalmente pelo escoamento da água das chuvas no solo.

As cargas poluidoras de fontes pontuais geralmente são mais facilmente identificadas e quantificadas. Lançamentos de efluentes domésticos tratados e industriais são exemplos de fontes pontuais. Já a estimativa de cargas poluidoras da água provenientes de fontes difusas, como geralmente é o caso dos fertilizantes aplicados nas lavouras, é mais complexa e demanda mais pesquisas sobre os usos da terra na bacia, seus coeficientes de produção de cargas e modelos matemáticos, não tendo um ponto específico de lançamento no corpo hídrico.

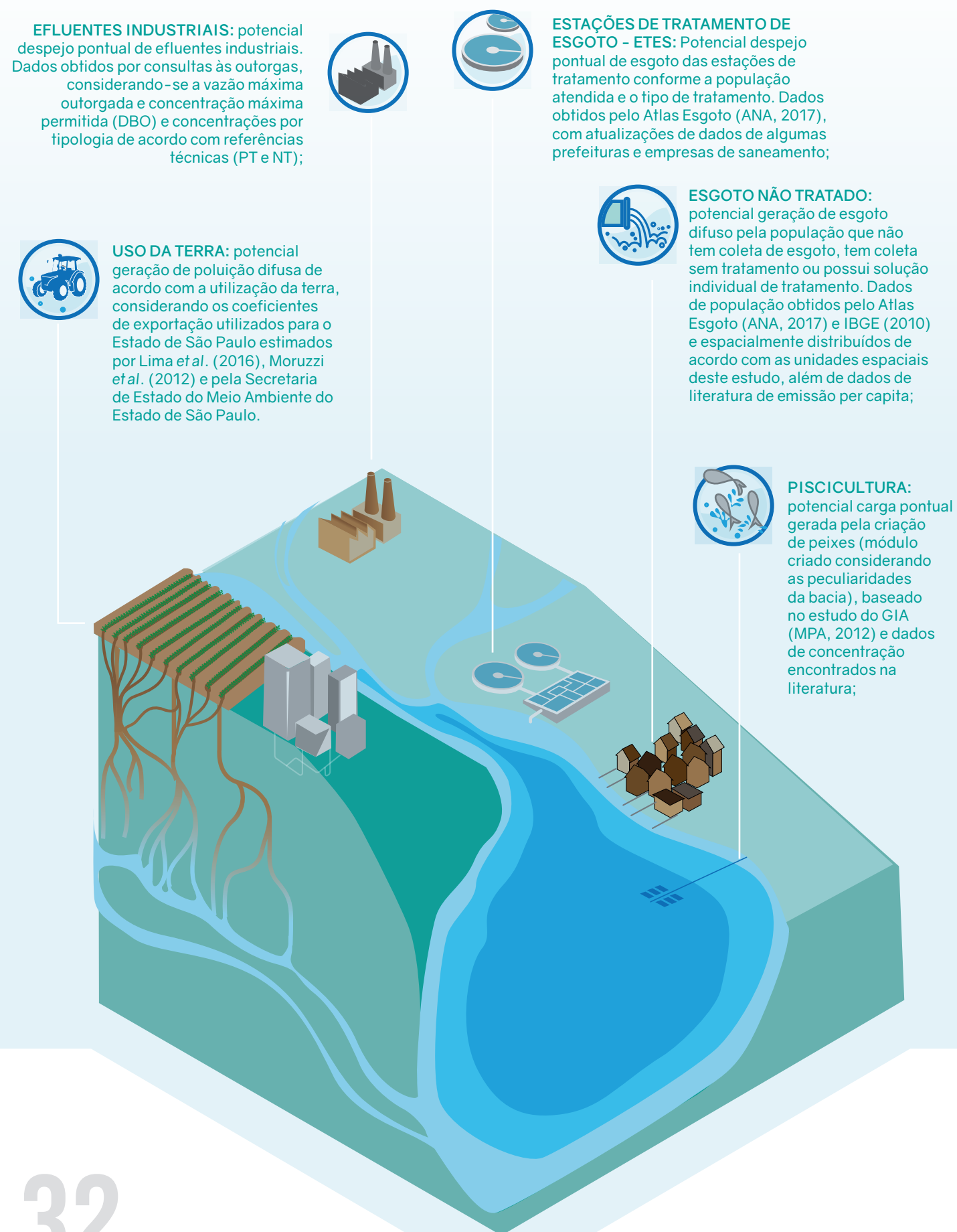
Caracterizar a poluição e sua respectiva fonte por meio das estimativas de cargas depende essencialmente dos dados disponíveis e das ferramentas de modelagem. Este é um importante diagnóstico para a gestão no âmbito da bacia hidrográfica porque permite identificar as principais fontes poluidoras e as áreas com maior produção de cargas.

Neste estudo, o modelo MoRE (*Modeling of Regionalized Emissions*) foi aplicado para a estimativa da produção de cargas de nutrientes e matéria orgânica na bacia do Paranapanema. O MoRE é um modelo determinístico de estimativa de cargas poluentes em bacias hidrográficas desenvolvido na Alemanha a partir do modelo consolidado MONERIS (*Modelling Nutrient Emissions in River Systems*).

O modelo considera diferentes fontes e vias para as cargas poluidoras em cálculos de emissões regionalizadas. Trata-se de uma ferramenta bastante flexível, que permite adequações em função da disponibilidade dos dados e de acordo com as especificidades de cada bacia hidrográfica. Uma das grandes vantagens do modelo é a possibilidade de aperfeiçoamento das estimativas com a inclusão de dados atualizados e módulos adicionais, de acordo com a disponibilidade das informações de entrada.

A ferramenta é dividida em módulos que representam as fontes e/ou vias de poluição e utiliza unidades espaciais analíticas para agregar as variáveis de entrada de acordo com a resolução espacial. Cada módulo possui diversos dados de entrada que definem a acurácia dos resultados, a depender de sua quantidade e qualidade. O total de emissões em cada unidade de área é uma previsão de potencial geração de carga anual. A determinação dos módulos deve contemplar as principais fontes e vias de poluição.

Neste estudo foram estimadas as cargas das seguintes fontes poluidoras:



SIMULAÇÕES NOS RIOS

Para fins de simulação da qualidade, os trechos lóticos dos rios Paranapanema e Itararé foram assim classificados com base no critério do tempo de residência, que é o tempo necessário para a renovação total do volume de água de um determinado trecho. Para este estudo, trechos com tempo de residência menor que 40 dias foram considerados lóticos e tiveram uma metodologia de simulação específica, descrita a seguir. Ainda de acordo com este critério, os trechos com aproveitamentos hidrelétricos a fio d'água foram considerados também lóticos.

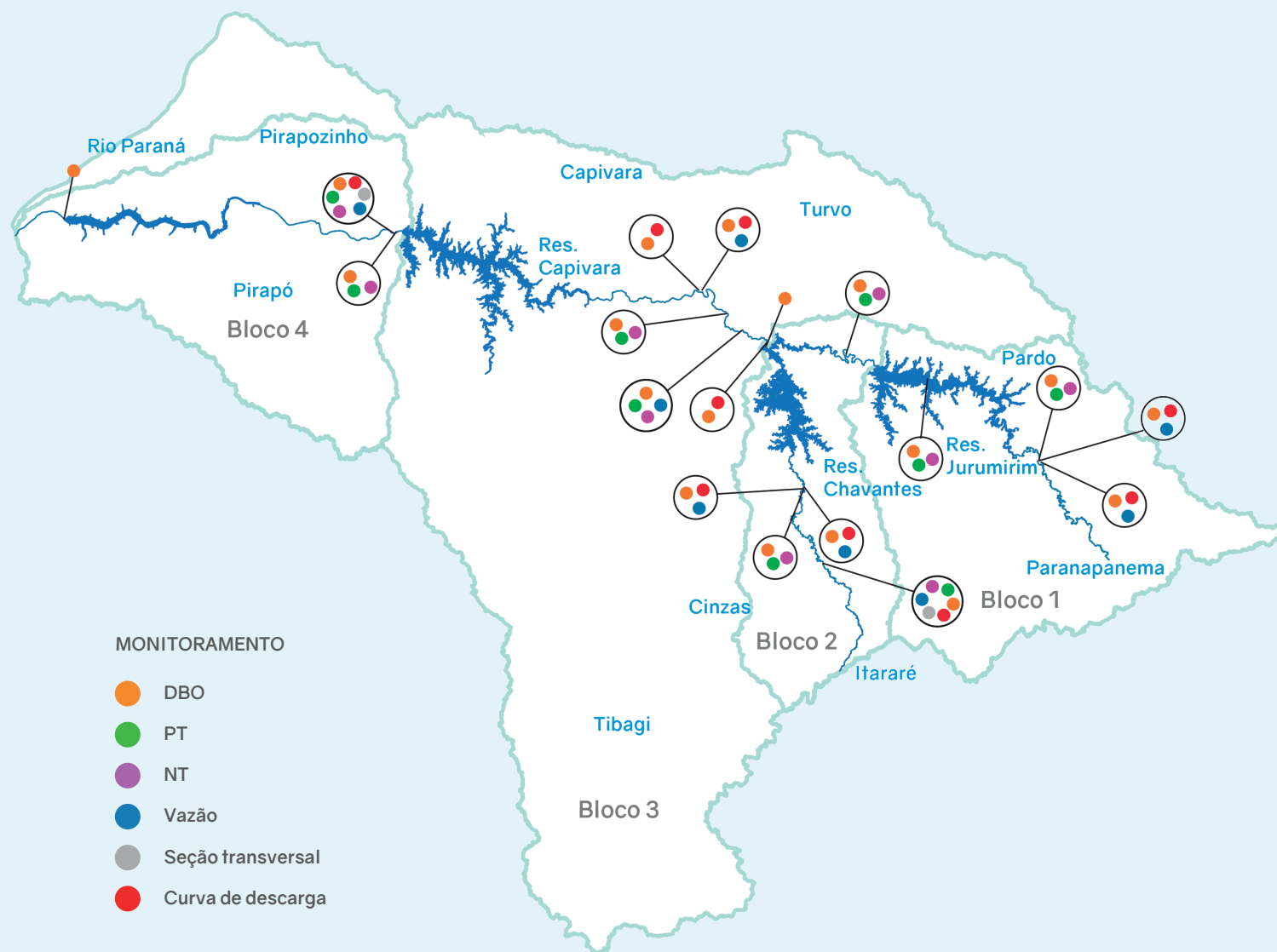
As simulações dos reservatórios Juru-mirim, Chavantes e Capivara seguiram uma metodologia diferente, a ser descrita mais adiante, visto que estes foram classificados como sistemas léticos pelos mesmos critérios. Os efeitos dos reservatórios no fluxo dos constituintes da água, porém, foram levados em consideração nas simulações dos trechos lóticos como condições de contorno de montante de cada trecho (geradas a partir de dados observados) e do termo de transporte (módulo hidrodinâmico).

As simulações hidrodinâmicas foram elaboradas com a utilização do modelo Sih-Qual (Ferreira, 2019), considerando o cenário base, o ano de 2012 (B12), e os cenários futuros tendencial e acelerado, tendo como referência os anos de 2025 e 2035. Estes cenários foram definidos como horizontes de planejamento no PIRH Paranapanema (ANA, 2016).

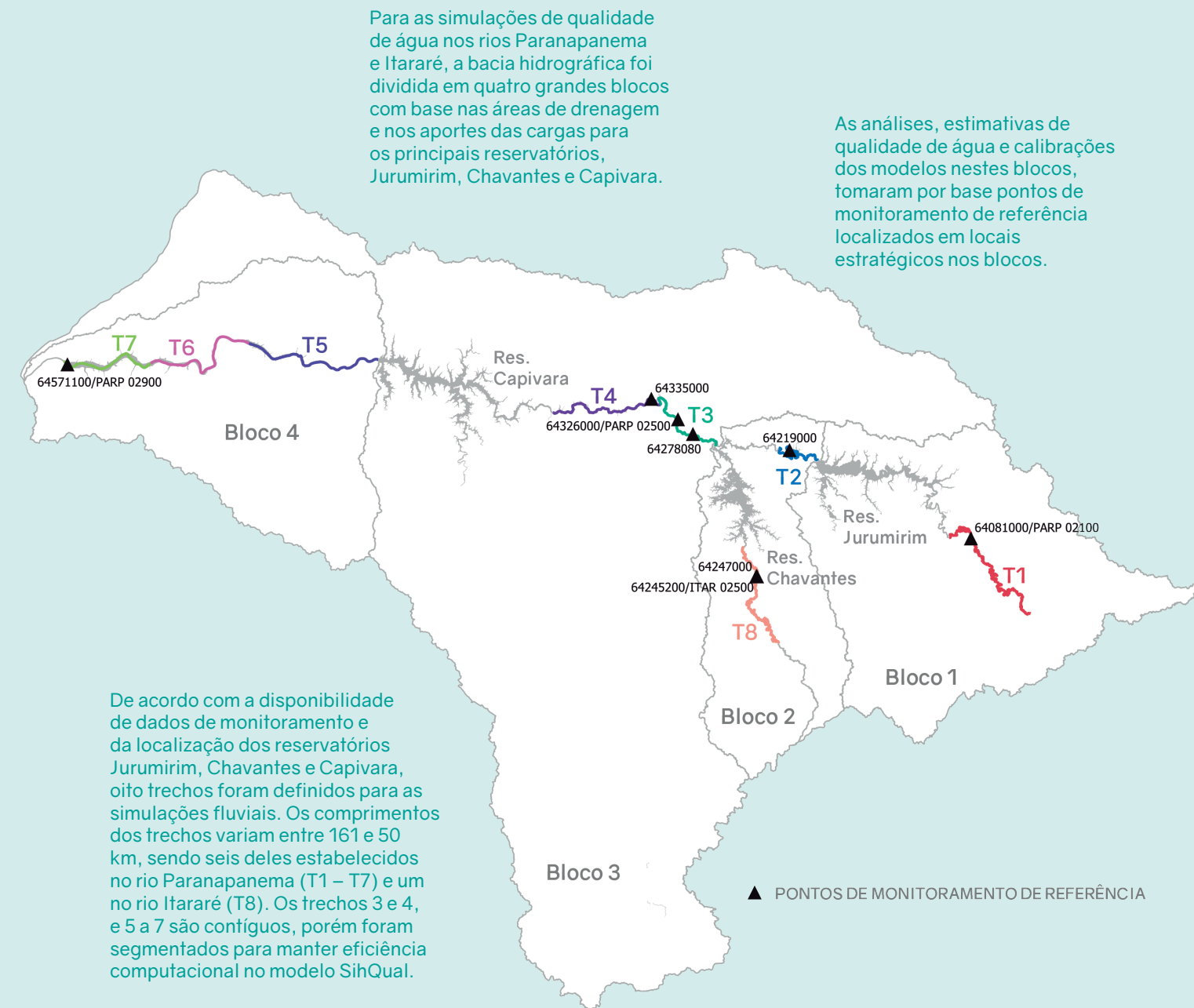
Os parâmetros simulados foram a **demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**, **oxigênio dissolvido (OD)** e os **nutrientes fósforo total (PT) e nitrogênio total (NT)**.

Os resultados foram obtidos a partir de estações de monitoramento usadas como referências neste estudo. Estas estações, operadas pelos órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, foram selecionadas a partir da disponibilidade de dados de vazão e concentrações dos parâmetros de qualidade de água. As séries históricas do monitoramento a partir do ano 2000 foram utilizadas nas simulações dos rios por representar de maneira adequada a variabilidade de concentrações esperada para os períodos estudados.

ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO



PRÉ-PROCESSAMENTO E CENÁRIO BASE



Para a modelagem hidrodinâmica, foram utilizados hidrogramas e cotogramas do ano 2012, além de séries históricas de curva de descarga e perfis transversais ao longo dos trechos. As simulações de qualidade de água se basearam no conjunto de dados de monitoramento a partir do ano 2000 em cada seção de referência. Estas foram determinadas de acordo com a representatividade das concentrações, agrupando-se informações seguindo um critério de proximidade.

Nas simulações dos trechos, as estimativas de cargas provenientes da bacia hidrográfica foram consideradas como aportes laterais ao longo dos comprimentos de trecho de rio. Para este fim, foi desenvolvido um algoritmo para compatibilização entre comprimentos de rio equivalentes às otobacias e realizada a divisão dos trechos em segmentos de 500 m para as simulações.

O EFEITO RESERVATÓRIO

Ao atingir os reservatórios, as cargas transportadas pela água são sujeitas a transformações em função da mudança de regime hidrológico e de processos físicos, químicos e biológicos próprios dos ambientes lânticos. Tais alterações foram consideradas no fluxo das cargas para os trechos lóticos a jusante dos reservatórios, onde o processo de simulação específico para os rios recomeça.

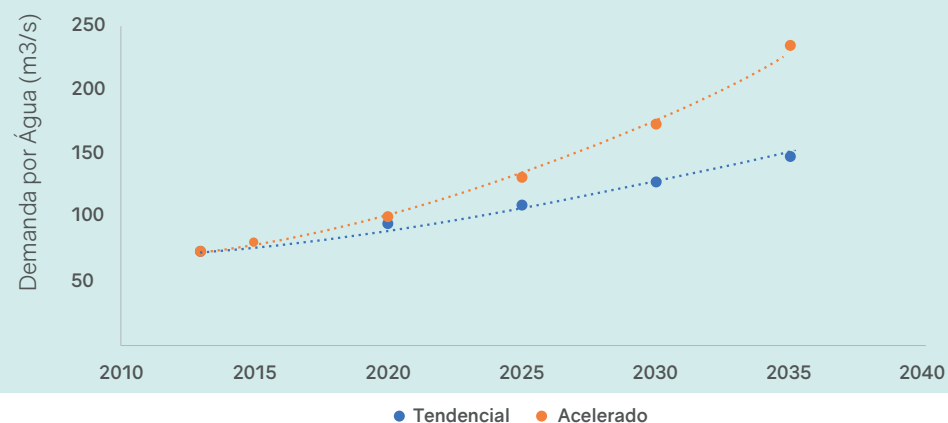
CENÁRIOS TENDENCIAL E ACELERADO

Os dados de entrada ajustados para simulação de cenários futuros foram as cargas laterais estimadas pelos modelos de produção de cargas, as condições de contorno de montante em cada trecho e as concentrações dos parâmetros estudados.

As condições hidrodinâmicas consideradas foram as mesmas do ano de 2012.

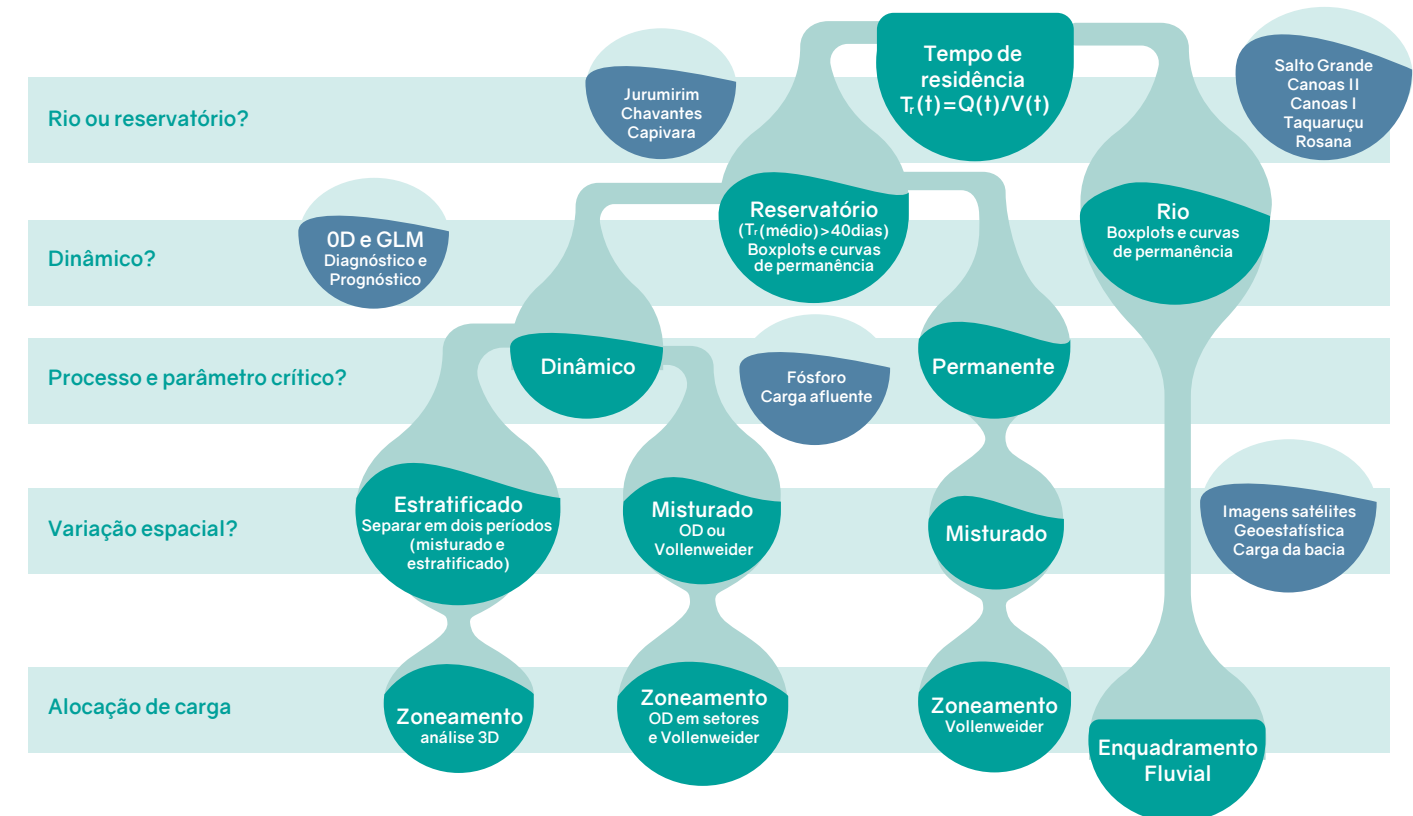
Os coeficientes de crescimento foram aplicados linearmente às informações de entrada (cargas) de acordo com as previsões definidas no PIRH Paranapanema (ANA, 2016) para as unidades de gestão e planejamento de recursos hídricos. Nos casos em que estações de referência se localizavam nas divisas destas unidades, foram adotadas as médias dos coeficientes.

Cenários PIRH (2016)



SIMULAÇÕES NOS RESERVATÓRIOS

A análise dos reservatórios partiu de critérios de classificação segundo o esquema abaixo.

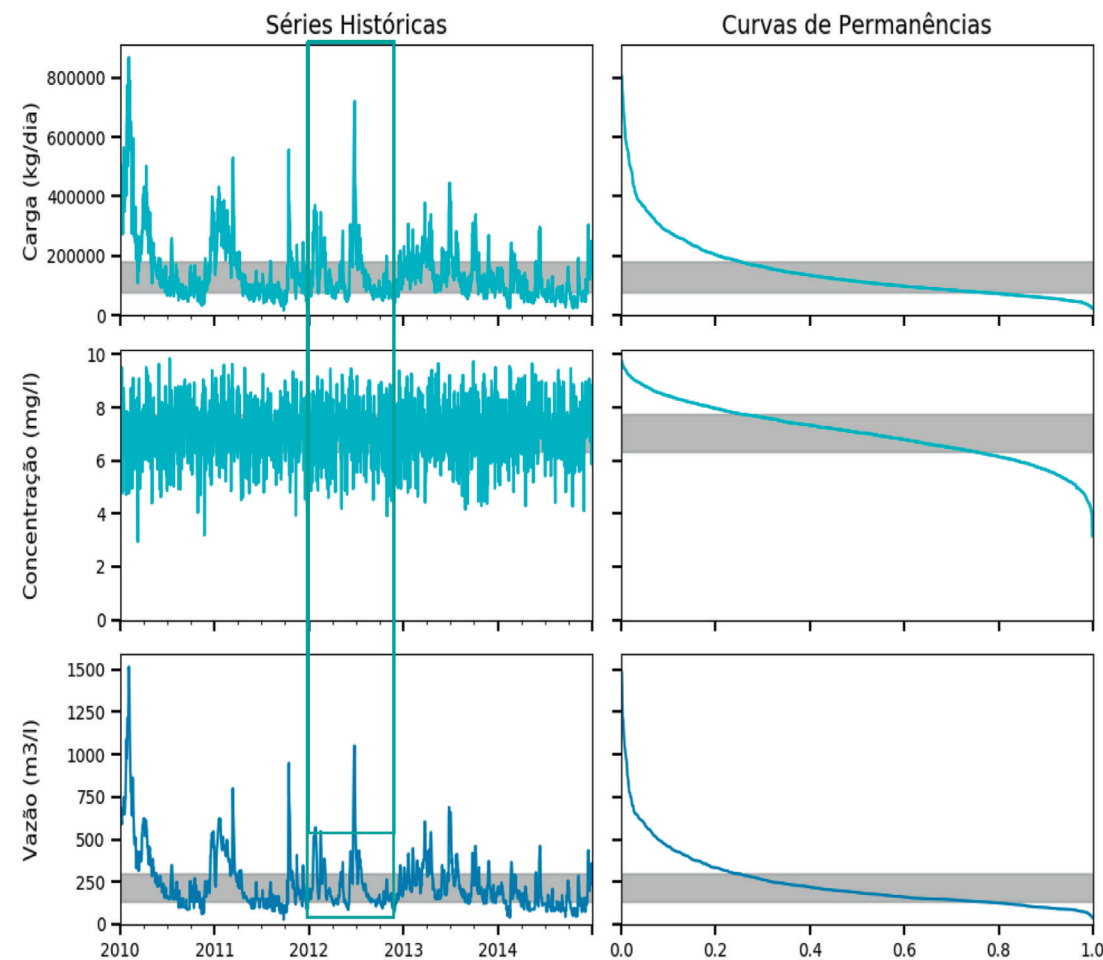


O tempo de residência, que é o tempo necessário para a renovação do volume de água do reservatório, foi o critério para a diferenciação do regime lântico em relação ao ambiente lótico. Tempos de residência superiores a 40 dias determinaram a adoção de uma abordagem metodológica específica para ambientes lânticos para os reservatórios Jurumirim, Chavantes e Capivara.

O passo seguinte foi analisar as variações temporais e espaciais de vazão e concentração de constituintes nos reservatórios, bem como suas implicações para o processo de enquadramento dos trechos lânticos.

A metodologia usada para esta análise da variação temporal foram simulações não permanentes com um modelo vertical unidimensional GLM. Foram simulados os parâmetros de temperatura, oxigênio dissolvido, nitrogênio total (nitrato mais nitrogênio amoniacal) e fósforo total. No total foram feitas 27 simulações, 9 para cada reservatório, sendo a situação de referência (cenário base, ano 2012), os cenários acelerados e tendencial para os anos 2025 e 2035, com variações de carga e quatro cenários hipotéticos extremos.

Os dados de entrada dos cenários simulados são exemplificados nas figuras seguintes para o reservatório Jurumirim.



Variação temporal dos parâmetros afluente do reservatório Jurumirim. O ano base (2012) foi marcado em verde. O intervalo interquartil é definido pelo intervalo dos quartis superiores e inferiores em um box plot.

Para responder à questão sobre as variações espaciais dos reservatórios e se há necessidade de propor seu zoneamento para fins de enquadramento, foram aplicadas simulações não permanentes com modelos tridimensionais Delft3D. Cada simulação hidrodinâmica foi seguida por uma simulação de qualidade de água.

A avaliação da variabilidade espacial foi apoiada por análises de séries de imagens de satélite (sensoriamento remoto) e métodos geoestatísticos de clustering dos parâmetros.

Os dados de entrada dos cenários simulados foram os mesmos da modelagem uni-

dimensional, porém, distribuídos espacialmente. A distribuição espacial foi realizada utilizando informações das cargas estimadas para a bacia e acrescentando as cargas provenientes da aquicultura. A variação dos resultados foi analisada visualmente por meio de boxplots e curvas de permanência, considerando os tempos de ocorrência de uma faixa específica de concentração, cenários base, tendencial e acelerado e variações de cargas.

A partir das simulações acima também foi possível identificar os parâmetros mais críticos para a qualidade de água nos reservatórios.

ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE CARGAS PARA O ENQUADRAMENTO

NOS RIOS

As estimativas de redução de cargas poluidoras necessárias para o alcance das metas de qualidade de água nos rios Paranapanema e Itararé são contribuições importantes na construção de bases técnicas para subsidiar o processo de enquadramento dos corpos hídricos na bacia hidrográfica.

A conformidade dos parâmetros com os padrões de qualidade das classes, definidas na Resolução CONAMA nº 357/2005, foi analisada a partir de curvas de permanência, tanto em relação ao cenário base (ano de 2012), quanto aos cenários futuros previstos no PIRH Paranapanema, considerando o aumento das cargas laterais prove-

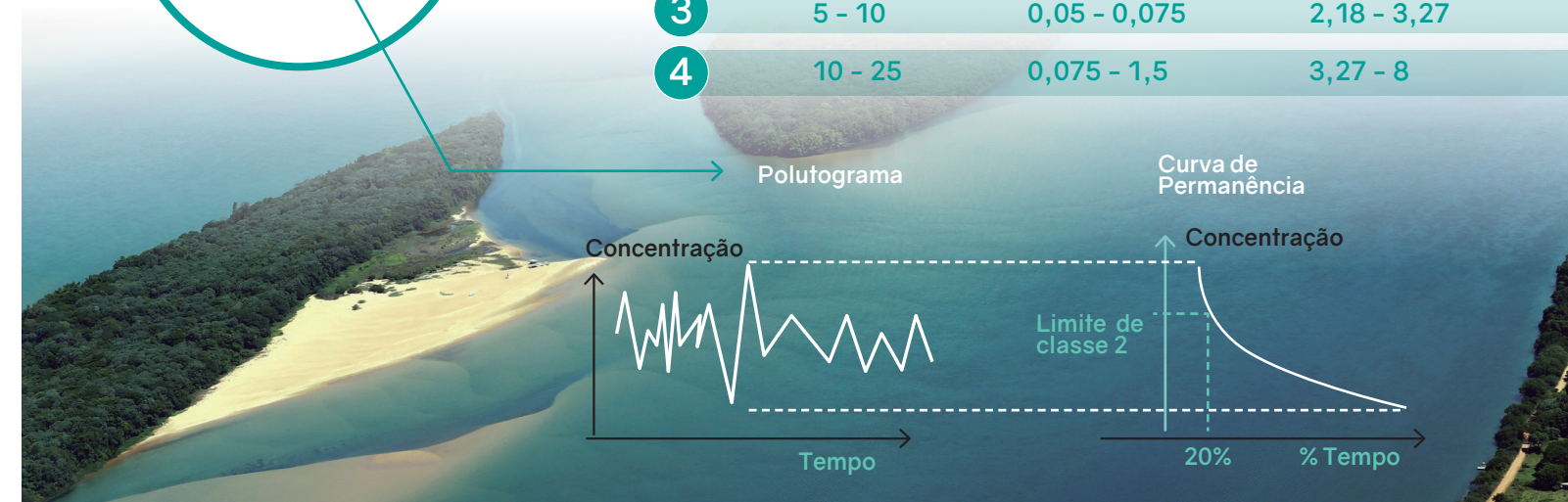
nientes da bacia.

A resolução CONAMA nº 357/2005 não estabelece padrões para o NT, mas define que, quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lóticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência. Com base nesta definição, nos dados observados e no conhecimento dos pesquisadores envolvidos neste estudo sobre a qualidade de água na região, foi estabelecido para o presente estudo as faixas de NT para as classes de qualidade conforme a tabela abaixo.

Curva de permanência conceitual para um ponto qualquer no rio, indicando percentual de transgressão de classe de enquadramento durante um determinado período

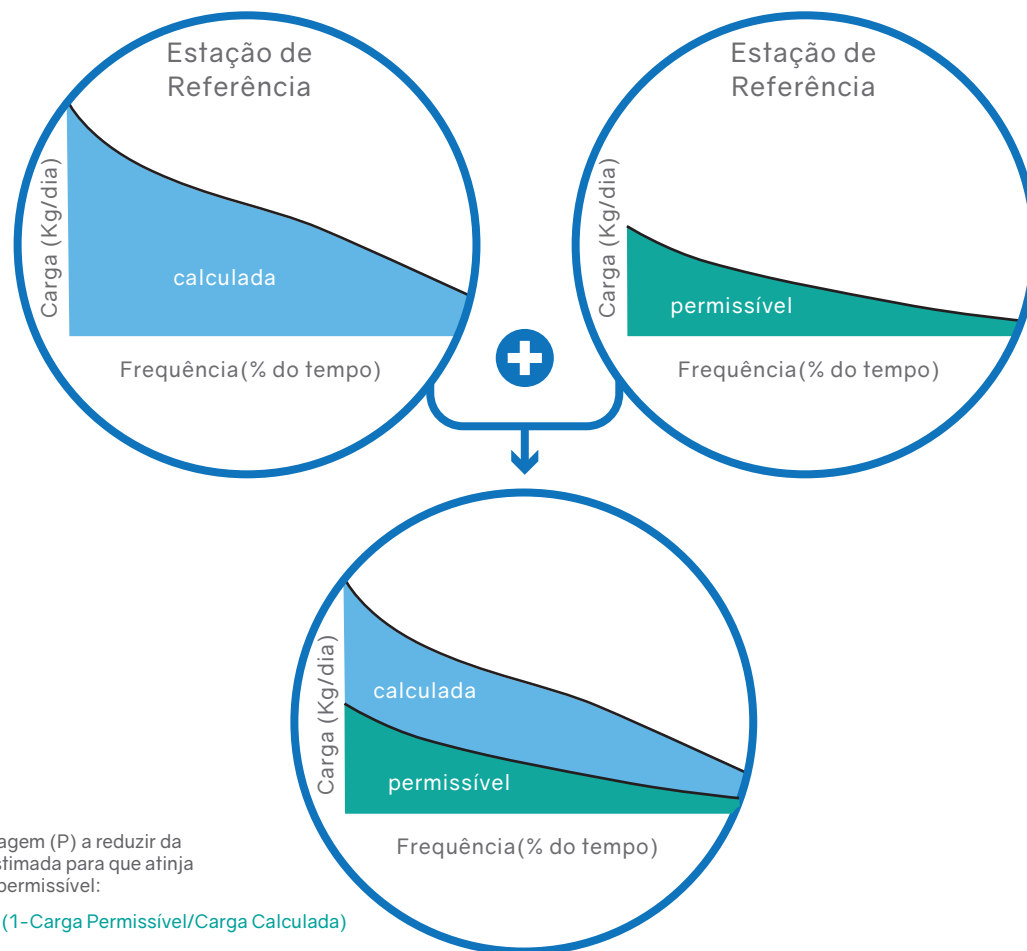


Classe	Adaptado de CONAMA nº 357/2005 - Limites adotados (mg/L)		
	DBO	PT	NT
1	0 - 3	0 - 0,025	0 - 2,18
2	3 - 5	0,025 - 0,05	0 - 2,18
3	5 - 10	0,05 - 0,075	2,18 - 3,27
4	10 - 25	0,075 - 1,5	3,27 - 8



Foram projetadas curvas de permanência com as cargas simuladas ao longo do ano no ponto de referência do trecho de simulação. Estas curvas foram comparadas à curva com o máximo permitido, obtida pelo

produto da concentração limite de classe e vazão simulada. A interseção dessas duas informações fornece a porcentagem de carga a ser removida para que a classe de interesse seja mantida.



Porcentagem (P) a reduzir da carga estimada para que atinja o limite permissível:

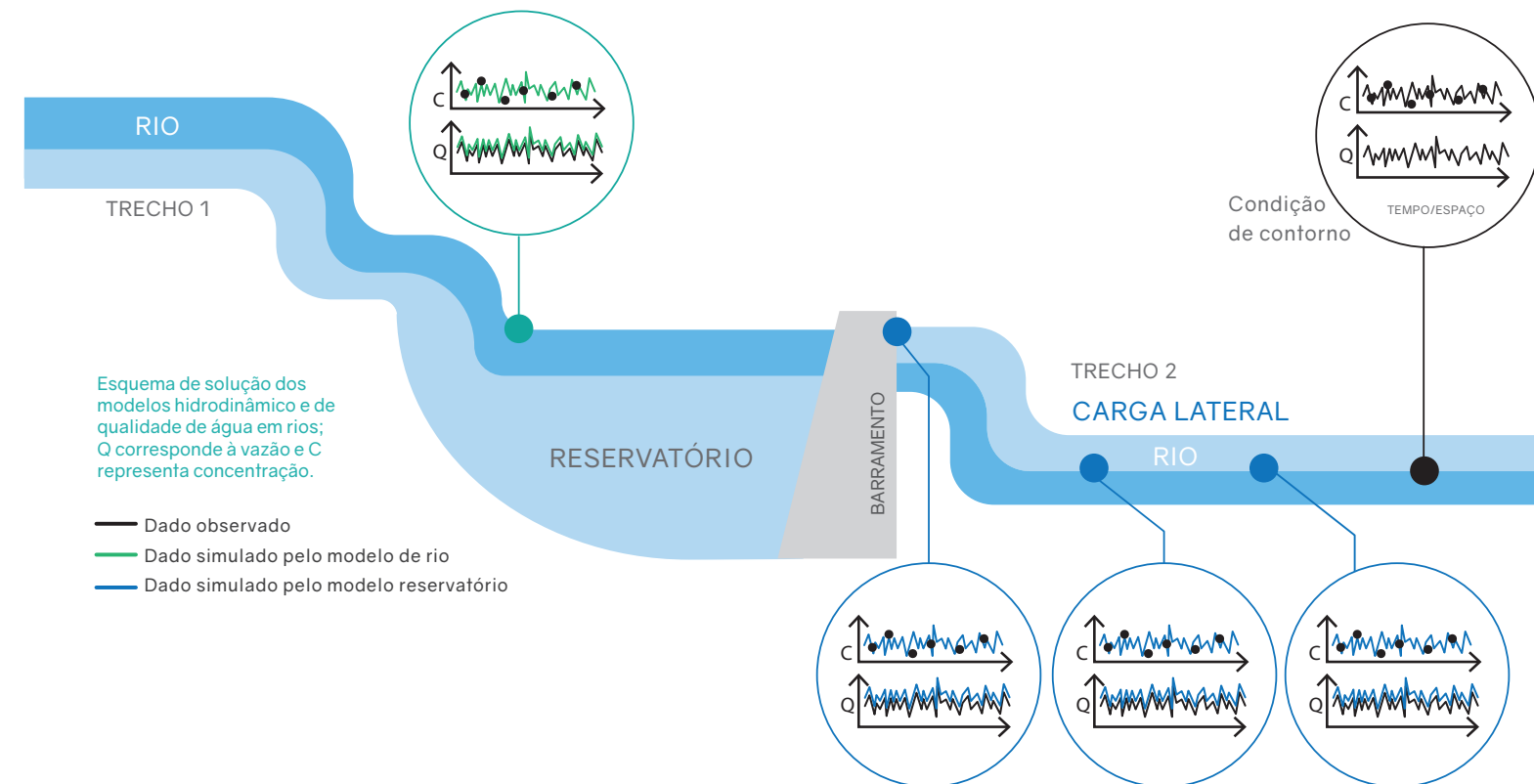
$$P = 100 \times (1 - \text{Carga Permissível} / \text{Carga Calculada})$$

Assumindo que a porcentagem de redução requerida para um determinado trecho foi atingida, considerou-se a mesma teria que ser refletida no início do trecho seguinte,

onde a simulação será refeita com uma nova condição propagada. Este procedimento permitiu a simulação nos trechos para os quais não há dados de monitoramento disponíveis.

O efeito dos reservatórios na assimilação e atenuação das cargas já descrito anteriormente foi considerado para as estimativas das reduções necessárias das cargas nos rios. Por exemplo, se a redução de matéria orgânica necessária para manter classe 2 no trecho 1 é de 50%, assume-se

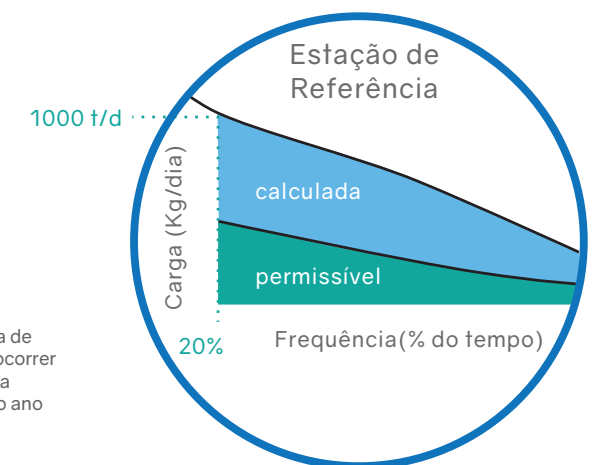
que esse valor é totalmente atingido – seja por diminuição dos aportes da área de contribuição direta do trecho 1 ou por mecanismos de degradação do reservatório, por sua vez, também afetados pelos aportes laterais. Deste modo, a correção da condição a ser propagada no trecho 2 é de 50%.



REDUÇÃO SEGUNDO FREQUÊNCIAS DE TRANSGRESSÃO PERMISSÍVEL

As curvas de permanência oferecem a possibilidade de análise por faixas ou períodos de interesse. Caso o tomador de decisão defina que no trecho de interesse seja factível que um determinado valor seja igualado ou excedido, os requisitos de redução de aportes àquele ponto podem ser flexibilizados.

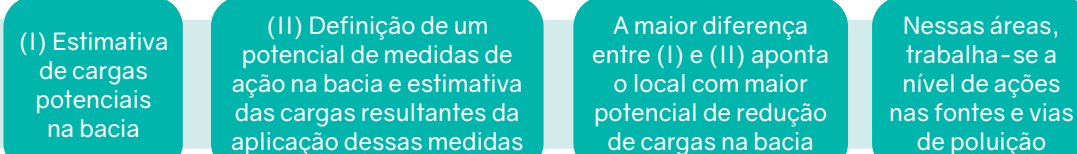
Exemplo: carga de 1000t/d pode ocorrer ou ser superada durante 20% do ano



NAS BACIAS

Os percentuais de redução de cargas produzidas nas bacias – nas diferentes otobacias e das diversas fontes estudadas – também foram estimados para medidas de controle da poluição na fonte, as quais podem ser confrontadas com as demandas

dos trechos de rios, estudadas em termos de concentração. Trata-se, portanto, de medidas de redução de cargas em sua origem. O fluxograma abaixo explica o processo de estimativa dessas reduções nas bacias:



As demandas de reduções de cargas na bacia contribuinte foram definidas para que se alcance os padrões de qualidade nos trechos dos rios segundo as classes pretendidas e cenários adotados (modelagem nos rios e reservatórios). As reduções de cargas pelas principais fontes poluidoras foram estimadas considerando medidas viáveis de controle da poluição, que podem ser confrontadas com as demandas. Deste modo, os critérios adotados visaram oferecer subsídios para atendimento das metas desejadas em termos de concentrações dos parâmetros, podendo e devendo ser revistos e negociados no processo participativo da construção de uma proposta de enquadramento pelos gestores e usuários de recursos hídricos da bacia.

Entre medidas potenciais para a redução de cargas de DBO, fósforo total e nitrogênio total estão:

- **A melhoria da eficiência das ETEs para o patamar de 97%, 70% e 70% para remoção DBO, PT e NT, respectivamente.**
- **Tratamento dos esgotos não tratados da bacia, assumindo as mesmas eficiências de tratamento mencionadas acima.**
- **Aumento do tratamento de efluentes industriais com redução da carga em**

50% para os 3 parâmetros.

- **Redução de 30% das cargas difusas pela adoção de boas práticas no campo.**

Para a redução das cargas de fontes difusas, baseadas nos usos da terra, recomenda-se a recomposição das áreas de APP (Áreas de Proteção Permanente) de toda a Bacia e adoção de boas práticas na agropecuária. A redução de cargas a partir da adoção de boas práticas agrícolas é um tema que demanda estudos específicos e aprofundado para cada área, uma vez que depende de vários fatores como tipo de cultura, declividade, tipo do solo, degradação do solo, recursos, maquinários e tecnologias envolvidas no manejo da terra. Em casos exemplares, é possível chegar a mais de 80% de redução da emissão de cargas a partir de boas práticas (Xia *et al.*, 2020).

A diferença entre as cargas estimadas na bacia sem e com a aplicação das medidas potenciais a serem implantadas resultou em mapas de potencial de redução de cargas. A indicação das áreas com maior potencial de redução e das cargas que mais ameaçam a qualidade de água de rios e reservatórios são importantes subsídios para a implementação do enquadramento na bacia do Paranapanema.

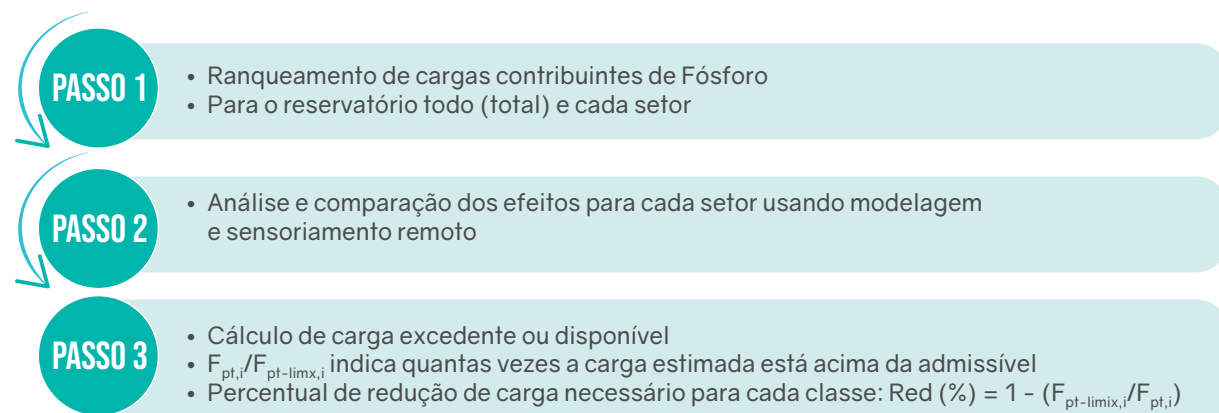
NOS RESERVATÓRIOS

Para os reservatórios, com base nas cargas afluentes resultantes das simulações da modelagem fluvial, assim como das cargas provenientes da piscicultura, foi realizada uma análise visando a alocação de cargas e

reduções necessárias de modo a garantir a qualidade da água compatível com diferentes classes de uma proposta de enquadramento.

Esquema de análise de alocação de cargas nos reservatórios:

ESQUEMA DE ANÁLISE E ALOCAÇÃO DE CARGAS



Todos os contribuintes foram ranqueados do maior até menor percentual de carga de fósforo. Posteriormente os aportes foram agrupados segundo os contribuintes para cada setor do reservatório. Na sequência, foi realizada a análise e comparação dos efeitos das cargas para cada setor utilizando os resultados das simulações dos reservatórios descritas anteriormente com a utilização de séries de imagens de satélite para a identificação dos setores mais críticos.

Com isso, foi avaliada a necessidade de redução de cargas nos trechos. Para esta análise, foi necessário reduzir e integrar todos os dados disponíveis das forçantes e das modelagens para obter uma única informação para cada setor, sendo a carga anual

de fósforo F_{pt} para cada setor i , $F_{pt,i}$, e cada cenário futuro e a carga máxima admissível, $F_{pt-limx,i}$ para cada classe x .

O coeficiente $F_{pt,i} / F_{pt-limx,i}$ indica quantas vezes a carga estimada está acima da admissível. Assim, o percentual de redução necessária de carga, ou o potencial de carga a ser alocada, para cada classe foi calculado usando a equação $Red(\%) = 1 - (F_{pt-limx,i} / F_{pt,i})$.

As análises e comparações das modelagens mostraram que a definição da carga máxima admissível pode ser feita usando a classificação de Vollenweider, porém, aplicada a cada setor dos reservatórios, reduzindo assim o esforço computacional de calcular cada cenário e variação de carga.

4

BASES PARA O ENQUADRAMENTO



Culturas irrigadas em Itaberá (SP)
Raylton Alves / Banco de imagens ANA

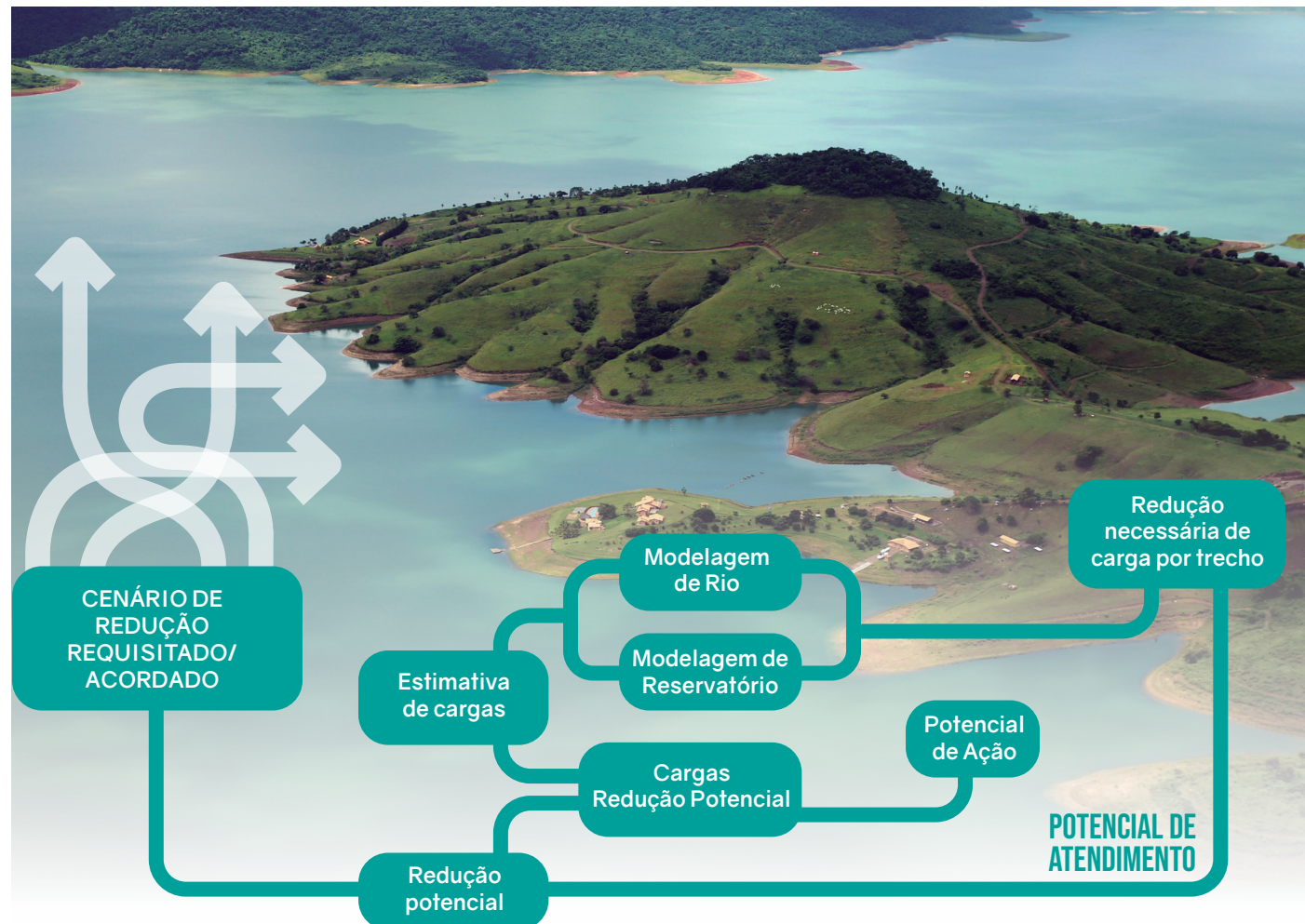
As estimativas de cargas potenciais produzidas no território da bacia ajudam a compreender a origem das cargas poluidoras que podem atingir os corpos hídricos e alterar sua qualidade, além de orientar as medidas para o controle da poluição hídrica.

Os impactos que estas cargas exercem sobre os rios e reservatórios dependem não só de sua magnitude e de como atingem os corpos hídricos no tempo e no espaço, mas também das suas características hidrodinâmicas e de transporte do corpo receptor, o

que requer modelos diferenciados para rios e reservatórios.

Portanto, neste estudo, modelos para a simulação da qualidade de água nos rios e nos reservatórios foram calibrados e aplicados para os três cenários de desenvolvimento previstos para a bacia no PIRH Paranapanema (ANA, 2016). A ideia foi definir as cargas máximas toleráveis para garantia dos critérios de qualidade de água previstos para as classes de enquadramento e, assim, indicar a redução necessária de carga em cada trecho ou bacia de drenagem.

PRODUÇÃO DE CARGAS NA BACIA

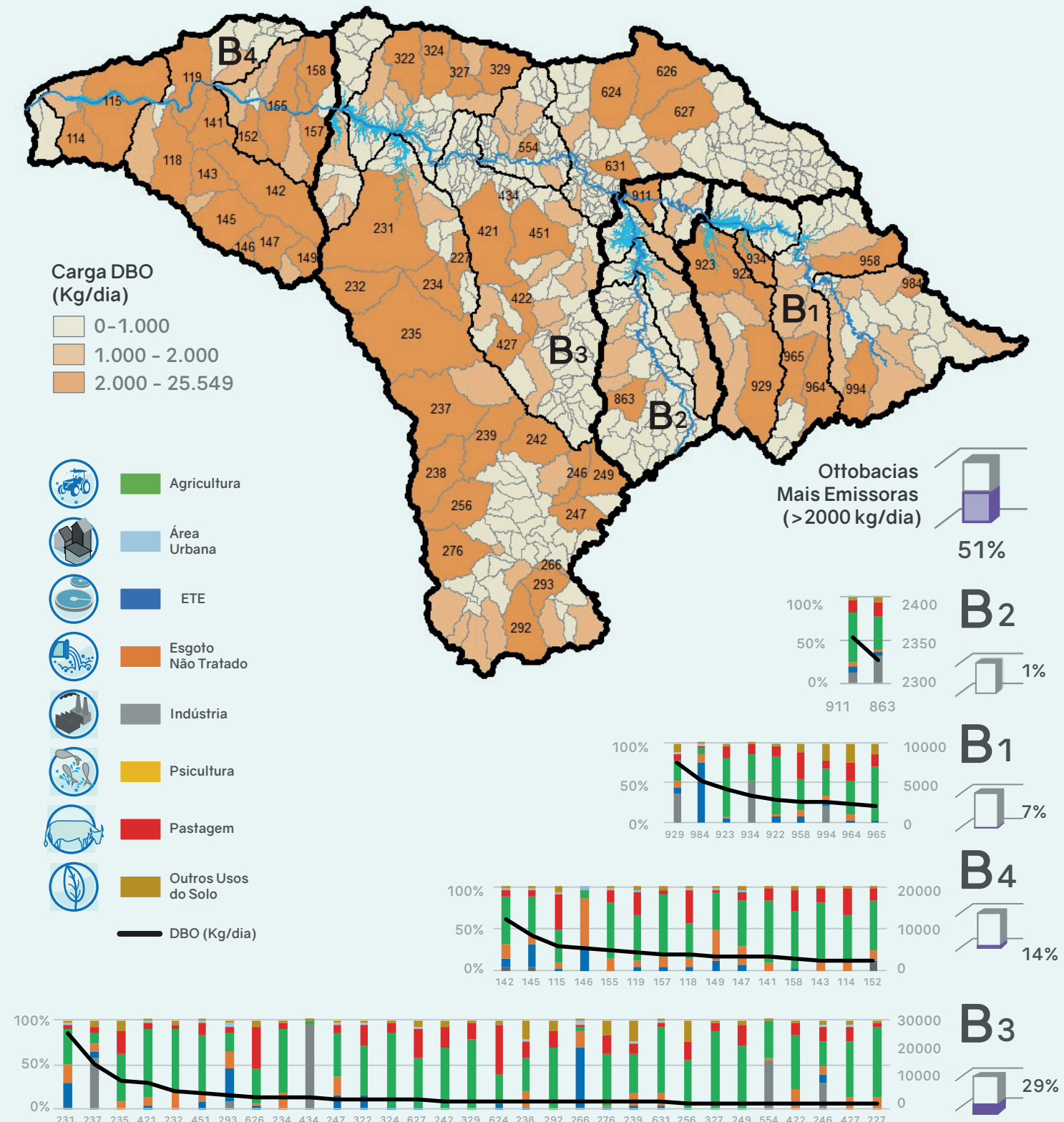


Apoiados pelas informações produzidas por estes modelos, aqui organizadas e apresentadas como bases técnicas para o enquadramento, os gestores e usuários da água da bacia poderão discutir e estabelecer consensos sobre possíveis medidas de redução de cargas poluidoras na bacia. As reduções de cargas estimadas com a adoção de tais medidas, se comparadas com as necessidades de redução nos trechos para os quais a qualidade da água foi simulada, indicam o potencial de efetividade destas medidas. Este potencial, por sua vez, tem

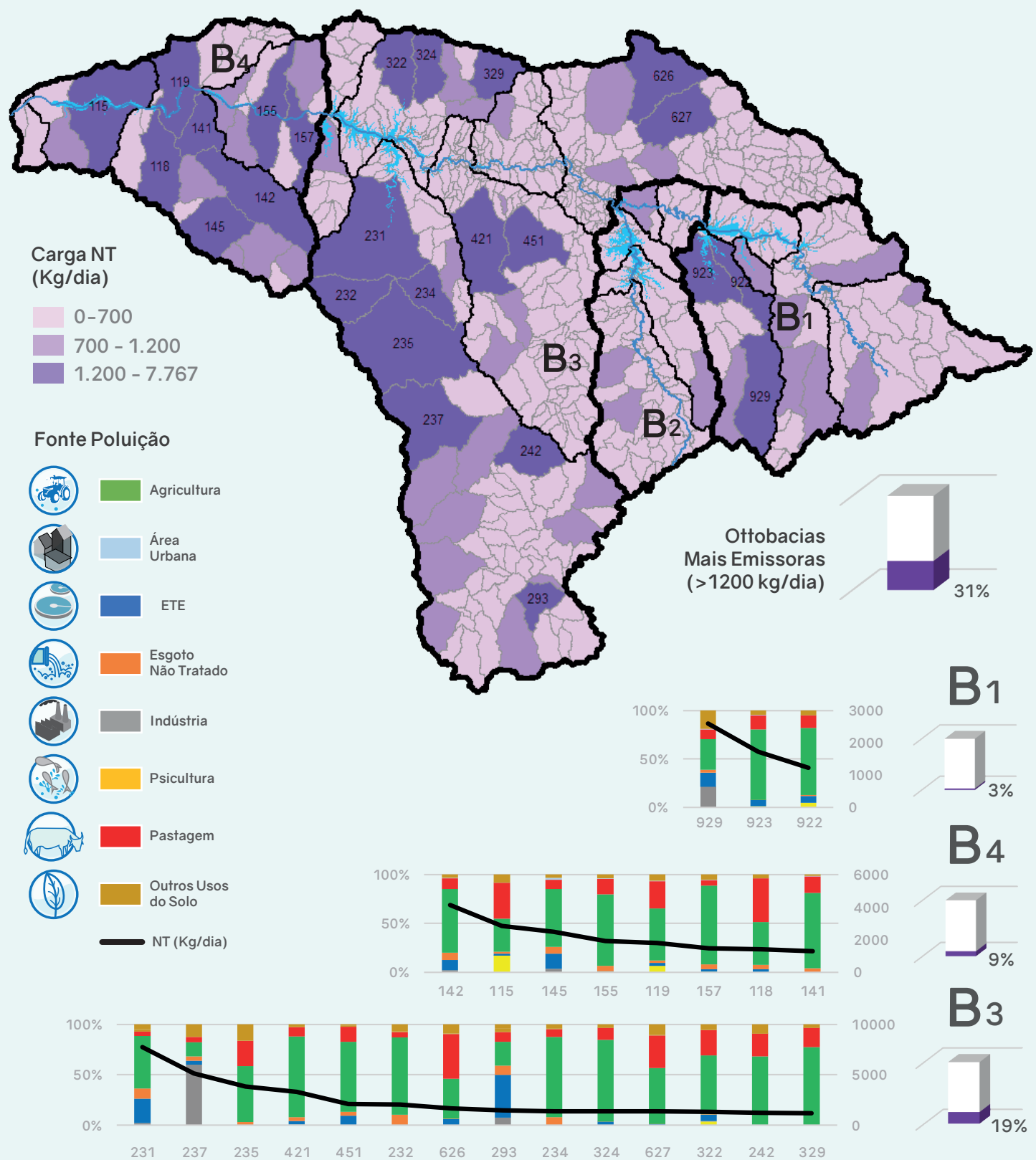
grande importância para a gestão da qualidade da água no sentido de apontar a priorização de áreas e das fontes poluidoras da água na bacia.

O potencial de produção de cargas orgânicas e nutrientes na bacia, estimadas com base nas fontes pontuais e difusas apontadas no capítulo anterior, é apresentado nos infográficos a seguir. As principais fontes de poluição orgânica e nutrientes são apontadas para toda a bacia do Paranapanema, por blocos e nas ottobacias, ranqueadas de acordo com sua contribuição.

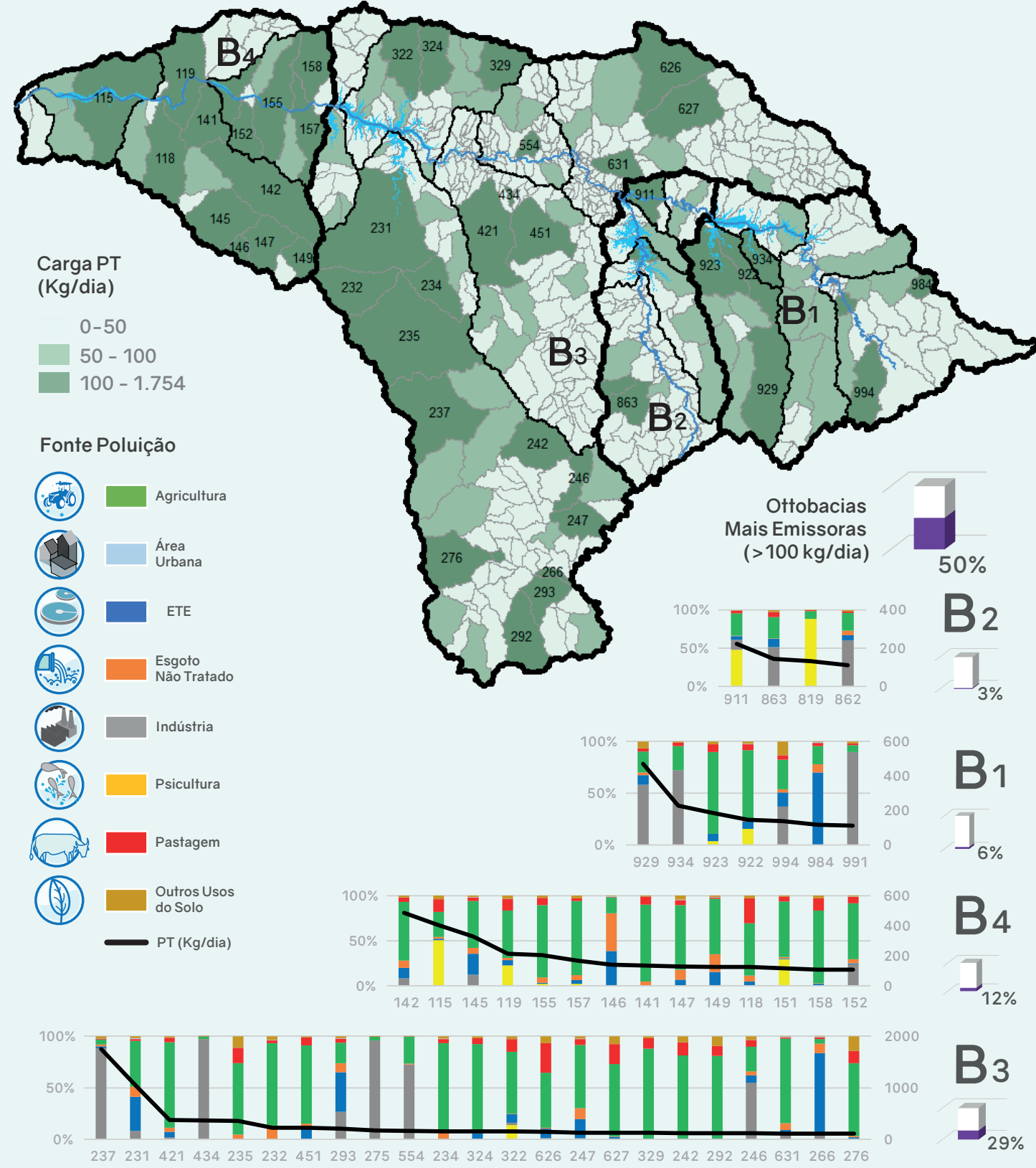
EMISSIONES DE DBO NAS OTTOBACIAS



EMISSIONS DE NT NAS OTTOBACIAS



EMISSIONS DE PT NAS OTTOBACIAS



As emissões de fontes difusas, como a agricultura e as pastagens predominam em relação às fontes pontuais na bacia do Paranapanema e nos blocos individualmente. Tomando a bacia como um todo, as fontes difusas potencialmente respondem por 77% da DBO, 84% do NT e 67% do PT. As culturas temporárias podem chegar a representar pouco mais de 50% das emissões orgânicas e nutrientes da bacia. As pastagens têm potencial para contribuir com quase 8% dos nutrientes e 16% da emissão orgânica, sendo a segunda principal fonte difusa potencial das cargas estimadas.

Os efluentes domésticos somados, tratados ou não, respondem por 18% das emissões orgânicas, 10% do NT e 12% do PT. Os esgotos não tratados representam cerca de 10% das emissões orgânicas e 4% do PT e NT, individualmente. As estações de tratamento de esgotos representam 8% de cada DBO, PT e NT. Estima-se que o setor industrial produz 16% das emissões de fósforo, 6% das emissões orgânicas e 4% do NT.

O nitrogênio total é a principal emissão estimada de fontes difusas na bacia (84%), porém elevadas proporções de PT (67%) e DBO (77%) também tem origem difusa, principalmente das terras agrícolas e pastagens.

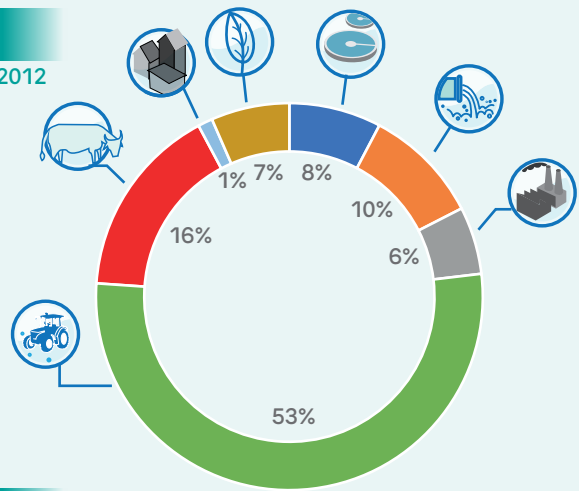
Entre as emissões produzidas pela indústria, o fósforo total seria a principal na bacia do Paranapanema em comparação com a DBO e o NT. Estima-se que 16% do fósforo produzido na bacia é oriundo de atividades industriais, enquanto 4% do NT e cerca de 6% da DBO teria a mesma origem.



EMIÇÃO DE CARGA NA BACIA DO PARANAPANEMA

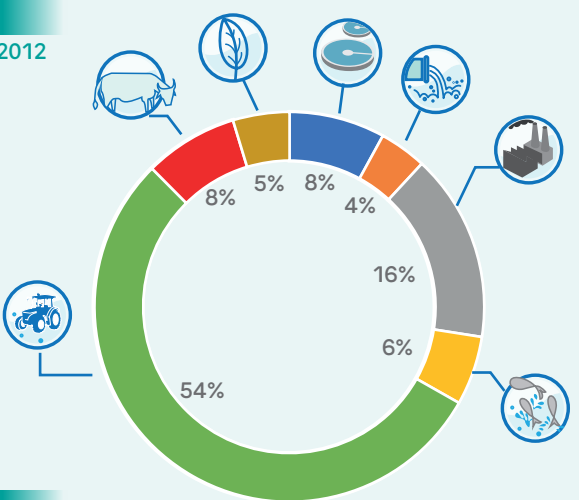
DBO

Ano base 2012



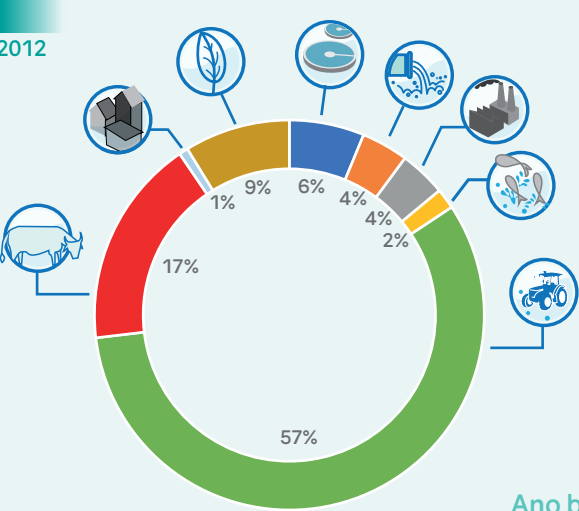
PT

Ano base 2012



NT

Ano base 2012



Ano base 2012

REDUÇÃO DE CARGAS PARA ATENDIMENTO DE POSSÍVEIS METAS DE ENQUADRAMENTO

Os trechos intermediários do rio Paranapanema T4 e T3 e, logo a jusante, o reservatório Capivara são os mais impactados por estas cargas. Isto se deve principalmente à extensa área de contribuição direta aos trechos, representado pelo bloco 3 (B3) e à produção potencial de cargas significativas em termos de área de contribuição. No B3 são produzidas cerca de 60% de todas as cargas que atingem os corpos hídricos da bacia.

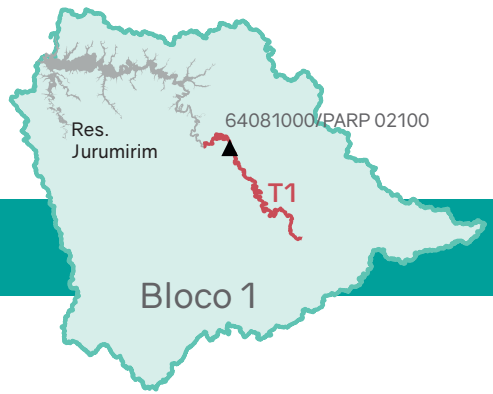
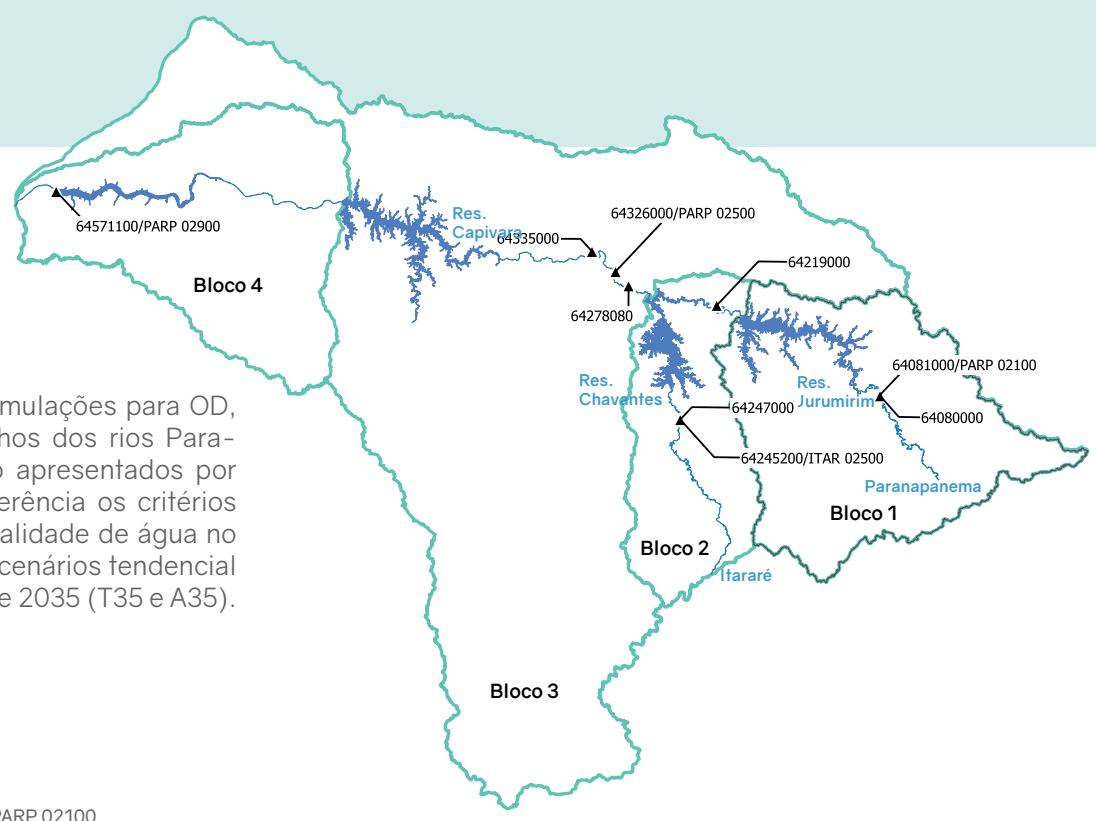
As unidades de gestão de recursos hídricos Tibagi, Médio Paranapanema estão completamente inseridas no B3, sendo o rio Tibagi o principal afluente do Paranapanema em termos de área de contribuição. A UGH Norte Pioneiro tem a maior parte de sua área inserida no B3, que compreende parcialmente também a UGH Piraponema e Pontal do Paranapanema em menor proporção.

As tabelas a seguir sintetizam os percentuais de redução de carga necessários para se atingir as metas de qualidade de água para as classes 2 e 3 tendo em vista os cenários T35 e A35, de acordo com metodologia apresentada no capítulo anterior e com as ferramentas computacionais apresentadas em (<https://sites.google.com/view/paranapanema-openmodels/home>). Os resultados são apresentados pelos trechos dos rios utilizados como referência para os ambientes lóticos.

TENDENCIAL 2035 - T35							
Rio	Trecho	DBO	PT	NT	DBO	PT	NT
		Classe 2			Classe 3		
Paranapanema	T1	-6%	55%	27%	-112%	32%	-10%
	T2	-18%	-71%	-79%	-136%	-83%	-99%
	T3	18%	2%	63%	-65%	-47%	45%
	T4	12%	68%	13%	-56%	52%	7%
	T5	3%	1%	-21%	-75%	-26%	-76%
	T6	11%	47%	-12%	-73%	21%	-68%
	T7	0%	11%	-16%	-79%	7%	-73%
Itararé	T8	-1%	89%	85%	-102%	83%	77%

ACELERADO 2035 - A35							
Rio	Trecho	DBO	PT	NT	DBO	PT	NT
		Classe 2			Classe 3		
Paranapanema	T1	23%	67%	59%	-53%	51%	38%
	T2	-10%	-60%	-124%	-70%	-74%	-129%
	T3	41%	31%	64%	-18%	-4%	46%
	T4	33%	80%	19%	-1%	70%	14%
	T5	25%	29%	16%	-9%	5%	-16%
	T6	29%	55%	16%	-8%	48%	-5%
	T7	23%	35%	14%	-11%	14%	-8%
Itararé	T8	40%	93%	94%	-20%	90%	91%

Os resultados das simulações para OD, DBO, NT e PT nos trechos dos rios Paranapanema e Itararé são apresentados por blocos, tendo como referência os critérios das classes 2 e 3 e a qualidade de água no ano base de 2012 e nos cenários tendencial e acelerado para o ano de 2035 (T35 e A35).



BLOCO I

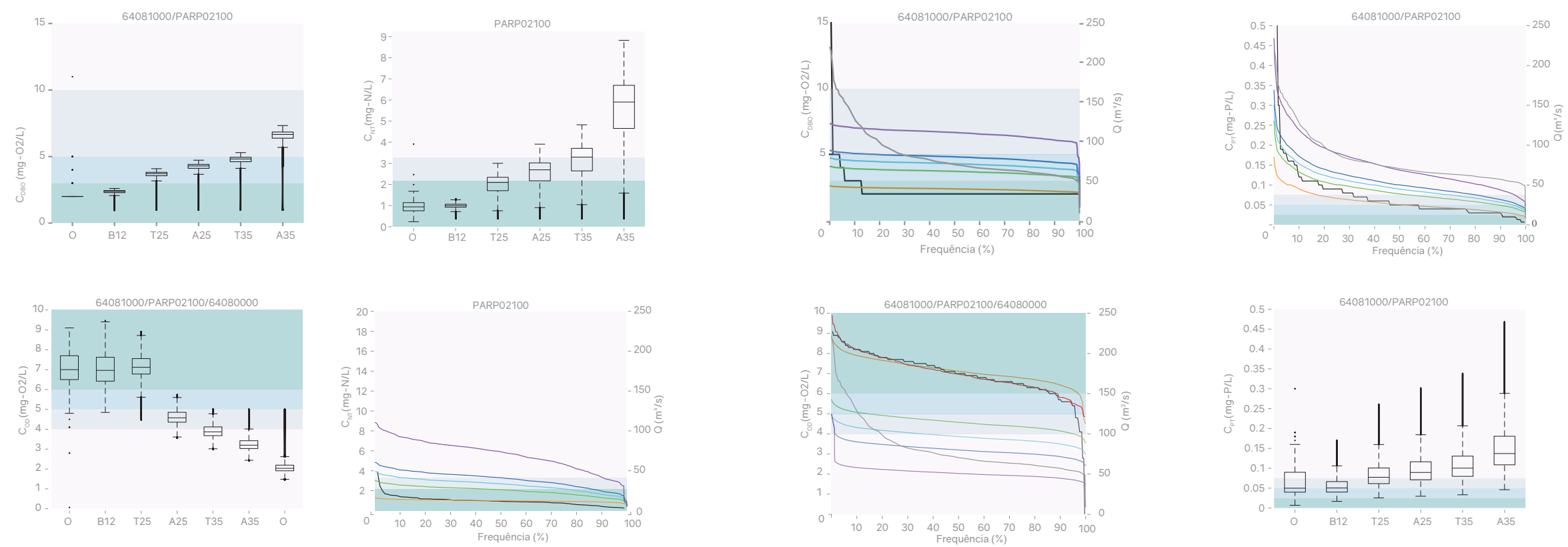
Para o ano base de 2012 (B12), no trecho de cabeceira do rio Paranapanema, OD, DBO e NT são compatíveis com os critérios das classes 1 e 2. Para o PT, o intervalo interquartil indica maiores ocorrências entre classes 2 e 3, com eventuais condições compatíveis com a classe 4, em 2012.

Para o cenário T35, a estimativa é que concentrações de DBO e NT fiquem próximas aos limites de classe 3 na maior parte do ano. Neste cenário tendencial, OD e PT estariam na classe 4.

No cenário A35, todos os parâmetros teriam concentrações compatíveis com a classe 4, indicando deterioração da qualidade da água na maior parte do ano.

As reduções de carga para atendimento de classes 2 e 3 são apresentadas na tabela da página 53. Valores negativos significam que a carga estimada na seção não atingiria o limite máximo permissível. Os resultados indicam que, para manter classe 2, seria necessário maior atenção aos aportes de fósforo e nitrogênio até o ano de 2035. Em relação à classe 3, tal necessidade se mantém principalmente no cenário acelerado. Por fim, em termos de matéria orgânica, há indicativos que o bloco I possui alta capacidade de assimilação, principalmente se os limites definidos forem aqueles compatíveis à classe 3. Os limites impostos de classe 4 para efeito de cálculo não seriam atingidos em nenhum dos casos estudados.

SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS PARA A SEÇÃO DE REFERÊNCIA DO BLOCO I



Observado Cenário Base 2012 Cenário Tendencial 2025 Cenário Acelerado 2025 Cenário Tendencial 2035 Cenário Acelerado 2035 Vazão Série Sintética 2012

Classe 1 Classe 2 Classe 3 Classe 4

BLOCO II

O bloco II inclui os trechos a jusante do reservatório de Jurumirim (T2) e a montante do reservatório Chavantes (T8). As condições no cenário base nestes trechos indicam qualidade de água compatível com a classe 2 na maior parte do tempo, passando para os padrões de classes 3 e 4 eventualmente. No T2, observa-se o efeito do reservatório de Jurumirim de assimilar as cargas de montante. Neste trecho, as condições de qualidade no cenário base são predominantemente de classe 2 para todos os parâmetros analisados.

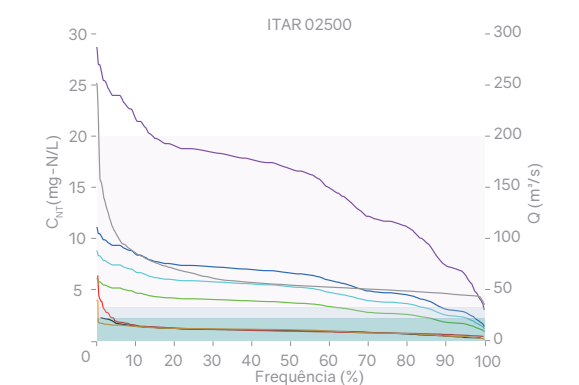
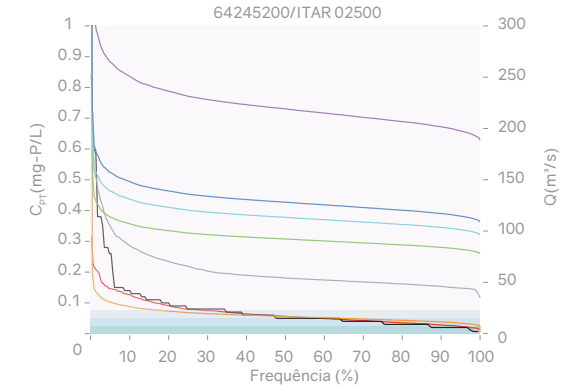
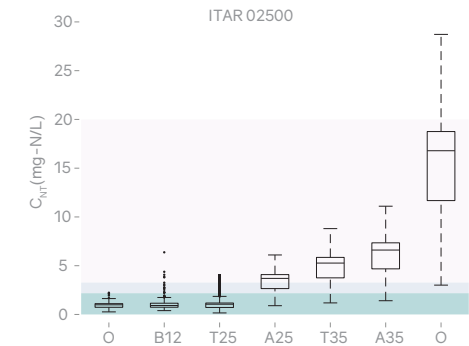
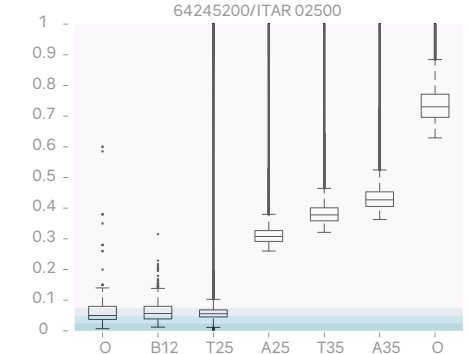
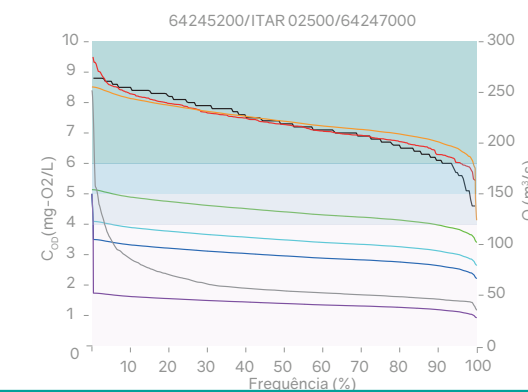
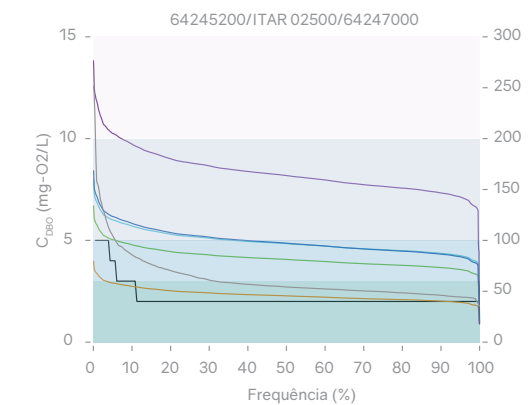
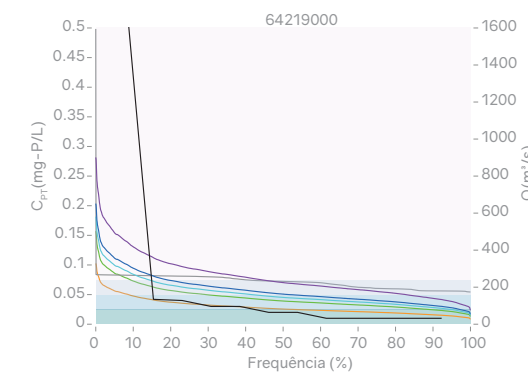
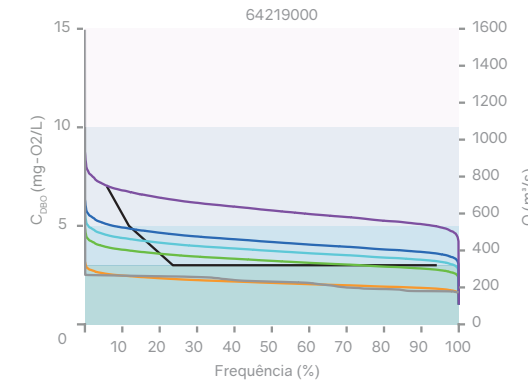
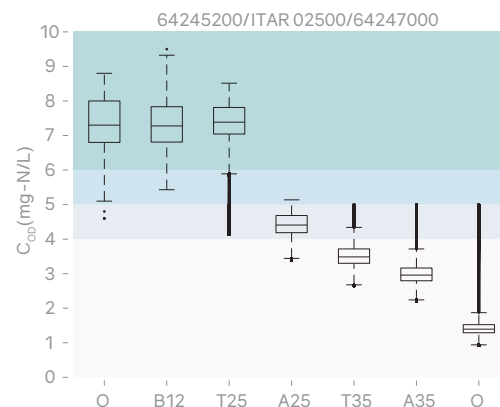
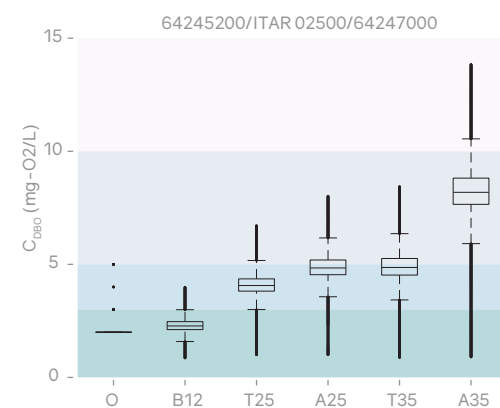
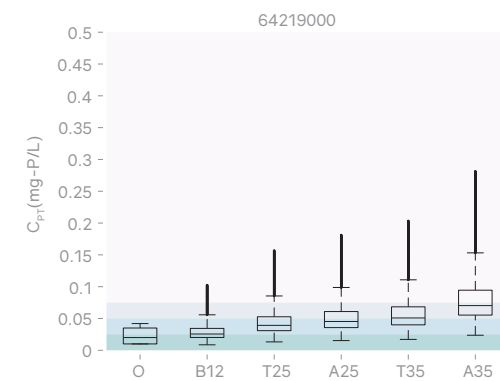
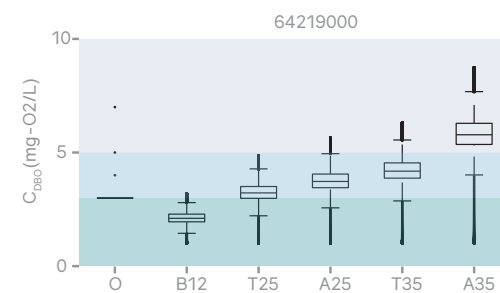
As simulações não apontam necessidade de redução de cargas para o T2 nos cenários futuros para que se alcancem as metas das classes 2 e 3 em relação aos parâmetros estudados.

Para o T8, no entanto, o modelo prevê a necessidade de reduções expressivas das cargas nutrientes para que o trecho mantenha padrões de qualidade compatíveis com a classe 2 ou 3 nos cenários T35 e A35. Tais reduções também são importantes para reduzir ou mitigar os riscos de eutrofização nos braços do Chavantes. Para a DBO no T8 ficar compatível com a classe 2 no A35, haveria necessidade de redução de 40% das cargas orgânicas aportadas ao trecho.

O trecho T8 sofre interferência do Norte Pioneiro, onde altos índices de crescimento são estimados para os cenários futuros da bacia. Além disso, esse trecho tem vazões mais baixas em comparação aos demais, o que geralmente leva ao aumento das concentrações dos parâmetros.



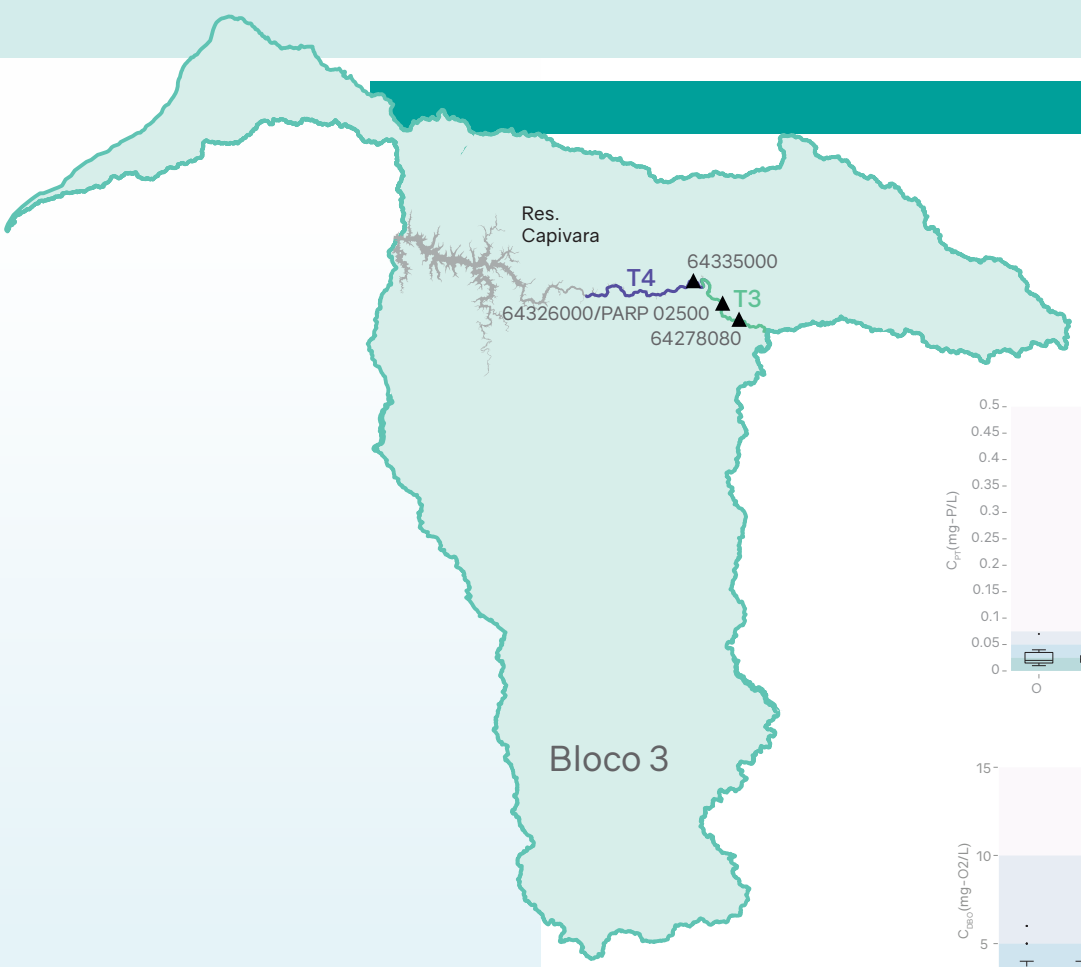
SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS PARA A SEÇÃO DE REFERÊNCIA DO BLOCO II



Observado Cenário Base 2012 Cenário Tendencial 2025 Cenário Acelerado 2025 Cenário Tendencial 2035 Cenário Acelerado 2035 Vazão Série Sintética 2012

Classe 1 Classe 2 Classe 3 Classe 4

SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS PARA A SEÇÃO DE REFERÊNCIA DO BLOCO III

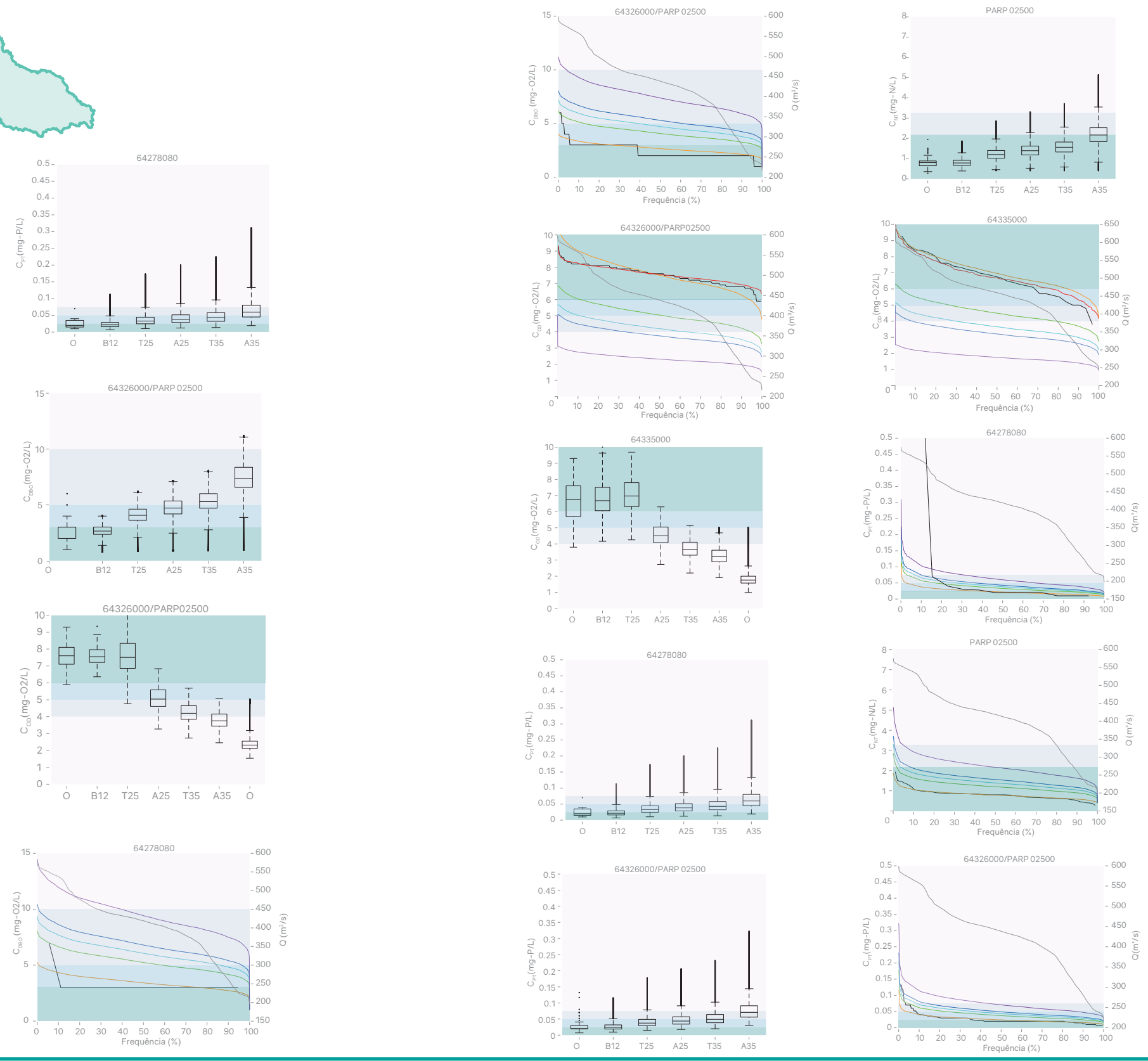


BLOCO III

No bloco III, os trechos 3 e 4, a jusante do reservatório Capivara, apresentam concentrações de DBO e NT predominantemente compatíveis com classes 1 e 2 para o cenário base. O fósforo total, porém, apresenta concentrações ocasionalmente compatíveis com a classe 3 neste cenário. Nos cenários futuros, a projeção é que haja aumento das inconformidades com as classes 2 e 3, para DBO e NT, e com as classes 3 e 4 para PT e OD.

Para que a classe 2 seja atendida no bloco 3 em 2035, seria indicado reduzir as cargas de matéria orgânica e nitrogênio no trecho 3, a jusante de Chavantes, e de fósforo no trecho afluente a Capivara.

Para os cenários futuros, há uma previsão de que a DBO se mantenha em classe 3 sem necessidade de reduções de cargas orgânicas. Contudo, prevê-se a necessidade de redução de NT no T3 e de fósforo no T4.



Observado Cenário Base 2012 Cenário Tendencial 2025 Cenário Acelerado 2025 Cenário Tendencial 2035 Cenário Acelerado 2035 Vazão Série Sintética 2012

Classe 1 Classe 2 Classe 3 Classe 4

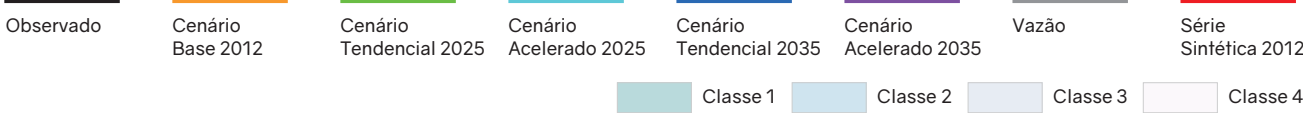
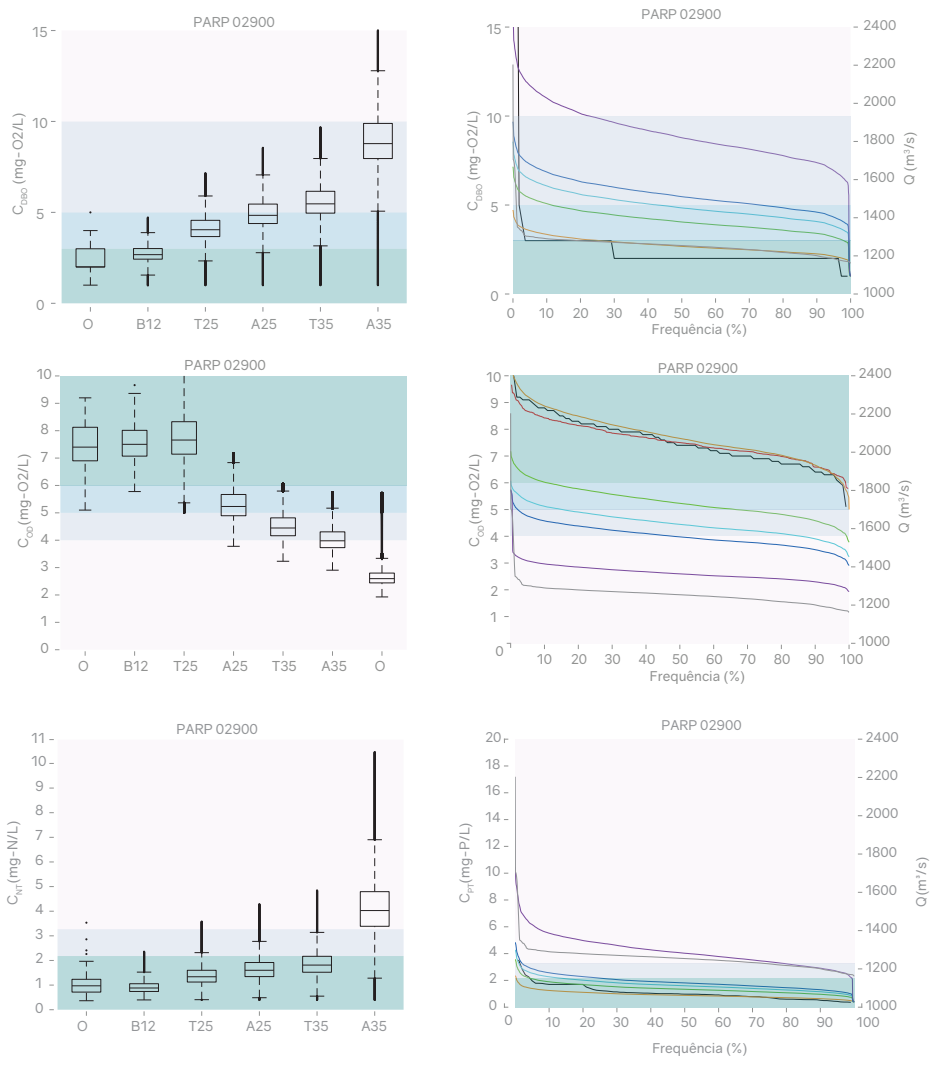
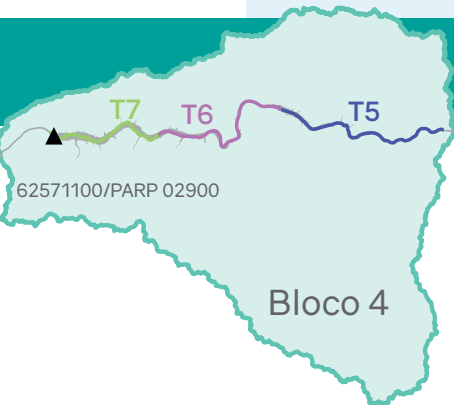
BLOCO IV

O bloco mais a jusante da bacia se estende desde jusante do reservatório Capivara até a foz do rio Paranapanema e compreende 3 trechos (T5, T6 e T7). Neste bloco, apenas uma estação de monitoramento apresentou dados suficientes para as simulações da qualidade da água nos trechos. A retenção e diluição das cargas nos reservatórios a montante do bloco contribuem para a manutenção das concentrações dos parâmetros estudados na faixa das classes 1 e 2

nos trechos a jusante.

Para que no futuro, os trechos do bloco IV tenham DBO e PT compatíveis com águas de classe 2 serão necessárias medidas voltadas para o controle de cargas poluidoras, sendo o fósforo o parâmetro mais crítico neste sentido. O mesmo ocorre com relação à classe 3. Para ambos os cenários, o trecho intermediário (T6) é o que requer maiores reduções. Quanto à DBO, as simulações não indicam necessidade de reduções de cargas orgânicas.

SIMULAÇÕES DOS CENÁRIOS PARA A SEÇÃO DE REFERÊNCIA DO BLOCO III



ANÁLISE E ALOCAÇÃO DE CARGAS NOS RESERVATÓRIOS

Os reservatórios de Jurumirim, Chavantes e Capivara agem como atenuadores dos fluxos de constituintes da água ao longo dos rios Paranapanema e Itararé na medida em que diluem, depuram e retêm parte deles. No entanto, a retenção, principalmente dos nutrientes fósforo e nitrogênio, eleva o potencial de eutrofização nos segmentos dos reservatórios em que há maior propensão de ocorrer este processo de degradação da qualidade da água. Assim, torna-se imprescindível a redução dos aportes de nutrientes, principalmente oriundos dos rios afluentes, para os reservatórios.

A divisão dos reservatórios em setores foi definida a partir das respostas dos modelos sobre as variações espaciais das concentrações dos constituintes ao longo dos reservatórios. Para os três reservatórios ficou constatado que há setores com características significativamente diferentes em termos de qualidade de água. Deste modo, a análise a seguir será realizada considerando estes setores.

Segundo o critério de necessidade de redução das cargas, o fósforo total se destacou como o parâmetro mais crítico na modelagem dos reservatórios, isto é, aquele que mais se afasta dos aos critérios mínimos de conformidade com as classes 2 e 3, principalmente em relação aos cenários futuros. Portanto, serão apresentados os resultados do fósforo total para os reservatórios de Jurumirim, Chavantes e Capivara, para o ano base de 2012 e cenários tendencial e acelerado projetado para o ano de 2035, conforme o PIRH Paranapanema (ANA, 2016).

Na análise dos reservatórios, os gráficos a seguir apresentam estimativas de fósforo total das cargas afluentes e gerada pela piscicultura praticada nos próprios reservatórios calculada sobre a carga máxima admissível estimada para cada classe. Os gráficos apontam a redução de cargas necessária para se atingir a conformidade com a classe de qualidade ou a folga em função da capacidade de assimilação de fósforo no trecho do reservatório.

JURUMIRIM

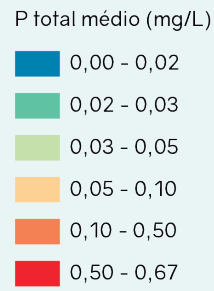
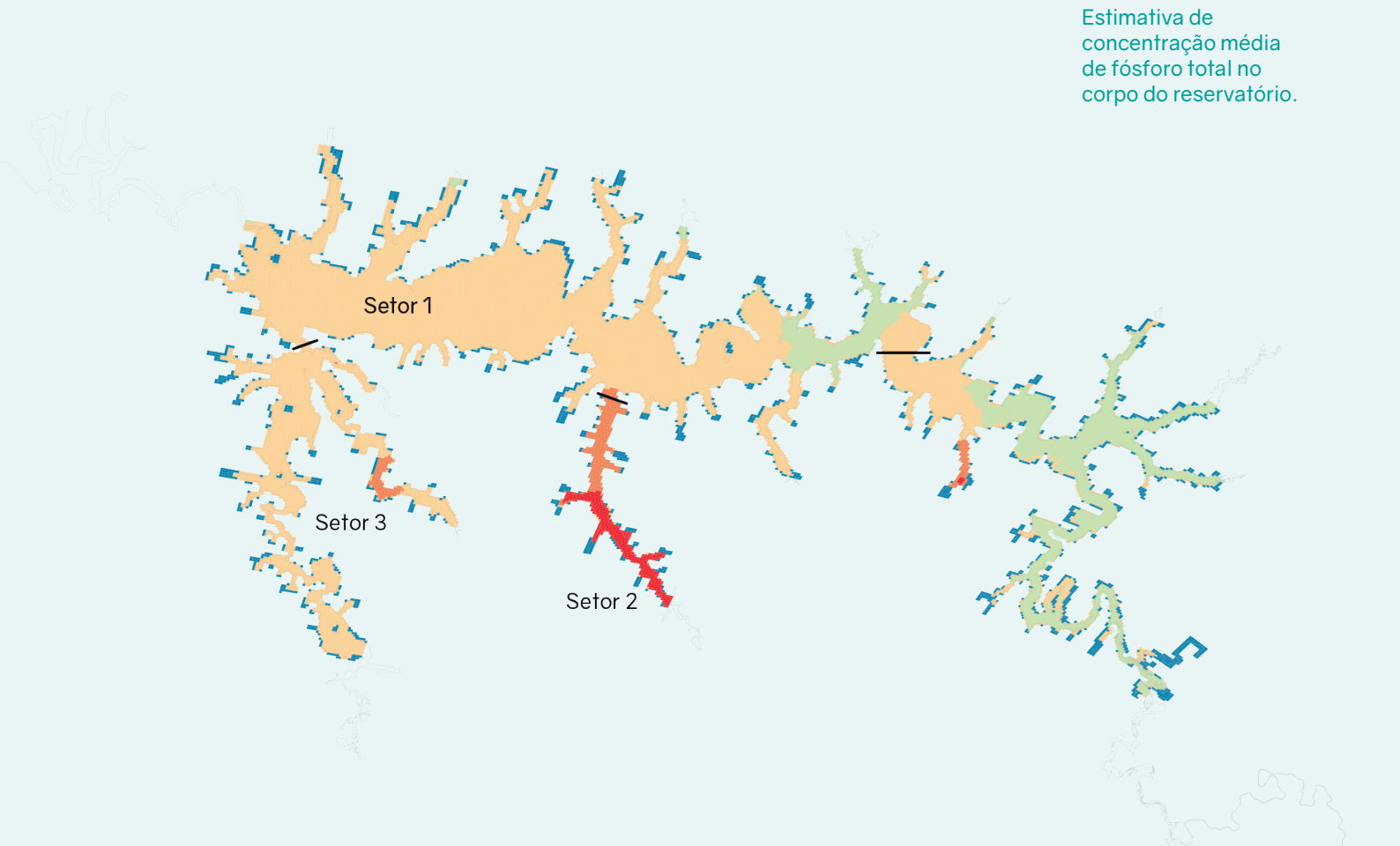
A partir das concentrações médias anuais de fósforo total, apresentadas nos mapas a seguir, e de análises de séries de imagens de satélite, observa-se que o setor 2 apresenta as maiores concentrações médias deste constituinte da água. Neste setor, o afluente Rio Ribeirão das Poses forma um braço raso e estreito do reservatório, com elevado tempo de residência. No setor 2 constata-se que a qualidade de água não chega a ser compatível nem mesmo com a classe 2 em termos de fósforo para o cenário base de 2012. Considerando ainda o cenário base, a maior parte dos demais setores apresenta fósforo compatível com a classe 2, porém com valores médios próximos ao limite superior da classe.

Para os cenários futuros, é prevista a necessidade de redução de cargas de fósforo para que as concentrações de fósforo sejam compatíveis com a classe 2 em todos os setores de Jurumirim. O setor 3, braço formado pelo afluente Taquari, é o segundo setor mais crítico em relação aos critérios da classe 2 e mesmo da classe 3.

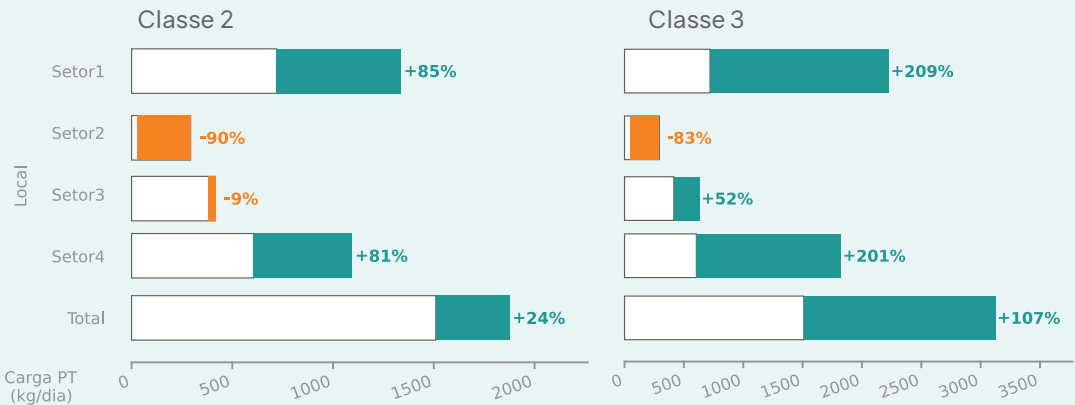
Para o cenário tendencial, estima-se a necessidade de redução de 37% das cargas de fósforo afluente para que se atinja uma concentração média compatível com a classe 2 no reservatório de Jurumirim como um todo. Para o cenário acelerado de 2035, esta redução seria de 55%, em relação ao limite máximo da classe 2, e de 24%, para a classe 3.

- Isto significa que ações devem focar em:
- 1. Redução de carga de fósforo total nas áreas contribuintes para o setor 2 em curto prazo;
 - 2. Redução de carga de fósforo nas áreas contribuintes para os demais setores, principalmente na área de contribuição do rio Taquari com vistas à preservação do setor 3.

JURUMIRIM

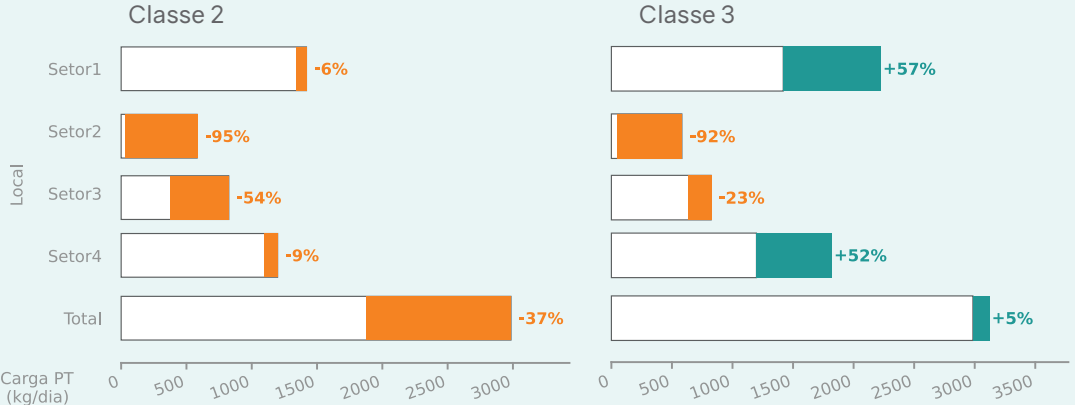


CENÁRIO BASE

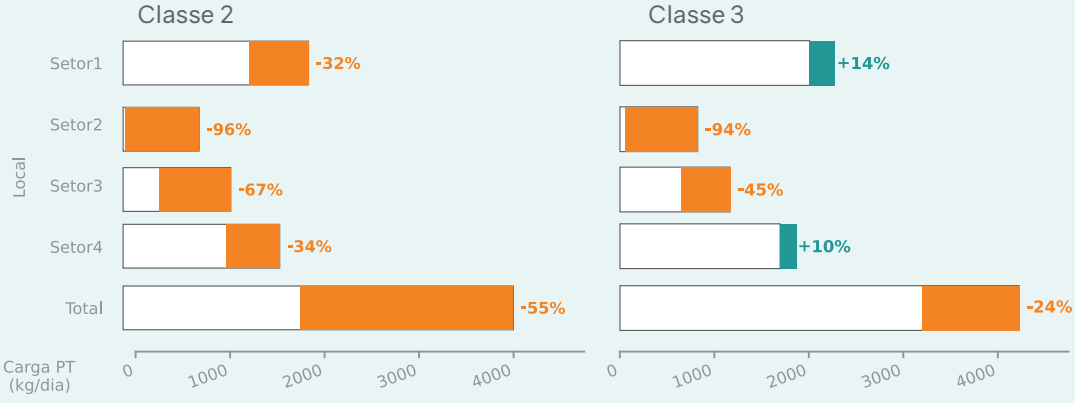


Percentual que a carga calculada deve diminuir para chegar na carga limite para cada classe para o cenário tendencial (T35) e acelerado (A35) do ano 2035 e do cenário base para cada setor

CENÁRIO TENDENCIAL



CENÁRIO ACELERADO



Carga Limite Redução de Carga Folga de Carga

Estimativa de concentração média de fósforo total no corpo de reservatório

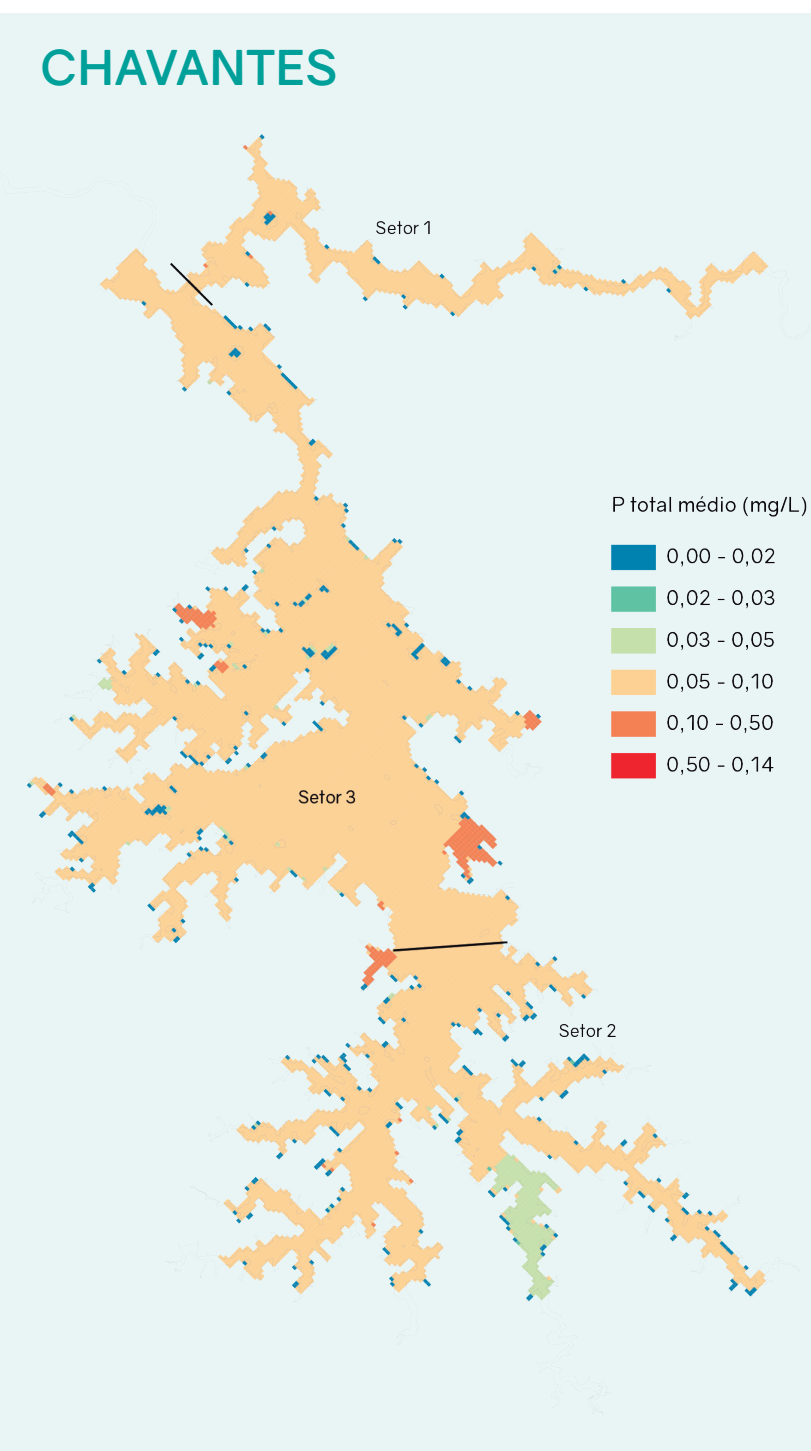
CHAVANTES

Em relação ao cenário base de 2012, em geral, o reservatório de Chavantes apresenta concentração média de fósforo total dentro dos limites da classe 3 e, consequentemente, da classe 2. A exceção é o setor 1, onde há uma demanda por redução das cargas de 30%. Este trecho fica a jusante da represa de Jurumirim e sofre influência da qualidade da água deste reservatório situado a montante. Assim, reduções de fósforo em Jurumirim poderão ter reflexos positivos na qualidade da água de Chavantes.

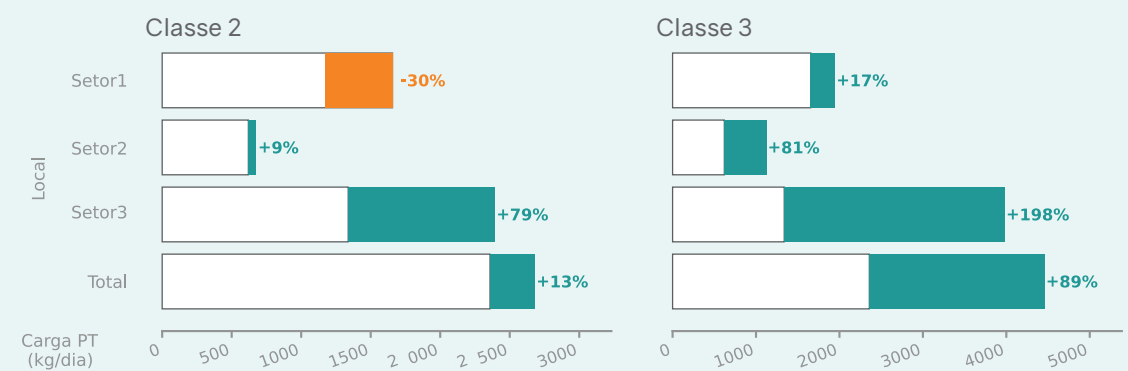
Para os cenários futuros, há necessidade de redução significativa das cargas de fósforo aportadas ao reservatório de Chavantes como um todo de modo a se atingir a conformidade com a classe 2 ou até mesmo a classe 3 e reduzir os riscos de eutrofização dos setores mais sensíveis a este processo de degradação da qualidade da água.

Em Chavantes, as ações devem focar em:

- 1. Redução de carga nas áreas a montante do setor 1, principalmente aquelas provenientes do reservatório de Jurumirim
- 2. Redução de carga nas áreas contribuintes para os demais setores. Esta redução, em princípio, seria da ordem dos aumentos das cargas previstas nas projeções realizadas para os cenários futuros.

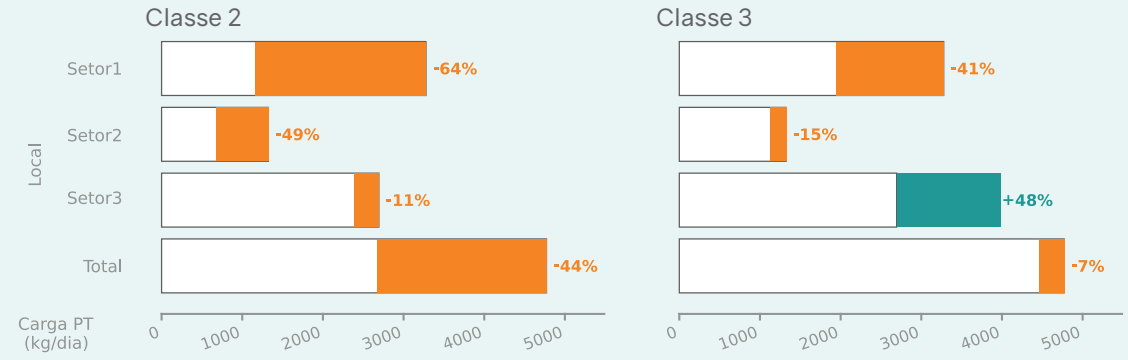


CENÁRIO BASE

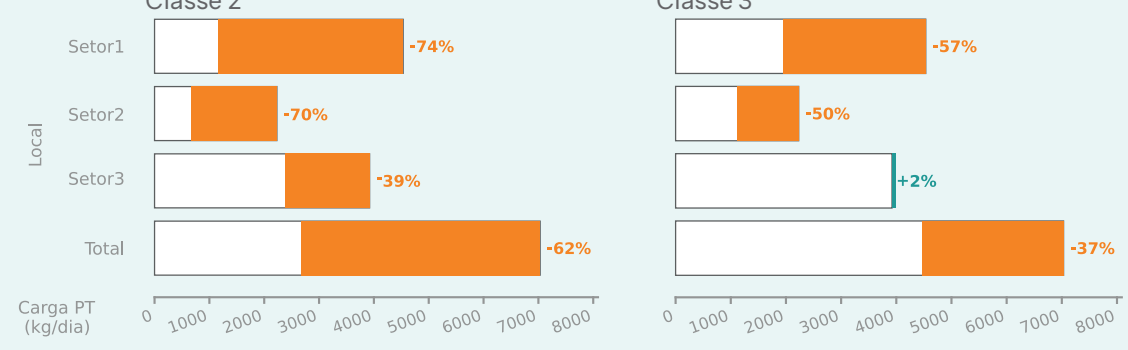


Percentual que a carga calculada deve diminuir para chegar na carga limite para cada classe para o cenário tendencial (T35) e acelerado (A35) do ano 2035 e do cenário base para cada setor

CENÁRIO TENDENCIAL



CENÁRIO ACELERADO



Carga Limite Redução de Carga Folga de Carga

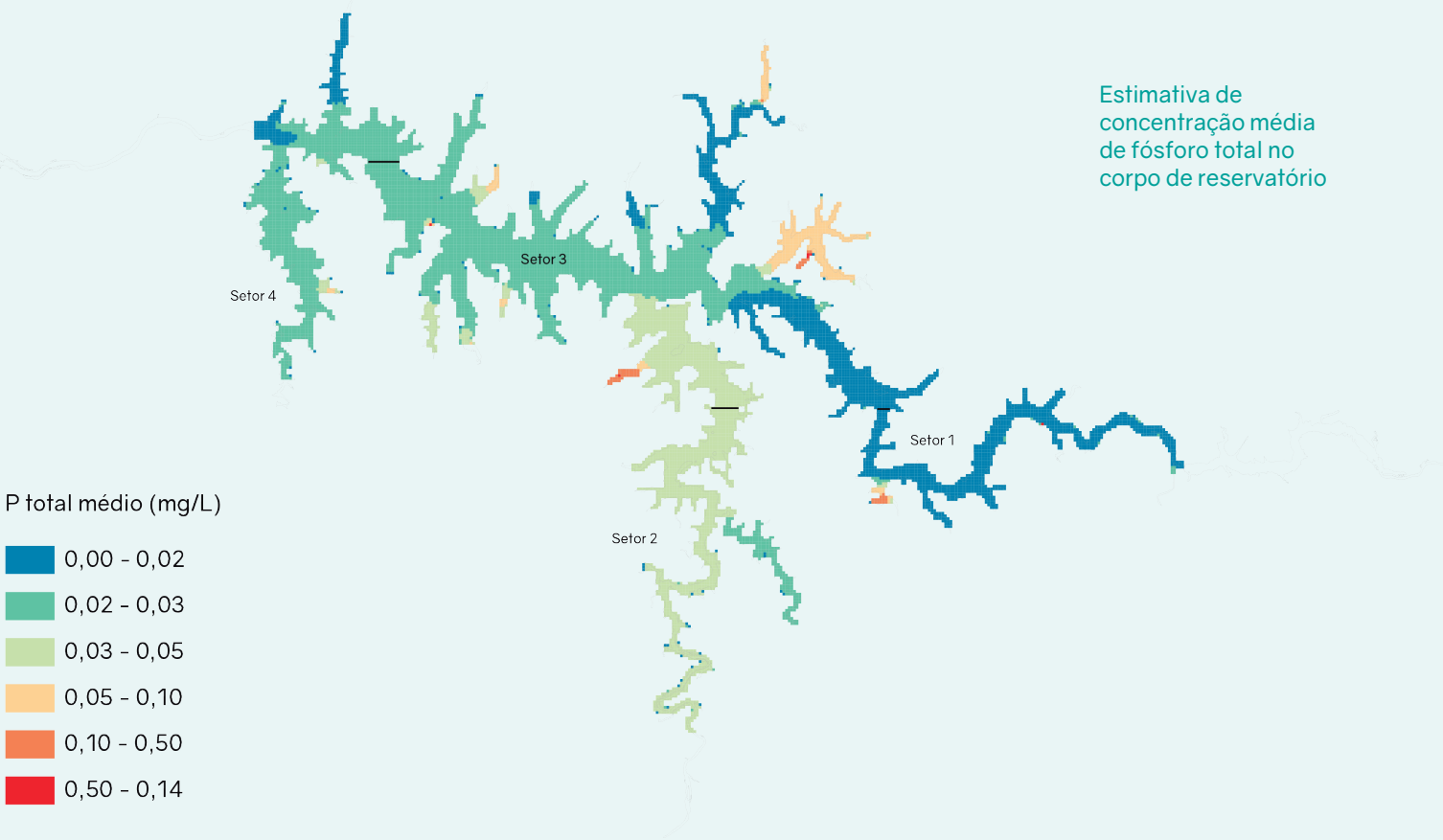
CAPIVARA

No mapa temático abaixo, observa-se que o reservatório de Capivara apresenta concentrações médias de fósforo total mais baixas em relação aos reservatórios de Chavantes e Jurumirim. O setor 2 de Capivara, afluente do Tibagi, é o que apresenta as maiores concentrações médias e que demanda maiores reduções de fósforo.

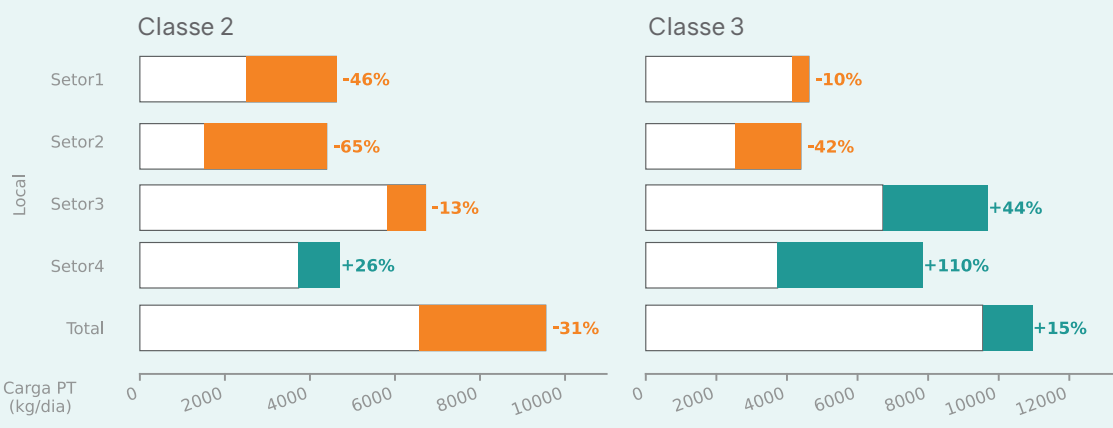
Para o cenário base, observa-se conformidade com a classe 3 no reservatório de Capivara. Porém, nos cenários futuros, o aumento das cargas tende a extrapolar os limites de concentração de fósforo da classe 3 na maior parte do reservatório, caso não sejam tomadas ações de redução da carga adicional.

- Isto significa que as ações devem focar em:
- 1. Redução de carga nas áreas a montante do setor 2, na bacia do rio Tibagi;
 - 2. Redução de carga nas áreas a montante do setor 1, provenientes do rio Paranapanema. Neste caso, as reduções de fósforo nos reservatórios de Jurumirim e Chavantes tendem a beneficiar a qualidade de água em Capivara;
 - 3. Redução de carga nas áreas contribuintes para os demais setores. Em princípio, tal redução seria da mesma ordem dos aumentos das cargas previstas nas projeções de cenários futuros do PIRH Paranapanema.

CAPIVARA

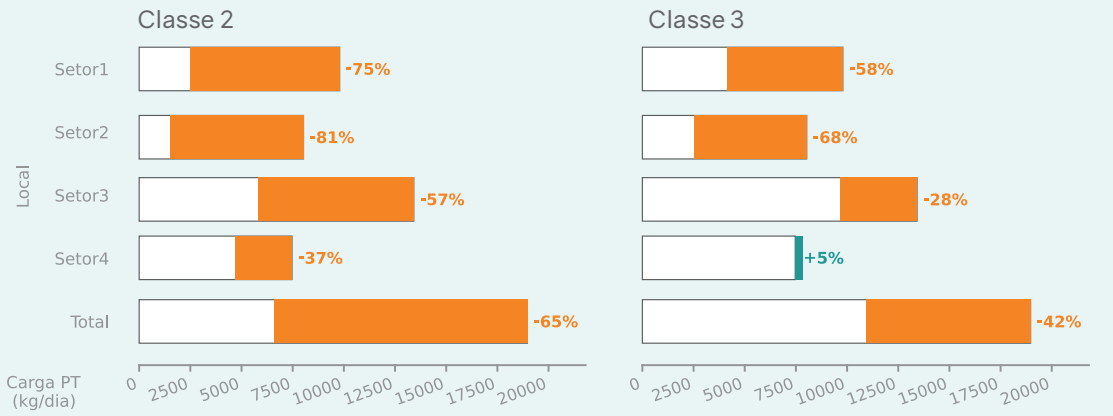


CENÁRIO BASE

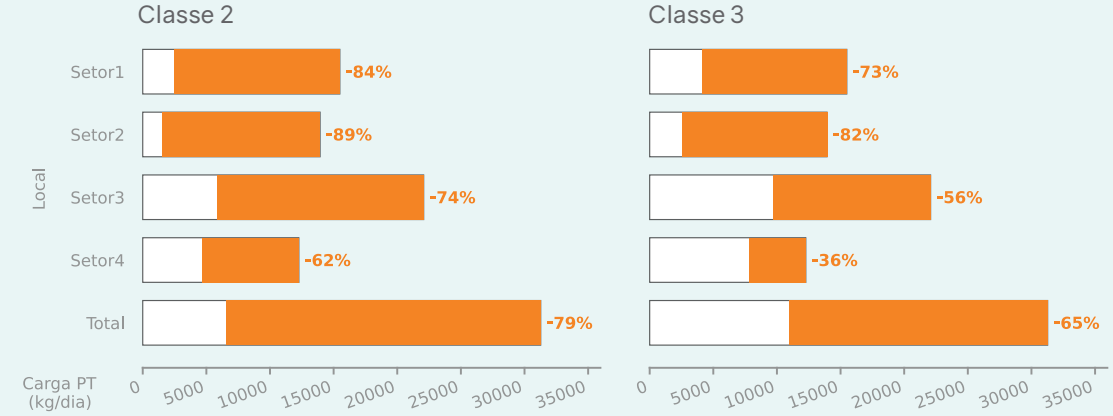


Percentual que a carga calculada deve diminuir para chegar na carga limite para cada classe para o cenário tendencial (T35) e acelerado (A35) do ano 2035 e do cenário atual (base) para cada setor.

CENÁRIO TENDENCIAL



CENÁRIO ACELERADO



Carga Limite Redução de Carga Folga de Carga

Os resultados mostram que, para o ano base de 2012, as águas de Jurumirim e Chavantes estavam em grande parte, em conformidade com a classe 2, enquanto Capivara já apresentava condições de classe 3. No entanto, em 2012, todos reservatórios já possuíam setores em que a qualidade da água já se encontrava próximas de ultrapassar ou mesmo em desconformidade com os padrões destas classes.

Consequentemente o aumento de cargas, sem ações, para os cenários tendencial (T35) e acelerado (A35) para o ano 2035 resultarão

MAPAS-SÍNTESE

Os mapas-síntese apresentam estimativas dos potenciais de redução e as reduções de cargas poluidoras necessárias para que os parâmetros estudados se enquadrem nos critérios de qualidade de água definidos para as classes 2 e 3 nos trechos dos rios federais da bacia do Paranapanema diante de cenários previstos no PIRH (ANA, 2016).

A proposta de mapas temáticos visa integrar os principais resultados das simulações sobre a origem, caminho e destino das cargas poluidoras na bacia e da qualidade de água nos corpos hídricos, tendo como referência a situação atual e futura da qualidade da água nos corpos d'água de domínio da União.

Os mapas facilitam a interpretação dos resultados provenientes de complexas técnicas de modelagem que, integradas, visam subsidiar a proposta de metas de enquadramento para a bacia do rio Paranapanema. A partir desta forma de apresentação, espera-se que gestores e usuários de recursos hídricos na bacia possam se

em mudança de classe de 2 para 3 para Jurumirim e Chavantes e a não conformidade com classe 3 para Capivara. Entre os setores mais críticos dos reservatórios estudados, destacam-se o setor 2 de Jurumirim (Ribeirão dos Passos), o braço do rio Itararé e as áreas de piscicultura, em Chavantes e o braço do rio Tibagi, no reservatório de Capivara.

Importante destacar que a redução de carga de montante para jusante beneficiará diretamente os reservatórios à jusante dos setores 1 que são relacionados ao Rio Paranapanema.

apropriar dos resultados deste estudo de forma mais acessível. Por este motivo, os mapas-síntese serão disponibilizados no portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH):

Nos mapas-síntese, o potencial de redução de carga das medidas de controle escolhidas foi calculado a partir da subtração entre as cargas para o cenário estudado e as cargas remanescentes após aplicação de medidas potenciais de redução de cargas para cada ottobacia, conforme descrito no capítulo anterior. O mapa síntese destaca as ottobacias com maior potencial de diminuição de carga em termos absolutos.

Já as estimativas de reduções das cargas nas fontes poluidoras necessárias para que as águas dos trechos (T1 a T8) se enquadrem nos critérios de qualidade das classes 2 e 3 em função dos cenários tendencial e acelerado de 2035 são representadas por diferentes cores nos trechos federais apresentados nos mapas.

FÓSFORO TOTAL - CENÁRIO TENDENCIAL E ACELERADO 2035

Nos mapas a seguir estão apontados os percentuais de redução das cargas de fósforo total necessários para que os trechos dos rios federais se enquadrem nas classes 2 e 3 em face dos cenários T35 e A35. Os tons de verde nas ottobacias indicam os potenciais de redução das cargas de fósforo total (kg/dia/km²) estimados a partir das medidas descritas no capítulo 2.

Segundo as estimativas dos modelos, o reservatório de Capivara se destaca pela necessidade de reduções do aporte de PT, principalmente no cenário acelerado previsto para 2035. Estima-se que são necessárias reduções de PT variando entre 50% e 75% no corpo do Capivara para que as condições de classe 2 sejam mantidas em relação a este parâmetro. O braço do reservatório de Capivara que recebe as cargas do rio Tibagi demanda reduções de PT acima de 75% para que sua concentração na água seja compatível com a classe 2, no cenário tendencial, e acima de 75%, no acelerado.

De acordo com as estimativas de produção de cargas apresentadas no início deste capítulo, observa-se uma expressiva produção de cargas de fósforo na metade inferior da bacia do Tibagi, onde as culturas temporárias e a indústria contribuem de forma relevante. Nesta área da bacia do Tibagi há ottobacias com potencial para a redução destas cargas em benefício do reservatório de Capivara.

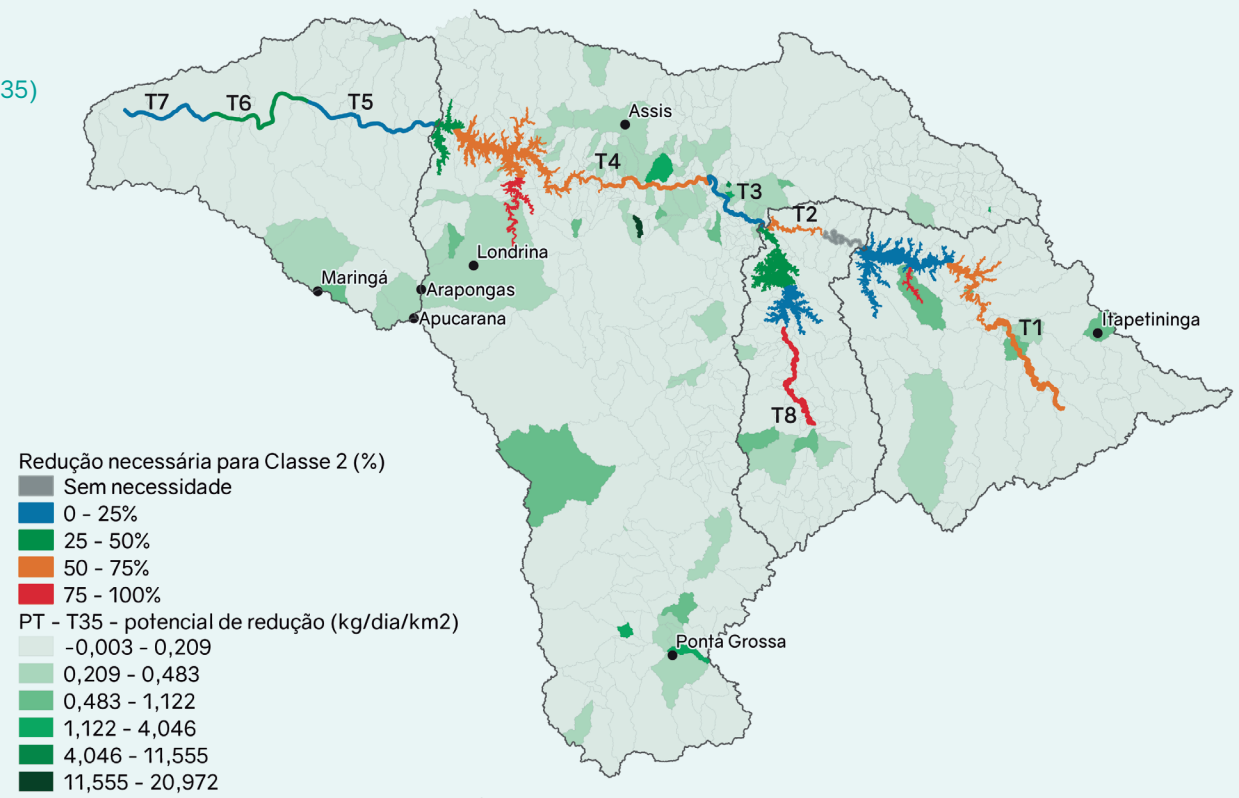
Apesar da retenção nos reservatórios de Chavantes e Jurumirim e da expectativa

de amortização dos aportes de nutrientes que chegam ao reservatório de Capivara, estima-se a necessidade de redução de mais de 50% de PT nos trechos intermediários (T3 e T4) do Paranapanema para que estes atendam os critérios da classe 2 nos cenários futuros. Há ottobacias com potencial moderado de redução de cargas de PT adjacentes a estes trechos intermediários do Paranapanema.

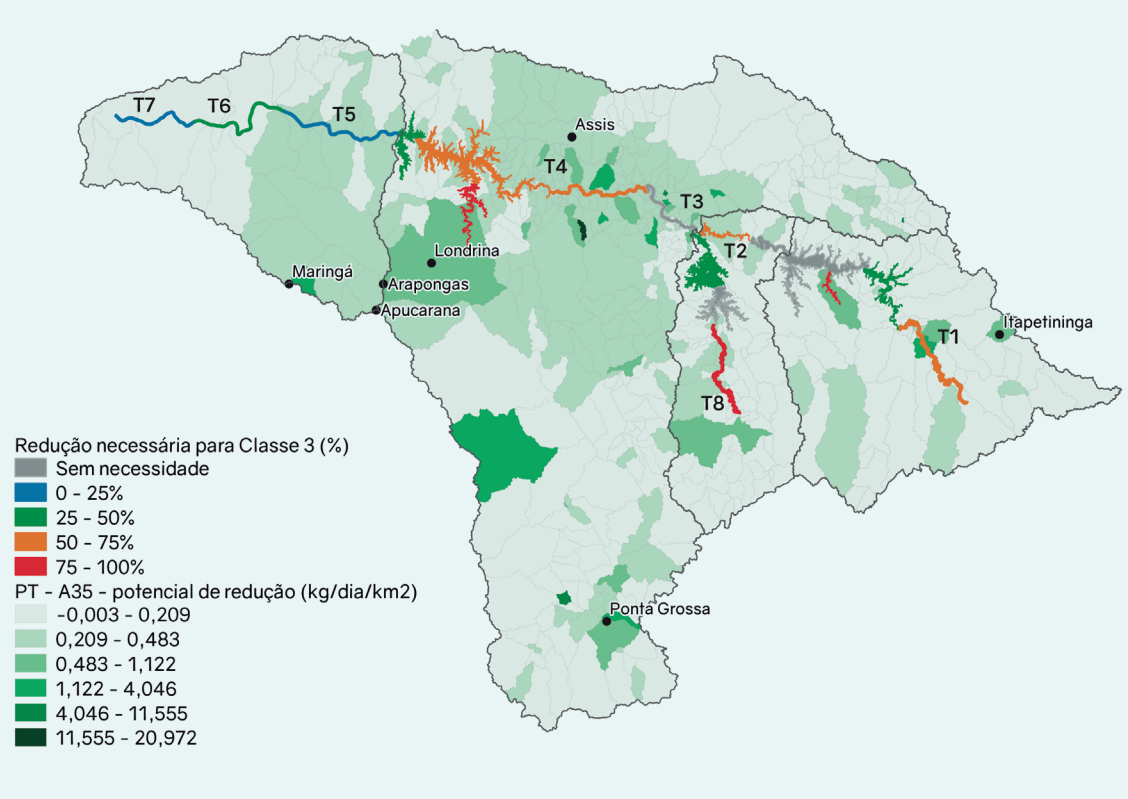
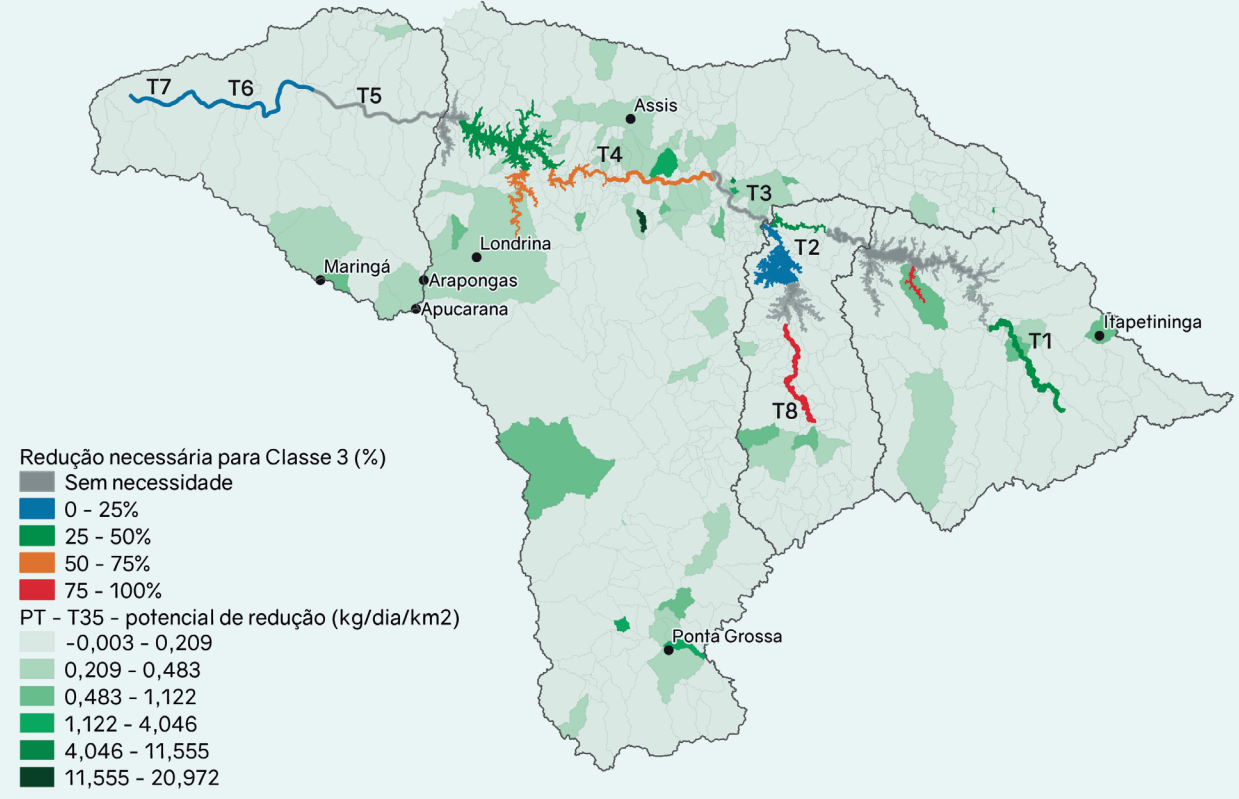
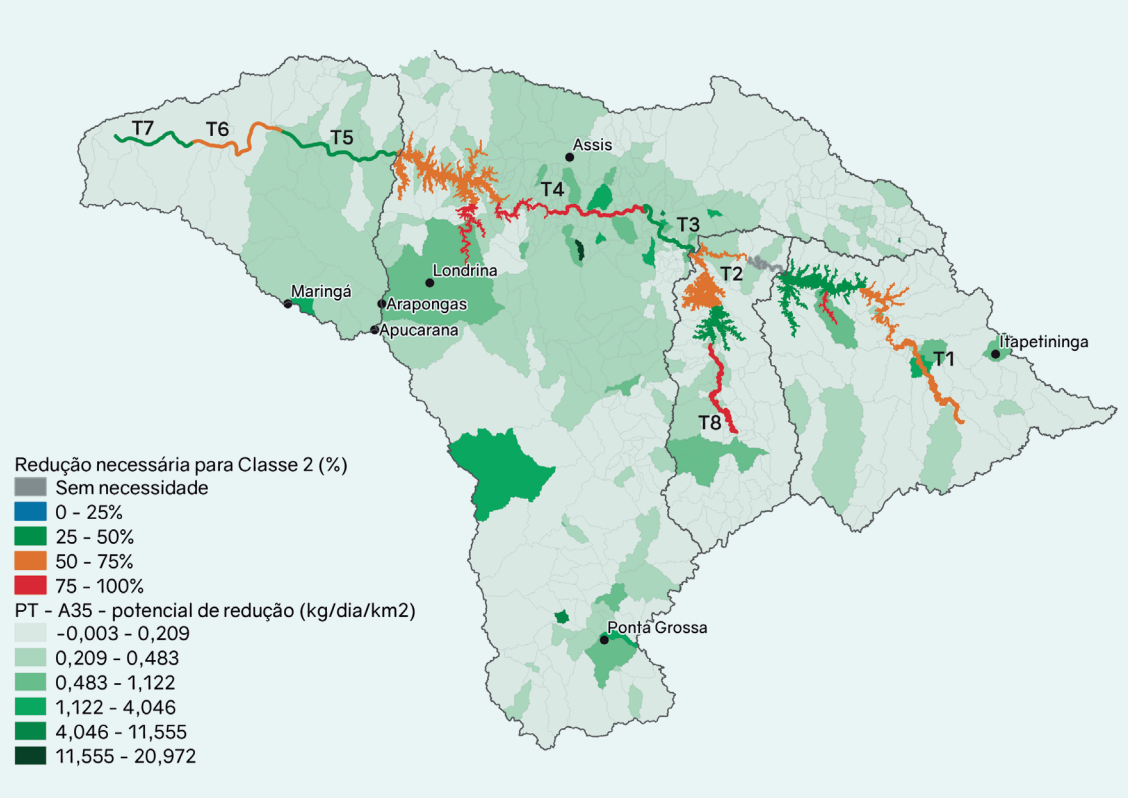
Para se enquadrar nas classes 2 e 3, considerando qualquer cenário estudado, o trecho T8, do rio Itararé, situado a montante do reservatório de Chavantes, demanda prioridade nas reduções das cargas de PT, estimadas em mais de 75%. As reduções de cargas neste trecho são importantes no sentido de reduzir o risco de eutrofização e garantia da qualidade de água de Chavantes, visto que a água no corpo do reservatório também demandaria reduções expressivas. Nesta UGH, a maior parte da produção de PT estimada ocorre na porção superior da bacia do Itararé e é atribuída à poluição difusa proveniente das culturas temporárias e à indústria.

O trecho de cabeceira (T1) do rio Paranapanema, a montante do reservatório de Jurumirim, também demandaria reduções entre 50% e 75% das cargas de PT para se enquadrar na classe 2 em qualquer cenário futuro estudado. Também é estimada a necessidade de redução de até 50% das cargas de fósforo para que o corpo deste reservatório tenha água com qualidade compatível com a classe 2 em ambos os cenários.

PT - Cenário tendencial (2035)



PT - Cenário acelerado (2035)



NITROGÊNIO – CENÁRIO TENDENCIAL E ACELERADO 2035

Antes de prosseguir com a análise, é importante lembrar que não há critérios de qualidade para as concentrações de nitrogênio total definidos na Resolução CONAMA nº 357/2005. O normativo indica que quando o nitrogênio for fator limitante para eutrofização, nas condições estabelecidas pelo órgão ambiental competente, o valor de nitrogênio total (após oxidação) não deverá ultrapassar 1,27 mg/L para ambientes lênticos e 2,18 mg/L para ambientes lóticos, na vazão de referência. Portanto, com base nestas referências e em dados observados, nesta análise foi adotado o limite de até 2,18 mg/L de NT para a classe 2 e de 2,18 a 3,27 mg/L para a classe 3.

Os modelos não apontaram necessidade de redução de cargas de NT para os corpos principais dos reservatórios estudados. Porém, tais reduções se fazem necessárias para os trechos a montante dos reservatórios, principalmente de Chavantes. Neste caso, estima-se que reduções de mais de 75% das cargas de NT serão necessárias para que o trecho T1 do rio Itararé fique com qualidade compatível com o critério aqui estabelecido para as classes 2 e 3 em qualquer um dos cenários futuros.

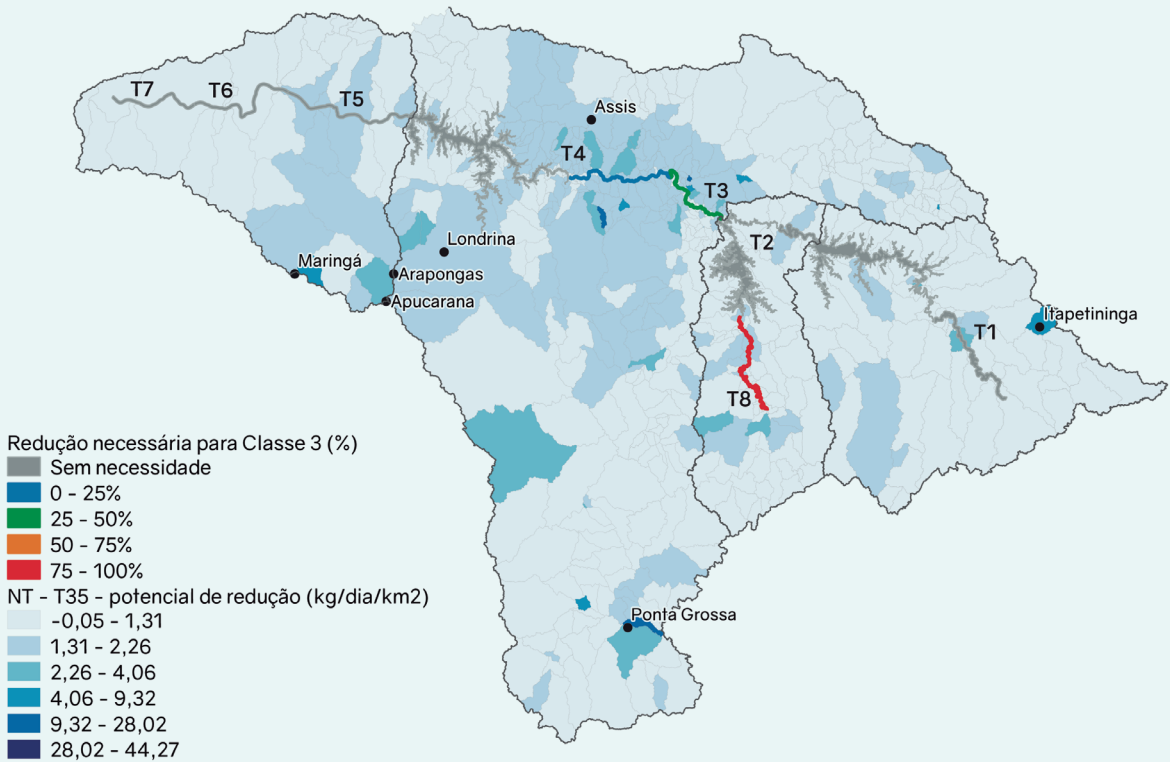
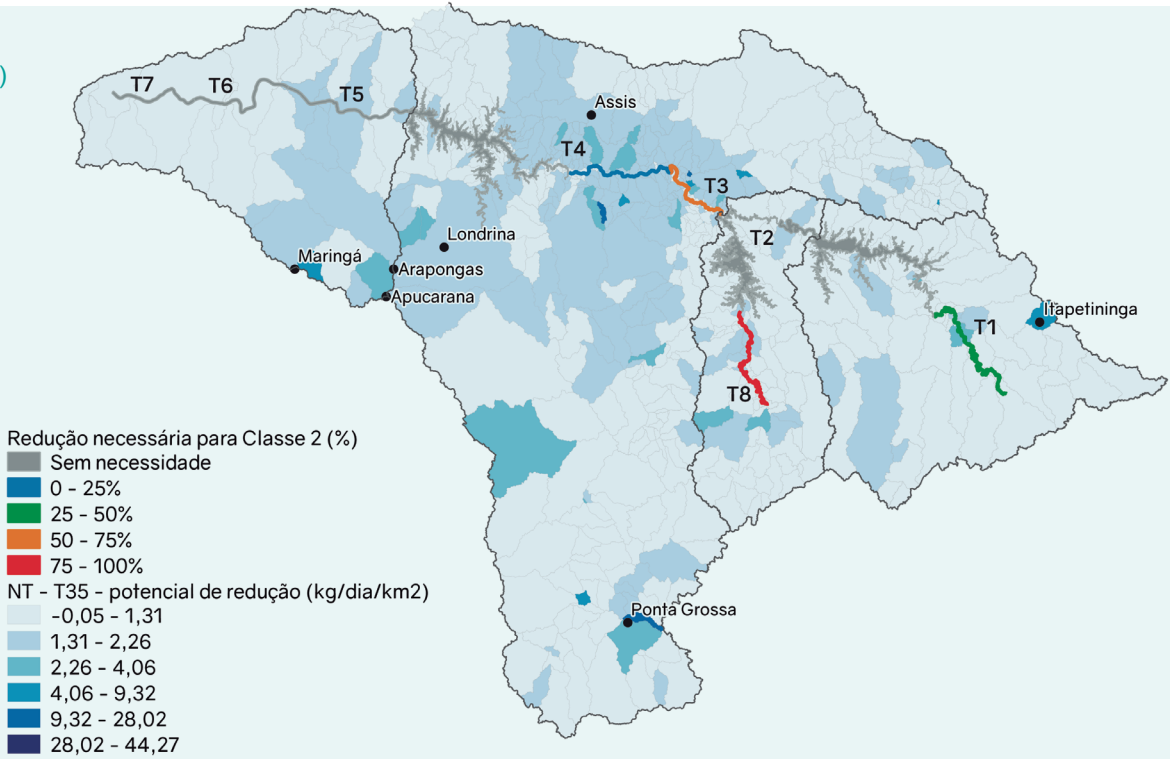
Os trechos a jusante da represa de Chavantes também merecem atenção em relação às cargas de NT. Reduções entre 50% e

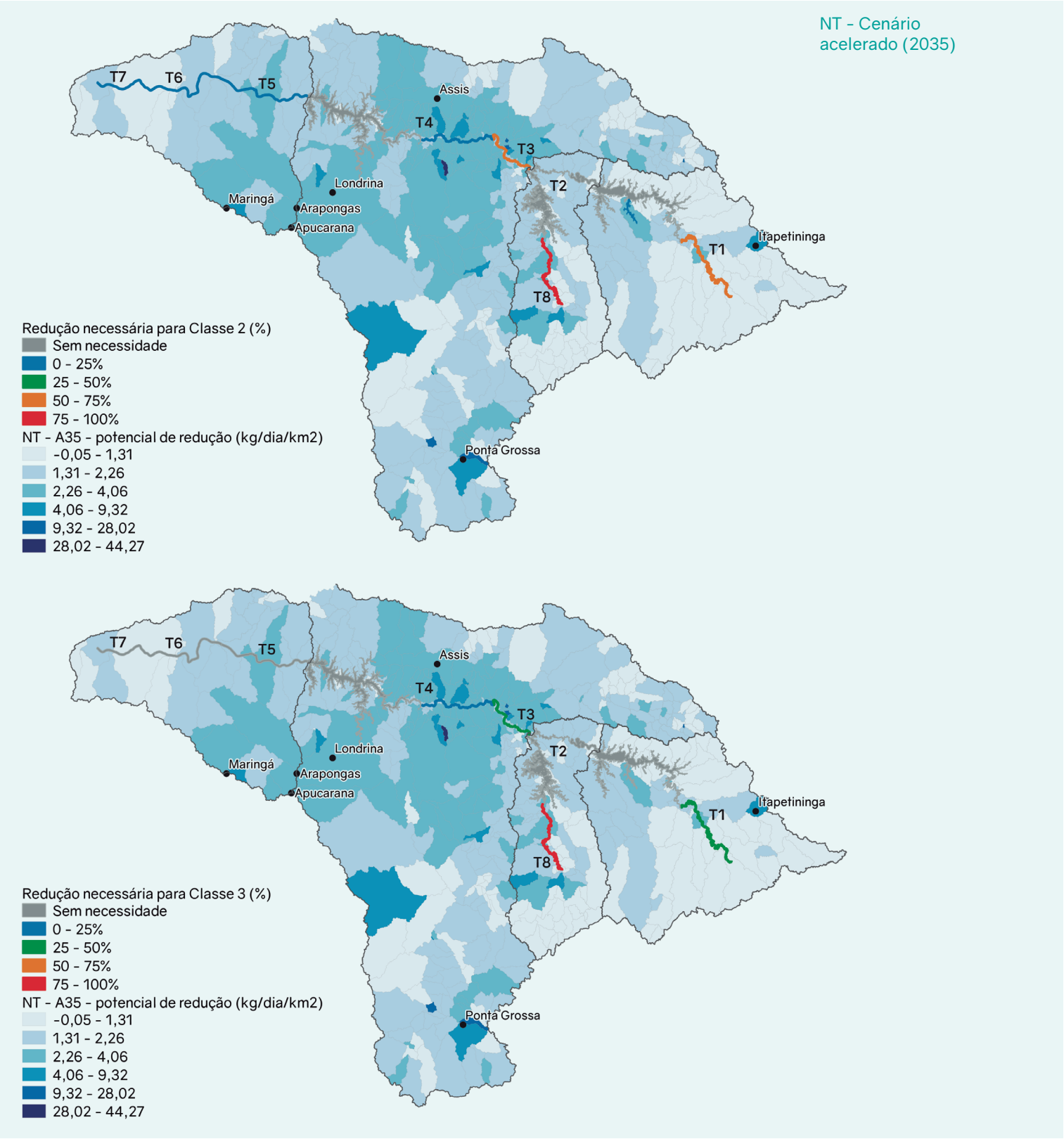
75% seriam necessárias para tornar o trecho imediatamente a jusante da represa compatível com as classes 2 ou 3 definidas no estudo em qualquer cenário simulado. O controle do nitrogênio neste trecho é importante para assegurar qualidade da água no reservatório de Capivara e reduzir o potencial de eutrofização de suas águas.

Para o trecho do Paranapanema a montante do reservatório de Jurumirim, no cenário tendencial, também se estima necessária uma redução de 25% a 50% do NT para que a água tenha qualidade compatível com o limite estabelecido para a classe 2 no cenário T35. Para o cenário acelerado, seria necessário reduzir o NT em mais de 50% para se atingir a classe 2. Estima-se ainda que uma redução entre 25% e 50% de NT colocaria este trecho na classe 3 no cenário A35, segundo os critérios aqui definidos para este parâmetro.

Caso este trecho do Alto Paranapanema seja enquadrado na classe 3, não haveria necessidade de redução de NT segundo os resultados das simulações. Há produção expressiva de cargas de NT pelas culturas temporárias no Alto Paranapanema, onde a adoção de boas práticas agrícolas e recuperação de APPs poderiam contribuir para o controle das emissões deste nutriente pelas fontes difusas de poluição.

NT - Cenário tendencial (2035)





DBO – CENÁRIO TENDENCIAL E ACELERADO 2035

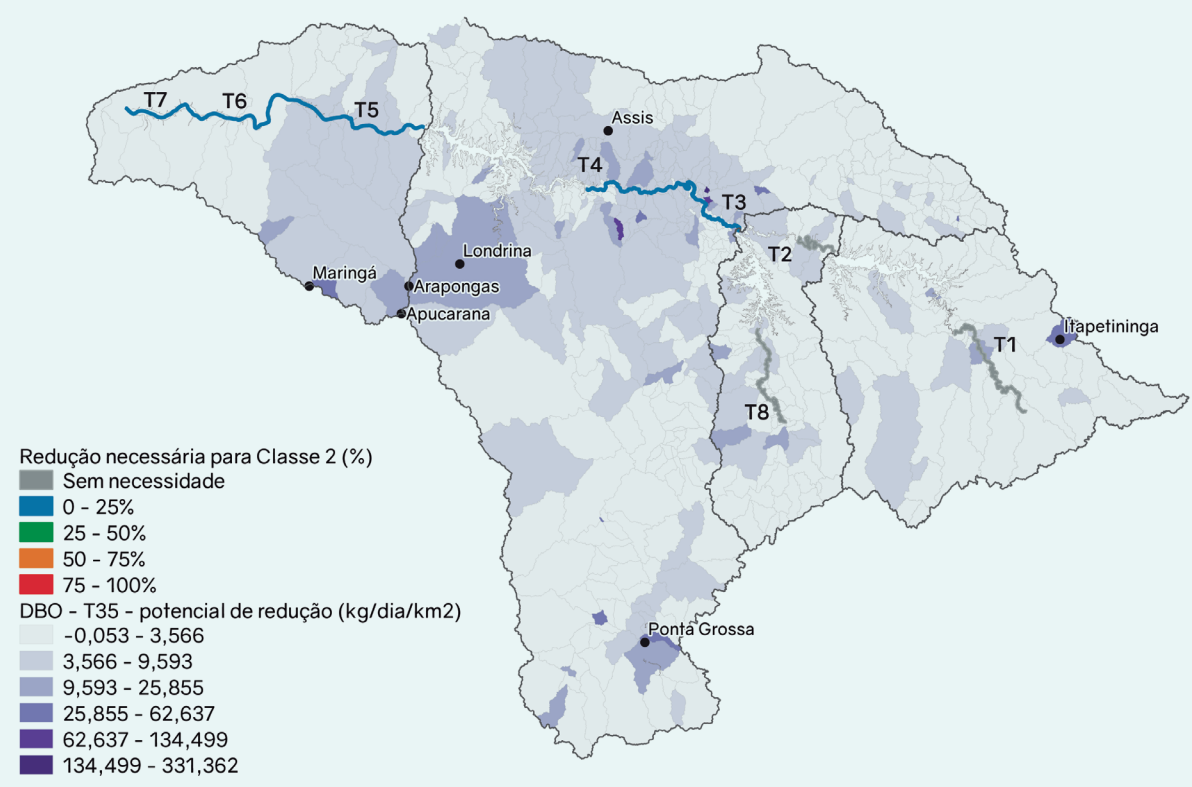
Os resultados das simulações da DBO foram restritos aos trechos lóticos dos rios Paranapanema e Itararé. Nos trechos estudados não foi observada a necessidade de reduções da DBO para que se alcance condições de qualidade compatíveis com águas de classe 3 em relação a este parâmetro em ambos os cenários considerados.

Entretanto, para se alcançar a conformidade com a classe 2, considerando o cenário tendencial, haveria necessidade de se reduzir os valores de DBO em até 25% nos trechos intermediários e baixos do Paranapanema (T3 a T7). Considerando o cenário acelerado para 2035, esta necessidade de redução seria de 25% a 50% desde o trecho do rio Itararé a

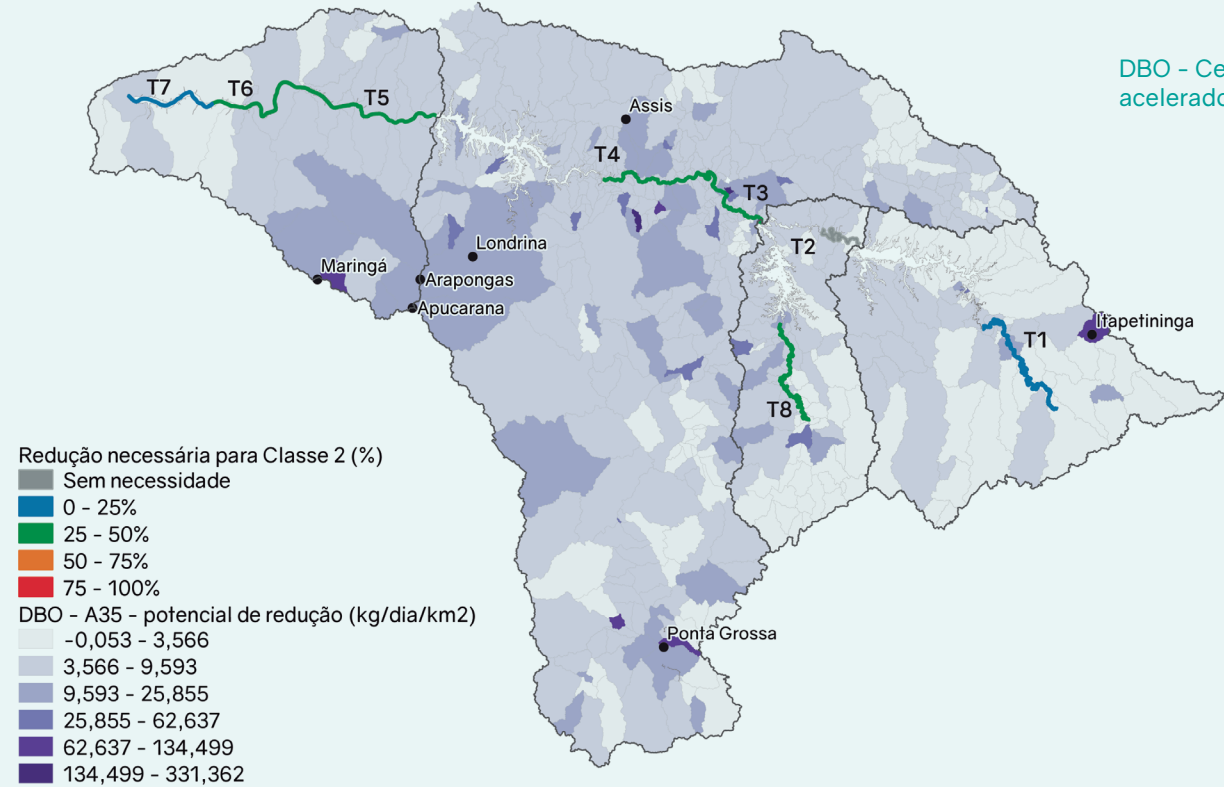
montante de Chavantes até o trecho logo a jusante de Capivara.

Apesar de estar geralmente associada aos efluentes domésticos e industriais de determinadas tipologias (indústrias de alimentos, por exemplo), as estimativas de produção potencial de cargas orgânicas na bacia apontam as culturas temporárias e pastagens como as maiores fontes. Este resultado indica a necessidade de controle de cargas difusas para a redução da DBO nos trechos em que este parâmetro se apresentou mais crítico. As áreas com maiores potenciais de redução deste indicador estão distribuídas principalmente na porção média da bacia do Paranapanema, em áreas com intensa produção agrícola.

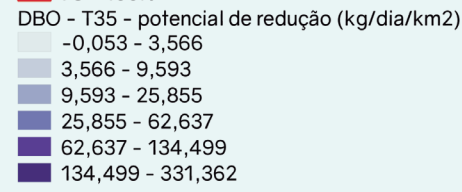
DBO - Cenário tendencial (2035)



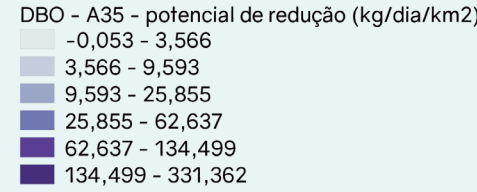
DBO - Cenário acelerado (2035)



Redução necessária para Classe 3 (%)



Redução necessária para Classe 3 (%)



CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, prevê cinco instrumentos que devem ser aplicados para promover a gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica: planos de recursos hídricos, outorga de direito de uso dos recursos hídricos, cobrança pelo uso da água, sistema de informações sobre recursos hídricos e enquadramento dos corpos d'água em classes. Os planos de recursos hídricos visam fundamentar e orientar a implementação dos demais instrumentos.

Os Programas e Ações do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paranapanema – PIRH Paranapanema (ANA, 2016) foram estruturados em dois eixos de atuação: ações para a Gestão de Recursos Hídricos (GRH) e ações voltadas às Intervenções e Articulações com o Planejamento Setorial (STR).

A implementação do enquadramento é um dos subprogramas do programa Instrumentos de Gestão (GRH.A) previsto no PIRH Paranapanema. Esse programa tem por objetivo promover o fortalecimento da gestão dos recursos hídricos por meio da aplicação dos instrumentos previstos na Lei Federal 9.433/1997 e nas leis estaduais de recursos hídricos.

O Subprograma GRH.A.4 visa aprovar o enquadramento nos rios federais e reservatórios da UGHR Paranapanema, assim como seu programa de efetivação, além de

apoiar e incentivar os comitês da bacia na revisão de seus enquadramentos com base nos resultados e diretrizes do PIRH no sentido de pactuar condições de entrega entre os afluentes estaduais e os rios federais. O presente estudo é uma das ações deste subprograma e sua conclusão representa um avanço na implementação do instrumento do enquadramento.

Como previsto no PIRH, os subsídios entregues por meio deste estudo formam uma base sólida para a preparação de uma proposta atualizada de enquadramento para os reservatórios e rios federais da bacia. A compatibilização das metas de qualidade de água dos rios com os reservatórios, que é uma atividade prevista no Manual Operativo do Plano (MOP), também foi contemplada neste estudo por meio da integração de diversos métodos e modelos de simulação.

A aplicação de técnicas de modelagem integradas para estimar i) a origem e produção de cargas com potencial de poluir as águas da bacia do Paranapanema; ii) o fluxo destas cargas pelos rios de domínio federal até os reservatórios; assim como iii) as estimativas acerca das necessidades e potenciais de redução destas cargas poluidoras para o atingimento de possíveis metas de qualidade de água representam subsídios importantes para o processo de enquadramento dos corpos hídricos na bacia do rio Paranapanema.

Compreender a origem da poluição que degrada a qualidade das águas na bacia é fundamental para a gestão dos recursos hídricos, pois permite priorizar o controle de sua produção diretamente nas principais fontes poluidoras e identificar áreas críticas para o planejamento das medidas que garantirão a efetividade do processo de enquadramento dos corpos hídricos segundo classes de qualidade.

Os resultados obtidos com este estudo podem repercutir também em outros instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), especialmente sobre a outorga de direito de uso da água, dado o seu papel em relação à alocação de cargas poluidoras de origem pontual, tais como os efluentes tratados domésticos e industriais.

Além dos instrumentos da PNRH, o conhecimento sobre a origem e distribuição das cargas poluidoras da água no território da bacia pode orientar a necessária integração entre a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental, visto que somente a aplicação dos instrumentos da PNRH pode não ser suficiente para o controle da poluição hídrica oriunda de fontes difusas.

Entre as principais fontes emissoras de cargas poluidoras apontadas pelo estudo estão fontes difusas no meio rural. Estima-se que as culturas temporárias e pastagens contribuam com mais de 60% das cargas de matéria orgânica e nutrientes produzidas com potencial de atingir os rios e reservatórios da bacia.

O controle da poluição destas cargas é complexo e depende da articulação entre políticas públicas voltadas a questões ambientais e fundiárias, incentivos e boas práticas para a produção agropecuária, ordenamento territorial e à própria gestão dos recursos hídricos.

A caracterização da bacia quanto ao uso e ocupação da terra na bacia do Paranapanema indica a existência de um passivo ambiental de Áreas de Preservação Permanente.

Estas áreas de vegetação que margeiam e protegem corpos d'água e nascentes são muito importantes para amortizar os aportes de cargas poluidoras da água, sendo sua restauração uma medida fundamental para a manutenção da qualidade da água e a consecução das metas do enquadramento.

A caracterização das áreas com restrições à ocupação e uso da terra, apresentada no início deste documento, aponta oportunidades para a restauração e preservação da bacia com vistas à garantia da qualidade da água por meio do enquadramento em articulação com as demais políticas públicas com influência no tema. Em adição ao planejamento e gestão da ocupação do território da bacia, o uso racional de fertilizantes e aplicação de técnicas adequadas de drenagem das áreas plantadas são práticas importantes para a preservação dos recursos hídricos e que trazem benefícios ao próprio setor agrícola como usuário de água na bacia.

Entre os resultados deste estudo, também se verificou a importância do controle das cargas industriais para a redução da poluição hídrica na bacia. Apesar do louvável esforço dos órgãos ambientais e do setor industrial no sentido de reduzir suas emissões, verificou-se que esta ainda é uma fonte expressiva de nutrientes e matéria orgânica na bacia. Recomenda-se, portanto, a contínua busca pelas melhores práticas e tecnologias de tratamento, sobretudo voltadas à remoção de fósforo e nitrogênio dos efluentes.

O lançamento de efluentes industriais é considerado um uso da água outorgável, sendo, portanto, estas cargas poluidoras mais facilmente submetidas ao controle das autoridades responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, tanto no nível federal quanto estadual. Além disso, as medidas de controle da poluição hídrica emitida por estas fontes tendem a ser mais efetivas e de implementação mais rápida, visto que são relativamente mais fáceis de identificar e quantificar do que as fontes difusas em virtude de sua origem pontual.

A caracterização do uso da água pela indústria na bacia do rio Paranapanema foi objeto de um estudo visando o aprimoramento do balanço quali-quantitativo dos recursos hídricos. O estudo intitulado A Indústria na Bacia do Rio Paranapanema – Uso da Água e Boas Práticas (ANA, 2020) foi uma iniciativa da ANA que, assim como o presente estudo, foi elaborado visando a implementação das ações definidas no PIRH Paranapanema e priorizadas pelo Comitê.

Durante a discussão e elaboração da proposta de enquadramento, além da cuidadosa seleção de parâmetros para a avaliação da qualidade da água, é essencial conhecer e estimar adequadamente as cargas poluidoras da bacia para a indicação de ações de controle e mitigação das cargas. Nesse sentido, os dois estudos se conectam e representam um passo importante para o planejamento e a gestão da qualidade da água na bacia.

Como um próximo passo, o MOP prevê a atuação do CBH Paranapanema na formação de grupos de trabalho para avaliar estratégias com vistas ao enquadramento dos reservatórios e rios federais. Também estão previstas séries de encontros setoriais e regionais, envolvendo setores usuários e demais atores, visando a consolidação de uma proposta de enquadramento, além de seu alinhamento com os órgãos gestores de recursos hídricos que atuam na bacia.

Este Sumário Executivo tem por finalidade principal promover a entrega e a apropriação dos resultados do estudo de modelagem dos rios federais a todos os atores da gestão dos recursos hídricos participantes das próximas etapas do processo de construção da proposta da implementação do enquadramento. Pelo link https://bit.ly/paranapanema_modelagem os interessados poderão ter um resumo do estudo apresentado em quatro sessões: i) Apresentação; ii) Contexto; iii) Diagnóstico, IV) e Bases para o Enquadramento. A sessão inicial contém explicações sobre

os instrumentos de planejamento da PNRH com relação mais próxima com o tema da qualidade de água e a proposta do estudo. O contexto tem foco em um painel interativo com as características da bacia do rio Paranapanema relacionados ao tema. Na sessão de diagnóstico são apresentadas as cargas estimadas com potencial para poluir os rios e reservatórios e suas respectivas fontes. Finalmente, são apresentados mapas-síntese com os potenciais de redução das cargas poluidoras nas sub-bacias onde elas são produzidas e as reduções necessárias nos trechos dos rios federais para que estes apresentem água de qualidade compatível com as classes 2 e 3.

As estimativas fornecidas pelos modelos utilizados neste estudo devem ser vistas como bases técnicas, isto é, um passo inicial para as discussões sobre a alocação de cargas orgânicas e de nutrientes no processo de gestão da qualidade da água na bacia. Definidos os objetivos e prioridades do enquadramento na bacia do Paranapanema, tais estimativas podem e devem ser aperfeiçoadas e detalhadas a partir da atualização e incorporação de dados aos modelos existentes ou por meio de ferramentas complementares.

Os resultados desta cooperação entre a UFPR e a ANA são uma entrega da área de planejamento de recursos hídricos ao processo de enquadramento dos rios e reservatórios federais da bacia do Paranapanema com grande potencial de continuidade a partir do envolvimento dos órgãos gestores estaduais, comitês afluentes e demais atores envolvidos no processo.

Para a ANA, a continuidade do desenvolvimento dos estudos sobre o tema da qualidade da água, a partir da apropriação dos resultados aqui apresentados pelos atores locais, é desejável e tem um significado especial para o desenvolvimento e implementação dos planos de recursos hídricos e do instrumento do enquadramento dos corpos d'água em conjunto com as entidades parceiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. NOTA TÉCNICA N°028/2014/NHI-SPR: ESTUDOS HIDROLÓGICOS PARA DEFINIÇÃO DAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS DA UGRH PARANAPANEMA. 2014.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. PLANO INTEGRADO DE RECURSOS HÍDRICOS DA UNIDADE DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS PARANAPANEMA. BRASÍLIA, 2016.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. REGRAS E PADRÕES PARA NOMENCLATURA DE OBJETOS. BRASÍLIA, 2018.

ANA- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROWEB. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.SNIRH.GOV.BR/HIDROWEB/REST/API/INVENTARIO/DOWNLOAD](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/rest/api/inventario/download)>. ACESSO EM 20 JANEIRO 2020. 2020A.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. SÉRIES HISTÓRICAS DE ESTAÇÕES. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.SNIRH.GOV.BR/HIDROWEB/SERIESHISTORICAS](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas)>. ACESSO EM 20 JANEIRO 2020. 2020B.

BRASIL. LEI FEDERAL N° 12.727, DE 17 DE OUTUBRO DE 2012. DIÁRIO OFICIAL [DA] DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. BRASÍLIA, DF. CONGRESSO NACIONAL, 2012.

BROWN, L. C.; BARNWELL, T. O. THE ENHANCED STREAM WATER QUALITY MODEL QUAL2E AND QUAL2E-UNCAS: COMPUTER PROGRAM DOCUMENTATION AND USER MANUAL. ATHENS: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 189 P, 1987.

CCME - CANADIAN WATER QUALITY INDEX 1.0. USER'S MANUAL. CANADIAN WATER QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF AQUATIC LIFE. 2005.

CHAPRA, S. C. SURFACE WATER-QUALITY MODELING. BOSTON: MASS: WCB/MCGRAW-HILL, 2008.

CHAPRA, S. C. SURFACE WATER-QUALITY MODELING. WAVE-LAND PRESS, 2008.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005.

FERREIRA, D. M.; FERNANDES, C. V. S.; KAVISKI, E.; FONTANE, D. WATER QUALITY MODELLING UNDER UNSTEADY STATE ANALYSIS: STRATEGIES FOR PLANNING AND MANAGEMENT. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, V. 239, P. 150-158, 2019.

GIA - GRUPO INTEGRADO DE AQUICULTURA E ESTUDOS AMBIENTAIS. ESTUDOS PARA A DEFINIÇÃO DOS PARQUES AQUÍCOLAS NOS RESERVATÓRIOS DO PARANAPANEMA. VOLUME 2: PARÂMETROS ABIÓTICOS E MODELAGEM. MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, 2013.

HIGGINS, SCOTT N., MICHAEL J. PATERSON, ROBERT E. HECKY, DAVID W. SCHINDLER, JASON J. VENKITESWARAN, AND DAVID L. FINDLAY. "BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION PREVENTS THE RESPONSE OF A EUTROPHIC LAKE TO REDUCED LOADING OF NITROGEN: EVIDENCE FROM A 46-YEAR WHOLE-LAKE EXPERIMENT." ECOSYSTEMS 21, NO. 6 (2018): 1088-1100.

HIPSEY, M.R., BRUCE, L.C., BOON, C., BUSCH, B., CAREY, C.C., HAMILTON, D.P., HANSON, P.C., READ, J.S., DE SOUSA, E., WEBER, M. AND WINSLOW, L.A. A GENERAL LAKE MODEL (GLM 3.0) FOR LINKING WITH HIGH-FREQUENCY SENSOR DATA FROM THE GLOBAL LAKE ECOLOGICAL OBSERVATORY NETWORK (GLEON), 2019.

JACCON, G.; CUDO, K. J.; CURVA-CHAVE: ANÁLISE E TRAÇADO. DNAEE, JUNHO/1989.

KAVISKI, E. MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO DE EVENTOS E PARÂMETROS HIDROLÓGICOS. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAL) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, UFPR, BRASIL.

KWAK, JIHYUN ET AL. ESTIMATION OF BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND BASED ON DISSOLVED ORGANIC CARBON, UV ABSORPTION, AND FLUORESCENCE MEASUREMENTS. JOURNAL OF CHEMISTRY, 2013.

MILSTEAD, W. BRYAN, JEFFREY W. HOLLISTER, RICHARD B. MOORE, AND HENRY A. WALKER. "ESTIMATING SUMMER NUTRIENT CONCENTRATIONS IN NORTHEASTERN LAKES FROM SPARROW LOAD PREDICTIONS AND MODELED LAKE DEPTH AND VOLUME." PLOS ONE 8, NO. 11 (2013): E81457.



Reservatório de Capivara na divisa entre São Paulo e Paraná.
Raylton Alves/Banco de imagens ANA



Represa de Jurumirim, em Piraju (SP)
Raylton Alves / Banco de imagens ANA



Comitê da Bacia Hidrográfica
Rio Paranapanema



MINISTÉRIO DA
EDUCAÇÃO

MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

ISBN: 978-65-88101-23-0

