



SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DA QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS: IMPACTO PARA OS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

DANIELI MARA FERREIRA

ORIENTADOR: CRISTOVÃO V. S. FERNANDES

CO-ORIENTADOR: ELOY KAVISKI

*PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E
AMBIENTAL - UFPR*

INTRODUÇÃO

- Brasil - Gestão de Recursos Hídricos (GRH)
 - Lei 9.433 (1997) → Instrumentos de GRH: dispositivos para uso e conservação da água
- Modelos matemáticos como ferramenta para GRH
 - ✓ desde 1925 (Streeter-Phelps)
 - ✓ principais vantagens:
 - Interpolação e extrapolação dos dados (tempo e espaço)
 - Estudo das relações causa-efeito
 - Planejamento → cenários futuros
 - Controle de ações na bacia

MODELOS DE QUALIDADE DE ÁGUA EM REGIME PERMANENTE

$$(\partial C / \partial t = 0)$$

- Advecção estimada por método simplificado (eq. Manning)
- Resultados satisfatórios para condições críticas (estiagem)
- Pode levar a resultados imprecisos em:
 - (i) transporte ou inundação de grande quantidade de nutrientes (inundação de áreas florestadas, p. ex.);
 - (ii) quando existem oscilações a jusante devido a maré (estuários)
 - (iii) eventos de cheia com grande quantidade de poluição gerada pela drenagem pluvial, comum em áreas urbanas**

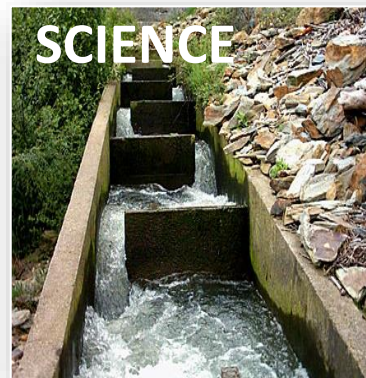
MODELOS EM REGIME NÃO-PERMANENTE

$(\partial C / \partial t \neq 0)$

- Advecção e área das seções no canal estimadas pelo modelo hidrodinâmico (equações de Saint-Venant)
- Vantagens:
 - Estudo da variação temporal da profundidade e velocidade do escoamento
 - Representação detalhada do transporte (efeitos de armazenamento, balanço de forças no canal)
- Dados para condições de contorno e calibração:
 - hidrogramas, curvas-chave, geometria das seções transversais, séries contínuas de concentração

POR QUE ESTUDAR A VARIAÇÃO TEMPORAL?

- Qualidade $\leftrightarrow$ Quantidade
- Dinâmica em rios urbanizados (escoamento superficial, variação das condições de escoamento)



- Estudos no Rio Iguaçu:
 - Monitoramento (**Gonçalves, 2011; Coelho, 2013**)
 - Modelagem estatística
(**Villa, 2008; França, 2009; Almeida *et al.*, 2013**)
 - Modelagem de qualidade da água e parâmetros orgânicos alternativos (COD)
(**Bizzoni, 2000; Bäumle, 2004; Knapik, 2009; Knapik, 2014**)
 - Conceitos legais e financeiros (**Brites, 2010**)
 - Ferramentas de suporte a decisão e calibração
(**Kondageski, 2008; Nahon, 2009**)
 - Estratégias de planejamento e gestão de recursos hídricos
(**Przybysz, 2007**)

POR QUE ESTUDAR A VARIAÇÃO TEMPORAL?

- Questões levantadas nesses estudos:
 - Como relacionar qualidade e quantidade
 - Calibração dos modelos
 - Estratégias de monitoramento
 - Avaliação dos dados

OBJETIVOS

- Avaliação da variação espacial e temporal de distribuição de poluentes em um rio urbano
 - Solução numérica das equações de Saint-Venant e de qualidade de água (diferenças finitas explícitos)
 - Análise das diferenças entre abordagem permanente/não-permanente do modelo de qualidade de água
 - Curvas de permanência
- ➡ Aplicação e entendimento mais eficiente dos instrumentos de gestão de recursos hídricos

RIO IGUAÇU

- Curitiba e região metropolitana - 30% da população urbana do estado do Paraná
- Poluição por lançamentos de efluentes domésticos e escoamento superficial

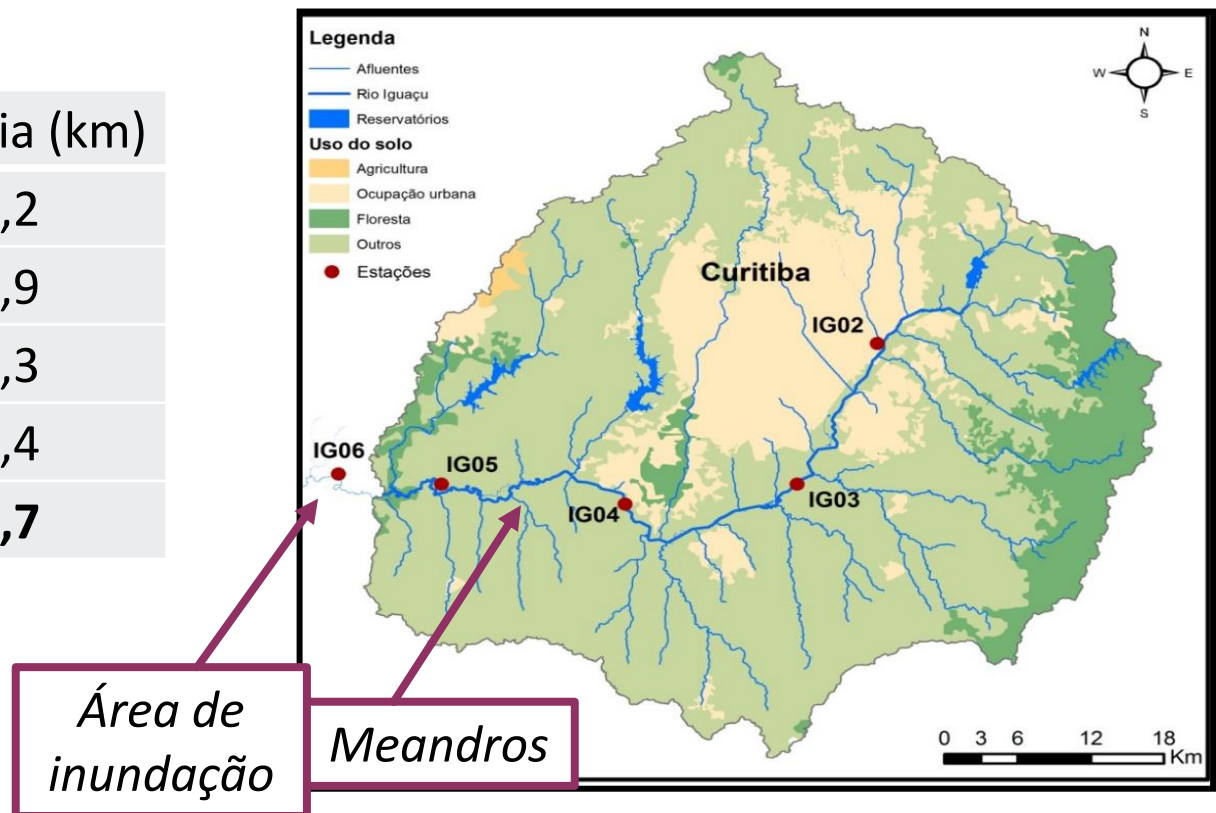


Trecho do Rio Iguaçu nas proximidades de Curitiba (Gazeta do Povo)

RIO IGUAÇU

- Trecho de 84 km → 5 pontos de monitoramento

Trecho	Distância (km)
IG2 e IG3	18,2
IG3 e IG4	21,9
IG4 e IG5	18,3
IG5 e IG6	25,4
Total	83,7



MODELO DE QUALIDADE DE ÁGUA 1D

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{D}{A} \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \pm F = 0$$

- Conservação de massa
 - Balanço entre advecção, dispersão, fontes externas e transformações (ganho ou perda de massa por reações)

MODELO HIDRODINÂMICO

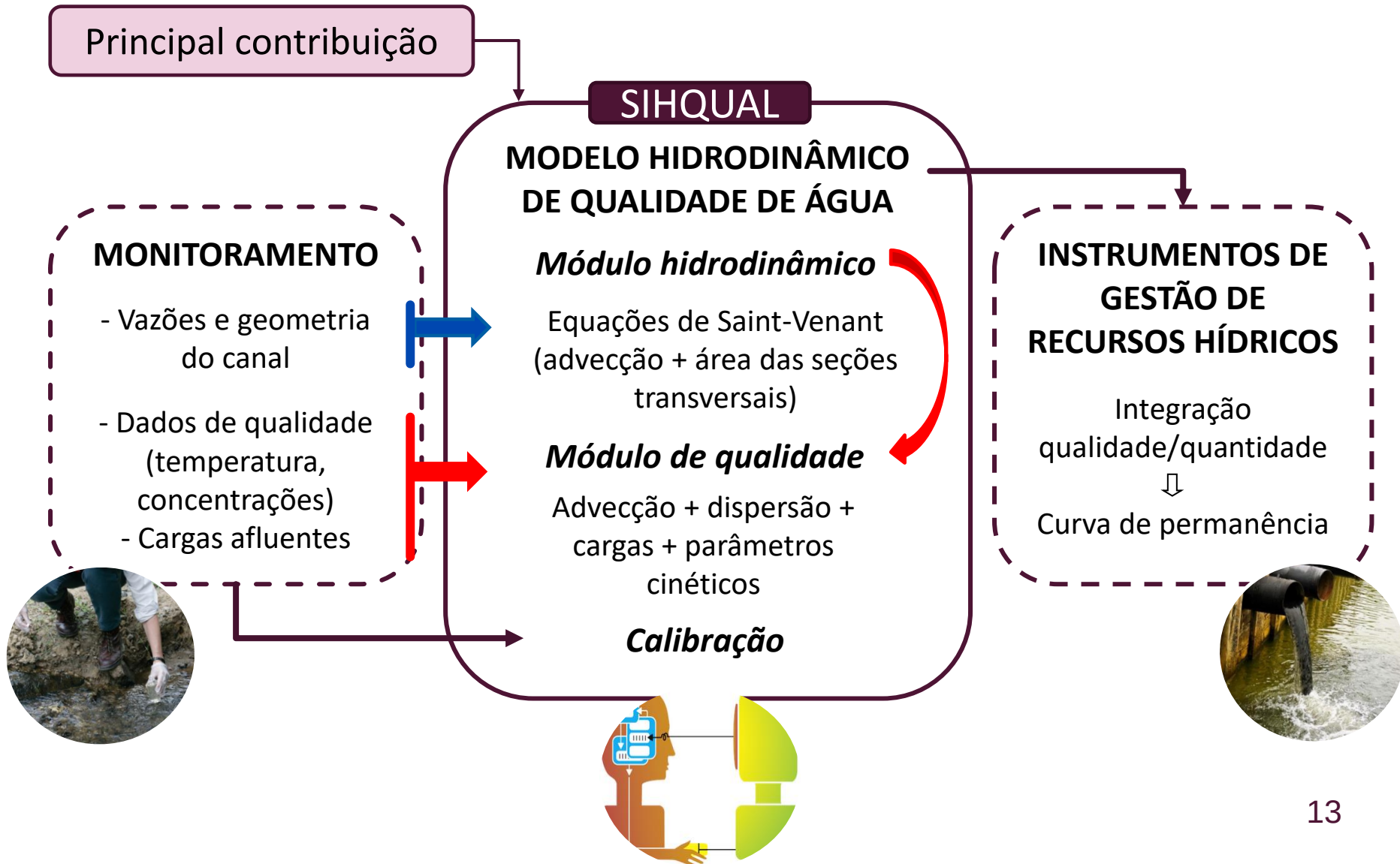
➤ Equações de Saint-Venant:

$$B \frac{\partial y}{\partial t} + UB \frac{\partial y}{\partial x} + A \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial A}{\partial x} = q \quad \text{conservação de massa}$$

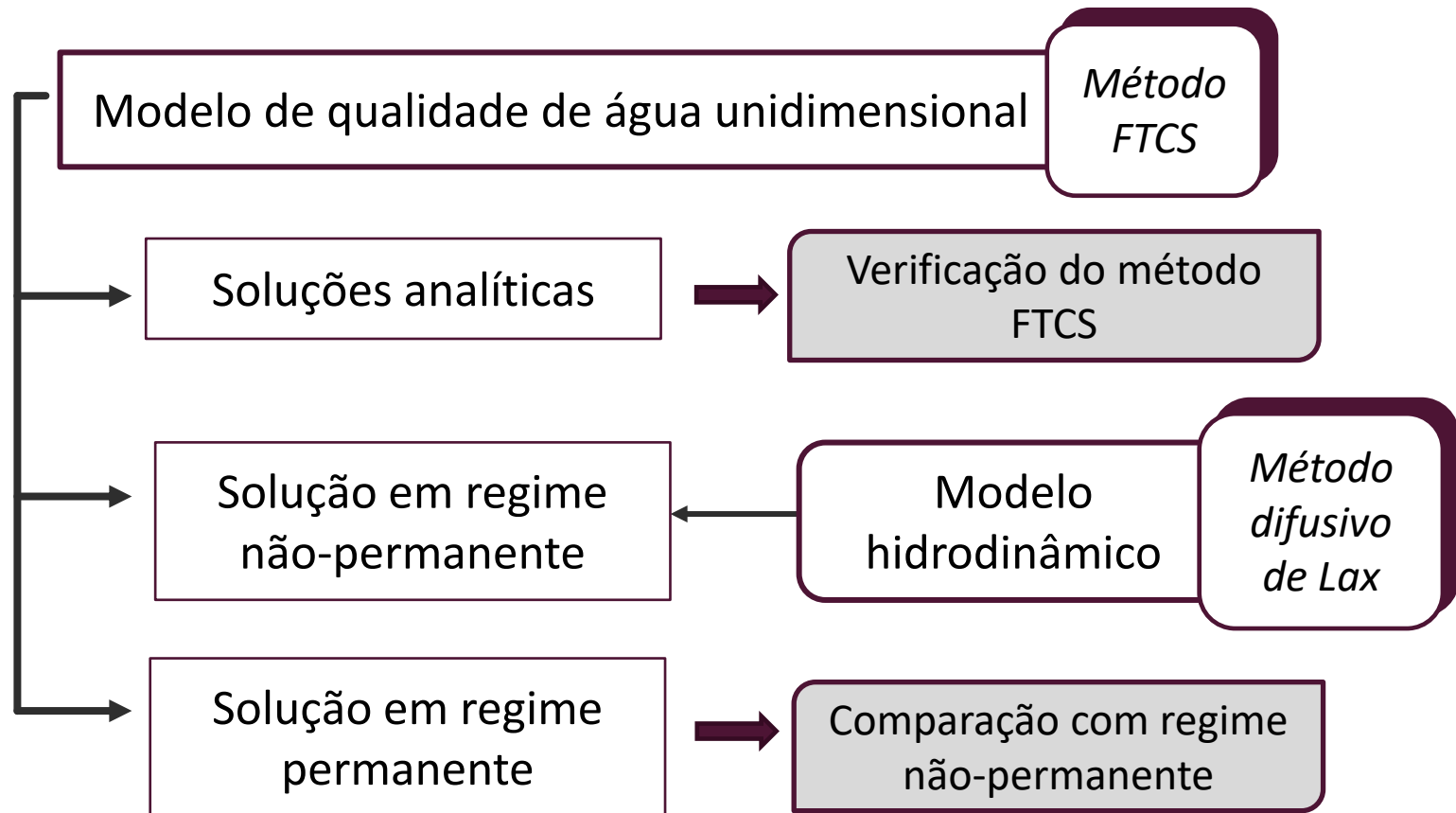
$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{q(v_L - U)}{A} + g(S_0 - S_f) \quad \text{conservação de momento}$$

- Escoamento não-permanente gradualmente variado 1D:
 - canal de seção transversal irregular
 - com contribuição lateral (entradas/retiradas de água - tributários, captações e escoamento superficial, p. ex.)

Modelo hidrodinâmico de qualidade de água

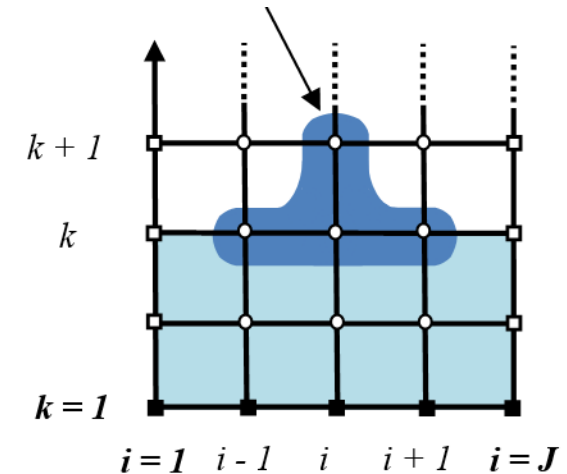


METODOLOGIA



MÉTODOS NUMÉRICOS

➤ Esquemas de diferenças finitas explícitos



- Equações de Saint-Venant:
Método difusivo de Lax (Liggett e Cunge, 1975)

Estabilidade: condição de Courant

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \frac{1}{|U + c|}$$

- Equação de qualidade de água:
Método FTCS (Tannehill *et al.*, 1997)

Estabilidade:

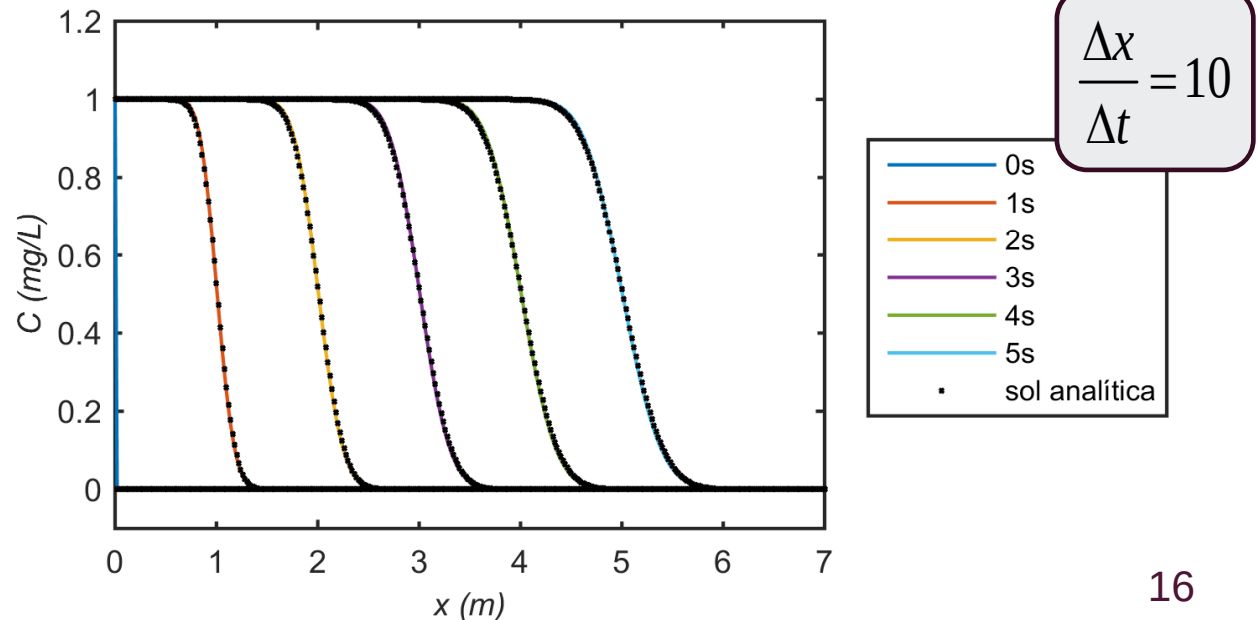
$$\gamma = \frac{U \Delta t}{\Delta x} < 1 \quad \lambda = \frac{D \Delta t}{(\Delta x)^2} < \frac{1}{2}$$

SOLUÇÕES ANALÍTICAS

(a) Caso I: lançamento instantâneo (0 a 1 mg/L)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} - D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad C(x,t) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{x-Ut}{\sqrt{4Dt}}\right) + \frac{1}{2} \exp\left(\frac{Ux}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x+Ut}{\sqrt{4Dt}}\right)$$

- canal prismático
- U constante
- sem fontes externas ou decaimento

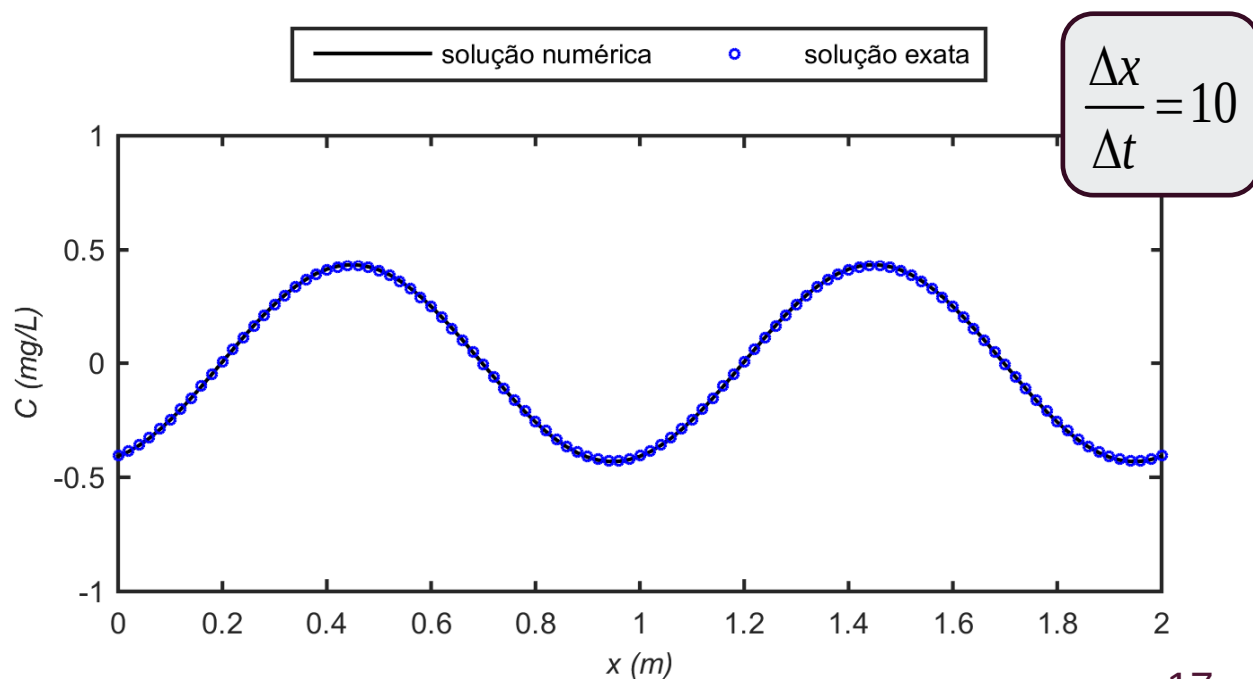


SOLUÇÕES ANALÍTICAS

(b) *Caso II: lançamento variável*

$$C(0, x) = \frac{1}{2} \sin(2\pi x) \quad \Rightarrow \quad C(x, t) = \exp(-4\pi^2 Dt) \frac{1}{2} \sin[2\pi(x - Ut)]$$

*Erro médio
absoluto (t = 100 s)
→ 0,0022 mg/L*



SIMULAÇÕES RIO IGUAÇU

- Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD)

- Dados de 2010

$\Delta x = 500 \text{ metros}$

$\Delta t = 50 \text{ segundos}$



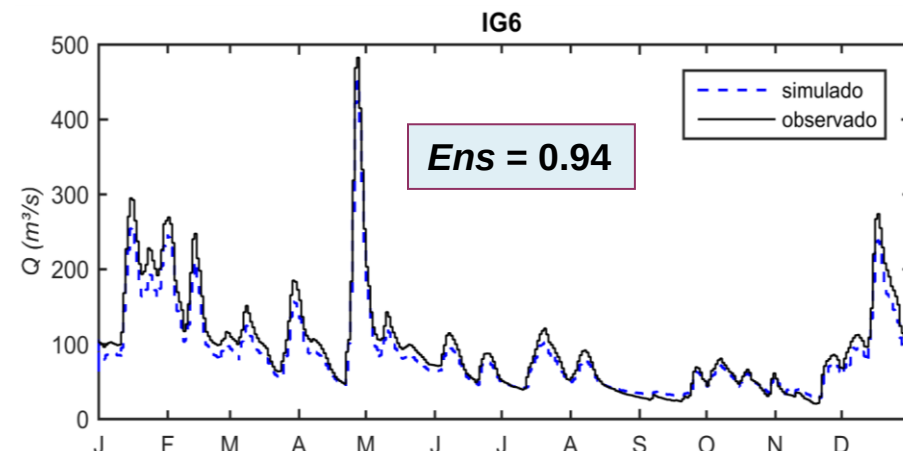
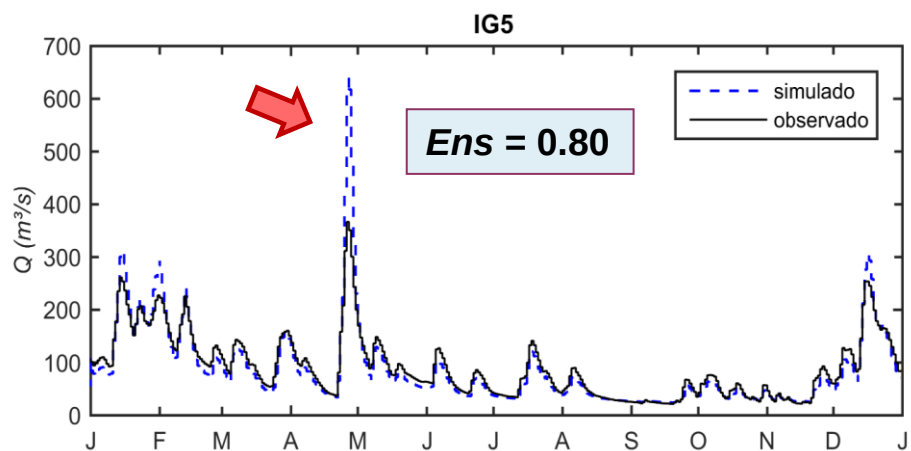
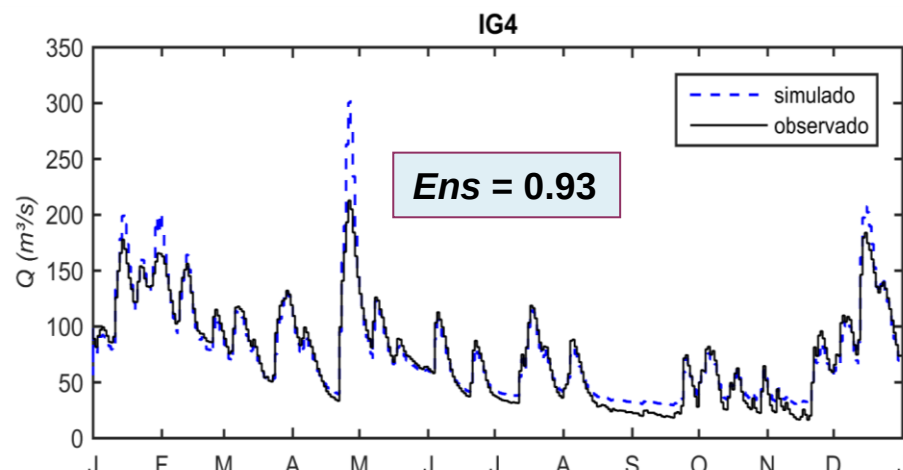
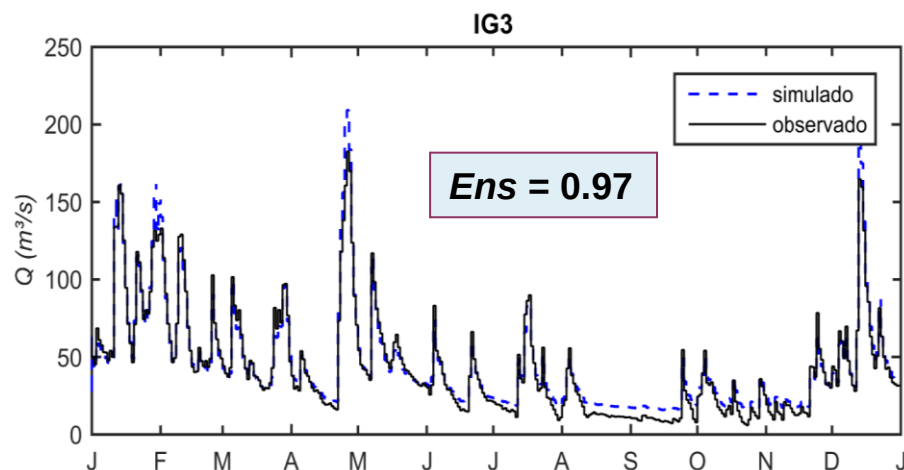
*Condições de
estabilidade atendidas*

- Calibração
 - Módulo hidrodinâmico
 - coeficiente de rugosidade de Manning → ajuste pelo coeficiente de Nash
 - Módulo de qualidade
 - coeficientes de reação e de dispersão longitudinal

PRINCIPAIS HIPÓTESES

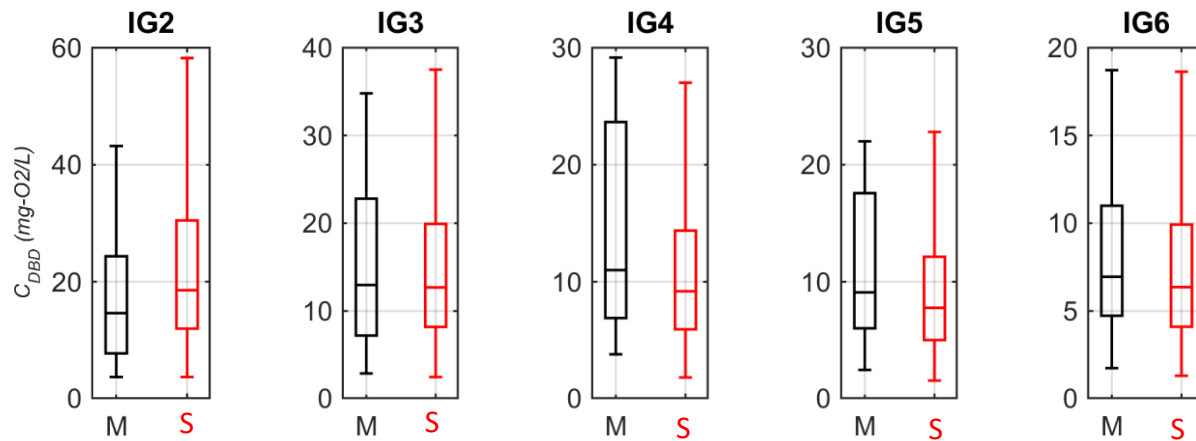
- Seções trapezoidais e simétricas
- Coeficiente de dispersão longitudinal constante
- Concentrações médias de amônia e nitrito
- Efeitos da temperatura não considerados
- Condições iniciais e de contorno estimadas
- Cargas orgânicas externas distribuídas entre os pontos de monitoramento → contribuições pontuais e difusas não diferenciadas; variação temporal não considerada

MODELO HIDRODINÂMICO - VAZÕES

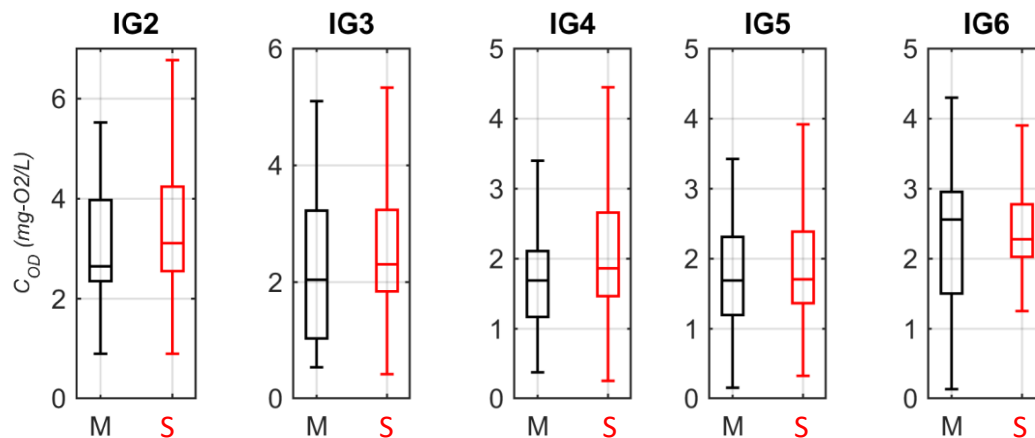


MODELO DE QUALIDADE DE ÁGUA NÃO-Resultados PERMANENTE

DBO



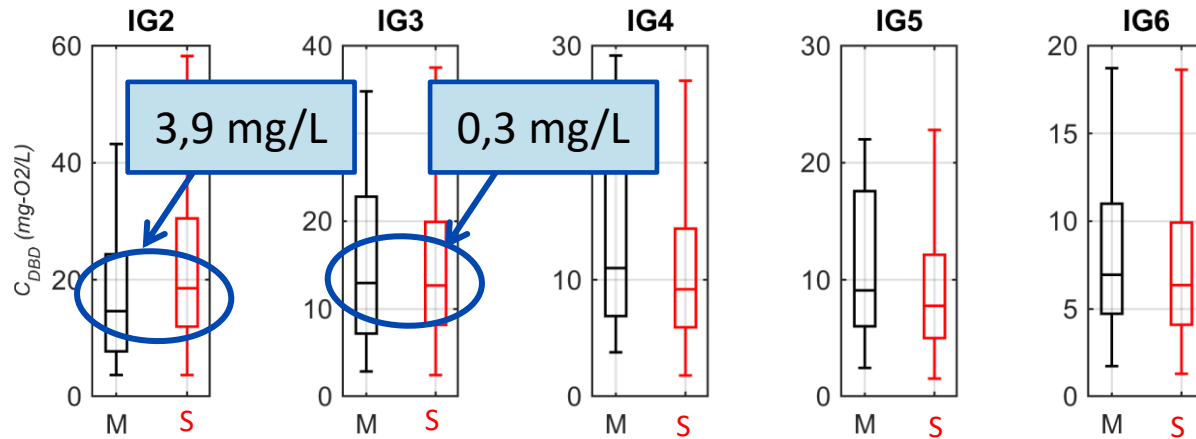
OD



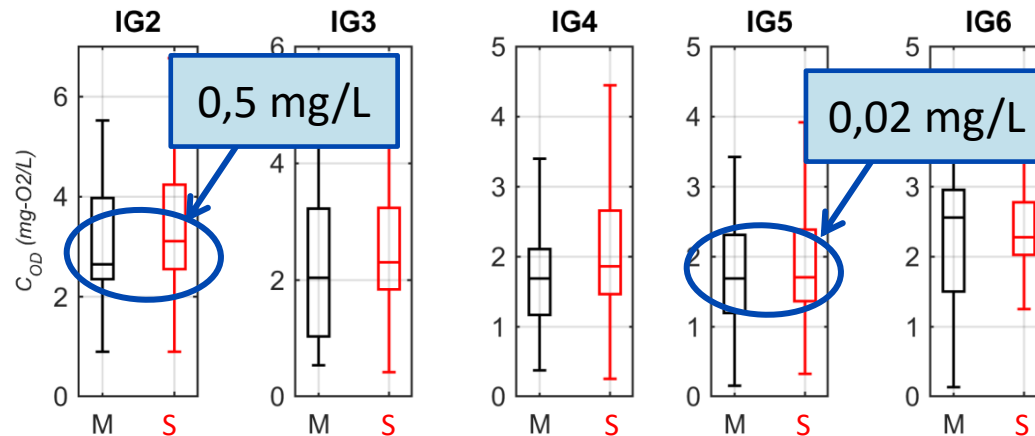
Medido (M)
Simulado (S)

MODELO DE QUALIDADE DE ÁGUA NÃO-Resultados PERMANENTE

DBO



OD

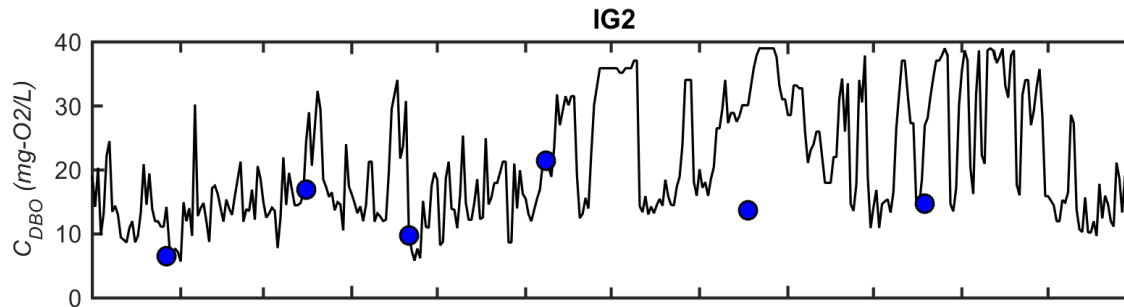


Medido (M)
Simulado (S)

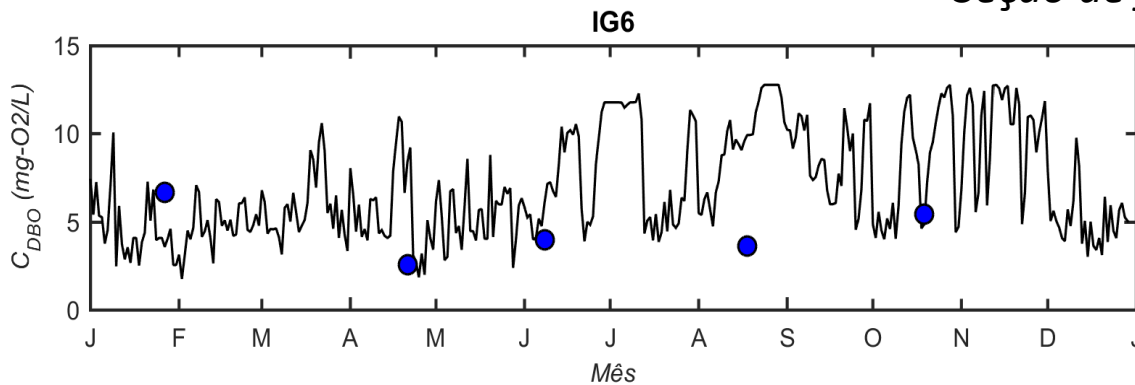
MODELO DE QUALIDADE DE ÁGUA NÃO-PERMANENTE - DBO

Resultados

*Seção de montante
(condição de contorno propagada)*



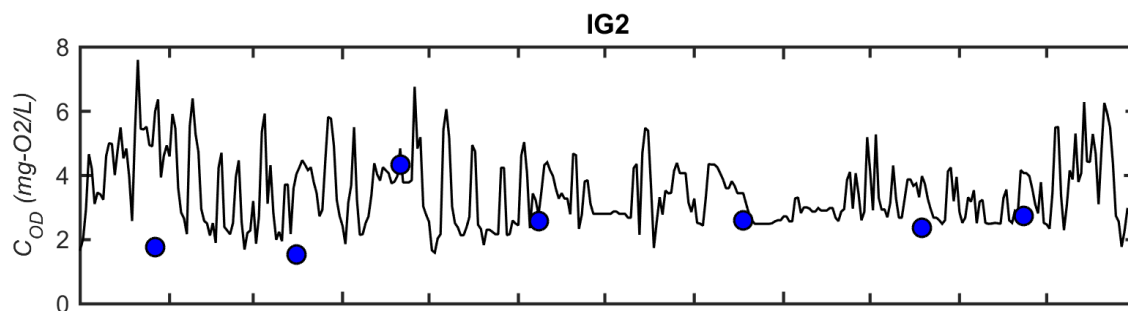
Seção de jusante



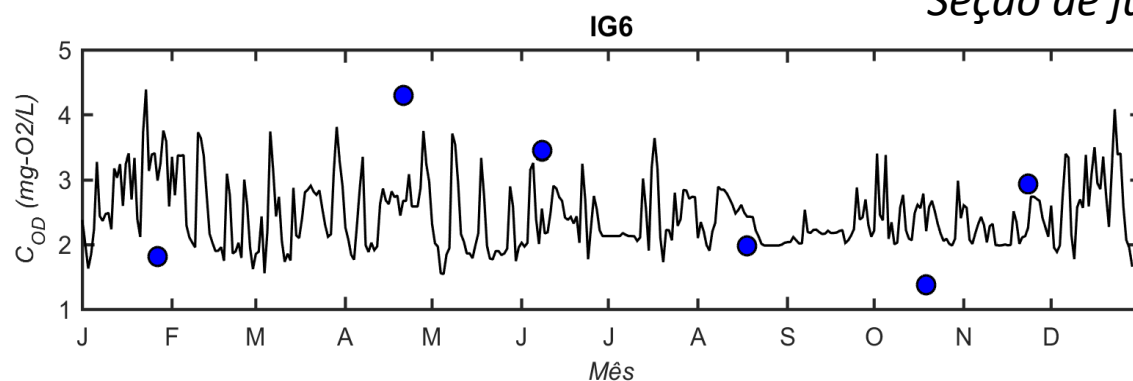
● Dados de campo
— Médias diárias simuladas

MODELO NÃO-PERMANENTE - OD

*Seção de montante
(condição de contorno propagada)*



Seção de jusante



● Dados de campo
— Médias diárias simuladas

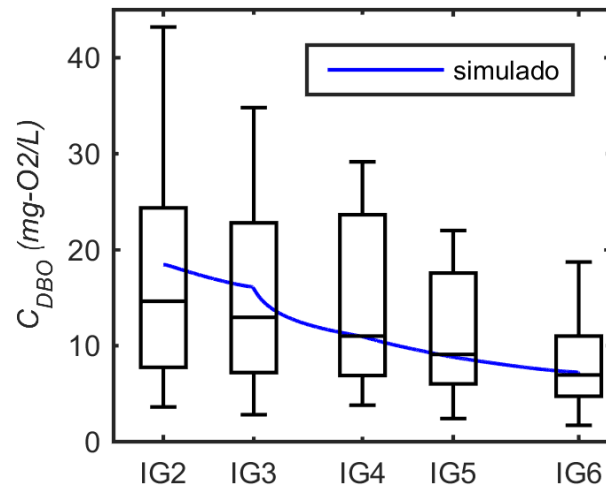
MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA PERMANENTE

$$U \frac{dC}{dx} - \frac{D}{A} \frac{dA}{dx} \frac{dC}{dx} - D \frac{d^2C}{dx^2} \pm F = 0$$

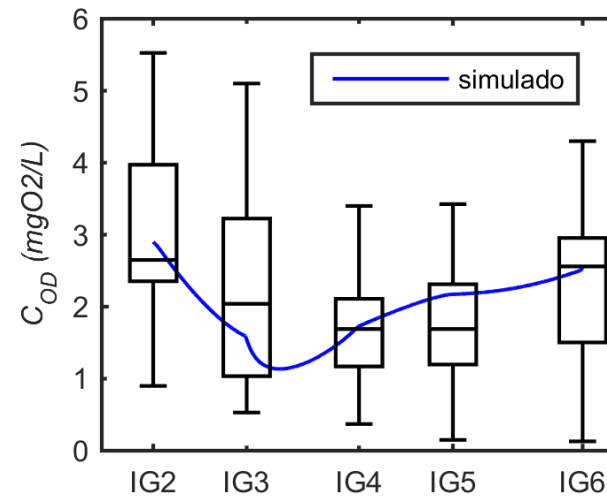
- Método de solução:
 - diferenças finitas centradas
- Mesmos coeficientes de dispersão e de reação calibrados no modelo não-permanente (exceto reaeração)
- Velocidade e profundidade:
 - valores médios usados no modelo não-permanente

MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA PERMANENTE

DBO



OD



COEFICIENTE DE REAERAÇÃO

$$K_a = \frac{3,95U^{0,5}}{H^{1,53}}$$

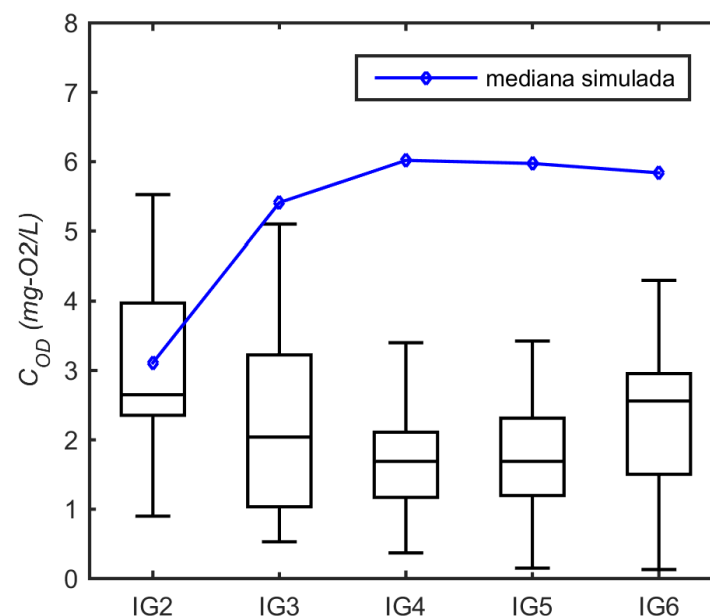
Calibrados

 K_a (dia⁻¹)

Pontos	Permanente	Não-permanente
--------	------------	----------------

IG2	2,79	0,35
IG3	1,67	0,35
IG4	1,19	0,40
IG5	0,80	0,45
IG6	1,24	0,60

Vazão ➡ **Reaeração**



COEFICIENTE DE REAERAÇÃO

$$K_a = \frac{3,95U^{0,5}}{H^{1,53}}$$

Calibrados

 K_a (dia⁻¹)

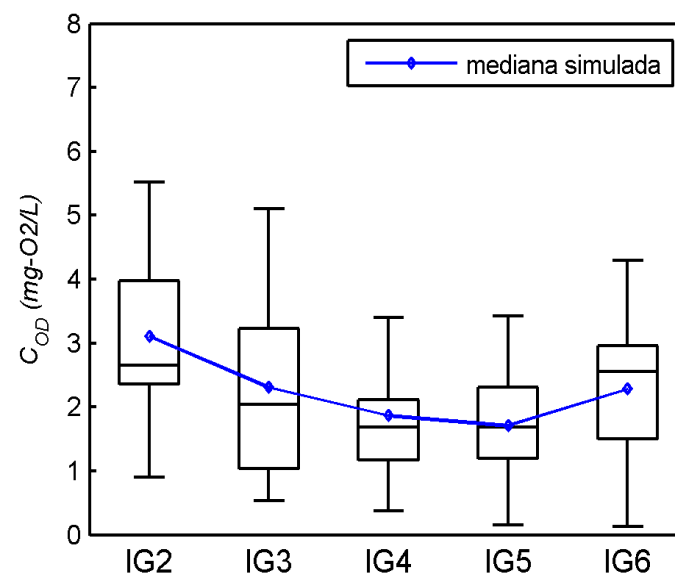
Pontos

Permanente

Não-
permanente

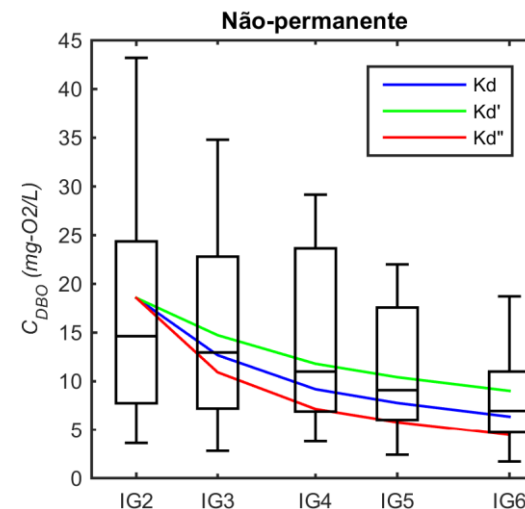
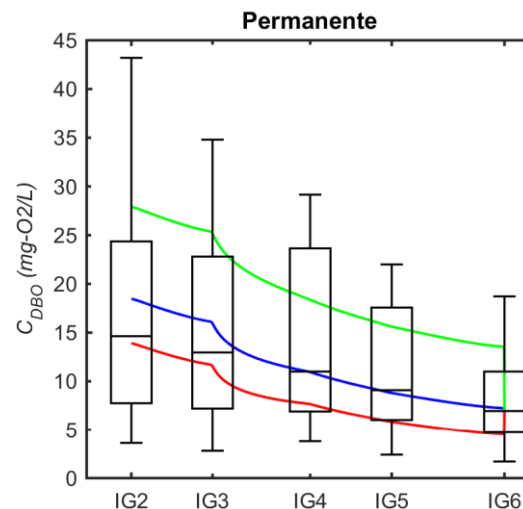
IG2	2,79	0,35
IG3	1,67	0,35
IG4	1,19	0,40
IG5	0,80	0,45
IG6	1,24	0,60

Vazão → Reaeração

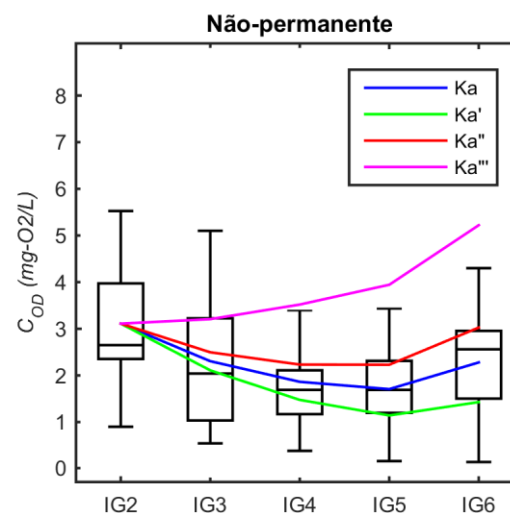
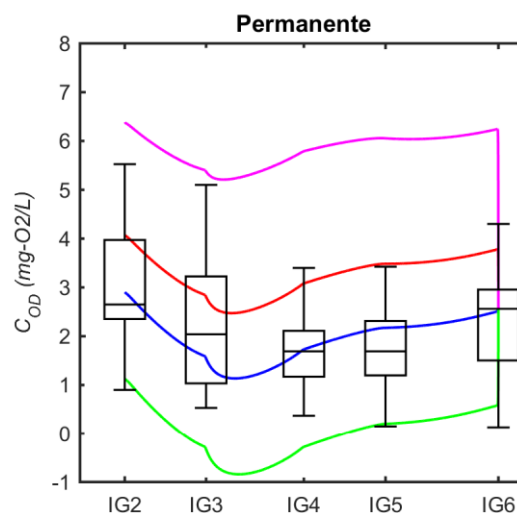


ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Coeficiente de
desoxigenação (K_d)
DBO

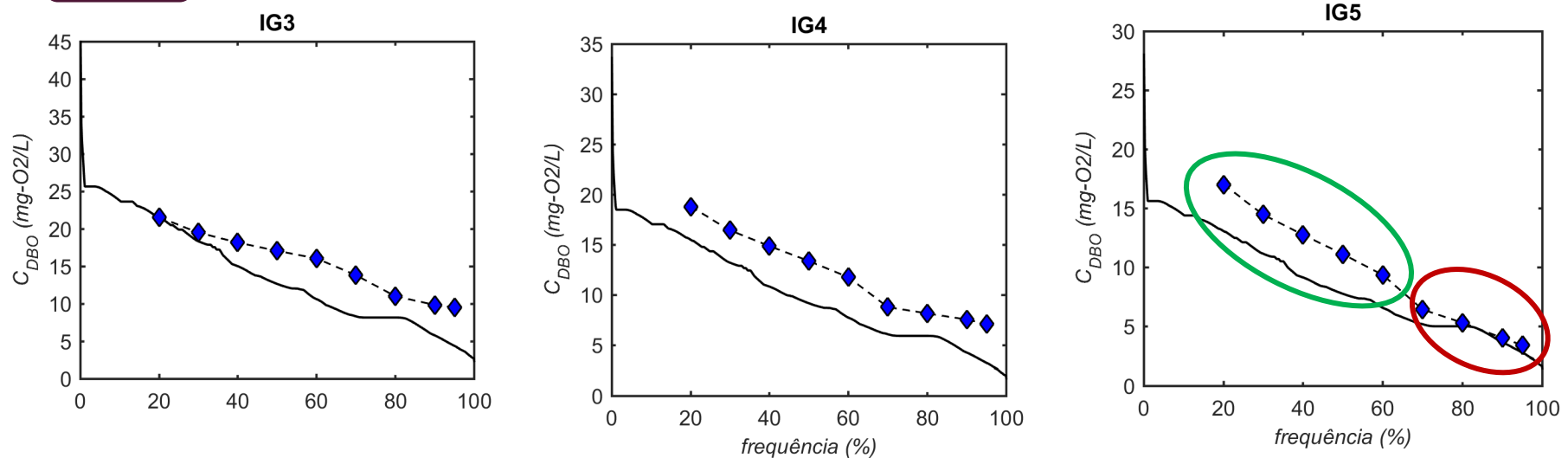


Coeficiente de
reaeração (K_a)
OD



CURVAS DE PERMANÊNCIA

DBO

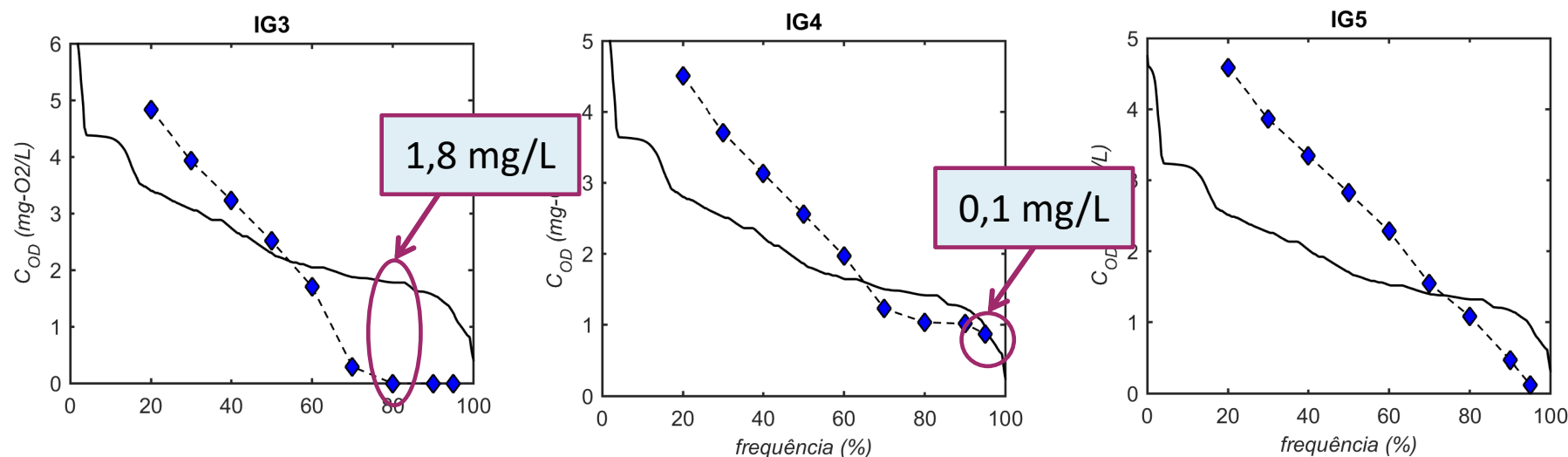


- Ponto IG5 (qualidade da água melhor em comparação a montante)
 - Maior frequência (vazões menores) → permanente e não-permanente próximos
 - Menor frequência (vazões maiores) → maiores diferenças
- Em IG3 e IG4: dinâmica irregular

CURVAS DE PERMANÊNCIA

OD

◆ Modelo permanente
— Modelo não-permanente

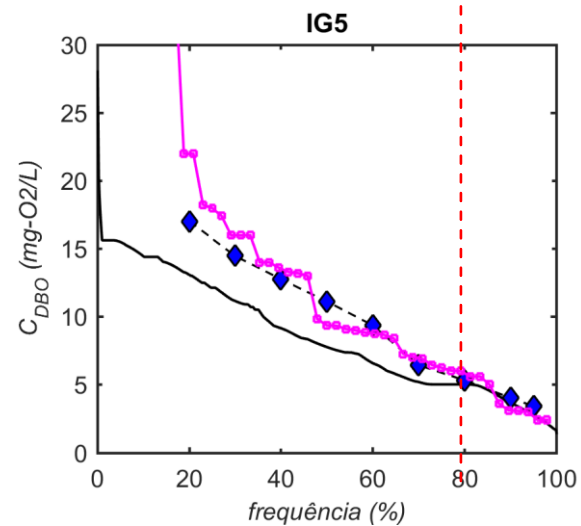
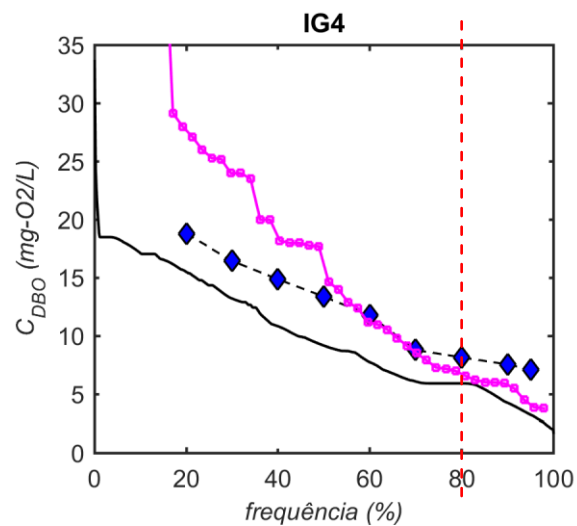
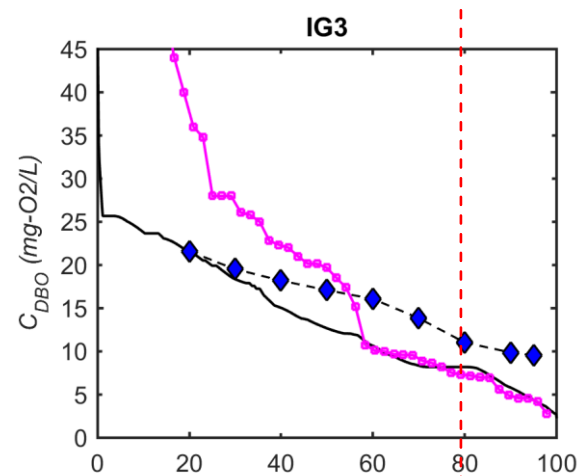
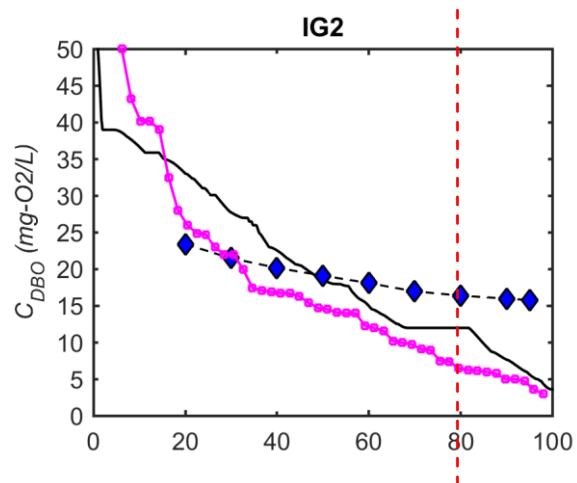
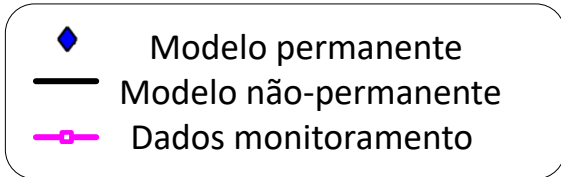


Diferenças entre regime permanente e não-permanente

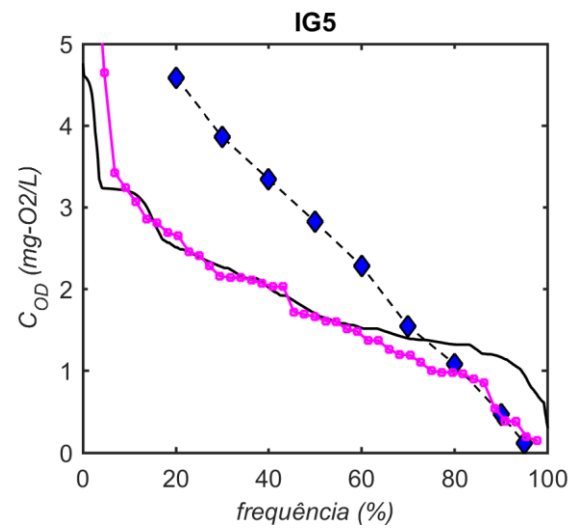
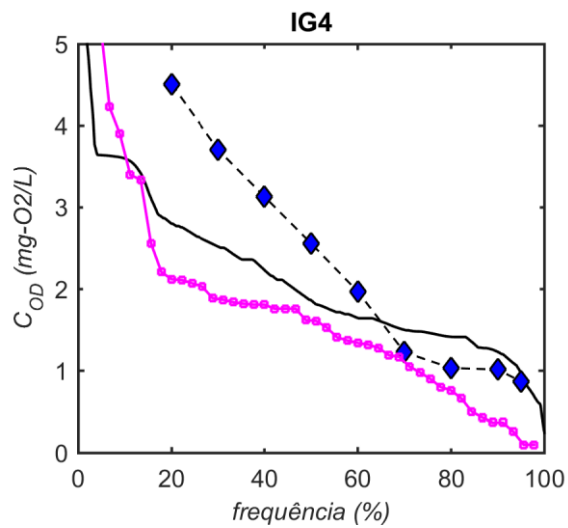
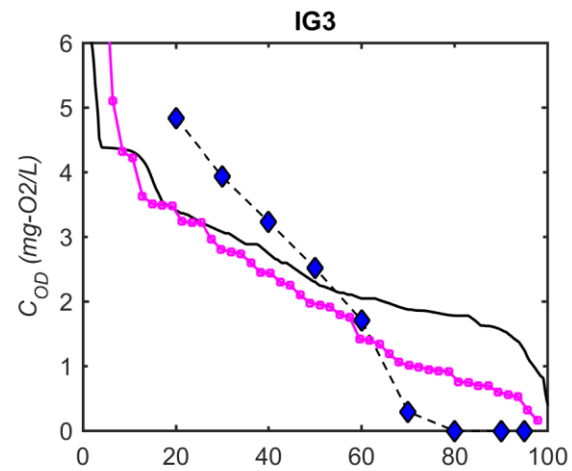
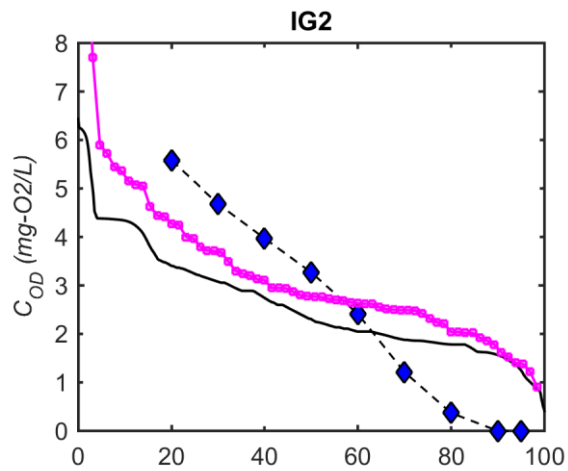
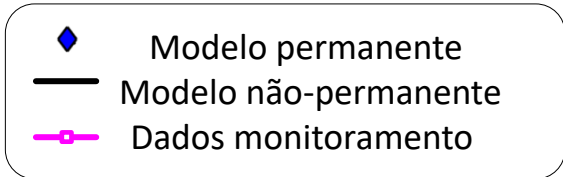


Impacto sobre decisões na aplicação dos instrumentos de GRH

DBO



OD



CONCLUSÕES

- Associação de dois métodos explícitos:
 - Resultados consistentes com os métodos difusivo de Lax e FTCS
 - atenção às condições de estabilidade e condições de contorno
- Variação temporal (escoamento → concentração):
 - distribuição de poluentes mais próxima à real
 - determinação dos coeficientes de reação

CONCLUSÕES

- Monitoramento → necessidade de representação das variações de concentração
- Comparação entre abordagem permanente e não-permanente:
 - Calibração dos modelos (coeficiente de reareação principalmente)
 - Associação qualidade-quantidade de água → pode afetar decisões relativas à aplicação dos instrumentos de GRH

LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

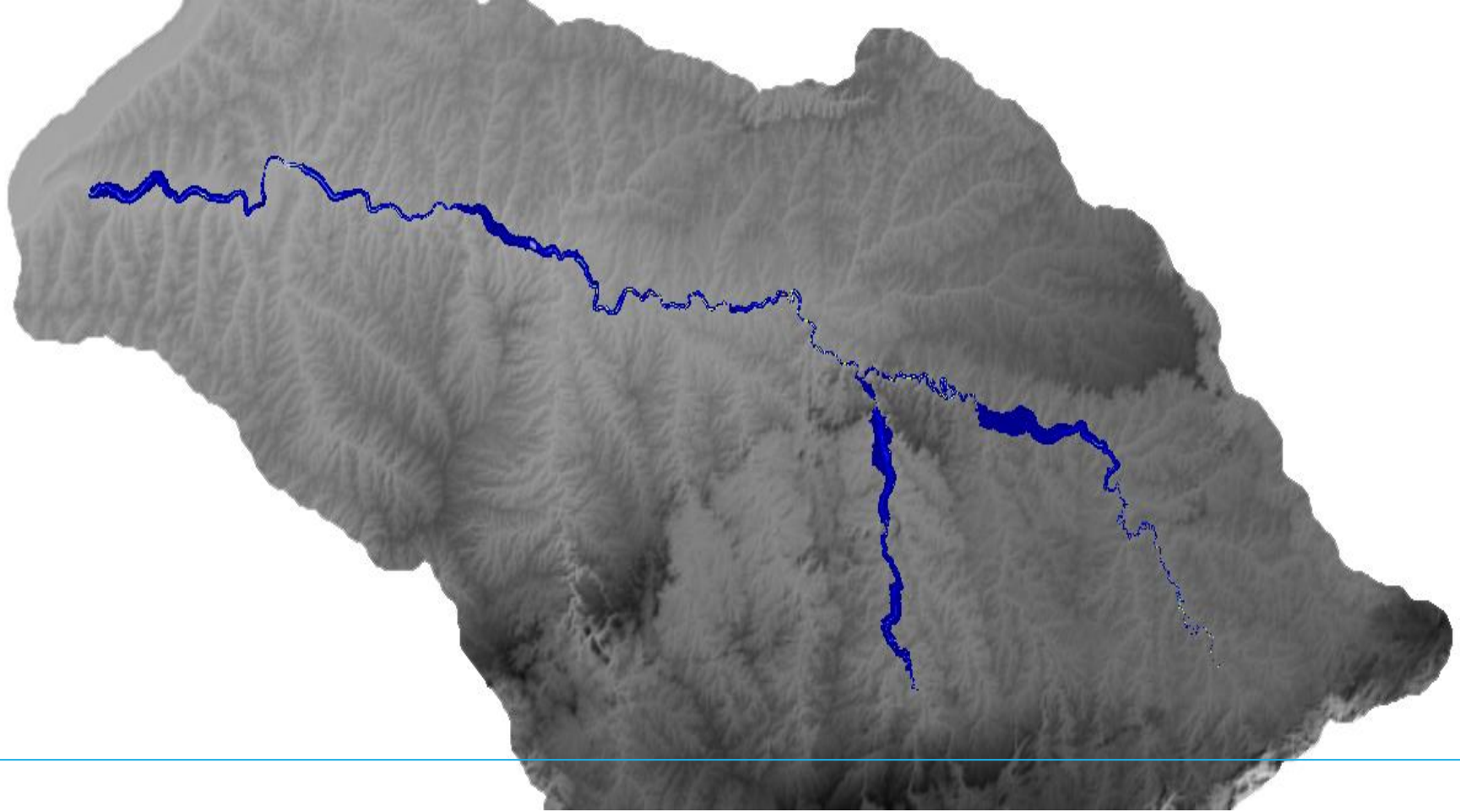
- 1D → subestima reais concentrações
- Cargas orgânicas:
 - variação espacial e temporal de lançamento
(representar oscilação diária e efeito das fontes pontuais)

LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

- Condições de contorno de montante:
 - associação entre vazão e concentração de forma aproximada; série de dados seria o ideal
- Coeficiente de dispersão constante
- Rugosidade constante na seção → efeito das áreas inundação não representado

LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

- Calibração automática
 - maior confiabilidade ao ajuste
 - muitos parâmetros por tentativa e erro
- Representação dos efeitos de temperatura e variação das concentrações de amônia e nitrito



HEC-RAS

ESCOAMENTO EM CANAIS ABERTOS

EQUAÇÕES DE SAINT-VENANT

- Derivadas das equações de Navier-Stokes
- Permitem representação em regime não – permanente (Saint-Venant, 1871):

Continuidade

(Conservação de massa)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

Quantidade de movimento

(Conservação de energia)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial VQ}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

Onde:

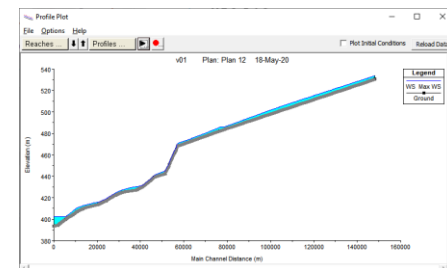
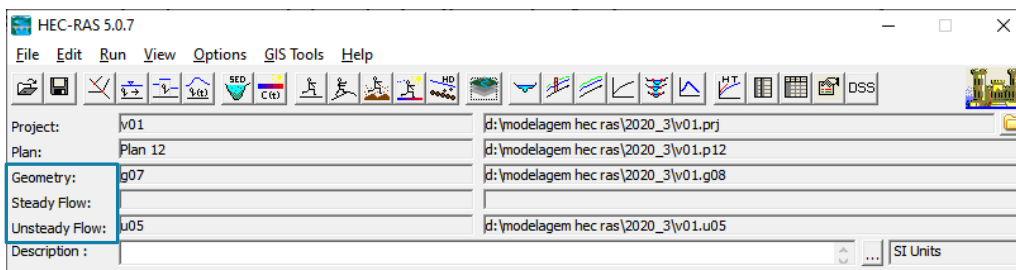
t	Tempo [s];
Q	Vazão [m ³ /s];
A	Área da seção transversal [m ²];
q	Contribuição lateral por unidade de distância
g	Aceleração da gravidade [m/s ²];
S _f	Inclinação da linha de energia [-];
V	Velocidade [m/s];
z	Profundidade [m].

- Solucionado pelo HEC-RAS usando o método das diferenças finitas implícitas

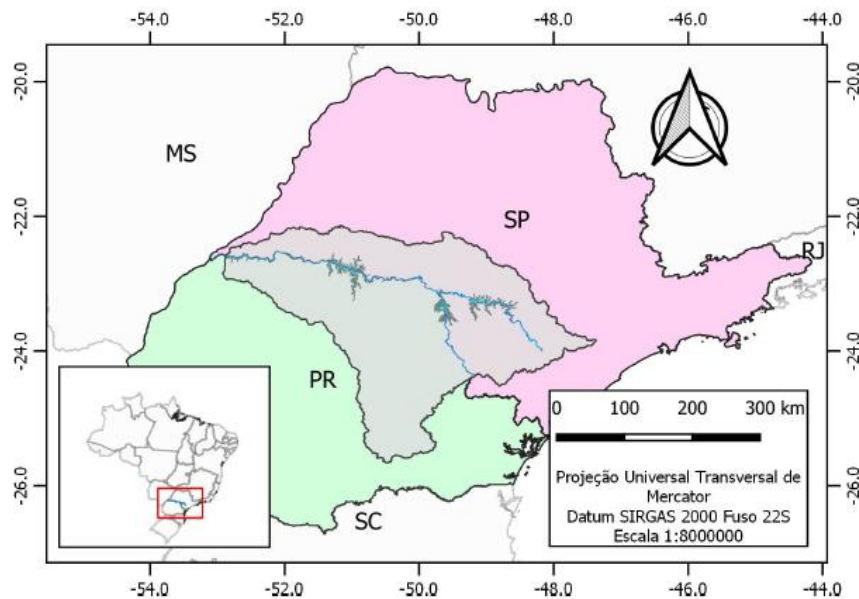
ESCOAMENTO EM CANAIS ABERTOS

HEC-RAS (USACE, 2016)

- Ferramenta para simulações hidrodinâmicas e de qualidade da água:
- Rapidez de desenvolvimento;
- Integração com dados em Sistemas Georreferenciados (SIG);
- Uso simples - interface gráfica e ampla base de usuarios para referência em solução de problemas;
- Informações, resultados e modelos de facil transferência para outros usuários.

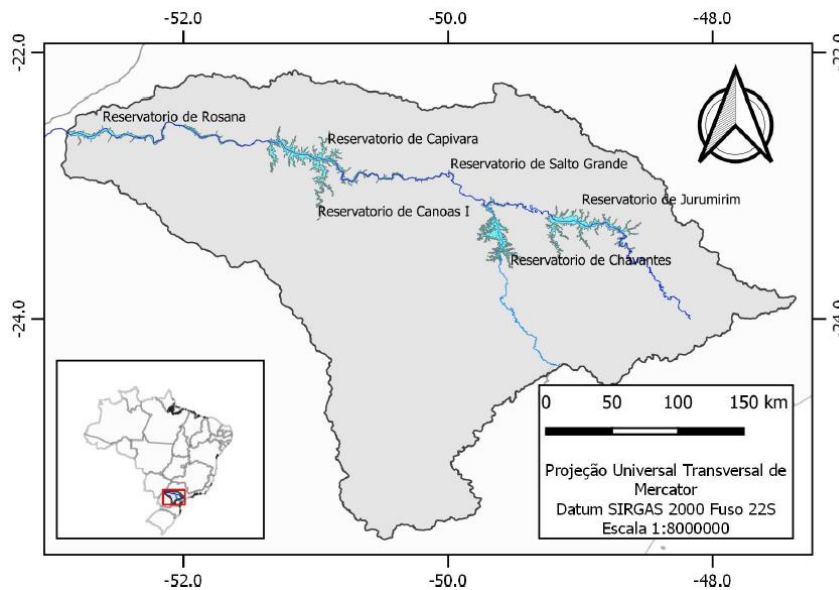


ÁREA DE ESTUDO



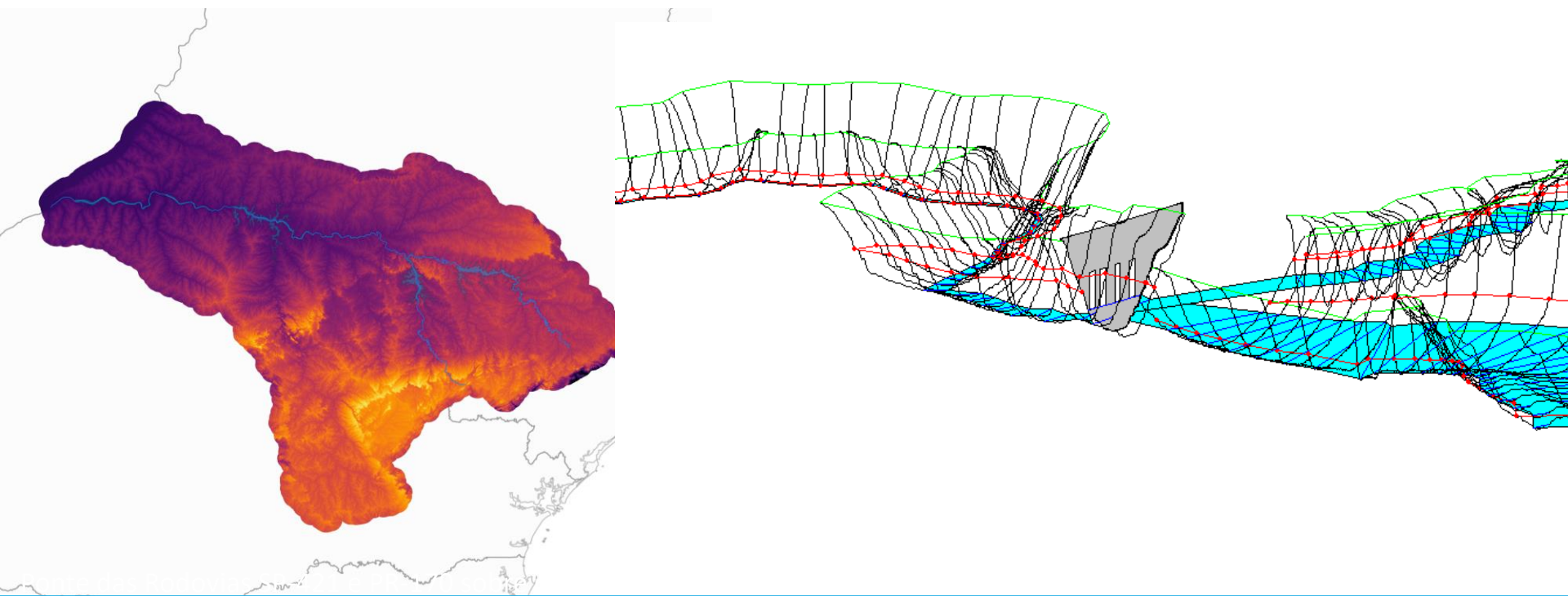
- 100.800km²;
- 4,28 mi habitantes;
- 247 municípios;
- Rios Paranapanema (850km) e Itararé (220km) dividem os estados Paraná e São Paulo.

ÁREA DE ESTUDO



➤ Oito reservatórios:

- Três de grande porte (tempo de residência e comportar): Jurumirim, Chavantes e Capivara (UFPR, 2020)

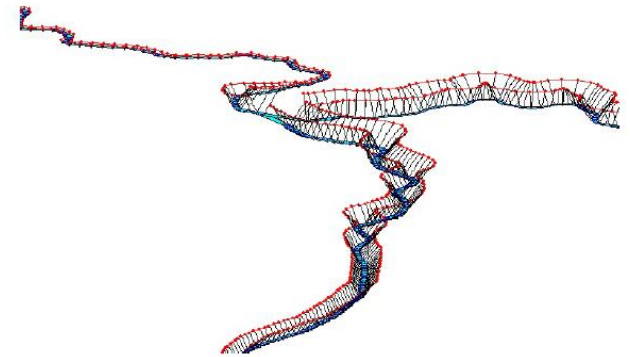
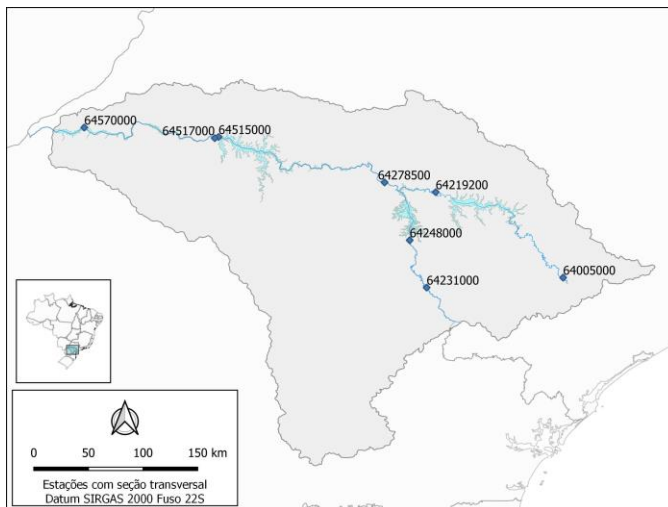


PRÉ-PROCESSAMENTO DE DADOS

GEOMETRIA

SEÇÕES HIDROWEB

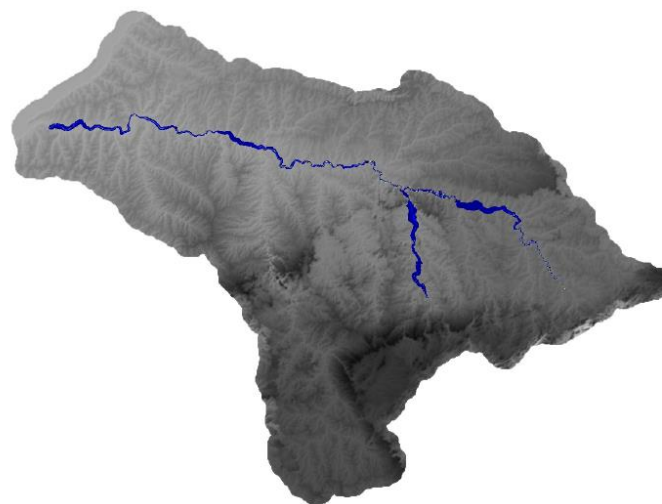
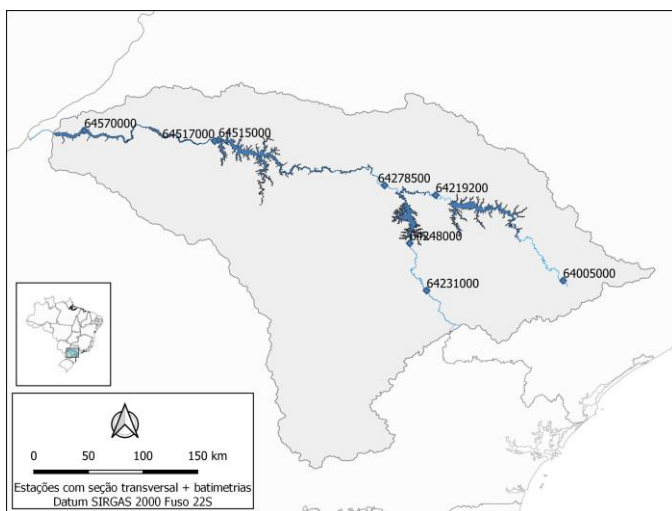
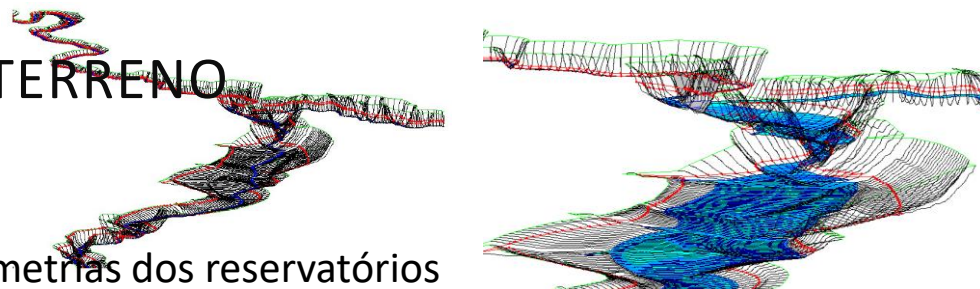
➤ Seções disponíveis no Hidroweb (ANA, 2019)



GEOMETRIA

MODELO DE ELEVAÇÃO DE TERRENO

➤ Seções disponíveis no Hidroweb e batimetrias dos reservatórios



CONDIÇÕES DE CONTORNO

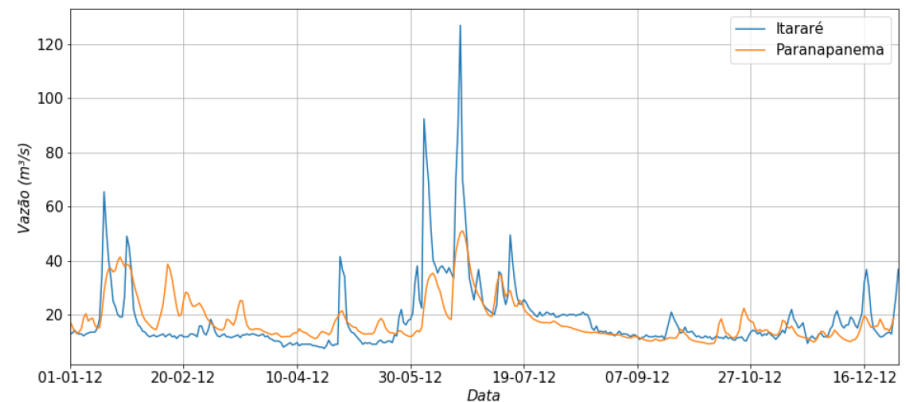
➤ Montante

- Paranapanema - Hidrograma regionalizada ;
- Itararé – vazões observadas

➤ Jusante

- Altura normal

$$IC = \frac{APA - APB}{L} = \frac{650 - 255}{820257} = 0,04815\%$$



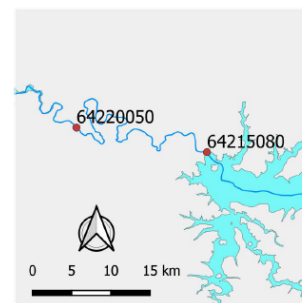
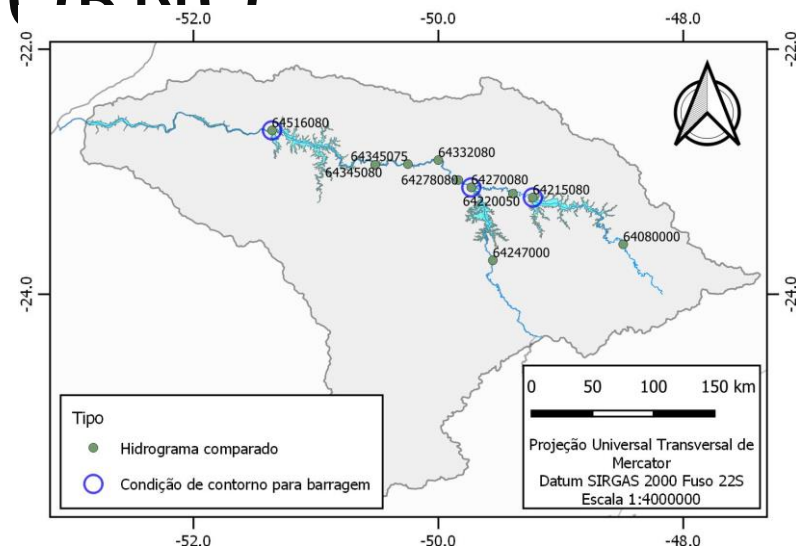
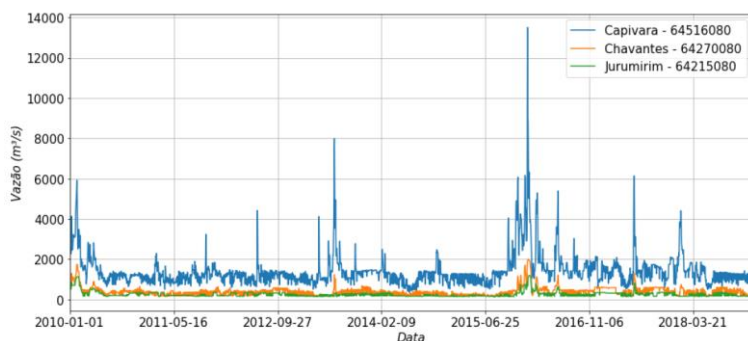
CONDIÇÕES DE CONTORNO

Internas

Contribuição lateral

➤ Diferença entre hidrogramas observados

Hidrograma de saída das barragens



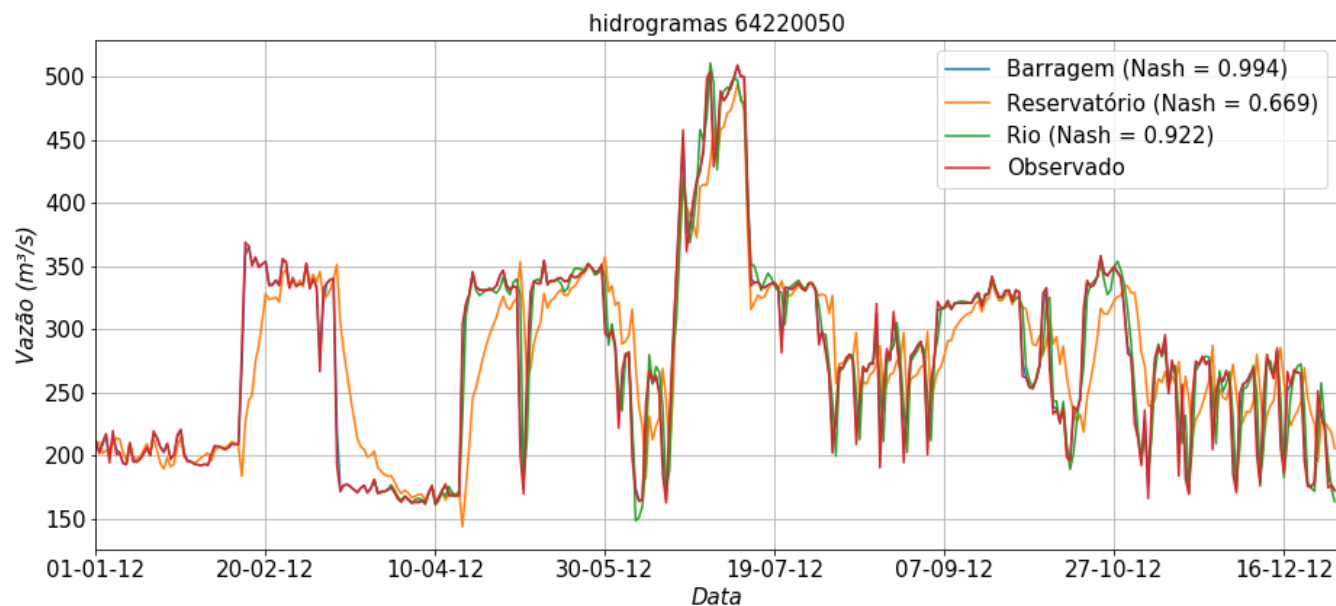
Dia	Descrição		
	64215080 Q (m³/s)	64220050 Q (m³/s)	CL Q (m³/s)
01-01-12	188.00	210.99	22.99
02-01-12	188.00	201.52	13.52
03-01-12	205.00	210.92	5.92
...	...	...	...
28-12-12	209.00	222.54	13.54
29-12-12	163.00	174.36	11.36
30-12-12	162.00	176.61	14.61
31-12-12	162.00	171.91	9.91

ETAPAS DE SIMULAÇÃO

Etapa	Detalhes geometria	Detalhes condições de contorno internas
Fase Rio	Somente as disponíveis no Hidroweb, interpoladas a cada 250 metros. Nos trechos sem dados, usou-se a medição mais próxima	Diferença entre hidrogramas observados
Fase Reservatório	Batimetria dos reservatórios e seções disponíveis no Hidroweb para os trechos de rio	Diferença entre hidrogramas observados
Fase Barragens	Batimetria dos reservatórios e seções disponíveis no Hidroweb para os trechos de rio	Diferença entre hidrogramas observados, hidrograma de descarga dos reservatórios

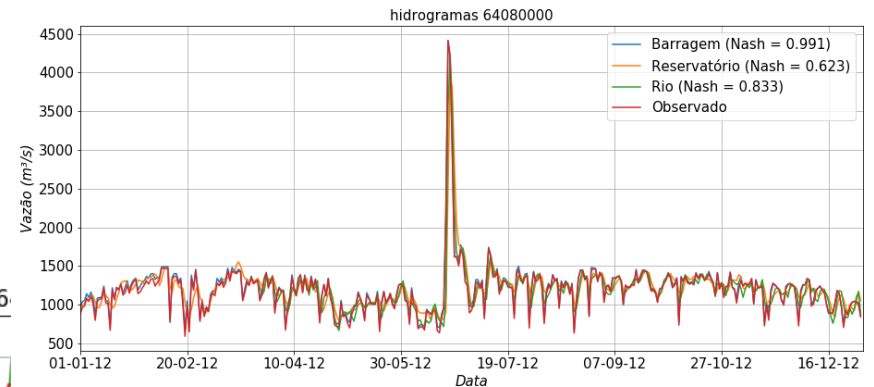
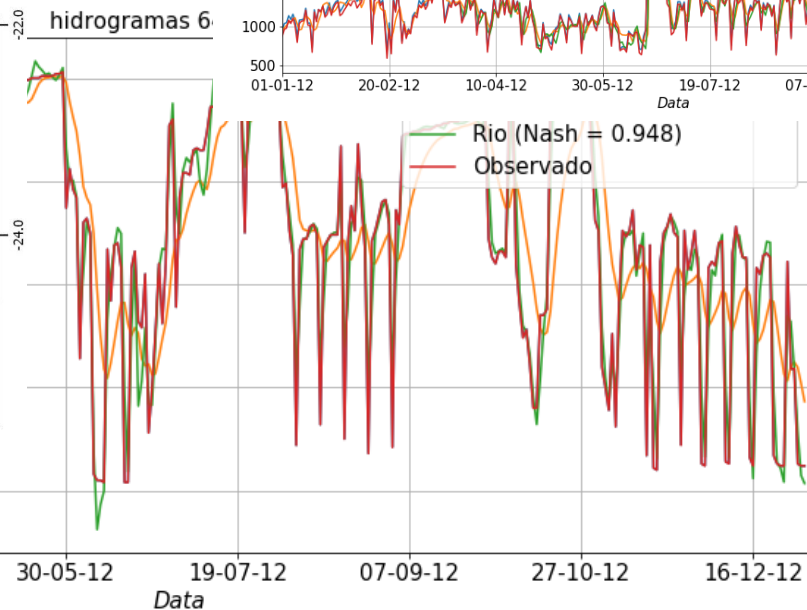
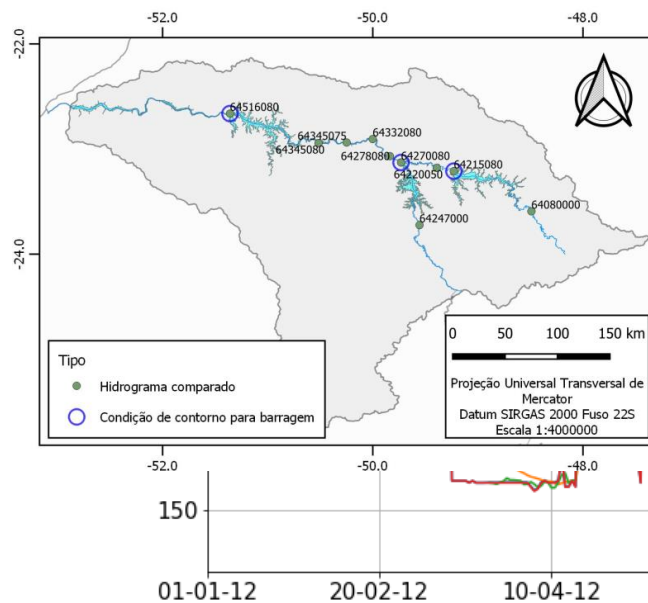
Dados de 2012

Coeficiente de Manning = 0,02

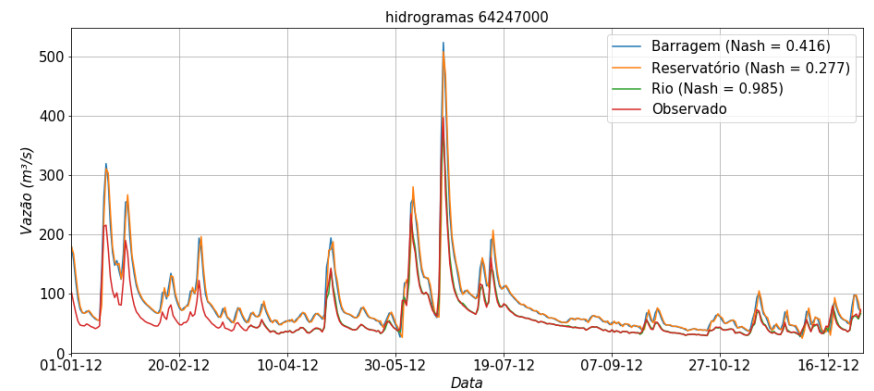
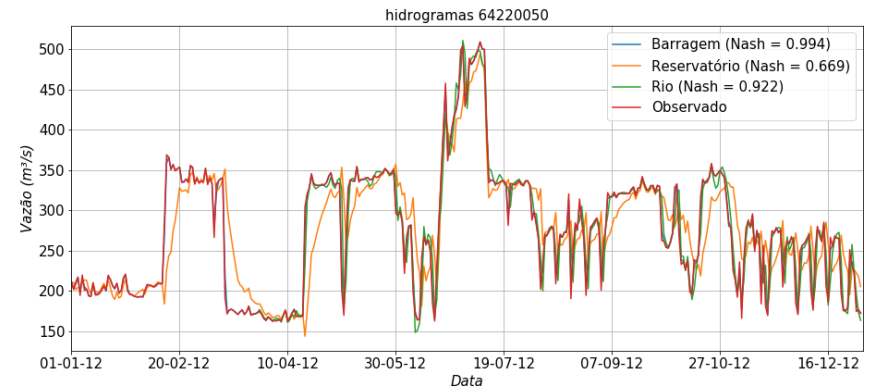
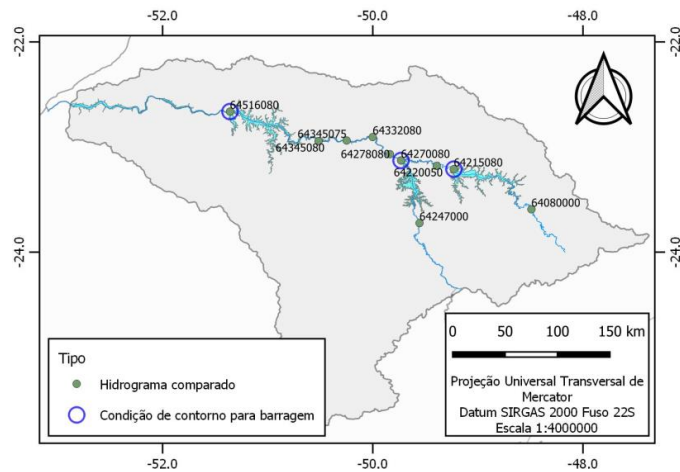


RESULTADOS

RESULTADOS HIDROGRAMAS



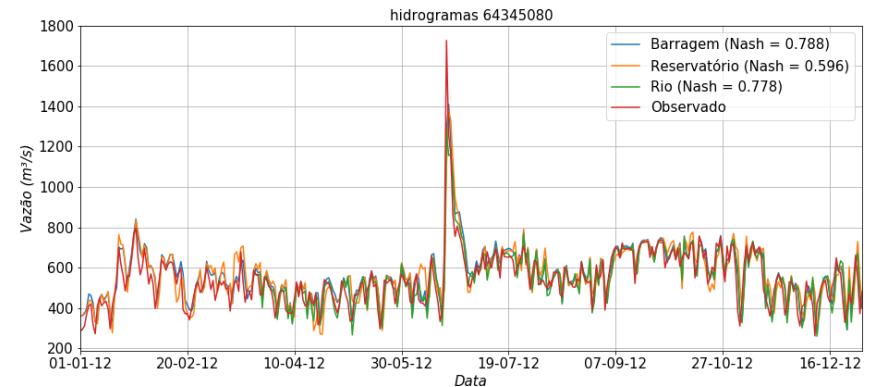
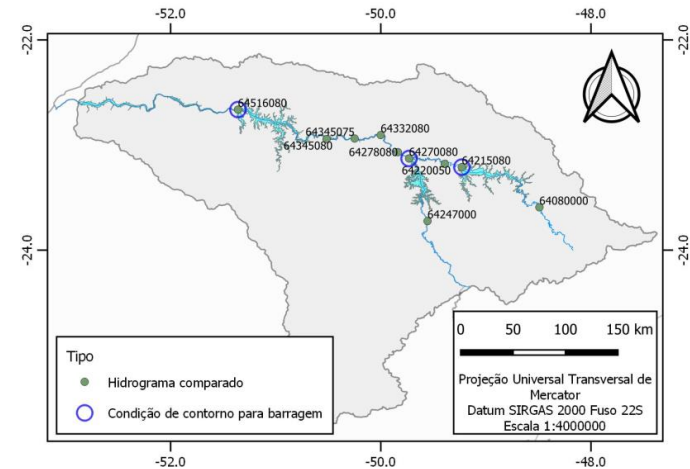
RESULTADOS HIDROGRAMAS



Itararé

RESULTADOS HIDROGRAMAS

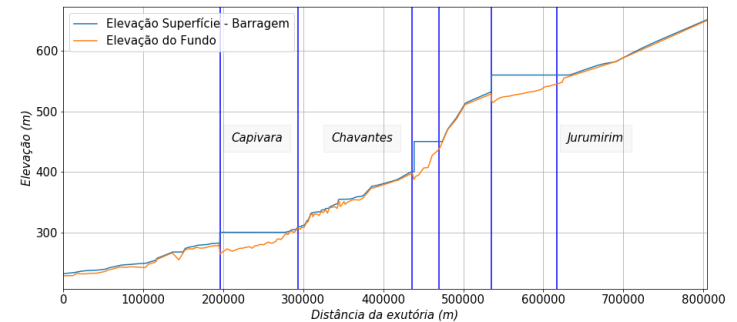
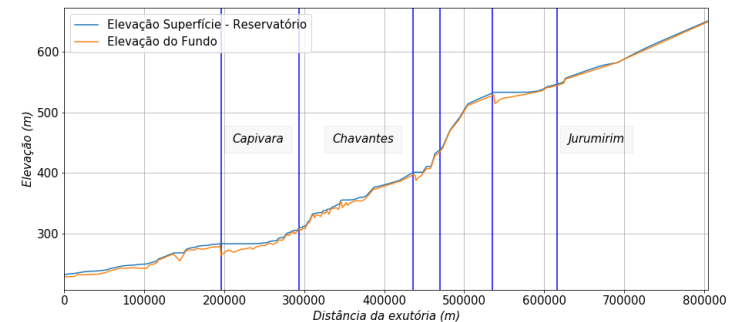
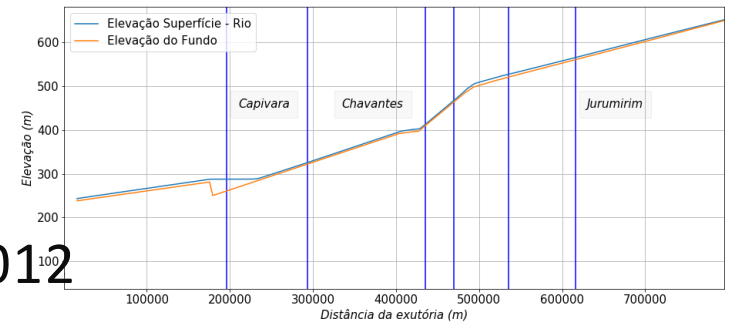
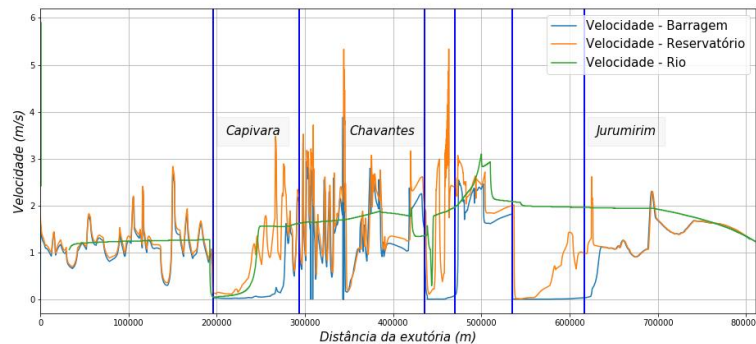
- Simulação capaz de replicar os hidrogramas observados, especialmente na simulação com barragens;
- Descarga das barragens como condição de contorno;
- Acumulação em reservatórios;
- Valores acima dos observados em Itararé.



RESULTADOS

PERFIS – PARANAPANEMA 09/06/2012

- Reservatórios acumulam água e reduzem velocidade no fluxo;
- Níveis altos
- Picos nas velocidades.



Estimativas de cargas e remoção

Atendimento ao enquadramento nos rios Paranapanema e Itararé através da avaliação espacial e temporal do transporte e transformação de poluentes

MONITORAMENTO

- Aquisição dados secundários
- Consistência
- Estações estrela
- Séries sintéticas



CENÁRIOS FUTUROS

- Estimativas: Plano de Bacias
- Gerenciamento de simulações e pastas
- Processamento



SÍNTESES

- Gráficos e Mapas
- Incerteza e Risco
- Usos das ferramentas
- ICE



CENÁRIO BASE

- Divisão em trechos e integração com reservatórios
- Integração com bacia
- Programação
- Calibração

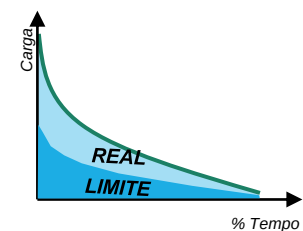
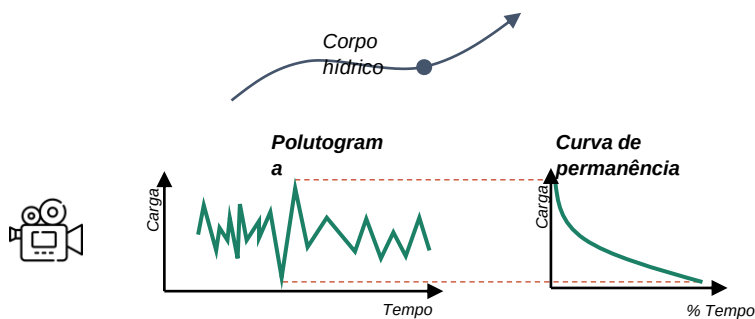


REMOÇÕES DE CARGA

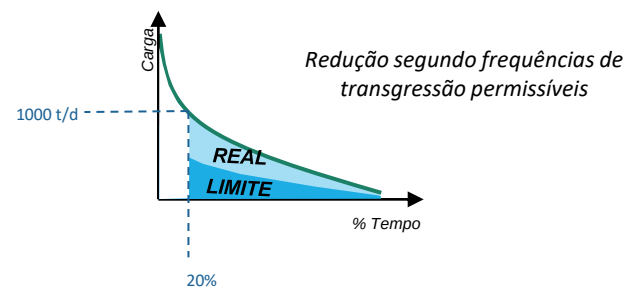
- Frequências de cargas simuladas x permissíveis
- Efeito de montante para jusante
- “Compromisso solidário”



ENQUADRAMENTO DINÂMICO EM RIOS



$CARGA \text{ A SER REMOVIDA} = REAL - LIMITE$

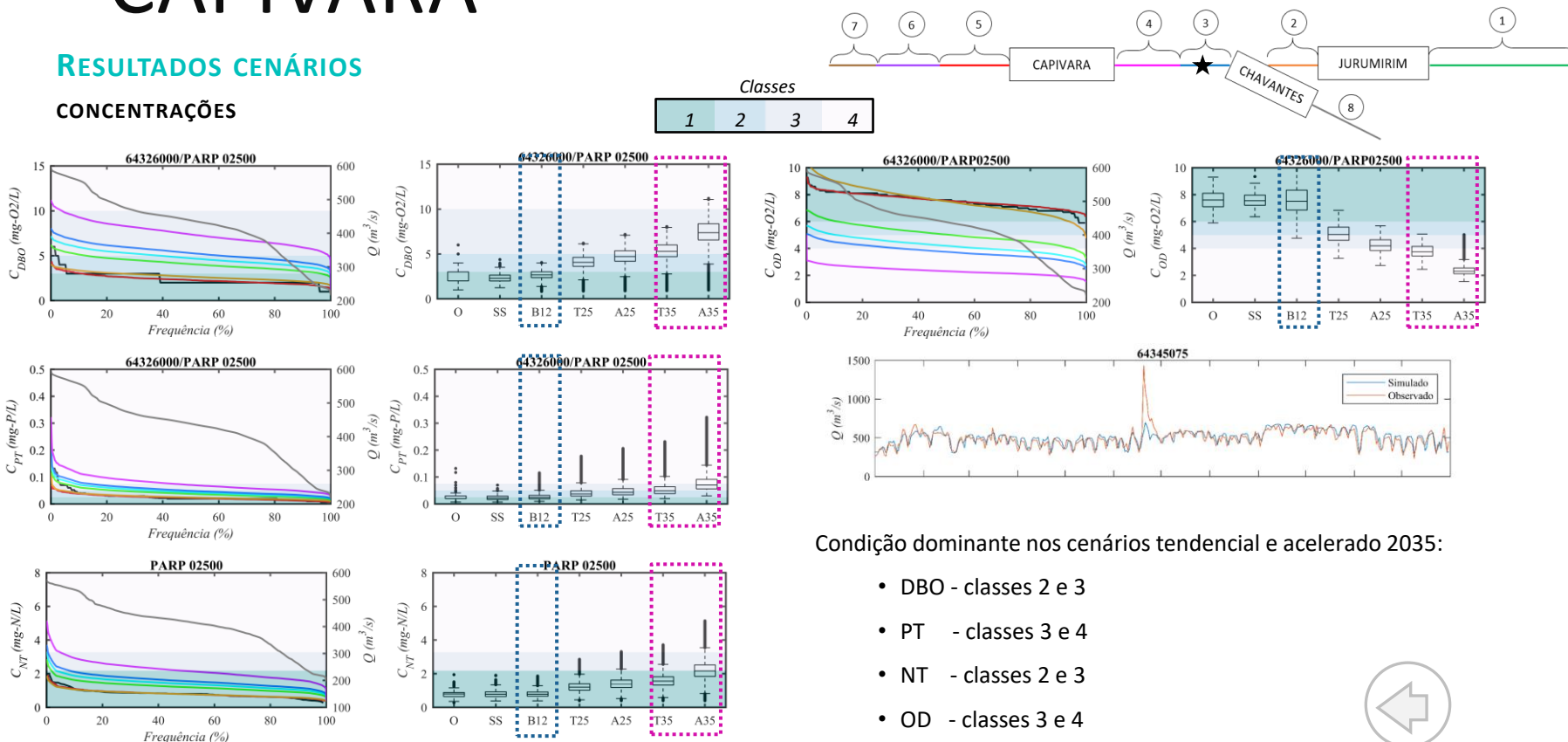


Exemplo: carga de 1000 t/d pode ocorrer ou ser superada durante 20% do ano

TRECHO AFLUENTE AO RESERVATÓRIO CAPIVARA

RESULTADOS CENÁRIOS

CONCENTRAÇÕES

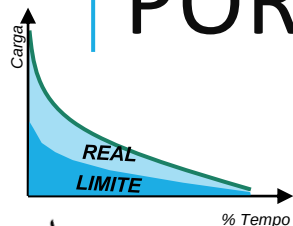


Condição dominante nos cenários tendencial e acelerado 2035:

- DBO - classes 2 e 3
- PT - classes 3 e 4
- NT - classes 2 e 3
- OD - classes 3 e 4



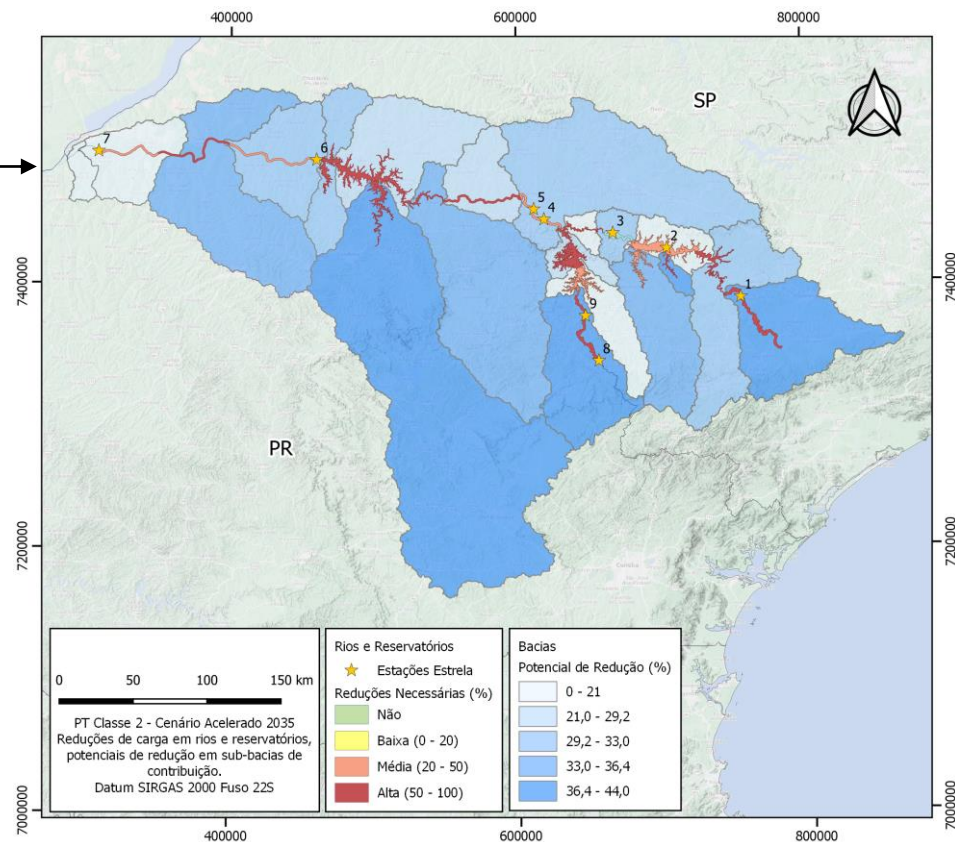
PORCENTAGENS DE REDUÇÃO



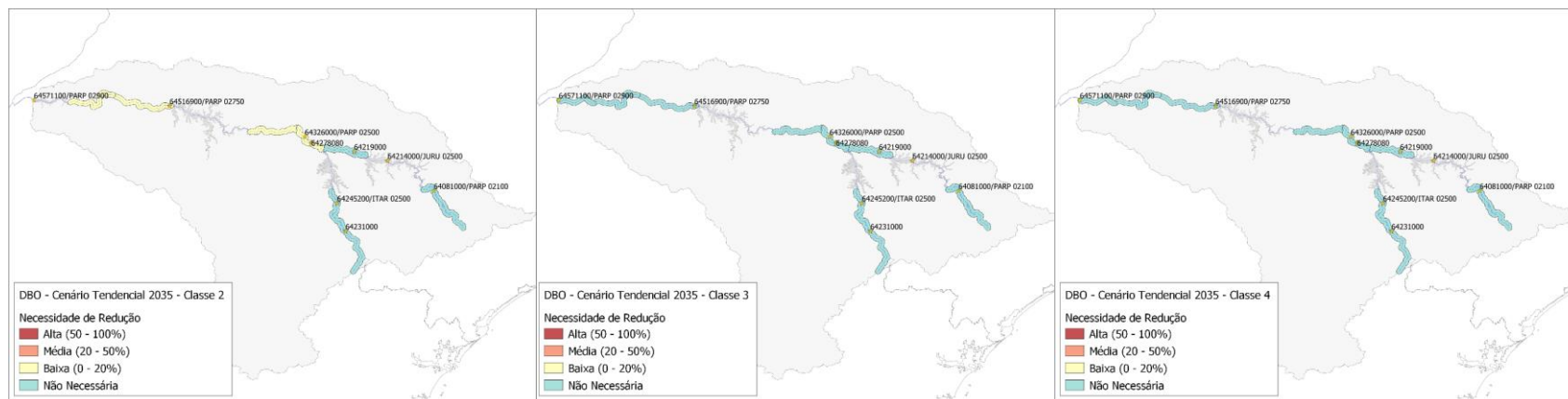
Reduções necessárias para manter classe 2, 3 ou 4

Rio	Trecho	ACELERADO 2035								
		DBO	PT	NT	DBO	PT	NT	DBO	PT	NT
Parapanema	T1	23%	67%	59%	-53%	51%	38%	-284%	-884%	-52%
	T2	-10%	-60%	-124%	-70%	-74%	-129%	-326%	-1776%	-459%
	T3	41%	31%	64%	-18%	-4%	46%	-196%	-1983%	-31%
	T4	33%	80%	19%	-1%	70%	14%	-152%	-492%	-110%
	T5	25%	29%	16%	-9%	5%	-16%	-172%	-960%	-183%
	T6	29%	55%	16%	-8%	48%	-5%	-169%	-888%	-156%
	T7	23%	35%	14%	-11%	14%	-8%	-178%	-836%	-164%
	T8	40%	93%	94%	-20%	90%	91%	-201%	-101%	78%
TENDENCIAL 2035										
Rio	Trecho	DBO	PT	NT	DBO	PT	NT	DBO	PT	NT
		DBO	PT	NT	DBO	PT	NT	DBO	PT	NT
Parapanema	T1	-6%	55%	27%	-112%	32%	-10%	-430%	-1258%	-169%
	T2	-18%	-71%	-79%	-136%	-83%	-99%	-489%	-2494%	-388%
	T3	18%	2%	63%	-65%	-47%	45%	-312%	-2838%	-36%
	T4	12%	68%	13%	-56%	52%	7%	-290%	-854%	-32%
	T5	3%	1%	-21%	-75%	-26%	-76%	-336%	-1597%	-292%
	T6	11%	47%	-12%	-73%	21%	-68%	-332%	-1480%	-174%
	T7	0%	11%	-16%	-79%	7%	-73%	-346%	-1397%	-183%
	T8	-1%	89%	85%	-102%	83%	77%	-406%	-241%	45%
Itararé	T8	-1%	89%	85%	-102%	83%	77%	-406%	-241%	45%

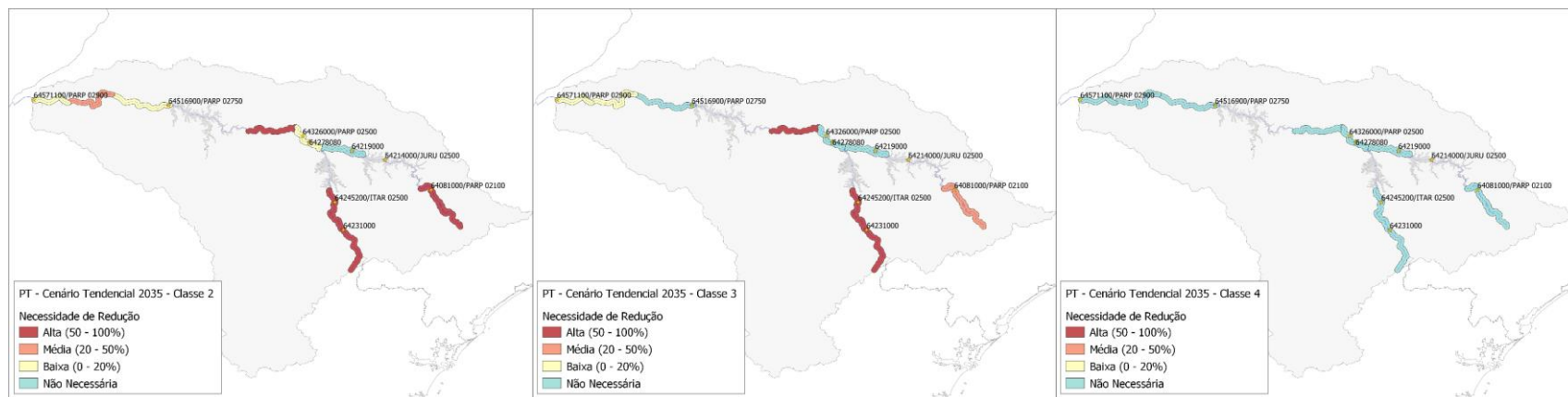
“COMPROMISSO SOLIDÁRIO”



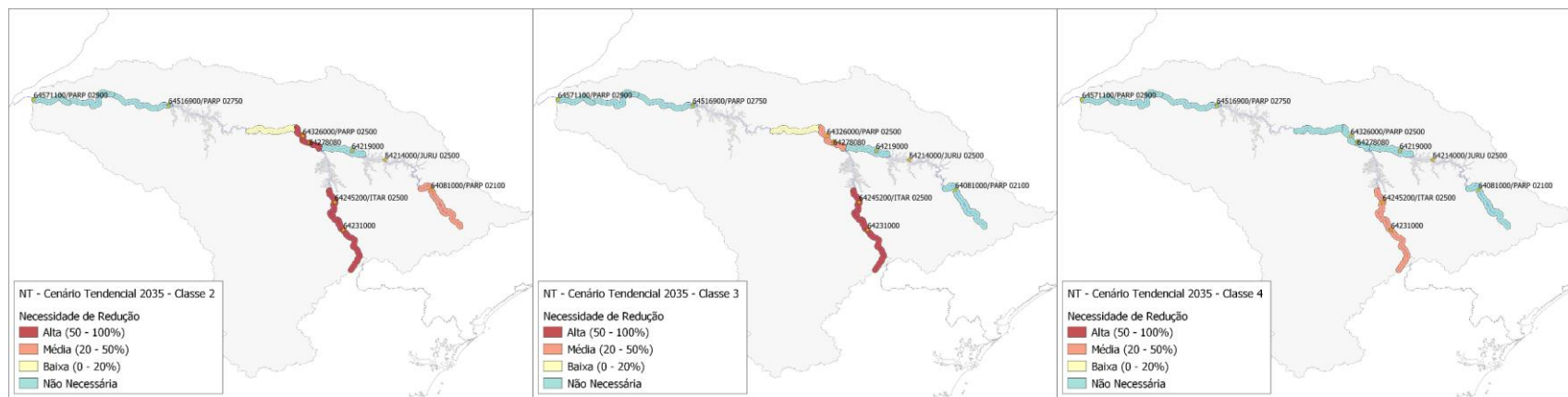
Visualização das porcentagens de redução Cenário Tendencial 2035 DBO



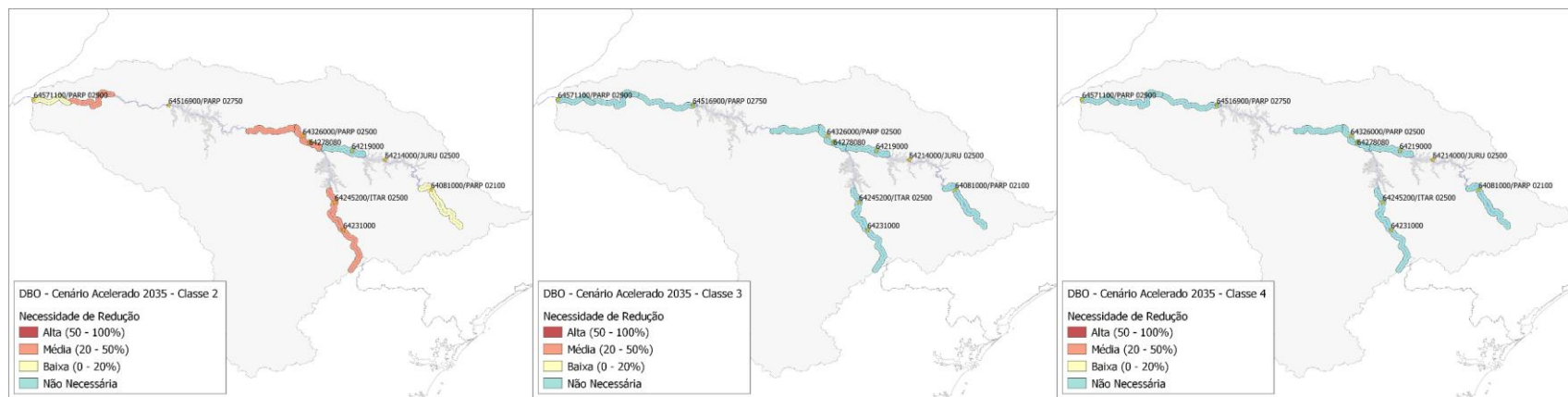
Visualização das porcentagens de redução Cenário Tendencial 2035 PT



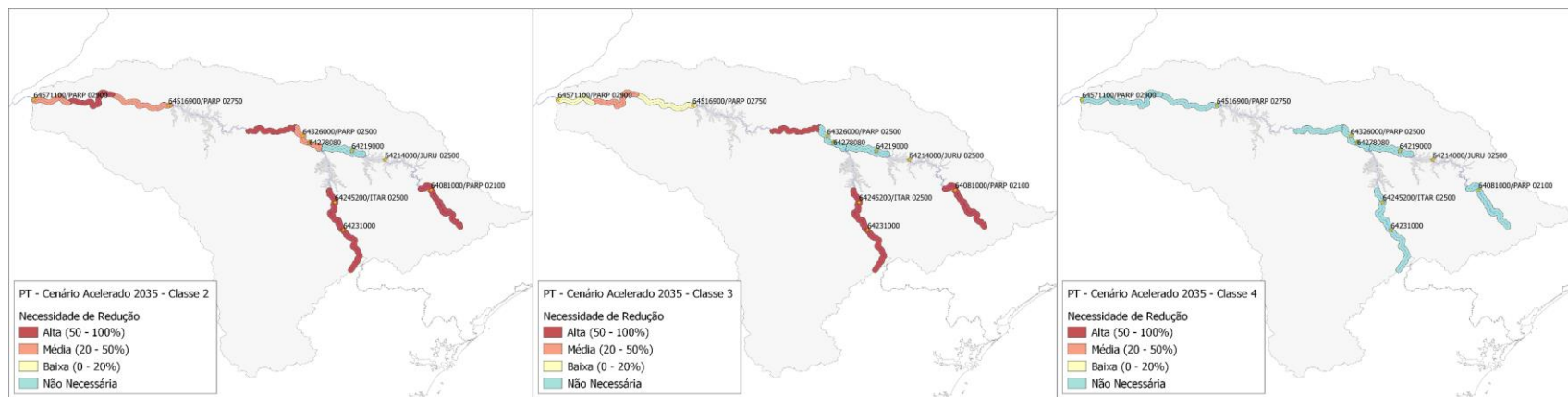
Visualização das porcentagens de redução Cenário Tendencial 2035 NT



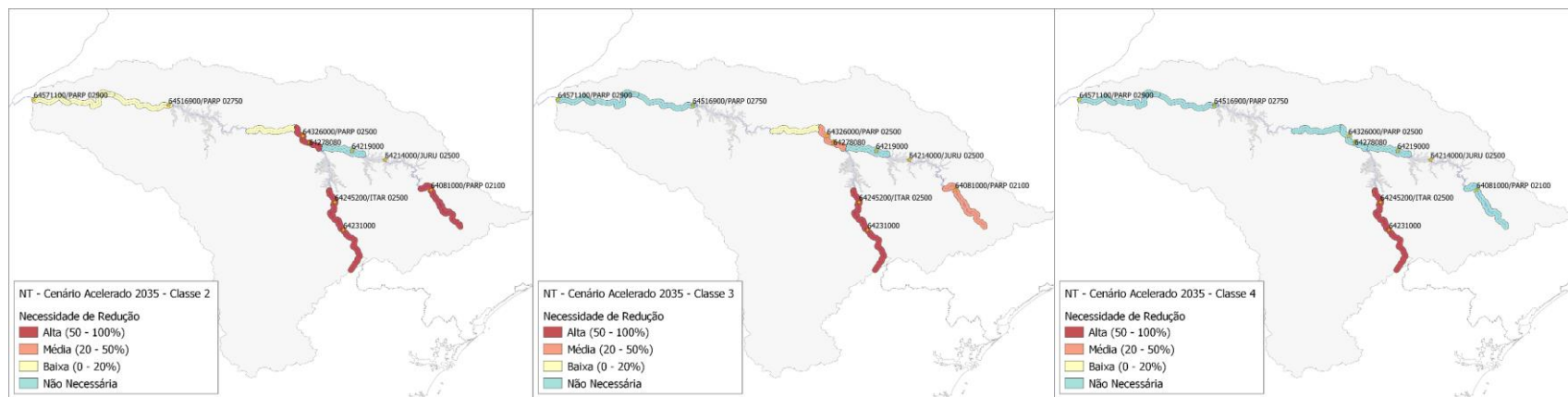
Visualização das porcentagens de redução Cenário Acelerado 2035 DBO

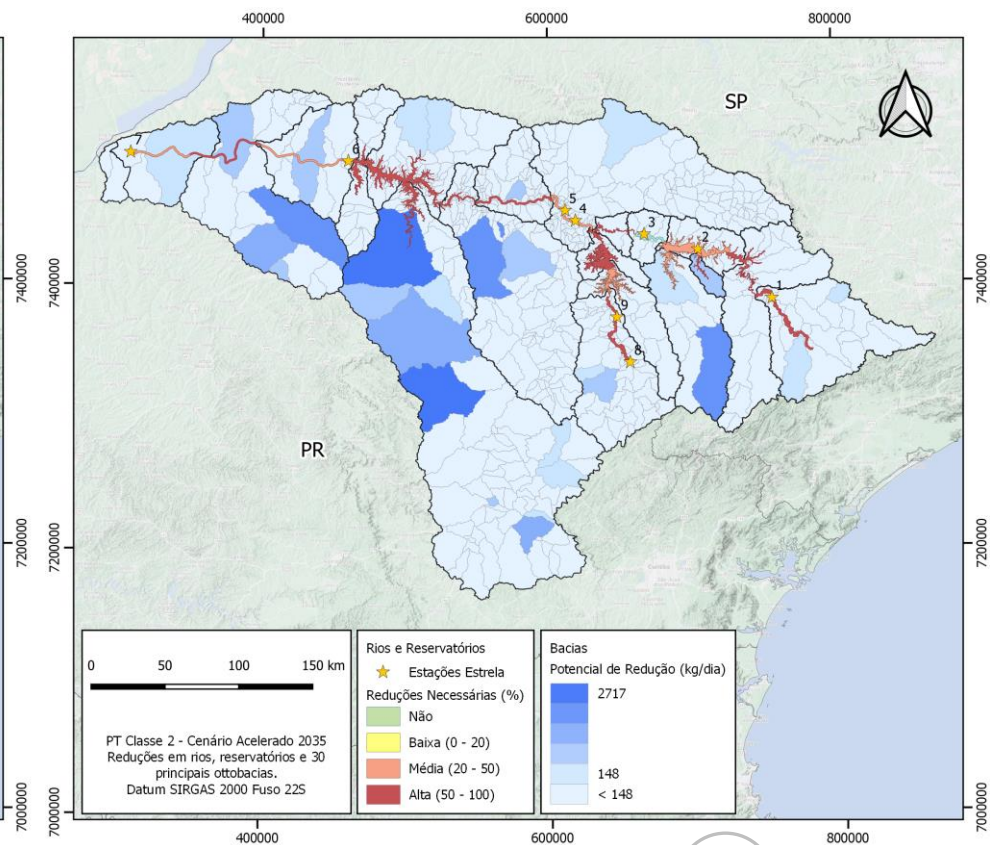
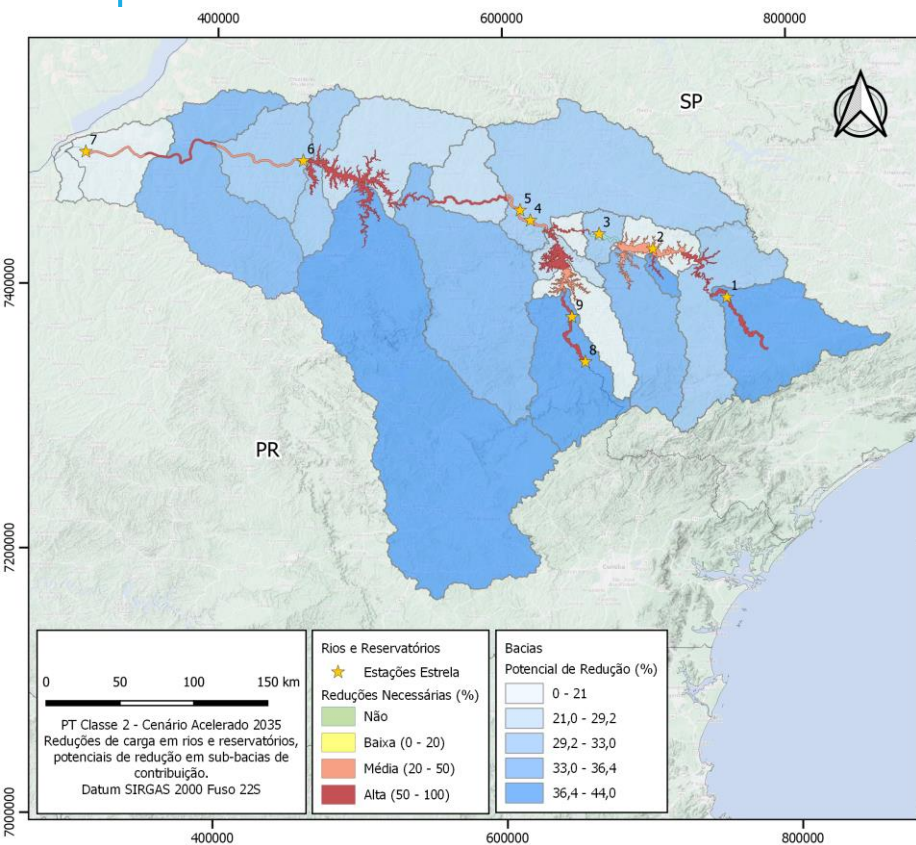


Visualização das porcentagens de redução Cenário Acelerado 2035 PT



Visualização das porcentagens de redução Cenário Acelerado 2035 NT



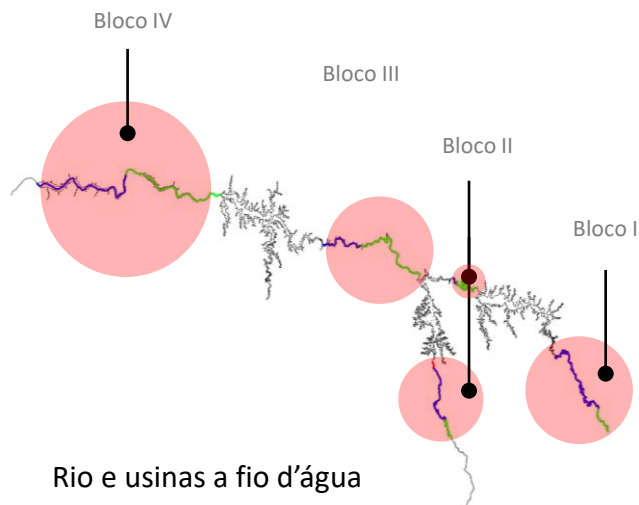


DASHBOARD SÍNTESE

ÁREA TOTAL
106.555 km²

11 UHEs

DIVISÃO DOS RIOS PARANAPANEMA E ITARARÉ



USO DO SOLO
DOMINANTE



USOS DA ÁGUA
PREPONDERANTES



QUALIDADE DE
ÁGUA ATUAL



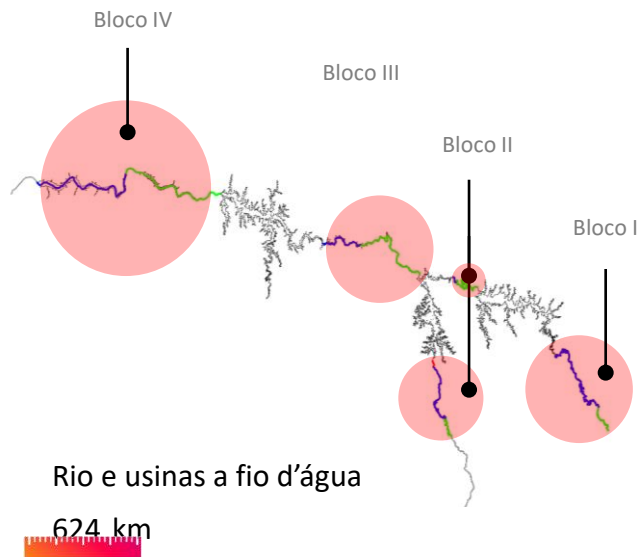
REDUÇÃO DE CARGA
ATÉ O ANO DE 2035



O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) e as reduções de carga são relativos aos limites de classe 2 nas estações estrela

O QUE TUDO ISSO SIGNIFICA PARA A BACIA DO RIO PARANAPANEMA?

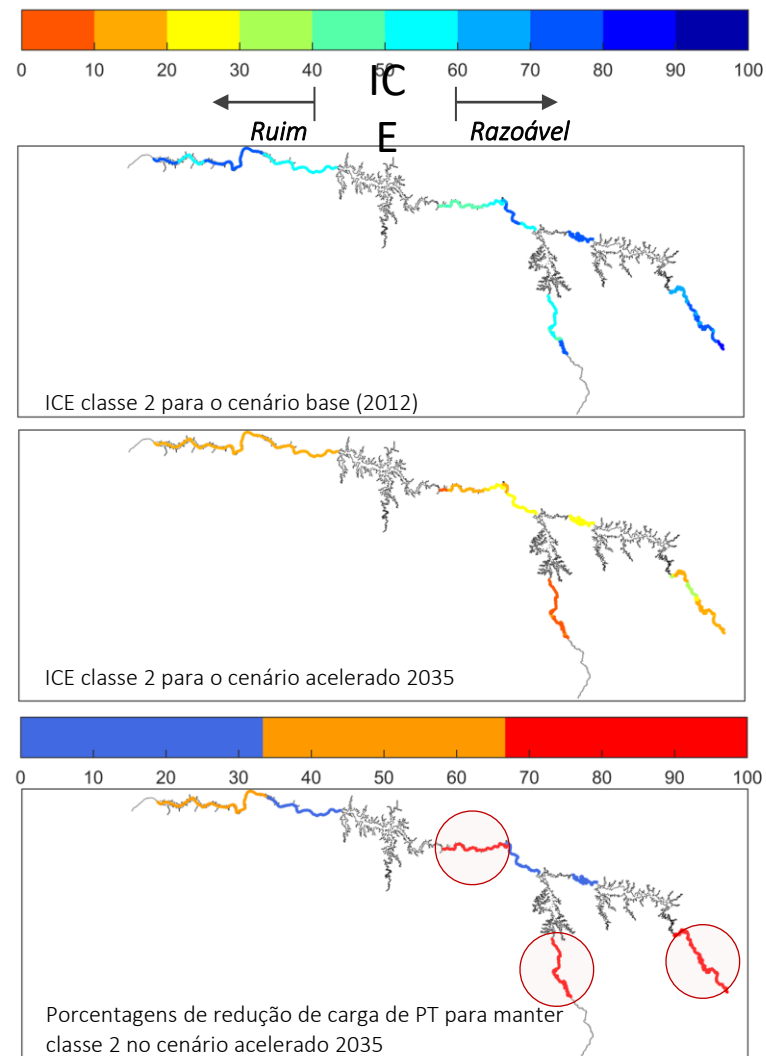
DIVISÃO DOS RIOS PARANAPANEMA E ITARARÉ



Qualidade de água atual é satisfatória, porém há transgressões de classe 2 eventuais; em geral, o rio é capaz de processar os poluentes

O aumento do aporte de cargas pode causar deterioração da qualidade de água no rio principal, diminuindo sua capacidade de mitigação e sua compatibilidade de classe

Para manter classes adequadas a usos nobres no futuro, deve-se atentar ao aumento do aporte de cargas, principalmente nos trechos a montante dos reservatórios



O QUE ISSO SIGNIFICA PARA O FUTURO?

CONTRIBUIÇÕES

- Quando preciso da análise dinâmica? Recomendações ao uso da modelagem em regime não-permanente para enquadramento de rios;
- Recomendações ao monitoramento na bacia para estudos futuros;
- Método de análise de redução de cargas para tomada de decisão: avaliar os efeitos de futuras ações de mitigação na bacia e seu efeito no rio de acordo com as condições de transporte e transformação de poluentes; verificar frequências de transgressões no tempo e espaço;
- Conversão de escalas temporais: recomendações de uso, limitações e análises futuras do método de séries sintéticas;
- Técnicas complementares: Regionalização e Análise de séries temporais de vazões e concentrações, processamento e consistência de dados de qualidade de água, índice de conformidade ao enquadramento (ICE), visualizações gráficas.