

# Resultados sobre alteração de regime hidrológico

(Apresentação para o Grupo de Acompanhamento da Elaboração e Implementação do  
Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai)

---

Parte dos estudos denominados: ELABORAÇÃO DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA IMPLANTAÇÃO  
DE EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO RIO PARAGUAI E PARA SUPORTE À  
ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA RH-PARAGUAI

Walter Collischonn

IPH UFRGS

Cuiabá 08 de maio de 2019

# Esta apresentação

Regime hidrológico e impactos de barragens

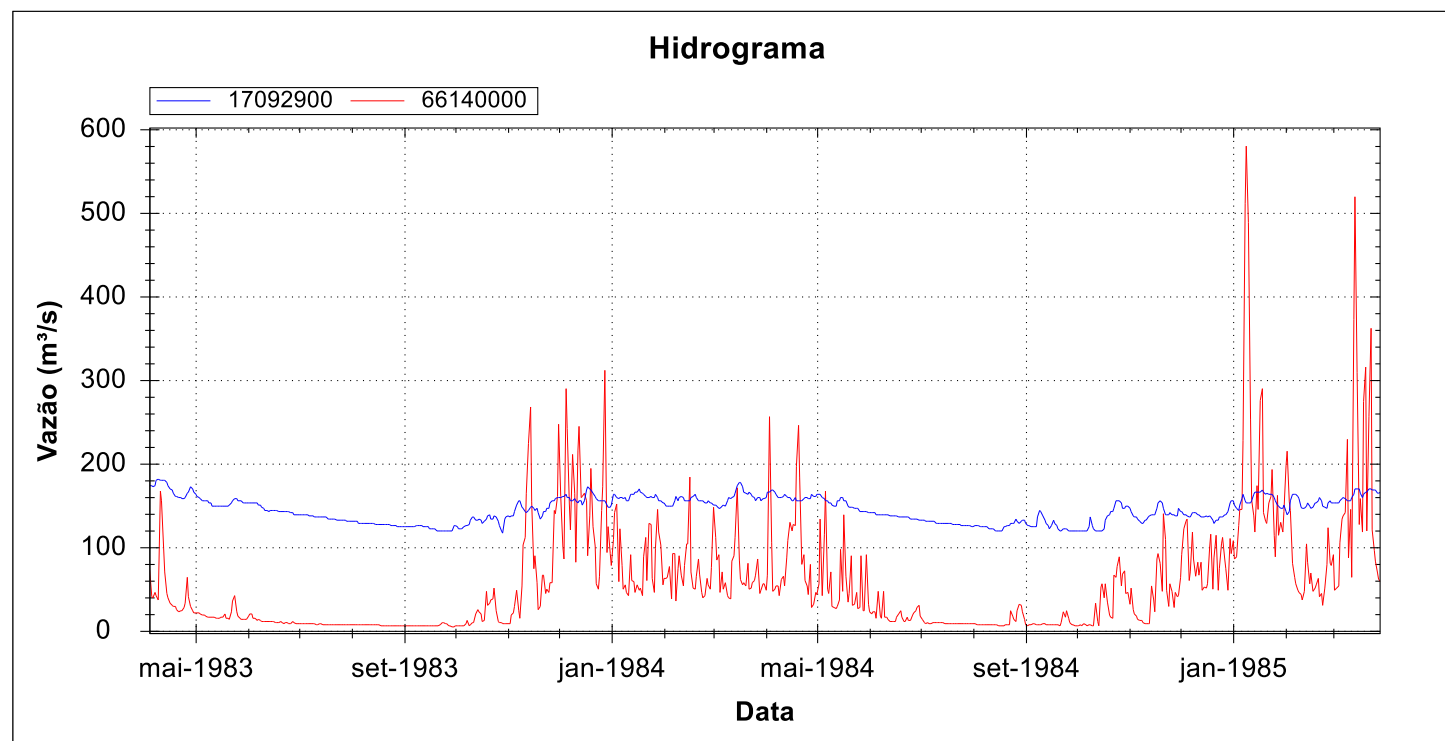
Alterações de regime causadas pela barragem de Manso na BAP

Alterações de regime causadas pelas novas barragens propostas na BAP

Alterações de regime em escala temporal sub-diária (Hydropeaking) na BAP

# O que é o regime hidrológico?

- Rio Cuiabazinho (Vermelho)
- Rio Papagaio (azul)



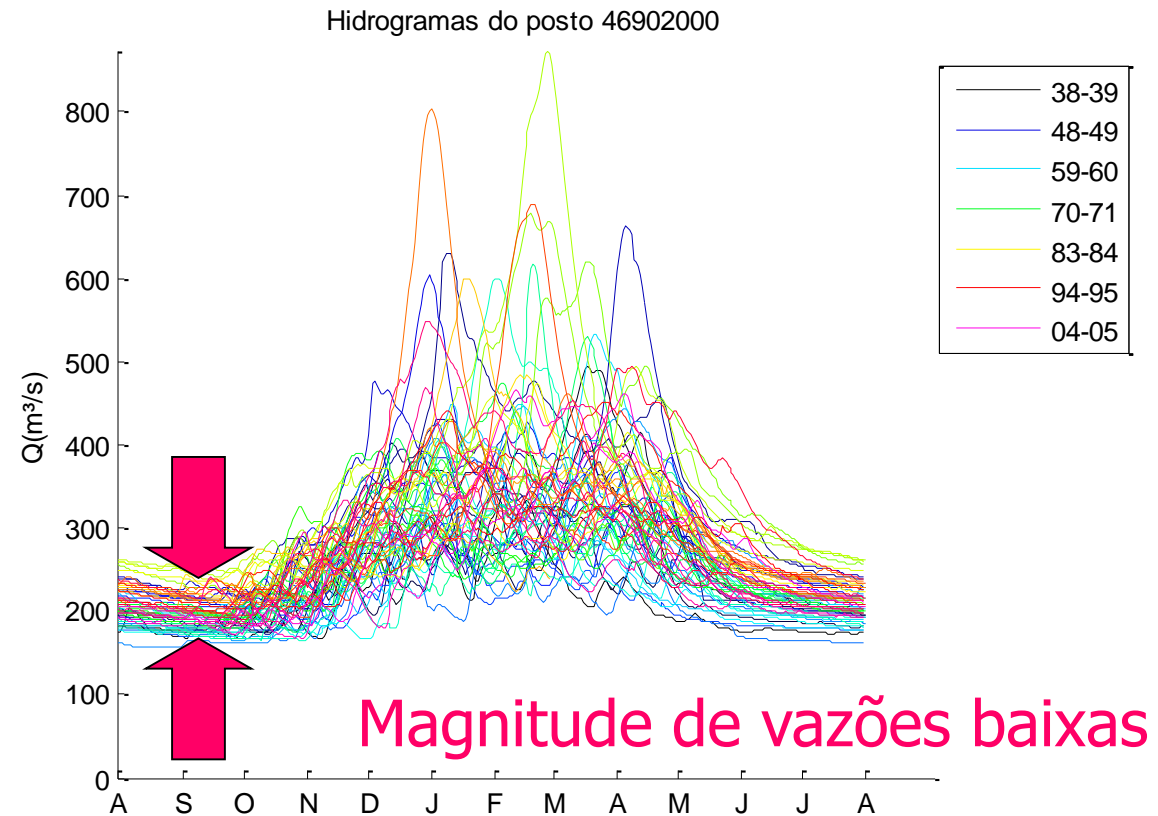
# Regime hidrológico

Espécie de “assinatura  
hidrológica” de um rio.

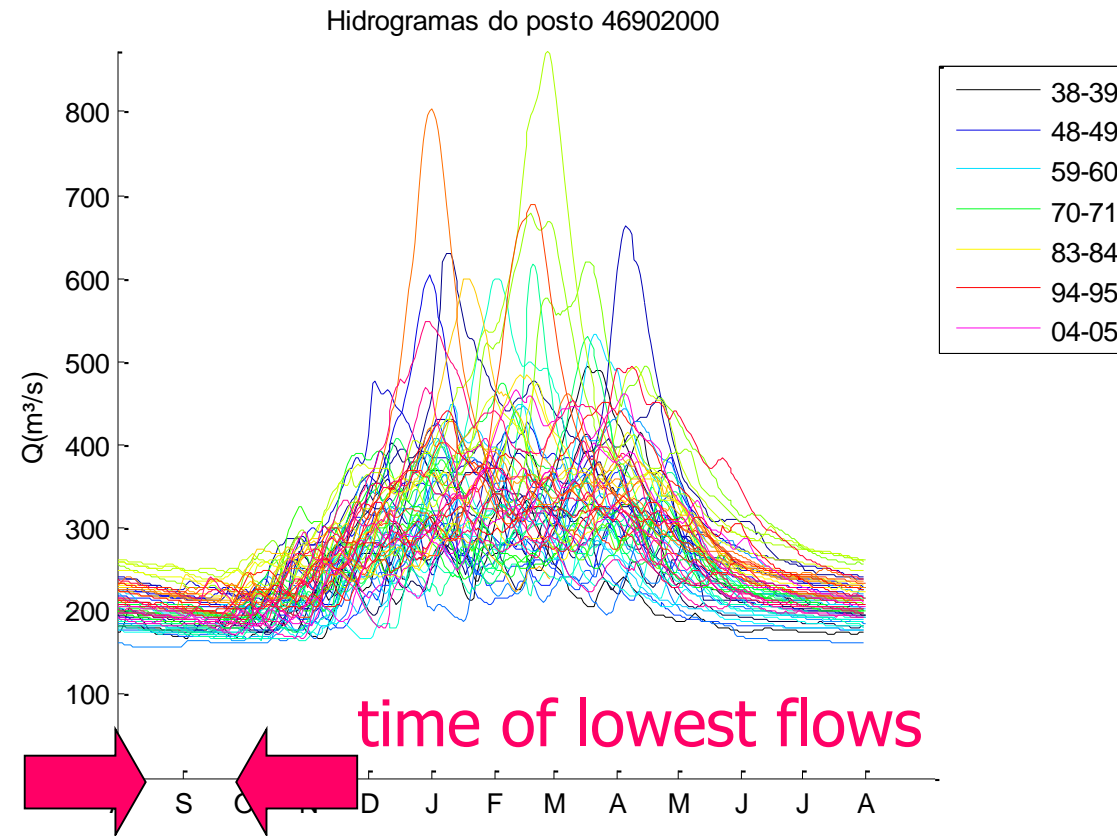
Envolve médias, mínimos,  
máximos, frequências,  
durações, épocas de  
ocorrência, taxas de variação ...



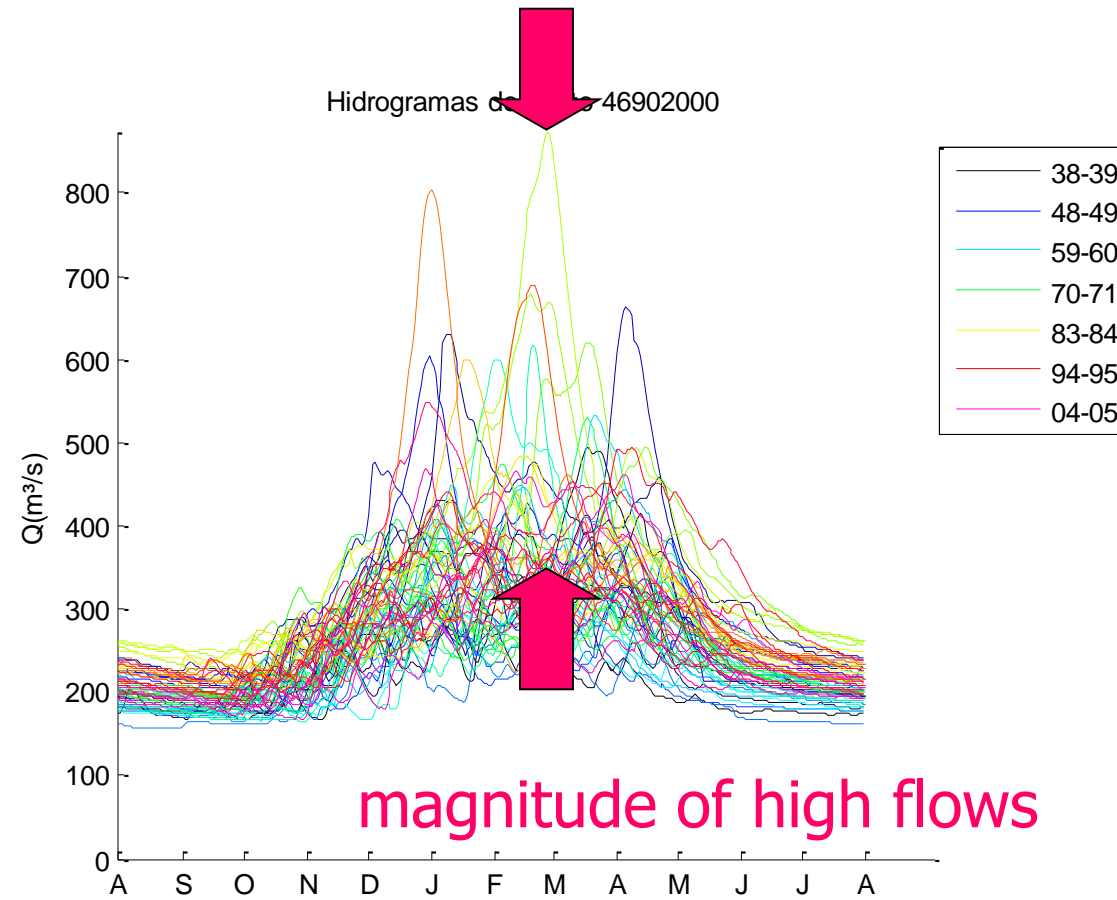
# River regime



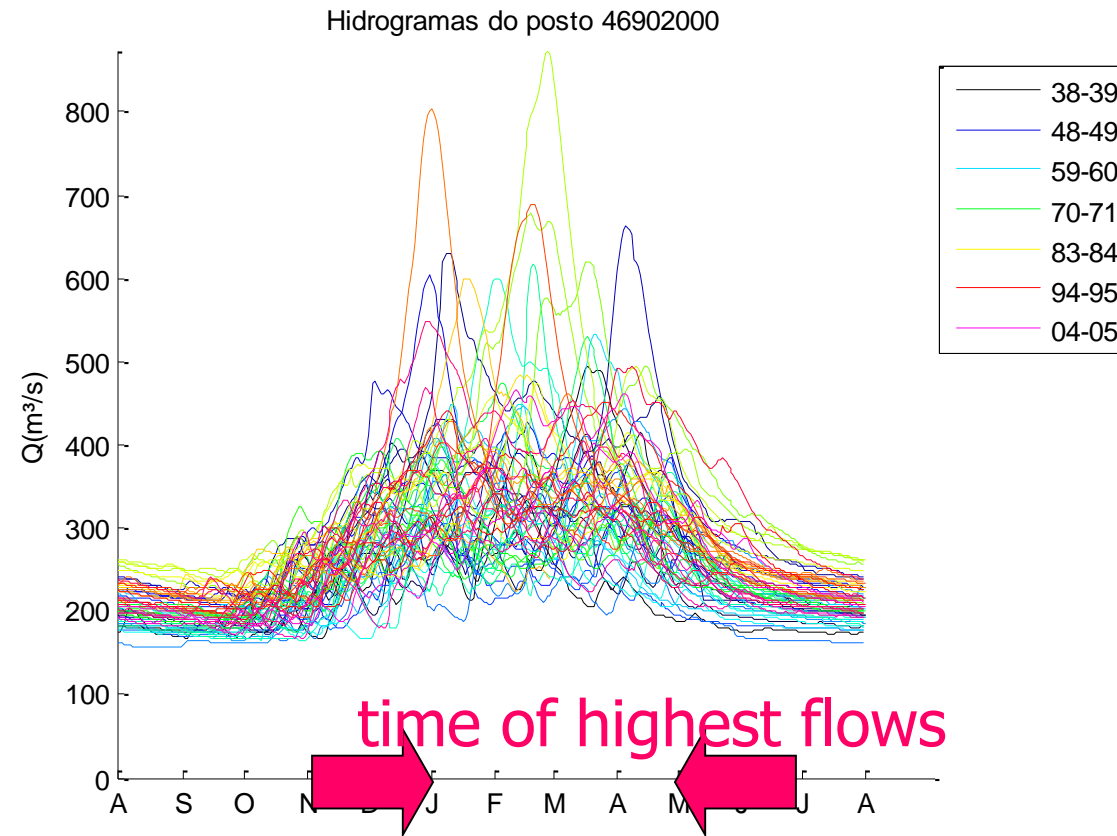
# River regime



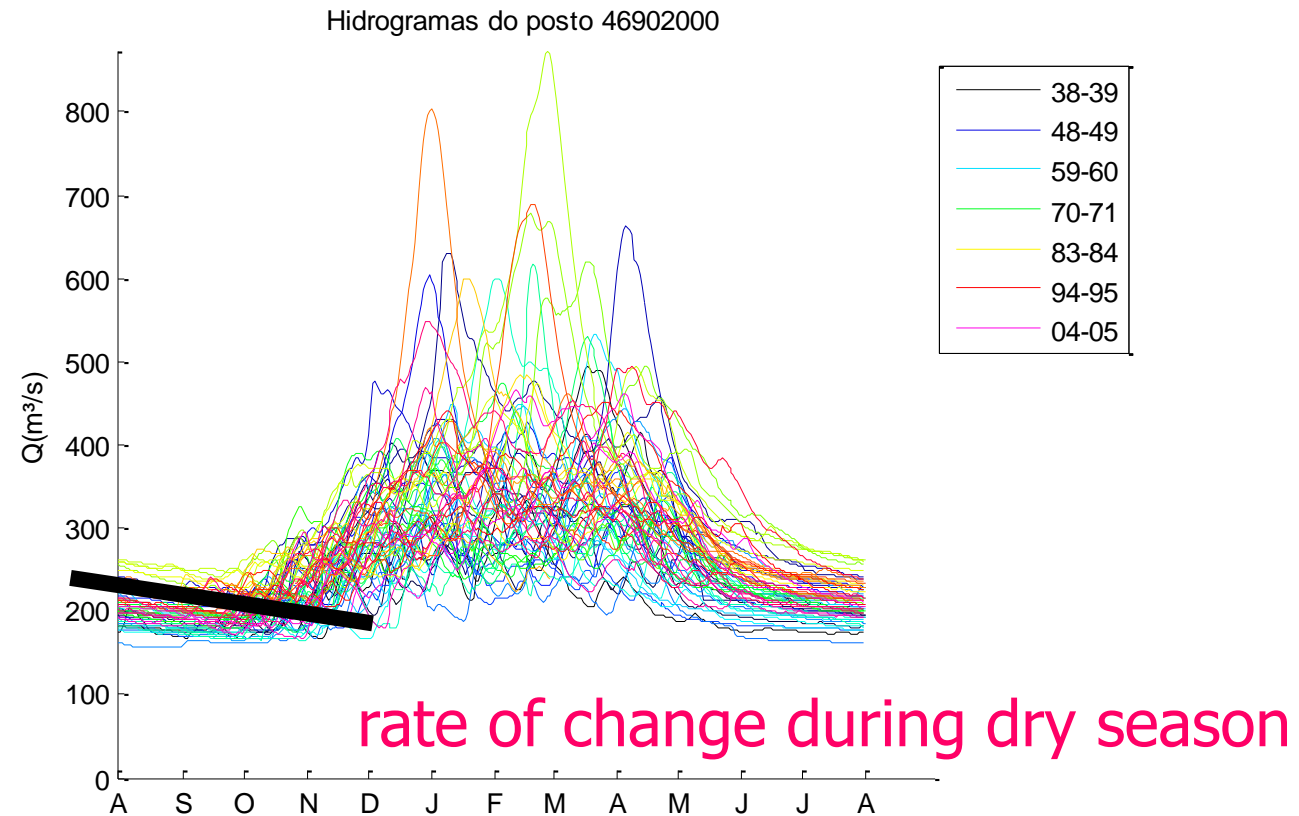
# River regime



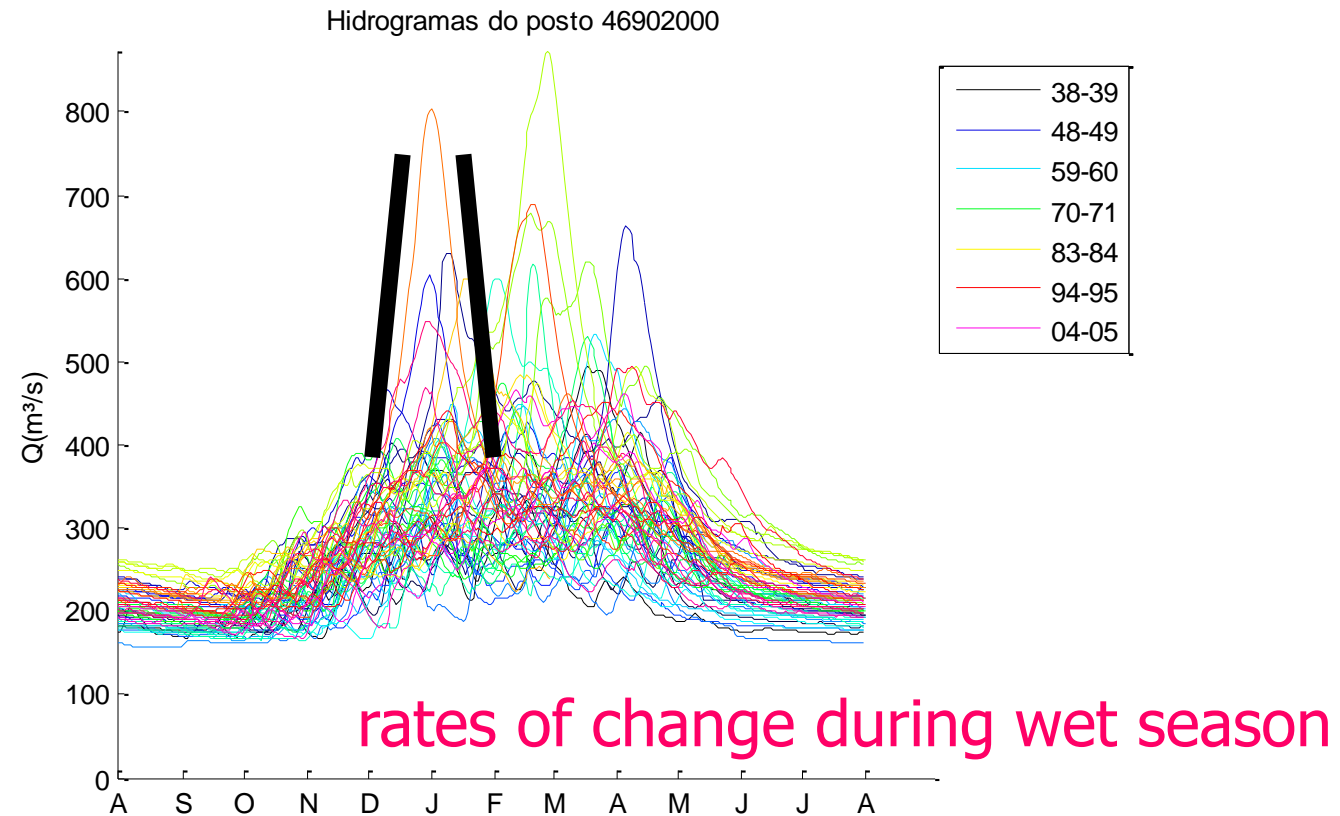
# River regime



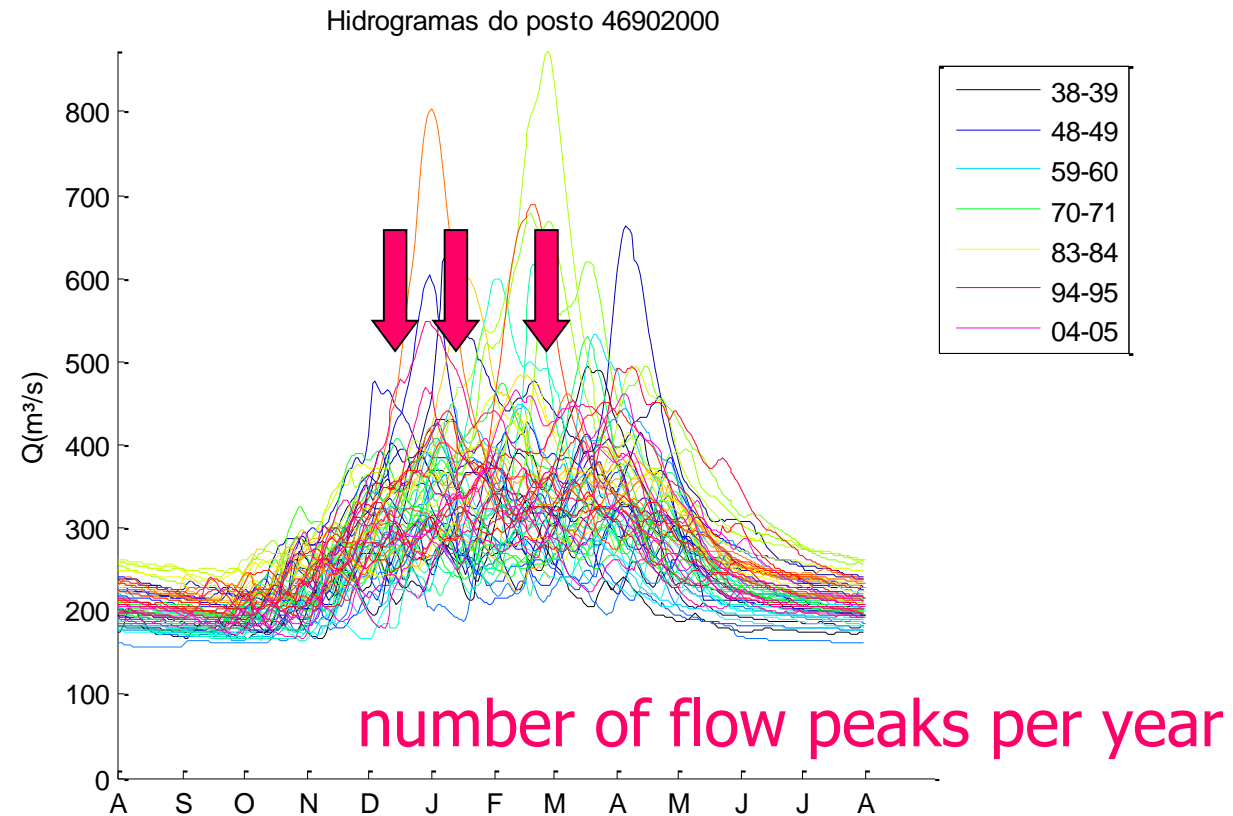
# River regime



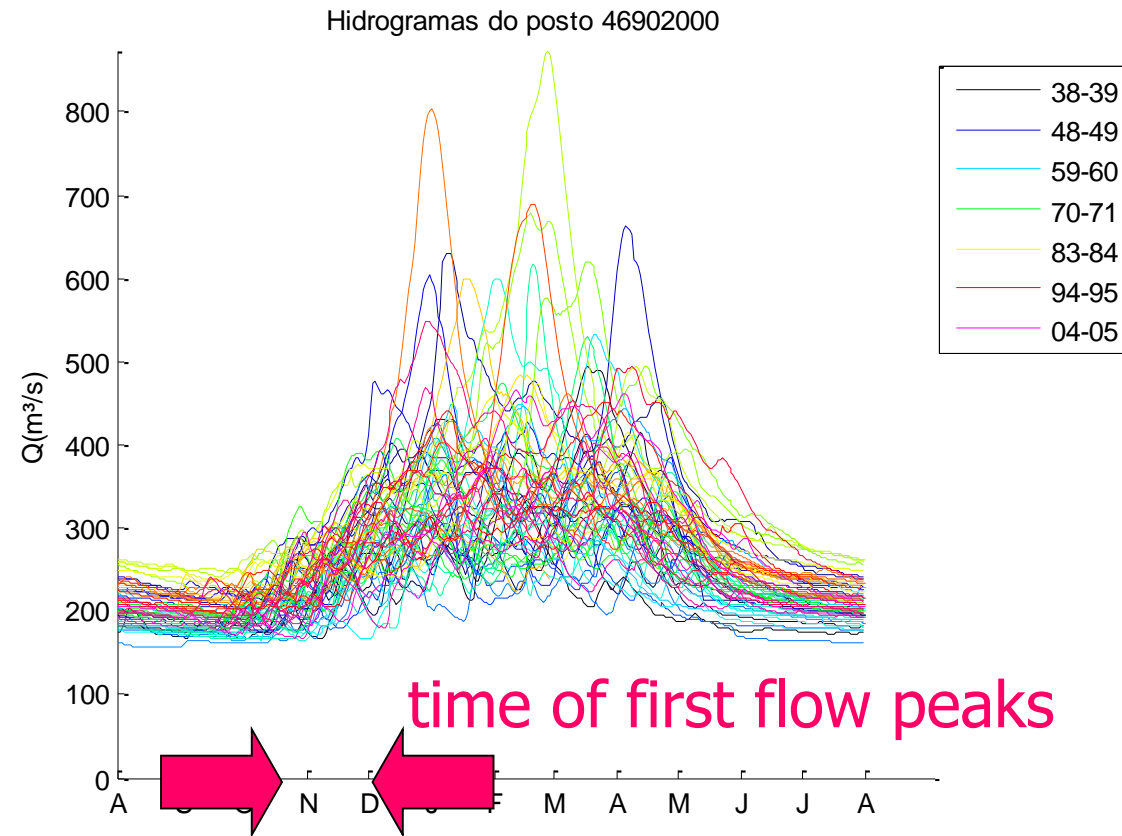
# River regime



# River regime



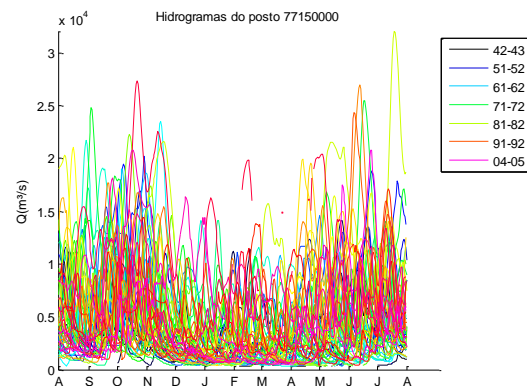
# River regime



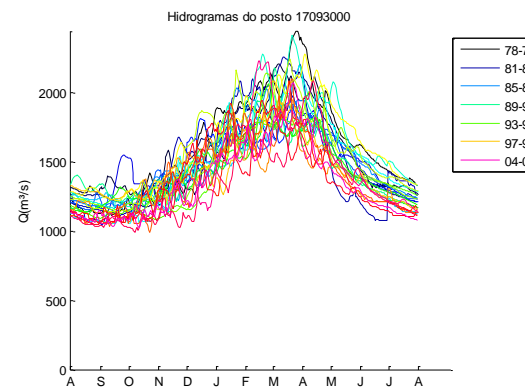


# Diferenças regionais

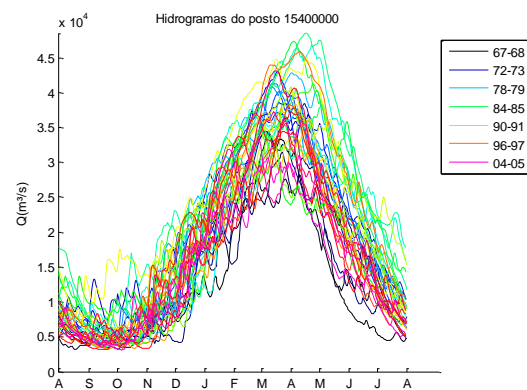
Uruguai



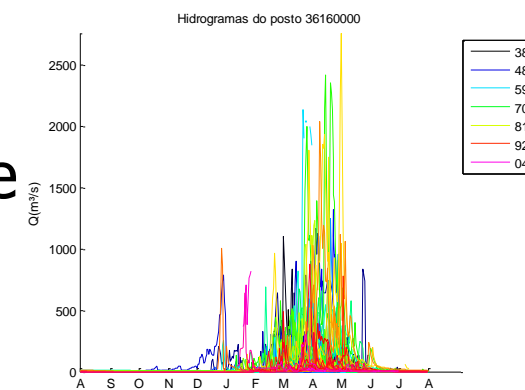
Juruena



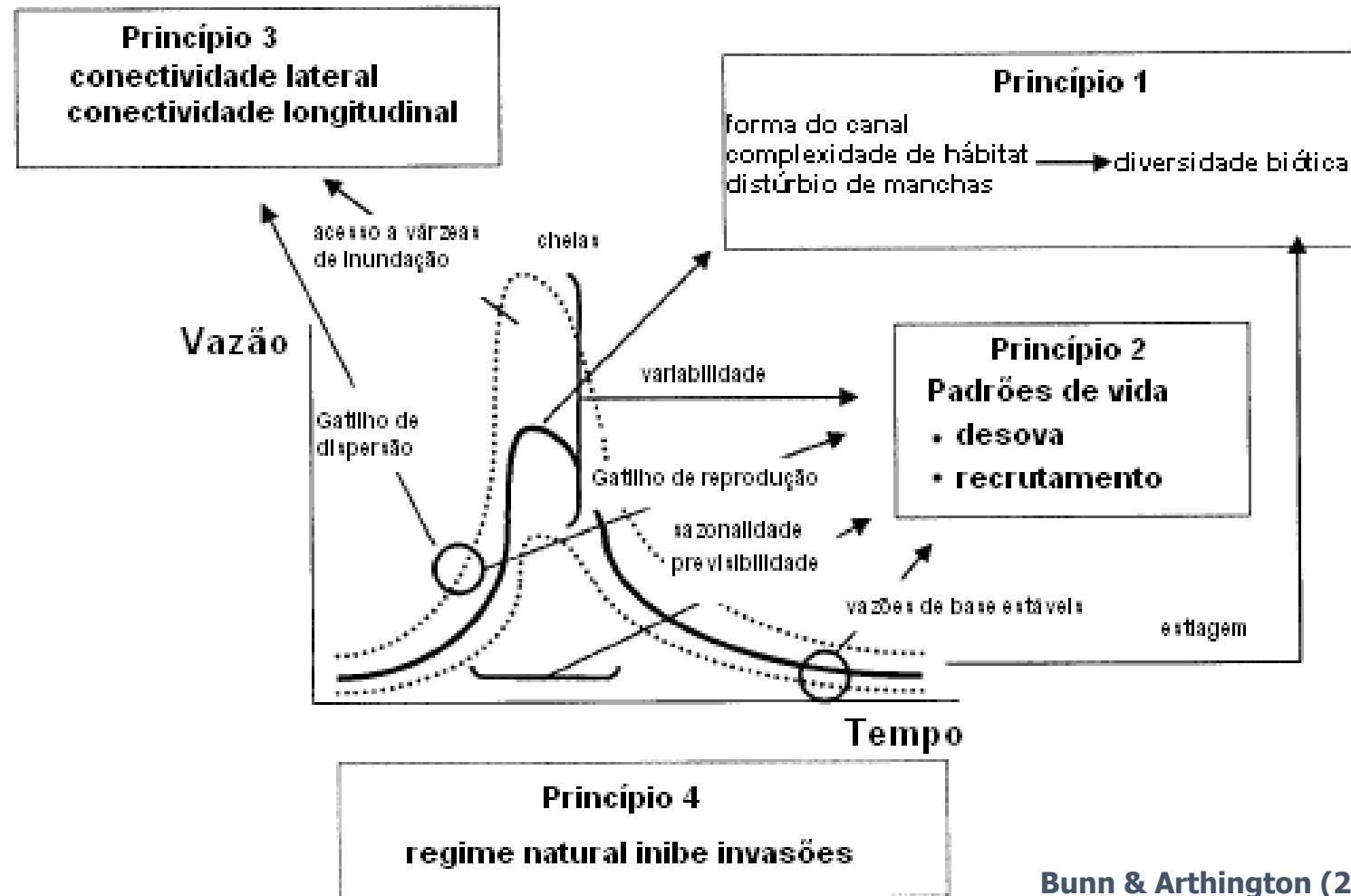
Madeira



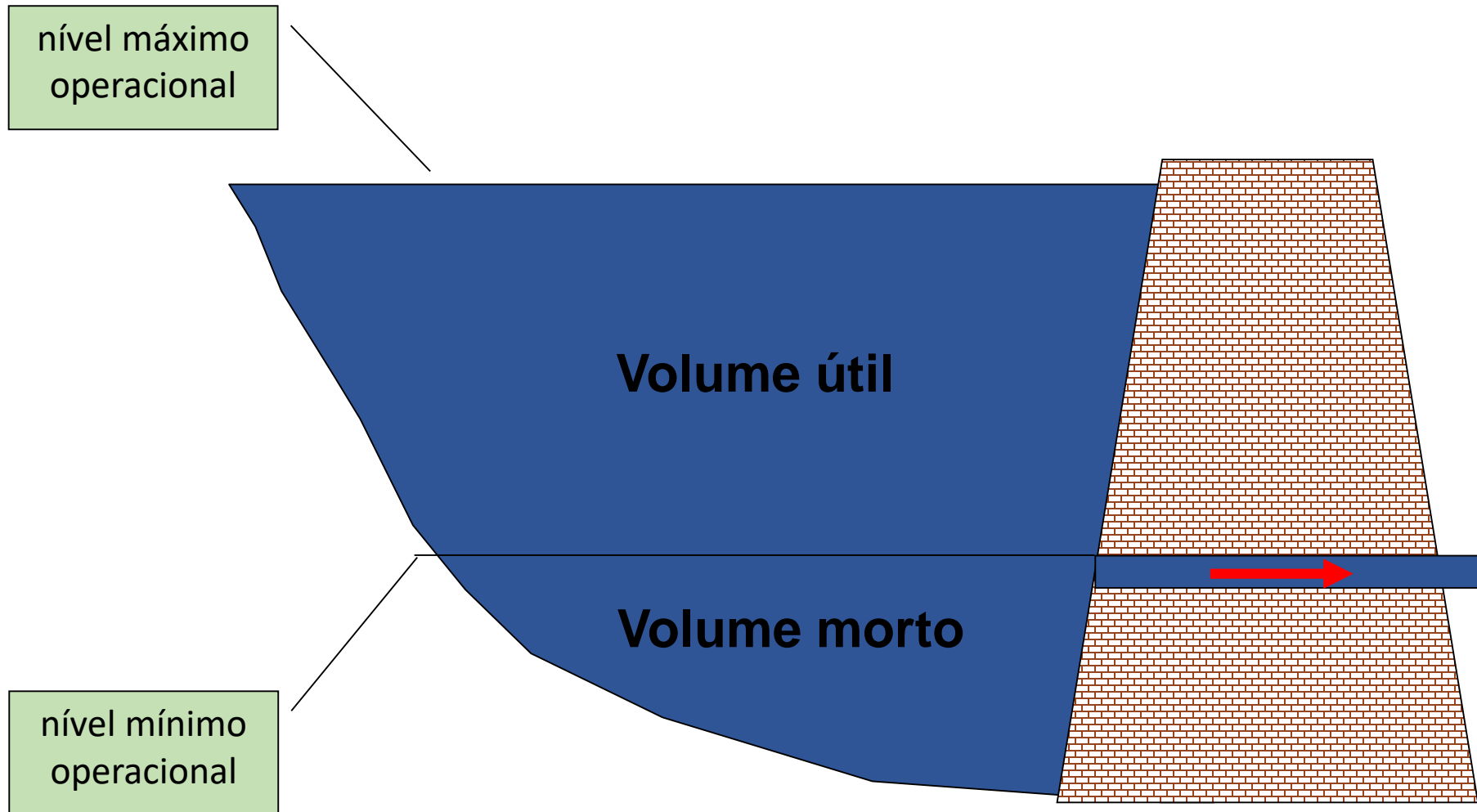
Jaguaribe



# Importância ecológica do regime hidrológico

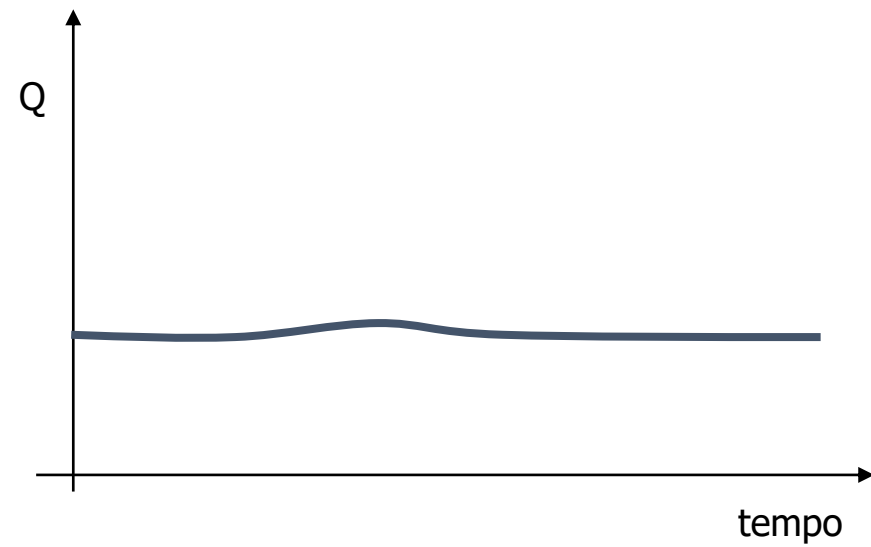
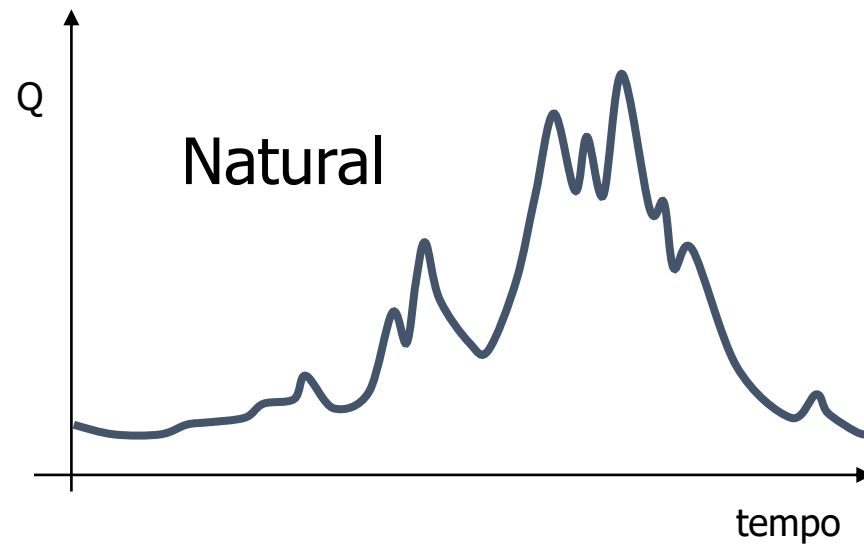


# Grande volume útil

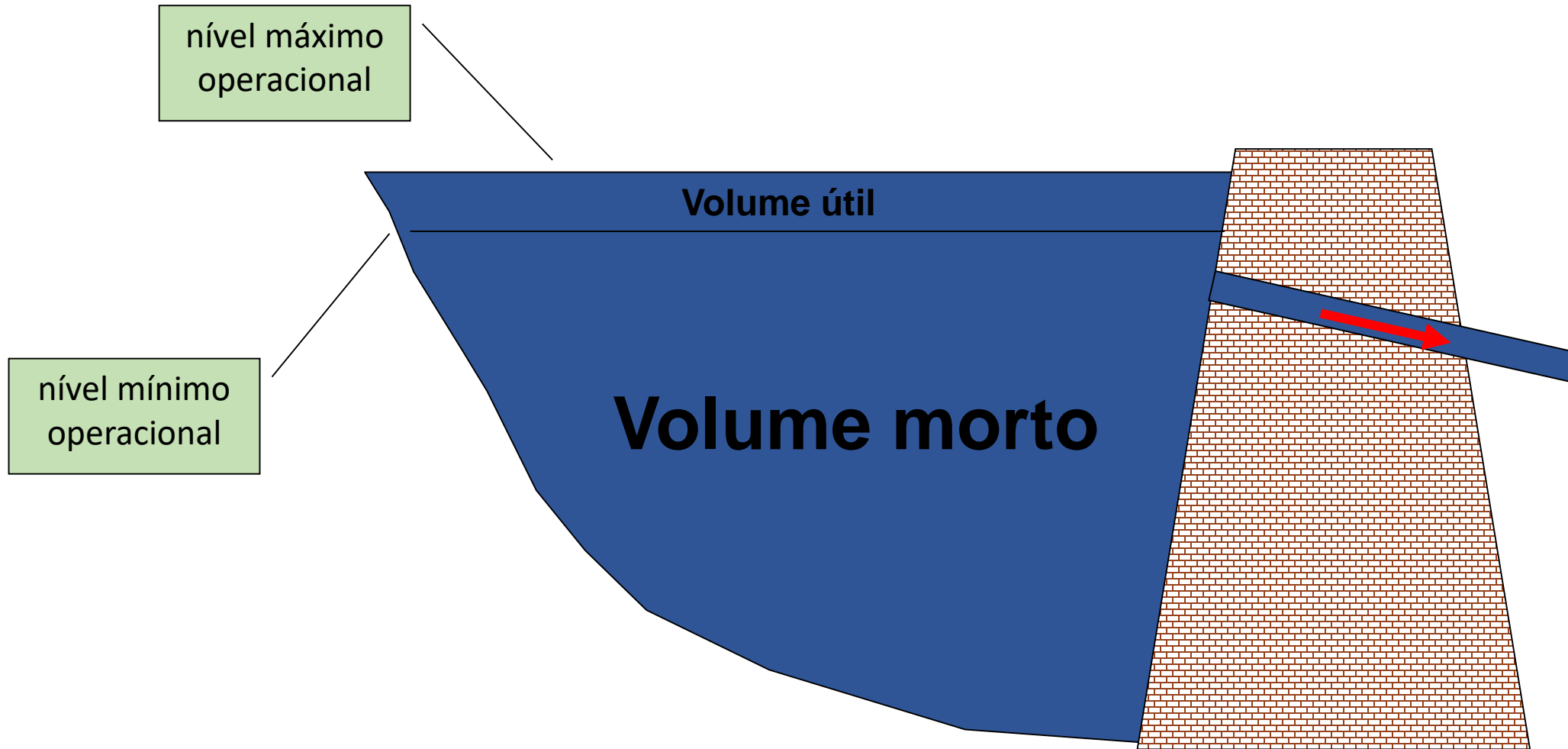


# Regularização

Grande volume útil

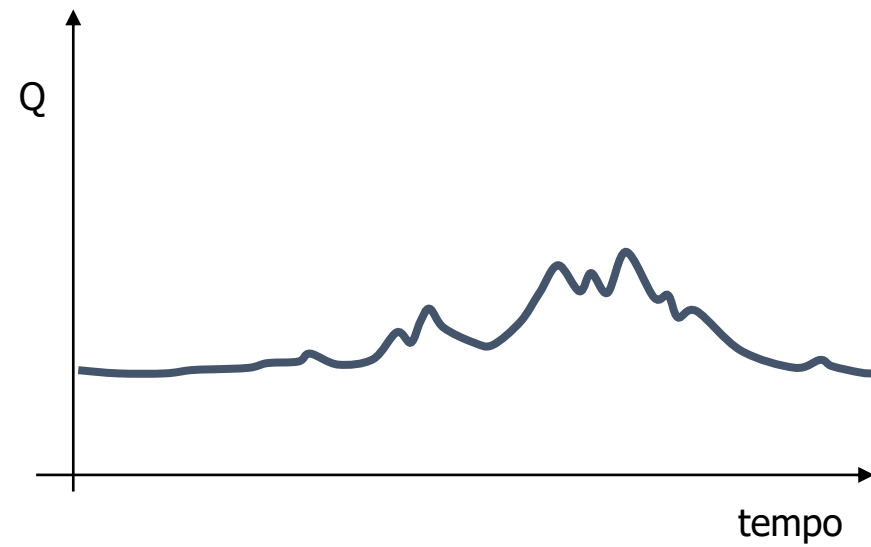
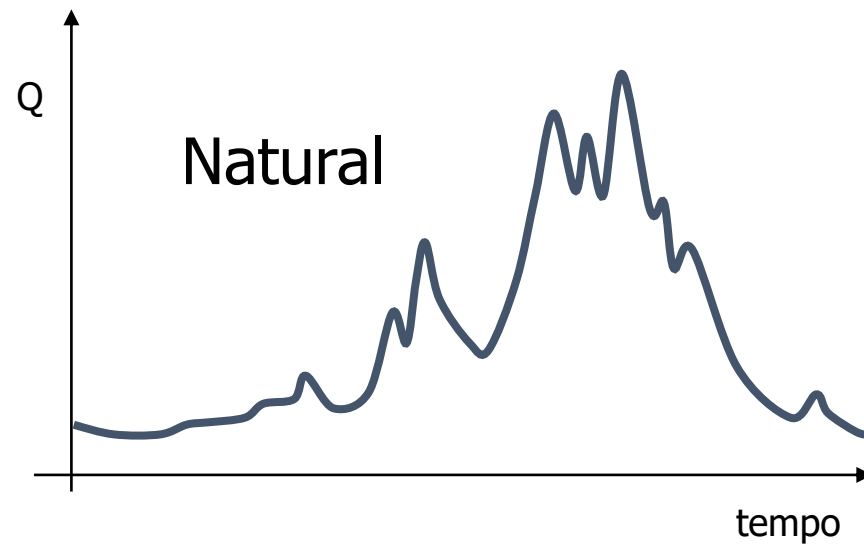


# Pequeno volume útil

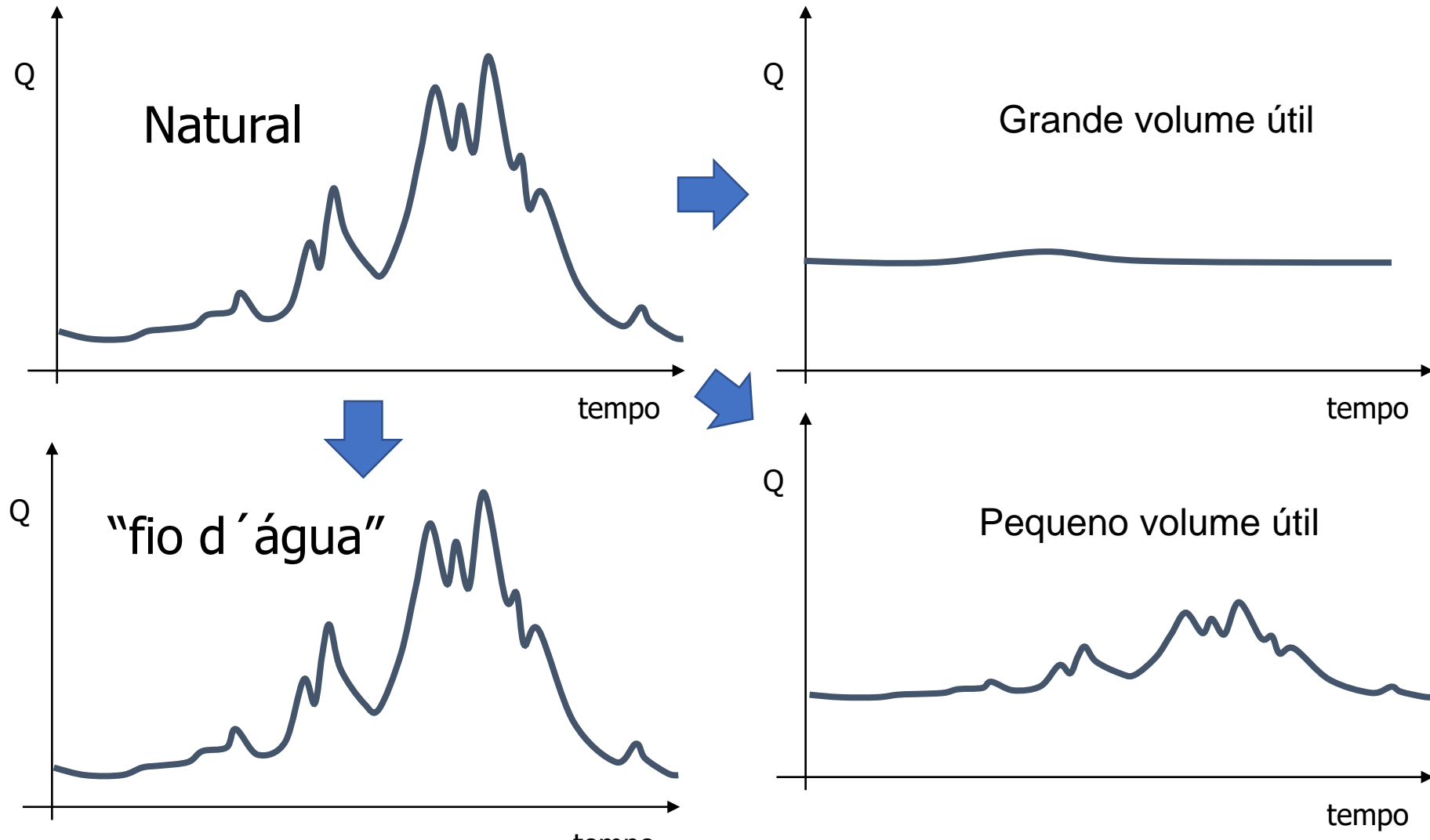


# Regularização

Pequeno volume útil



# Voltando aos impactos da regularização sobre o regime hidrológico



Volume útil

Manso: Grande  
volume útil

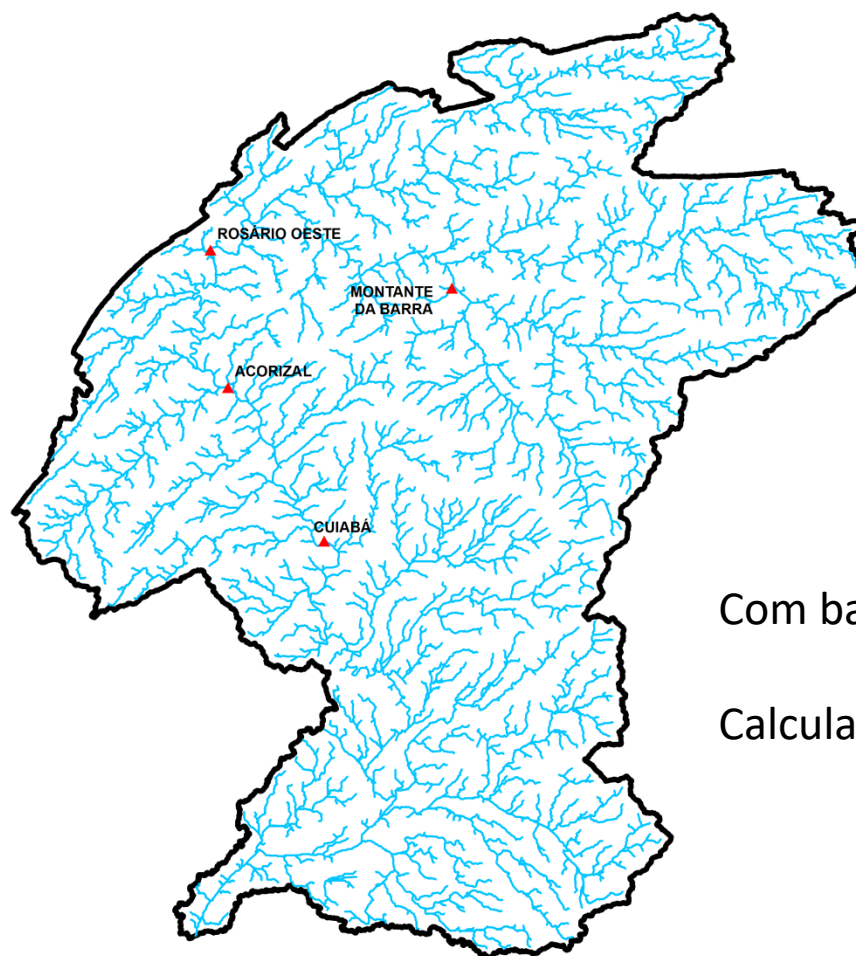
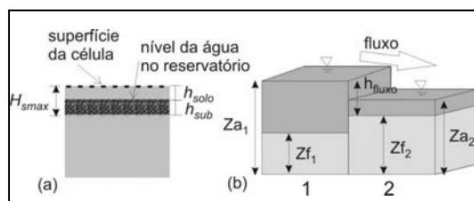
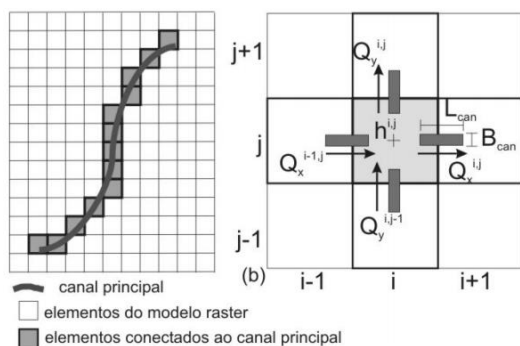
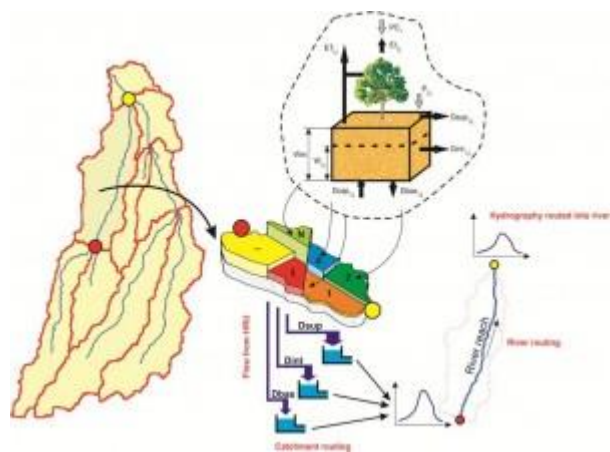
Outras PCHs em  
projeto: pequeno  
volume útil



# Metodologia

1. Aplicar modelos no cenário sem modificação
2. Aplicar modelos no cenário com modificação (incluindo barragem)
3. Avaliar diferenças nas séries temporais das variáveis hidrológicas em diferentes locais
4. Classificar grau de alteração do regime com base no RVA em diferentes locais
5. Classificar Impacto da Barragem sobre o Regime Hidrológico

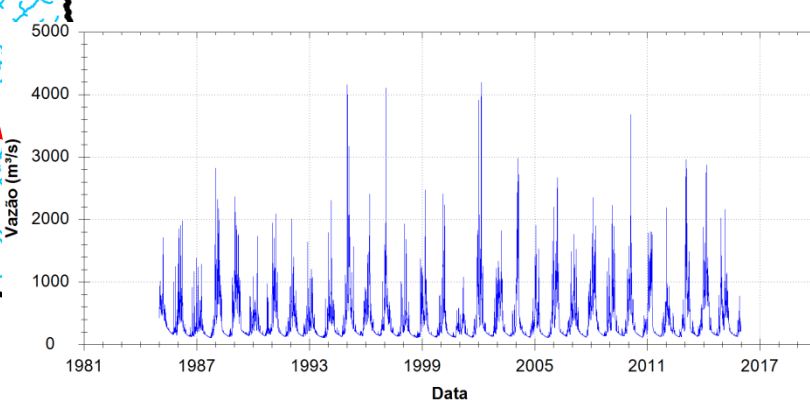
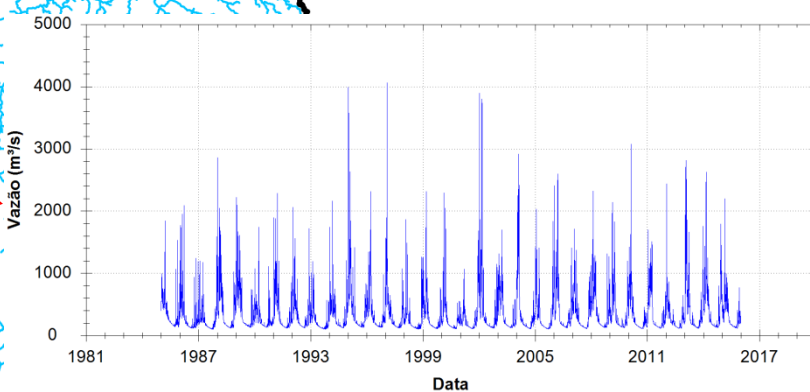
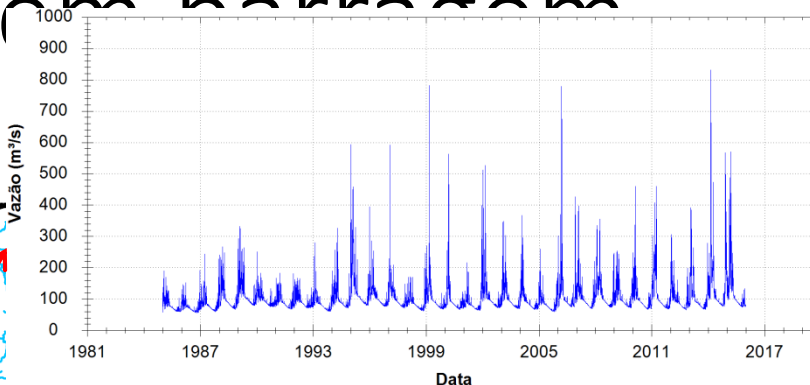
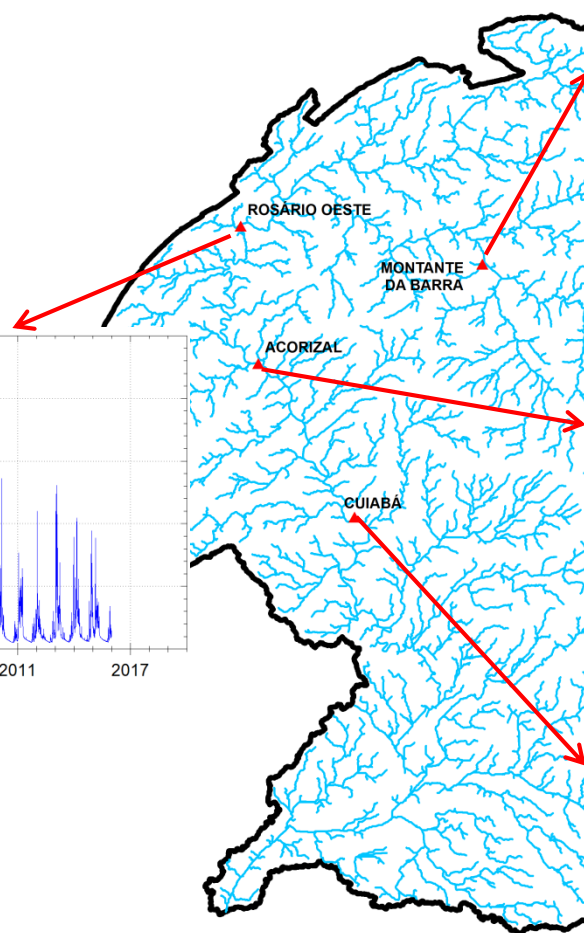
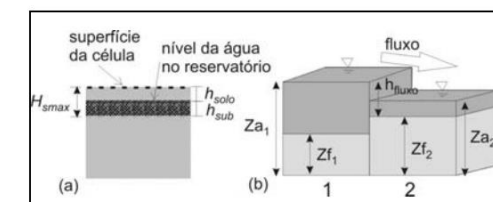
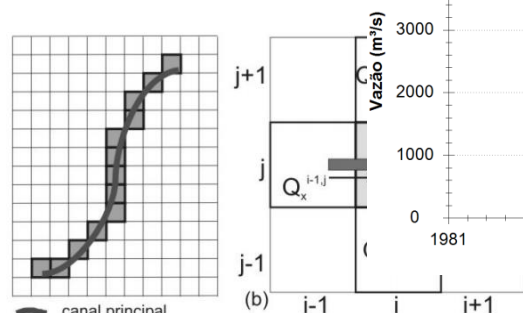
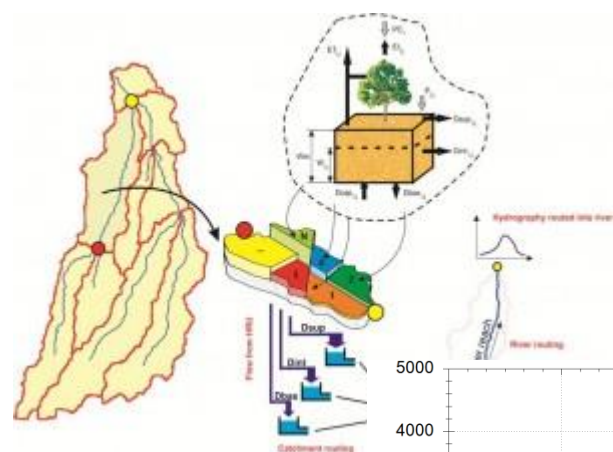
# 1) Aplicar modelos no cenário sem barragem



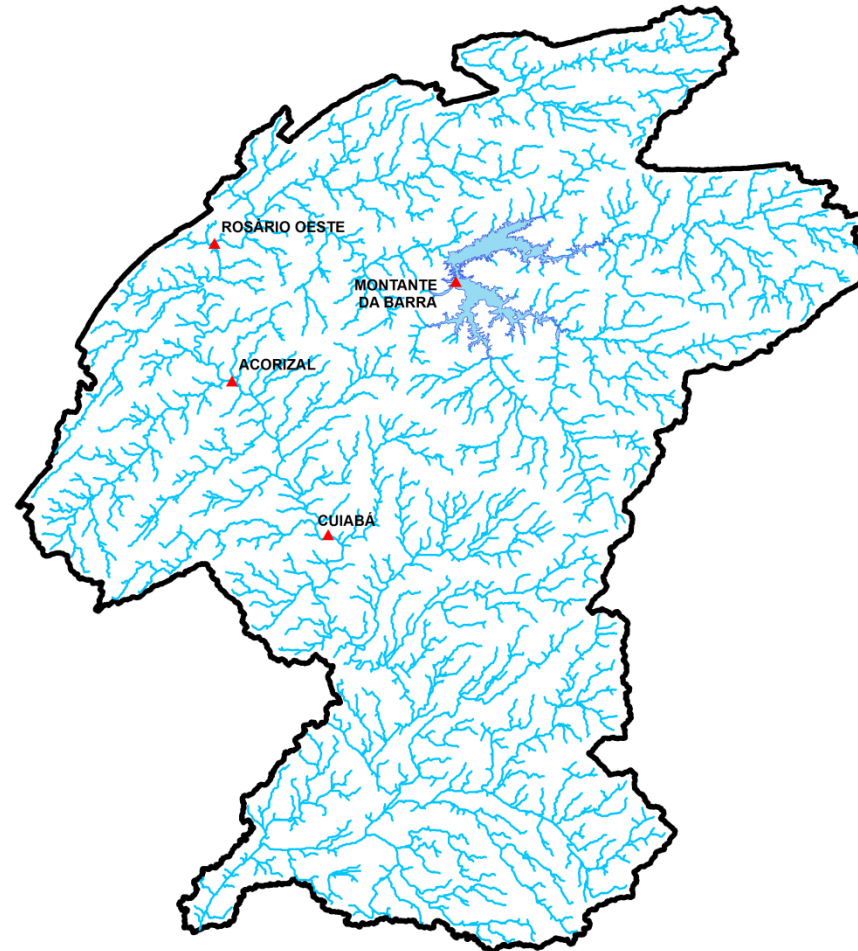
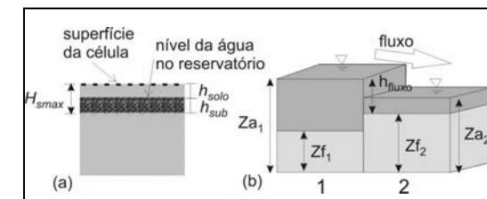
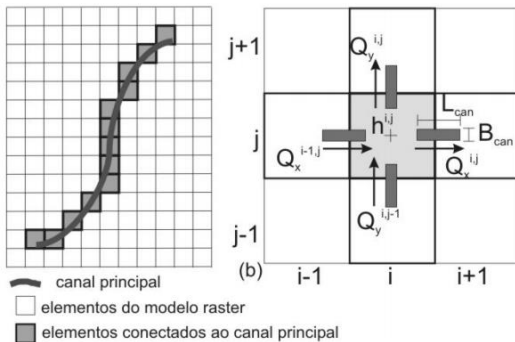
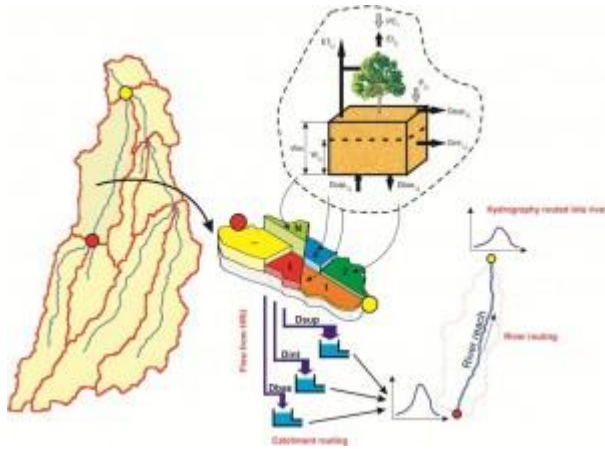
Com base em dados observados de chuva

Calculamos vazões em todos os trechos de rio

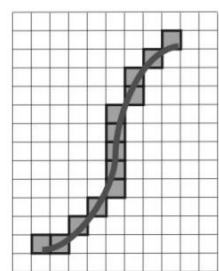
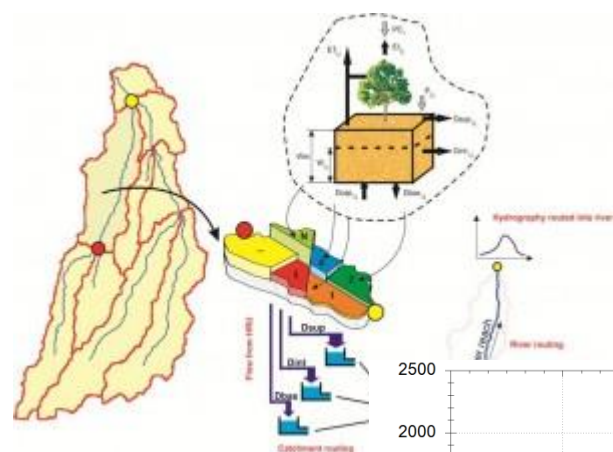
# 1) Aplicar modelos no cenário sem barragem



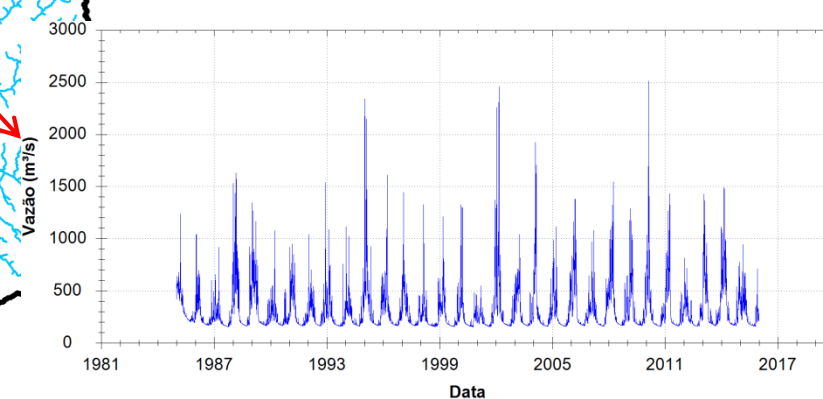
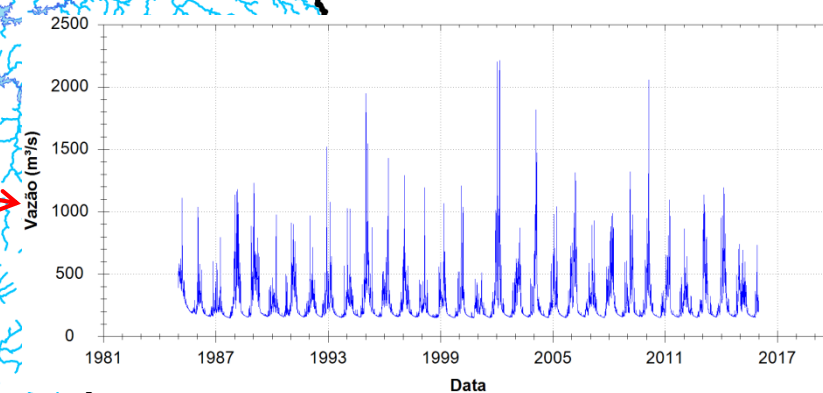
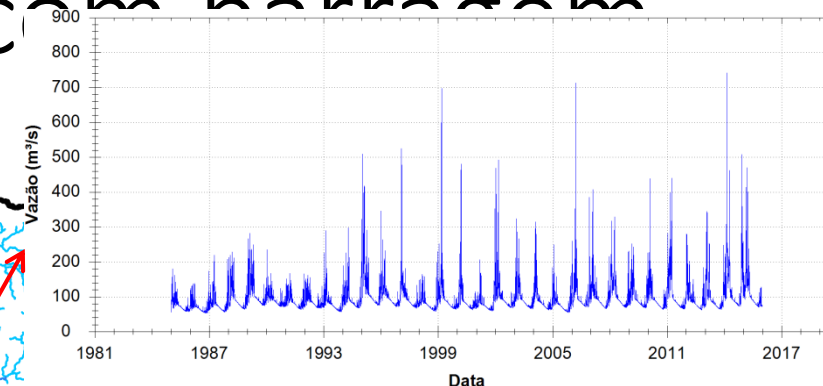
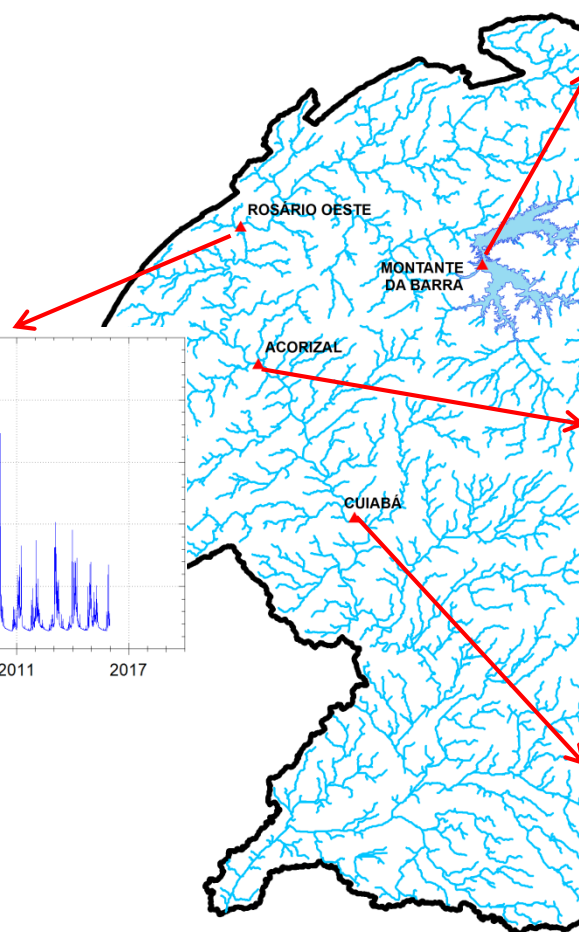
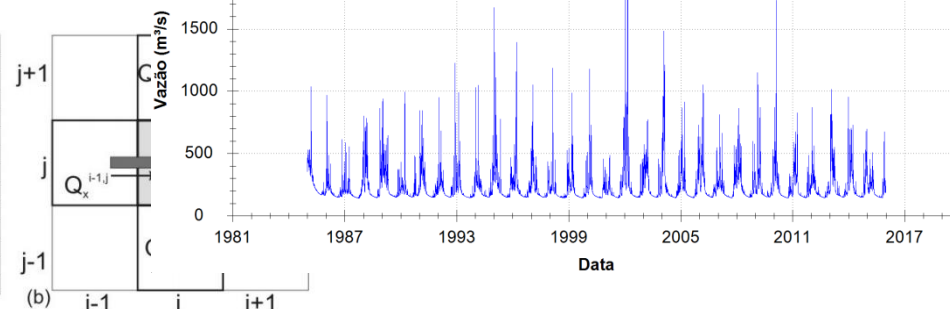
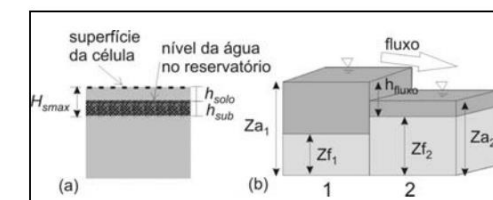
# 1) Aplicar modelos no cenário com barragem



# 1) Aplicar modelos no cenário com barragem

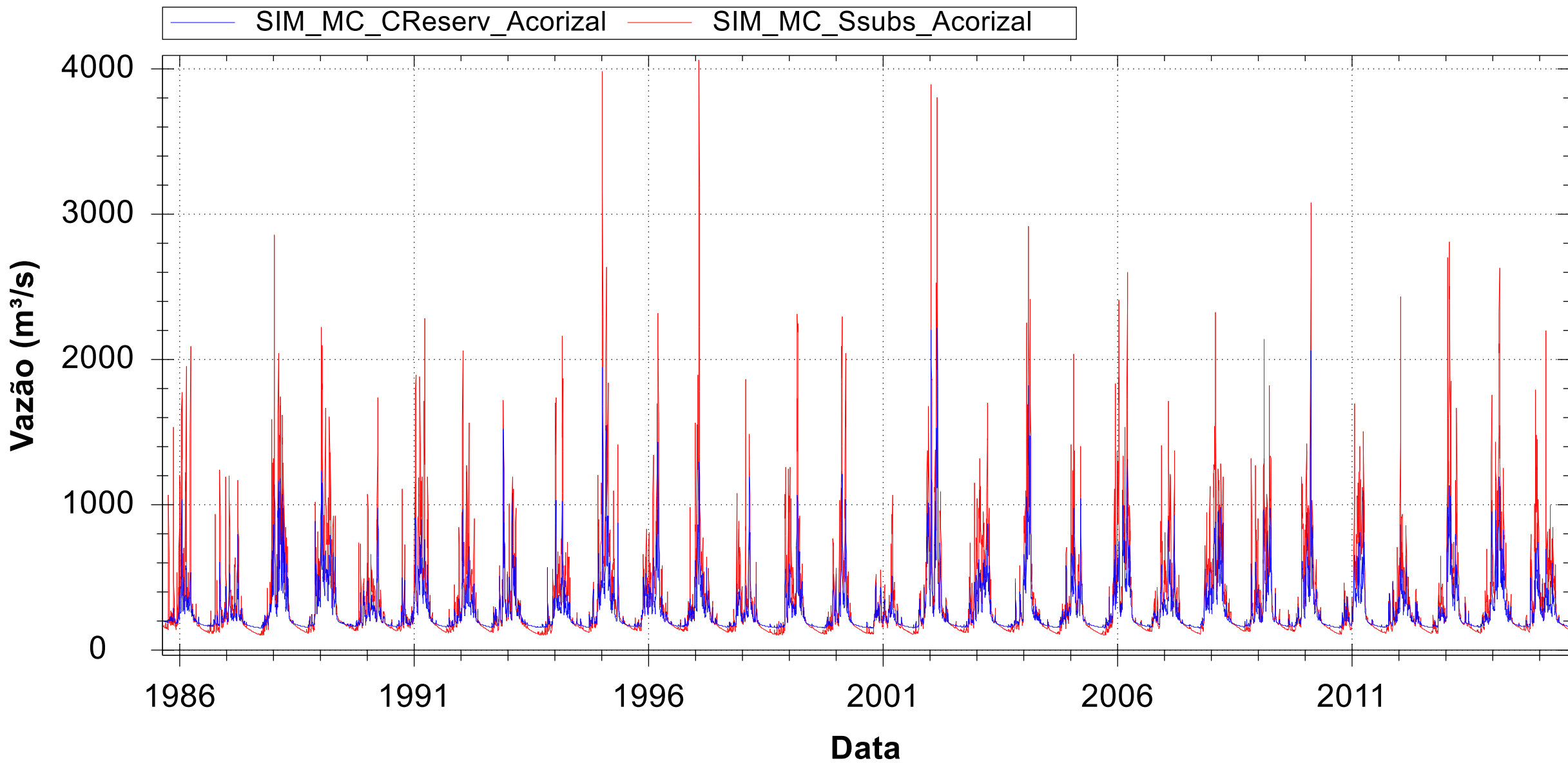


canal principal  
elementos do modelo raster  
elementos conectados ao canal principal



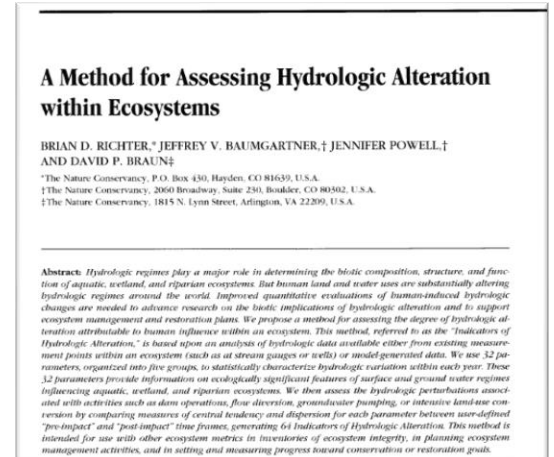
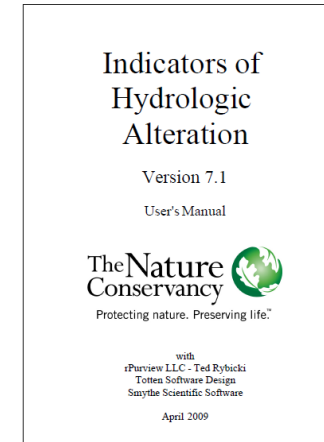


# Hidrograma



### 3) Avaliar diferenças nos hidrogramas

- Para avaliar as diferenças no regime hidrológico é aplicada a metodologia IHA
- Indicators of Hydrologic Alteration
- Disponível para download por TNC
- Baseado em:
  - Richter, Brian D., et al. "A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems." Conservation biology 10.4 (1996): 1163-1174.



# Alterações de regime hidrológico causadas pela barragem de Manso

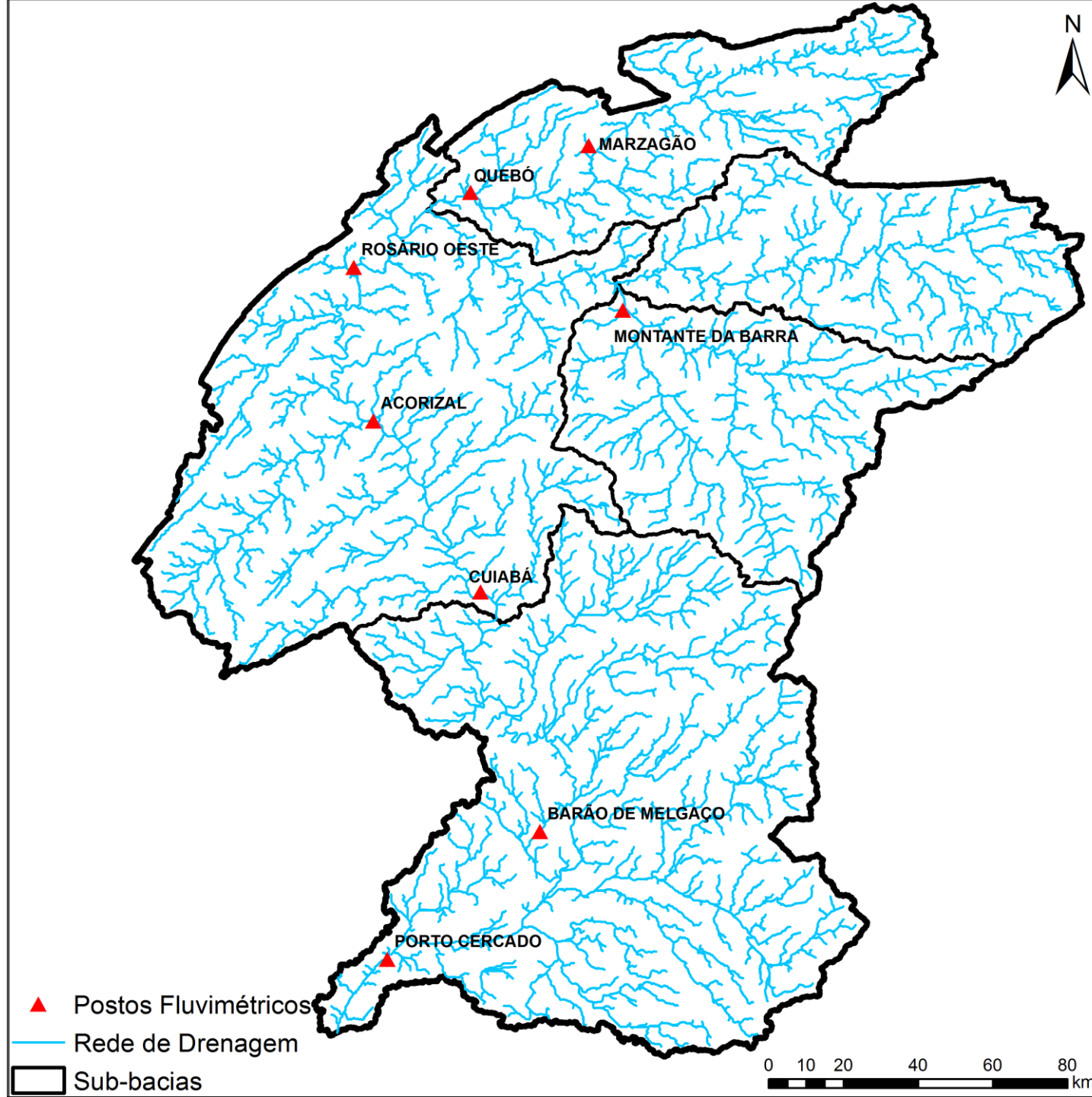
Para verificação da metodologia (não é parte do projeto atual)



MDE – SRTM 90m

Minibacias

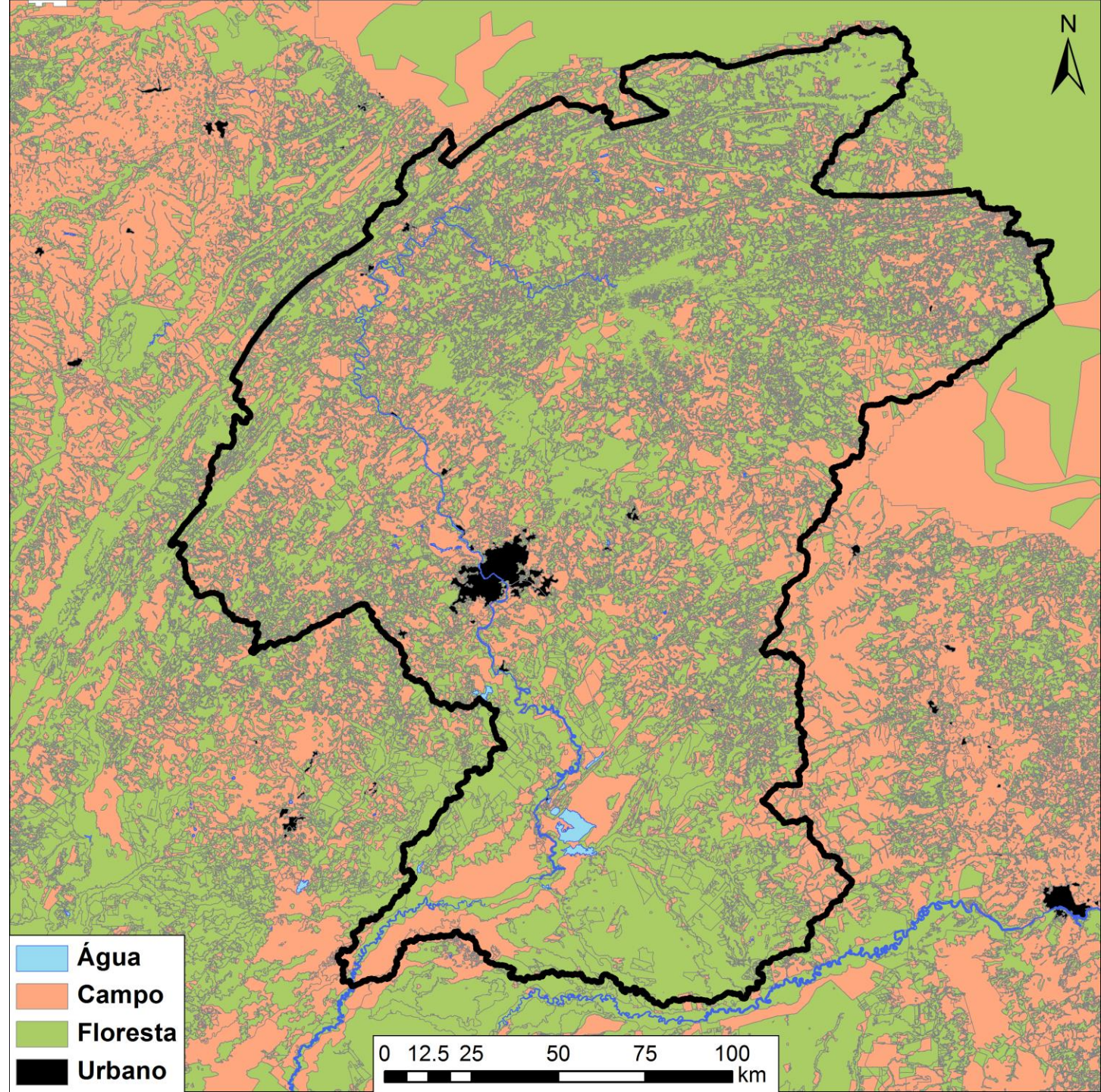
Sub-bacias





# Vegetação

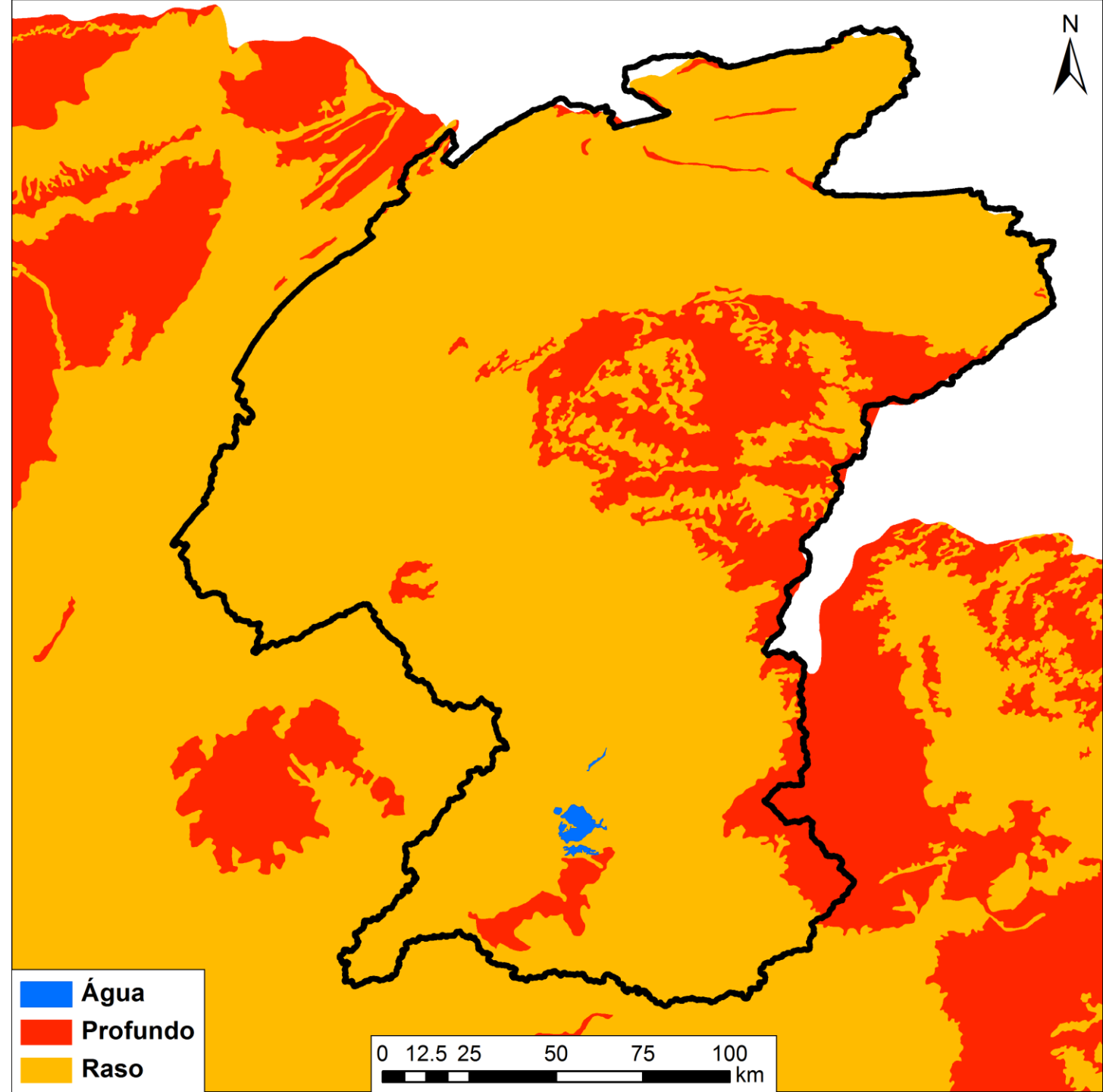
- Monitoramento do uso e ocupação do solo na bacia do alto rio paraguai (BAP) em 2012 e 2014;
- Reclassificação para 4 tipos genéricos de uso e ocupação tendo em vista a resposta hidrológica em grande escala;





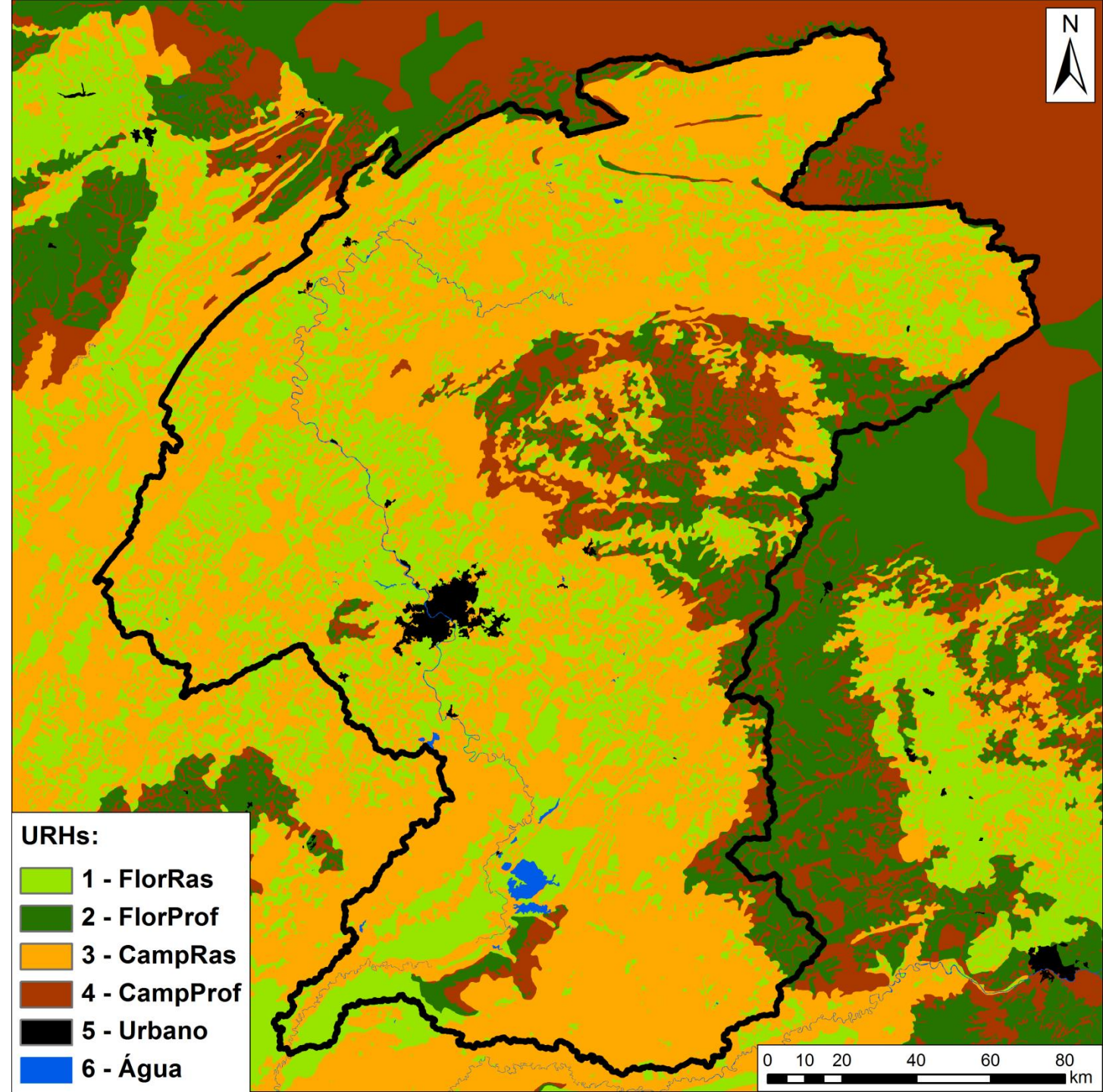
# Solo

- O mapa de tipo de solo fornecido também foi reclassificado em relação à resposta hidrológica;
- Reclassificação para 3 tipos genéricos de tipo de solo tendo em vista a capacidade de armazenamento;



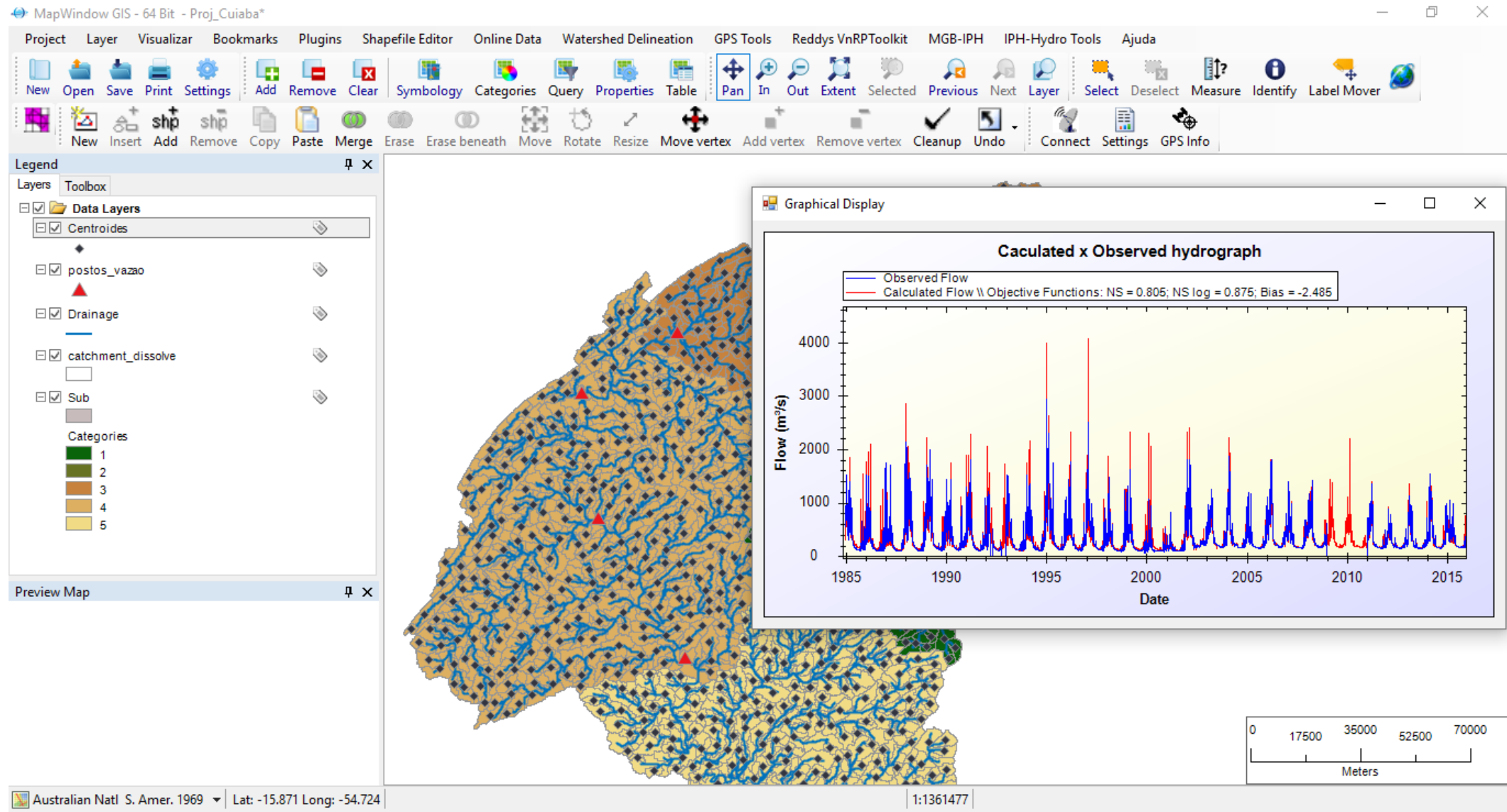
# Unidades de Resposta Hidrológica - URHs

- Por fim a combinação dos mapas reclassificados de uso e tipo de solo forneceu 6 classes de resposta hidrológica;
- A partir daí foi feito cálculo da percentagem dentro de cada minibacia para realizar os balanços verticais e propagação no MGB.





# Resultados do modelo hidrológico MGB



# Manso: alterações no local da barragem



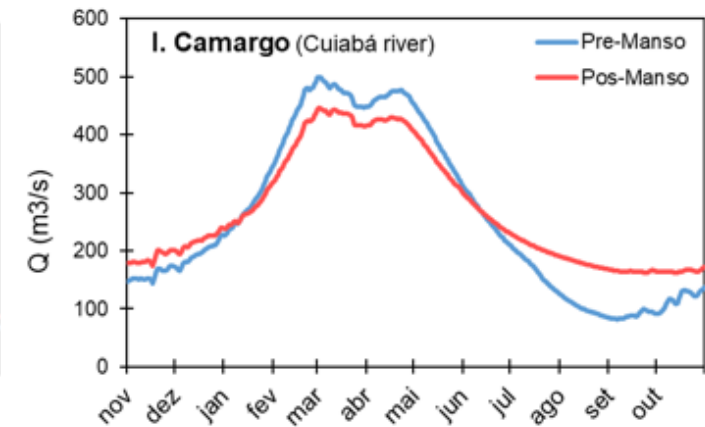
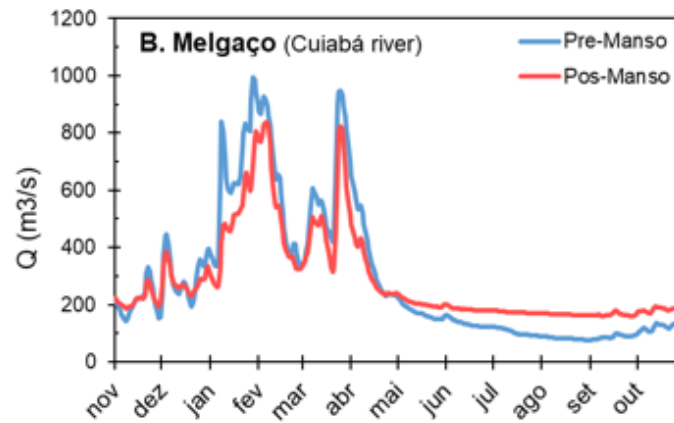
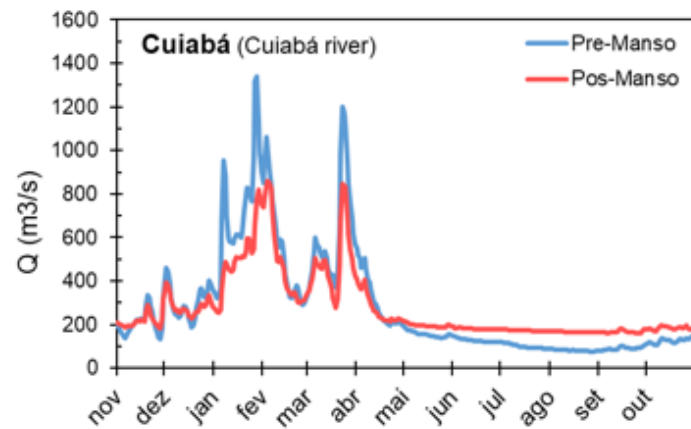
Azul: vazão defluente de Manso  
Laranja: Vazão no mesmo local  
Caso a UHE Manso não existisse

Cheias são suprimidas ou reduzidas

Vazões mínimas são aumentadas

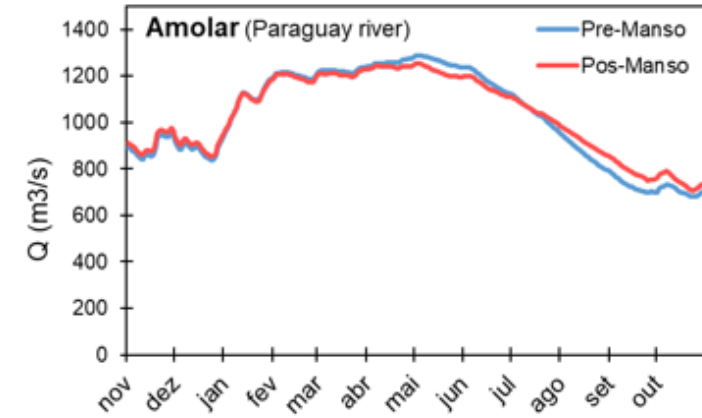
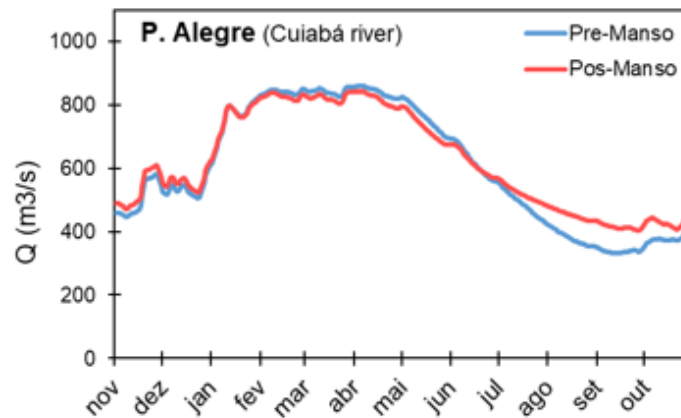
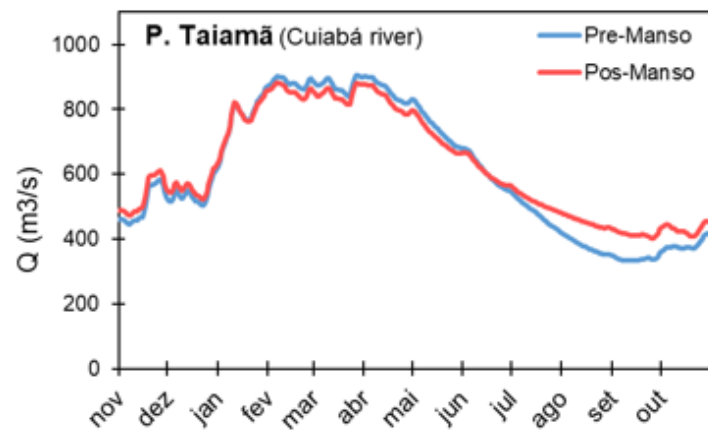
Dados do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR) ANA e ONS

# Manso: alterações de regime a jusante



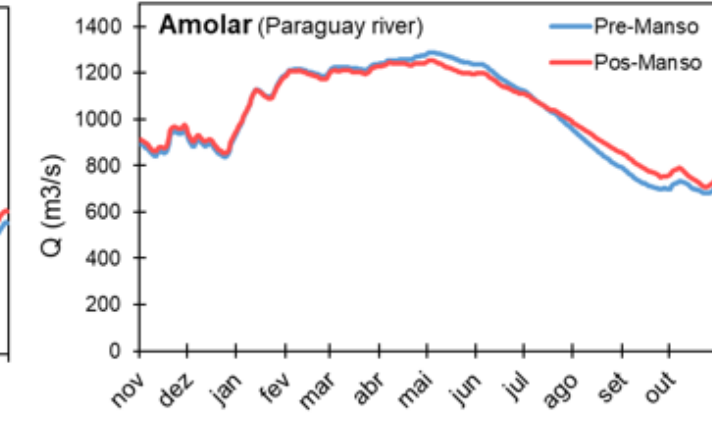
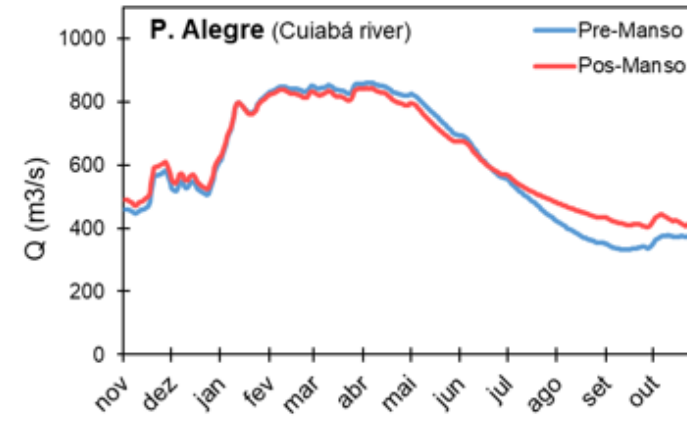
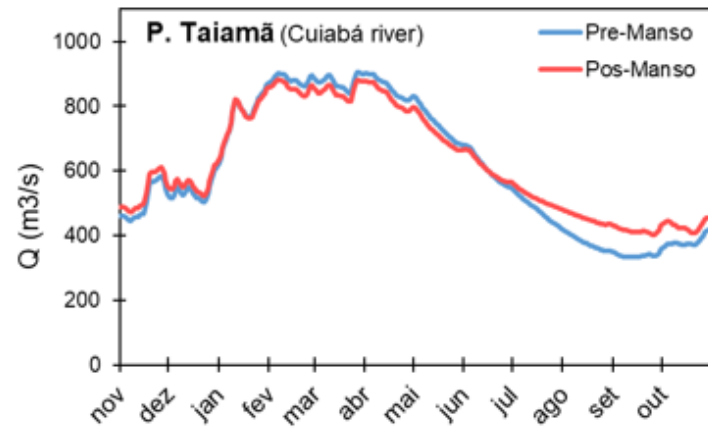
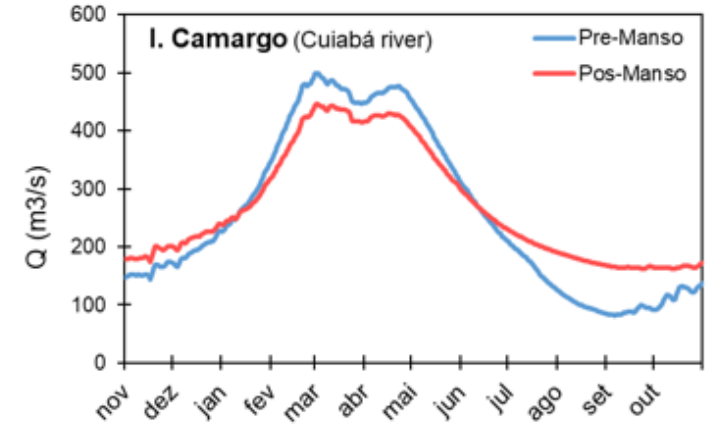
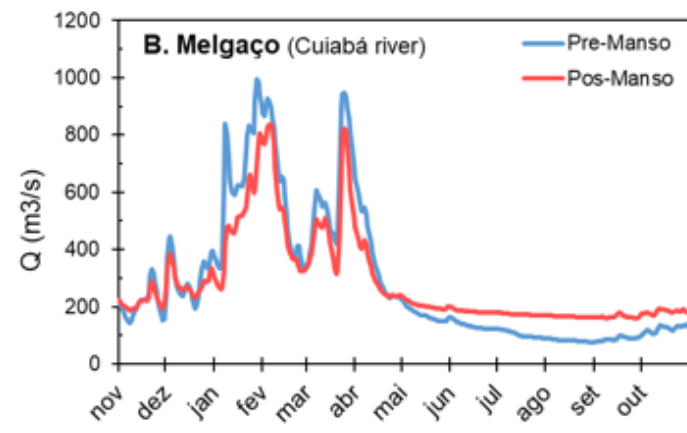
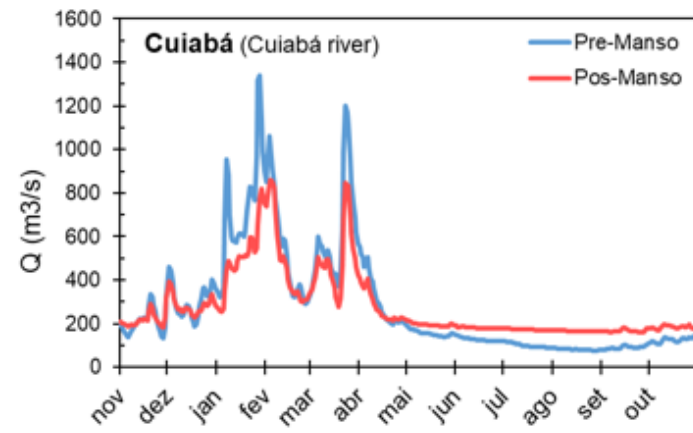
Indo para jusante...

# Manso: alterações de regime a jusante



Indo para jusante...



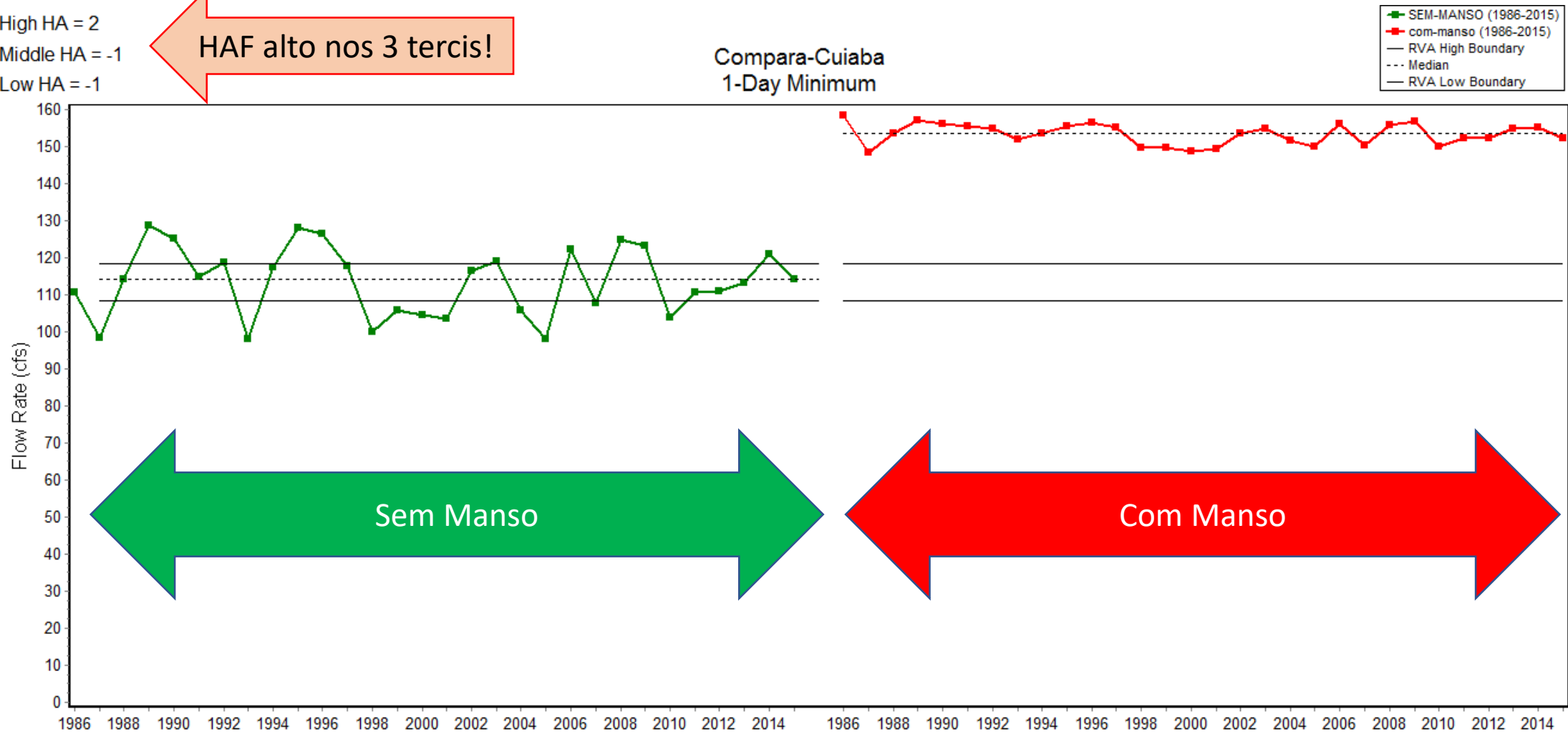


# Impacto de Manso sobre vazões mínimas de 1 dia em Cuiabá

High HA = 2  
Middle HA = -1  
Low HA = -1

HAF alto nos 3 tercís!

Compara-Cuiabá  
1-Day Minimum



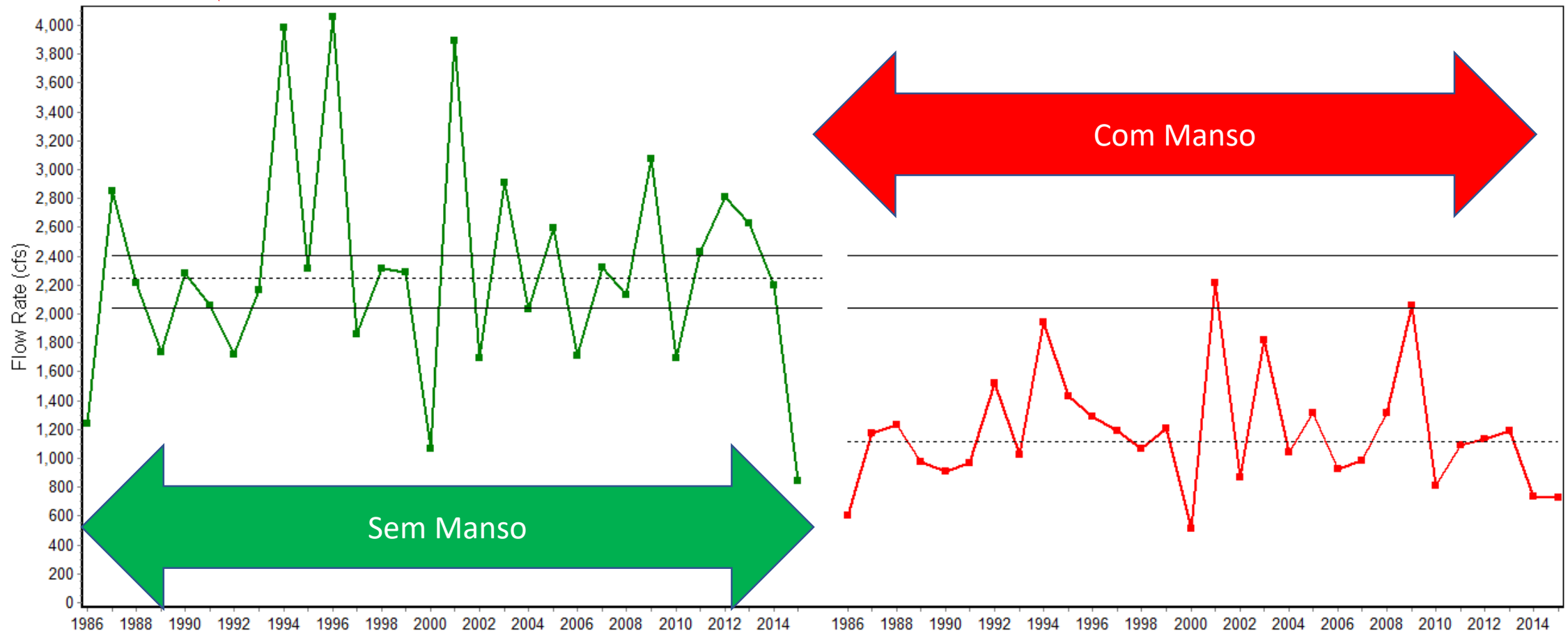
# Impacto de Manso sobre vazões máximas de 1 dia em Cuiabá

High HA = -1  
Middle HA = -0.8  
Low HA = 1.8

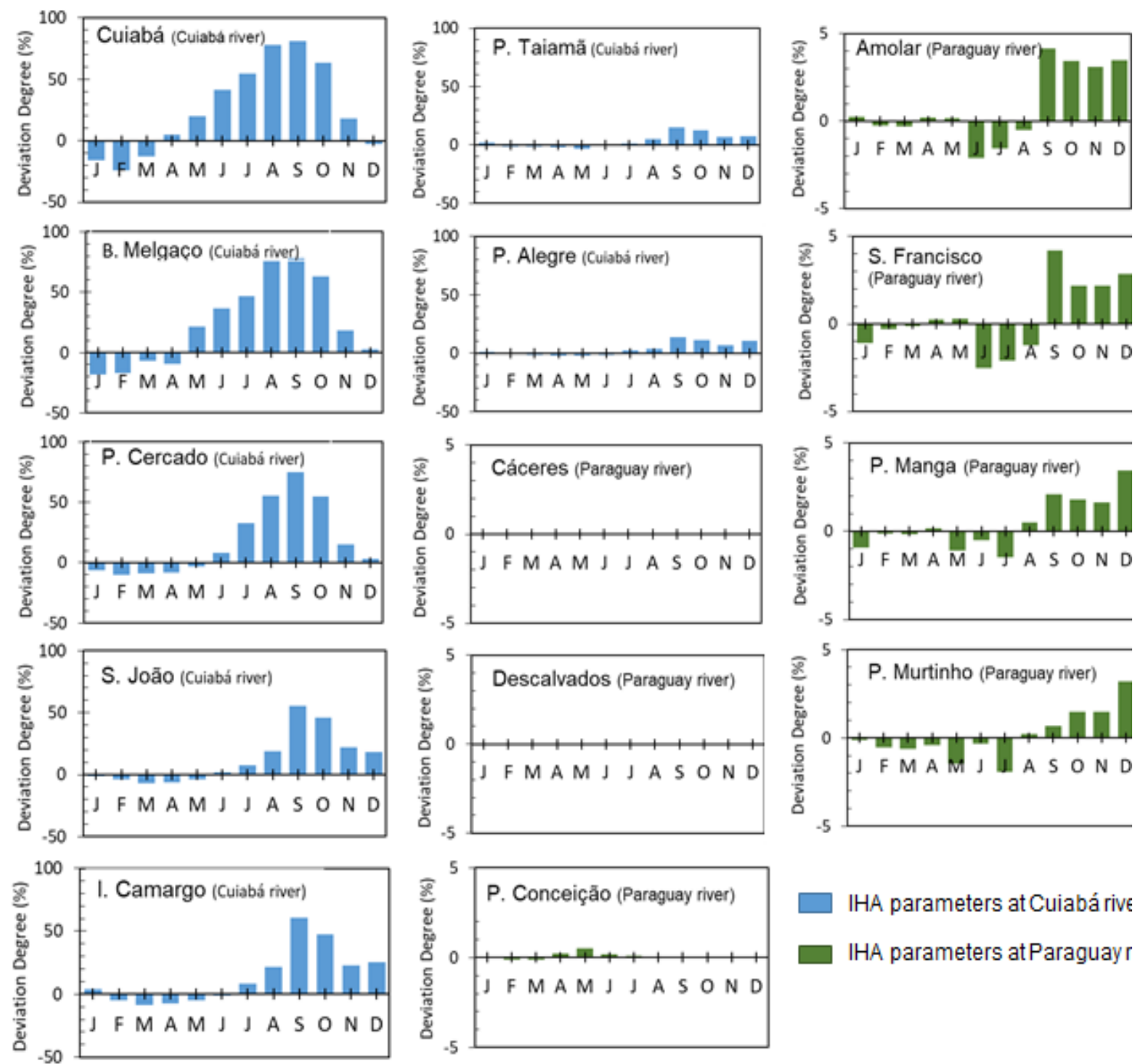
HAF alto nos 3 tercís!

Compara-Cuiaba  
1-Day Maximum

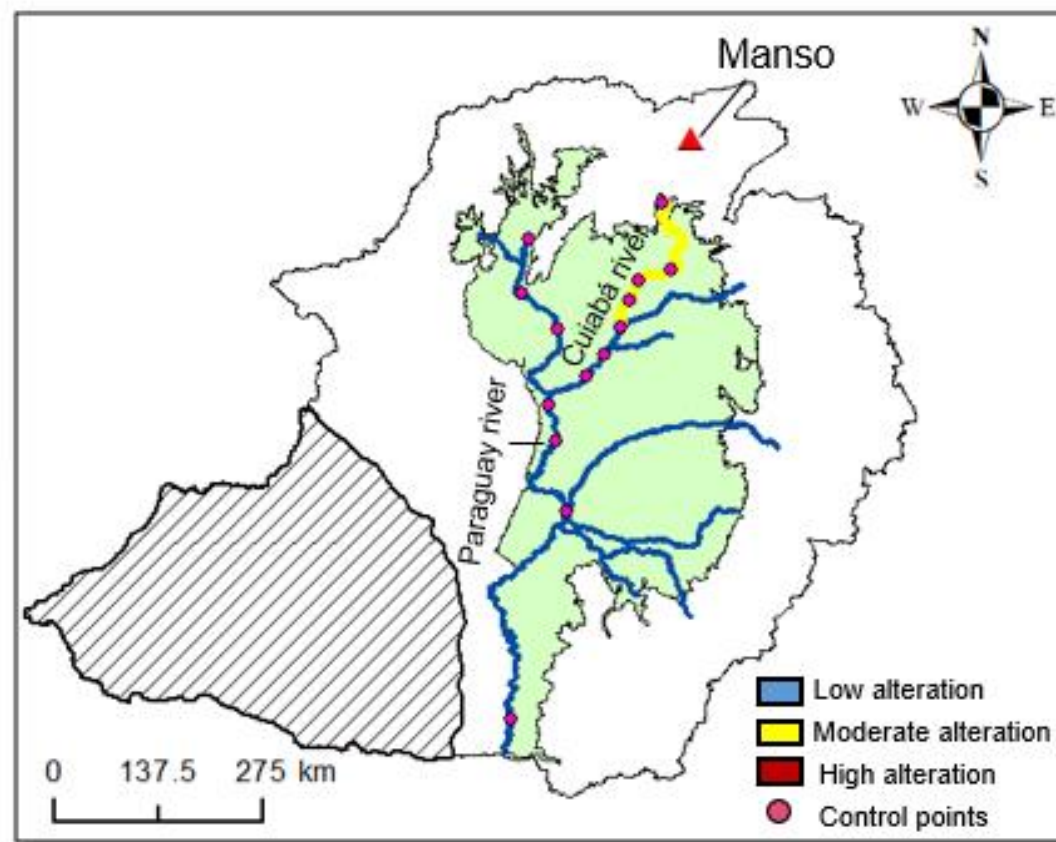
SEM-MANSO (1986-2015)  
com-manso (1986-2015)  
RVA High Boundary  
Median  
RVA Low Boundary



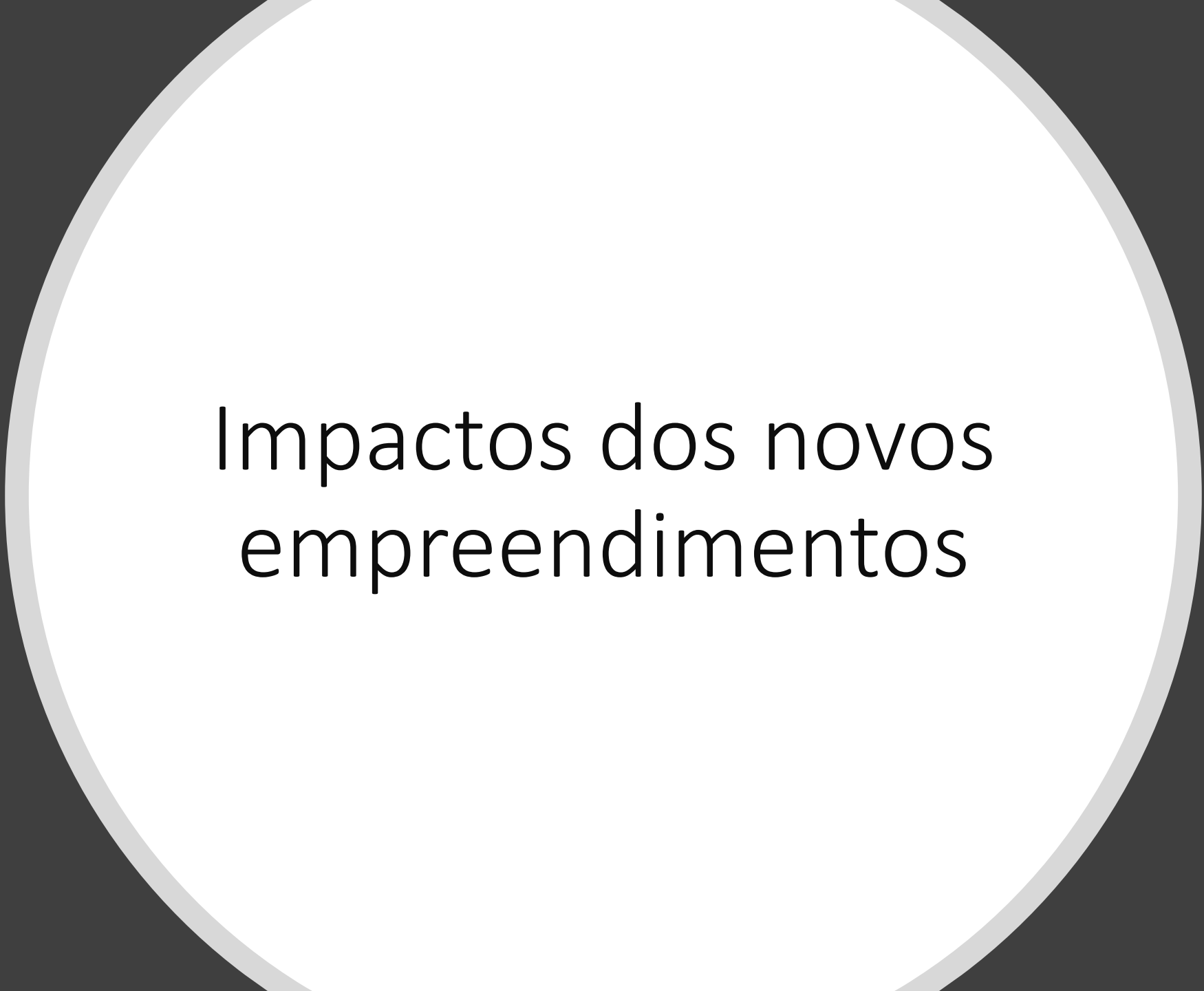
- Quanto muda a vazão média de cada mês?
- Impacto diminui com o aumento da distância da barragem, mas é perceptível até o rio Paraguai.



# Alteração Manso

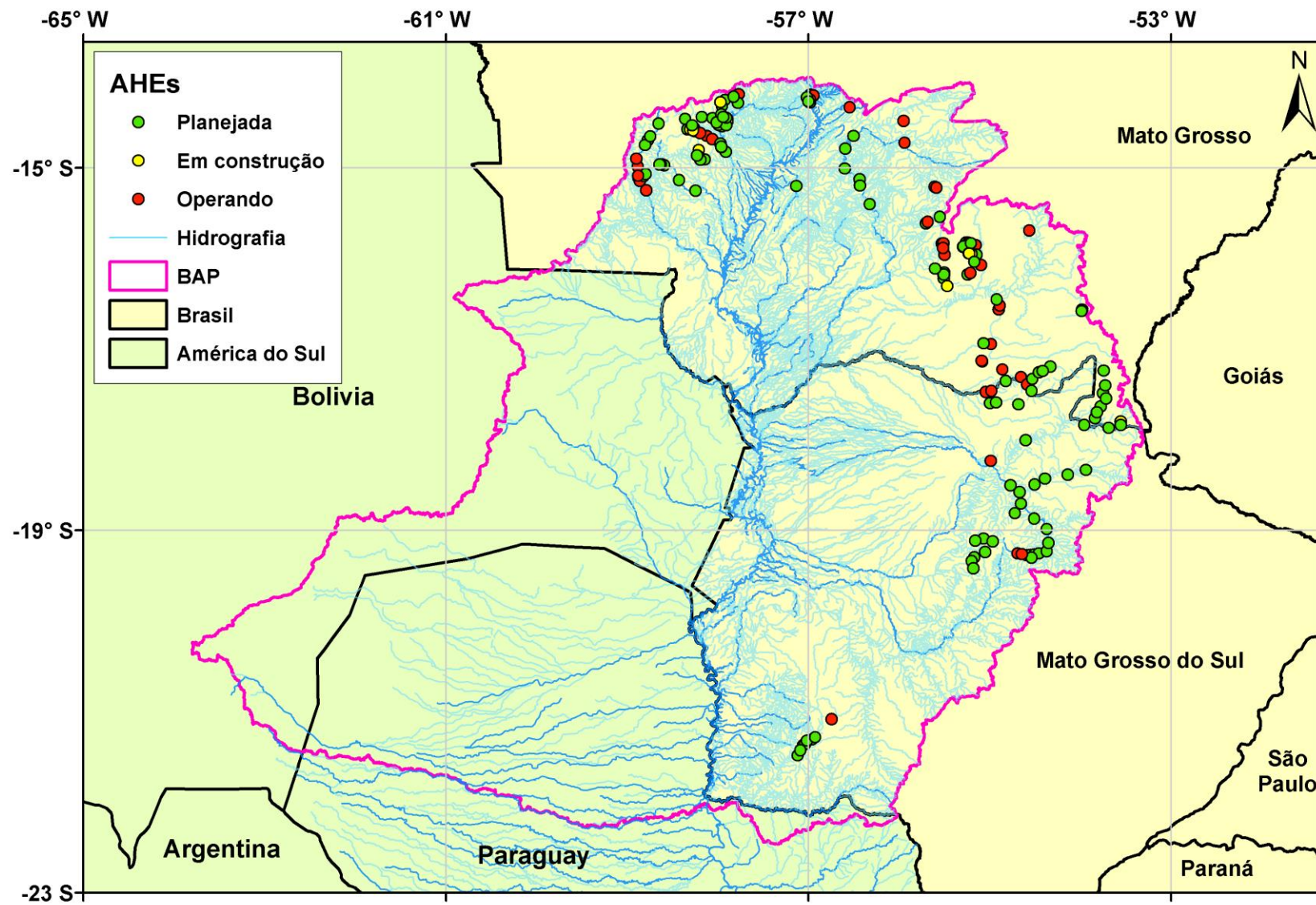


c)



# Impactos dos novos empreendimentos





# Impactos dos novos empreendimentos

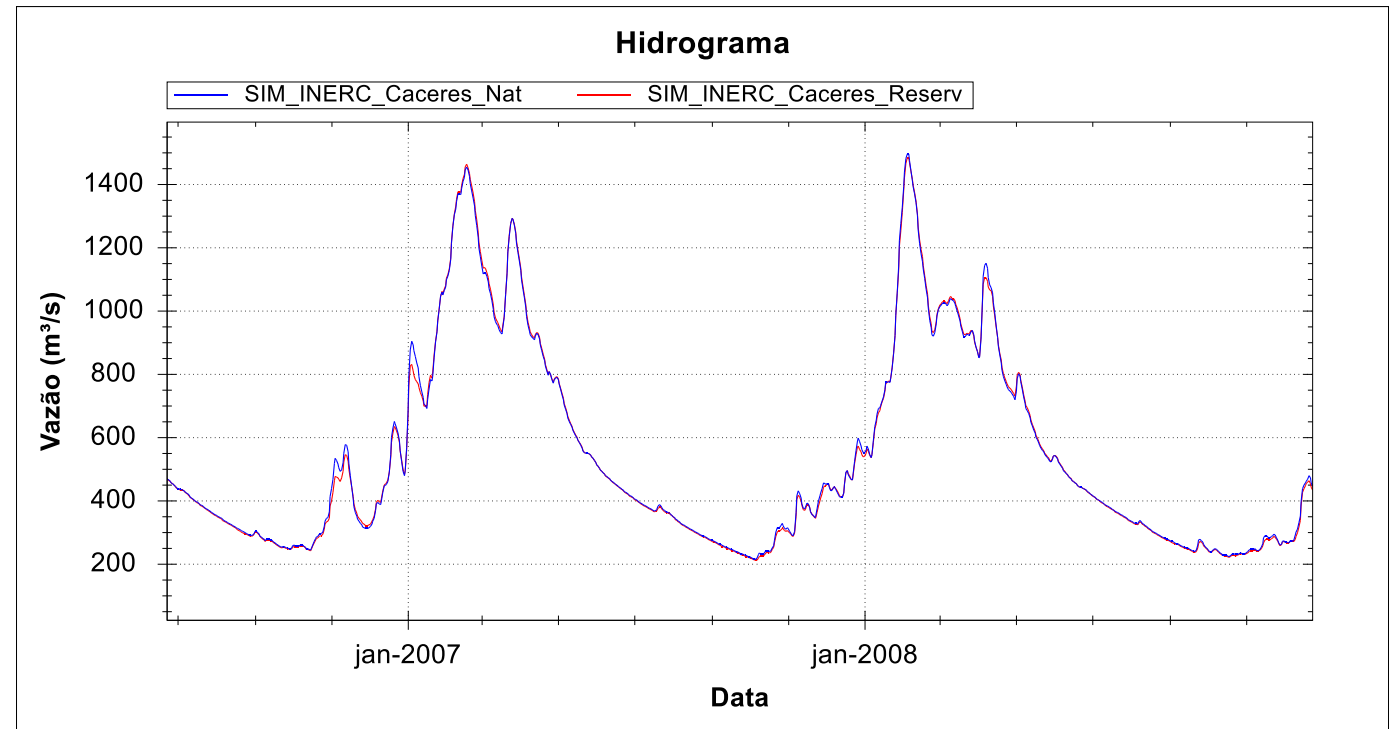
Análise em escala diária a sazonal

Análise em escala sub-diária



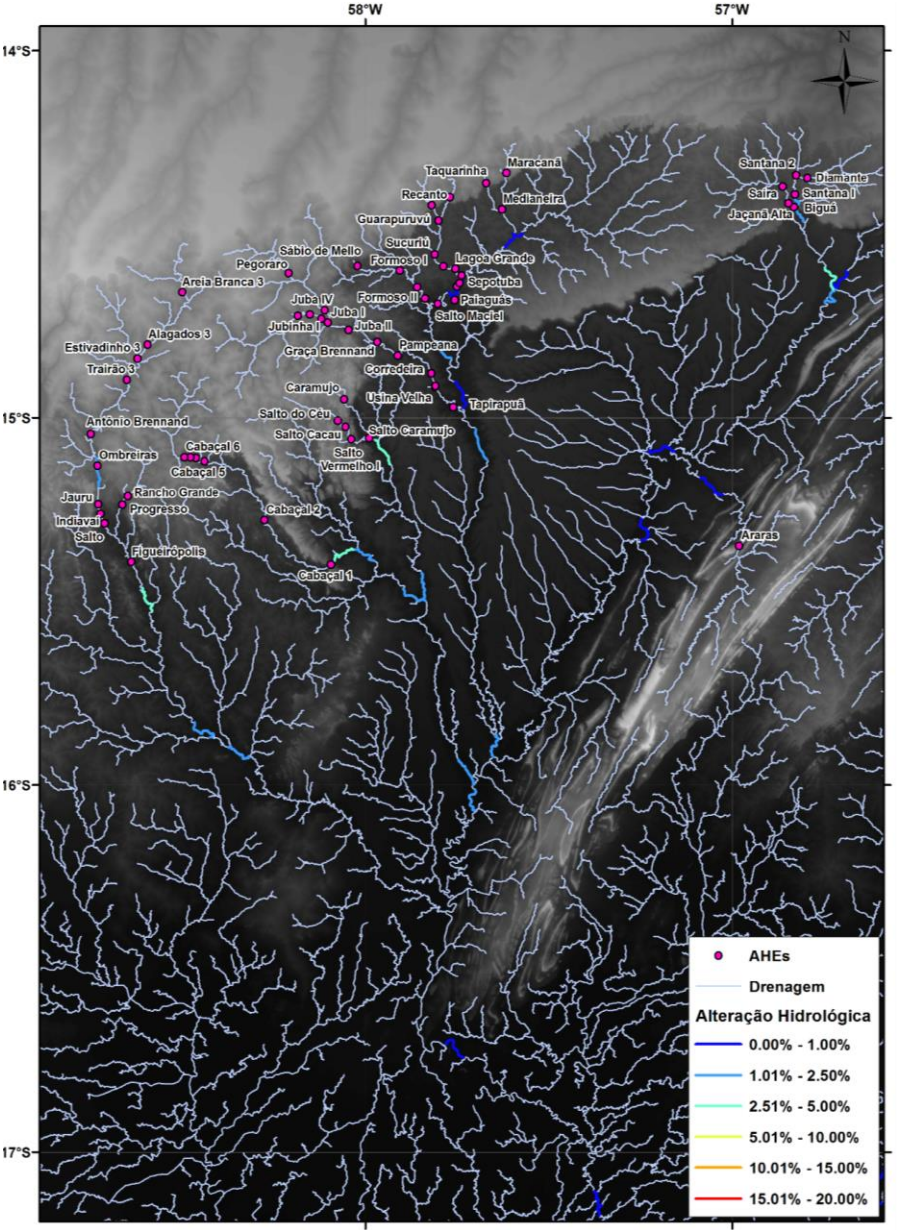
# Exemplo de resultado

- O volume útil é tão pequeno que não altera o regime
- (linha vermelha e linha azul são iguais)

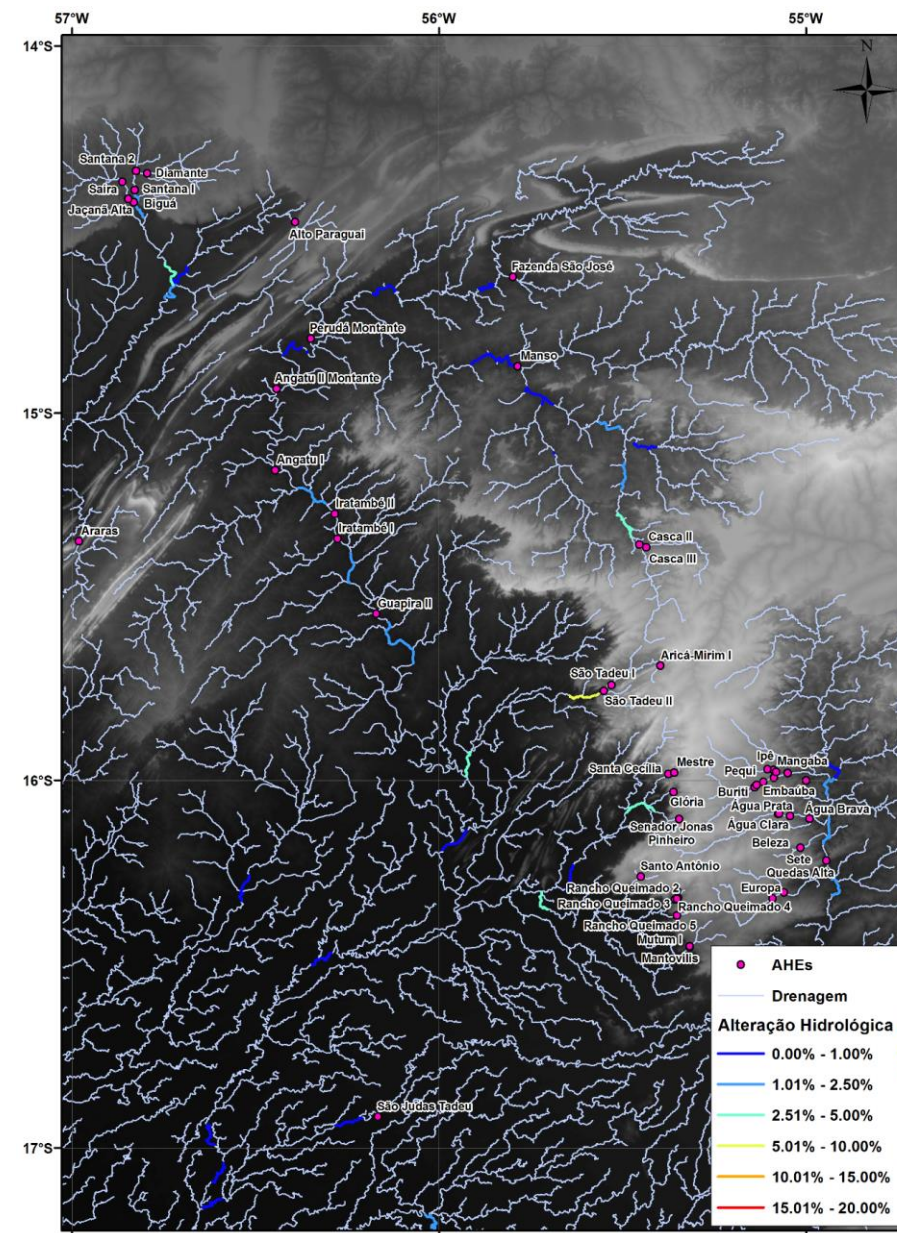


# Impacto dos novos empreendimentos

---

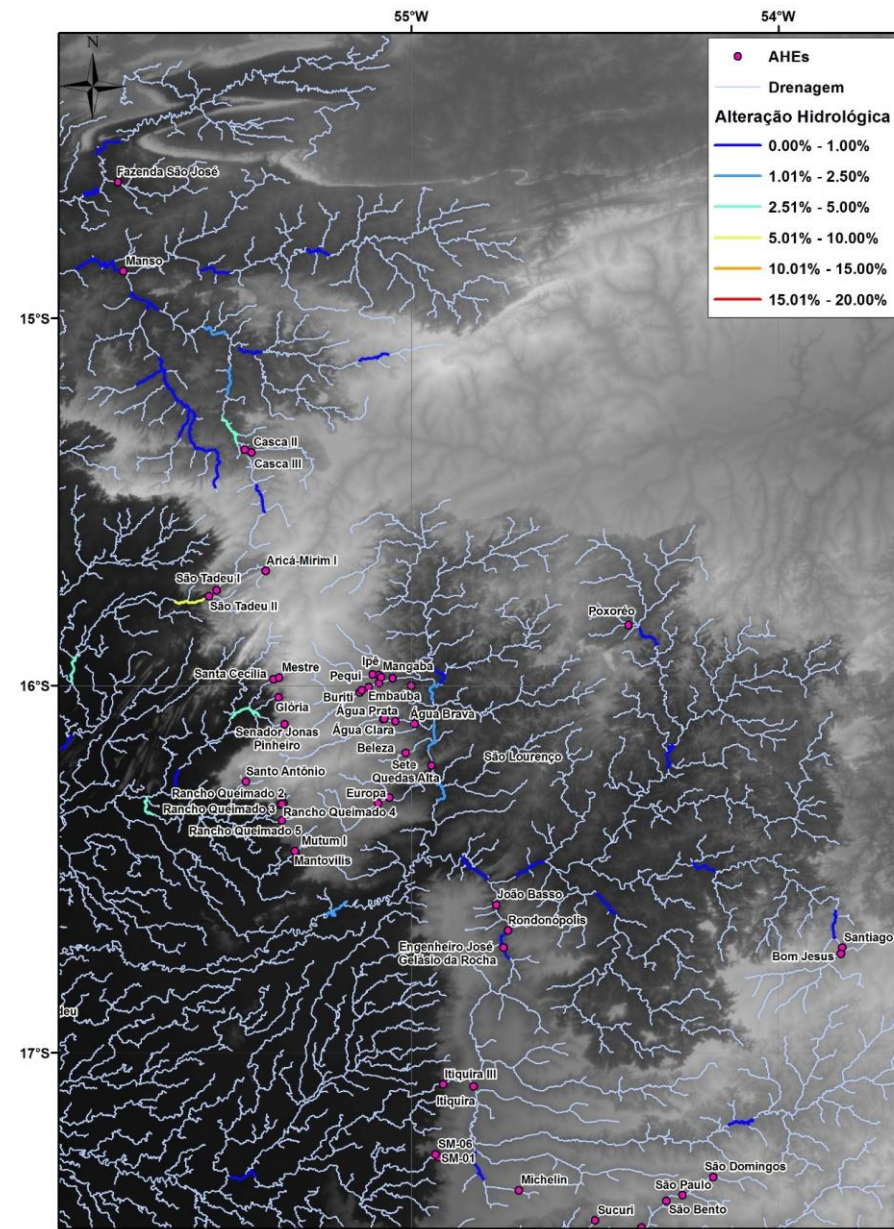


# Impacto dos novos empreendimentos

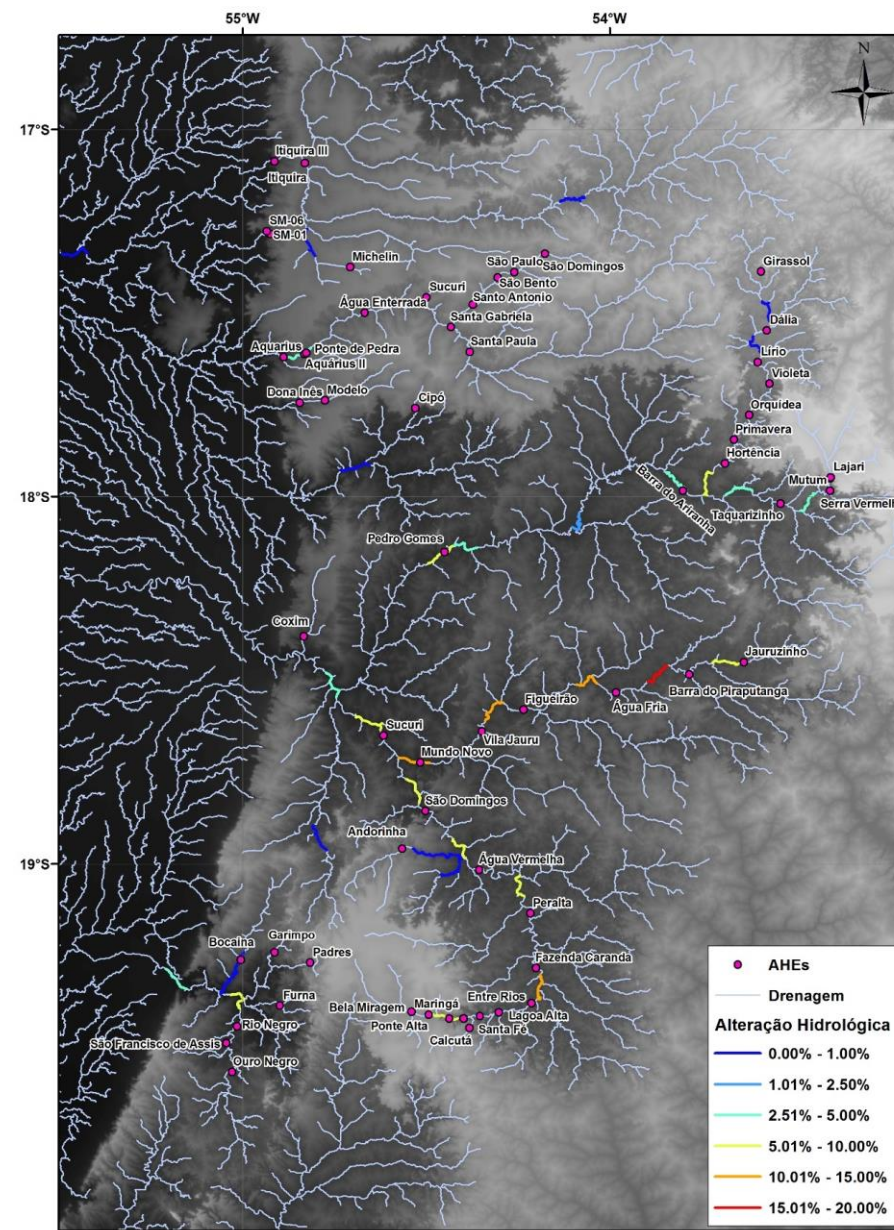




# Impacto dos novos empreendimentos



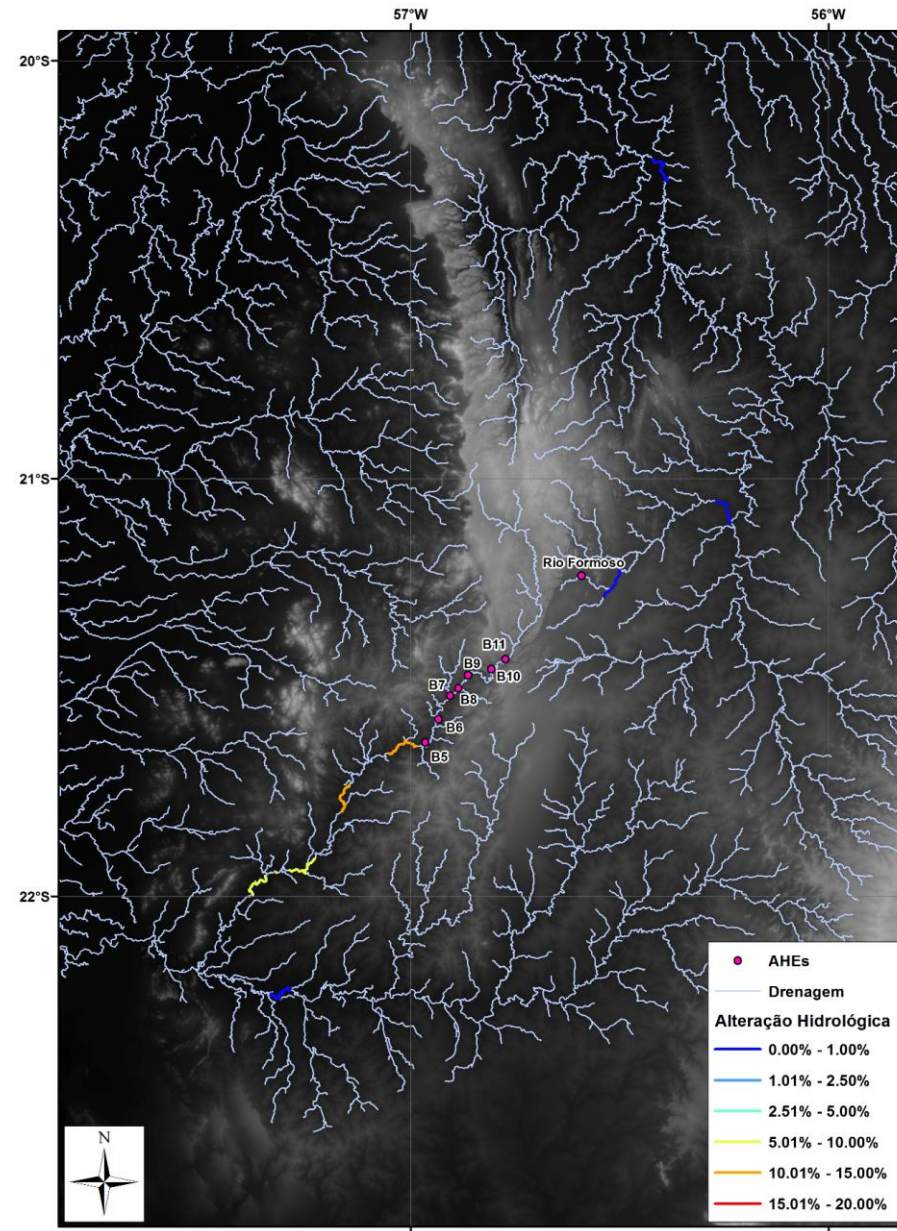
# Impacto dos novos empreendimentos





# Impacto dos novos empreendimentos

---



# Alteração hidrológica por região

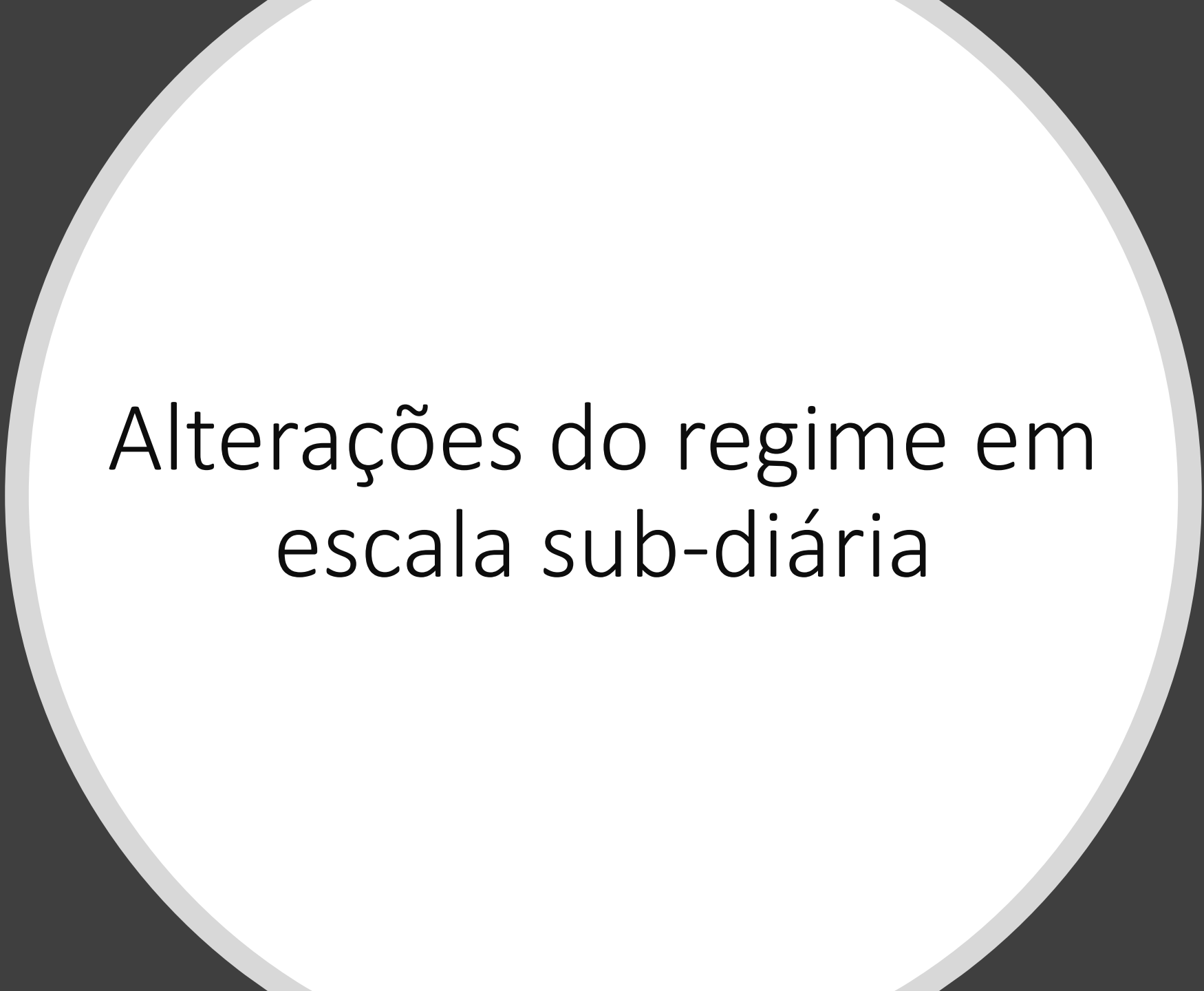
Rio	Posto fluviométrico	Alteração hidrológica (%)
Rio Cuiabá	Cuiabá	0,99
	Barão de Melgaço	1,35
	Porto Cercado	0,45
	São João	0,51
	Ilha Camargo	0,46
	P. Taiamã	0,43
	P. Alegre	0,41
Rio Jauru	Porto Espiridião	0,34
Rio São Lourenço	A. C. Grande	0,34
	SJ Borireu	0,33
Rio Piquiri	São Jeronimo	0,83
	SJ Piquiri	1,12
Rio Taquari	Coxim	4,39
	São Gonçalo	3,36
	P. Rolom	1,95
Rio Negro	P. Bocaína	2,60
	F. Rio Negro	0,60
Rio Aquidauana	Aquidauana	0
	P. Ciriaco	0
Miranda	Miranda	0
	T. Fogo	0
Rio Paraguai	Cáceres	1,16
	Descalvados	0,62
	P. Conceição	0,92
	Amolar	0,42
	São Francisco	0,83
	Porto da Manga	0,82
	Porto Murtinho	0,23

## Conclusão sobre alteração de regime

As usinas projetadas não tem volume suficiente para modificar o regime hidrológico em escala diária ou sazonal.

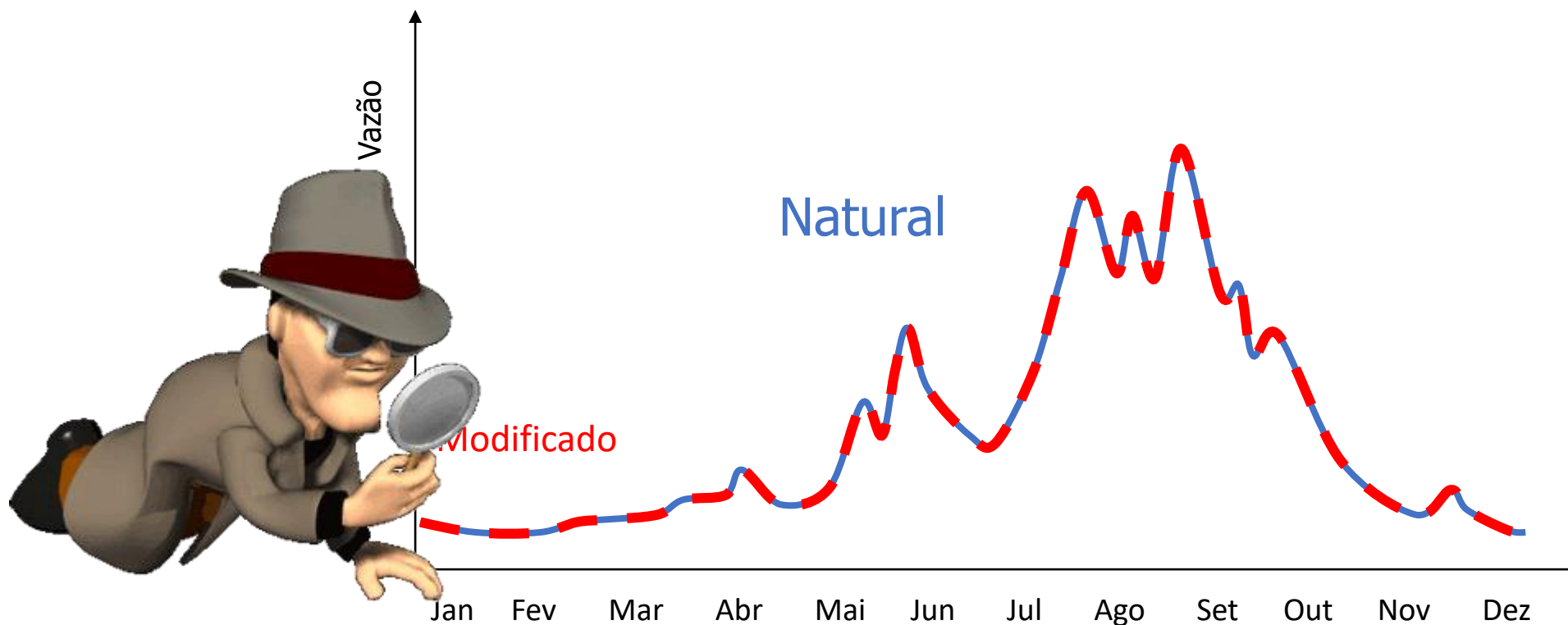
E a escala temporal mais detalhada? O que ocorre em intervalos de tempo de horas?





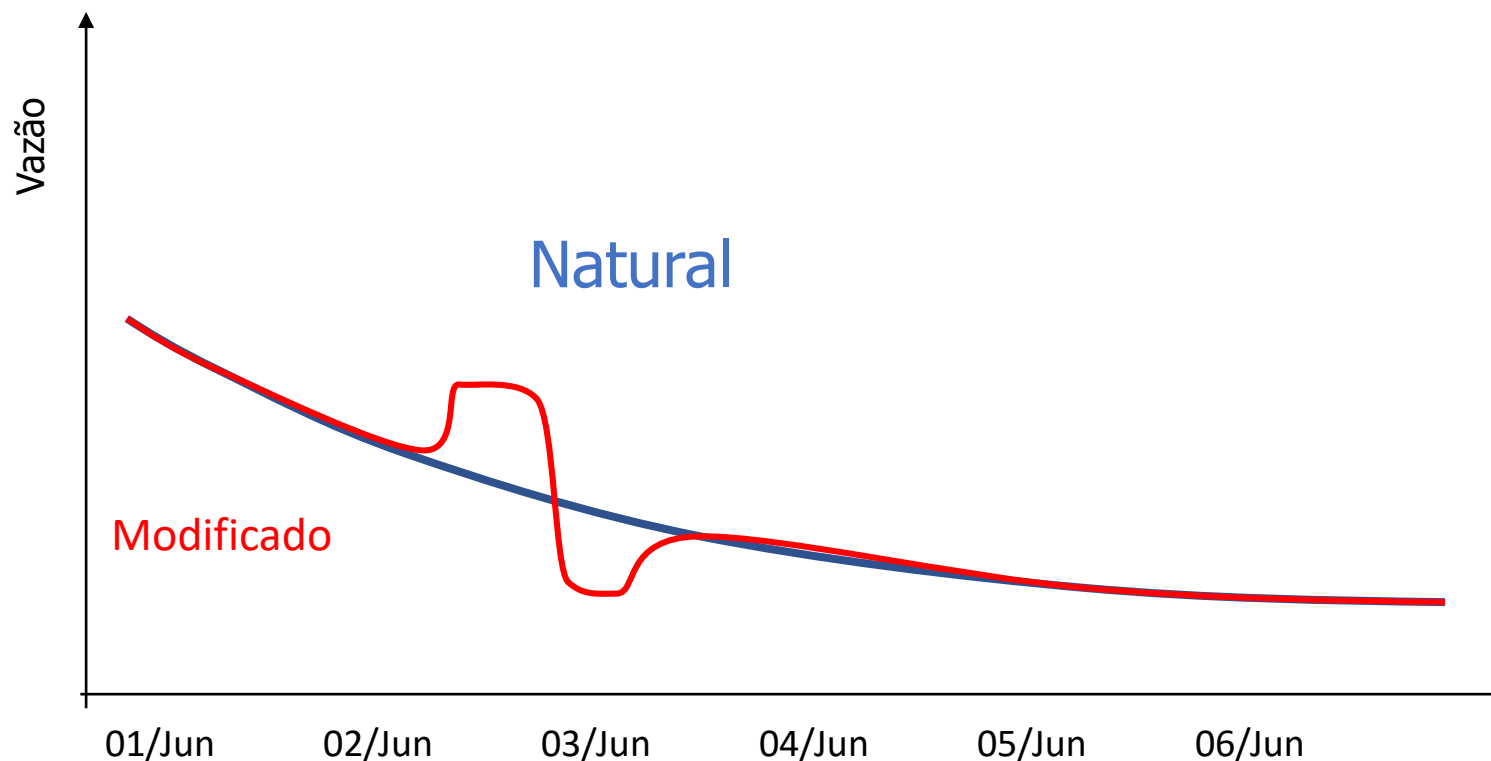
Alterações do regime em  
escala sub-diária

# Alterações de regime: Reservatório volume útil zero (fio d'água)

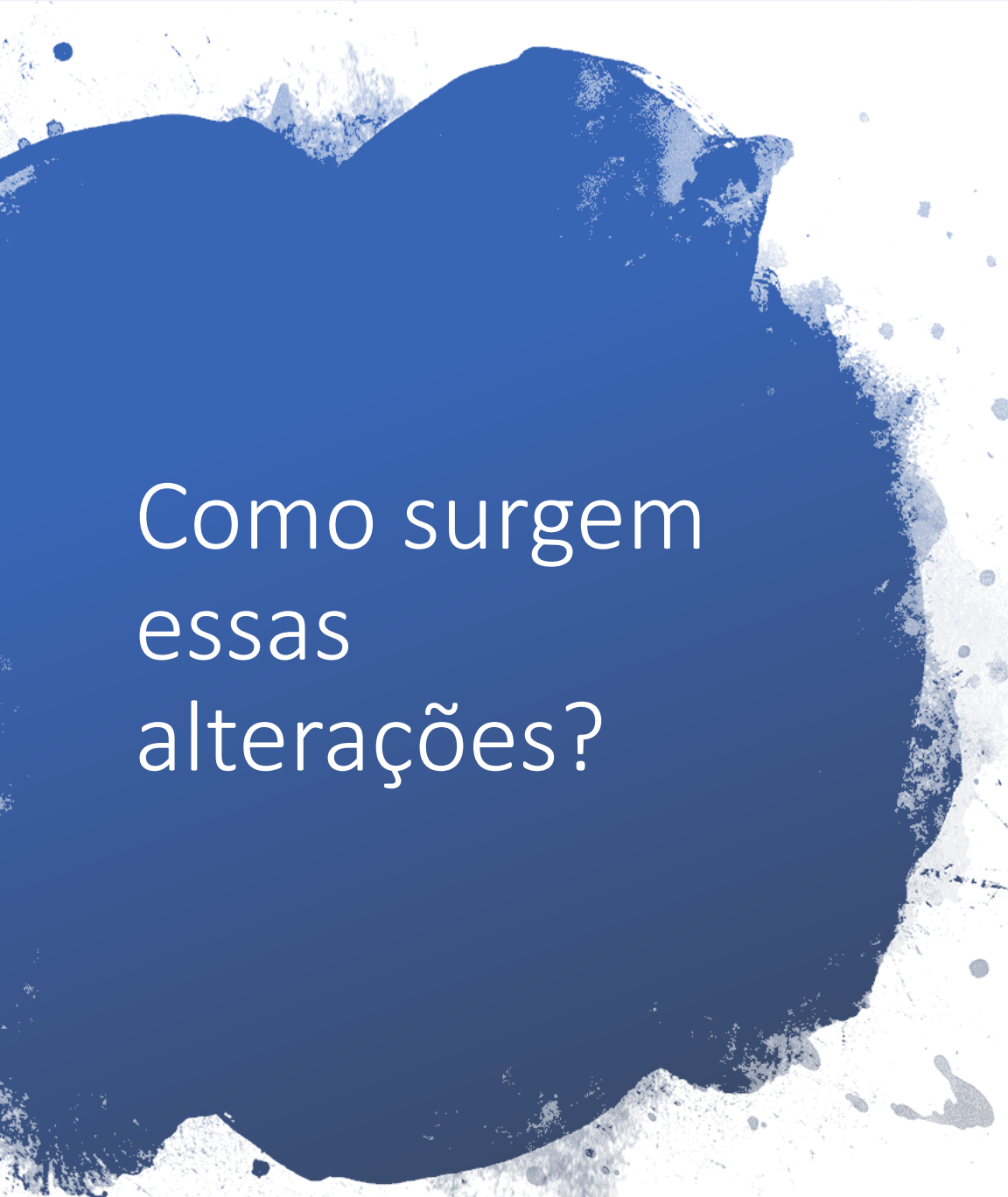


Olhando com atenção em alguns momentos podem ocorrer alterações importantes, em escala sub-diária!

## Alterações de regime: Reservatório volume útil zero (fio d'água)



Alterações importantes, em escala sub-diária, especialmente no período de estiagem.

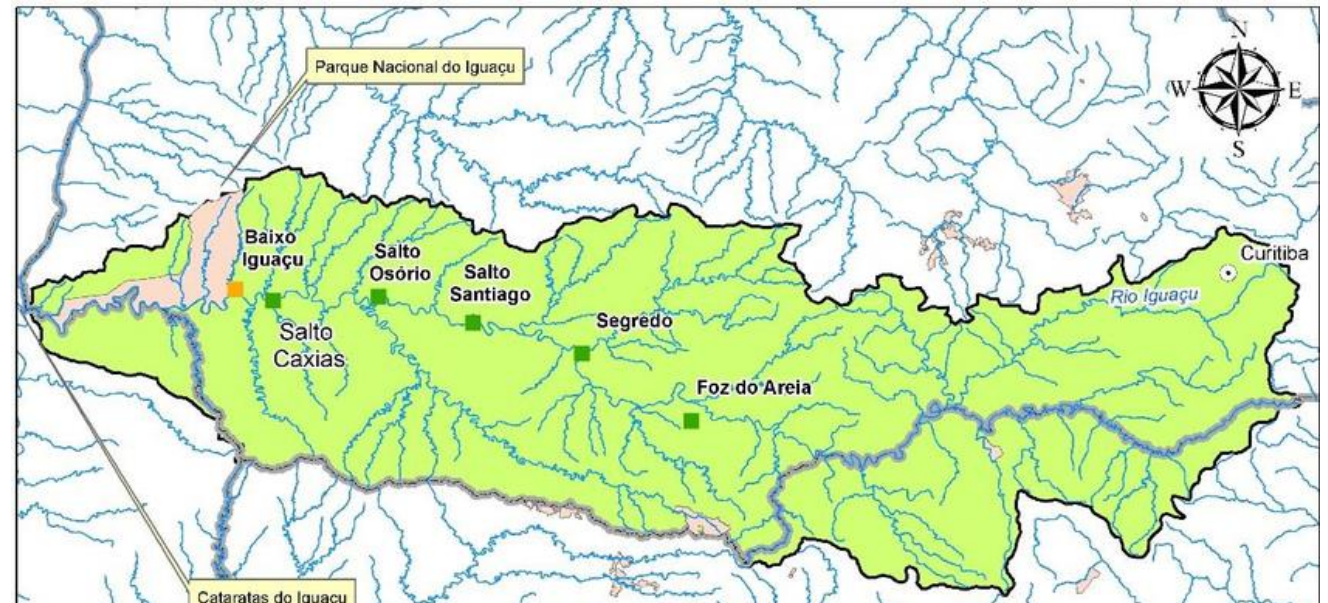
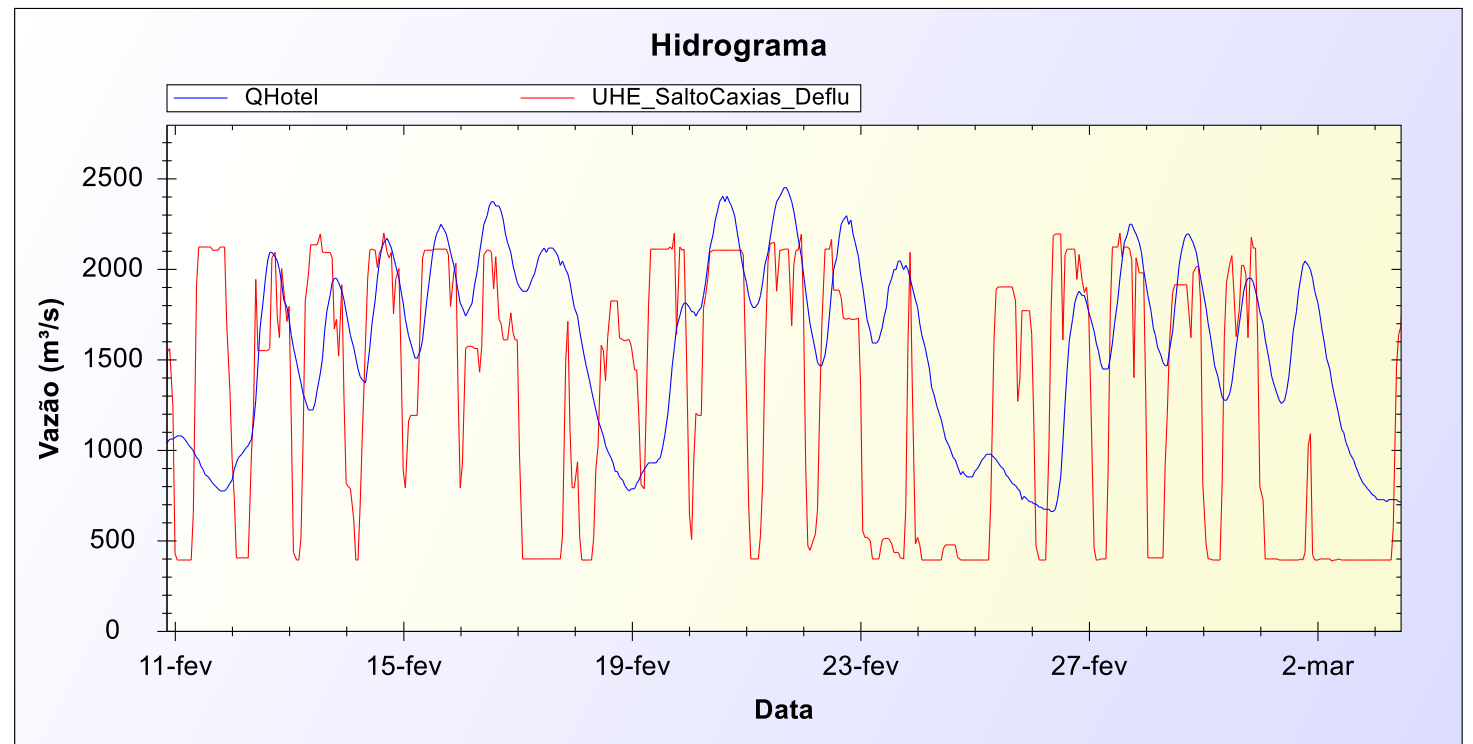


# Como surgem essas alterações?

- Mesmo com pequeno volume útil as alterações no regime podem surgir em situações como:
  - a) Operações de flushing de sedimentos, em que o reservatório é propositalmente esvaziado durante algumas horas.
  - b) Usina com trecho de vazão reduzida (TVR) quando a vazão defluente total é mantida constante, mas se alterna entre vazão turbinada e vazão vertida, ou descarregada na barragem.
  - c) Produção de energia em pico, com redução de níveis no reservatório;
  - d) Outras situações.

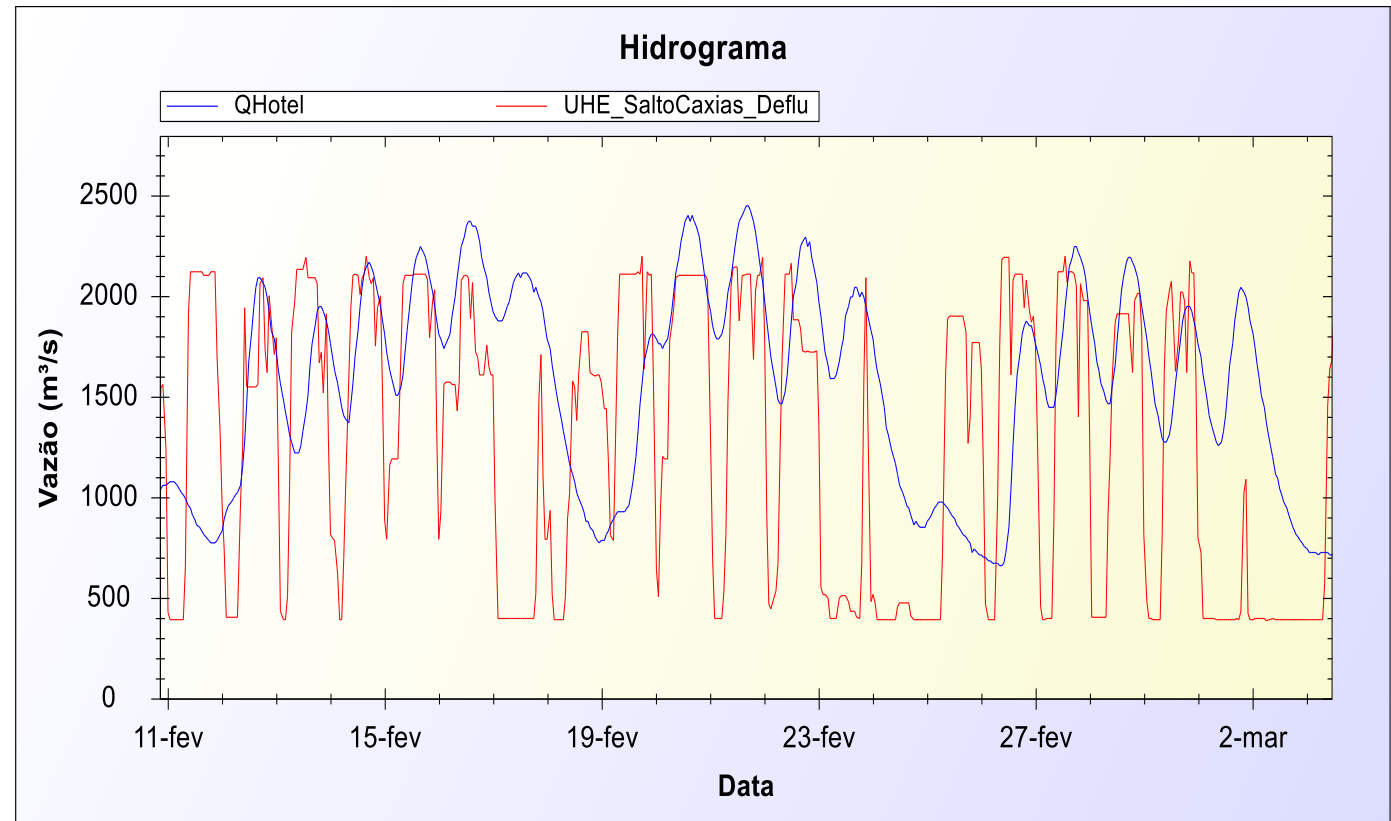
# Hydropeaking

- Hidrogramas de vazão defluente total da Usina Hidrelétrica Salto Caxias e do posto fluviométrico Hotel Cataratas, localizado 190 km a jusante, no rio Iguaçu (PR), ao longo de três semanas no ano de 2008.



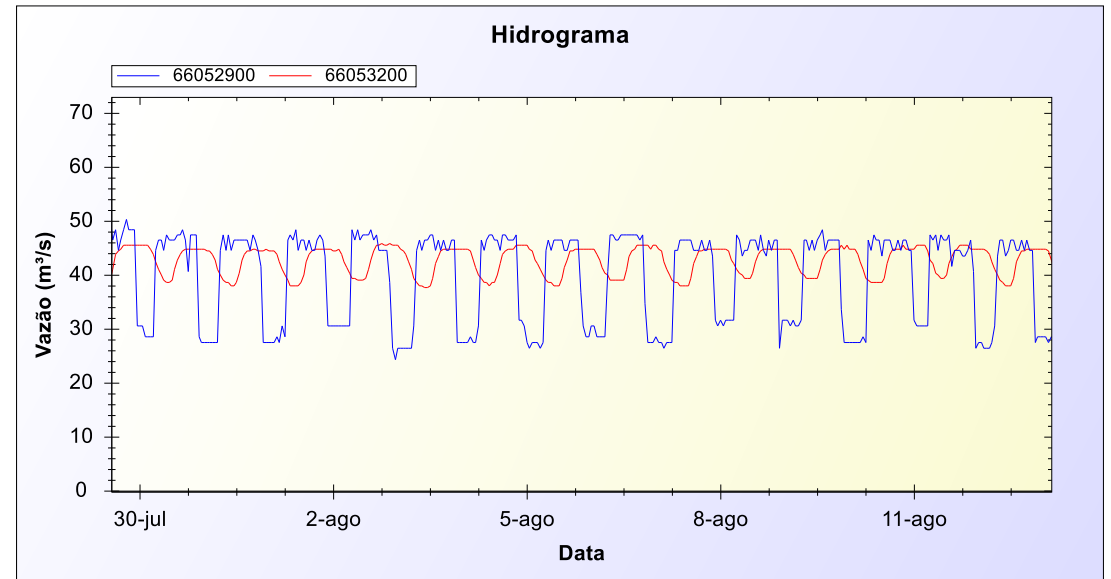
# Hydropeaking no rio Iguaçu

- As vazões defluentes da usina hidrelétrica de Salto Caxias variam entre  $400 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , aproximadamente, até cerca de  $2000 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ , diariamente.
- O aumento da vazão ocorre em cerca de 4 ou 5 horas, e ocorre preferencialmente pela manhã, entre as 7 e 10 horas, aproximadamente.
- A redução da vazão inicia entre as 21 e 23 horas de um dia e se encerra entre as 2 e 4 horas da madrugada do dia seguinte.
- A vazão permanece alta durante cerca de 10 a 12 horas, e permanece baixa durante 5 a 7 horas.
- Este padrão é repetido quase diariamente, exceto nos fins de semana, quando o consumo de energia menor não justifica os aumentos de vazão, e a vazão defluente permanece mais baixa, ou apresenta apenas oscilações menores e menos duradouras.



# Hydropeaking no rio Juba (afluente Sepotuba)

- A jusante da PCH Pampeana no rio Juba também pode ser observado o Hydropeaking



# Impactos do Hydropeaking

## Regime afetado pelo Hydropeaking

1. vazão de base relativamente baixa, quando não é necessário produzir energia hidrelétrica;
2. bruscas variações na vazão, quando a geração de energia está aumentando ou diminuindo
3. vazões de pico relativamente altas durante os períodos de máxima geração de energia.

Estes aspectos não são comuns em regimes hidrológicos naturais, por esse motivo poucas espécies nativas têm flexibilidade para se adaptar.

## Impactos

- Sobre plantas (Bejarano et al., 2017);
- Sobre a produção primária (Hall et al., 2015);
- sobre invertebrados bentônicos (Kjærstad et al., 2018);
- Sobre insetos aquáticos (Kennedy et al., 2016)
- encalhe de ovos, larvas e peixes adultos (Casas-Mulet et al., 2015),
- afetam a velocidade de crescimento de peixes (Finch et al., 2015)
- diminuem a chance de sobrevivência de larvas (Lagarde et al., 2018).
- Também no Brasil, estudos tem demonstrado impactos do hydropeaking sobre o meio ambiente (Gandini et al., 2014; Castro et al., 2011).



# Metodologia de análise na BAP

- Solução analítica para a equação:

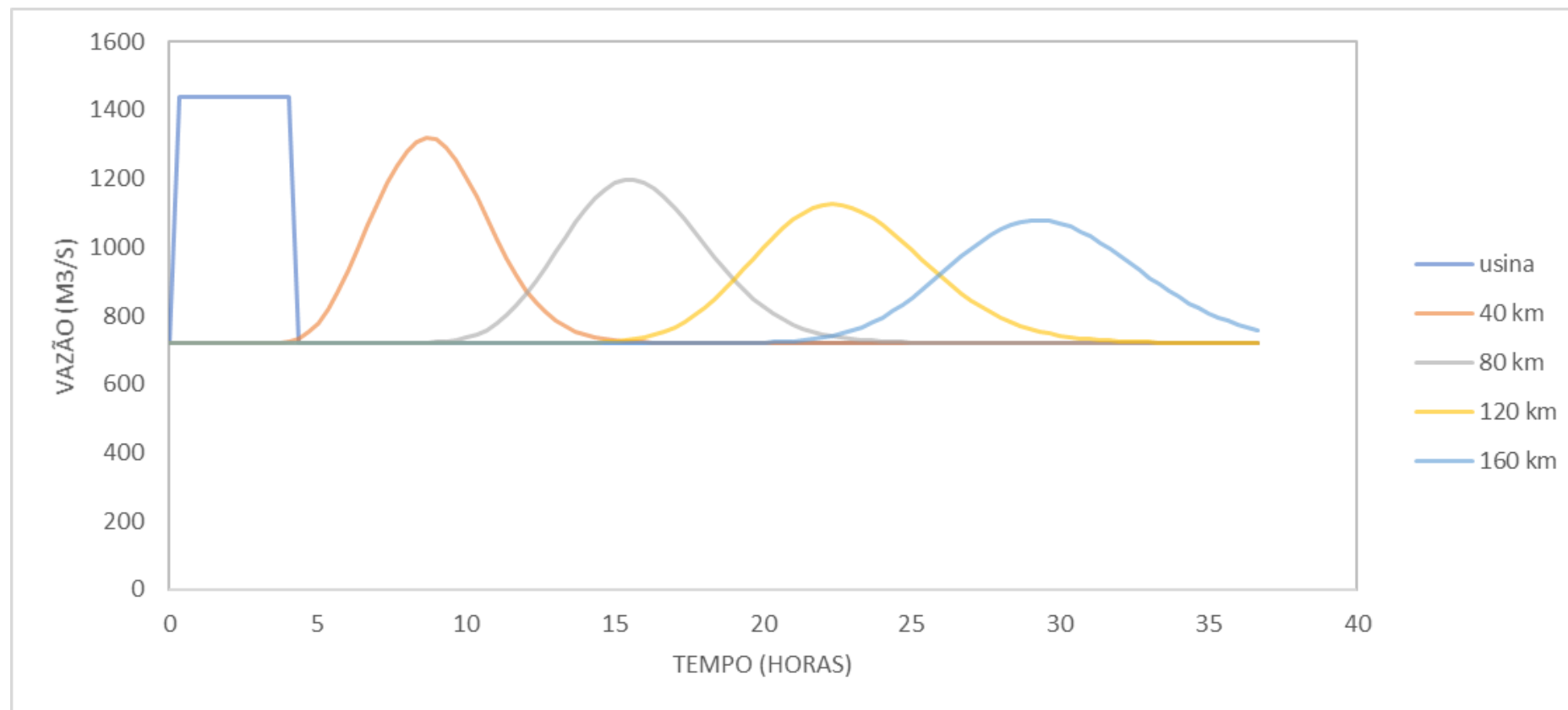
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}$$

- É dada por:

$$\Delta Q_x = \frac{\Delta Q_B}{2} \left\{ \left[ \operatorname{ERFC} \left( \frac{x - C \cdot t}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}} \right) - \operatorname{ERFC} \left( \frac{x - C \cdot (t - T_d)}{2 \cdot \sqrt{D \cdot (t - T_d)}} \right) \right] + e^{\frac{C \cdot x}{D}} \cdot \left[ \operatorname{ERFC} \left( \frac{x + C \cdot t}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}} \right) - \operatorname{ERFC} \left( \frac{x + C \cdot (t - T_d)}{2 \cdot \sqrt{D \cdot (t - T_d)}} \right) \right] \right\}$$

$$\operatorname{ERF}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-w^2} dw$$

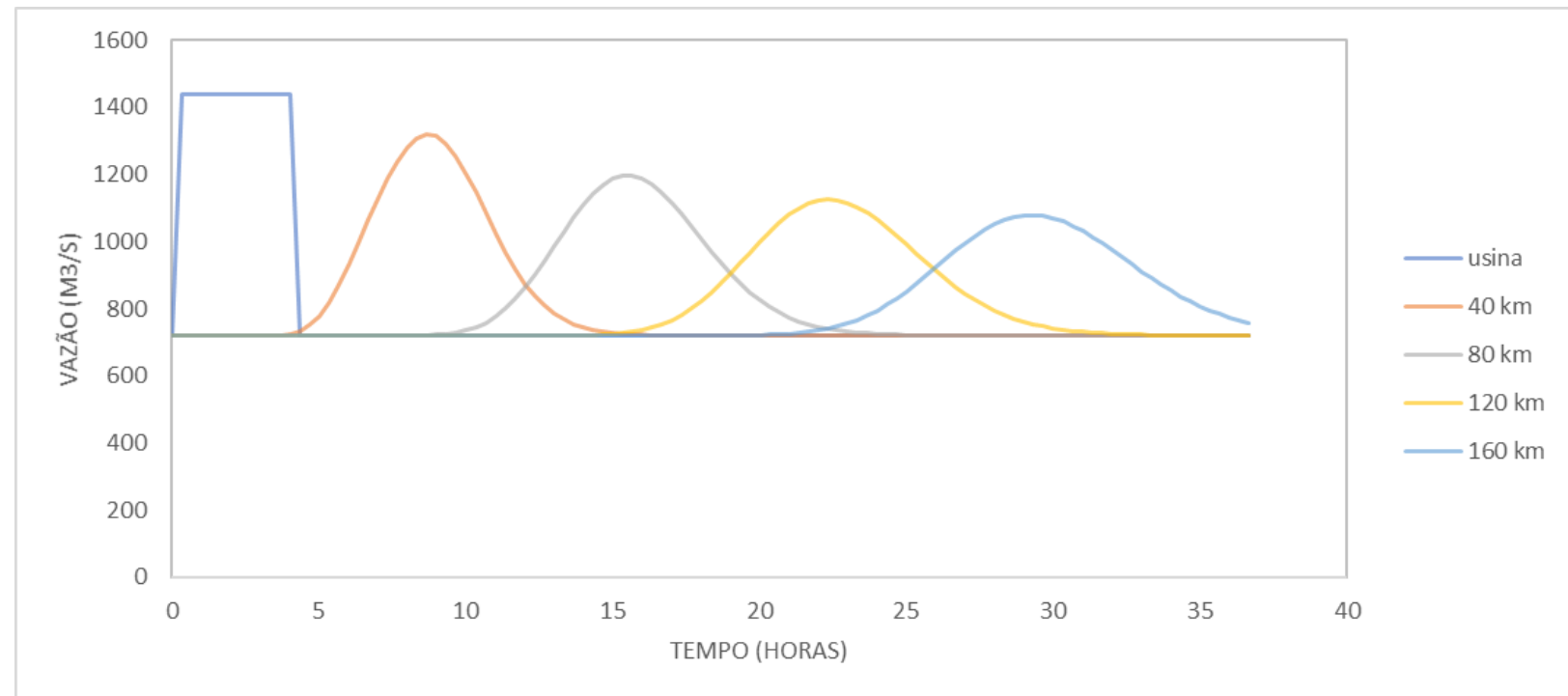
# Que no mundo real é:



# Como avaliar a alteração do regime?

- *Fator de alteração é a relação entre a amplitude da alteração e a vazão original no trecho:*

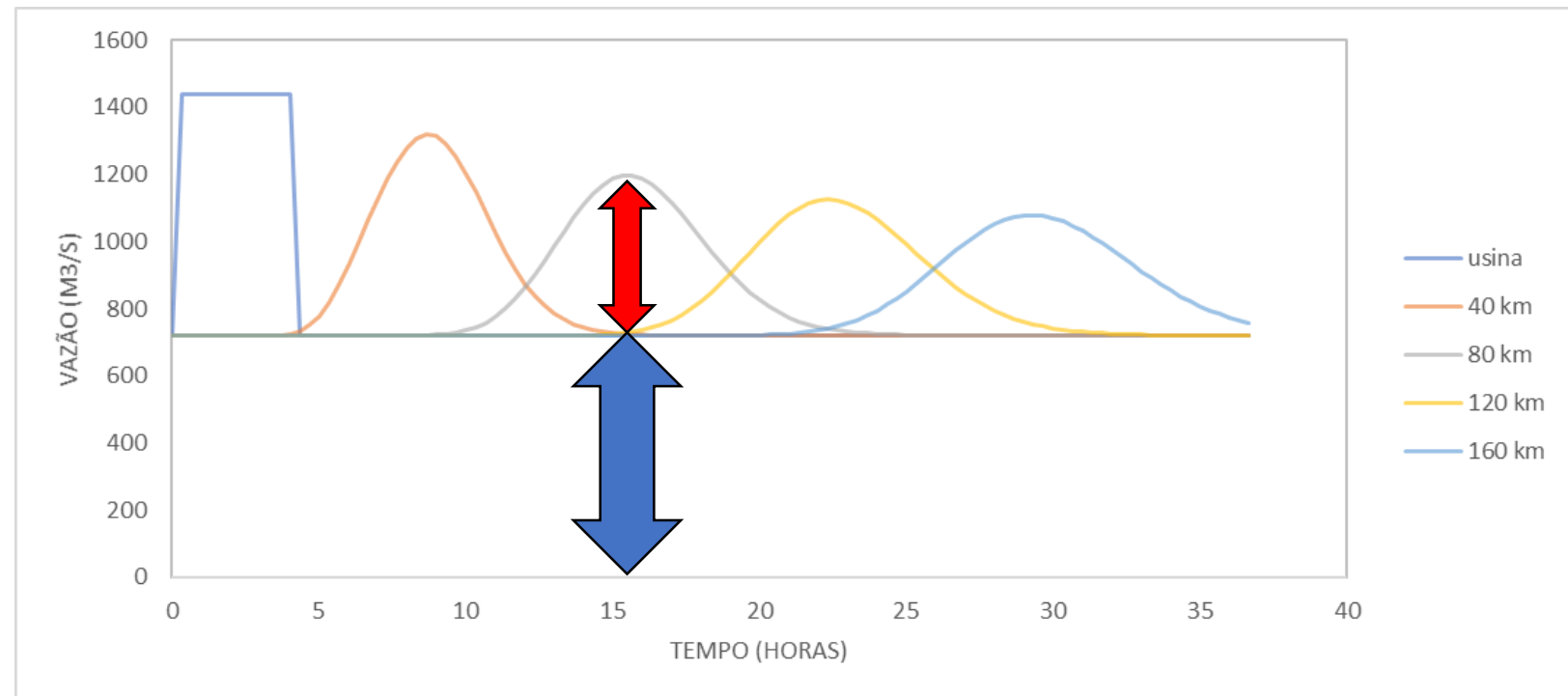
$$F_{SD} = \frac{\Delta Q_x}{Q_x}$$



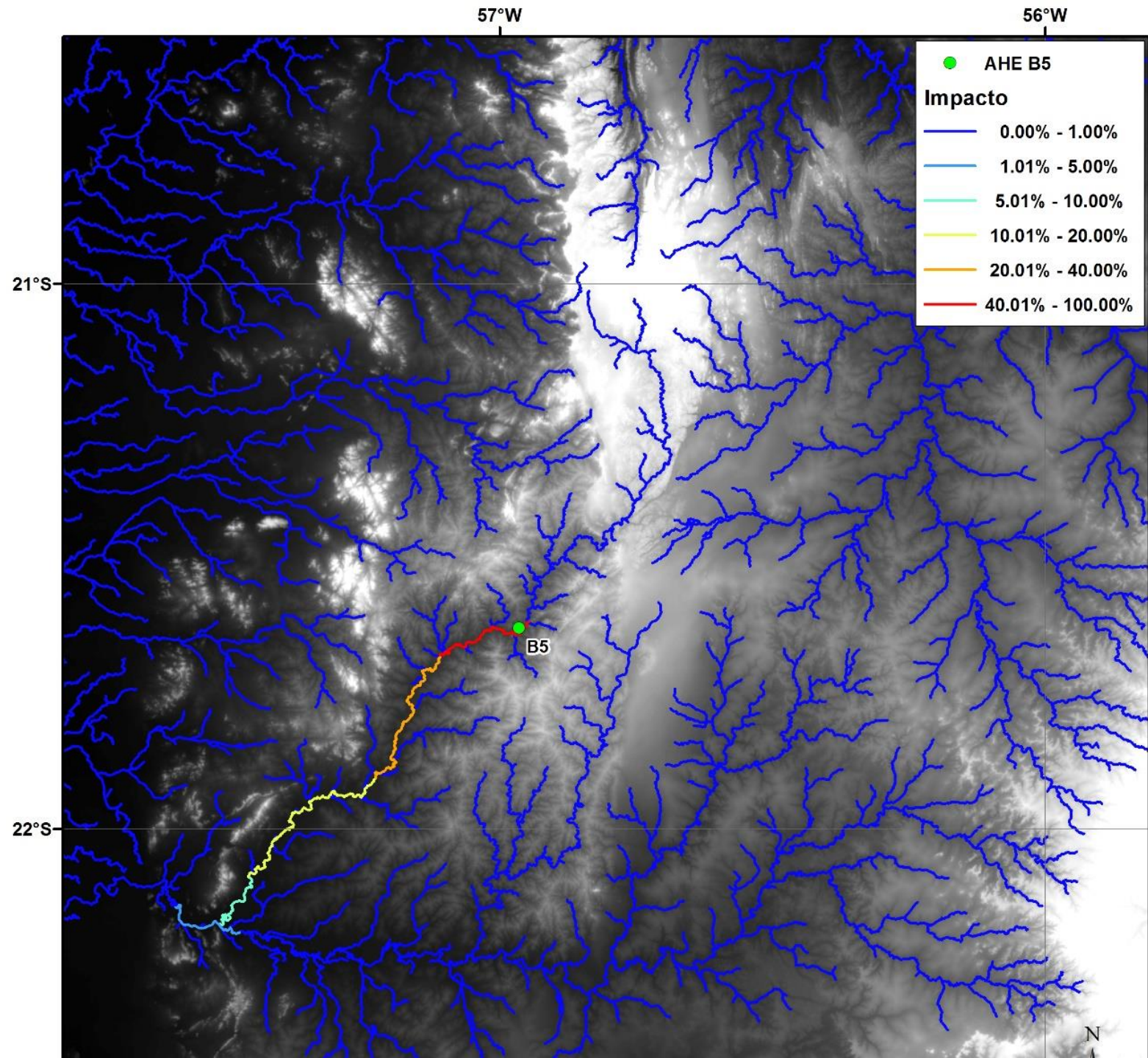
# Como avaliar a alteração do regime?

- *Fator de alteração é a relação entre a amplitude da alteração e a vazão original no trecho:*

$$F_{SD} = \frac{\Delta Q_x}{Q_x}$$



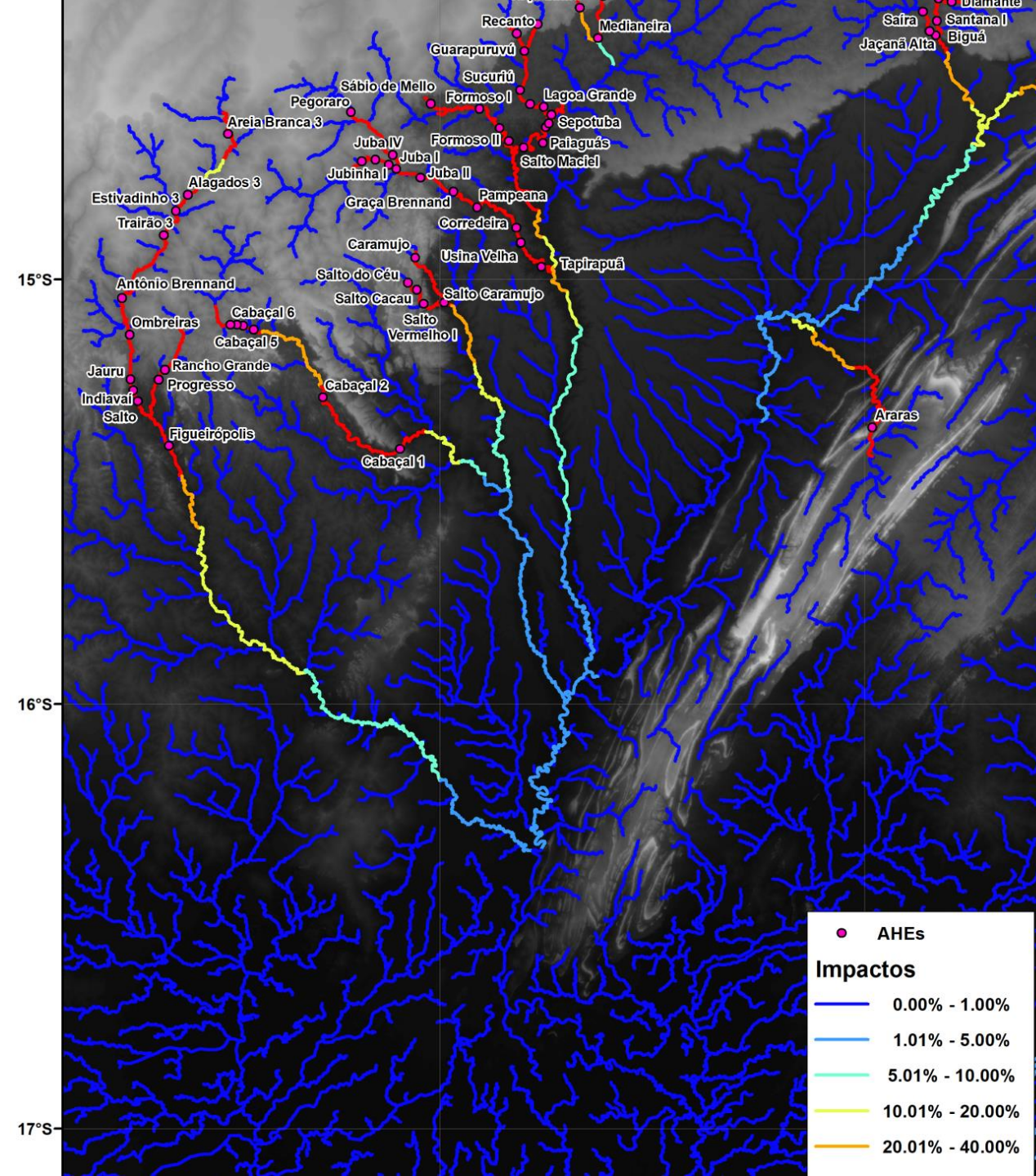
# Rio Perdido





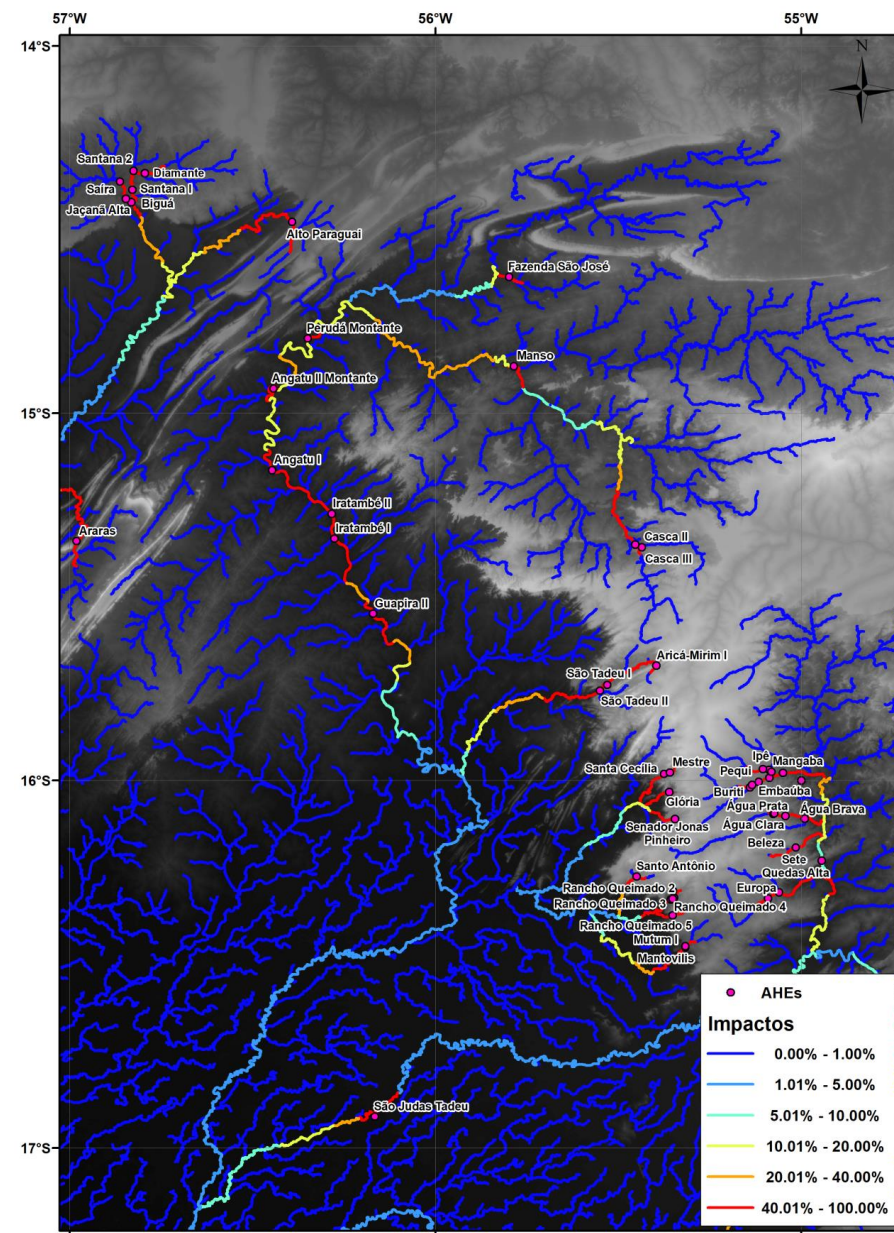
# Rio Paraguai

- Perturbações podem se propagar por 100 km ou até mais



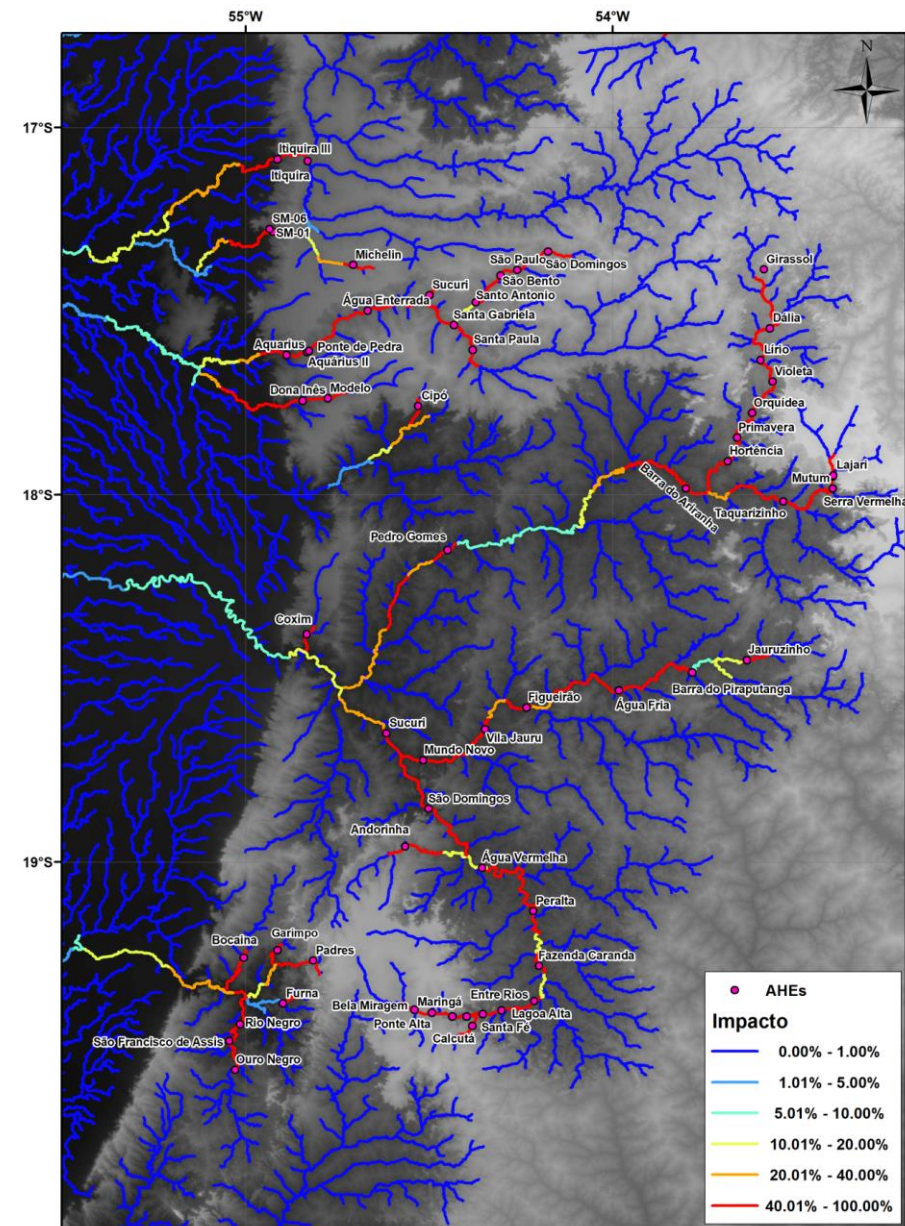


# Rio Cuiabá e São Lourenço





# Rio Taquari



# Conclusões

- O impacto das barragens projetadas sobre o regime hidrológico em escala diária pode ser relevante em curtos trechos do rio imediatamente a jusante do barramento, mas se atenua para jusante, sendo praticamente imperceptível na maior parte dos pontos de transição entre o Planalto e o Pantanal.
- No entanto, estas usinas podem alterar fortemente o regime hidrológico em escala temporal sub-diária, com aumentos e reduções bruscas de vazão, realizados em poucas horas durante um dia.
- Os resultados mostram que uma fração expressiva dos maiores rios da região do Planalto podem ser afetados por alterações de regime hidrológico em escala sub-diária.
- Estes efeitos tendem a se dissipar em pontos localizados a jusante das usinas, mas podem ser perceptíveis em pontos localizados mais de 100 km a jusante das barragens, em alguns casos.
- No caso do rio Cuiabá, os efeitos do hydropeaking poderiam, potencialmente, ser sentidos até o interior da planície pantaneira.