

Exceto
ônibus
autorizado

DNIT



WEBINÁRIO

01 DE OUTUBRO | 10:00

**Impacto da mudança climática
sobre chuvas intensas e vazões
máximas de rios no Brasil**

Prof. Rodrigo Paiva e Walter Collischonn

Instituto de Pesquisas Hidráulicas

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

rodrigo.paiva@ufrgs.br



Mudanças hidrológicas e eventos extremos recentes



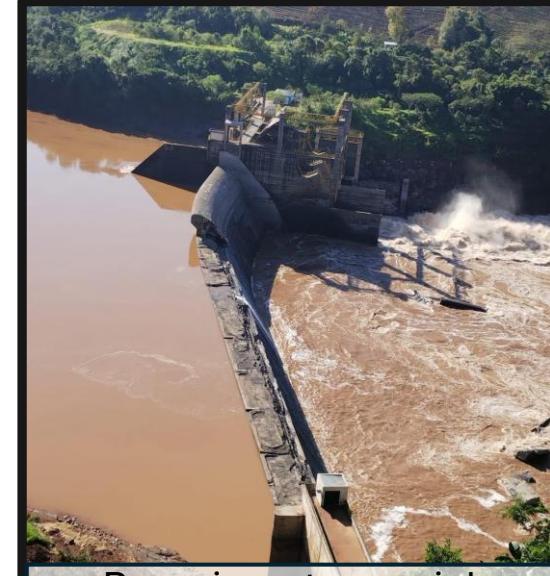
Crise Hídrica de 2014 no sistema
Cantareira



Seca de 2023 no Amazonas

Mudanças hidrológicas e eventos extremos recentes

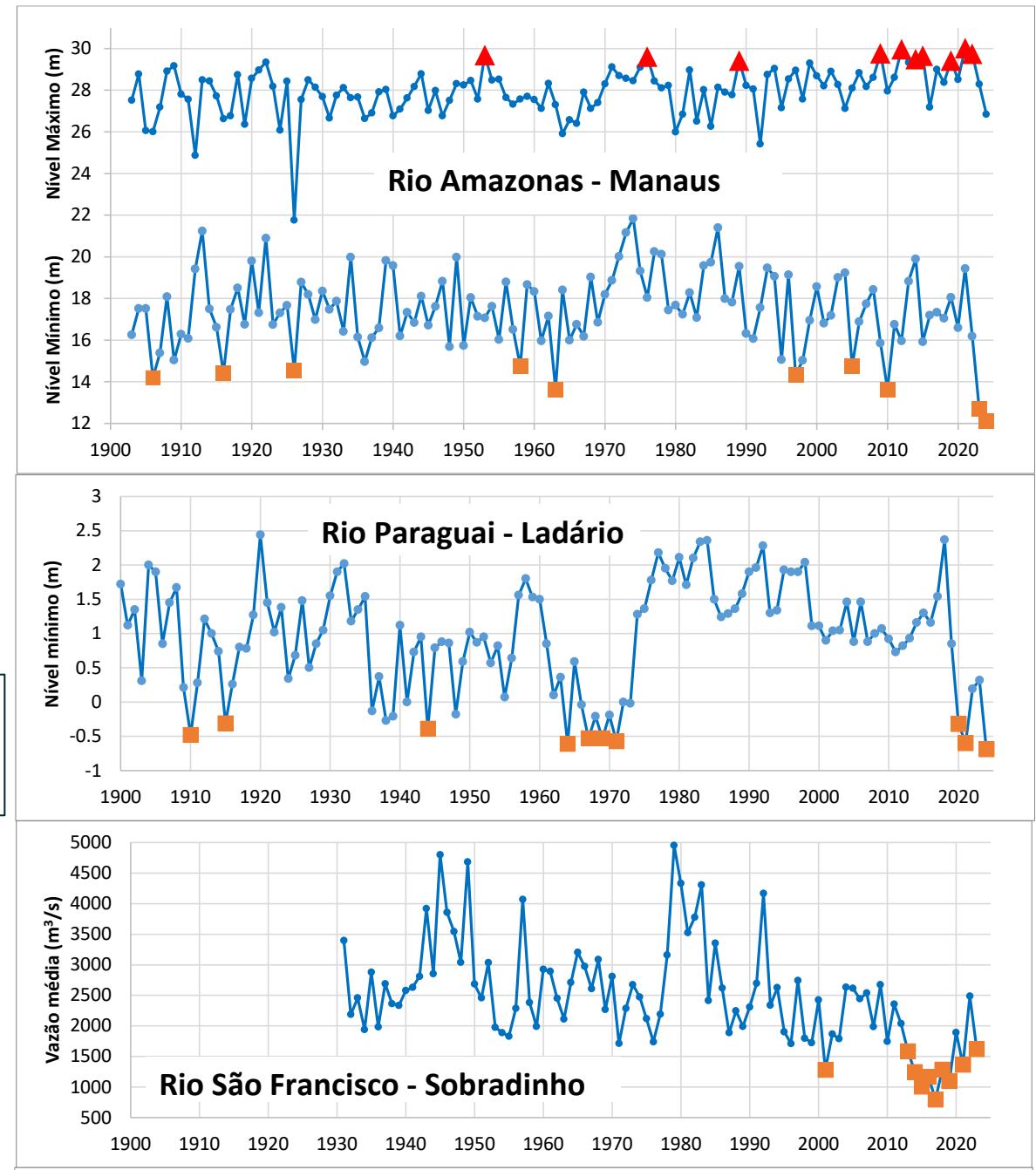
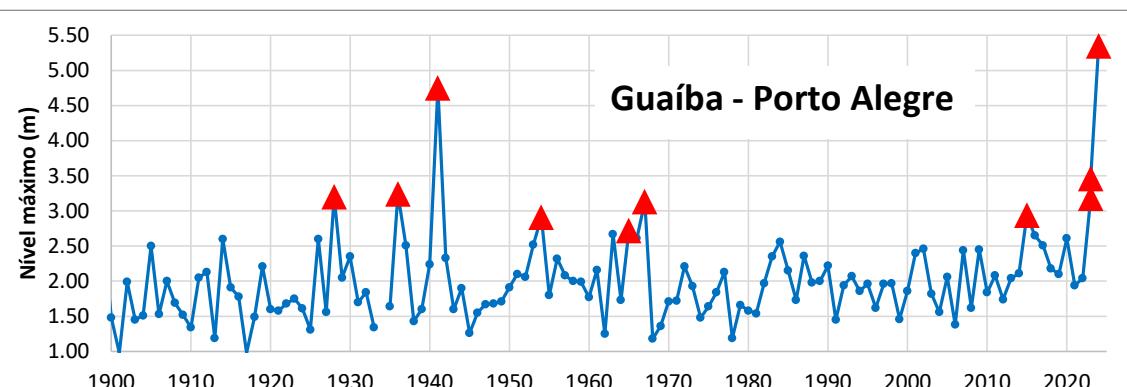
Cheias Rio Grande do Sul 2023-2024



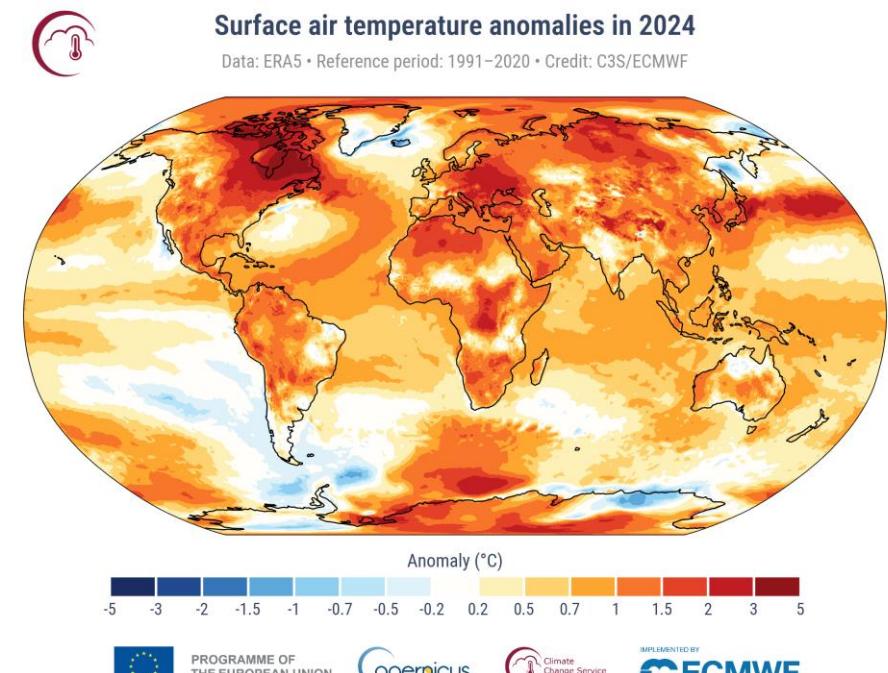
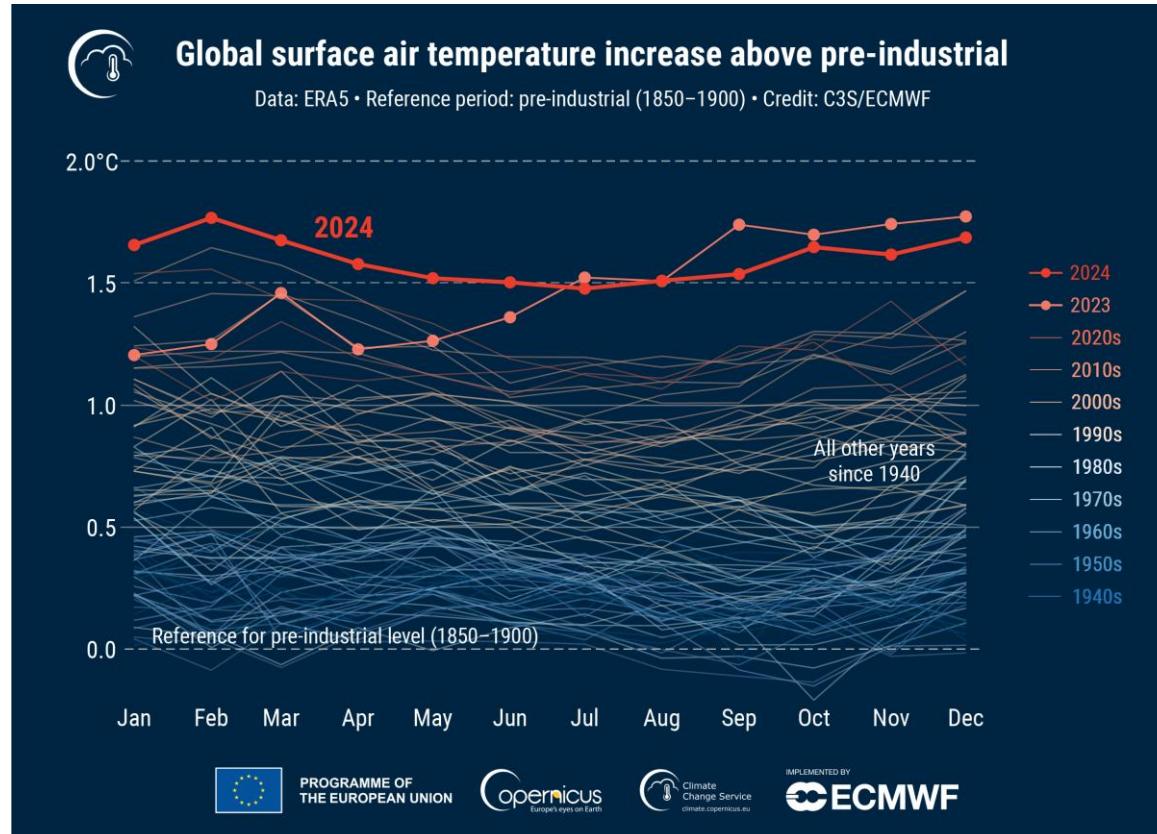
Rompimento parcial
barragem 14 de julho

- Variabilidade interanual
- Alterações recentes
- Últimas décadas concentram os maiores extremos

10 maiores do histórico
▲ cheias ■ secas

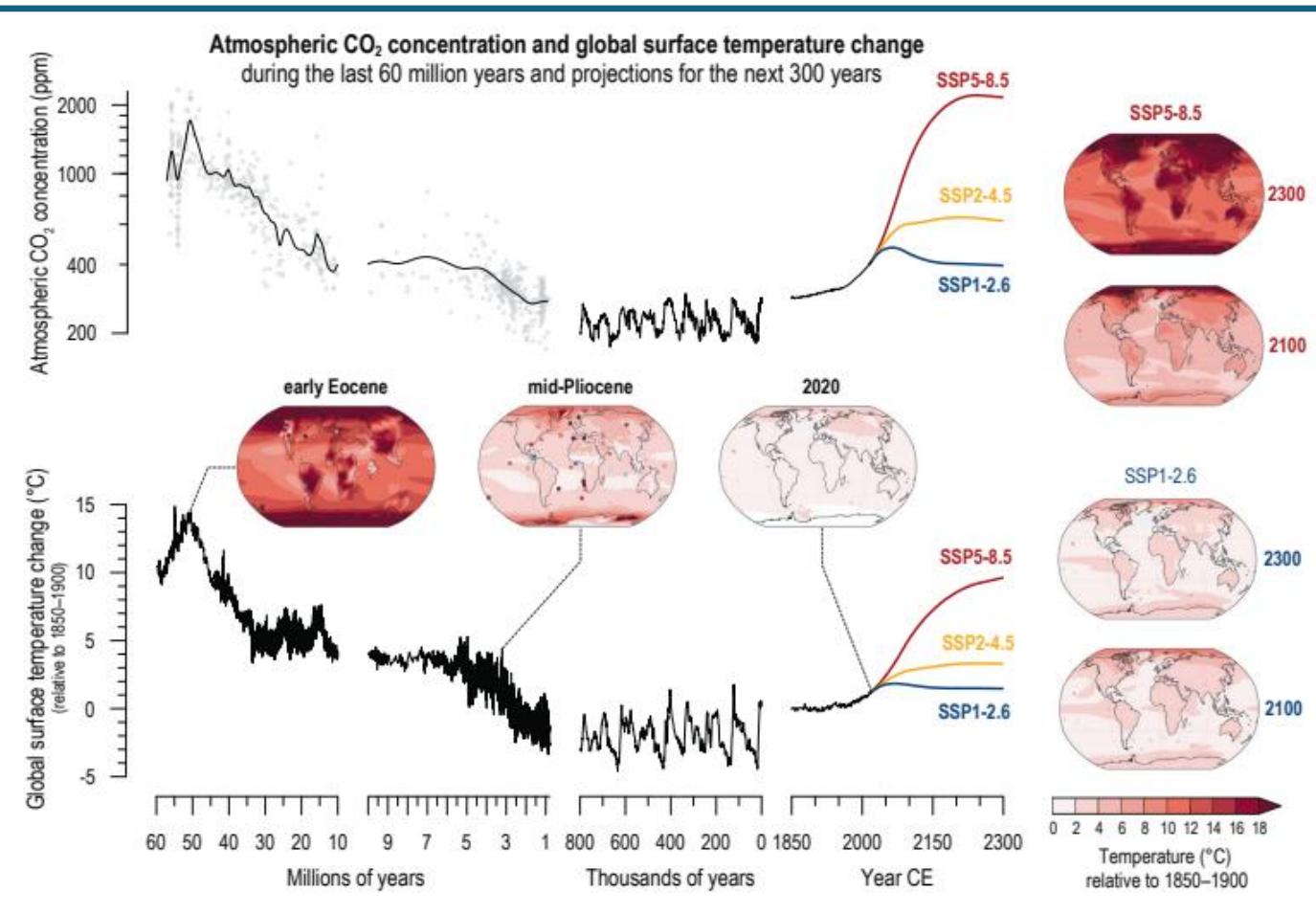


2024 é o primeiro ano a exceder 1,5°C acima de níveis pré-industriais



<https://climate.copernicus.eu/copernicus-2024-first-year-exceed-15degc-above-pre-industrial-level>

Os estudos climáticos mais atuais apresentam evidências do **aquecimento global** causado por emissões de gases de efeito estufa (GEE), resultando em alterações no regime de chuvas, na disponibilidade hídrica e na frequência e magnitude de eventos hidrológicos extremos



- Concentração de gases de efeito estufa altera balanço de radiação, causando aquecimento
- Aumento de Temperatura não é uniforme!
- Mudanças de Circulação Global e clima regional
- Atmosfera mais quente absorve mais vapor d'água
- Intensificação do ciclo hidrológico

Sensibilidade e Impactos da Mudança Climática em Cheias, Estiagens e Segurança Hídrica



SBRH 2023



Miranda et al., 2025
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15398093>

COOPERAÇÃO EM TECNOLOGIAS PARA
ANÁLISES HIDROLÓGICAS EM ESCALA
NACIONAL

SUBPROJETO – CLIMA

Impactos de Mudanças Climáticas em
Extremos de Vazão
(Cheias e Estiagens)
Relatório Final

IPH-ANA-HGE-CLIMA-A3

Porto Alegre - RS
Abril 2024



Paiva et al., 2024

<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/279716>



Published 2024 | Version 1.0

SACCI-CMIP6: South American Climate Change Impacts on floods and droughts

Miranda, Pedro Torres¹; Petry, Ingrid¹; Alves, Wilany Rodrigues Galvão¹; Fernandez, Gabriel Matheus Rios¹; Paiva, Rodrigo Cauduro Dias¹; Collischonn, Walter¹; Fagundes, Hugo²; Rossi, Júlia Brusso¹; Kolling Neto, Arthur¹; Abdalla Araújo, Alexandre³; Souza, Saulo¹

Show affiliations

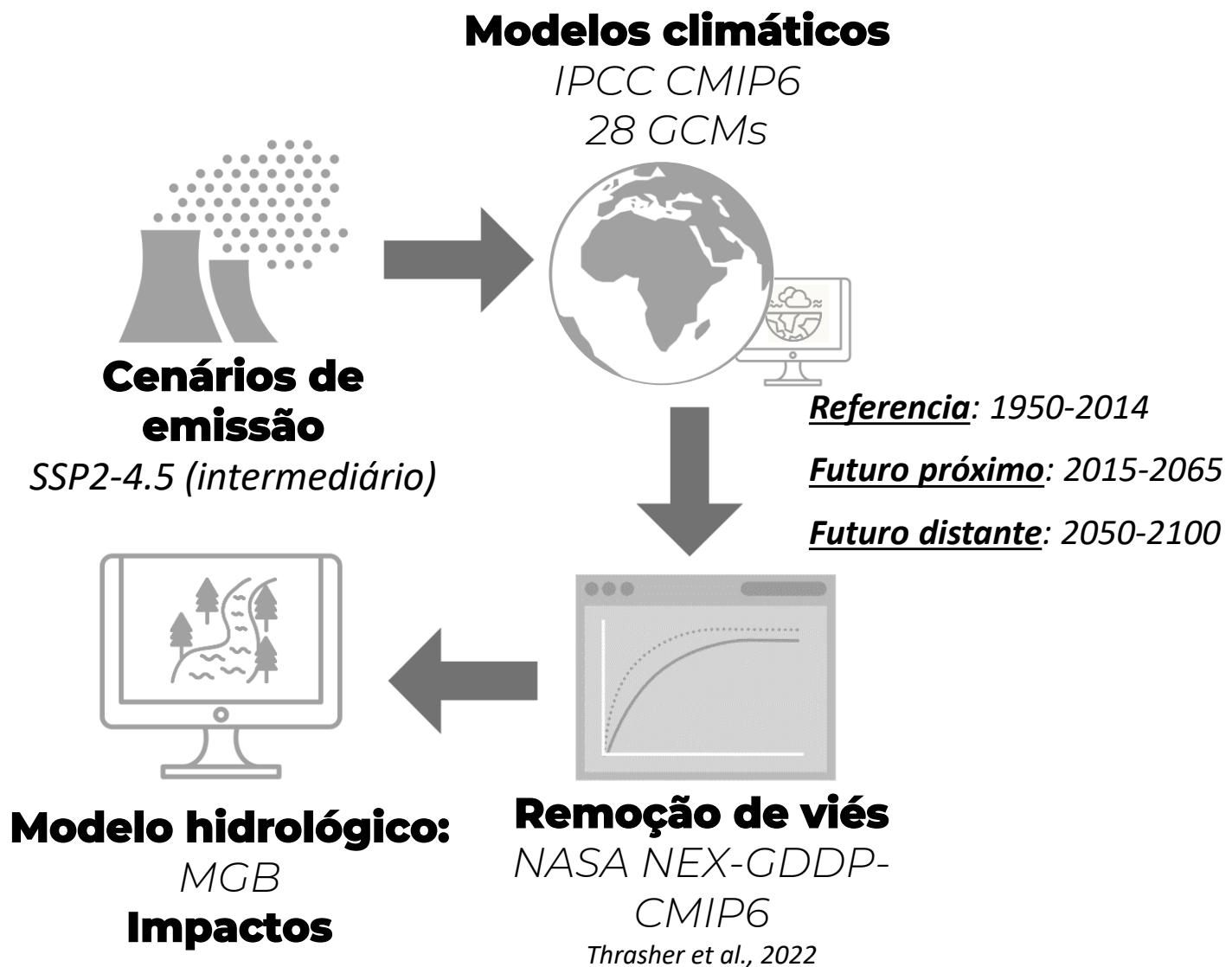
SACCI-CMIP6 dataset (South American Climate Change Impacts) provides projections of climate change impacts over South American hydrology, including topics related to (i) water balance, (ii) floods and extreme precipitation, (iii) flooded area and wetlands, (iv) droughts, and (v) low flows.

Projeções do impacto da mudança climática na hidrologia

■ Projeto ANA – IPH (Paiva et al., 2024)

■ Múltiplas variáveis

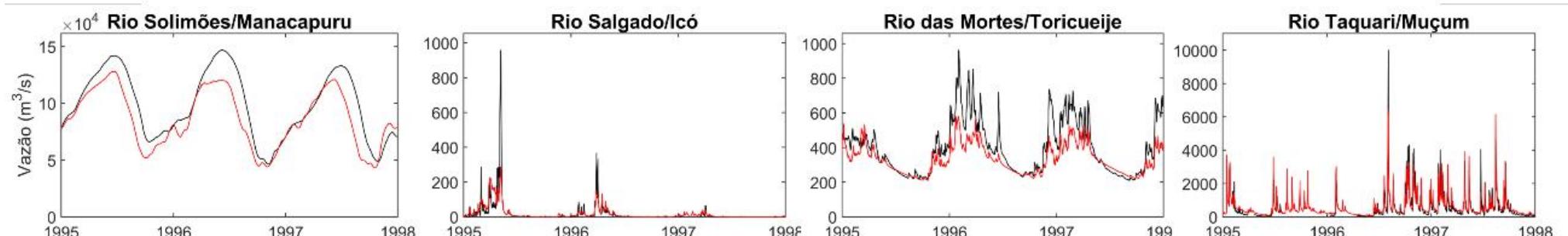
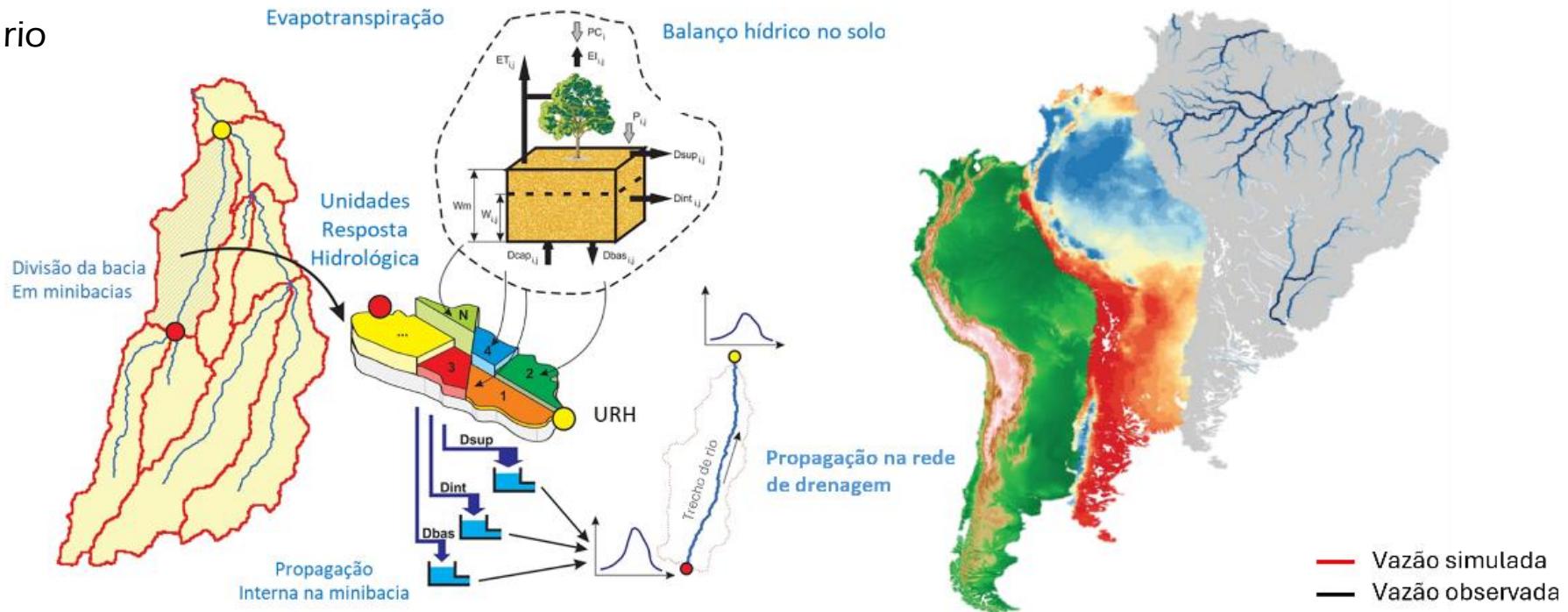
- **Precipitação intensa e vazões máximas** (Petry et al., 2023)
 - **Áreas inundadas** (Fernandez et al., 2023)
 - **Secas** (Alves et al., 2023)
 - **Vazões mínimas** (Miranda et al., 2023)
 - **Segurança hídrica** (Rossi et al., 2023)



Modelo de Grandes Bacias - MGB

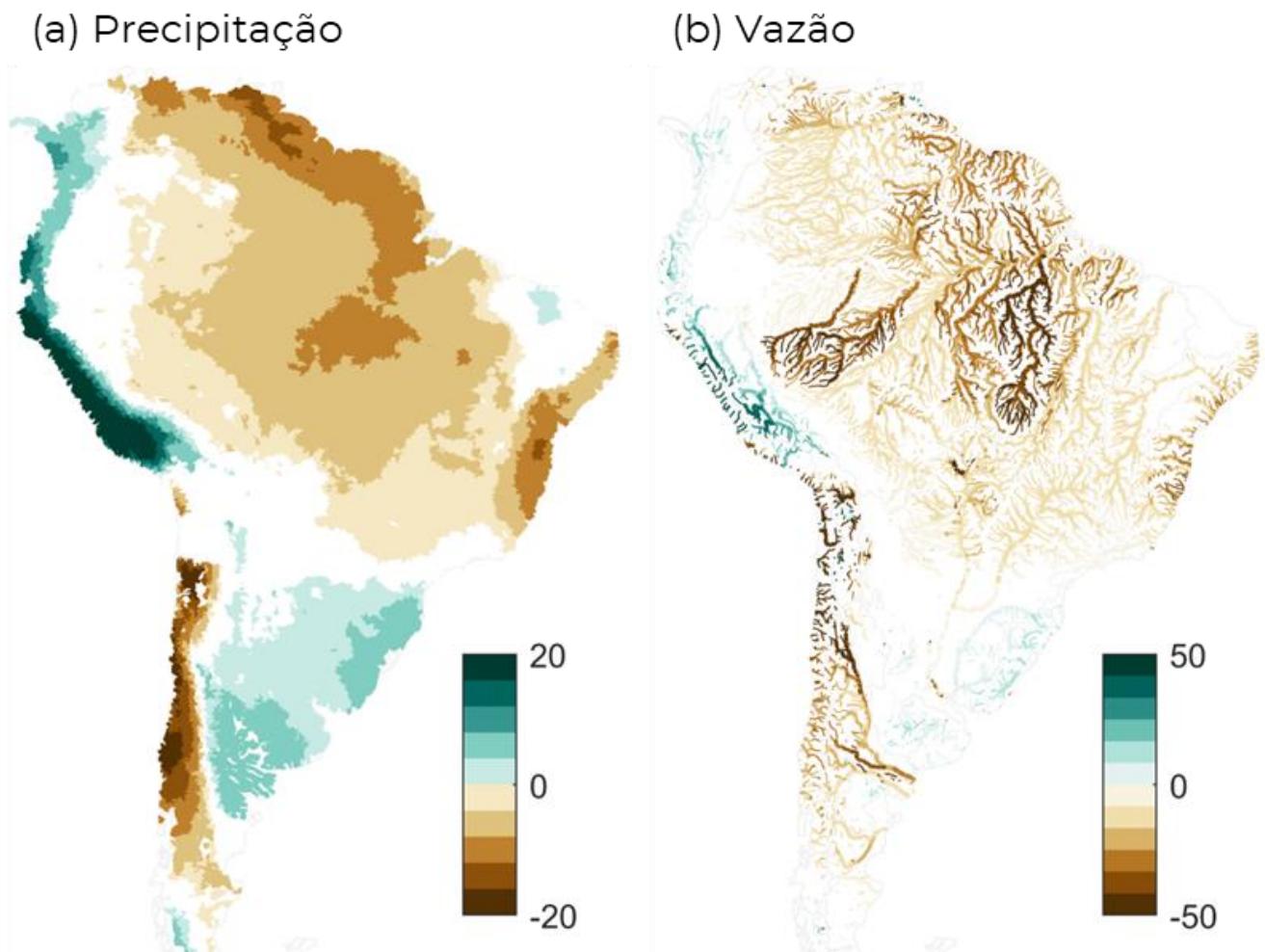
Modelo de Grandes Bacias MGB

- Distribuído
- Grande escala
- Minibacias e trechos de rio
- Baseado em processos



Projeções de alterações de fluxos médios

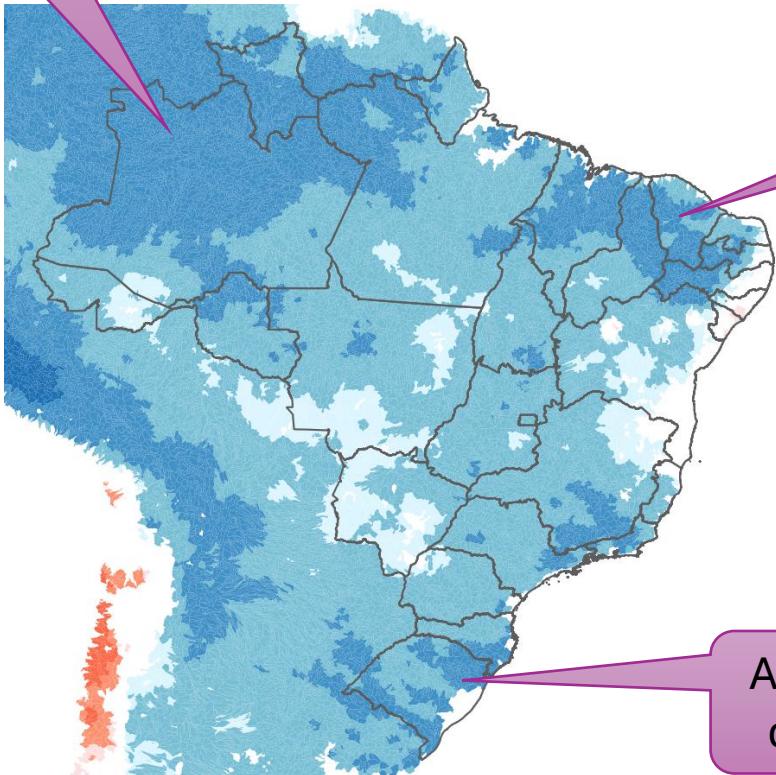
**Centro,
Nordeste,
Norte + Seco**
Sul + Úmido



Precipitação Máxima de 1 dia

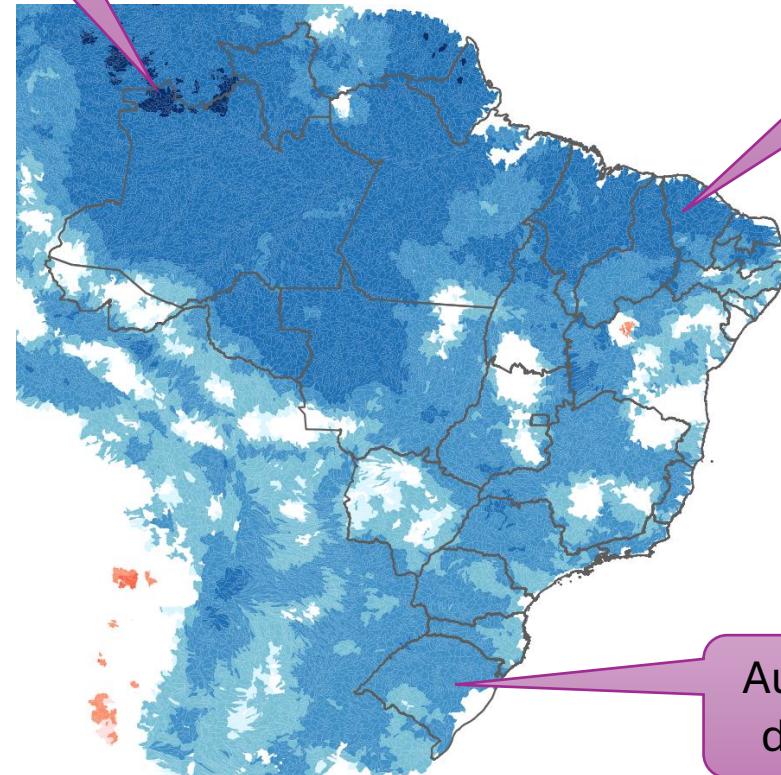
Aumento
de 17%

TR 2 anos



Aumento
de 55%

TR 100 anos



Aumento
de 12%

Aumento
de 12%

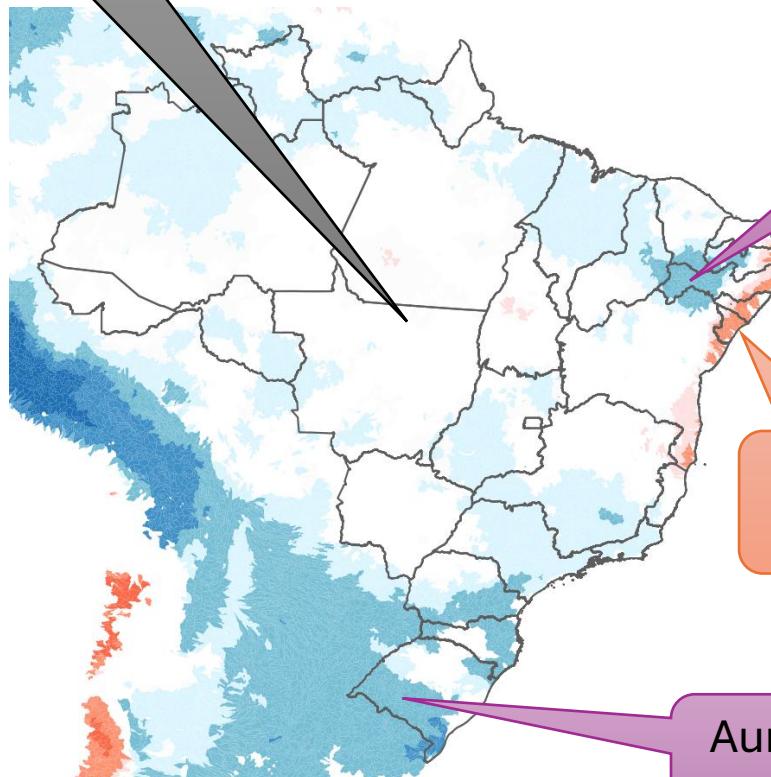
Aumento
de 35%

Aumento
de 13%

Precipitação Máxima de 5 dias

Sem alteração
ou sem
concordância

TR 2 anos



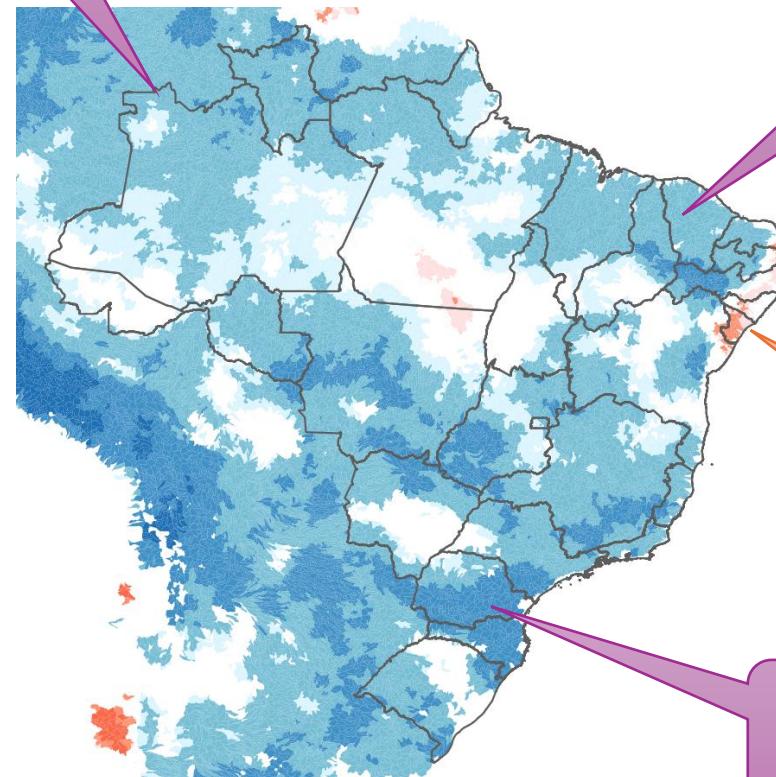
Aumento
de 7%

Aumento
de 7%

redução
de 7%

Aumento
de 7%

TR 100 anos



Aumento
de 7%

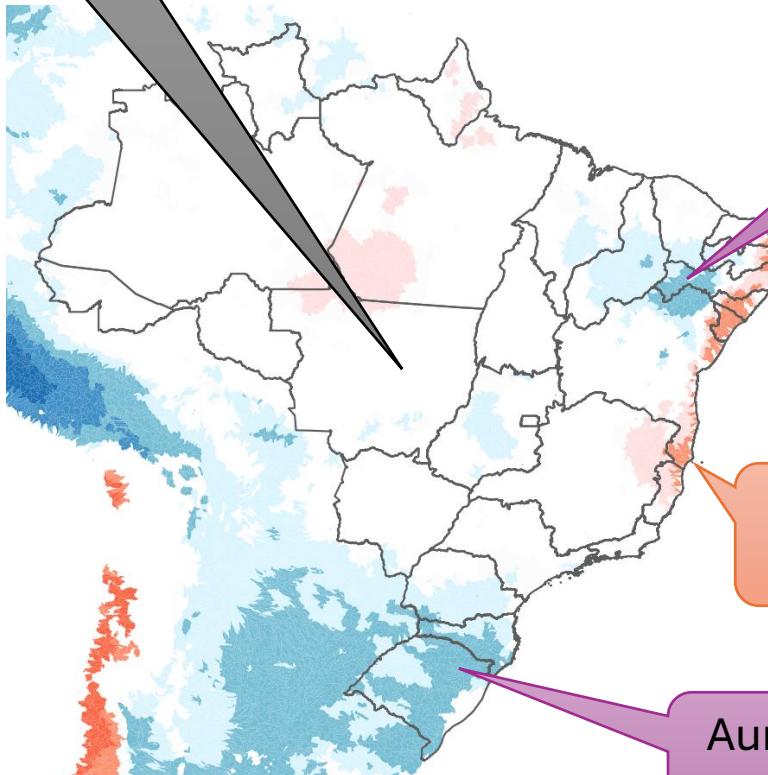
redução
de 7%

Aumento
de 15%

Precipitação Máxima de 30 dias

Sem alteração
ou sem
concordância

TR 2 anos

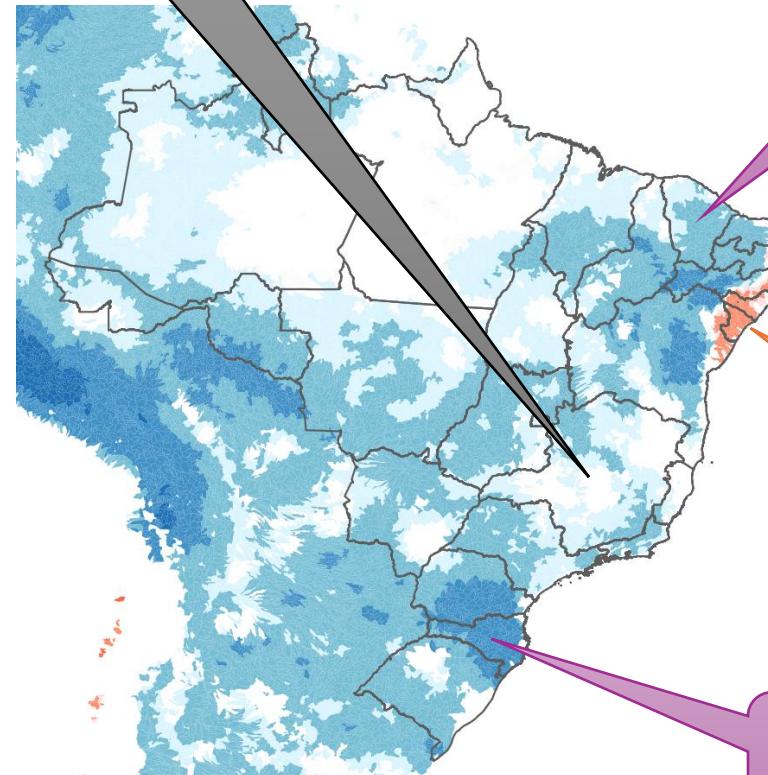


Aumento
de 7%

redução
de 7%

Sem alteração
ou sem
concordância

TR 100 anos



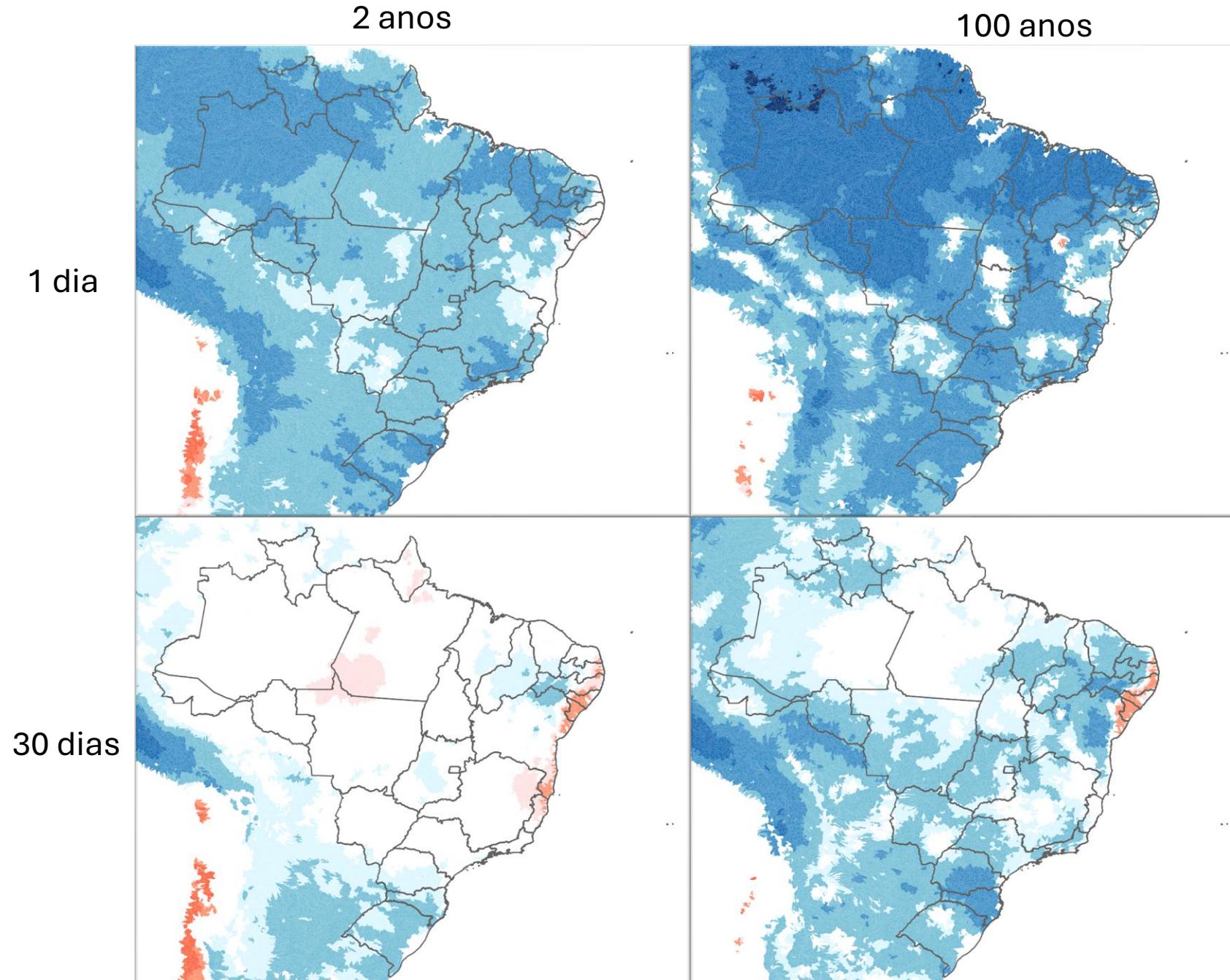
Aumento
de 7%

redução
de 7%

Aumento
de 13%

Interpretação

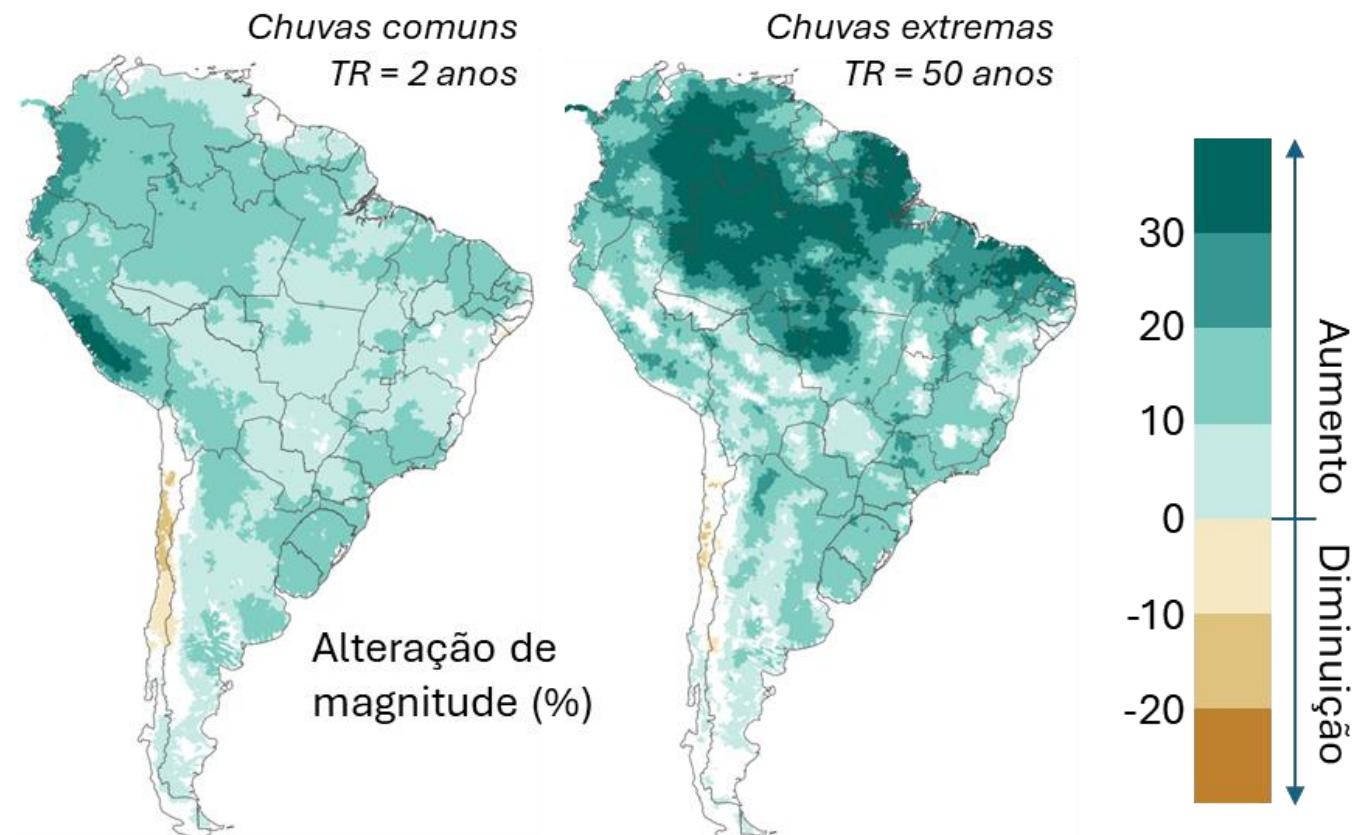
1. Mais locais com projeção de aumento do que de diminuição.
2. Na maior parte do Brasil o aumento é maior em chuvas intensas de 1 dia do que em chuvas intensas de vários dias.
3. Projeções de aumento são mais evidentes nas chuvas mais extremas (TR maiores).
4. Região Sul tem projeção de aumento consistente em todas as durações.



Projeções Futuro

- Aumento das chuvas intensas em todo Brasil
- Causa aumento de alagamentos em cidades

Impacto da mudança climática Precipitação máxima



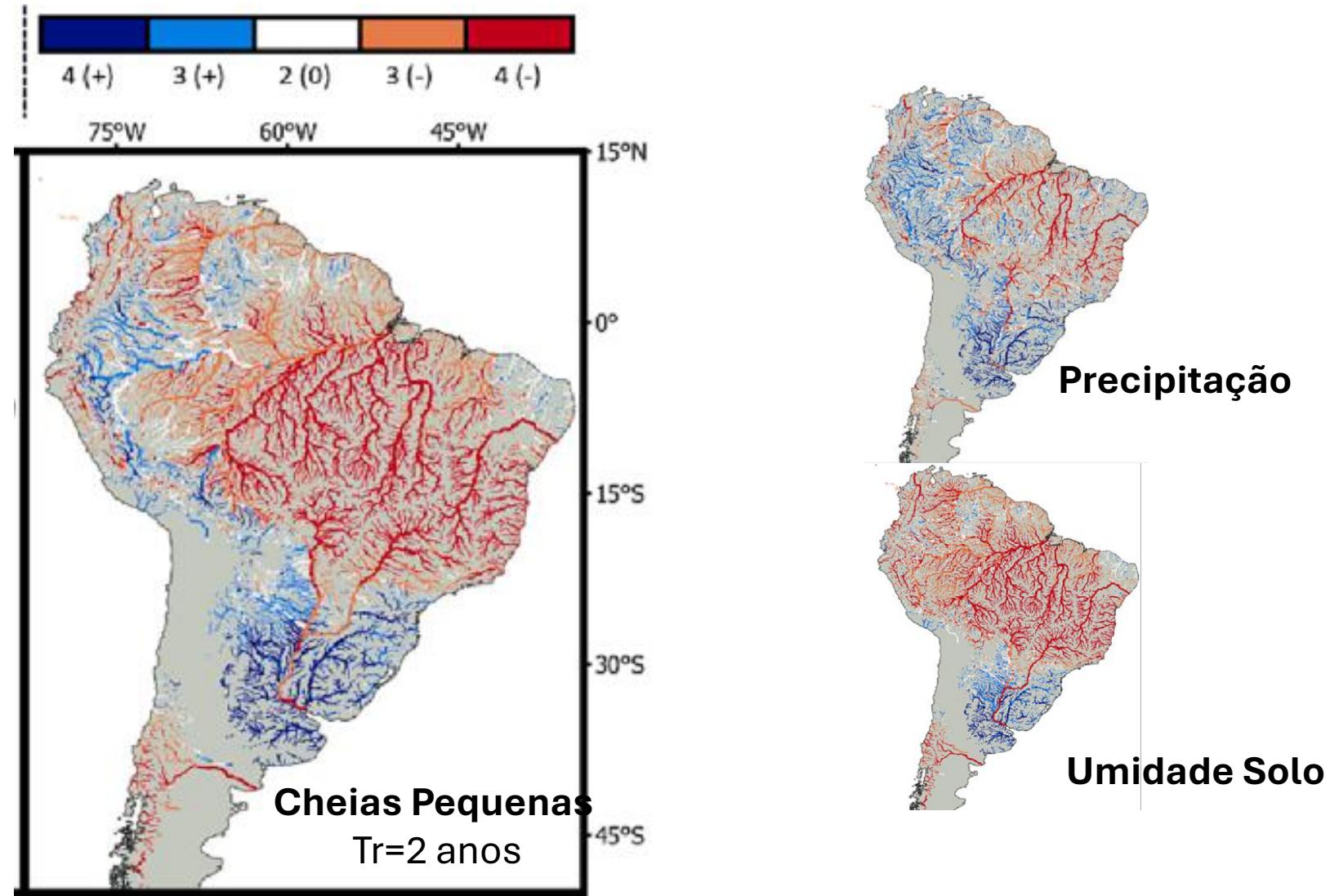
Paiva et al. ,2024; Paiva et al., 2024;
Petry et al., 2025; Breda et al., 2023

Projeto IPH/UFRGS e ANA

Figura 1. Projeções de impacto da mudança climática na magnitude e frequência da precipitação máxima diária e vazão máxima nos rios na América do Sul. Comparação entre período futuro (2050 a 2100) e histórico (1965 a 2015) considerando a mediana dos resultados do modelo hidrológico MGB forçado com 28 modelos climáticos globais (cor neutra indica não concordância entre modelos) e o cenário intermediário SSP2-4.5.

Projeções de mudanças nas vazões máximas

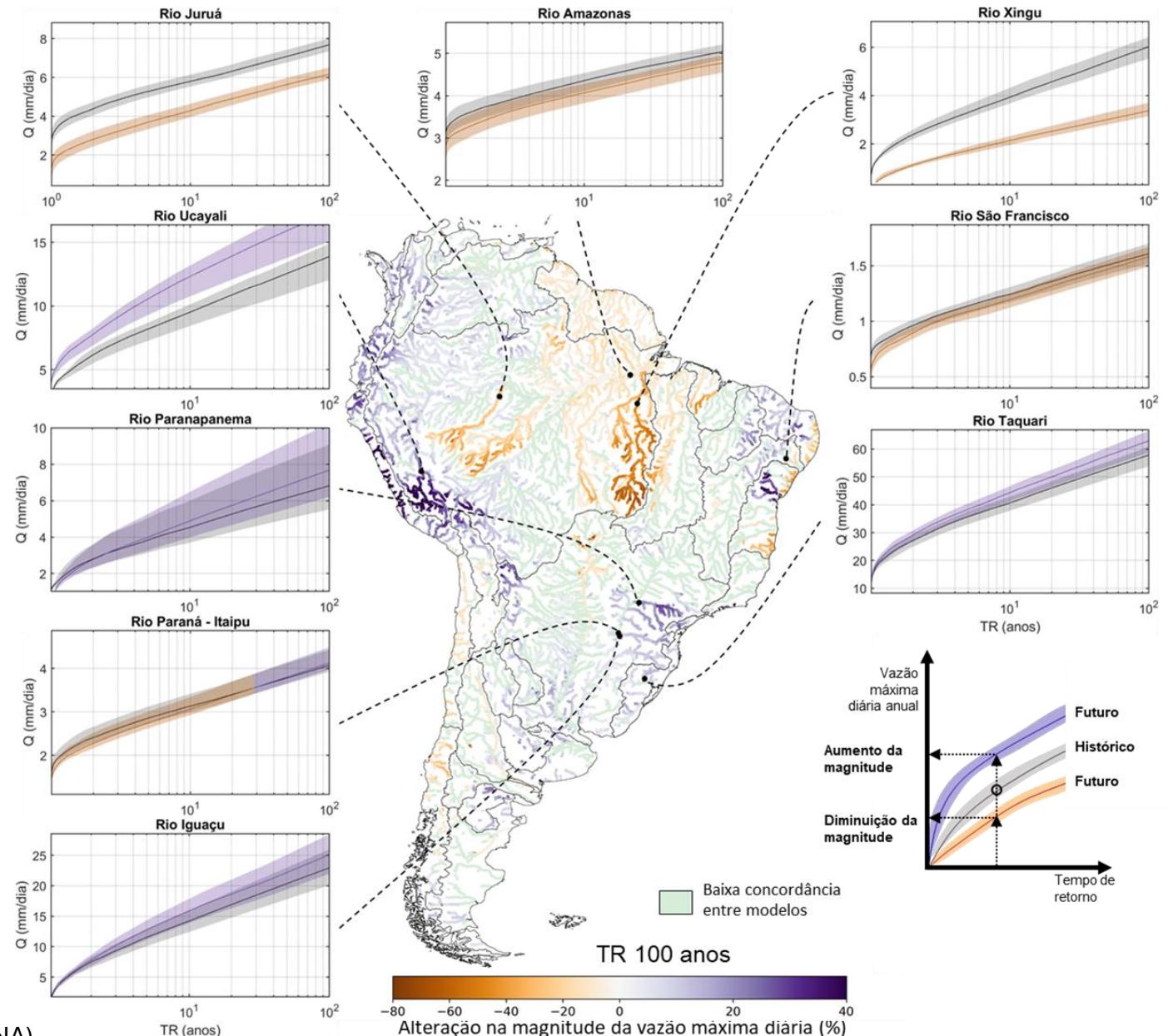
- Breda et al. (2023)
- RCM - ETA
- 4 GCMs (BESM, CanESM2, HadGEM2-ES, MIROC5)
- CMIP5
- MGB SA



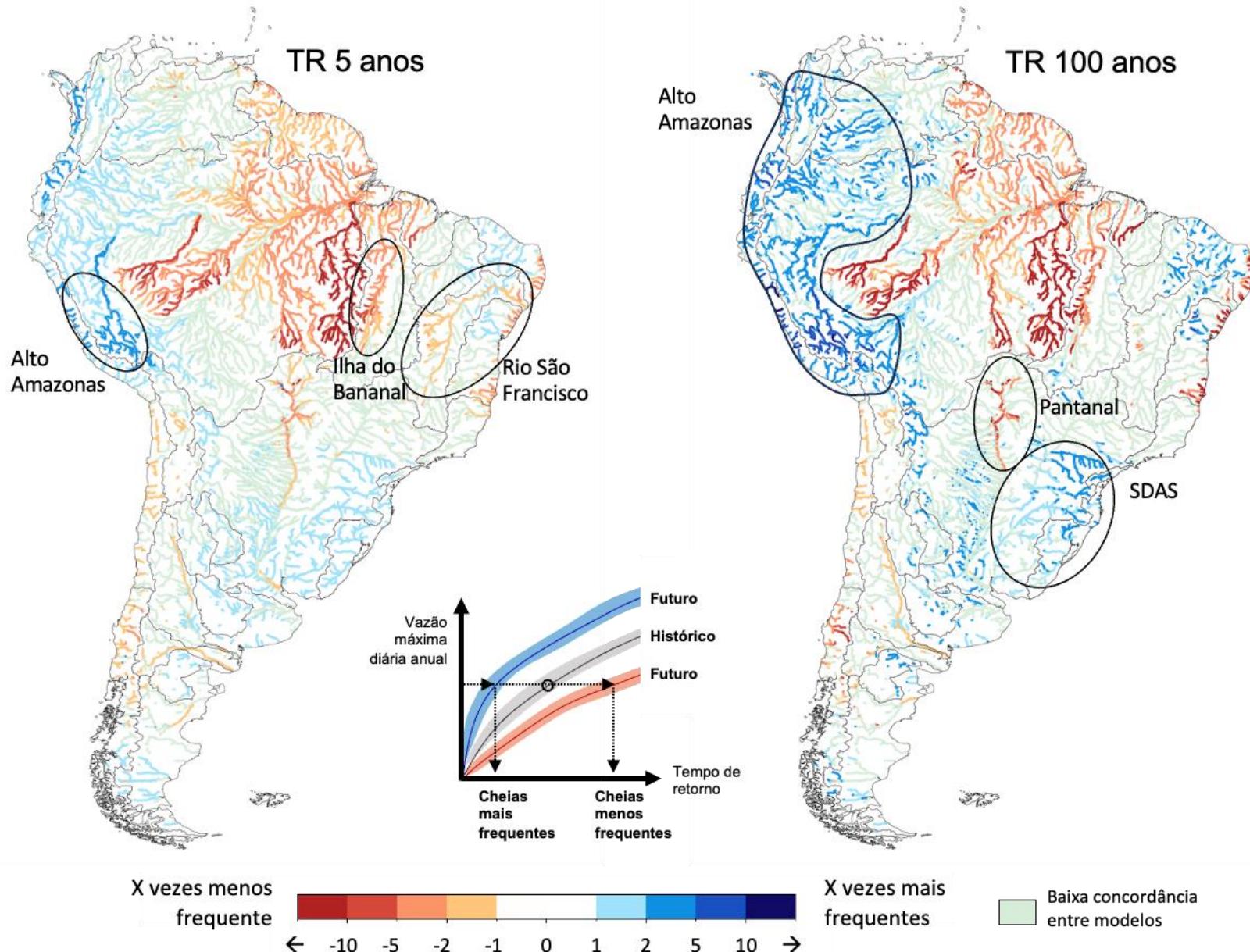
- Aumento no sul do Brasil / Peru
- Diminuição centro, nordeste, Amazônia
- Papel da precipitação intense de maior duração vs umidade antecedente

Brêda, J. P. L., de Paiva, R. C. D., Siqueira, V. A., & Collischonn, W. (2023). Assessing climate change impact on flood discharge in South America and the influence of its main drivers. *Journal of Hydrology*, 129284.

Alteração nas vazões máximas em rios de médio e grande porte



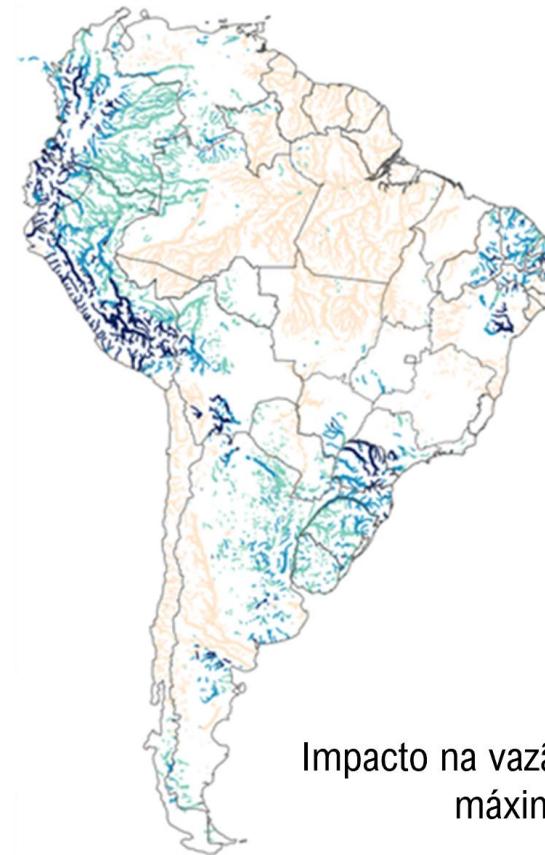
Alteração na frequência de cheias



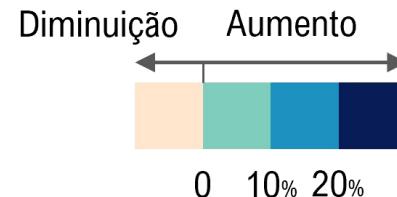
O Sul do Brasil é o local com maior projeção de aumento de cheias pela mudança climática

- Aumento 20%
- 5x mais frequente

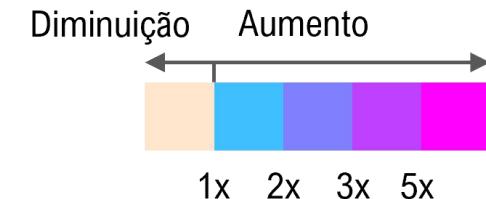
Alteração de cheias severas em rios médios e grandes



Impacto na vazão máxima



Impacto na frequência da vazão máxima



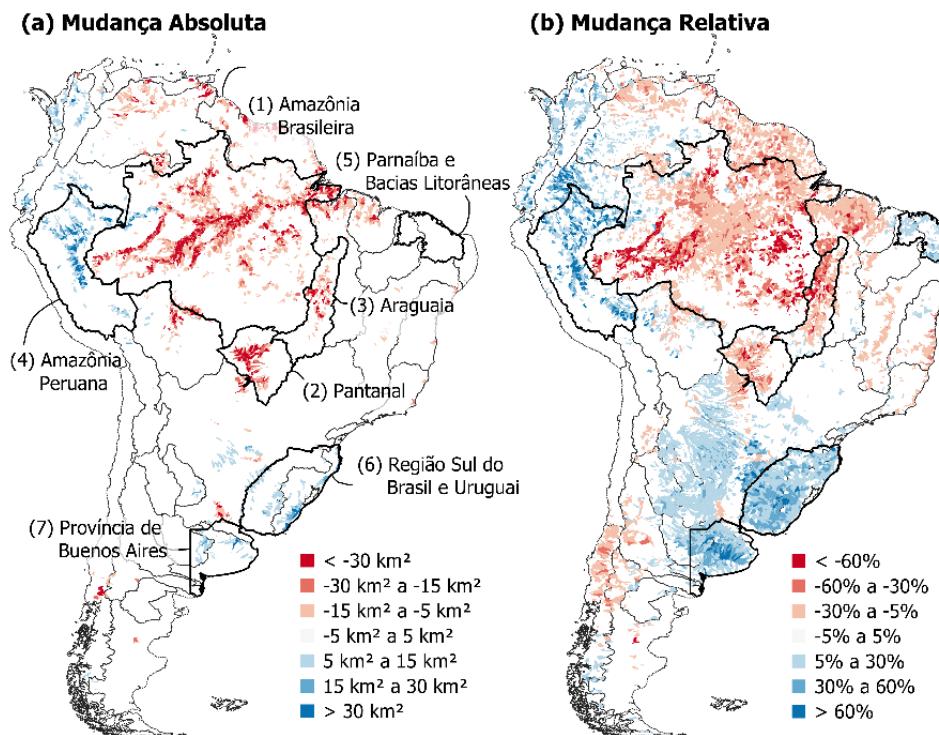
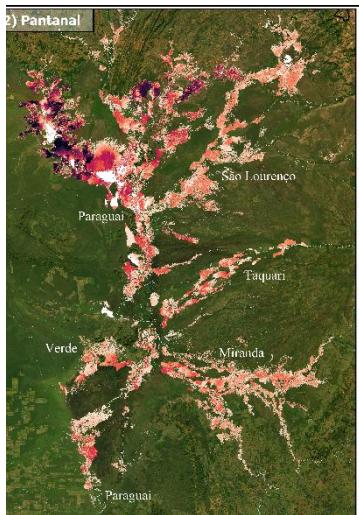
Alterações áreas inundadas

Redução de áreas úmidas

e.g. Amazônia



Pantanal

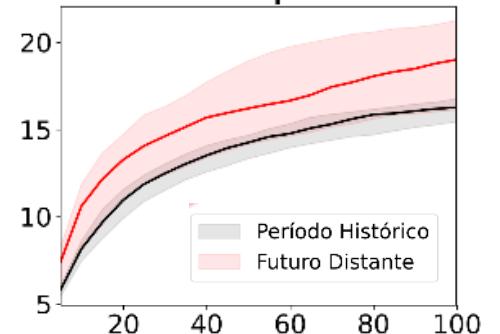


Aumento áreas de inundação

sul e nordeste do Brasil, Uruguai, Argentina, Peru

População Diretamente Afetada (1000 x hab.)

(2) Lajeado e Estrela (RS)
Rio Taquari

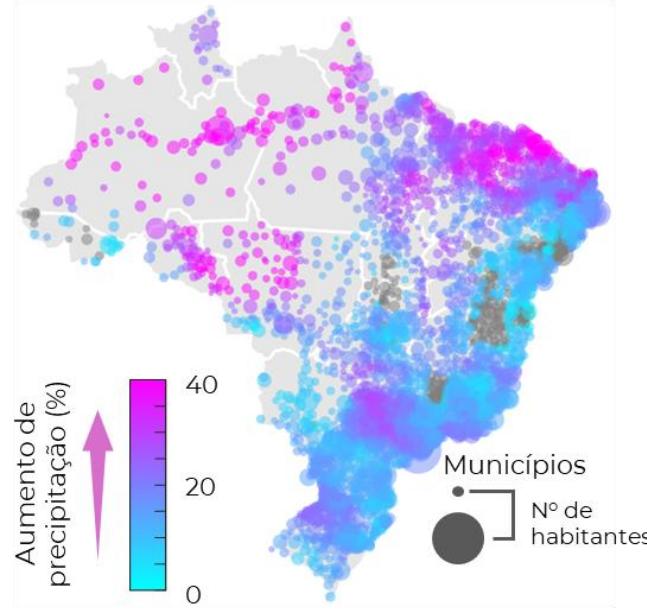


Tempo de Retorno (anos)

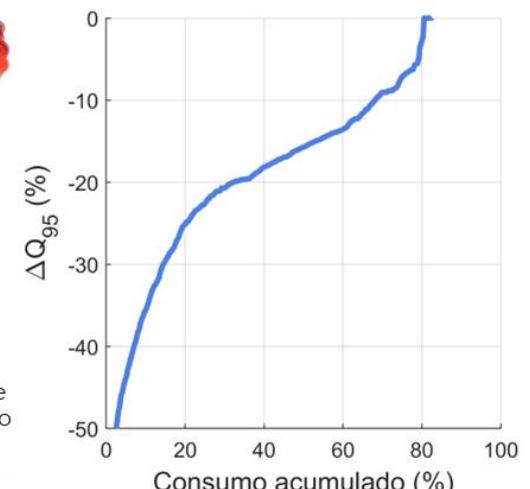
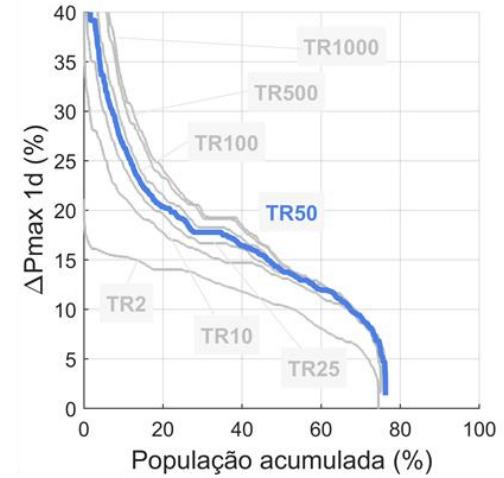
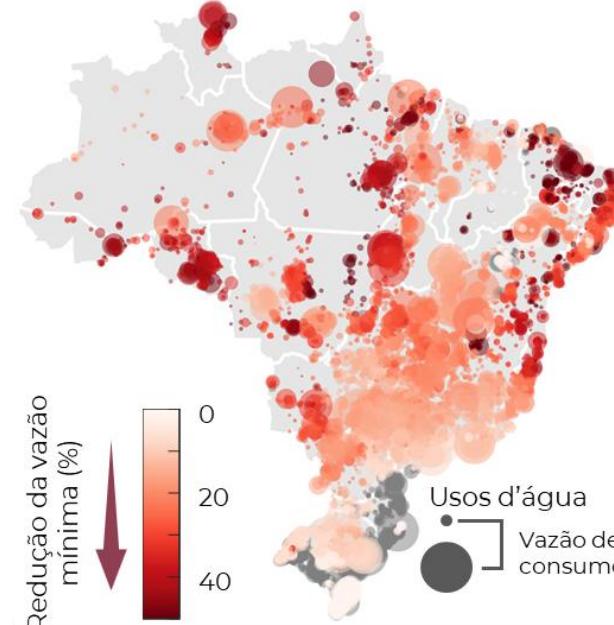
A Mudança Climática Ameaça a Segurança Hídrica

Rossi, Miranda et al., 2025

(a) Aumento nas enxurradas e alagamentos urbanos

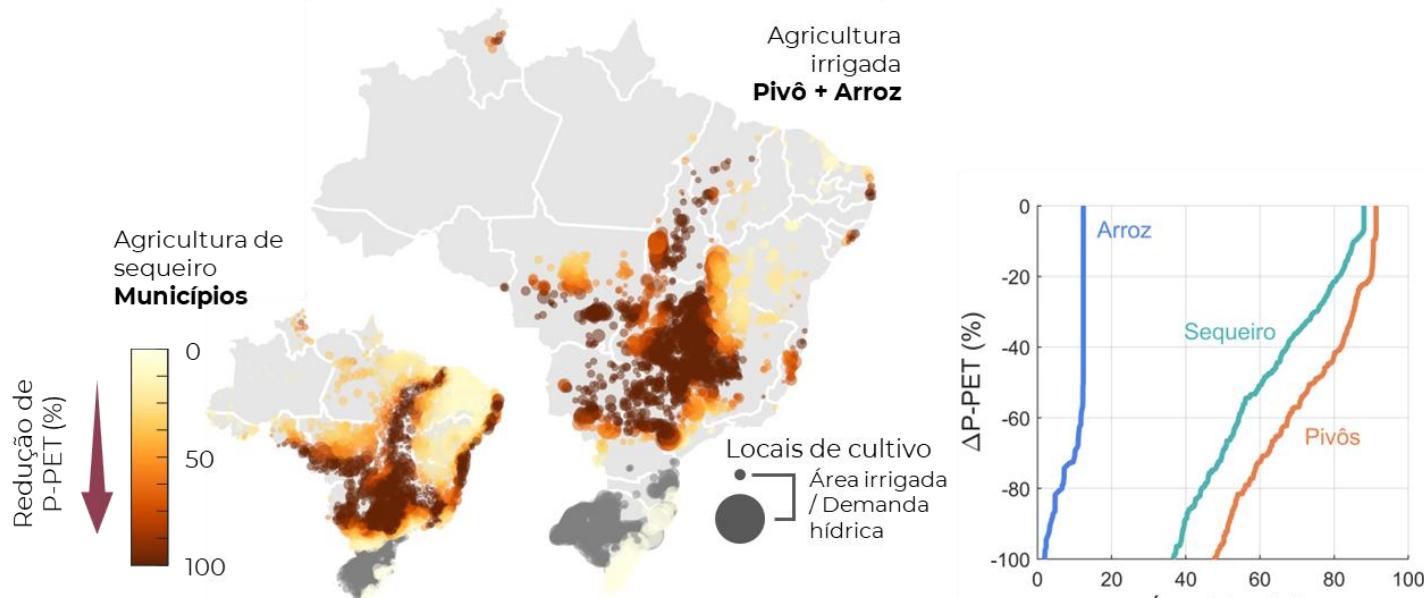


(b) Redução na disponibilidade para retiradas d'água

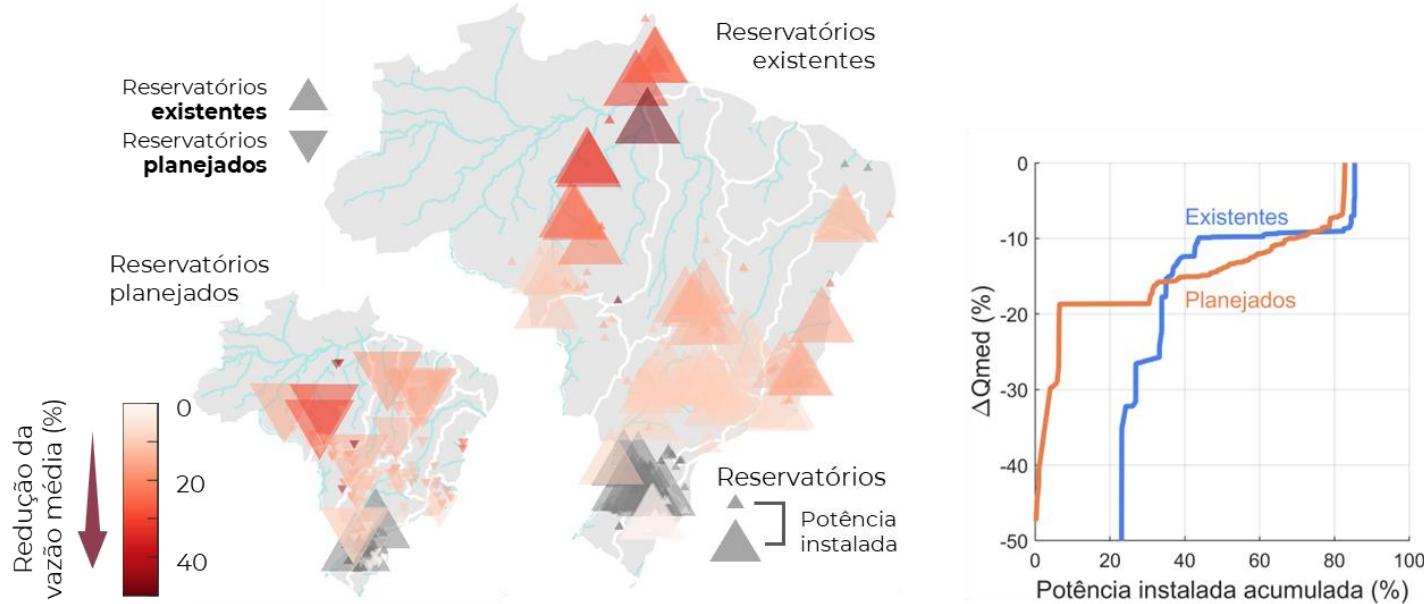


A Mudança Climática Ameaça a Segurança Hídrica

(a) Redução na disponibilidade hídrica para agricultura

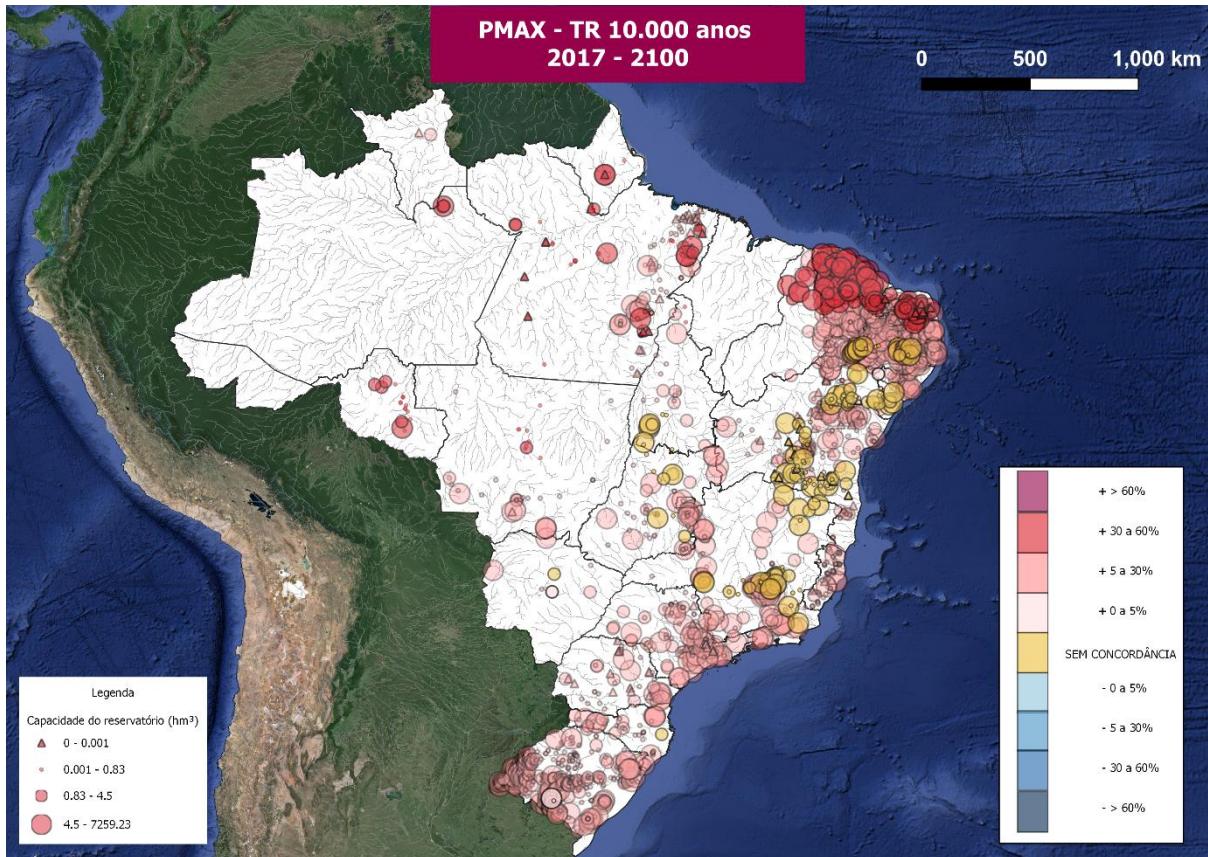


(b) Redução na produção hidroenergética



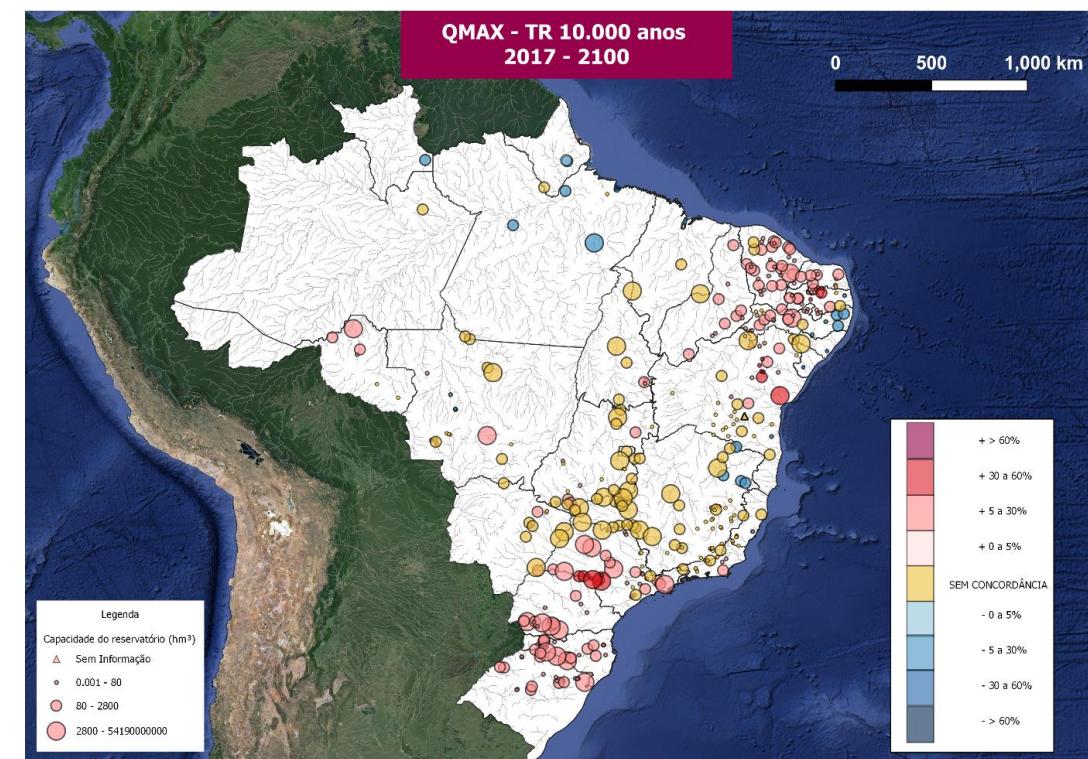
Ameaça para segurança de barragens

Projeções de alteração de Pmax diária anual até 2100 (CMIP6)



Barragens de DPA Alto em pequenas bacias

Projeções de alteração de Qmax diária anual até 2100 (CMIP6)



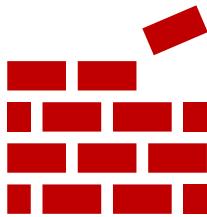
Barragens de DPA Alto em grandes bacias

A mudança climática ameaça a segurança hídrica

Necessária a **adaptação** da sociedade às novas condições climáticas, a fim de reduzir e evitar seus danos potenciais e aumentar a **resiliência**

É necessário **revisar a prática hidrológica atual**, na qual projetos de infraestrutura e o planejamento se baseiam na premissa da estacionariedade, em que as previsões hidrológicas são realizadas a partir de observações passadas, assumindo-se que as características estatísticas das séries hidrológicas se manterão no futuro.

Assim, são necessários **critérios hidrológicos** que incluem o potencial **efeito da mudança climática** nas estimativas hidrológicas e que sintetizem as projeções atuais e suas incertezas, permitindo a revisão da infraestrutura hídrica existente, a adequação de novos projetos e a gestão dos recursos hídricos adaptados à mudança climática



Reconstruir melhor....

... a infraestrutura destruída em 2024 no RS incorporando a **adaptação às mudanças climáticas**

- Após discussões com a ANA, o IPH/UFRGS propôs critérios simples e objetivos para serem incorporados rapidamente...



Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Nota Técnica

Critérios hidrológicos para adaptação à mudança climática: Chuvas e cheias extremas na Região Sul do Brasil

Rodrigo Paiva*, Walter Collischonn, Pedro Miranda, Ingrid Petry, Fernando Dornelles, Joel Goldenfum, Fernando Fan, Anderson Ruhoff e Hugo Fagundes

*rodrigo.paiva@ufrgs.br

27 de maio de 2024

Primeiro critério objetivo no Brasil



NOTA TÉCNICA Nº 3/2024/COMUC/SHE
Documento nº 02500.030195/2024-92

Brasília, 4 de junho de 2024.

À Superintendente de Estudos Hídricos e Socioeconômicos
Assunto: Diretrizes para a consideração de impactos da mudança do clima na adaptação ao risco hidrológico de eventos extremos de máxima na Região Sul do Brasil.
Referência:



bairro Navegantes em Arroio do Meio
06 de maio de 2024



Ponte destruída - Santa Maria RS

Critérios

Os **critérios** foram definidos a partir de quatro **princípios norteadores** com base nas evidências de projeções de impactos da mudança climática e observação dos eventos extremos recentes:

1. As **séries temporais** dos dados usados para as análises estatísticas de eventos hidrológicos extremos devem ser **longas**. As análises devem considerar a máxima extensão temporal de dados disponível na região de interesse.
2. A fim de levar em conta os **extremos hidrológicos recentes** e maiores valores do registro histórico, além de **tendências de alteração**, os eventos extremos mais atuais devem ser incluídos na série temporal a ser utilizada na análise. Isto inclui, no RS, os eventos de 2023 e 2024.
3. **Projetos** de infraestrutura ou planejamento de **grande porte**, para os quais são adotados, usualmente, Tempos de Retorno de 50 anos ou mais, devem ser **capazes de superar a maior cheia do histórico**, independentemente do Tempo de Retorno estimado para esta cheia.
4. O **impacto da mudança climática** deverá ser representado por um aumento na magnitude ou por uma alteração na frequência do evento, na forma descrita a seguir.

Para a definição de valores extremos de referência das variáveis hidrológicas, como precipitações intensas, vazões máximas, cotas máximas, velocidade d'água e área de inundação máxima, recomenda-se o seguinte **procedimento**:

1. Para realizar a análise estatística da série temporal de valores máximos deve ser considerada a **máxima extensão temporal** disponível na região e devem ser incluídos os eventos extremos mais atuais e mais importantes, como os que resultaram nas cheias de **1941, 2023 e 2024** no **RS**. No caso de cotas e vazões, e na situação de ausência de registros sistemáticos das cheias mais importantes nos postos fluviométricos utilizados para a análise estatística, devem ser considerados registros não sistemáticos baseados em **marcas de cheia**. No caso de precipitações intensas e utilização de curvas intensidade-duração-frequência (idf), deve-se utilizar a **curva idf mais atualizada** na área de interesse.

2. A fim de considerar projeções do impacto da **mudança climática** (ver Anexo 1), deve-se calcular a variável de interesse considerando o critério mais restritivo entre os itens a seguir:

2.1. Aumento da magnitude: A magnitude da precipitação intensa ou da vazão máxima estimada com base no histórico passado para o Tempo de Retorno pretendido no estudo/projeto deve ser aumentada pelos fatores conforme a tabela abaixo:

Tabela 1. Fatores de aumento da magnitude da precipitação e vazão máxima

Tempo de Retorno	Precipitação máxima	Vazão máxima
até 10 anos	15 %	15 %
maior que 10 anos	20%	20%

2.2. Aumento na frequência de eventos extremos: O Tempo de Retorno (*TR*) adotado para estimar variáveis com base no histórico passado deve ser majorado em relação ao pretendido para o futuro no estudo/projeto conforme a tabela abaixo:

Tabela 2. Alteração no Tempo de Retorno (*TR*) adotado devido a mudança climática para pequenas e grandes bacias.

<i>TR</i> de projeto (anos)	<i>TR</i> a ser adotado (anos)	
	$A < 1000 \text{ km}^2$	$A > 1000 \text{ km}^2$
2	3	3
5	12	10
10	25	20
25	75	60
50	200	150
100	450	350
200	1000	800
500	3500	2500
1000	8000	6000

* *A* é a área de drenagem.

Deve ser adotado o maior valor entre os estimados nos itens 2.1 e 2.2.

3. Em projetos para os quais se adotam Tempos de Retorno $TR \geq 50$ anos, e caso o valor encontrado no item 2 seja inferior ao maior evento do histórico, deve-se adotar o valor do maior evento do histórico.

Considerações finais

A aplicação dos critérios hidrológicos apresentados nesta nota técnica possibilita a adaptação da infraestrutura, da gestão de risco e do planejamento aos impactos mudança climática nas chuvas e cheias extremas no Sul do Brasil. Sugere-se que os critérios apresentados neste documento sejam revisados na medida que estejam disponíveis projeções de mudanças climáticas atualizadas e respectivos estudos de impactos sobre a hidrologia. Além disso, recomenda-se que os projetos de infraestrutura e o planejamento sejam adaptáveis e flexíveis, e que facilitem ou não inviabilizem sua ampliação (e.g. largura de pontes, seções de bueiros, cota de coroamento de barragens e diques), possibilitando assim considerar futuros aumentos dos valores de referência, dado um certo risco associado aos eventos hidrológicos extremos.

Os critérios hidrológicos para adaptação a mudança climática de Paiva et al. (2024) e ANA (2024) foram incorporados:

- Termos de referência para a reconstrução de pontes e outras obras de infraestrutura por parte do Departamento de Estradas de Rodagem do RS (DAER).
- Grupo Técnico de Assessoramento para Estudos Hidrológicos e de Segurança de Infraestruturas de Reservação e de Proteção das cheias no Estado do Rio Grande do Sul (GTA RS), coordenado pela ANA.
- Diretrizes técnicas do Fundo de Apoio à Infraestrutura para Recuperação e Adaptação a Eventos Climáticos Extremos (FIRECE), conforme a Resolução Nº 3, de 15 de abril de 2025 da Casa Civil do Governo Federal.
- Entre outros...

OBRAS PRIORITÁRIAS
8 PONTES EM RODOVIAS ESTADUAIS | DAER

RESILIÊNCIA CLIMÁTICA

Edital de licitação

Os projetos básico e executivo apresentados pela PROPONENTE deverão considerar a aplicação dos critérios hidrológicos apresentados na nota técnica do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) (Anexo VI-Dокументos Diversos). Essa nota técnica possibilita a adaptação da infraestrutura, da gestão de risco e do planejamento aos impactos mudanças climáticas nas chuvas e cheias extremas no Sul do Brasil. Também é sugerido que os critérios apresentados nesse documento sejam revisados na medida que estejam disponíveis projeções de mudanças climáticas atualizadas e respectivos estudos de impactos sobre a hidrologia. Além disso, a nota técnica recomenda que os projetos de infraestrutura e o planejamento sejam adaptáveis e flexíveis, e que facilitem ou não inviabilizem sua ampliação (e.g. largura de pontes, seções de bueiros, cota de coroamento de barragens e diques), possibilitando assim considerar futuros aumentos dos valores de referência, dado um certo risco associado aos eventos hidrológicos extremos.



Governo do RS inaugura nova ponte sobre o rio Forqueta na ERS 130, no Vale do Taquari

Estado investiu R\$ 22 milhões na estrutura cinco metros mais alta e 51 metros mais longa

estrutura cinco metros mais alta e 51 metros mais longa

Síntese e Critérios hidrológicos para adaptação em diferentes regiões do país

- Chuvas intensas
- Vazões máximas
- Secas
- Disponibilidade hídrica
- Vazões mínimas

Livro IPH ANA:
IMPACTO DA MUDANÇA CLIMÁTICA NOS RECURSOS HÍDRICOS DO BRASIL: EXTREMOS HIDROLÓGICOS

Tabela 11.3. Fatores regionais de alteração percentual (%) da magnitude da precipitação intensa de 1 e 20 dias de duração, considerando eventos frequentes e raros.

Região	UF	Chuvas frequentes ($TR \leq 10$)		Chuvas raras ($TR > 10$)	
		1 dia	20 dias	1 dia	20 dias
Sul	RS	15	10	18	11
	SC	14	11	16	15
	PR	12	8.5	15	13
Sudeste	SP	15	3.5	21	7.0
	MG	12	2.7	14	7.6
	RJ				
	ES				
Centro-Oeste	MS				
	GO				
	DF				
	MT				
Nordeste	BA				
	SE				
	AL				
	PE				
	PB				
	RN				
	PI				
	CE				
	MA				
	TO				
Norte	PA_N				
	PA_S				
	AP				
	AM_N				
	AM_S				
	RR				
	RO				
	AC				

6. Fatores regionais de alteração percentual (%) da magnitude das vazões máximas, considerando eventos frequentes e raros.

Região	UF	Cheias frequentes ($TR \leq 10$)		Cheias raras ($TR > 10$)	
		1 dia	20 dias	1 dia	20 dias
Sul	RS	14	13		
	SC	17	17		
	PR	18	25		
Sudeste	SP	6.5	15		
	MG	-1.1	2.7		

Tabela 11.1. Fatores regionais de alteração percentual (%) na disponibilidade hídrica em termos de precipitação média (P, média), de evapotranspiração real média (ET), de evapotranspiração potencial média (PET), do balanço hídrico como saldo entre precipitação e evapotranspiração (P-ET), da disponibilidade hídrica atmosférica média (P-PET), e da vazão média (Q, média).

Região	UF	P. média	ET	PET	P-ET	P-PET	Q. média
Sul	RS	4.8	3.9	5.5	8.0	9.0	7.8
	SC	4.7	4.4	5.9	6.9	9.6	8.1
	PR	-2.0	2.8	9.1	-13	-70	-8.8
Sudeste	SP	-3.0	2.5	10.1	-14	-391	-11
	MG	-5.4	-3.8	10.8	-19	-232	-16
	RJ	-2.8	1.8	7.9	-13	-114	-9.8
Centro-Oeste	ES	-11	-7.7	8.3	-30	-97	-26
	MS	-4.4	-4.4	10.1	-21	-307	-18
	GO	-5.0	-2.0	9.9	-18	-254	-16
Nordeste	DF	-5.4	-2.8	10.1	-14	<-500	-14
	MT	-8.8	-3.3	10.1	-41	-124	-41
	BA	-11	-11	9.6	-42	-48	-28
Norte	SE	-8.6	-7.1	6.6	-43	-44	-38
	AL	-8.2	-6.9	7.1	-48	-69	-27
	PE	-8.4	-7.3	7.6	-23	-25	-24
	PB	-9.2	-7.9	7.2	-28	-26	-23
	RN	-11	-8.4	7.3	-33	-23	-25
	PI	-6.4	-5.4	8.6	-42	-43	-18
	CE	3.4	3.2	6.5	-11.4	-12	-4.9
	MA	-8.2	-6.1	8.3	-28	-140	-24
Norte	TO	-8.6	-3.3	9.4	-29	-249	-24
	PA_N	-10	4.6	8.2	-47	-54	-42
	PA_S	-11	4.1	8.9	-63	-48	-58
	AP	-12	4.2	8.5	-38	-42	-38
	AM_N	-6.6	4.6	7.7	-24	-24	-25
	AM_S	-8.3	4.3	8.2	-38	-29	-42
	RR	-8.4	3.7	8.3	-43	-53	-39
	RO	-8.0	-1.6	9.6	-21	-112	-20
	AC	-4.0	5.9	8.7	-58	-24	-55

(¹) As estimativas para Q. média não incluem os grandes rios listados na tabela 11.2

Outros estudos recentes....



RESILIÊNCIA & SUSTENTABILIDADE



Exceto ônibus autorizado

Obrigado

Prof. Rodrigo Paiva

Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
rodrigo.paiva@ufrgs.br

