

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

HÁ MAIS DE 50 ANOS **GERANDO** E **DISSEMINANDO** O CONHECIMENTO GEOCIENTÍFICO COM **EXCELÊNCIA**



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO
FEDERAL



TEMPO DE RETORNO DE COTAS DE GRANDES CHEIAS E DO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO EM SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ / RS

francisco.marcuzzo@sgb.gov.br
eber.andrade@sgb.gov.br



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO
FEDERAL

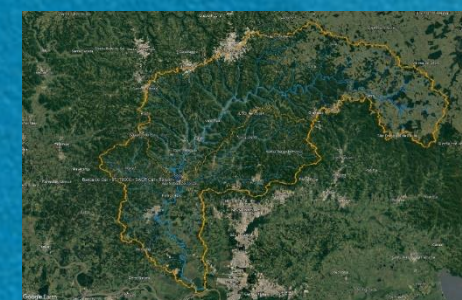
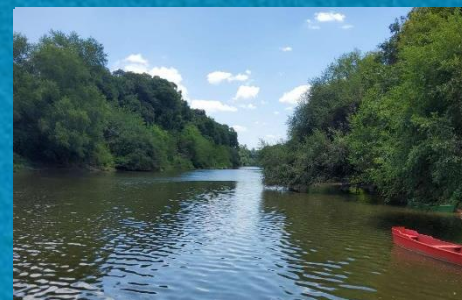
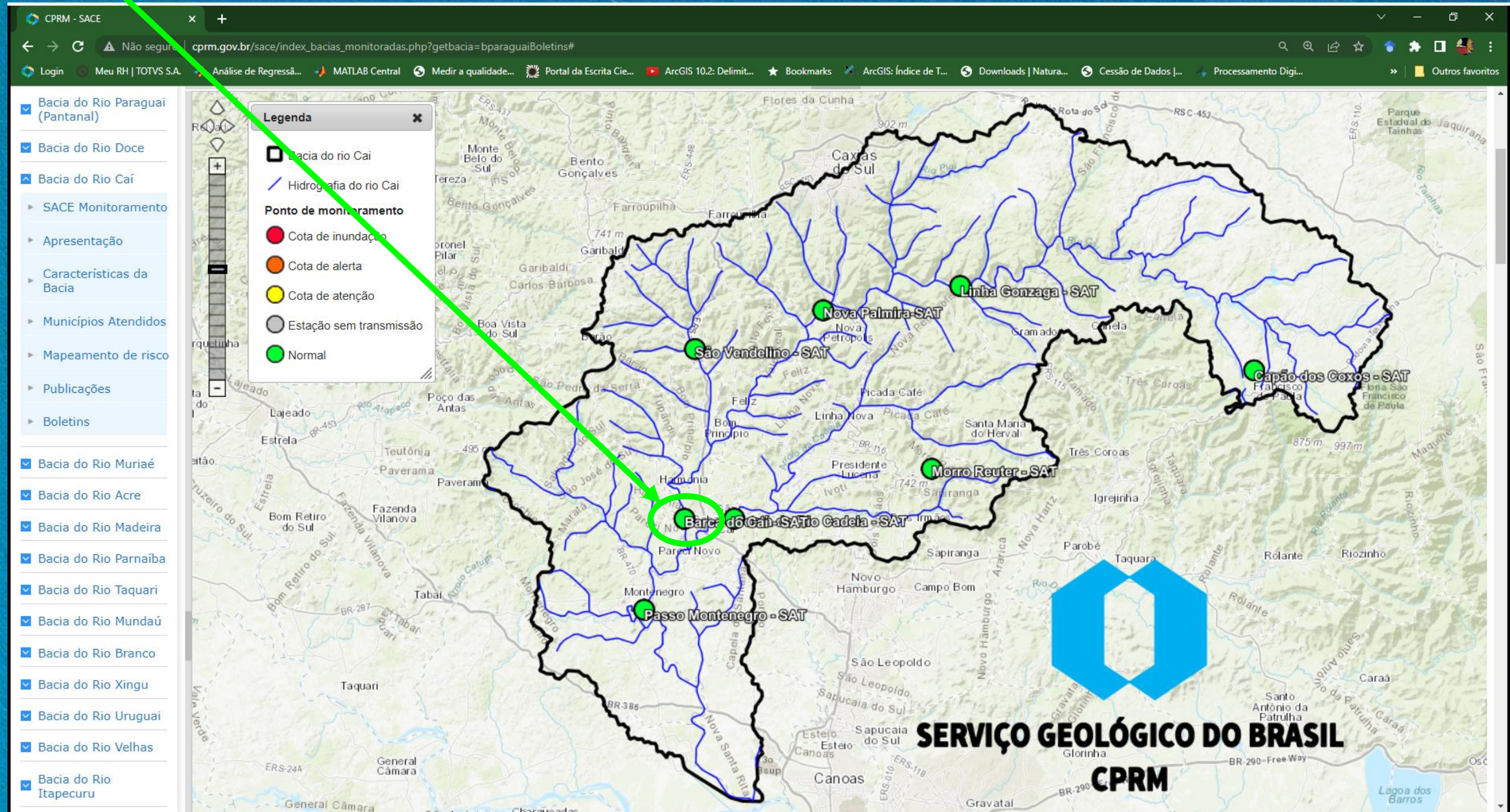
Introdução e Motivação

Para um bom entendimento da operação e monitoramento de um Sistema de Alerta Hidrológico (SAH), e na tentativa de previsibilidade futura de inundação, é fundamental que cotas de importância em rios estejam associados a Tempos de Retorno (TR), seja da própria cota ou de vazões associadas a essas cotas. O Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, <https://www.sgb.gov.br/sace/>) da bacia do rio Caí, considerando as informações disponíveis até 04/2023, há previsão de níveis para dois municípios: São Sebastião do Caí/RS (que é foco deste estudo) e Montenegro/RS.

A motivação deste estudo de análise de frequência local foi apresentar e discutir os períodos de retorno estimados para as cotas das maiores inundações registradas, e, também, as cotas de atenção, alerta e inundação do SAH do rio Caí, e de inundação severa, publicada por Silva (2021), na localidade da estação fluviométrica Barca do Caí (87170000), no município de São Sebastião do Caí / RS.

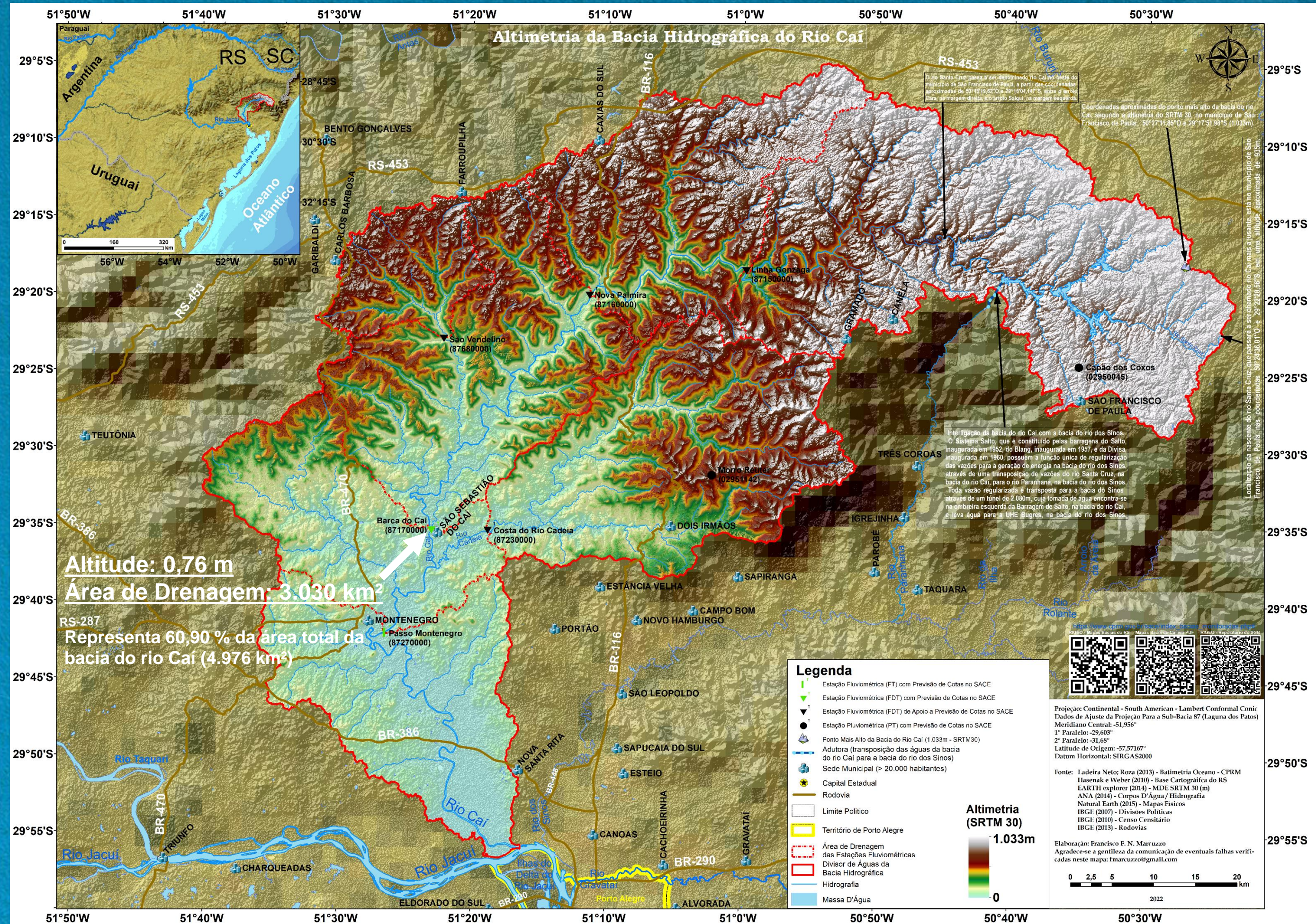
Localização - Bacia do Rio Caí e Estações de Apoio e as com Emissão de Boletim de Previsão de Cotas Pelo SACE-SGB

SGB-CPRM



Localização - Bacia do Rio Caí e Estações com Emissão de Boletim de Previsão de Cotas Pelo SACE-SGB

SGB-CPRM

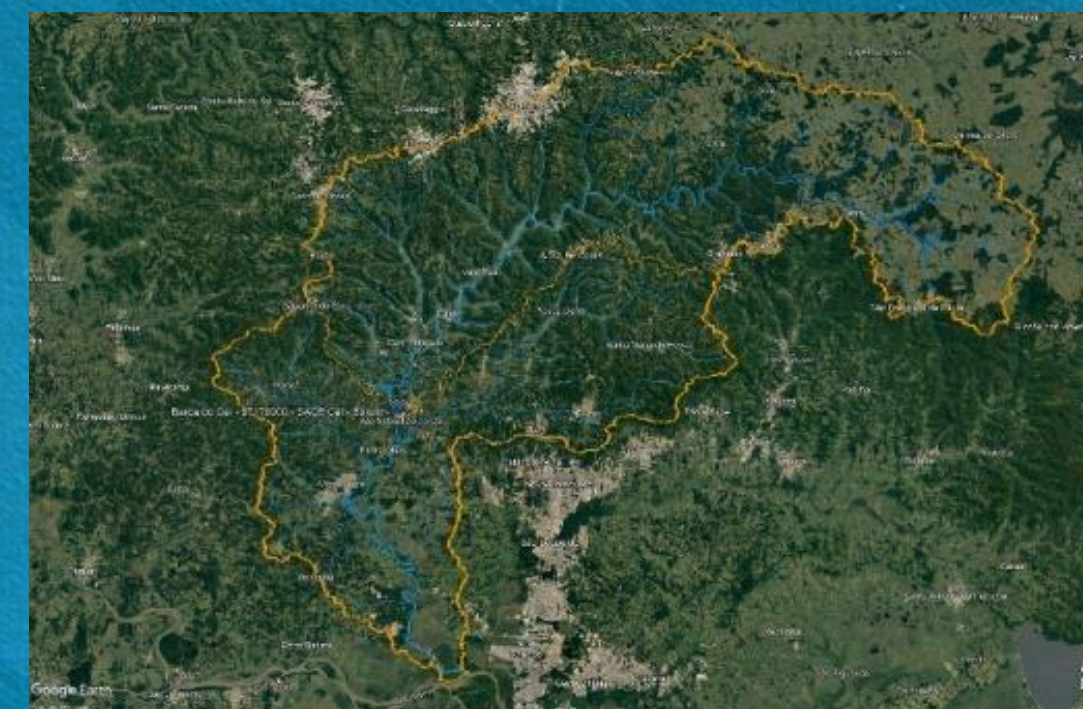
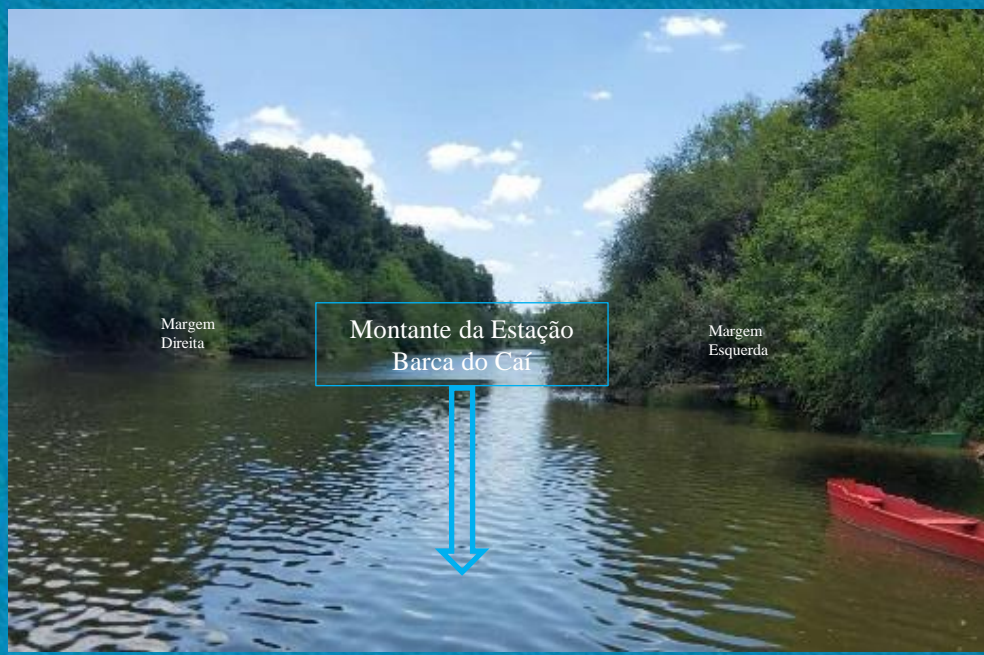


Localização - Dados Básicos das Estações com Emissão de Boletim de Previsão de Cotas (SACE-SGB)

Código da Estação	Nome da Estação	Nome do Rio	Atenção ¹	Alerta ¹	Inundação ¹	Inundação Severa ²	Área de Drenagem ³	Altitude ³
			----- Cota (cm) em 03/2023 -----				----- km ² -----	----- m -----
87170000	Barca do Caí	Caí	500	700	1.050	1.250	3.030	0,76

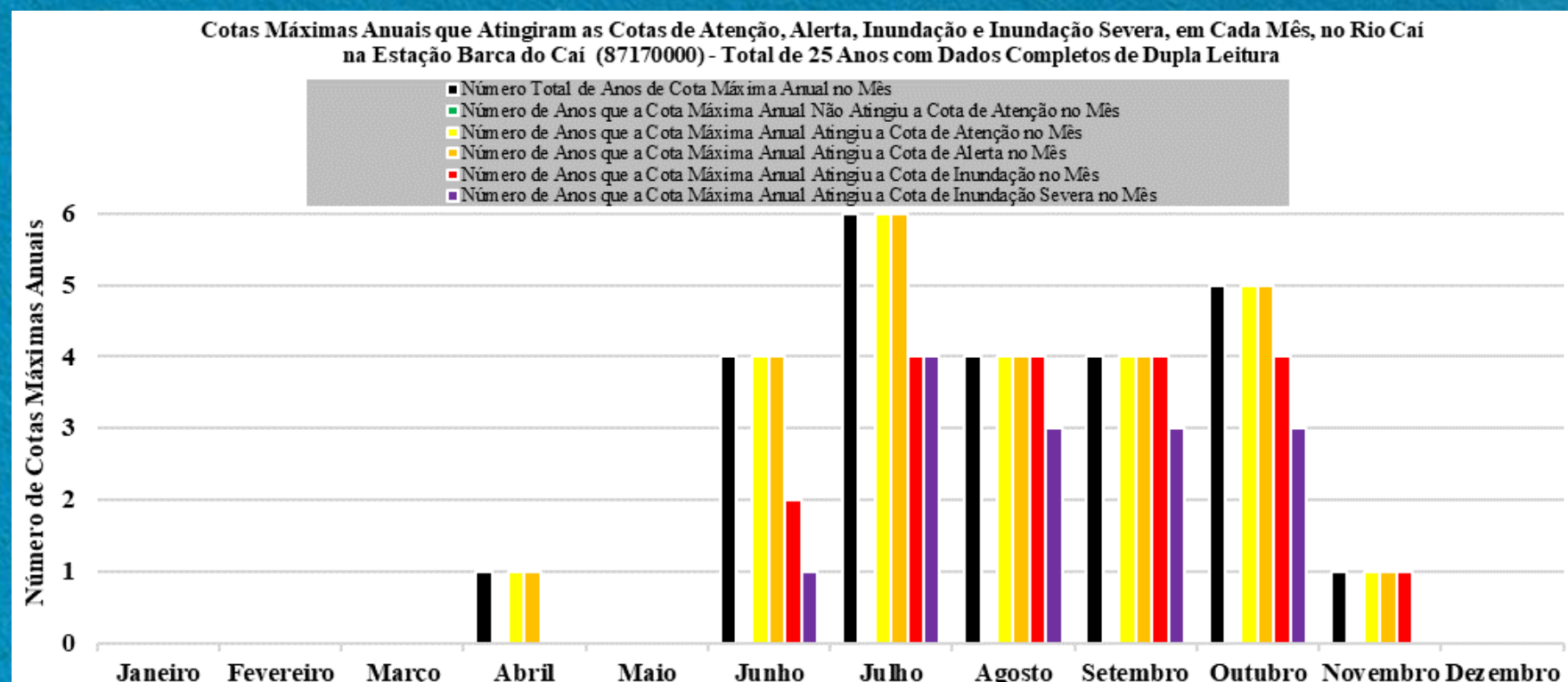
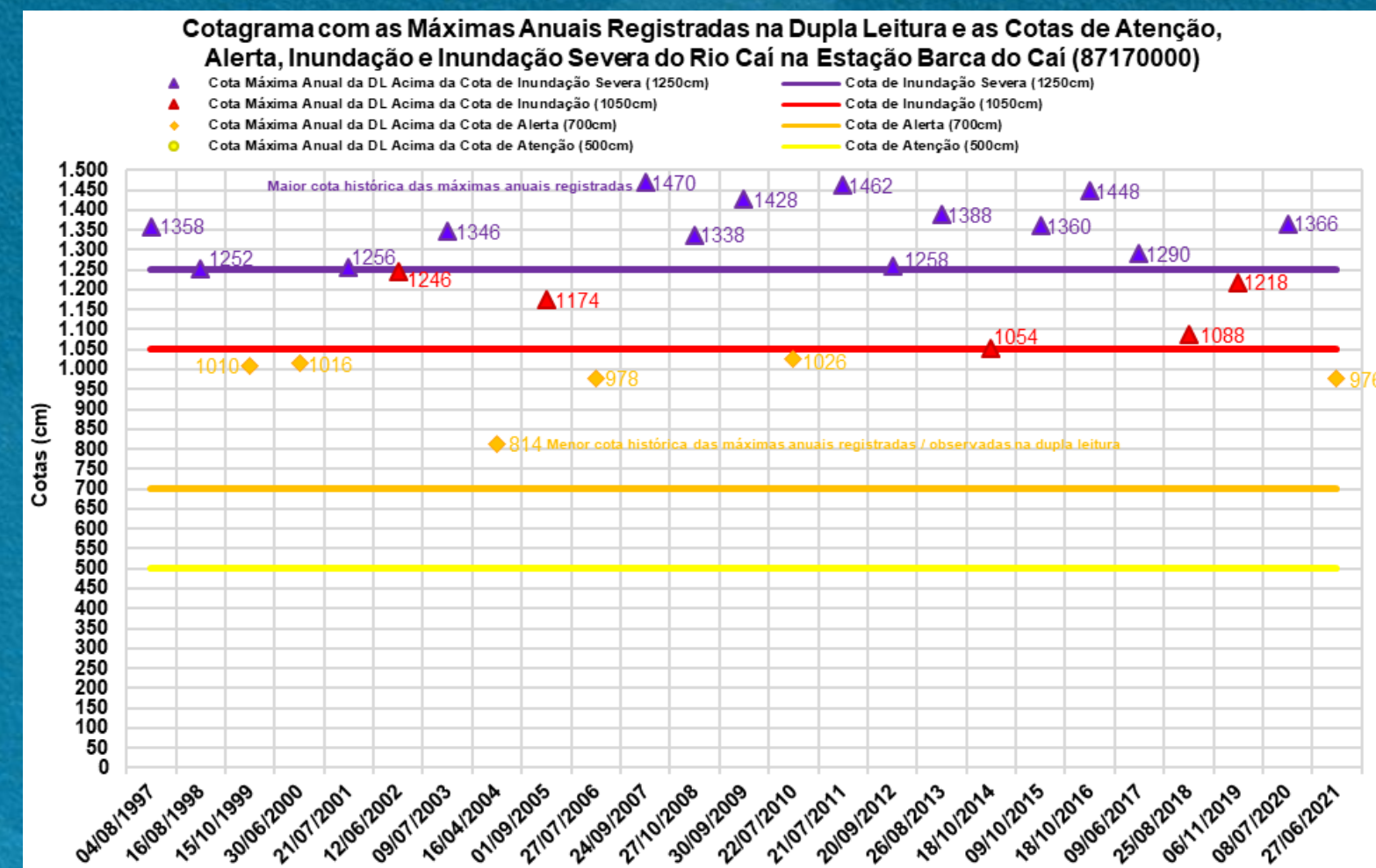
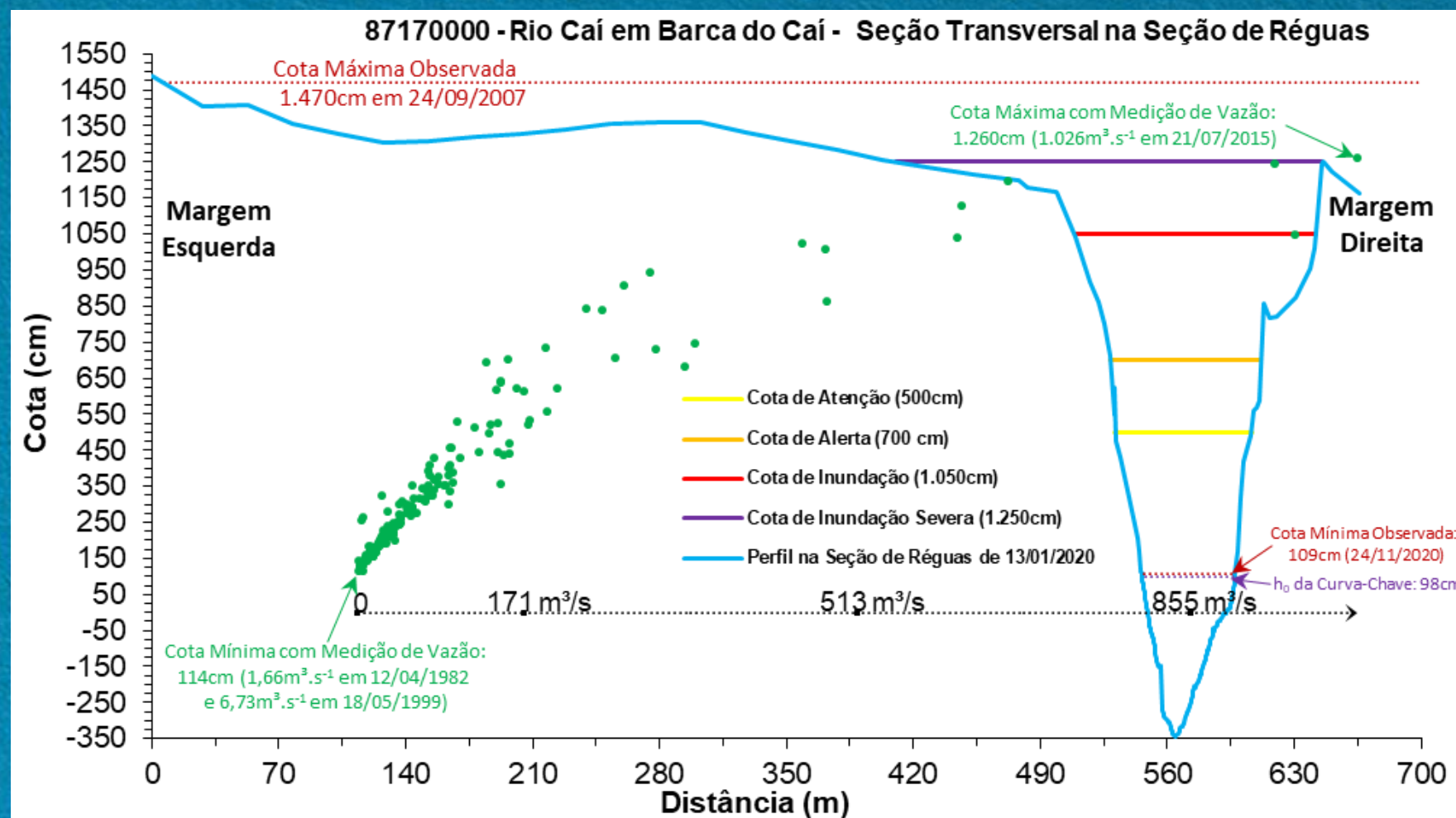
¹Cotas utilizadas, no SACE do SGB, em março de 2023; ²Estudo publicado por Silva (2021); ³Inventário da Agência Nacional de Águas de 11/03/2023.

- Estação Barca do Caí (87170000): 3.030 km²
- Representa 60,90 % da área total da bacia do rio Caí (4.976 km²)
- A estação está na margem esquerda do rio Caí, no município de São Sebastião do Caí/RS, e é utilizada para a previsão de cotas do SACE do Serviço Geológico do Brasil.



SGB-CPRM

Estação Barca do Cai (87170000) - Levantamento de Seção Transversal, Cotograma das Máximas



	Número Total de Anos com Dados Dupla Leitura	25	% em Relação ao Total
Nº de Anos com Cotas Maiores que Inundação Severa ¹ (1.250 cm)	14		56 %
Nº de Anos com Cotas Maiores que Inundação (1.050 cm)	19		76 %
Nº de Anos com Cotas Maiores que Alerta (700 cm)	25		100 %
Nº de Anos com Cotas Maiores que Atenção (500 cm)	25		100 %
Nº de Anos com Cotas Menores que Atenção (500 cm)	0		0 %

¹ Segundo o nível de cota de inundação severa (1.250 cm) estabelecido por Silva (2021) para a estação Barca do Cai (87170000).

SGB-CPRM

Análise de Frequência de Cotas Máximas

Metodologia

- I. Avaliar a consistência dos dados e organizar a série de cotas máximas por ano hidrológico.
- II. Verificar a presença de valores atípicos (*outliers*) com o critério baseado na amplitude interquartil, AIQ (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 39), e com o teste de Grubbs e Beck (NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 287).
- III. Avaliar a independência dos eventos da séries com o teste não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (1943), a homogeneidade por meio do teste não-paramétrico proposto por Mann e Whitney (1947) e a estacionariedade das séries pelo teste não-paramétrico de Spearman, o qual encontra-se descrito em Naghettini e Pinto (2007, p. 267).
- IV. Estimar a distribuição empírica calculando a posição de plotagem pela fórmula de Weibull, ou seja, no caso de séries de máximos por ano hidrológico temos $P(P>p) = m / ((N+1))$, onde m é número de ordem e N o tamanho de amostra.

Análise de Frequência de Cotas Máximas

Metodologia

- V. Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das cotas máximas por ano hidrológico. As distribuições candidatas são a distribuições de Gumbel e Log-Normal.
- VI. Calcular os parâmetros das distribuições teóricas de probabilidades candidatas pelo método dos momentos-L (HOSKING; WALLIS, 1997).
- VII. Definir a distribuição teórica que será adotada na modelagem das séries a partir da verificação da aderência à distribuição empírica. A aderência da distribuição teórica candidata à curva da distribuição empírica é verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov a 5 % de significância.
- VIII. Estimar os quantis associados a diferentes tempos de retorno.

Os critérios, além de um melhor detalhamento dos modelos Log-Normal e Gumbel, e da metodologia de cálculo adotada na análise de frequência de máximas utilizada neste estudo, podem ser analisados em Naghettini e Pinto (2007), Pinto (2013) e Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c).

Análise de Frequência de Cotas Máximas

Metodologia: Inversa das distribuições testadas - Log-Normal e Gumbel

A inversa da distribuição Log-Normal é calculada da seguinte forma:

$$x_T = \text{EXP}\left(\mu + \sigma \cdot Z_{(1-1/T)}\right)$$

Em que: T é o tempo de retorno (anos); x_T é o quantil associado a tempo de retorno, T ; $Z_{(1-1/T)}$ é o valor da variável normal padrão associada a probabilidade $(1 - 1/T)$. Pode ser obtida em tabelas ou empregando métodos numéricos para inverter $\Phi(x)$ apresentada no Anexo II de Marcuzzo e Pinto (2022a,b,c); μ é o parâmetro de posição; σ é o parâmetro de escala.

A inversa da distribuição de Gumbel é calculada por:

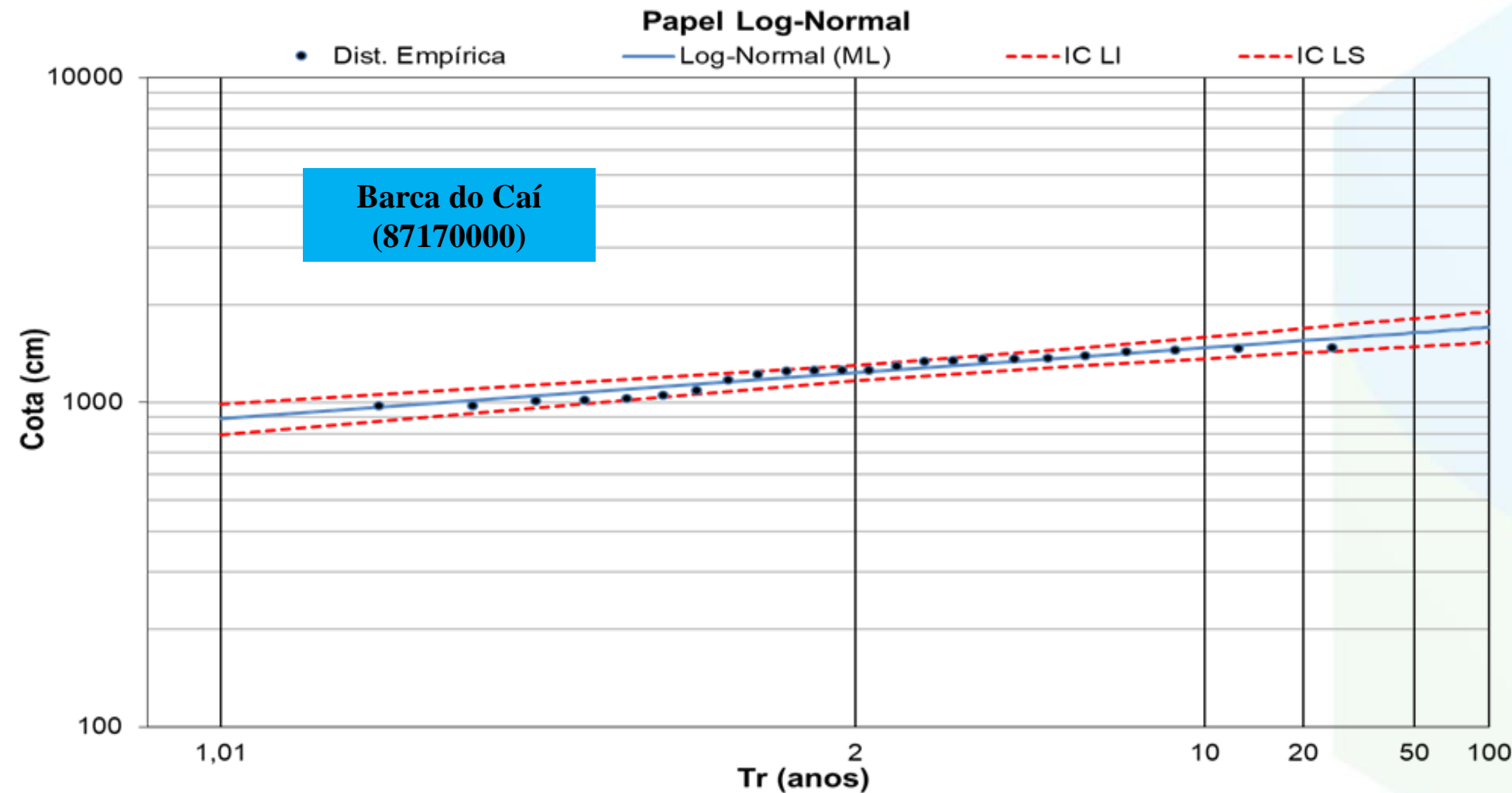
$$x_T = \beta - \alpha \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]$$

Em que: T é o tempo de retorno (anos); x_T é o quantil associado a tempo de retorno, T ; β é o parâmetro de posição; α é o parâmetro de escala.

Análise de Frequência de Cotas Máximas

Resultados

Ajuste das distribuições empírica e teórica Log-Normal da estação estudada:



Resumo da estatística das séries:

Barca do Caí (87170000)									
Média (cm)	Desvio Padrão (cm)	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Amplitude (cm)	Assimetria	Mediana (cm)	1º Quartil (cm)	3º Quartil (cm)	AIQ (cm)
1.241,9	164,3	1.470,0	976,0	494,0	-0,4	1.257,0	1.079,5	1.361,5	282,0

Distribuição	Posição (μ)	Escala (σ)
Log-Normal (μ, σ)	7,11565	0,13907

Cotas a serem alcançadas, em centímetros, para diferentes tempos de retorno (de 2 a 100 anos):

Estação	Tempo de Retorno, T (anos)												
	2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	100
Cotas (cm)													
Barca do Caí	1.231	1.384	1.471	1.517	1.547	1.570	1.589	1.617	1.638	1.655	1.676	1.692	1.701

Análise de Frequência de Cotas Máximas

Resultados

Cotas de atenção, alerta e inundação no SACE Caí, e de inundação severa da publicação de Silva (2021), além das respectivas maiores cheias registradas e os respectivos tempos de retorno e as probabilidades destas cotas serem igualadas ou superadas:

Nome e Código da Estação	Número de Anos de Dados de Cota Dupla Leitura Disponíveis ¹	Denominação da Cota de Interesse	Cota Disponível em 03/2023 (cm)	Tempo de Retorno da Cota (anos)	Probabilidade da Cota Ser Igualada ou Superada em um Ano Qualquer
Barca do Caí (87170000)	25	Atenção	500	1,0	100,0 %
		Alerta	700	1,0	100,0 %
		Inundação	1.050	1,14	87,72 %
		Inundação Severa	1.250	2,2	45,70 %
		Maior Cheia Histórica Registrada em 24/09/2007	1.470	9,89	10,11 %
		2ª Maior Cheia Histórica Registrada em 21/07/2011	1.462	9,24	10,82 %
		Maior Cota com Medição de Descarga Líquida (1.026 m ³ .s ⁻¹), Executada em 21/07/2015	1.260	2,31	43,29 %

Análise de Frequência de Cotas Máximas

Conclusão

- I. Analisou-se o ajuste das distribuições teóricas de probabilidade Log-Normal e Gumbel à série histórica das cotas máximas, empregando o teste de aderência não paramétrico Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 5 % de significância.
- II. A distribuição Log-Normal com momentos L foi a escolhida por apresentar os menores resíduos entre a distribuição teoria e empírica no rio Caí na estação Barca do Caí (87170000).
- III. Os tempos de retorno, e as probabilidades destas cotas serem igualadas ou superadas, em um ano qualquer, para as cotas de atenção, alerta, inundação e de inundação severa em Barca do Caí, foram: 1,0 (100 %); 1,0 (100 %); 1,14 (87,72 %); 2,2 (45,70 %).
- IV. Para a maior cheia registrada em Barca do Caí, o tempo de retorno para a cota máxima histórica registrada nos boletins DL (1.470 cm), foi de 9,9 anos, para uma série histórica de 25 anos, o que resultou numa probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 10,1 %.
- V. Já para a maior cota com medição de descarga líquida medida no campo (1.260 cm, com 1.026 m³.s-1, em 21/07/2015), em Barca do Caí, o tempo de retorno foi de 2,31 anos, o que resultou numa probabilidade desta cota ser alcançada ou superada, em um ano qualquer, de 43,3 %.

Todo material produzido ou utilizado direta e/ou indiretamente como apoio, neste estudo, está no artigo, para baixar da internet:

Material	Endereços (“links”) para Baixar Utilizando o Navegador de Internet
Figuras – Mapas da bacia do rio Caí e das áreas de drenagem das estações do SACE	PNG: https://drive.google.com/drive/folders/1OKrOhLuslKCnpSMgJbLpU-hk_plo39ec?usp=share_link PDF: https://drive.google.com/drive/folders/1adOoHeffYfz-jc_JyPWCZvsGmDtfBm?usp=share_link
Planilha de aplicação do Tempo de Retorno de cotas em Barca do Caí e Passo Montenegro	https://drive.google.com/drive/folders/1YARBbZiyAX-NEz5CZpQoPK5JDF08_Uj2?usp=share_link
Apresentação deste trabalho em PDF	https://drive.google.com/drive/folders/1OdIpzdNp56A1hsprJlKserAC2B1vnZr?usp=share_link
Localização das estações KMZ Google Earth	https://drive.google.com/drive/folders/13q9yktT-sNqWfhhJ8zRm-LfkxIOxivmM?usp=share_link
Diagramas unifilares da bacia do rio Caí	https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/18953 e https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/15128
Dados deste estudo, delimitação, altimetria e demais informações da bacia do rio Caí	https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22930 e https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22931

Mapas Bacia do Caí PNG



Mapas Bacia Caí PDF



Mapas Estado RS PDF



Sub-Bacias do Brasil



Regionalização de Vazões



Repositório do SGB / CPRM



Tutorial Cálculo TR SACE-RS



Tutorial Cálculo TR - Vídeo



Tutorial Cálculo TR - RIGEO



Como saber o Tempo de Retorno de cheias do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE) nas bacias dos rios Caí, Taquari e Uruguai?

<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24284>
<https://www.youtube.com/watch?v=iZb2jj1TI0I>



Trabalhos de Tempo de Retorno Publicados Pelo SGB nas Bacias dos Rios Caí, Taquari e Uruguai:

Muçum, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22943>
Montenegro, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22931>
São Sebastião do Caí, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22930>
Rosário do Sul, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22857>
Manoel Viana, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22860>
Alegrete, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22873>
São Borja, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22858>
Itaqui, RS: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22611>
Uruguaiana, RS (COTAS): <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22872>
Uruguaiana, RS (VAZÃO): <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22856>

Conheçam o material de hidrologia disponível no site do SGB / CPRM:

SGB SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

GEOCIENTÍFICO ACESSO À INFORMAÇÃO

O que você procura?

Página Inicial > Hidrologia > Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos

Apresentação | Eventos Críticos | Monitoramento Hidrológico e Hidrogeológico | Gestão da Informação Hidrogeológica | Pesquisa e Inovação | Estudos Hidrológicos e Hidrogeológicos | Difusão do Conhecimento

Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras

O estudo de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas assume um papel importante na disponibilidade de informações de vazão em bacias não monitoradas hidrologicamente, a partir do qual é possível realizar o levantamento da geodiversidade no Brasil. Isso porque, espacializa um dos elementos básicos para determinação da disponibilidade de recursos hídricos.

Além disso, os estudos de regionalização podem indicar a necessidade de melhoria da rede hidrometeorológica, seja pela necessidade de instalação de novas ou relocação de estações existentes, seja para fornecer um diagnóstico da qualidade dos dados, funcionando como ferramenta de auxílio à análise de consistência dos dados. Isso porque, em uma região de comportamento hidrológico considerado semelhante, cujas estações de monitoramento possuam séries de dados de diferentes tamanhos – séries longas e curtas, a existência de séries mais longas garantirá maior confiabilidade à variável regionalizada para as regiões com séries mais curtas, como uma forma de extensão baseada na informação espacial.

Desta forma, o Projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras realiza estudos objetivando transferir informações hidrográficas de uma região monitorada para outra que não possua coleta sistemática de dados, mas considerada de comportamento hidrológico semelhante. Além disso, apresenta uma forma de distribuir espacialmente a informação pontual oferecida pelas estações de monitoramento, estendendo-a para qualquer ponto ao longo dos cursos d'água da bacia hidrográfica.

O Projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras existe no SGB desde o ano 2000, quando foi firmado o convênio 015/2000 ANEEL - 013/CPRM/2000, a fim de desenvolver estudos de regionalização de vazões para sete bacias hidrográficas brasileiras. Em 2002, o convênio foi finalizado após a publicação dos relatórios-síntese, mas o SGB continuou desenvolvendo e atualizando os estudos de regionalização para subsidiar o planejamento e a gestão do território, auxiliando na mitigação dos efeitos dos eventos extremos, como as cheias e inundações.

Estudos Realizados pelo SGB

- ESTUDO DA VAZÃO DE 95% DE PERMANÊNCIA DA SUB-BACIA 58 (Bacia do rio Paraíba do Sul)

SACE SISTEMA DE ALERTA DE EVENTOS CRÍTICOS - SACE

Serviço Geológico do Brasil

Página Inicial | Bacias Monitoradas | Manchas de Inundação | Secas e Estiagens | Monitoramento Especial

BACIAS MONITORADAS

Sistemas de Alertas Hidrológicos atualmente em operação:

1. Bacia do rio Amazonas: em operação desde 1989
2. Bacia do rio Paraguai (Pantanal): em operação desde 1994
3. Bacia do rio Doce: em operação desde 1996
4. Bacia do rio Cai: em operação desde 2010
5. Bacia do rio Muriaé: em operação desde 2014
6. Bacia do rio Acre: em operação desde 2014
7. Bacia do rio Madeira: em operação desde 2014
8. Bacia do rio Parnaíba: em operação desde 2015
9. Bacia do rio Taquari: em operação desde 2015
10. Bacia do rio Branco: em operação desde 2015
11. Bacia do rio Xingu: operação a partir de janeiro de 2017
12. Bacia do rio Mundaú: em operação desde dezembro de 2017
13. Bacia do rio Uruguai: em operação desde dezembro de 2018
14. Bacia do rio das Velhas: em operação desde dezembro de 2018
15. Bacia do rio Itaipuru: em operação desde dezembro de 2019
16. Bacia do rio Pomba: em operação desde dezembro de 2019
17. Bacia do rio São Francisco: em implantação (2021)

SAH SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO
Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM)

RIGeo
Repositório Institucional de Geociências - CPRM

Resultado da pesquisa

Buscar em: PRODUÇÃO CIENTÍFICA

por: [] Ir

Filtros correntes: Autor [] Igual []

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha [] x

Retornar valores

Adicionar filtros:
Utilizar filtros para refinar o resultado de busca.

Título [] Igual [] Adicionar

Resultados/Página 100 | Ordenar registros por [Data de Publicação] Ordenar [Descendente]

Registro(s) [Todos] Atualizar

Resultado 1-100 de 179.

Anterior 1 2 Próximo

Data	Título	Autor(es)
Set-2023	Tempo de retorno das cotas de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação no talvegue do rio Uruguai	MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; PINTO, Eber José de Andrade
2022	Tempo de retorno das cotas de grandes cheias e de atenção, alerta e inundação do SAH na Bacia do Ibicuí	MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; PINTO, Eber José de Andrade
2022	Delimitação automática de bacias hidrográficas por SIG: procedimentos para tratamento de MDT	GOULARTE, Elvis Richard Pires; MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha
2022	Potenciometria, cobertura sedimentológica, capacidade de infiltração do solo e chuva anual na bacia do rio Tietê	MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha; MANZIONE, Rodrigo Lilla;

Filtros

Autor

- CARDOSO, Murilo Raphael 37
- WENDLAND, Edson Cezar 21
- MELATI, Maurício Dambrós 18
- ROMERO, Vanessa 18
- MANZIONE, Rodrigo Lilla 13
- PINTO FILHO, Ricardo de Faria 13
- MELO, Denise Christina de Rezende 12
- OLIVEIRA, Nayhara de Lima 10
- FARIA, Thiago Guimarães 6
- GOULARTE, Elvis Richard Pires 6

Assunto

- HIDROLOGIA 56
- PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA 44
- PLUVIOMETRIA 43
- RAINFALL 40
- REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL 40

Hidrologia Estatística

AGOSTO DE 2007

CPRM

MAURO NAGHETTINI
EBER JOSÉ DE ANDRADE PINTO

HIDROLOGIA ESTATÍSTICA vem preencher significativa lacuna na literatura técnica especializada em língua portuguesa no campo dos recursos hídricos. O conhecimento das ferramentas de estatística é fundamental para a evolução e para a prática da hidrologia, onde encontra diversificada gama de aplicações nas atividades rotineiras ligadas aos estudos e projetos de engenharia hidrográfica, que necessitam das teorias probabilísticas para a sua solução.

Conhecer e investigar as variáveis do meio físico são atributos comuns entre os conceitos aqui registrados e o Serviço Geológico do Brasil - CPRM. O livro apresenta o material didático capaz de orientar a pesquisa, e, com essa iniciativa, a instituição amplia a viabilidade do seu papel de agente promotor dos levantamentos hidrográficos básicos no país.

HIDROLOGIA ESTATÍSTICA é publicação dirigida para os profissionais da área, bem como para a formação de alunos de graduação e pós-graduação. Mostra o saber com princípios introdutórios, análise de dados, teoria das probabilidades, variáveis aleatórias discretas e contínuas, análise de frequência, correlação e regressão. Destaca também técnicas mais sofisticadas de tratamento, manipulação e representação de dados estatísticos, com exemplos práticos reais e selecionados da rede hidrometeorológica operada pelo CPRM.

www.cprm.gov.br

CPRM
Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
Ministério de Minas e Energia

Monitoramento Hidrológico e Hidrogeológico

Na linha de levantamentos hidrogeológicos, desde o início da década de 2010 o Serviço Geológico do Brasil - SGB/CPRM implementa e mantém a Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas - RIMAS. Com mais de 400 poços dedicados, a RIMAS realiza o monitoramento quali-quantitativo nos principais aquíferos livres do Brasil, como: Guarani, Alter do Chão e Uruçua. Onde a RHN não possui cobertura, a RIMAS também instala e opera estações automáticas de coleta de dados hidrometeorológicas, os quais são utilizados na estimativa de recarga dos aquíferos.

Na linha de levantamentos hidrometeorológicos, o SGB participa do planejamento e executa serviços de hidrologia para a União desde a década de 1970, bem como opera a Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN, atualmente gerenciada pela Agência Nacional de Águas - ANA. Desde 2014, participa da implantação da Rede Hidrometeorológica Nacional de Referência - RHNr, através de uma parceria firmada entre o Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS, a ANA e o SGB, que prevê a otimização e a modernização da RHN.

Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN)

RIMAS

Operação Integrada de Águas Superficiais e Subterrâneas do SGB

RHNr

SGB
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM

SGB-CPRM

Obrigado Pela Atenção!

francisco.marcuzzo@sgb.gov.br
eber.andrade@sgb.gov.br



SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO
FEDERAL