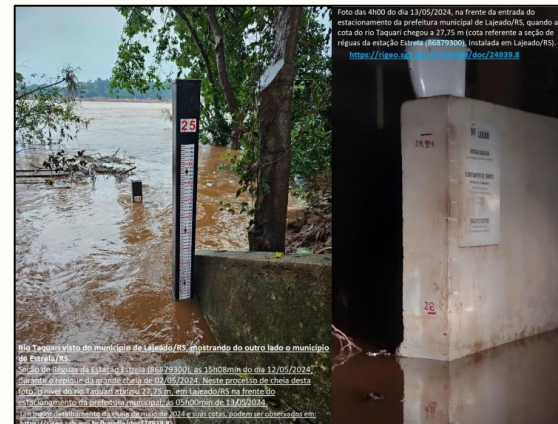


TEMPOS DE DESLOCAMENTO DE AUMENTO NOS NÍVEIS DOS RIOS CAÍ E TAQUARI ENTRE ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS



- Acúmulo de sedimentos, alteração da morfologia dos canais, prejuízo à sistemas ciliares.
- Impactos na pesca, navegação, lazer, turismo, abastecimento de água (Nascimento, 2018).

Figuras 1 a 3 – Impactos da cheia de maio de 2024 no RS



Fonte das figuras: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/24939.12>

- Permite conhecimento da dinâmica do rio e realização de previsões.
- Definição de hidrograma em um ponto de jusante a partir de um ponto de montante (Chow, 1959).

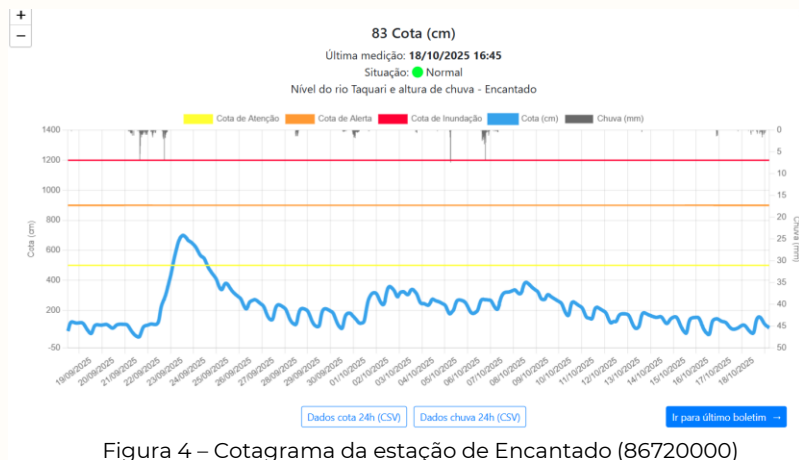


Figura 4 – Cotograma da estação de Encantado (86720000)

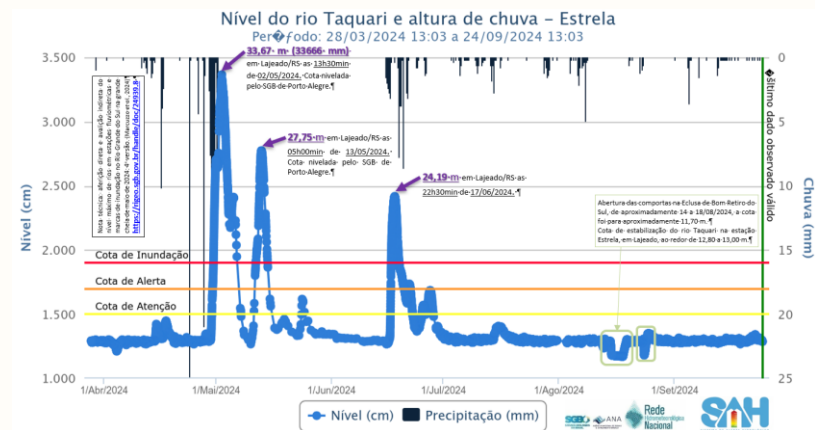


Figura 5 – Cotograma da estação de Estrela (86789300)



Sistemas de Alerta Hidrológico do SGB

- 17 SAHs, 3 na região sul (SC e RS): Uruguai, Taquari e Caí.
- Estações telemétricas com dados a cada 15 min.
- Cotas de referência: Inundação, Alerta e Atenção.

SAH Caí

- Operação desde 2010.
- Previsão para São Sebastião do Caí e Montenegro (Silva e Matos, 2014).

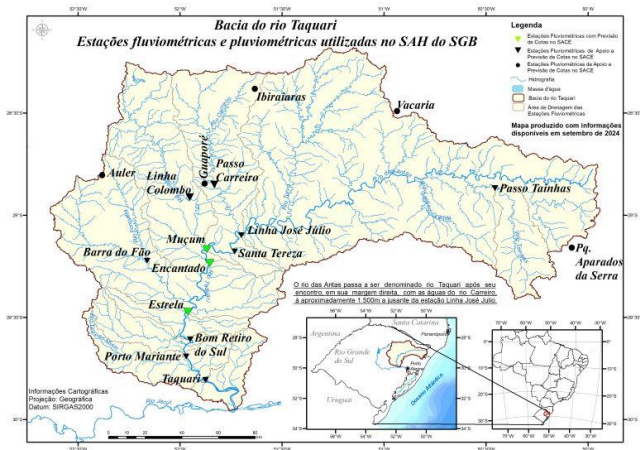


Figura 6 – Bacia Hidrográfica do Rio Taquari

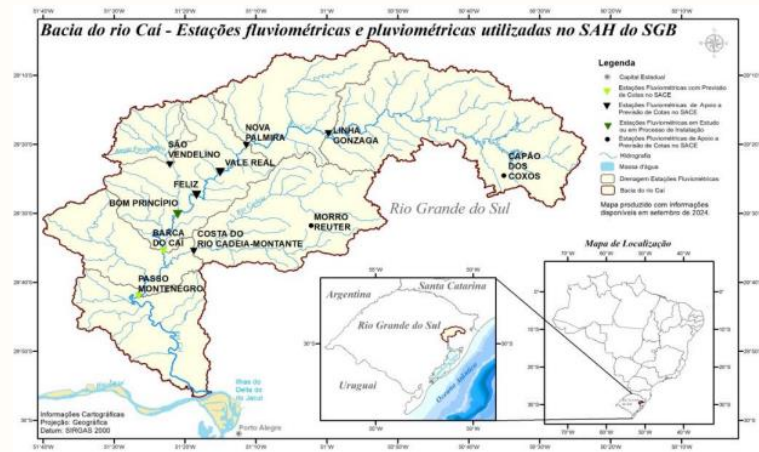


Figura 7 – Bacia Hidrográfica do Rio Caí

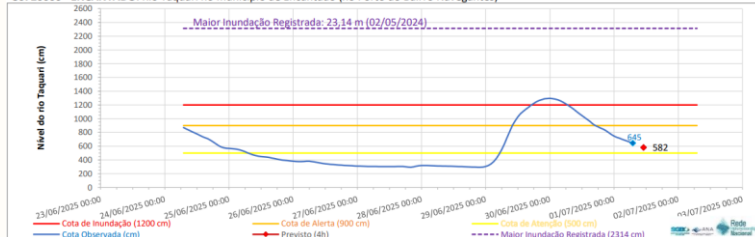
SAH Taquari

- Operação desde 2015.
- Previsão para Muçum, Encantado, Estrela e Lajeado (Buffon et al., 2021).

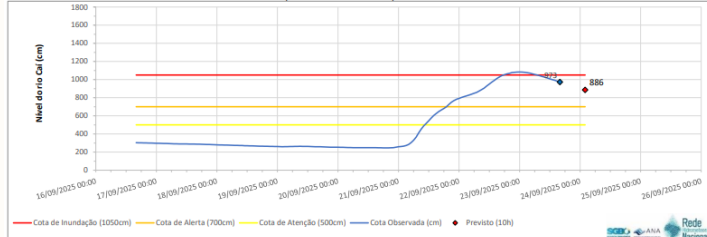


Analisar o **tempo de deslocamento** nos níveis dos rios em **diferentes intervalos de cotas** (abaixo da cota de atenção, entre as cotas de atenção e alerta, entre as cotas de alerta e inundação e acima da cota de inundação) entre as estações fluviométricas com telemetria dos rios Caí e Taquari, as quais fazem parte dos Sistemas de Alerta Hidrológico do Serviço Geológico do Brasil (SGB).

86720000 - ENCANTADO: Rio Taquari no município de Encantado (no Porto do Bairro Navegantes)



87170000 - BARCA DO CAÍ: Rio Caí em São Sebastião do Caí (Rua Pinheiro Machado)



Figuras 8 e 9 – Cotagramas das estações Encantado (86720000) e Barca do Caí (87170000)

Fonte das figuras: <https://www.sqb.gov.br/sace>





Área de estudo

- Bacias dos rios Caí e Taquari estão inseridas na Bacia Hidrográfica do Atlântico no Trecho Sudeste (Figura 10).

Base de dados

- Estações fluviométricas dos rios Caí e Taquari operadas pelo SGB. Dados utilizados consistidos por Mendes *et al.* (2025) (Figura 10 e Tabela 1).

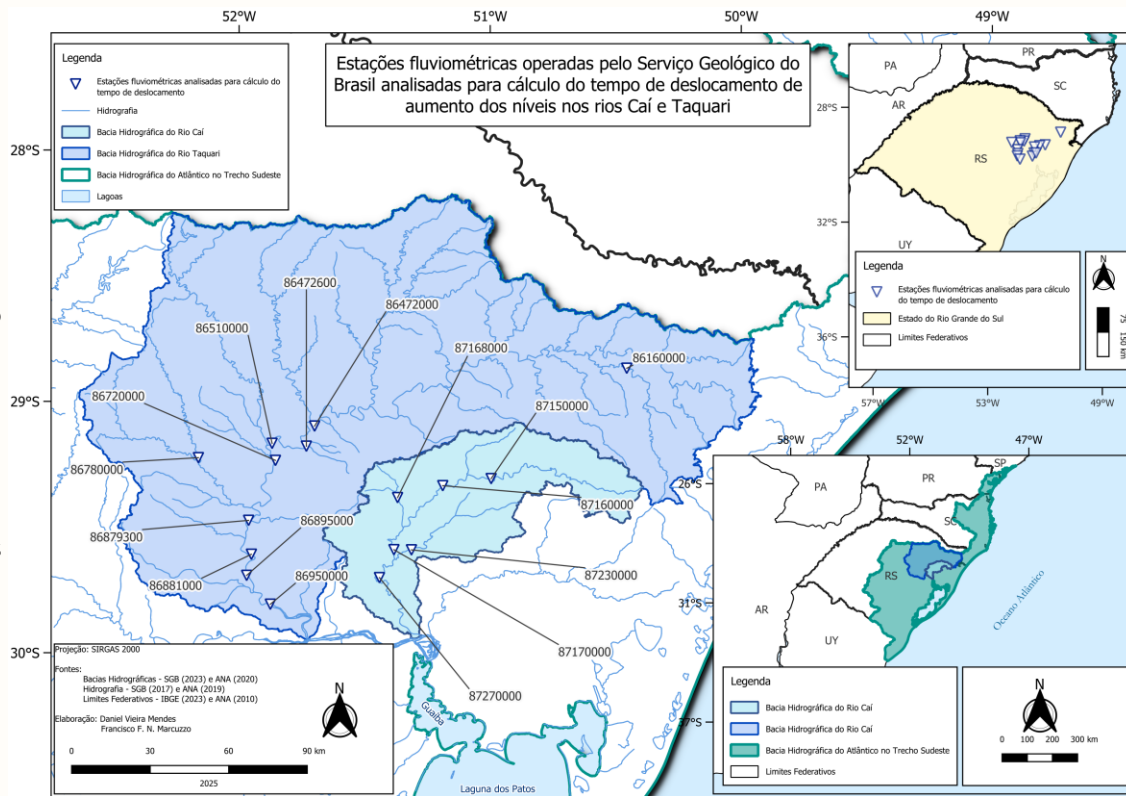


Figura 10 - Mapa de localização de estudo e das estações analisadas





Materiais e Método

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas com dados consistidos conforme Mendes *et al.* (2025)

Bacia Hidrográfica (BH)	Estação fluviométrica	Código	Município	Latitude	Longitude	Inundação		Alerta		Atenção		Período utilizado*	Total de Anos
						Cota (cm)	Permanência (%)	Cota (cm)	Permanência (%)	Cota (cm)	Permanência (%)		
RIO CAÍ	Linha Gonzaga	87150000	Caxias do Sul	-28.8681	-50.4561	-	-	-	-	-	-	Set/2015 – Jul/2024	7,94
RIO CAÍ	Nova Palmira	87160000	Caxias do Sul	-29.3189	-51.1889	470	0,37	300	1,61	200	4,51	Out/2010 – Jul/2024	13,07
RIO CAÍ	São Vendelino	87168000	São Vendelino	-29.387	-51.3689	-	-	-	-	-	-	Nov/2015 – Jun/2025	8,38
RIO CAÍ	Barca do Caí	87170000	São Sebastião do Caí	-29.5900	-51.3833	1050	1,47	700	6,01	500	11,06	Out/2010 – Jul/2024	12,20
RIO CAÍ	Costa do Cadeia Montante	87230000	São Sebastião do Caí	-29.5906	-51.3136	1000	0,9	700	3,26	500	8,09	Dez/2011 – Jul/2024	10,23
RIO CAÍ	Passo Montenegro	87270000	Montenegro	-29.7011	-51.4411	600	2,68	400	6,88	300	10,29	Out/2010 – Jun/2024	12,92
RIO TAQUARI	Passo Tainhas	86160000	Jaquirana	-28.8681	-50.4561	-	-	-	-	300	2,41	Nov/2019 – Jul/2024	4,71
RIO TAQUARI	Linha José Júlio	86472000	Santa Tereza	-29.0978	-51.6997	-	-	1000	1,29	650	5,20	Set/2015 – Mai/2024	5,87
RIO TAQUARI	Santa Tereza	86472600	Santa Tereza	-29.1781	-51.7322	1500	1,17	900	4,21	600	12,32	Out/2022 – Jul/2024	1,49
RIO TAQUARI	Muçum	86510000	Muçum	-29.1672	-51.8686	1800	0,29	900	1,99	500	8,26	Abr/2015 – Jul/2024	8,76
RIO TAQUARI	Encantado	86720000	Encantado	-29.2344	-51.8550	1200	0,67	900	1,46	500	5,33	Jul/2015 – Jul/2024	8,26
RIO TAQUARI	Barra do Fão	86780000	Travesseiro	-29.2239	-52.1622	1000	0,07	600	0,30	400	0,63	Fev/2015 – Out/2024	2,03
RIO TAQUARI	Estrela	86879300	Estrela	-29.4733	-51.9622	1900	1,4	1700	2,02	1500	3,88	Jul/2015 – Jul/2024	7,92
RIO TAQUARI	Bom Retiro do Sul	86881000	Bom Retiro do Sul	-29.6081	-51.9511	1650	2,24	1200	5,42	900	11,45	Nov/2018 – Jul/2024	3,77
RIO TAQUARI	Porto Mariante	86895000	Venâncio Aires	-29.6922	-51.9700	1400	0,48	1100	1,58	700	6,07	Nov/2014 – Out/2024	5,56
RIO TAQUARI	Taquari	86950000	Taquari	-29.8070	-51.8758	850	0,83	650	4,21	400	13,23	Jul/2015 – Jul/2024	6,32

*Séries históricas foram consistidas, porém, destaca-se que elas podem apresentar descontinuidade em seus dados devido à intervalos de dados que não se é possível preencher, conforme Mendes *et al.* (2025).

Fonte: ANA (2024) e SGB (2025).





Materiais e Método

Cálculo de deslocamento (Python)

- Baseado na hora de maior correlação entre os eventos.
- Separa eventos (4 diferentes cenários - Figura 11).
- Mesmo evento nas estações de montante e jusante.
- Mantém-se um evento imóvel (estação de jusante) e desloca-se o evento móvel (estação de montante), de hora em hora.
- A hora de maior correlação entre os *eventos (não somente o pico)* define o tempo de deslocamento.
- Cheias completas e incompletas (falha após o registro do pico).

Perfis longitudinais (QGIS)

- MDT provenientes do ANADEM.

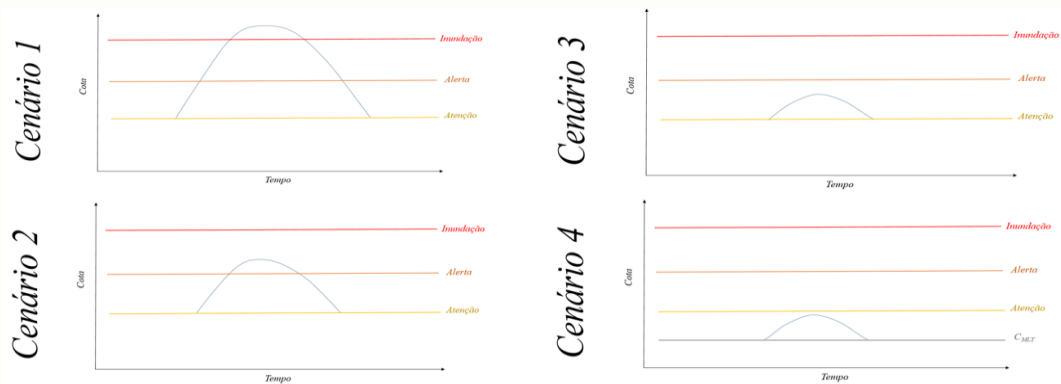


Figura 11 – Cenários de referência para os diferentes cálculos de tempo de deslocamento de onda

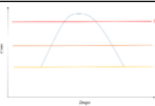
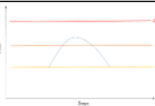
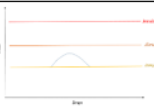
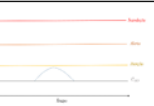




Resultados e Discussão

Tempo de Deslocamento de Onda

Tabela 2 – Tempos médios de deslocamento de onda (em horas decimais) nas bacias hidrográficas dos rios Caí e Taquari

Nome do Rio	Percurso entre duas estações	Cenário 1  Cenário 2  Cenário 3  Cenário 4 									
				*Cheia completa	*Cheia parcial	Cheia completa	Cheia parcial	Cheia completa	Cheia parcial	Cheia completa	Cheia parcial
		Distância (km)	Declividade (m/m)	Tempo de deslocamento médio, em horas decimais							
Rio Caí	Linha Gonzaga à Nova Palmira	29,21	0,002859	3,26	3,15	0,96	1,04	3,71	3,87	7,77	8,02
Rio Caí	Nova Palmira à Barca do Caí	56,29	0,000817	11,62	11,28	10,02	9,82	12,50	13,55	12,21	11,97
Rio Caí	São Vendelino à Barca do Caí	39,49	0,001695	14,88	14,68	13,18	13,17	16,69	17,39	15,70	15,54
Rio Caí	Costa do Cadeia Montante à Passo Montenegro	29,3	0,000361	6	6	2,06	2,06	8,44	8,44	12,16	11,95
Rio Caí	Barca do Caí à Passo Montenegro	20,43	0,000098	9,75	9,82	6,35	6,34	6,51	6,64	10,12	9,92
Rio Taquari	Linha José Júlio à Santa Tereza	19,76	0,000607	1,66	1,66	2	2	1,6	1,6	5,53	5,53
Rio Taquari	Santa Tereza à Muçum	23,49	0,000681	2,25	2,25	1,6	1,6	5,1	4,72	7,78	7,78
Rio Taquari	Muçum à Encantado	13,17	0,000607	0,66	0,66	0,58	0,58	2,69	2,69	5,62	5,48
Rio Taquari	Encantado à Estrela	47,33	0,000338	4,88	5,05	2,6	3	9,90	9,63	16,79	15,98
Rio Taquari	Barra do Fão à Estrela	57	0,000903	13,5	13,5	14	14	17,5	17,5	19,27	18,43
Rio Taquari	Estrela à Bom Retiro do Sul	20,63	0,000218	2,2	2,2	2,83	2,66	10	7,5	10,45	9,79
Rio Taquari	Bom Retiro do Sul à Porto Mariante	15,55	0,000193	3	1	1,75	1,75	0,87	0,88	4,13	3,95
Rio Taquari	Porto Mariante à Taquari	20,94	0,000167	6,5	17,8	6,6	6,6	7,08	7,41	17,5	17,90

* Cheia Completa - evento de cheia com subida, pico e descida totalmente registrados.

Cheia Parcial - eventos que tiveram subida e pico totalmente registrados e período de descida parcialmente registrado.



Resultados e Discussão

Tempo de Deslocamento de Onda

- Horários representam a média dos deslocamentos
- Tempo de deslocamento da onda, não somente do pico
- Cota CMLT pode levar à definição de eventos muito grandes, tendo maiores chances de inconsistências aparecerem (Figura 12).
- Cheias incompletas são muito úteis para entendimento da dinâmica do rio, principalmente em eventos muito extremos (Figura 13).

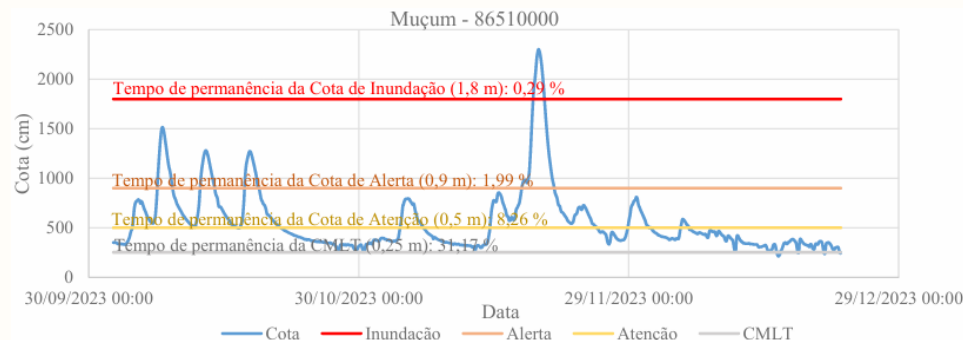


Figura 12 – Evento selecionado utilizando cota CMLT

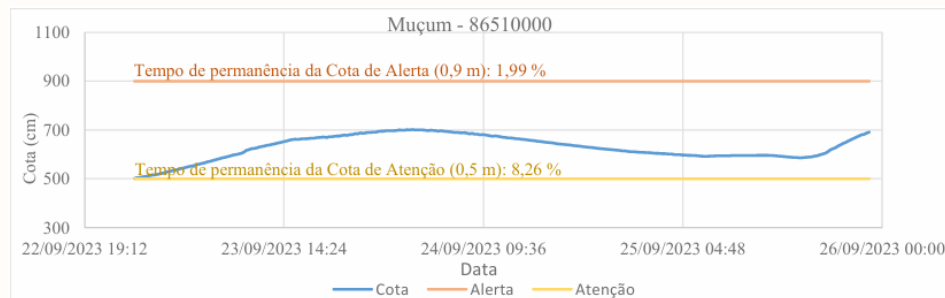


Figura 13 – Evento parcial selecionado (Cheia Parcial)





Resultados e Discussão

Tempo de Deslocamento de Onda

- Quanto maiores os valores de cota, e a respectiva onda de cheia, menor tende a ser o tempo de deslocamento (onda se desloca mais rapidamente).
- **Exceto com as ondas de alerta** (aquelas que atingiram alerta, mas não inundação). Resultado encontrado em 69% dos casos.
- A porcentagem de 69% não foi maior devido, possivelmente, à:
 - Barra do Fão e Bom Retiro do Sul com anos de dados totais reduzidos.
 - Afluentes (Rio Forqueta no Rio Taquari; Arroio Forromeco e Rio Cadeia no Caí) contribuem de maneiras distintas.

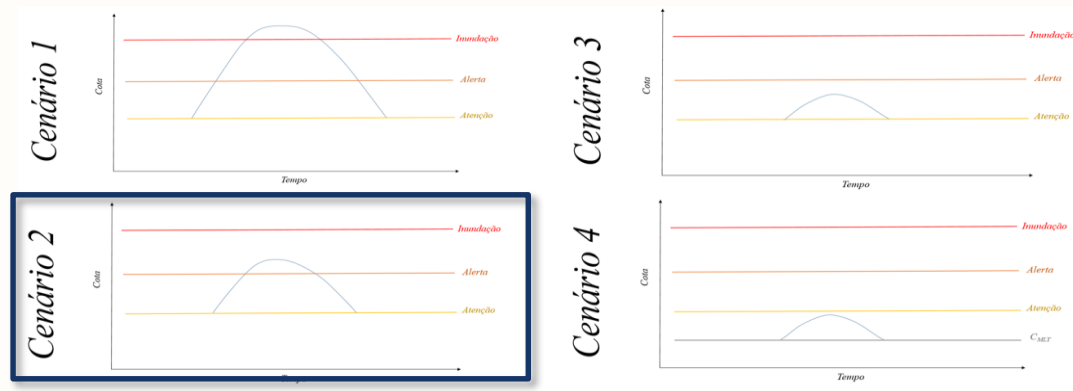


Figura 11 – Cenários de referência para os diferentes cálculos de tempo de deslocamento de onda





Resultados e Discussão

Ondas de alerta mais rápidas que as de inundação

- Rugosidade e atrito das margens da planície de inundação podem atenuar a velocidade da onda (Wong e Laureson, 1983; Anderson *et al.*, 2006).
- Quando a calha do rio está cheia e prestes a inundar, a velocidade da onda diminui mesmo aumentando-se a vazão (Fleischmann *et al.*, 2016).
- Comportamento não unívoco entre cota e vazão, em que uma mesma cota pode inferir em uma vazão diferente, a depender se está em cheia ou vazante (Jacon e Cudo, 1989; Marcuzzo *et al.*, 2019)
- Efeito de jusante (remanso) faz com que, em elevadas cheias, a velocidade de escoamento se altere (Alves, 2018; Dykstra e Dzwonkowski, 2020).

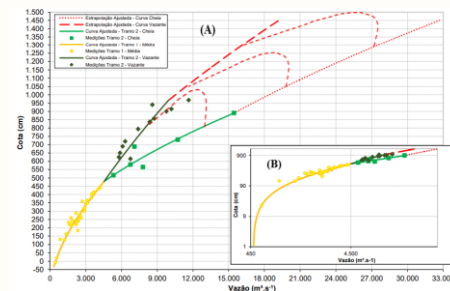
Figuras 14 e 15 – Impactos da cheia de maio de 2024 no RS



Vista de cima da BR-386, em Lajeado/RS, próximo a ponte do rio Taquari, em 03/05/2024, por volta das 13h30min. Um maior detalhamento das cotas desta cheia, no estado do Rio Grande do Sul, pode ser obtido em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/24939.8>

Fontes das figuras: SGB (2024) e Marcuzzo *et al.* (2019)

Figura 16 – Curva-chave em laço

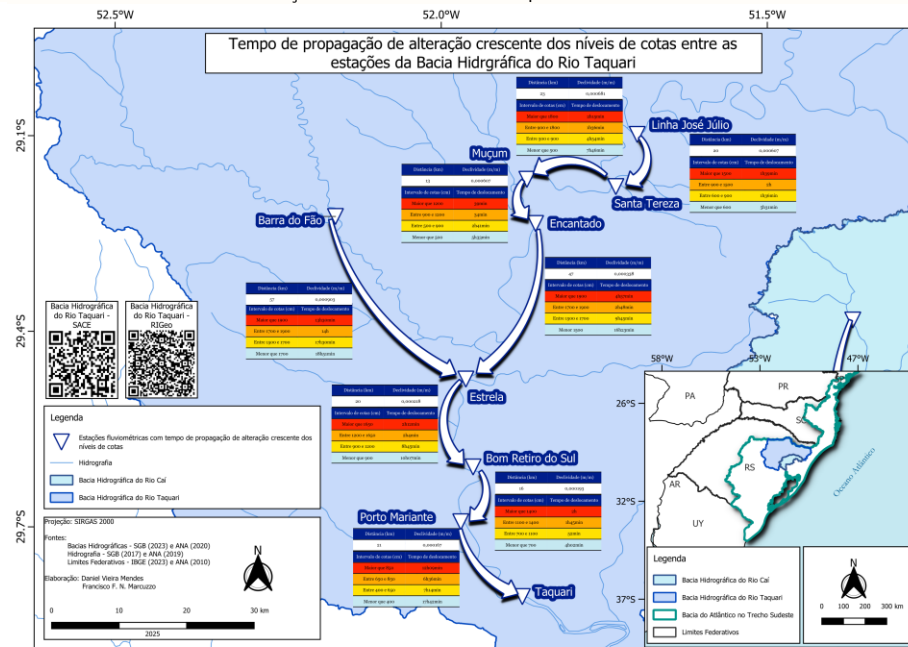
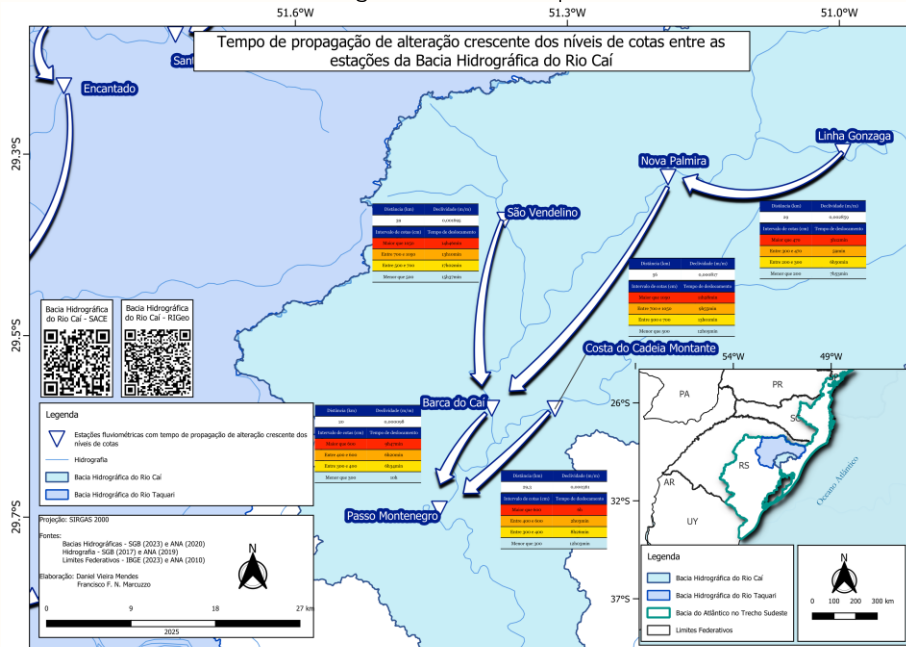




Resultados e Discussão

Tempos de deslocamento de aumento nos níveis dos rios Caí e Taquari

Figuras 17 e 18 – Tempos de deslocamento de aumento no nível do rio entre as estações dos rios Caí e Taquari





Materiais e Método

Perfis longitudinais dos talvegues dos rios Caí e Taquari

- Quanto maior a declividade, menor o tempo de deslocamento (onda se desloca mais rapidamente). Por exemplo, entre as estações:

Estrela (86879300) e Bom Retiro do Sul (86881000)

Bom Retiro do Sul (8688100) e Porto Mariante (86895000)

Porto Mariante (86895000) e Taquari (86950000)

Barca do Caí (87170000) e Passo Montenegro (87270000)

- Quanto maior a distância, maior o tempo de deslocamento (onda se desloca mais lentamente). Por exemplo, entre as estações:

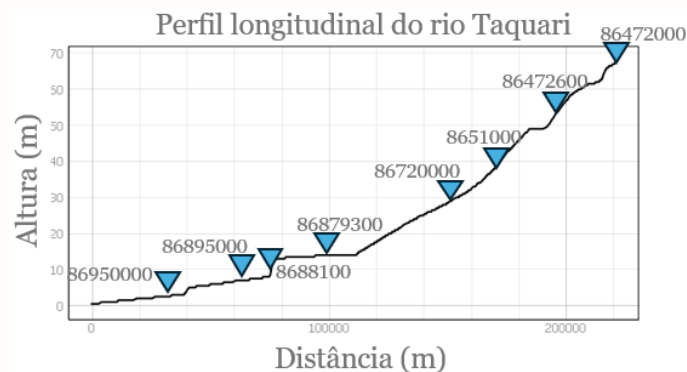
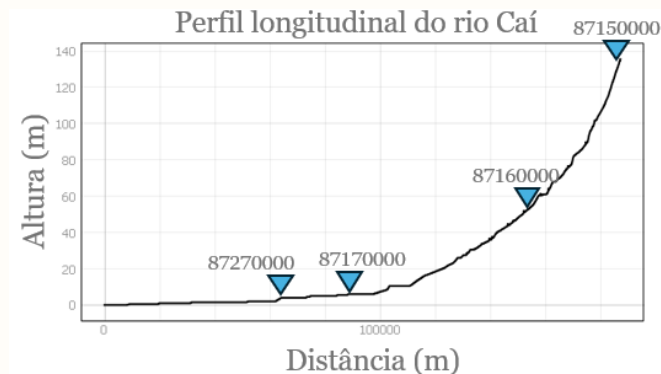
Encantado (86720000) e Estrela (86879300)

Barra do Fão (86780000) e Estrela (86879300)

Nova Palmira (87160000) e Barca do Caí (87170000)

São Vendelino (87168000) e Barca do Caí (87170000)

Figuras 19 e 20 – Perfis longitudinais dos talvegues dos rios Caí e Taquari nos trechos entre as estações





Conclusão

- ❑ O tempo de deslocamento das ondas entre as estações tende a ser menor (mais rápida) com o aumento da onda de cheia, com exceção da onda de alerta.
- ❑ A declividade e a distância entre as estações também têm influência no tempo de deslocamento. Tendendo a ser diretamente proporcional à distância e inversamente à declividade.





Referências

ALVES, L. G. S. A (2018). Aprimoramento de série de dados de vazão em regimes sob efeito de remanso hidráulico variável: impactos na modelagem hidrológica e hidrodinâmica da Bacia Amazônica. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 90p.

ANDERSON, B., I. RUTHERFURD, AND A.W. WESTERN (2006). “An analysis of the influence of riparian vegetation on the propagation of flood waves”. Environmental Modelling & Software. Volume 21, Issue 9, pp. 1290 1296.

BUFFON, F. T; CHAGAS, A.; MATTIUZI, C. D. P.; SILVA, E. D.; MATOS, A. J. S. (2021). Relatório Técnico de Operação no período de novembro de 2020 a novembro de 2021. Relatório de Atividades – Departamento de Hidrologia. Serviço Geológico do Brasil. Porto Alegre, RS. 48p.

CHOW, V. T. (1959). Open Channel Hydraulics. Tokyo: McGraw Hill. 680p.

DYKSTRA, S. L.; DZWONKOWSKI, B. (2020). “The Propagation of Fluvial Flood Waves Through a





Referências

DYKSTRA, S. L.; DZWONKOWSKI, B. (2020). “The Propagation of Fluvial Flood Waves Through a Backwater-Estuarine Environment”. Water Resources Research. 24p.

FLEISCHMANN, A. S.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHON, W.; SORRIBAS, M. V.; PONTES, P. R.M. (2016). “On river-floodplain interaction and hydrograph skewness”. Water Resources Research. 7615 – 7630.

JACCON, G.; CUDO, K. J. (1989). Curva-Chave: Análise e Traçado. 275p.

MARCUZZO, F. F. N.; MALDONADO, L. H.; SOUZA, S. A. de. (2019). “Curva-chave sob efeito de histerese: traçado e ajuste de curva-chave média e em laço” in Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, Foz do Iguaçu, PR. Foz do Iguaçu: ABRH, 2019.

MENDES, D. V.; CAVEDON, T. X.; LEITE, A. P.; MATTIUZI, C. D. P.; MARCUZO, F. F. N.; (2025). Manual de utilização de planilha e técnicas para pré-consistência de dados fluviométricos. Serviço Geológico do Brasil. Departamento de Hidrologia. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/>.





Referências

NASCIMENTO, S. C. (2018). Estudo da propagação de ondas de cheia ao longo dos rios do Pantanal Mato-Grossense. Centro de tecnologia. UFPB. João Pessoa, PB. 78p.

SILVA, E. D; MATOS, A. J. S. (2024). Operação do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Caí. Departamento de Hidrologia. Serviço Geológico do Brasil. 8p.

WONG, T. H. F; LAURENSEN, E. M. (1983). “Wave Speed-Discharge Relations in Natural Channel” in Water Resources Research. Jun. 1983, pp. 701-706.



OBRIGADO



<https://drive.google.com/drive/u/1/folders/1Yq6Qbm43yEEHuceanDxSe-cgMGSN8Jcm>