



SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO



RELATÓRIO ANUAL DO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO POMBA - 2024



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
Departamento de Hidrologia
Divisão de Hidrologia Aplicada

Programa Gestão de Riscos e de Desastres
AÇÃO LEVANTAMENTOS, ESTUDOS, PREVISÃO E ALERTA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

RELATÓRIO ANUAL DO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO POMBA - 2024

AUTORES

Marcos Figueiredo Salviano

Artur José Soares Matos

São Paulo/SP

Julho, 2024

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Marcos Figueiredo Salviano

Artur José Soares Matos

EQUIPE TÉCNICA

Artur José Soares Matos

Caluan Rodrigues Capozzoli

Marcos Figueiredo Salviano

Ricardo Gabriel Bandeira de Almeida

Roberto Fernandes de Paiva

Vanesca Sartorelli Medeiros

FOTO DA CAPA: Rio Pomba no município de Guarani/MG. Fonte: Arquivo SGB-CPRM (foto tirada no dia 26/01/2024 durante uma operação de campo com o Técnico em Geociências Diego Froes e Souza e o Auxiliar de Campo Gentil Maciel).

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

SALVIANO, Marcos Figueiredo

S184a Relatório anual do sistema de alerta hidrológico da Bacia do rio Pomba – 2024 / Marcos Figueiredo Salviano, Artur José Soares Matos. – São Paulo : CPRM, 2024.

1 recurso eletrônico : PDF – (SAH-Rio Pomba. Relatório Anual, 2024)

Programa de Gestão de Riscos e de Desastres. Ação Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos

1. Hidrologia – Metodologia. 2. Hidrometria. 3. Bacia hidrográfica – rio Pomba. 4. Desastres Naturais. I. Matos, Artur José Soares. II. Título. III. Série.

CDD 551.48072

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Claudia Lopes CRB-8 SP010391/0

Ficha catalográfica elaborada pela DIDOTE

Direitos desta edição: Serviço Geológico do Brasil – CPRM

Permitida a reprodução desta publicação desde que mencionada a fonte

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

www.cprm.gov.br

seus@cprm.gov.br

APRESENTAÇÃO

As enchentes são fenômenos que ocorrem quando o volume da água que atinge simultaneamente o leito de um curso d'água é superior à capacidade de transporte de sua calha normal, também chamada de leito menor ou calha principal. Quando essa capacidade de escoamento é superada acontece a inundação das áreas ribeirinhas, também denominadas como planícies de inundação ou leito maior do rio.

As causas das inundações podem ser principalmente atmosféricas ou geotécnicas. Exemplos de causas atmosféricas são as chuvas intensas em pequenas bacias, precipitações frontais em grandes bacias, ciclones tropicais, furacões e tufões. Fatores geotécnicos podem ser deslizamentos, corrida de detritos, terremotos, rompimento de barragens etc.

As inundações geradas no espaço urbano, também chamada de cheias urbanas, se devem a dois processos que podem ocorrer simultaneamente ou isoladamente. Esses processos são agrupados como inundações ribeirinhas e inundações devido à urbanização.

Uma das formas recomendadas pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para gerenciar ou reduzir o impacto causado pelas inundações é a implantação de sistemas de alerta e previsão de cheias. Esta é considerada uma medida não estrutural que pode ser utilizada em conjunto com outras medidas, tais como, o planejamento do uso do solo, o uso de seguro para não incentivar a ocupação de áreas sujeitas à inundação.

Assim, os sistemas de previsão e alerta de cheias propiciam um caminho bem estabelecido para colaborar na redução do risco de perda de vidas e, dotam as comunidades e os serviços de emergência de tempo para se prepararem para a inundação e proteger os bens materiais.

Neste contexto, o Serviço Geológico do Brasil – CPRM opera desde 2019 o Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Pomba.

RESUMO

No período de 1 de novembro de 2023 a 8 de abril de 2024, o Serviço Geológico do Brasil (SGB_CPRM), por meio da Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP), operou o projeto Sistema de Alerta Hidrológico da bacia hidrográfica do rio Pomba (SAH-Pomba). A precipitação observada no período foi significativamente abaixo da média. Os eventos hidrológicos mais significativos ocorreram nos meses de fevereiro e março de 2024. Em nenhuma das estações monitoradas a cota de Inundação foi alcançada. No quantitativo da operação do projeto, foram emitidos 15 boletins de alerta hidrológico e 21 boletins de monitoramento hidrológico.

ABSTRACT

From November 1, 2023 to April 8, 2024, the Geological Survey of Brazil (SGB-CPRM), through the Regional Superintendence of São Paulo (SUREG/SP), operated the Flood Warning System for the Pomba river basin (SAH-Pomba). The precipitation observed in the period was significantly below average. The most significant hydrological events occurred in the months of February and March 2024. In none of the monitored stations was the Flood stage level was reached. In terms of project operation, 15 hydrological alert bulletins and 21 hydrological monitoring bulletins were issued.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Área de atuação	13
3. Histórico de inundações.....	16
4. Metodologia e Operação	17
5. Curvas-Chaves	21
6. Dados Observados	22
7. Eventos Hidrológicos	26
8. Considerações Finais.....	27
9. Agradecimentos	27
10. Referências Bibliográficas	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da bacia hidrográfica do rio Pomba e municípios beneficiados	14
Figura 2 – Diagrama unifilar do SAH-Pomba.	14
Figura 3 - Páginas do modelo do boletim de alerta do SAH-Pomba, com a tabela com dados e gráficos com cotagramas, pluviogramas e cotas simuladas.	18
Figura 4 - Páginas do Boletim de Monitoramento do SAH-Pomba com os gráficos com o comportamento da cota e da precipitação das estações e a imagem da precipitação estimada pelo produto MERGE.	19
Figura 5 - Plataforma SACE para o SAH-Pomba.	20
Figura 6 - Gráfico da cota na estação de Aperibé.	20
Figura 7 - Dados de cota (cm) e precipitação (mm) da estação de Astolfo Dutra em formato tabular disponibilizados no SACE-Pomba. Dados com resolução temporal de 15 minutos.	20
Figura 8 – Cotagrama de Guarani entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).	22
Figura 9 – Cotagrama de Usina Maurício Jusante entre 01/11/2023 e 15/04/2024.	23
Figura 10 - Cotagrama de Barra do Xopotó entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).	23
Figura 11 - Cotagrama de Cataguases 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).	23
Figura 12 - Cotagrama de Santo Antônio de Pádua II entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).	24

Figura 13 - Cotograma de Aperibé entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).....	24
Figura 14 - Precipitação acumulada (mm) entre os meses de novembro/2023 e março/2024. Dados estimados do produto MERGE.	25
Figura 15 - Razão da precipitação entre os acumulados entre os meses de novembro de 2023 e março de 2024 e a média do período.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estações utilizadas para monitoramento no SAH-Pomba (Código P se refere ao código da estação pluviométrica e Código F à estação Fluviométrica).	15
Tabela 2 - Cotas de Atenção, Alerta e Inundação dos municípios do SAH-Pomba.	15
Tabela 3- População dos municípios atendidos pelo SAH-Pomba.....	16
Tabela 4 – Cotas máximas observadas nas estações fluviométricas pertencentes ao SAH-Pomba.	17
Tabela 5 – Lista das 10 maiores cheias registradas nas estações de Cataguases, Santo Antônio de Pádua e Aperibé.	17
Tabela 6 - Parâmetros das equações de curva-chave das estações do SAH-Pomba.	22
Tabela 7 - Tempo de permanência das cotas máximas observadas no período chuvoso do ano hidrológico 2023/2024.....	27

1. INTRODUÇÃO

No período de 1 de novembro de 2023 a 8 de abril de 2024, o Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM), por meio da Superintendência Regional de São Paulo (SUREG/SP) operou o projeto Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Pomba (SAH-Pomba). Este foi o quinto ano de operação do SAH-Pomba.

O projeto tem como objetivo o monitoramento do regime hidrológico dos rios na bacia do rio Pomba. Em situações de cheias, são aplicadas equações que possibilitam a previsão de cotas futuras. Nestas situações são emitidos "Boletins de Alerta Hidrológico" para que as instituições responsáveis adotem as medidas preventivas necessárias para reduzir os impactos nas regiões atingidas. O monitoramento é realizado por intermédio da observação automática da precipitação (pluviômetros automáticos de báscula) e da cota (sensores de pressão e radares hidrológicos), instalados em estações da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Estes dados são armazenados em uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) e transmitidos via satélite (GOES 16) em intervalos de 1 hora. São utilizados também dados de chuvas estimados a partir da observação de imagens de satélite com base no produto MERGE (Rozante, 2010).

A previsão da ocorrência de eventos de inundação possibilita a execução de ações preventivas e mitigadoras por instituições como as Defesas Civis (municipal e estadual), prefeituras e corpo de bombeiros antes da ocorrência do evento, para assim minimizar os impactos sociais e materiais nas áreas que serão atingidas pela inundação. O Sistema de Alerta Hidrológico ainda ajuda a suprir a demanda por dados confiáveis e precisos na bacia hidrográfica de estudo.

Ao longo do período de funcionamento do projeto, foram realizadas previsões internas três vezes ao dia (0800, 1500 e 2200 UTC-3) para a verificação da necessidade da emissão de boletins de alerta hidrológico.

2. ÁREA DE ATUAÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Pomba possui uma área de drenagem de 8.574 km². O rio Pomba nasce na Serra Conceição, localizada na cadeia da Serra da Mantiqueira, em Barbacena/MG, à 1.100 m de altitude. Depois de percorrer 265 km, atinge a foz no rio Paraíba do Sul. Os principais afluentes são os rios Novo, Piau, Xopotó, Formoso e Pardo. A direção predominante do fluxo do rio é no sentido oeste para leste.

As principais cidades localizadas nessa bacia, com mais de 20.000 habitantes são: Cataguases, Leopoldina, Santos Dumont, São João Nepomuceno, Ubá, Visconde do Rio Branco, em território mineiro e Santo Antônio de Pádua e Miracema em território fluminense. No total a bacia hidrográfica do rio Pomba abrange quarenta e um (41) municípios mineiros e 4 (quatro) municípios fluminenses.

Na Figura 1 está apresentado o mapa da bacia, assim como as estações contempladas com previsão. As estações utilizadas para monitoramento do sistema estão expostas na Tabela 1. O diagrama unifilar da bacia está apresentado na Figura 2.

As estações de monitoramento de níveis são utilizadas para entender o comportamento dos rios durante os eventos. As estações onde não são realizadas previsões de níveis, podem ser utilizadas como entrada em modelos de previsão, auxiliando desta forma a prever os níveis dos rios para os municípios beneficiados pelo sistema de alerta.

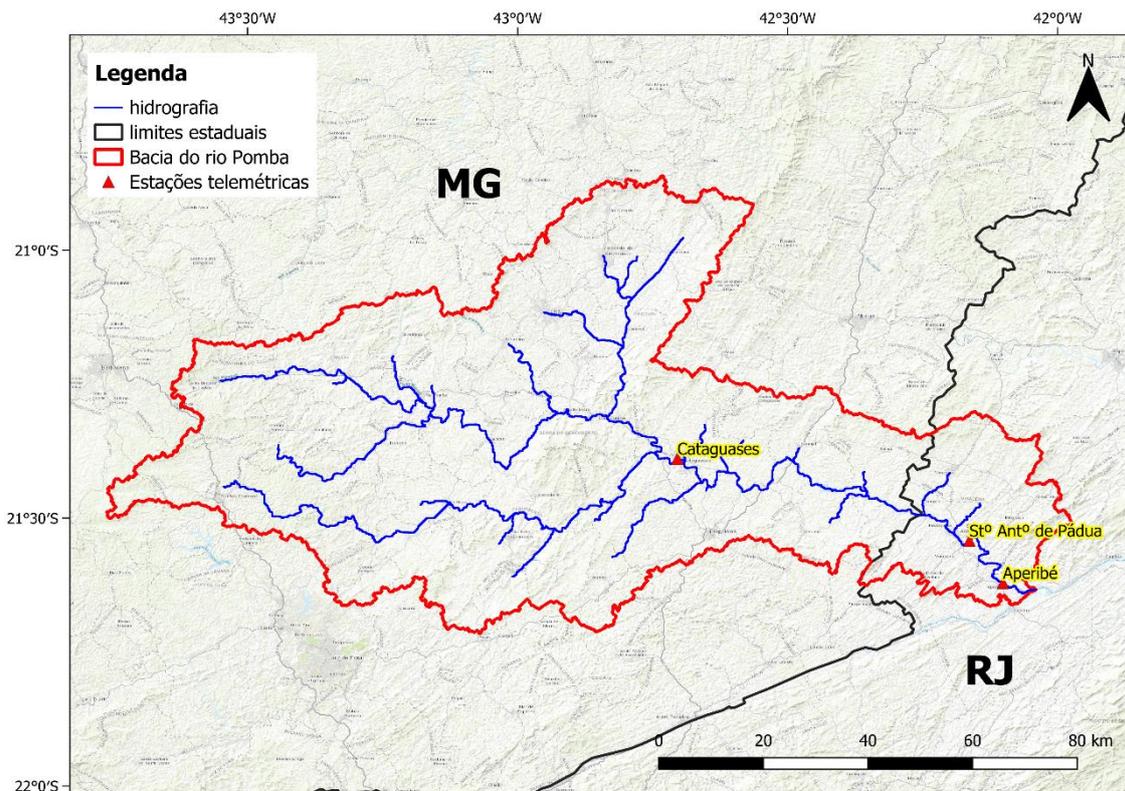


Figura 1 – Mapa da bacia hidrográfica do rio Pombo e municípios beneficiados

DIAGRAMA UNIFILAR: SAH-POMBA

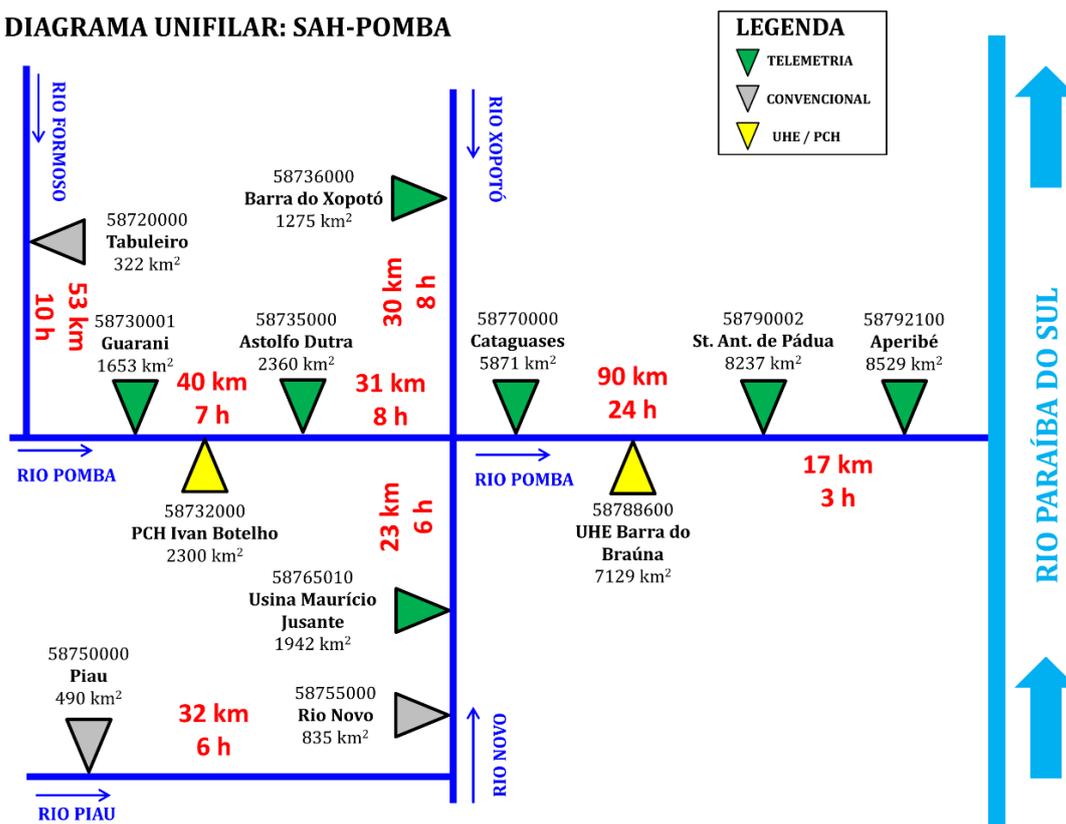


Figura 2 – Diagrama unifilar do SAH-Pomba.

Tabela 1 - Estações utilizadas para monitoramento no SAH-Pomba (Código P se refere ao código da estação pluviométrica e Código F à estação Fluviométrica).

Estação	Código F	Código P	Rio	Latitude	Longitude
Guarani	58730001	02143001	Pomba	21°21'20"S	43°03'00"W
Usina Maurício Jusante	58765010	02142006	Novo	21°28'24"S	42°49'32"W
Barra do Xopotó	58736000	02142164	Xopotó	21°17'35"S	42°49'12"W
Astolfo Dutra	58735000	02142000	Pomba	21°18'32"S	42°51'42"W
Cataguases	58770000	02142001	Pomba	21°23'23"S	42°42'06"W
Sto. Ant. de Pádua II	58790002	02142067	Pomba	21°32'15"S	42°09'28"W
Aperibé	58792100	02142161	Pomba	21°37'15"S	42°06'03"W

No contexto dos SAHs operados pelo SGB-CPRM, as cotas de referência associadas às inundações graduais seguem as seguintes definições:

- **Cota de Atenção:** possibilidade moderada de ocorrência de inundação.
- **Cota de Alerta:** possibilidade elevada de inundação.
- **Cota de Inundação:** cota em que o primeiro dano é observado no município.
- **Cota de Inundação Severa:** cota em que a inundação provoca danos severos ao município.

Na Tabela 2, estão apresentadas as cotas de referência das estações do SAH-Pomba, com exceção de Usina Maurício. As cotas de Inundação Severa ainda não foram definidas para o sistema.

Tabela 2 - Cotas de Atenção, Alerta e Inundação dos municípios do SAH-Pomba.

Municípios	Estação	Cota de Atenção [cm]	Cota de Alerta [cm]	Cota de Inundação [cm]
Guarani-MG	Guarani	300	400	500
Astolfo Dutra-MG	Barra do Xopotó	300	500	700
Astolfo Dutra-MG	Astolfo Dutra	300	400	600
Leopoldina-MG	Usina Maurício Jusante	#	#	#
Cataguases-MG	Cataguases	350	450	550
Sto. Ant. de Pádua-RJ	Sto. Ant. de Pádua II	240	275	310
Aperibé-RJ	Aperibé	200	260	360

Foram elaboradas equações de previsão de nível para os municípios de Santo Antônio de Pádua e Aperibé (Tabela 3), com previsões de 8 e 11 horas de antecedência, respectivamente.

Tabela 3- População dos municípios atendidos pelo SAH-Pomba.

Município	UF	População (IBGE, 2022)
Cataguases	MG	66.261
Santo Antônio de Pádua	RJ	41.325
Aperibé	RJ	11.034

A população total beneficiada pelo SAH Pomba é de 118.620 habitantes.

3. HISTÓRICO DE INUNDAÇÕES

Desde o início do início do monitoramento fluviométrico da bacia, na década de 1930, a cota de inundação é superada na maioria dos anos. Das inundações do passado, é possível destacar as dos anos 1951, 1961, 1979 e 1991 nos municípios de Cataguases-RJ e Santo Antônio de Pádua-RJ.

Em março de 2003, um acidente industrial resultou em um despejo de 1,2 bilhão de litros de dejetos químicos no Rio Pomba. A mancha tóxica rapidamente atingiu o Rio Paraíba do Sul afetando 39 municípios da Zona da Mata e 8 cidades do Norte Fluminense.

Em 17 de dezembro de 2008, as inundações ocorridas na bacia causaram prejuízos e transtornos sociais, ambientais e econômicos nas áreas atingidas. A enchente foi causada pelo altíssimo volume acumulado precipitado nas cabeceiras da bacia, onde as chuvas duraram cerca de uma semana.

Em janeiro de 2012, devido a chuvas e inundações intensas, o Governo do Estado do Rio de Janeiro homologou o decreto de situação de emergência em sete municípios do Norte e do Noroeste Fluminense.

Em janeiro de 2021, após um evento de chuva intensa nas regiões da Zona da Mata Mineira e sul espírito-santense, 84 municípios decretaram estado de calamidade ou emergência, com 7 óbitos e 40 mil desalojados (CEMADEN, 2020).

Na Tabela 4 estão apresentadas as cotas máximas históricas das estações fluviométricas do SAH-Pomba. A estação Usina Maurício Jusante está em operação desde julho de 2022.

Tabela 4 – Cotas máximas observadas nas estações fluviométricas pertencentes ao SAH-Pomba.

Estação	Cota máxima [cm]	Data
Guarani	625	14/02/2022
Usina Maurício Jusante	705	11/01/2023
Barra do Xopotó	700	02/01/2012
Astolfo Dutra	552	17/12/2008
Cataguases	985	18/12/2008
Sto. Ant. de Pádua II	450	04/01/2012
Aperibé	495	11/01/2020

Na Tabela 5, estão enumerados os dez (10) eventos registrados de maior magnitude nos municípios com previsão: Cataguases (dados desde 1991), Santo Antônio de Pádua (dados desde 2001) e Aperibé (dados desde 2014).

Tabela 5 – Lista das 10 maiores cheias registradas nas estações de Cataguases, Santo Antônio de Pádua e Aperibé.

Ordem	Cataguases		Santo Antônio de Pádua		Aperibé	
	Cota (cm)	Data	Cota (cm)	Data	Cota (cm)	Data
1	985	18/12/2008	450	04/01/2012	495	11/01/2022
2	910	03/01/2012	428	08/01/2023	485	08/01/2023
3	860	25/01/2020	425	11/01/2022	466	14/02/2020
4	822	14/02/2020	407	15/02/2020	438	26/01/2020
5	783	07/01/2023	396	12/01/2023	437	12/01/2023
6	748	09/01/2022	383	26/01/2020	400	06/03/2020
7	740	05/03/2020	382	17/01/2004	398	09/02/2022
8	738	19/01/1991	375	01/01/2009	347	26/01/2023
9	715	01/01/2009	373	22/01/2003	360	13/03/2018
10	679	16/01/2004	372	06/03/2020	309	12/12/2019

4. METODOLOGIA E OPERAÇÃO

Para realizar a previsão hidrológica de níveis em tempo real é utilizada a metodologia de Modelagem Linear. Para a realização das previsões de cotas futuras, foram utilizadas as equações empíricas que adotam como dados de

entrada as vazões das estações a montante da estação a ser modelada. É utilizada uma planilha, que tem como função ordenar os dados provenientes das estações, aplicar as equações de previsão de cotas futuras e gerar o boletim extraordinário (Figura 3) de alerta caso seja preciso enviá-lo.

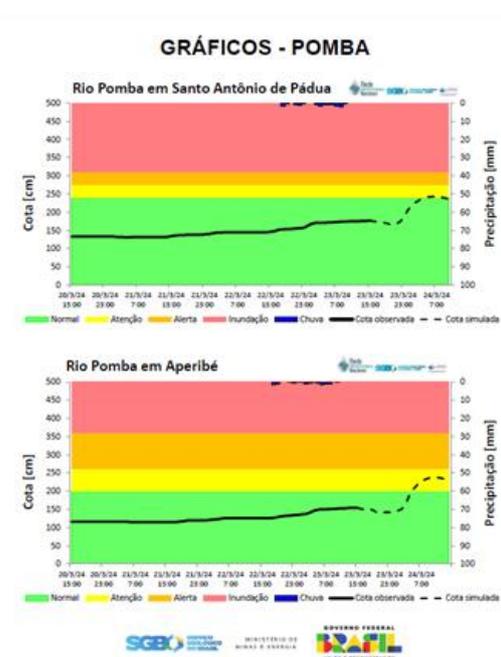
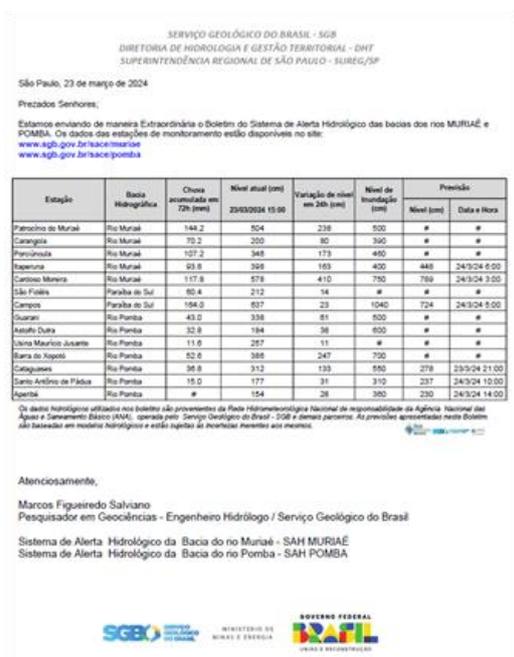


Figura 3 - Páginas do modelo do boletim de alerta do SAH-Pomba, com a tabela com dados e gráficos com cotagramas, pluviogramas e cotas simuladas.

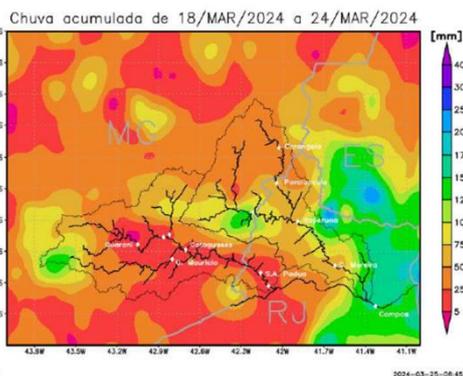
Além dos boletins de alerta hidrológicos, são emitidos boletins de monitoramento hidrológico (Figura 4) com frequência semanal. Estes boletins tem o objetivo de apresentar de uma forma resumida o comportamento hidrológico semanal das estações monitoradas. Os dados são apresentados de forma tabular e por gráficos, além do mapa da precipitação estimada pelo produto MERGE, o que permite uma análise da variabilidade espacial da precipitação.

MONITORAMENTO DA PRECIPITAÇÃO

O MERGE (Rozante et al. 2010, Rozante et al. 2020) consiste em um produto de precipitação que integra dados observados de pluviômetros com estimativas de precipitação por satélite. Aproximadamente 3000 pluviômetros foram utilizados para a integração com as estimativas de satélite. O produto MERGE é gerado e disponibilizado pelo CPTeC/INPE. Os dados disponibilizados são dados de precipitação desde junho de 2000 com uma resolução espacial de 10 km para toda a América do Sul.

O MERGE é gerado a partir da precipitação estimada pelo produto GPM/IMERG (Huffman et al., 2019) da NASA. Para a geração dos dados do GPM/IMERG são utilizadas três fontes de informação: sensores passivos de micro-ondas a bordo de satélites de órbita polar; sensores de infravermelho a bordo de satélites geoestacionários e pluviômetros.

Referências:
 HUFFMAN, G. J., E. F. STOCKER, D. T. BOLVIN, E. J. NELKIN, JACKSON TAN (2019). GPM/IMERG Final Precipitation L3 1 north 0.1 degree x 0.1 degree V06. Greenbelt, MD: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). 10.5912/GPM/IMERG3-6-MONTHLY
 ROZANTE, J. R., MOREIRA, D. D., DE GONCALVES, L. G. G., & VILA, D. A. (2010). Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. *Weather and forecasting*, 25(3), 885-894.
 ROZANTE, J. R., GUTIERREZ, E. R., FERNANDES, A. D. A., & VILA, D. A. (2020). Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations. *International Journal of Remote Sensing*, 41(19), 7555-7564.



Precipitação estimada pelo produto MERGE para a região das bacias hidrográficas dos rios Muriaé e Pomba. Valores acumulados para um período de 7 dias. Fonte dos dados: <http://ftp.optec.inpe.br/imagens/tempo/MERGE/GPM/DAILY>



COTAGRAMAS - POMBA

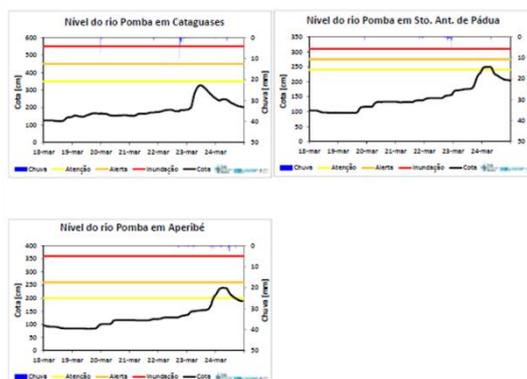


Figura 4 - Páginas do Boletim de Monitoramento do SAH-Pomba com os gráficos com o comportamento da cota e da precipitação das estações e a imagem da precipitação estimada pelo produto MERGE.

Uma ferramenta importante na operação do sistema é a plataforma SACE (www.sgb.gov.br/sace), que armazena e divulga os dados coletados pelas estações hidrológicas. O SACE possibilita tanto ao operador do sistema quanto ao público externo uma fácil identificação da localização das estações (Figura 5) bem como informações atualizadas sobre o nível dos rios e pluviometria de forma gráfica (Figura 6) e tabular (Figura 7). Assim, para cada Sistema de Alerta Hidrológico operado pelo SGB-CPRM foi desenvolvido um SACE com informações sobre a determinada bacia hidrográfica.

A utilização do SACE permite ao operador do sistema uma visão geral da situação hidrológica da bacia hidrográfica (cotas, vazões e chuva) possibilitando uma percepção aproximada do risco de ocorrência de eventos extremos.

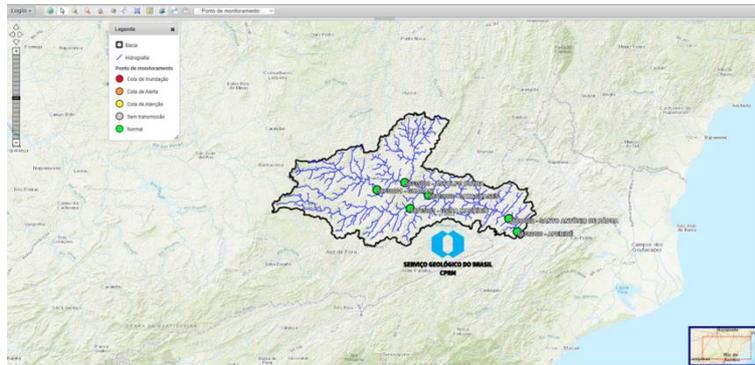


Figura 5 - Plataforma SACE para o SAH-Pomba.

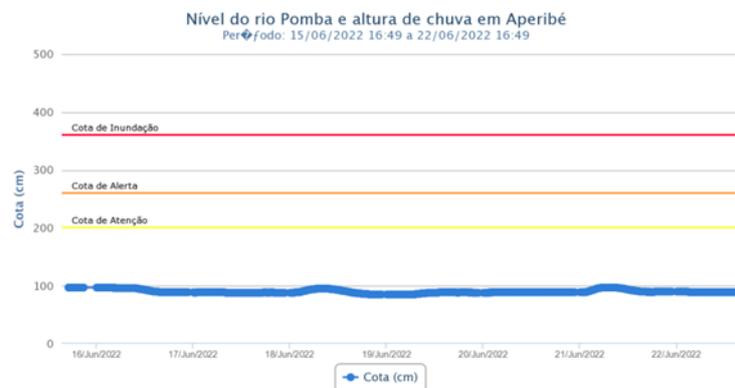


Figura 6 - Gráfico da cota na estação de Aperibé.

Visualização das informações do ponto de monitoramento

Ponto de monitoramento
Nome: 58735000 - ASTOLFO DUTRA
Sigla: ADT
Rio: Rio Pomba
Latitude: 21° 18' 34"
Área: 2331
Longitude: 42° 51' 43"
Altitude: 246

Resultados de Acompanhamento Hidrológico

Data	Hora	Cota - Astolfo	Precipitação - Astolfo
21/06/2022	15:45	95,0	0,0
21/06/2022	16:00	97,0	0,0
21/06/2022	16:15	98,0	0,0
21/06/2022	16:30	100,0	0,0
21/06/2022	16:45	100,0	0,0
21/06/2022	17:00	101,0	0,0
21/06/2022	17:15	101,0	0,0
21/06/2022	17:30	102,0	0,0
21/06/2022	17:45	102,0	0,0
21/06/2022	18:00	102,0	0,0
21/06/2022	18:15	103,0	0,0
21/06/2022	18:30	103,0	0,0
21/06/2022	18:45	103,0	0,0
21/06/2022	19:00	103,0	0,0
21/06/2022	19:15	103,0	0,0
21/06/2022	19:30	103,0	0,0
21/06/2022	19:45	103,0	0,0
21/06/2022	20:00	103,0	0,0
21/06/2022	20:15	103,0	0,0
21/06/2022	20:30	103,0	0,0

Figura 7 - Dados de cota (cm) e precipitação (mm) da estação de Astolfo Dutra em formato tabular disponibilizados no SACE-Pomba. Dados com resolução temporal de 15 minutos.

5. CURVAS-CHAVES

Como no Brasil ainda não são utilizados medidores automáticos e contínuos da descarga líquida, utiliza-se para a geração de dados de vazão equações denominadas curva-chave. São equações que permitem o cálculo indireto da vazão a partir da medição do nível de água do canal. Esta transformação permite um monitoramento contínuo da descarga líquida com a mesma resolução temporal da medição de nível. As equações são elaboradas a partir de um conjunto de medições de descarga líquida das quais é possível estabelecer uma relação numérica.

Uma curva-chave é representativa para um ponto de monitoramento hidrológico dentro de um determinado intervalo de tempo e de nível d'água (JACCON e CUDO, 1989). Isto significa que um mesmo ponto pode ter várias equações ao longo dos anos e para um mesmo período pode ter uma equação que expressa a relação nível-vazão para níveis baixos e outra para níveis altos. A mudança da relação nível-vazão em um ponto de monitoramento ocorre devido a fatores como mudanças físicas da seção do canal (e.g. assoreamento e erosão) e modificações do controle hidráulico a jusante (e.g. construção de uma represa, efeito de maré). A estrutura da equação de uma curva-chave para um determinado período e intervalo de cota pode ser expressa como:

$$Q = a \times (H - h_0)^n$$

Em que:

Q é a vazão calculada [$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$];

h_0 é a cota cuja vazão é igual a zero [m];

H é a cota observada [m];

a e n são parâmetros empíricos a serem calibrados [-];

Na Tabela 6 estão apresentados os parâmetros das equações de curvas-chaves para as estações do SAH-Pomba.

Tabela 6 - Parâmetros das equações de curva-chave das estações do SAH-Pomba.

Estação	Eq.	a	h0	n	Limite inferior (cm)	Limite superior (cm)
Aperibé	01	42,2318	-0,47	2,111	10	93
	02	122,028	0,13	1,572	93	500
St. Ant. de Pádua II	01	60,213	-0,12	1,447	12	88
	02	55,2616	-0,16	2,056	88	181
	03	121,276	0,38	1,7	181	450
Cataguases	01	70,9616	0,27	1,51	50	237
	02	80,8601	0,09	1,2	237	395
	03	66,7042	0	1.32	395	900
Astolfo Dutra	01	29.0752	-0.14	1.477	30	183
	02	32.1378	0.12	1.68	183	334
	03	35.2385	0.11	1.597	334	600
Barra do Xopotó	01	12.1489	0.59	1.508	60	205
	02	9.518	0.5	1.86	205	800

6. DADOS OBSERVADOS

Nas Figuras 8 a 13 estão apresentados os cotogramas das estações para o período chuvoso de 2023/2024. Na análise das figuras, é possível constatar que em nenhuma das estações monitoradas a cota de Inundação foi atingida. Apenas em Guarani a cota de Alerta foi ultrapassada em algum momento.

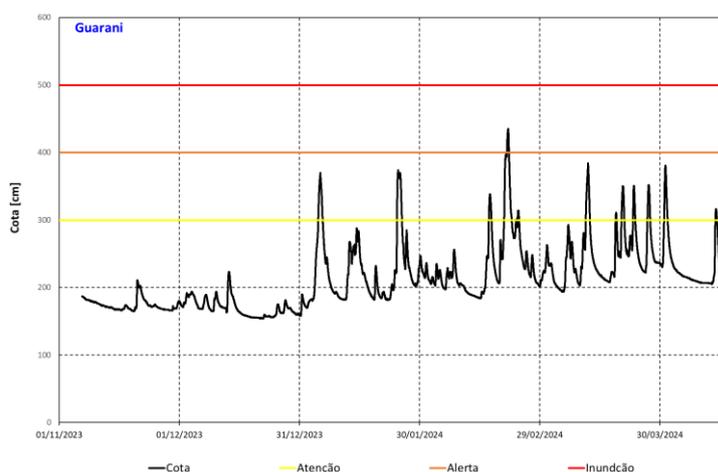


Figura 8 – Cotograma de Guarani entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).

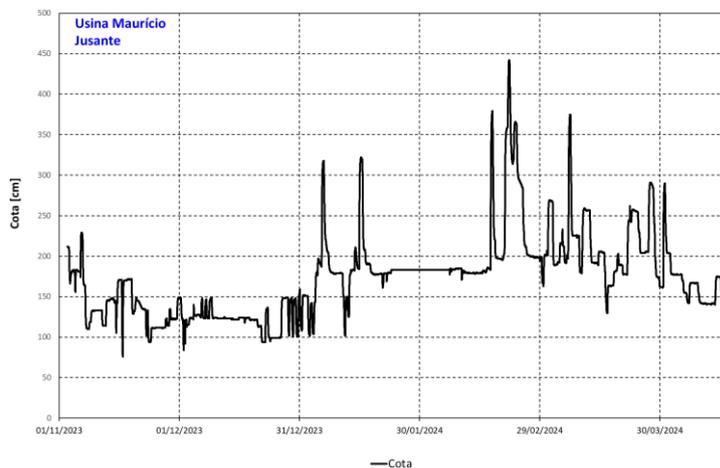


Figura 9 – Cotagrama de Usina Maurício Jusante entre 01/11/2023 e 15/04/2024.

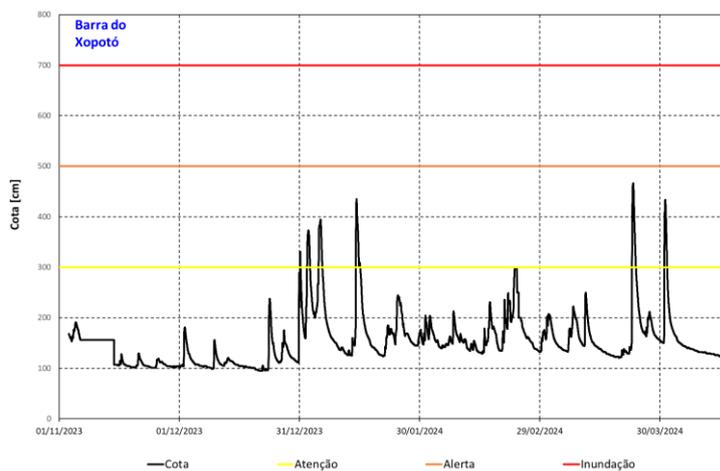


Figura 10 - Cotagrama de Barra do Xopotó entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).

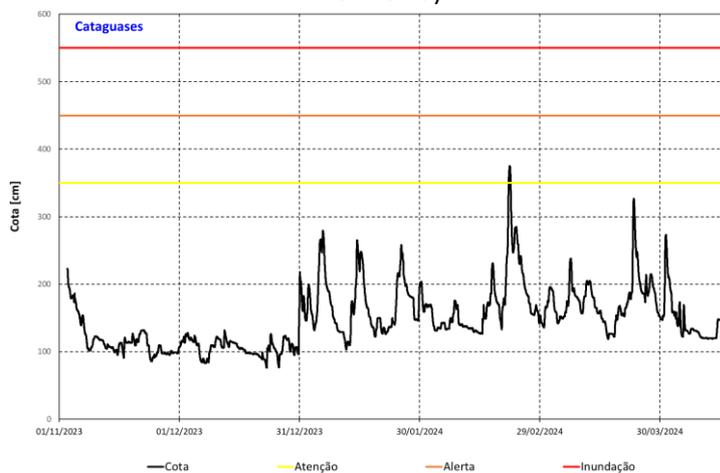


Figura 11 - Cotagrama de Cataguases 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).

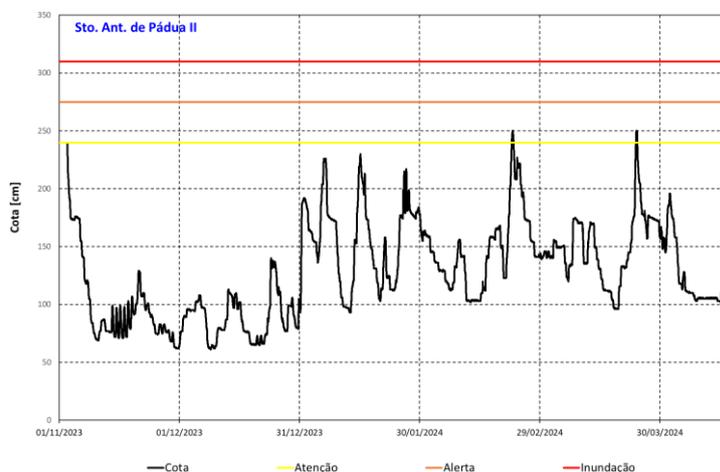


Figura 12 - Cotagrama de Santo Antônio de Pádua II entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).

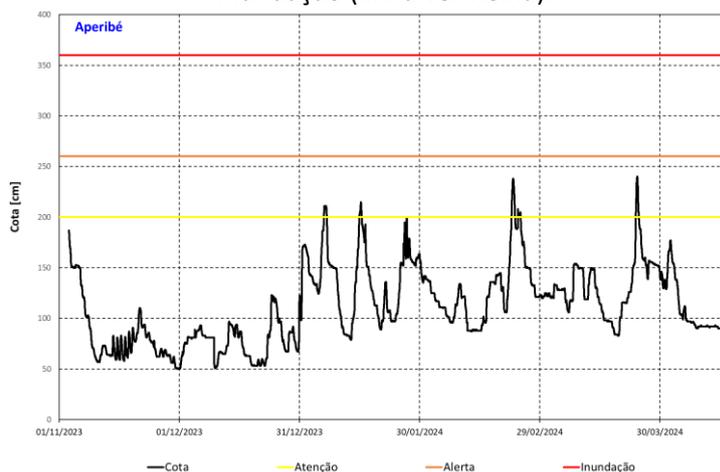


Figura 13 - Cotagrama de Aperibé entre 01/11/2023 e 15/04/2024: cota (linha preta), cota de atenção (linha amarela), cota de alerta (linha laranja) e cota de inundação (linha vermelha).

Na Figura 14 está apresentada a precipitação estimada pelo produto de satélite MERGE (ROZANTE *et al.* 2010, 2020) para o período entre novembro de 2023 e março de 2024. Na análise da imagem é possível constatar que os maiores acumulados foram observados na cabeceira da bacia (porção oeste), com valores superiores a 1300 mm. A região baixa da bacia (i.e. próxima à foz) foi a que teve os menores acumulados de precipitação para o período.

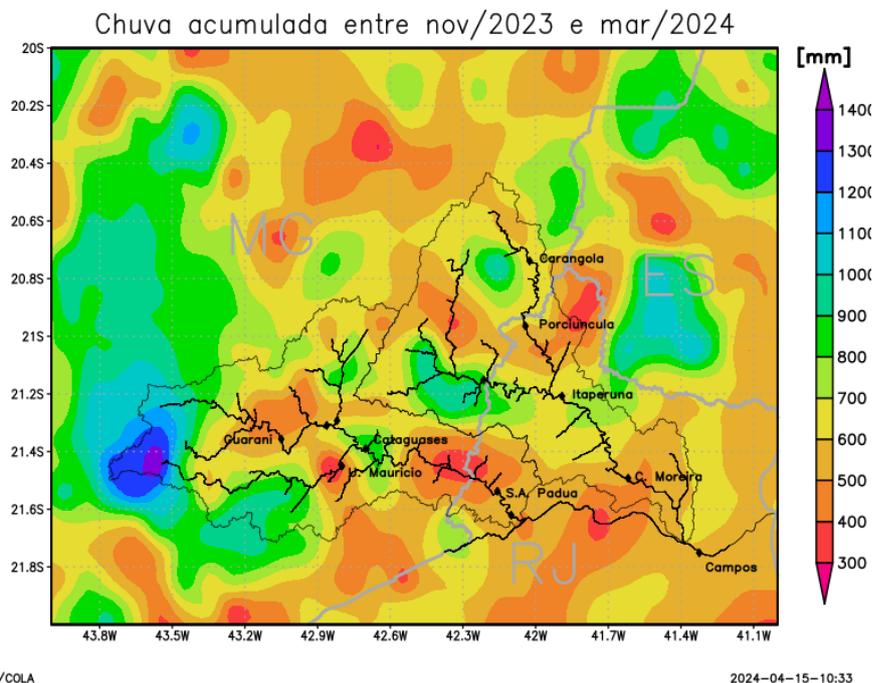


Figura 14 - Precipitação acumulada (mm) entre os meses de novembro/2023 e março/2024. Dados estimados do produto MERGE.

Na Figura 15 está apresentada a relação entre a precipitação estimada entre novembro de 2023 e março de 2024 com a média dos 23 anos anteriores para o mesmo período. Valores superiores a 1 indicam precipitações maiores que a média, enquanto que valores inferiores indicam precipitações menores que a média. Dados estimados do produto MERGE. Na análise da imagem é possível constatar que, com exceção do extremo oeste, toda a bacia apresentou uma precipitação significativamente inferior à média do período.

Razão da chuva entre nov/2023 e mar/2024 com a média

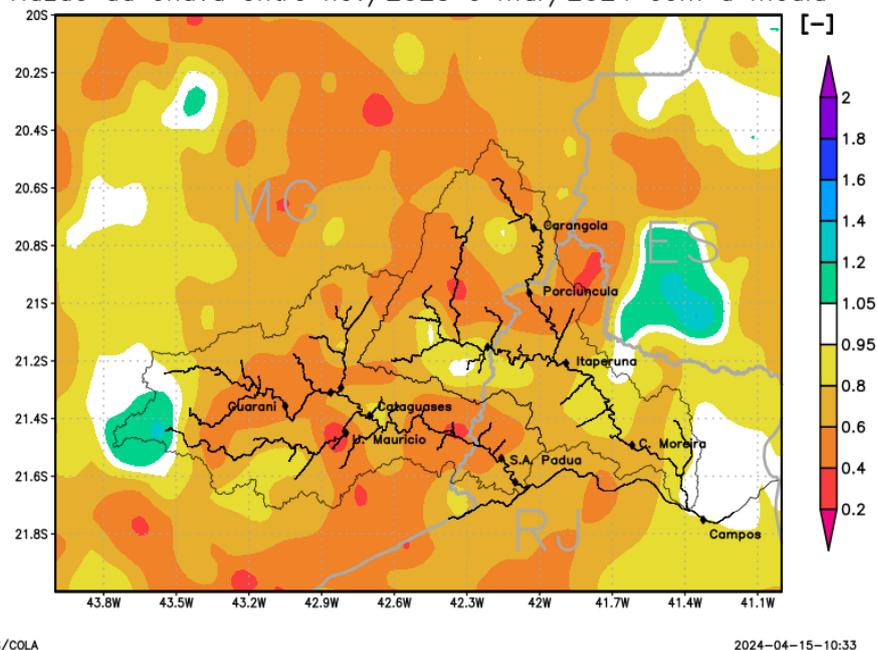


Figura 15 - Razão da precipitação entre os acumulados entre os meses de novembro de 2023 e março de 2024 e a média do período.

7. EVENTOS HIDROLÓGICOS

Conforme pode se observar nas Figura de 8 a 13, em nenhuma das estações de monitoramento a cota de inundação foi alcançada durante o período.

Na operação do ano hidrológico 2023/2024, foram emitidos 15 boletins de alerta hidrológico e 21 boletins de monitoramento hidrológico.

Os eventos mais significativos ocorreram em fevereiro e março de 2024.

Na Tabela 7 está apresentado o tempo de permanência das cotas máximas registradas nas estações no período chuvoso do ano hidrológico 2023/2024. O tempo de permanência foi calculado com base nas séries diárias para o mês da ocorrência das cotas máximas.

Tabela 7 - Tempo de permanência das cotas máximas observadas no período chuvoso do ano hidrológico 2023/2024.

Estação	Cota máxima [cm]	Permanência	Data
Guarani	435	2%	21/02/2024
Barra do Xopotó	466	2%	23/03/2024
Astolfo Dutra	353	1%	21/02/2024
Cataguases	375	2%	21/02/2024
Santo Antônio de Pádua	250	3%	22/02/2024
Aperibé	240	3%	24/03/2024

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre novembro de 2023 e abril de 2024 foi operado o SAH-Pomba pelo quarto ano. Foram emitidos 21 boletins de monitoramento hidrológico e 15 boletins de alerta hidrológico, a maioria desses nos meses de dezembro e janeiro. Anteriormente ao início da próxima operação, diversas ações deverão ser tomadas, das quais é possível destacar:

- Revisão das curvas-chaves;
- Recalibração dos modelos, utilizando redes neurais;
- Revisão das cotas de referência.
- Definição das cotas de inundação severa.

9. AGRADECIMENTOS

A operação do projeto SAH-Pomba no período entre novembro de 2023 e abril de 2024 foi possível com a utilização dos dados hidrológicos provenientes da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). A RHN é de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) e demais parceiros. Por meio de Termo de Execução Descentralizada (TED) de operação da RHN, a Agência Nacional de Águas disponibiliza apoio operacional e financeiro para operação e manutenção das estações da RHN/RHNR, bem como para uso de equipamentos de medição.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS (CEMADEN). (2020). **Boletim da Sala de Situação**. 1º trimestre de 2020. Ano 01. Número 1.

JACCON, G.; CUDO, K. J. **Hidrologia-curva-chave**: análise e traçado. Brasília: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, 1989. 273 p.

ROZANTE, J. R. *et al.* Combining TRMM and surface observations of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and forecasting**, v. 25, n. 3, p. 885-894, jun. 2010.

ROZANTE, J. R. *et al.* Performance of precipitation products obtained from combinations of satellite and surface observations. **International Journal of Remote Sensing**, v. 41, n. 19, p. 7585-7604, jul. 2020.