

RELATÓRIO DE ATIVIDADES

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



**Relatório Anual do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia
do rio Pomba - 2021**

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Junho 2021

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
DIRETORIA DE HIDROLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL – DHT
DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA

Relatório Anual do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Pomba - 2021

ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIAIS
SUBÁREA: PREVISÃO E ALERTA DE ENCHENTES E INUNDAÇÕES

(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Marcos Figueiredo Salviano

Artur José Soares Matos

São Paulo, 2021

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM

DIRETORIA EXECUTIVA

Diretor-Presidente

Esteves Pedro Colnago

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial

Alice Silva de Castilho

Diretor de Geologia e Recursos Minerais

Marcio José Remédio

Diretor de Infraestrutura Geocientífica

Paulo Afonso Romano

Diretor de Administração e Finanças

Cassiano de Souza Alves

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Chefe do Departamento de Hidrologia

Frederico Claudio Peixinho

Chefe da Divisão de Hidrologia Aplicada

Adriana Dantas Medeiros

EQUIPE DE DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

Artur José Soares Matos

Caluan Rodrigues Capozzoli

Érico Chaves Fontes Lima

Marcos Figueiredo Salviano

Ricardo Gabriel Bandeira de Almeida

Vanesca Sartorelli Medeiros

PROJETO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO POMBA (SAH-POMBA)

(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Marcos Figueiredo Salviano

Artur José Soares Matos

FOTOS DA CAPA: Rio Pomba em Cataguases/MG. Foto tirada em campanha de campo realizada pelos Técnicos em Geociências Eduardo dos Santos e Reginaldo Braz (Dezembro/2020).

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

	SALVIANO, Marcos Figueiredo
S184a	Relatório Anual do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do rio Pomba - 2021/ Marcos Figueiredo Salviano, Artur José Soares Matos. – São Paulo : CPRM, 2021. 1 E-book : PDF – (Relatório de Atividades Departamento de Hidrologia. Área: recursos hídricos superficiais. Subárea: previsão e alerta de enchentes e inundações. Relatório de atividades, 2)
	1. Hidrologia – Metodologia. 2. Hidrometria. 3. Bacia hidrográfica – rio Pomba. I. Matos, Artur José Soares. II. Título. III. Série.
	CDD 551.48072

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

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 7 de novembro de 2020 a 5 de abril de 2021, a CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 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). O período foi menos chuvoso que a média, em especial os meses de janeiro e março de 2021. Em nenhuma estação a cota de inundação foi atingida. Os maiores volumes de precipitação ocorreram no sul da bacia, no rio Novo. No quantitativo da operação do projeto, foram emitidos 41 boletins extraordinários e 11 boletins de monitoramento.

ABSTRACT

From November 7, 2020 to April 5, 2021, Geological Survey of Brazil - CPRM, through the Regional Superintendence of São Paulo (SUREG/SP) operated the project Hydrological Alert System of the Pomba river basin (SAH-Pomba). The period was less rainy than the average, especially in January and March 2021. In neither stage gage the flood level was reached. The largest volumes of precipitation occurred in the south of the basin, in the Novo river. In the operation, 41 extraordinary bulletins and 11 monitoring bulletins were issued.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	12
2. Área de atuação	13
3. Metodologia e Operação	15
4. Curvas-Chaves	20
5. Dados observados e estimados	21
6. Conclusões	24
7. Agradecimentos	24
8. Referências Bibliográficas	25

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapas das bacias hidrográficas dos rios Muriaé e Pomba.	13
Figura 2 – Diagrama unifilar do SAH-Pomba.	14
Figura 3 - Esquema da modelagem linear.	16
Figura 4 - Páginas do modelo do boletim extraordinário do SAH-Muriaé e SAH-Pomba. (A) Tabela com dados hidrológicos das estações. (B) Mapas das bacias dos rios Pomba e Muriaé. (C) Gráficos com cotagramas, pluviogramas e cotas simuladas para estações do SAH-Muriaé. (D) Gráficos com cotagramas, pluviogramas e cotas simuladas para estações do SAH-Pomba.	17
Figura 5 - Página do Boletim de Monitoramento. (A) Resumo do comportamento hidrológico na semana anterior. (B) Gráficos com o comportamento da cota e da precipitação das estações do SAH-Muriaé. (C) Gráficos com o comportamento da cota e da precipitação das estações do SAH-Pomba. (D) Imagem da precipitação estimada pelo produto MERGE.	18
Figura 6 - Plataforma SACE para o SAH-Muriaé.	19
Figura 7 - Gráfico da cota na estação de Astolfo Dutra.	19
Figura 8 - Dados de cota (cm) e precipitação (mm) da estação de Cardoso Moreira em formato tabular disponibilizados no SACE-Muriaé. Dados com resolução temporal de 15 minutos.	19
Figura 9 - Cotagramas e pluviogramas das estações telemétricas do SAH-Pomba para o período entre 01/11/2020 e 31/03/2021.	22
Figura 10 - Precipitação acumulada (mm) entre os meses de novembro/2020 e março/2021. Dados estimados do produto MERGE.	23
Figura 11 - Razão da precipitação entre os acumulados entre os meses de novembro/2020 e março/2021 e a média do período. Dados estimados do produto MERGE.	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista das estações pertencentes ao SAH-Pomba.....	14
Tabela 2 - Níveis de Atenção, Alerta e Inundação das estações hidrometeorológicas do SAH-Pomba.	15
Tabela 3 - Parâmetros das equações de curva-chave das estações do SAH-Muriaé.	21

1. INTRODUÇÃO

No período de 7 de novembro de 2020 a 5 de abril de 2021, a CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 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). Este foi o segundo ano de operação do SAH-Pomba.

O projeto tem como objetivo o monitoramento do regime pluviométrico nas bacias e do incremento dos níveis dos rios, possibilitando, em caso de níveis altos, a previsão com antecedência do nível d'água dos rios da bacia hidrográfica. Nestas situações serão emitidos boletins de alertas para que as instituições responsáveis adotem as medidas preventivas necessárias para reduzir os impactos nas cidades atingidas. O monitoramento é realizado por intermédio pela observação automática da precipitação (pluviômetros automáticos de báscula) e cota (sensores de pressão e radares hidrológicos). Estes dados são armazenados em uma Plataforma de Coleta de Dados (PCD) e transmitidos via satélite (GOES 16) em intervalos de 1 hora.

A previsão da ocorrência de eventos extremos possibilita a execução de ações preventivas e mitigadoras de órgãos como as Defesas Civas (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, 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.

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, à 1.100 m de altitude. Depois de percorrer 265 km, atinge a foz no 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.

Na Figura 1 está apresentado o mapa da bacia, enquanto que as estações que constituem o SAH-Pomba estão expostas na Tabela 1. O diagrama unifilar da bacia está apresentado na Figura 2.

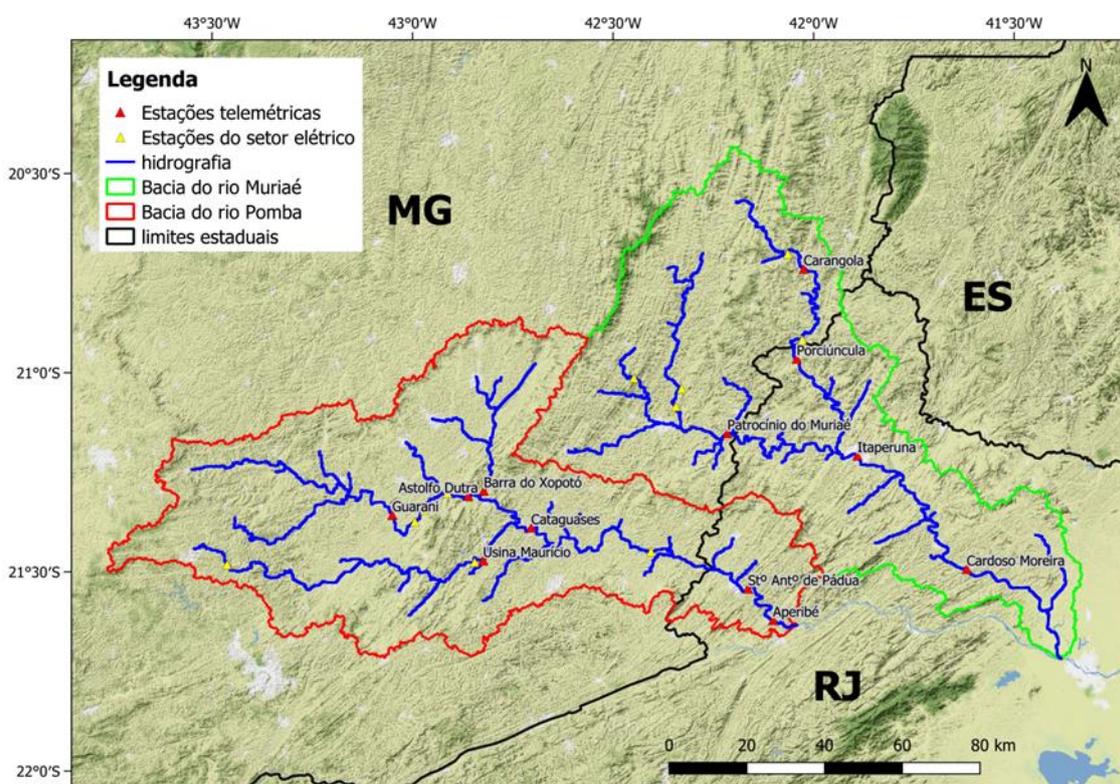


Figura 1 – Mapas das bacias hidrográficas dos rios Muriaé e Pomba.

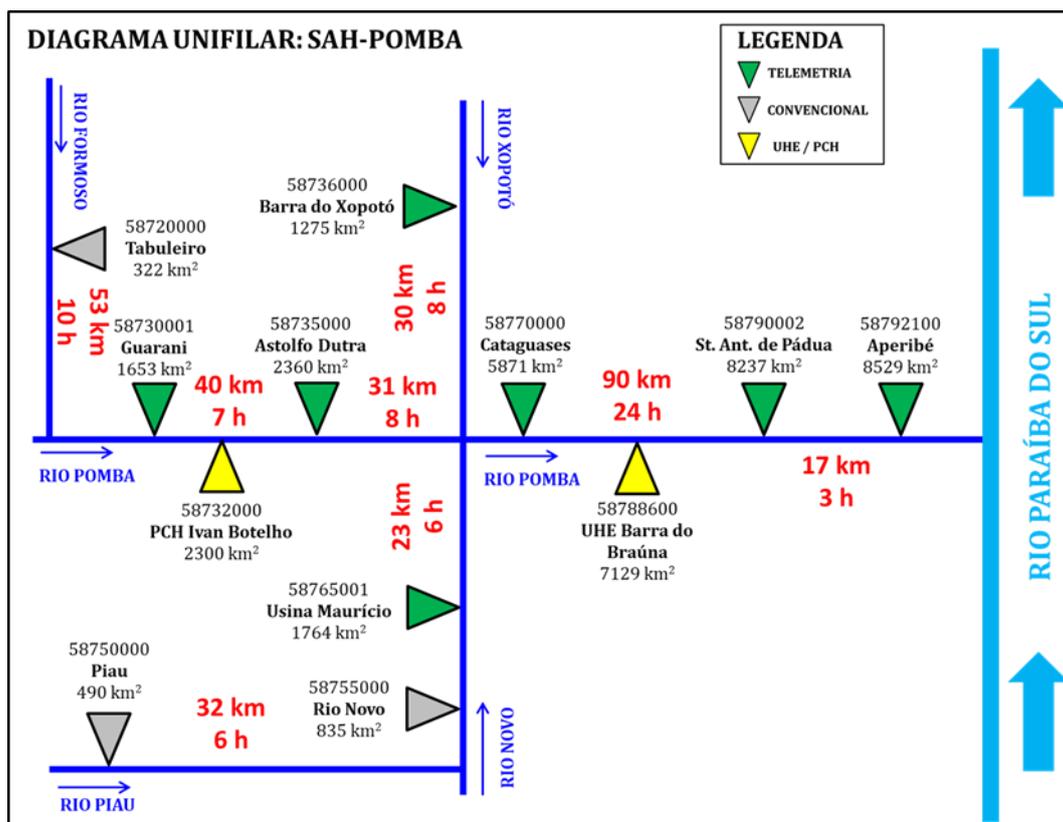


Figura 2 – Diagrama unifilar do SAH-Pomba.

Tabela 1 - Lista das estações pertencentes ao SAH-Pomba.

Estação	Município/UF	Código F	Código P	Rio	Lat.	Long.
Guarani	Guarani/MG	58730001	02143001	Pomba	-21°21'20"	-43°03'00"
Usina Maurício	Leopoldina/MG	58765001	02142006	Novo	-21°28'24"	-42°49'32"
Barra do Xopotó	Astolfo Dutra/MG	58736000	-	Xopotó	-21°17'35"	-42°49'12"
Astolfo Dutra	Astolfo Dutra/MG	58735000	02142000	Pomba	-21°18'32"	-42°51'42"
Cataguases	Cataguases	58770000	02142001	Pomba	-21°23'23"	-42°42'06"
Sto. Ant. de Pádua II	Sto. Ant. de Pádua/RJ	58790002	02142067	Pomba	-21°32'15"	-42°09'28"
Aperibé	Aperibé/RJ	58792100	-	Pomba	-21°37'15"	-42°06'03"

As cotas de referência de cada estação estão apresentadas na Tabela 3. A cota de Inundação é um nível com significado físico, no qual o rio extravasa o leito principal e começa a causar um impacto à população. Esta cota precisa ser determinada no local. Já as cotas de Alerta e Atenção são cotas determinadas a partir de uma análise estatística de distribuição de frequência. Estas cotas, inferiores à cota de Inundação, funcionam como referência para a tomada de decisão do envio de boletins alertando as autoridades locais sobre a

possibilidade de uma inundação. Para a estação de Usina Maurício ainda não foi verificada em campo as cotas de referência.

Tabela 2 - Níveis de Atenção, Alerta e Inundação das estações hidrometeorológicas do SAH-Pomba.

Estação	Cota de Atenção (cm)	Cota de Alerta (cm)	Cota de Inundação (cm)
Guarani	300	400	500
Barra do Xopotó	300	500	700
Astolfo Dutra	300	400	600
Usina Maurício	#	#	#
Cataguases	350	450	550
Sto. Ant. de Pádua II	240	275	310
Aperibé	200	260	360

3. METODOLOGIA E OPERAÇÃO

Para realizar a previsão hidrológica de níveis em tempo real é utilizada a metodologia de Modelagem Linear.

Um sistema linear se baseia no princípio da superposição: x_1 é uma entrada do sistema que produz a saída y_1 . Da mesma forma, a entrada x_2 resulta na saída y_2 do mesmo sistema. O princípio de superposição é válido quando, a entrada x_1+x_2 produzir a saída y_1+y_2 neste mesmo sistema.

A aplicação do modelo também pressupõe o princípio da homogeneidade, em que se existem n entradas no sistema, de tal forma que: $x_1 = x_2 = x_3 \dots \dots \dots = x_n$. Neste caso a equação que descreve o fenômeno físico deverá ser válida para qualquer dado de entrada (x_n). O sistema é linear quando “ n x_1 ” produz a saída “ n y_1 ” (Figura 3).

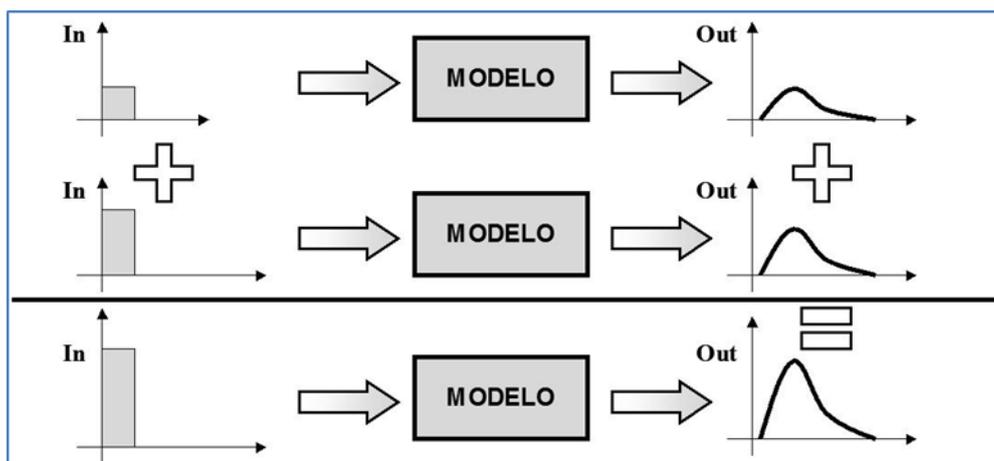


Figura 3 - Esquema da modelagem linear.

Foram elaboradas equações para os municípios de Itaperuna e Cardoso Moreira, com previsões de 10 horas de antecedência. 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. Optou-se para a realização das previsões por uma planilha em formato Excel. A planilha tem como função ordenar os dados provenientes das estações, aplicar as equações de previsão de cotas futuras e gerar o boletim extraordinário (Figura 4) de alerta caso seja preciso enviá-lo.

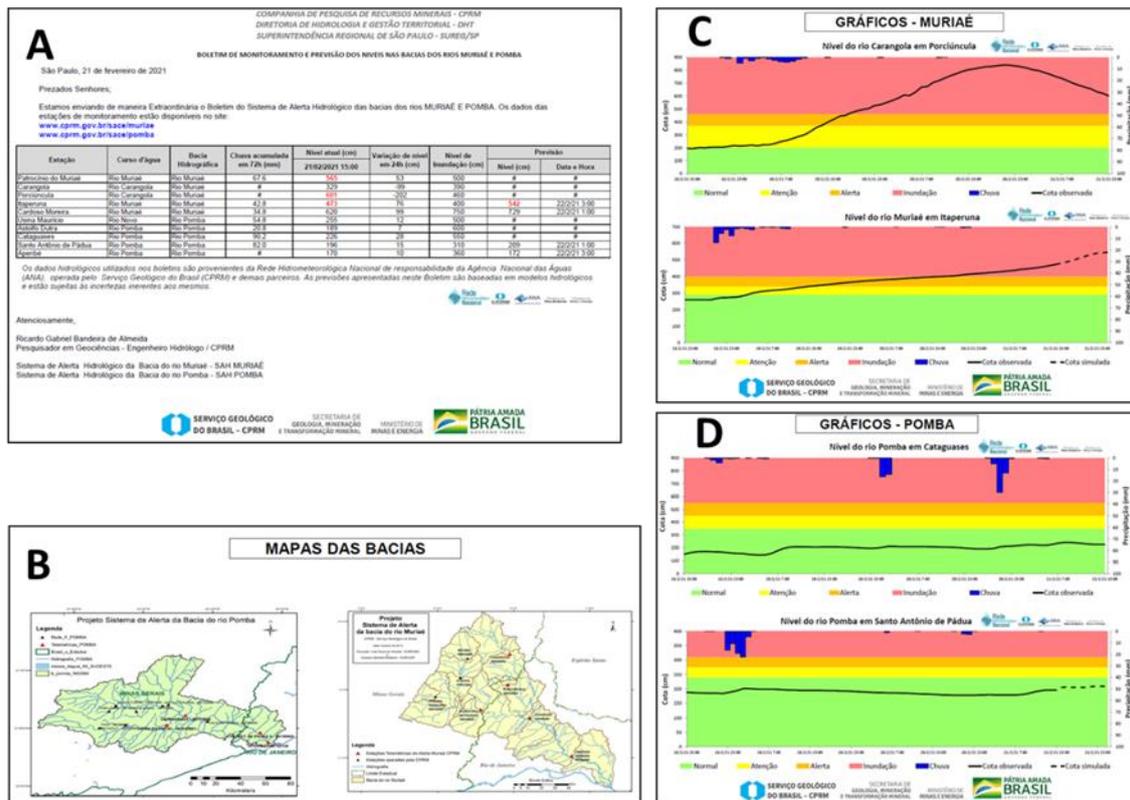


Figura 4 - Páginas do modelo do boletim extraordinário do SAH-Muriaé e SAH-Pomba. (A) Tabela com dados hidrológicos das estações. (B) Mapas das bacias dos rios Pomba e Muriaé. (C) Gráficos com cotogramas, pluviogramas e cotas simuladas para estações do SAH-Muriaé. (D) Gráficos com cotogramas, pluviogramas e cotas simuladas para estações do SAH-Pomba.

Além dos boletins extraordinários, são emitidos boletins de monitoramento (Figura 5) com frequência semanal. Estes boletins tem o objetivo de apresentar de forma resumida o comportamento hidrológico da semana anterior das estações monitoradas. Os dados são apresentados de forma tabular e por gráficos, além do mapa da precipitação estimado pelo produto MERGE, o que permite uma análise da variabilidade espacial da precipitação.

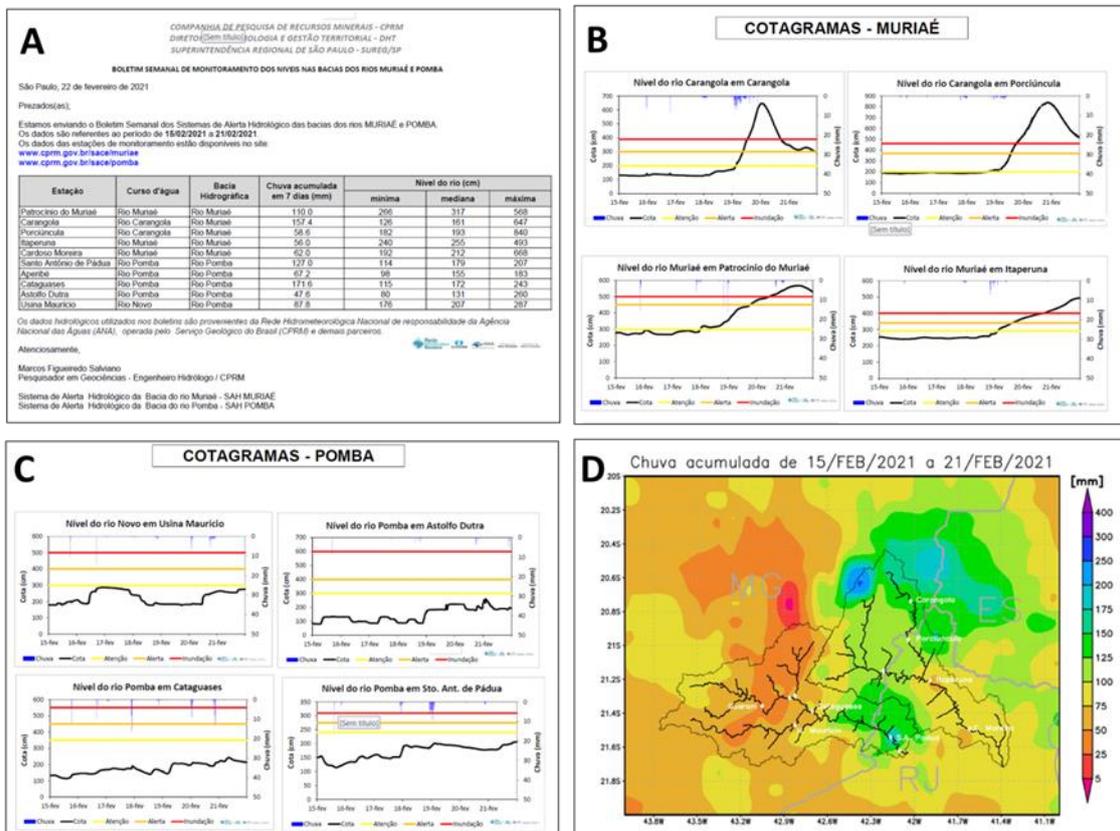


Figura 5 - Página do Boletim de Monitoramento. (A) Resumo do comportamento hidrológico na semana anterior. (B) Gráficos com o comportamento da cota e da precipitação das estações do SAH-Muriaé. (C) Gráficos com o comportamento da cota e da precipitação das estações do SAH-Pomba. (D) Imagem da precipitação estimada pelo produto MERGE.

Uma ferramenta importante na operação do sistema é o SACE (Sistema de Alerta de Eventos Críticos). O SACE consiste numa plataforma computacional 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 7) bem como informações atualizadas sobre o nível dos rios e pluviometria de forma gráfica (Figura 8) e tabular (Figura 9). Assim para cada Sistema de Alerta Hidrológico operado pela 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.

4. CURVAS-CHAVES

Como no Brasil ainda não são utilizados medidores automáticos e contínuos da descarga líquida, utiliza-se para a geração do dado 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 discretização 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 empírica.

Uma curva-chave é representativa para um ponto de monitoramento hidrológico dentro de um determinado intervalo de tempo e de nível da água (JACCON; 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. 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 3 estão apresentados os parâmetros das equações de curvas-chaves para as estações do SAH-Pomba.

Tabela 3 - 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	60,3016	-0,12	1,447	12	81
	02	120,704	0,25	1,378	81	181
	03	121,276	0,38	1,7	181	450
Cataguases	01	63,1598	0,2	1,67	50	220
	02	88,0105	0,13	1,135	220	675
Astolfo Dutra	01	28,8289	-0,17	1,591	17	215
	02	35,2385	0,11	1,597	215	450
Usina Maurício	01	13,7775	0,01	1,65	2	292
	02	13,0001	-0,20	1,6	292	372
	03	14,383	0,04	1,6	372	1050

5. DADOS OBSERVADOS E ESTIMADOS

Os cotogramas e pluviogramas, para o período entre novembro de 2020 e março de 2021, das estações hidrometeorológicas telemétricas do SAH-Pomba estão apresentados na Figura 9.

Em alguns casos (e.g. Aperibé, Cataguases, Usina Maurício) as PCDs apresentaram problemas durante a operação e por este motivo tiveram períodos sem dados. Estas estações foram visitadas pela equipe técnica da SUREG/SP e os problemas sanados. É importante ressaltar que estas manutenções foram realizadas durante a pandemia de COVID-19, o que dificultou a realização das campanhas de manutenção e aumentou o período em que as estações não estavam em pleno funcionamento.

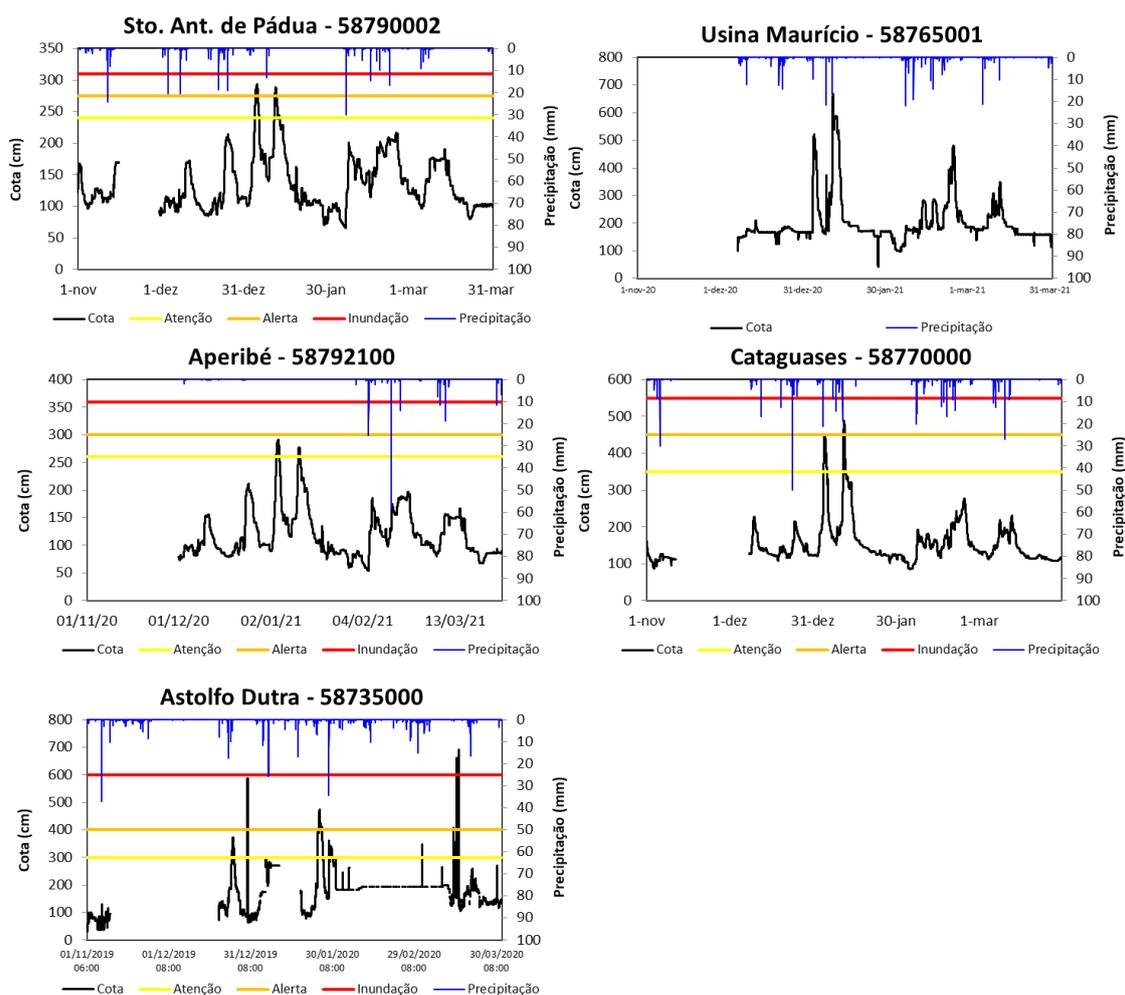


Figura 9 - Cotagramas e pluviogramas das estações telemétricas do SAH-Pomba para o período entre 01/11/2020 e 31/03/2021.

Na Figura 10 está apresentada a precipitação estimada pelo produto de satélite MERGE (ROZANTE *et al.* 2010, 2020) para o período entre novembro de 2020 e março de 2021. Na análise da imagem é possível constatar que na maior parte da área das duas bacias, a precipitação estimada acumulada foi entre 750 e 1350 mm. Os maiores acumulados de precipitação ocorreram na porção oeste, nas cabeceiras dos rios Pomba e Novo

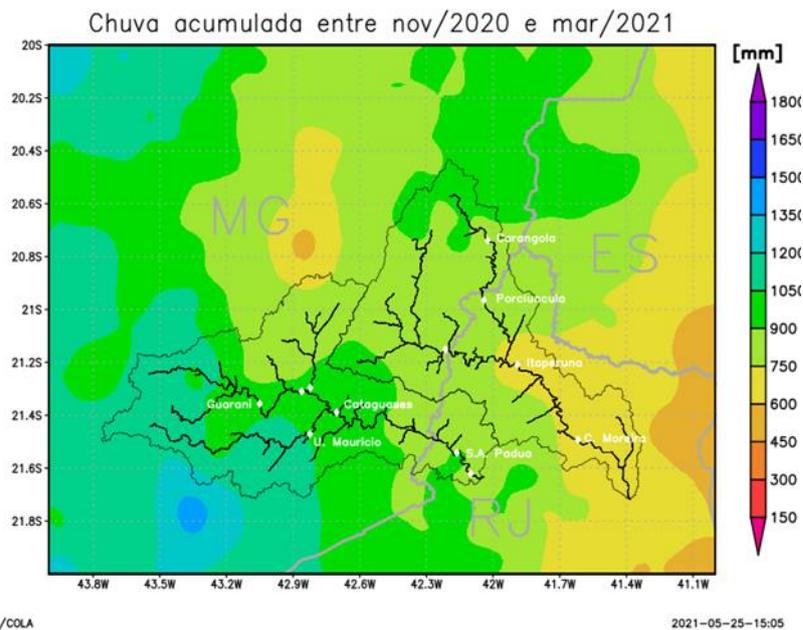


Figura 10 - Precipitação acumulada (mm) entre os meses de novembro/2020 e março/2021. Dados estimados do produto MERGE.

Na Figura 11 está apresentada a relação entre a precipitação estimada entre novembro de 2020 e março de 2021 com a média dos 20 anos anteriores para o mesmo período. Na análise da imagem é possível constatar que a maior parte da bacia do Muriaé, e o norte da bacia do Pomba tiveram precipitações abaixo da média, enquanto que a fração sul do Pomba apresentou predominantemente uma precipitação similar à média.

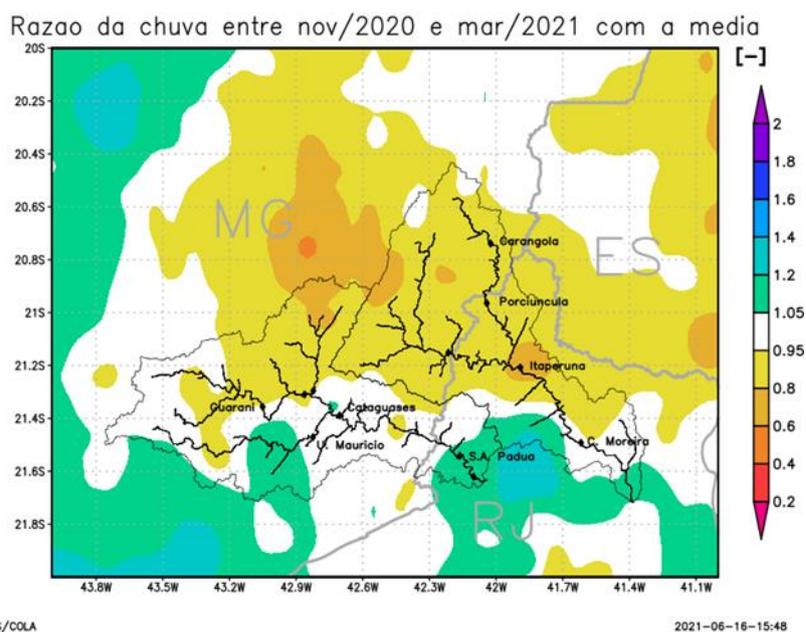


Figura 11 - Razão da precipitação entre os acumulados entre os meses de novembro/2020 e março/2021 e a média do período. Dados estimados do produto MERGE.

6. CONCLUSÕES

A operação do projeto SAH-Pomba no ano hidrológico 2020/2021 foi um enorme desafio frente às dificuldades impostas pela pandemia de COVID-19. Ainda assim, foi possível a organização de campanhas de campo para manutenções corretivas das estações o que possibilitou a operação dos sistemas.

Na bacia do rio Pomba, não foram constatados nenhum evento hidrológico significativo. Para as próximas operações será necessário uma revisão das curvas-chaves e das equações de previsão.

7. AGRADECIMENTOS

A operação do projeto SAH-Pomba no período entre novembro de 2020 e março de 2021 só 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 (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 equipamento de medição.

Agradecimento especial aos Técnicos em Geociências Diego Froes, Eduardo dos Santos, Felipe Tomás e Reginaldo Braz pela realização das campanhas de campo para a manutenção das estações durante a pandemia. Ressalta-se que as atividades desempenhadas durante estas campanhas foram de alta dificuldade, uma vez que em muitos casos foi necessária a substituição completa das estações para modelos que a equipe da SUREG/SP jamais havia instalado. A operação do SAH-Muriaé e SAH-Pomba para o ano hidrológico 2020/2021 não seria possível sem o trabalho e a dedicação destes profissionais. Também é preciso ressaltar o apoio prestado à estes profissionais pelo Pesquisador Ricardo Almeida e pelos gestores Vanesca Medeiros e Érico Lima por possibilitarem a realização das campanhas de campo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.