

RELATÓRIO DE ATIVIDADES

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO XINGU - Relatório técnico de operação 2021

Serviço Geológico do Brasil - CPRM

Dezembro 2021

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

Relatório de Atividades
Departamento de Hidrologia

**SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO
XINGU - Relatório técnico de operação 2021**

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

David Franco Lopes
Artur José Soares Matos



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**

Belém, 2021

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro de Estado

Bento Albuquerque

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Pedro Paulo Dias Mesquita

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

Sistema de Alerta de Eventos Críticos – SAH

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTOR

David Franco Lopes

Artur José Soares Matos

FOTOS DA CAPA: Fotos de pedrais no Rio Xingu. Por Erivelton Mimória (Técnico em Hidrologia, SUREG-BE)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

L864 Lopes, David Franco
 Sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Xingu -
 Relatório técnico de operação 2021. David Franco Lopes,
 Artur José Soares Matos. – Belém: CPRM, 2021.
 1 recurso eletrônico : PDF ; il.

 Relatório de Atividades do Departamento de Hidrologia.
 ISBN 978-65-5664-199-7

 1. Hidrologia – Metodologia. 2. Hidrometria. I. Lopes,
 David Franco; Matos, Artur José Soares. IV. Título.

CDD 551.48

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Nelma Botelho CRB2 1092

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

O Serviço Geológico do Brasil - CPRM opera sistemas de alertas hidrológicos nas principais bacias hidrográficas em todo o Brasil com previsões dos níveis dos rios, sendo os pioneiros: Manaus e Pantanal, desde a década de 1980 alertando as populações ribeirinhas quanto ao risco de inundação.

As bacias amazônicas convivem anualmente com eventos de cheia, já conhecidos e esperados pelas populações ribeirinhas. No entanto, a ocupação desordenada do território leva a construção de habitações em áreas vulneráveis a inundações. Diante dessa situação, qualquer evento que supere os níveis médios das cheias anuais é um potencial causador de danos. A bacia do rio Xingu também se enquadra nesta realidade, registrando seguidamente cheias que atingem a sociedade local e trazem diversos transtornos para economia.

Para atender esta demanda, a CPRM iniciou em 2017 o estudo de viabilidade para implantação do Sistema de Alerta Hidrológico na Bacia do Rio Xingu. O sistema tem o objetivo de gerenciar e/ou reduzir os impactos causados por inundações, por meio do monitoramento contínuo, previsão dos níveis dos rios, e divulgação de boletins. As informações são divulgadas através do site da CPRM, <http://sace.cprm.gov.br/xingu/>, e encaminhadas para o Cemaden, ANA, Cenad, Defesas Civil estadual, municipal e comunidade em geral.

No caso dessa bacia, o sistema de alerta hidrológico irá atender a 5 municípios e uma população afetada direta ou indiretamente de aproximadamente 274.000 habitantes. O sistema de alerta hidrológico ajudará a suprir a demanda por dados em escala temporal adequada a tomada de decisão

RESUMO

O sistema de alerta hidrológico da bacia hidrográfica do rio Xingu é composto de 06 estações telemétricas, em funcionamento desde 2017. Atende uma população aproximada de 190.000 habitantes, principalmente nas sedes urbanas de Altamira. Em Altamira, o nível de atenção ocorre quando a cota atinge 800 cm, o de alerta, 900 cm e o de inundação, 950 cm. Em 2021, o sistema hídrico do Xingu atingiu apenas 812 cm, provavelmente devido o fenômeno La Nina, que reduziu as chuvas nas cabeiras da bacia e o rio não subiu como em anos anteriores, sequer atingindo o nível de Alerta. Para emissão do boletim de monitoramento hidrológico, emprega-se um modelo de correlação múltipla para calcular a previsão na cidade de Altamira – cidade-polo regional, empregando as cotas de 4 estações, a saber, 18460000 – Boa Sorte, 18500000 – Boa Esperança, 18700000 – Pedra do Ó e 18850000 – Altamira, sendo que os dados desta última são usados em auto-regressão, garantindo 4 dias de antecipação da cota. Caso Boa Esperança e Pedra do Ó parem de funcionar, ainda é possível antecipar a cota em 2 dias, empregando os dados de Boa Sorte e Altamira – ambas localizadas no Rio Xingu.

ABSTRACT

The hydrological alert system of the Xingu river basin is composed of 06 telemetric stations, in operation since 2017. It serves an approximate population of 190,000 inhabitants, mainly in the urban centers of Altamira. In Altamira, the level of attention occurs when the river gage reaches 800 cm, the alert level, 900 cm, and the flood level, 950 cm. In 2021, the Xingu water system reached only 812 cm, probably due to the La Nina phenomenon, which reduced rainfall in the basin's source and the level river did not rise as in previous years, not even reaching the Alert level. To write the hydrologic monitoring bulletin, a multiple correlation model is used to calculate the forecast in Altamira – regional hub city, using the gage level of 4 stations, namely, 18460000 – Boa Sorte, 18500000 – Boa Esperança, 18700000 – Pedra do Ó and 18850000 – Altamira, the latter's data being used in auto-regression, getting level prediction of 4 days. If Boa Esperança and Pedra do Ó stop working, it is still possible to get river level forward by 2 days, using Boa Sorte and Altamira data– both located on the Xingu River.

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
2. MUNICÍPIOS ATENDIDOS	16
3. DEFINIÇÃO DE COTAS DE REFERÊNCIA	17
4. MODELOS MATEMÁTICOS DE PREVISÃO DE COTA	17
5. HISTÓRICO DE CHEIAS.....	19
6. AÇÕES REALIZADAS	20
7. AGRADECIMENTOS	23
3. CONCLUSÕES	23
4. BIBLIOGRAFIA	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa das Estações de Monitoramento do SAH-Xingu	13
Figura 2: Isoietas médias anuais da bacia hidrográfica do Xingu.....	15
Figura 3: Municípios na sub-bacia do Rio Xingu.....	16
Figura 4: Mapa das estações utilizadas na previsão de cota no SAH Xingu.....	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista das Estações, Rios e Municípios monitorados no SAH-Xingu	12
Tabela 2: Cota de atenção, alerta e inundação do SAH - Xingu	17
Tabela 3: Boletins emitidos em 2020 no SAH – Xingu	20

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Precipitação média anual na bacia hidrográfica do Rio Xingu	14
Gráfico 2: Antecipação de cota de 2 dias entre Boa Sorte e Altamira	19
Gráfico 3: Cotas médias históricas na Estação 18850000 – Altamira, no período de 1928 a 2014	19
Gráfico 4: Cotas médias históricas para permanências de 10, 25, 50, 75 e 90%.20	
Gráfico 5: Cotagrama da estação 1885000 – Altamira, , no período de janeiro a abril de 2021	21
Gráfico 6: Cotagrama da Estação 18460000 – Boa Esperança, no período de janeiro a abril de 2021.....	22
Gráfico 7: Cotagrama da Estação 18700000 – Pedra do Ó, , no período de janeiro a abril de 2021.	22

1. INTRODUÇÃO

O Rio Xingu inicia sua caminhada no Mato Grosso - cujas nascentes se localizam no Parque Indígena do Xingu entre as serras do Roncador e Formosa a uma cota altimétrica de apenas 600m - até a foz no Rio Amazonas, no município de Porto de Moz, após percorrer 1640 km de extensão e altimetria zero.

A bacia hidrográfica do Rio Xingu se localiza inteiramente em território nacional, com área de 531.250 km², forma alongada com cerca de 350 km de largura média e 1.450 km de comprimento, sendo um afluente da margem direita do Rio Amazonas (Figura 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), já seus tributários principais (rios Fresco, Iriri, Curuá e Bacajá) são quase paralelos ao rio principal e corre no sentido da declividade geral da bacia.

O Sistema de Alerta do Xingu está em funcionamento desde 2017, monitorando o nível nos municípios constantes, da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 1: Lista das Estações, Rios e Municípios monitorados no SAH-Xingu

Nome	Código	Rio	Município	Área da bacia (km ²)
Souzel	18938001	Xingu	Sen. José Porfírio	486.000
Vitória do Xingu	18936000	Xingu	Vitória do Xingu	464.000
Altamira	18850000	Xingu	Altamira	448.000
Pedra do Ó	18700000	Iriri	Altamira	122.000
Boa Sorte	18460000	Xingu	São Félix do Xingu	210.000
Boa Esperança	18500000	Fresco	São Félix do Xingu	42.400

Elaborado pelo Autor (2021)

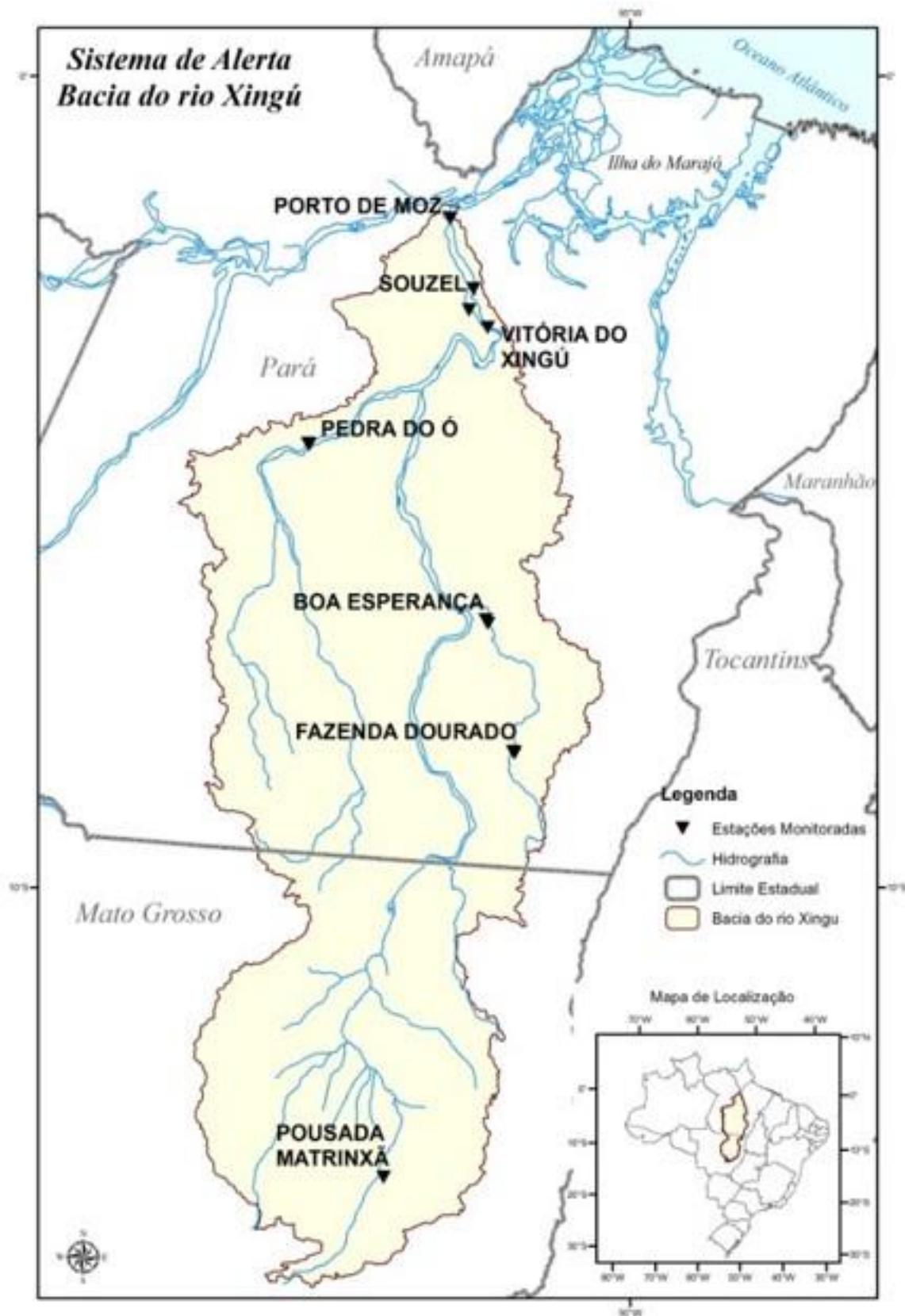


Figura 1: Mapa das Estações de Monitoramento do SAH-Xingu

As chuvas têm uma precipitação bem definida durante o ano, foi observado que a variação ao longo dos meses é caracterizada pela ocorrência de máximos durante os meses dezembro a março (Verão - Outono) e de mínimos nos meses junho, julho e agosto (Inverno). O início do período chuvoso na bacia se dá no mês de outubro, na porção entre Alto e Médio Xingu, e se desloca no sentido Sul-Norte até a região do Baixo Xingu, estacionando no mês de maio.

No Gráfico 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, estão mostradas as médias anuais das estações pluviométricas existentes na Bacia Hidrográfica, onde é possível verificar um quantitativo superior a 1500 mm/ano.

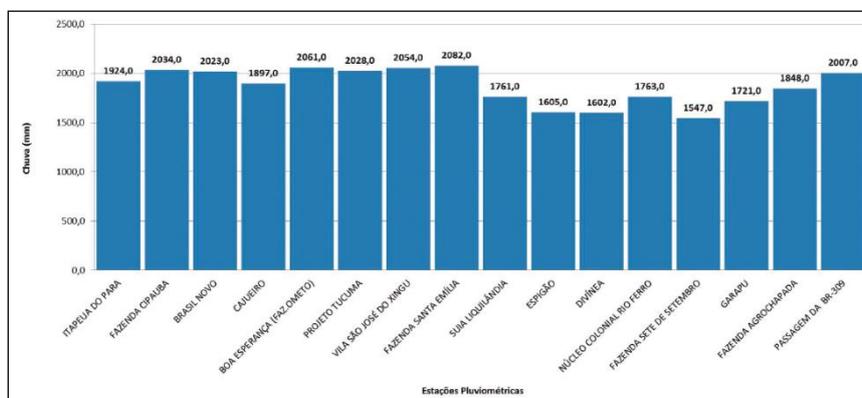


Gráfico 1: Precipitação média anual na bacia hidrográfica do Rio Xingu

Esta “marcha” da chuva na bacia do rio Xingu acontece devido à influência direta dos dois grandes sistemas meteorológicos, a saber, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), afetando, igualmente, o escoamento superficial do rio.

Na Figura 2, tem-se a as isoietas médias anuais da bacia hidrográfica do Xingu, no período de 1977 a 2006, com dados consistidos. Verifica-se que a região setentrional (< 1800 mm) apresenta índice pluviométrico inferior à porção central (> 2000 mm).

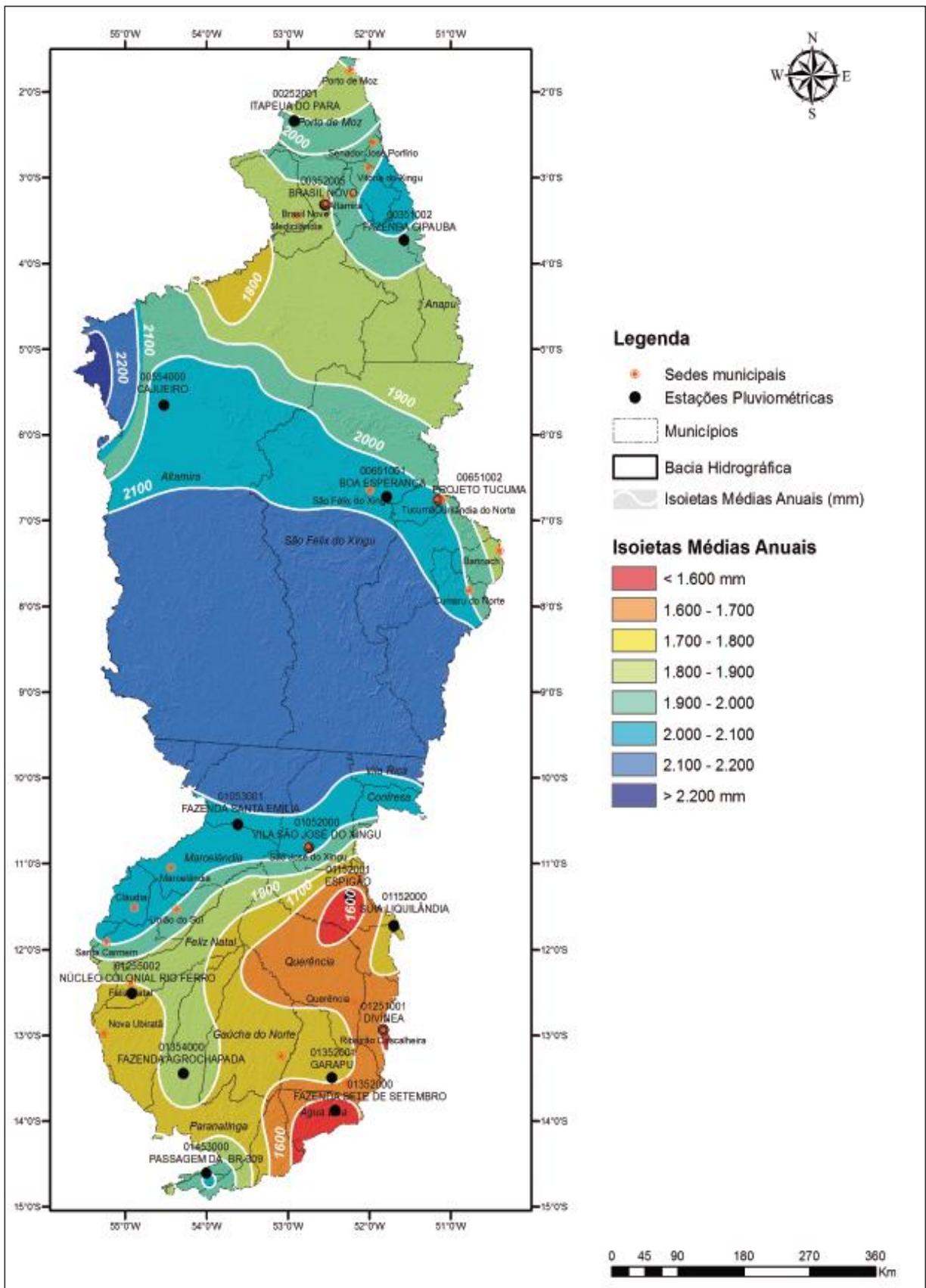


Figura 2: Isoietas médias anuais da bacia hidrográfica do Xingu.

2. MUNICÍPIOS ATENDIDOS

A sub-bacia do Xingu é bem extensa, cujo rio principal mede mais de 1500 km, tendo exatos 69 municípios em sua área (Figura 4). Por coincidência, ele entrecorta o maior município do Brasil – **Altamira** (99.075 hab). E **Vitória do Xingu** (13.431 hab) também é um município que sofre os efeitos do crescimento do nível do rio (Figura 2Figura 2Figura 3).

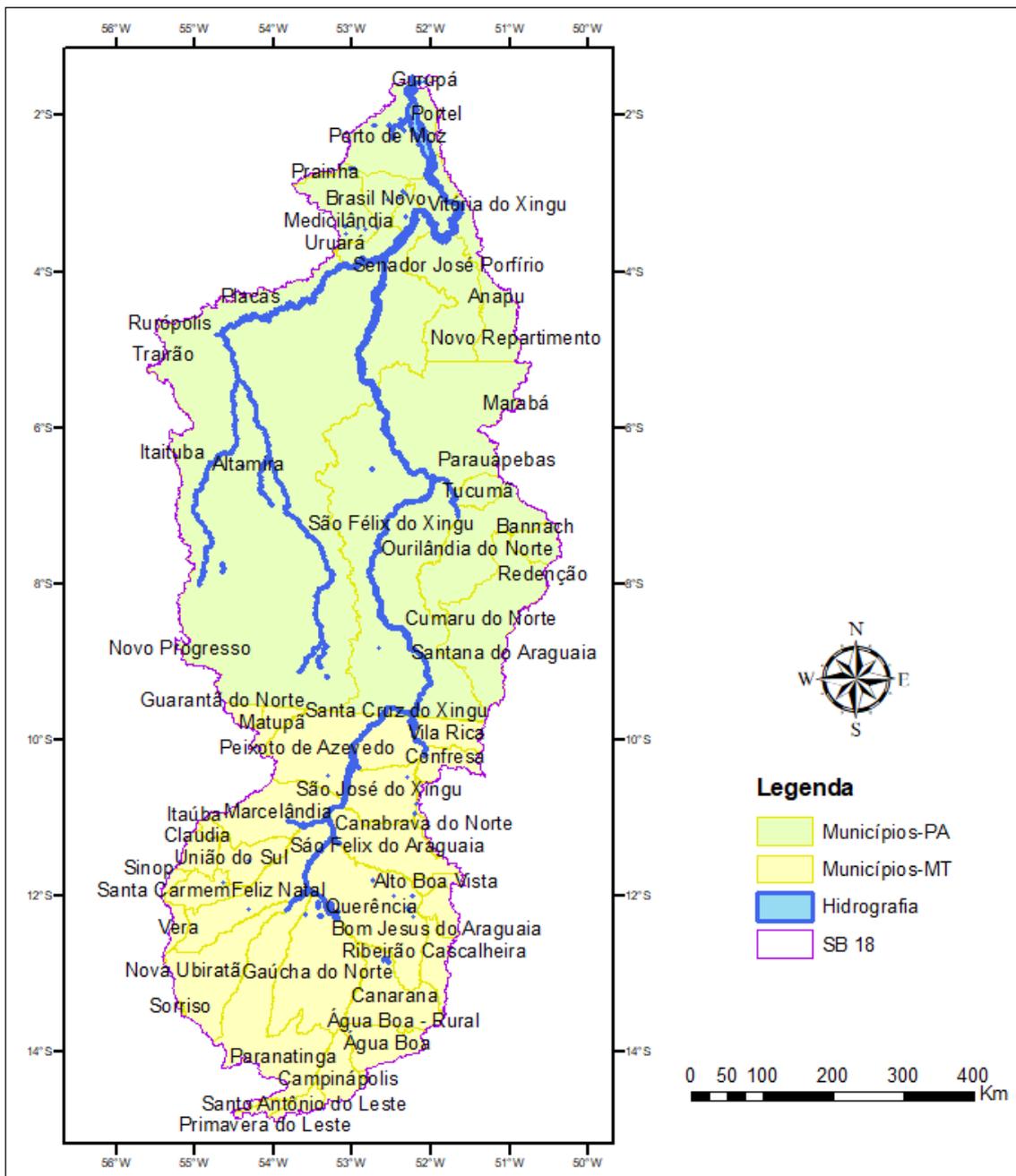


Figura 3: Municípios na sub-bacia do Rio Xingu

3. DEFINIÇÃO DE COTAS DE REFERÊNCIA

As cotas de referências foram estabelecidas de acordo com as seguintes definições:

- **Cota de Atenção:** é o primeiro nível para as equipes dos SAH ficarem alertas para monitoramento do nível, com possibilidade moderada de ocorrência de inundação
- **Cota de Alerta:** Possibilidade elevada de ocorrência 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

No SAH Xingu, elas foram definidas de forma estatística, estando em planejamento pós-pandemia a definição física das mesmas, com emprego de GPS geodésico.

Tabela 2: Cota de atenção, alerta e inundação do SAH - Xingu

Nome da Estação	Rio	Cotas (cm)		
		Atenção	Alerta	Inundação
Souzel	Xingu	#	#	#
Vitória do Xingu	Xingu	#	#	500
Altamira	Iriri	800	900	950
Pedra do Ó	Xingu	800	#	900
Boa Sorte	Fresco	800	#	950
Boa Esperança	Xingu	900	1000	1100

Elaborado pelo Autor (2021)

4. MODELOS MATEMÁTICOS DE PREVISÃO DE COTA

O Sistema de Alerta do Xingu possui um modelo estatístico para previsão da Cota de interesse, com antecedência de 4 dias. As estações empregadas no modelo são, a saber, Boa Esperança e Boa Sorte no município de São Felix do Xingu, e Pedra do Ó e Altamira, no município de mesmo nome (Figura 5). O

desafio é gerir o Alerta e emitir boletins quando uma estação interrompe o monitoramento– seja por quebra ou vandalismo.

Atualmente, o SAH Xingu utiliza a cota das 4 estações citadas para previsão de cota na cidade de Altamira (Figura 4), sendo que a estação da própria cidade é usada em auto-regressão.

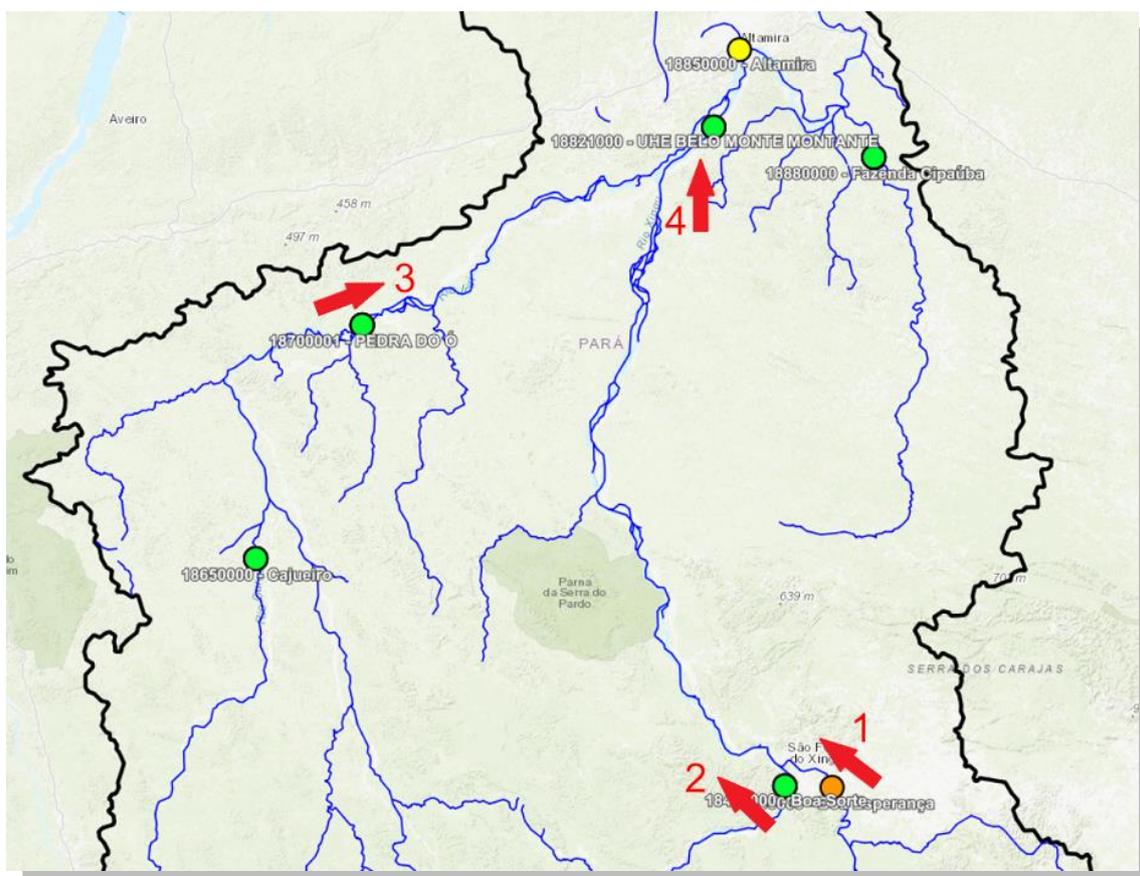


Figura 4: Mapa das estações utilizadas na previsão de cota no SAH Xingu

Caso alguma estação sofra pane e os dados não sejam recebidos, é possível antecipar em dois dias, empregando as cotas de Boa Sorte (Montante) e Altamira (Jusante), como pode ser observado no Gráfico 2, permitindo a emissão do boletim de monitoramento.

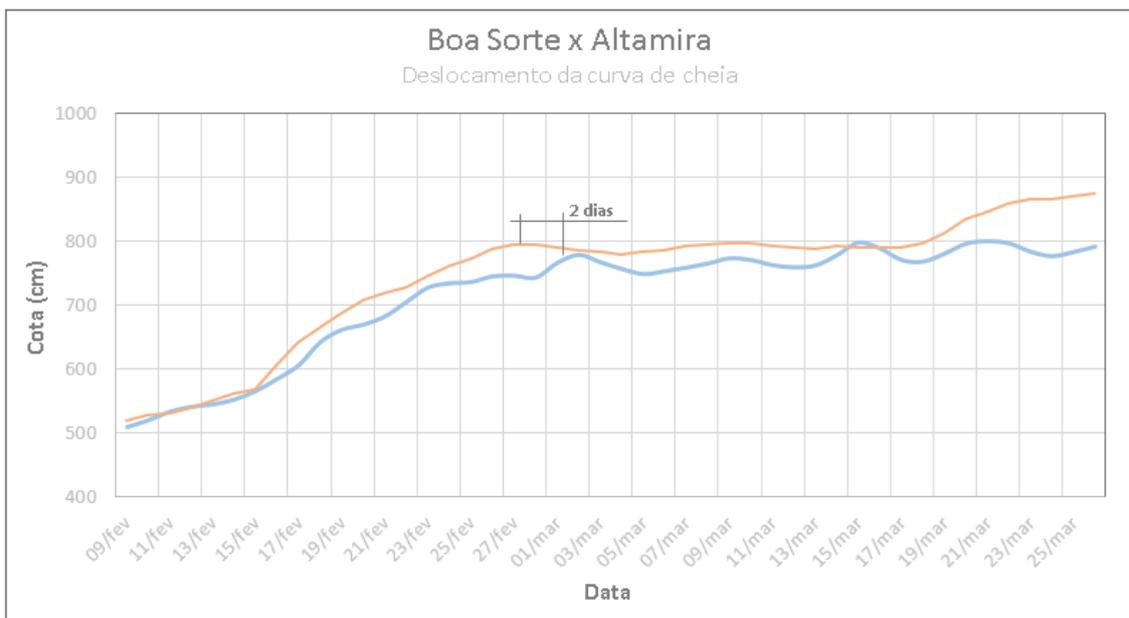


Gráfico 2: Antecipação de cota de 2 dias entre Boa Sorte e Altamira.

5. HISTÓRICO DE CHEIAS

As cheias no rio Xingu são sazonais, ocorrendo predominantemente entre os meses de março a maio devido à chuva que precipita na bacia hidrográfica. O **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta as cotas médias mensais históricas no período de 1928 a 2014. A última inundação urbana devido à elevação do Rio Xingu ocorreu em 2014.

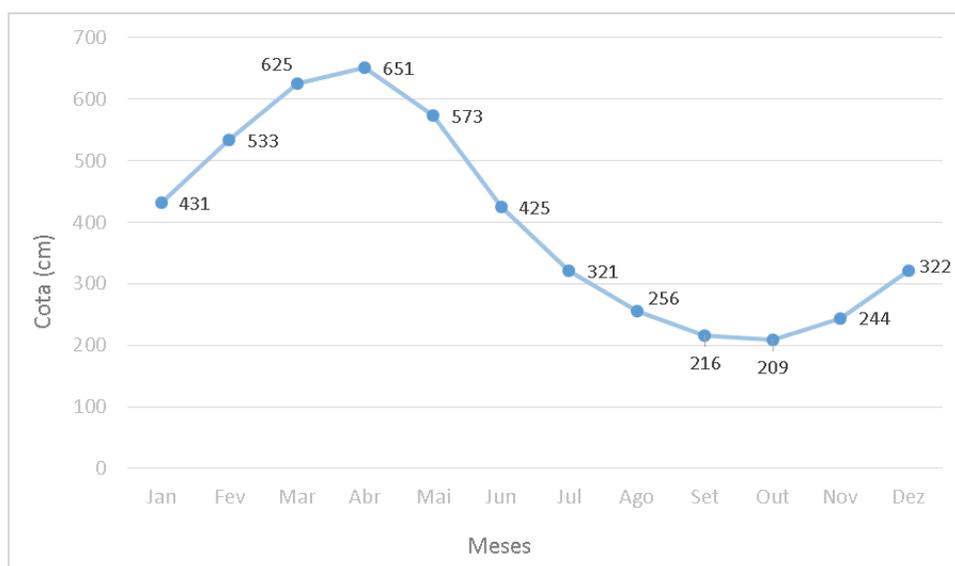


Gráfico 3: Cotas médias históricas na Estação 18850000 – Altamira, no período de 1928 a 2014

As cotas de permanência na bacia hidrográfica, especificamente na cidade de Altamira, estão presentes no Gráfico 4. Observa-se que as cotas médias históricas ultrapassam 750 cm apenas 10% do tempo no mês de março (Gráfico 4). No período seco, os níveis têm pequena variação com diferença de 169 cm.

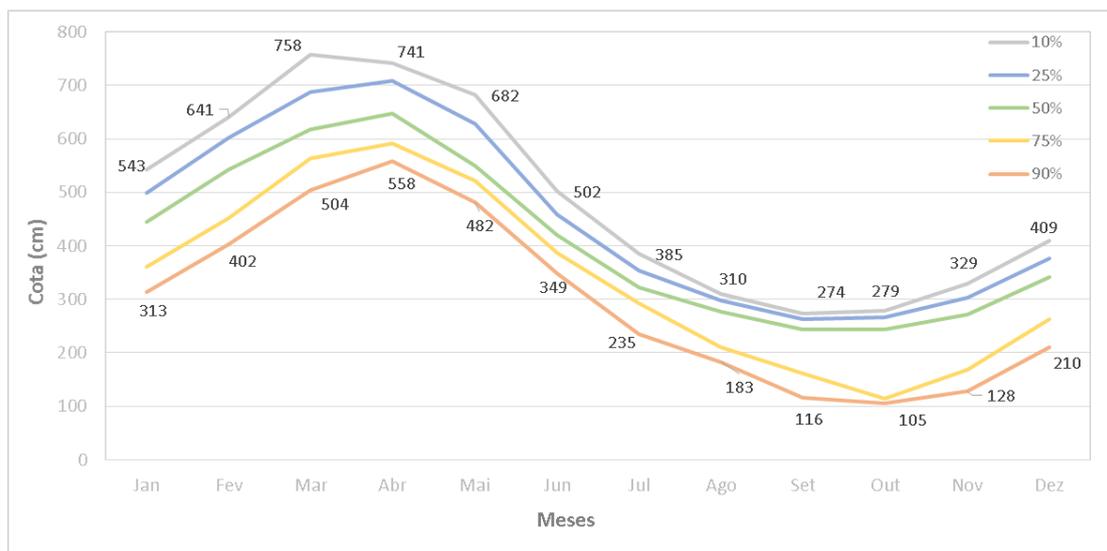


Gráfico 4: Cotas médias históricas para permanências de 10, 25, 50, 75 e 90%

6. AÇÕES REALIZADAS

No ano de 2021 também houve influência de La Niña, repetindo o ano de 2020, que produziu chuvas abaixo da média. Nos meses de inverno houve aumento da precipitação, sendo emitidos boletins de monitoramento hidrológico entre os meses de fevereiro e maio. Também passamos pela pandemia de nossa geração, impedindo a ida à campo para manutenção das estações.

Boletins enviados em 2020

Em 2021 foram emitidos 14 boletins distribuídos no trimestre mais chuvoso, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Boletins emitidos em 2020 no SAH – Xingu

Mês	Boletins emitidos	Situação
Fevereiro	04	Chegada da cota do rio Xingu na cota de atenção.
Março	05	Proximidade do nível com a cota de Alerta
Abril	04	Manutenção de cota elevada
Maio	01	Descenso do nível abaixo da cota de Atenção

Elaborado pelo Autor (2021)

No boletim de monitoramento de 05.04.21, relatou-se o vandalismo da estação 18460000 - Boa Sorte, o que impediu o recebimento remoto dos dados monitorados; e como a estação não possui observador, devido a distância à sede municipal, inviabilizou a obtenção dos dados para elaboração do modelo matemático de previsão. Já as estações 1885000-Altamira e 18500000-Boa Esperança estavam danificadas, mas ambas possuem observadoras com acesso à internet, o que permitiu receber os dados diariamente via mensageiro instantâneo, registrar o monitoramento da cota e emitir o boletim qualitativo para a cidade de Altamira, baseado nas estações à montante (Pedra do Ó e Boa Esperança). No Gráfico 5 é possível observar o nível do Rio Xingu ultrapassar a cota de Alerta levemente em Março e mais consistentemente em Abril, reduzindo o nível ainda no mesmo mês – evidenciando o efeito do fenômeno La Nina ocorrido em 2021. Em 2020, a cota só reduziu no mês de junho, enquanto em 2021, já em abril ocorria recessão do nível do Rio Xingu.

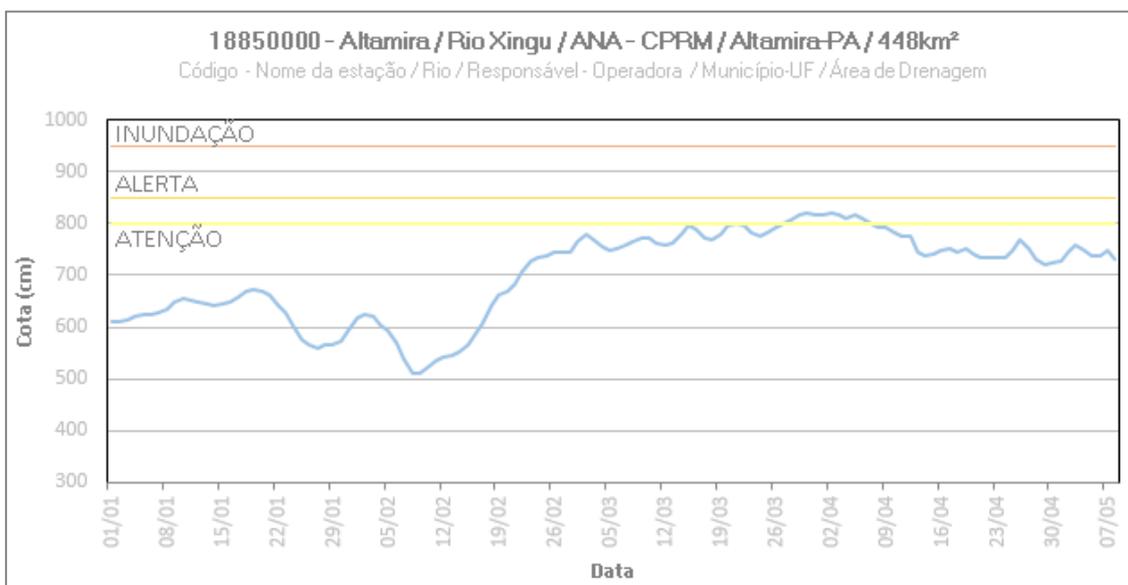


Gráfico 5: Cotograma da estação 1885000 – Altamira, no período de janeiro a abril de 2021

Os gráficos a seguir apresentam os níveis e pluviometria no período de janeiro a abril de 2021, nas estações monitoradas em funcionamento: 18500000 – Boa Esperança (Gráfico 6) e 18700000 – Pedra do Ó (Gráfico 7):

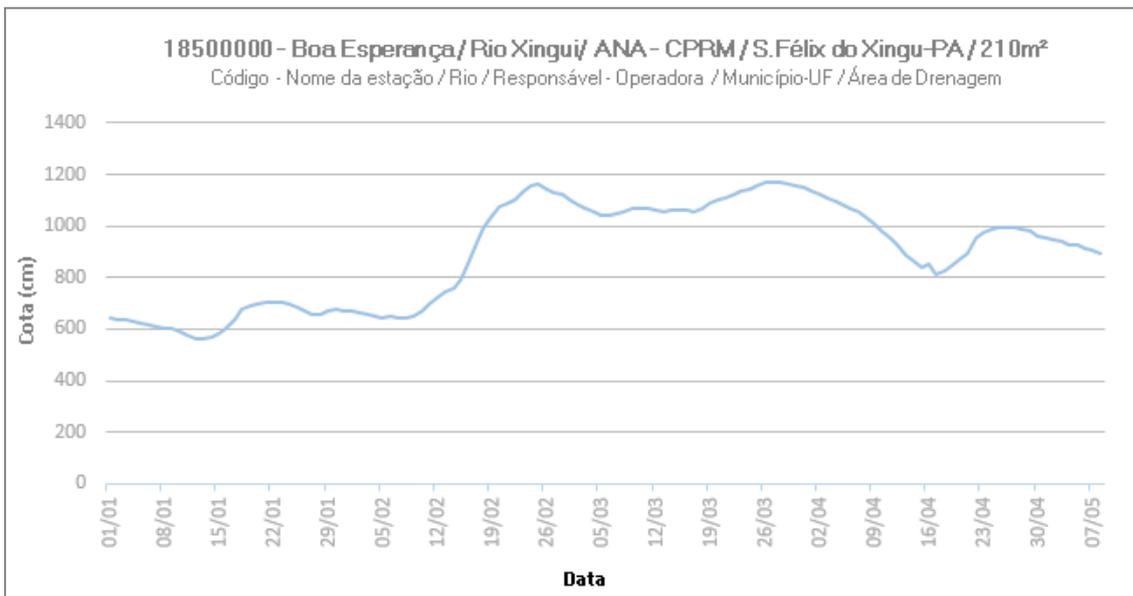


Gráfico 6: Cotograma da Estação 18460000 – Boa Esperança, no período de janeiro a abril de 2021.

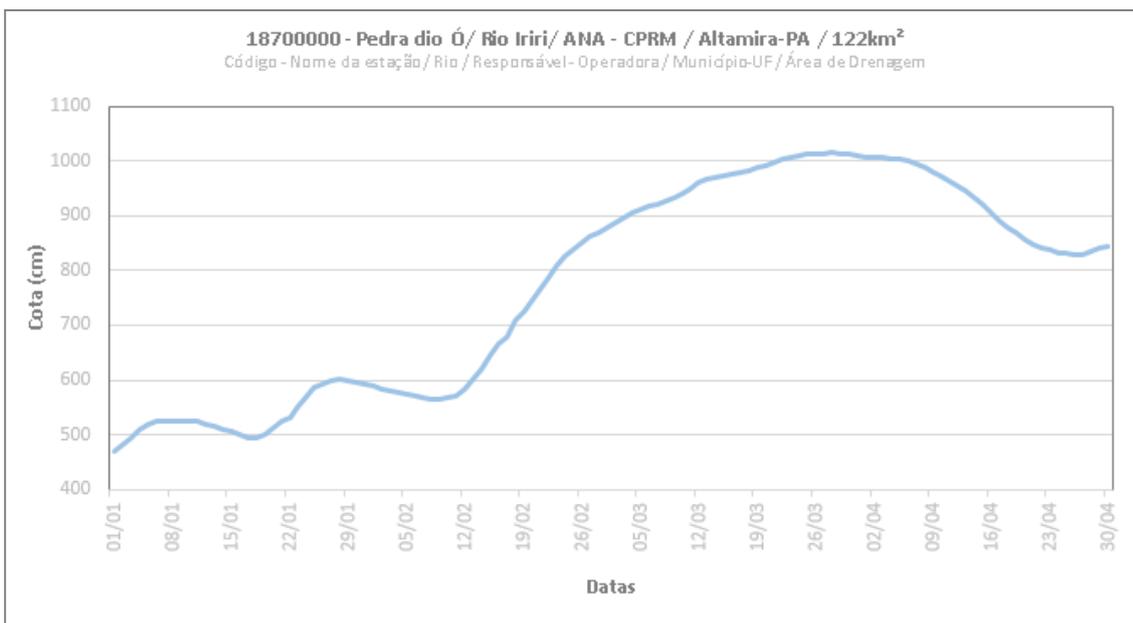


Gráfico 7: Cotograma da Estação 18700000 – Pedra do Ó, , no período de janeiro a abril de 2021.

7. AGRADECIMENTOS

O Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Xingu foi operado graças ao apoio técnico do Escritório do Rio de Janeiro da CPRM e a coordenação do Projeto dos Sistemas de Alerta.

Necessário ressaltar a importância dos dados hidrológicos oriundos da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) de gestão da Agência Nacional de Águas (ANA) e graças à manutenção realizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), por meio de nossas equipes técnica de campo.

3. CONCLUSÕES

O Sistema de Alerta Hidrológico é uma importante ferramenta de análise de dados, que permite entregar à sociedade informação essencial para a gestão de riscos, subsidiando a defesa civil, prefeituras e órgãos federais à tomada de decisão. Mesmo em regiões ínvias como na Bacia Amazônica, o desenvolvimento das atividades é realizado com esmero e dedicação, entregando produtos com qualidade.

O Sistema hídrico do Xingu tem características únicas, como ser uma grande bacia, com variação lenta, além de sua jusante sofrer remanso do Rio Amazonas, gerando desafios ao correto monitoramento e previsão de cotas.

4. BIBLIOGRAFIA

AZAMBUJA, A. M. S. (org.). **Climatologia da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Xingu**. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2018. Relatório Interno.

ELETRONORTE. **Relatório de impacto de meio ambiente**. Disponível em: <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Belo-Monte.aspx>. Acesso em: 16 de 2021.

FRANCO, V. dos S.; SOUZA, E. B. de; LIMA, A. M. M. de; SOUZA, A. L. de; PINHEIRO, A. N.; DIAS, T. S.; AZEVEDO, F. M. de. Climatologia e previsão hidrológica de cheia sazonal do Rio Xingu, Altamira-Pa. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, jan./jun., 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.46393>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/46393>. Acesso em: 16 de 2021.

FRANCO, V. dos S., SOUZA E. B. de, LIMA, A. M. M. de. Cheias e vulnerabilidade social: Estudo sobre o rio Xingu em Altamira/PA. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 21, p. 3-21, 2018. 2018. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0157r3vu18L1AO>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/3fKwyDkQ6bHPR7pjTHrHHKx/?lang=en>. Acesso em: 16 de 2021.

GERMANO, A. de O.; MATOS, A. Metodologia para definição de cotas de referência em sistemas de alerta e previsão hidrológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22, 2017, Florianópolis – SC. **Anais [...]**. Florianópolis – SC: ABRH, 2017. Disponível em: <http://anais.abrh.org.br/works/2975.2017>. Acesso em: 16 de 2021.

IBGE. **Cidades**: censo 2010. Disponível em: www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censodemografico-2010.html?=&t=downloads. Acesso em: 16 dez. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Hidrografia da Amazônia Legal**. Shapes. Disponível em <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 16 dez. 2021.

INSTITUTO DE TERRAS DO MATO GROSSO – INTERMAT. **Base cartográfica do estado de Mato Grosso nas escalas 1:1.500.000, 1:250.000 e 1:100.000**. Disponível em: <http://www.intermat.mt.gov.br/-/11303036-bases-cartograficas>. Acesso em: 16 dez. 2021.

PINTO, E. J. et al. **Atlas pluviométrico do Brasil**: versão 2.0 atualizada. [S.l.]: CPRM, 2011. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/11558>. Acesso em: 16 dez. 2021.

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). **Portal HIDROWEB**. Banco dados. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 16 dez. 2021.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (org.). **Geologia e recursos minerais do Estado do Pará**: texto explicativo. Belém: CPRM, 2008. 328 p. il. color. escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB). Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/10443>. Acesso em: 11 jun. 2021.