

RELATÓRIO DE ATIVIDADES

DEPARTAMENTO DE HIDROLOGIA



SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DA BACIA DO RIO PARAGUAI

Relatório Anual de operação 2021

Serviço Geológico do Brasil - CPRM
Dezembro de 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 PARAGUAI

Relatório Anual de operação 2021

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Marcus Suassuna Santos
Marcelo Parente Henriques
Artur José Soares Matos



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
CPRM

Brasília, dezembro de 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

EQUIPE DO SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DO RIO PARAGUAI

Marcus Suassuna Santos

Marcelo Parente Henriques

Artur José Soares Matos

PROJETO DOS SISTEMAS DE ALERTAS HIDROLÓGICOS

SISTEMA DE ALERTA HIDROLÓGICO DO RIO PARAGUAI – SAH PARAGUAI

(Relatório de Atividades N° 1 – Ano 2021)

REALIZAÇÃO

Divisão de Hidrologia Aplicada

AUTORES

Marcus Suassuna Santos

Marcelo Parente Henriques

Artur José Soares Matos

FOTOS DA CAPA: Porto de Corumbá, 1910 – acervo digital da Biblioteca Nacional - na data informada, 23 de novembro de 1910, a cota em Ladário foi de 47cm. Em 1910 o rio atingiu -48 cm em outubro (6ª vazante mais rigorosa). Percebe-se os efeitos da vazante, observando o embarque/desembarque das cargas.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S237r	Santos, Marcus Suassuna. Relatório de atividades Departamento de Hidrologia : sistema de alerta hidrológico da bacia do rio Paraguai : relatório anual de operação 2021 / Marcus Suassuna Santos, Marcelo Parentes Henriques, Artur José Soares Matos ; realização Divisão de Hidrologia Aplicada. -- Brasília : CPRM, 2021. 1 recurso eletrônico : PDF ISBN 978-65-5664-185-0 1.Hidrologia. 2.Bacias hidrográficas. I. Santos, Marcus Suassuna. II. Henriques, Marcelo Parentes. III. Matos, Artur José Soares. IV. Título. CDD 551.48
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Teresa Rosenhayme CRB 5662

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 Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Paraguai (SAH Paraguai) apresenta seu Relatório Anual de Operação de 2021. O ano de 2021 foi marcado por secas severas na bacia do rio Paraguai, sendo que na estação de Ladário, utilizada como referência para a região, o rio esteve a 1 cm de alcançar o nível mínimo da série histórica de 121 anos. O rio alcançou o nível mínimo de -60 cm nesse trecho em 15 de outubro de 2020, 1 cm acima da cota observada em 1964, ano da mínima histórica. Em razão desse evento extremo, que se desenvolveu gradualmente ao longo de meses e até anos, o monitoramento do SAH Paraguai vem sendo feito de forma continuada, com maior intensidade desde o primeiro trimestre de 2020, quando o rio começou a evidenciar características de que estava entrando em um período bastante seco.

O histórico da bacia evidencia a possibilidade de subsequentes anos secos, e em razão disso, a necessidade do monitoramento intenso e ininterrupto da bacia se torna evidente. Além disso, mudanças de regime seco para um regime mais úmido, a exemplo do ocorrido em 1974, acabam resultando em danos significativos na bacia em razão das cheias, especialmente para atividades pecuárias. Isso faz com que o monitoramento tenha especial importância nesse período de seca prolongada, olhando não apenas para as secas, mas também, atento à possibilidade de que, nessa mudança de regimes de seco para úmido, existe a possibilidade de elevados danos para as comunidades afetadas.

Neste relatório será apresentada uma descrição geral do monitoramento feito na bacia e um histórico da operação do SAH Paraguai. Será feita ainda uma caracterização da bacia em seus aspectos hidroclimatológicos, incluindo caracterização do clima, chuvas e hidrologia, com foco na caracterização das secas. Serão descritas também a cheia e a vazante de 2021 no rio Paraguai, considerando as chuvas, vazões e níveis observados na bacia. Por fim, serão tratados aspectos relevantes da operação deste ano, a repercussão nos meios de comunicação, incluindo um panorama dos danos e prejuízos relatados ao transporte fluvial, à circulação de mercadorias e outros impactos para a população.

RESUMO

A bacia do rio Paraguai alcançou níveis históricos no ano de 2021, do ponto de vista das secas. Em Ladário e Porto Murtinho, o rio alcançou o segundo mínimo do histórico de registros. Em Cáceres, Cuiabá e em outras localidades, o rio alcançou níveis mínimos históricos, quando comparado ao histórico de registros nesses locais. De um modo geral, análises de frequência empírica apontam que o evento observado em 2021 tem uma probabilidade de ocorrência entre 1,7% a 2,5%, a depender do trecho observado. Ou seja, corresponde a períodos de retorno entre 40 ou superior a 60 anos, dependendo do trecho avaliado.

Esse evento resultou de um acúmulo de anos secos na bacia do rio Paraguai. Ao longo dos últimos três anos, estimativas de chuvas por satélite apontam para um déficit acumulado de 800 mm. Se ponderarmos as estimativas dos últimos 7 anos, o déficit aproximado é de cerca de 1.000 mm, que é um valor da mesma ordem de grandeza de um ano hidrológico típico da região, onde é esperado um total anual de chuvas da ordem de 1.100 mm. Na parcela mais ao norte da bacia, nas sub-bacias do rio alto-Paraguai, à montante de Cáceres, Cuiabá, São Lourenço e Taquari, esse déficit se acumulou em todos os meses do ano, fazendo com que nesses trechos, níveis mínimos históricos tenham sido observados. Esses trechos mais à montante, especialmente, as bacias dos rios Alto Paraguai e Cuiabá são locais de recarga estratégicos para a bacia e que definirão a recuperação dos níveis no rio Paraguai. Em outras palavras, a bacia do rio Paraguai e o bioma Pantanal dependem principalmente de chuvas nessas sub-bacias para que seus níveis retornem a patamares mais próximos do normal.

A partir da primeira semana de janeiro, 9 meses antes do período mais extremos das secas na bacia, o SGB/CPRM já vinha alertando para uma probabilidade de 97% de que as cheias deste ano de 2021 seriam abaixo da normal. Esse quadro apontava para uma probabilidade alta também de que a seca observada em 2020 pudesse se repetir, o que de fato ocorreu. Ao longo do ano de 2021 esse prognóstico foi sendo reforçado, constituindo elemento de grande importância para mitigar os impactos da seca severa observada na bacia.

ABSTRACT

The Paraguay River basin witnessed historic minimum levels in 2021. In Ladário and Porto Murtinho, the river reached the second minimum water level compared to the historical records. In Cáceres, Cuiabá and other locations, unseen water levels were observed. Empirical frequency analyzes suggest that the 2021 event has a probability of occurrence in different sites ranging from 1.7% to 2.5%. It corresponds to return periods from 40 to more than 60 years.

This event resulted from an accumulation of dry years in the Paraguay River basin. Over the past three years, satellite rainfall estimates indicate an accumulated deficit of 800 mm. In the last seven years, this deficit has been around 1,000 mm. This value is of the same order of magnitude as a typical hydrological year in the region of approximately 1,100 mm. In the northernmost portion of the basin (upper-Paraguay, Cáceres, Cuiabá, São Lourenço and Taquari), this deficit accumulated in every month of the year, causing historical minimum levels in these sites. Especially the basins of the upper-Paraguay and Cuiabá are strategic recharge sites for the river basin. The Paraguay River and the Pantanal biome depend mainly on rainfall in these sub-basins to return to levels closer to normal.

Since the first week of January, 2021 (nine months ahead of the date of the minimum water level), the SGB/CPRM had already been warning of a 97% probability that this year's 2021 floods would be below normal. This picture also pointed to a high chance that the drought observed in 2020 could be repeated, which it did. Throughout 2021, this forecast was reinforced, constituting an element of great importance to mitigate the impacts of the severe drought observed in the basin.

In this report, a general description of the Paraguai river is carried out, including the characterization of the climate, rainfall and hydrology. A history of the operation of the SAH Paraguai will also be provided. The 2021 event is described in detail, considering the rainfall, flows and levels observed in the basin. Finally, relevant aspects of this year's operation will be summarized, as well as the repercussions in the media, including an overview of the damages and losses reported to river transport, the circulation of goods and other impacts on the population.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAGUAI E MONIOTORAMENTO HIDROLÓGICO DA REGIÃO	11
3. HISTÓRICO DE OPERAÇÃO DO SAH PARAGUAI.....	15
4. HIDROCLIMATOLOGIA DA BACIA DO RIO PARAGUAI.....	17
4.1 Clima	17
4.2 Regime pluviométrico.....	18
4.3 Regime hidrológico	20
4.4 Aspectos estatísticos das secas na bacia	23
5. DESCRIÇÃO DA SECA DE 2021	25
5.1 Chuvas.....	25
5.2 Níveis dos rios	28
6. OPERAÇÃO REALIZADA EM 2021.....	31
8. AGRADECIMENTOS AOS PARCEIROS	33
9. CONCLUSÕES	34
10. Referências Bibliográficas.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa da bacia do rio Paraguai, com destaque para as sub-bacias que compõem a bacia e o bioma Pantanal.	12
Figura 2: Diagrama unifilar da bacia do rio Paraguai, com destaque para as estações de monitoramento, sedes municipais, os principais afluentes do rio, áreas de drenagem e distância entre as estações.	13
Figura 3. Sistemas aluviais e deposicionais da Planície do Pantanal, com destaque aos sistemas deposicionais do rio Taquari (abaixo), São Lourenço (intermediário) e Cuiabá (superior)	15
Figura 4: Mapa de climas de acordo com classificação de Koppen-Geiger na América do Sul.....	18
Figura 5: Atlas pluviométrico do Brasil – Isoietas de totais anuais médios (1977 a 2006).....	19
Figura 6: Atlas pluviométrico do Brasil – chuva média anual na bacia do rio Paraguai (1977 a 2006).....	19
Figura 7: Chuva média mensal – dados MERGE/INPE – período de 2000 a 2020.	20
Figura 8: Variação sazonal dos níveis nas estações da bacia do rio Paraguai.	23
Figura 9: Relação entre períodos de recorrência e vazões máximas anuais nas quatro principais estações na calha do rio Paraguai.....	25
Figura 10: Anomalias de precipitação na bacia do rio Paraguai ao longo últimos anos.....	26
Figura 11: Anomalias de precipitação na bacia do rio Paraguai ao longo do ano de 2021	27
Figura 12: Variação sazonal dos níveis e cotograma da cheia de 2021 nas estações da bacia do rio Paraguai.	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estações de Monitoramento Fluviométrico de interesse na bacia do rio Paraguai.	12
Tabela 2: Cotas e vazões máximas anuais (em cm e m ³ /s, respectivamente) nas estações de interesse na bacia do rio Paraguai.	23
Tabela 3: Anomalias de chuvas em sub-bacias do rio Paraguai (em mm).	28
Tabela 4: Vazões e níveis máximos observados em 2021 nas estações que fazem parte do alerta e estimativa dos respectivos períodos de retorno.	31

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Paraguai (SAH Rio Paraguai) apresenta seu Relatório Anual de Operação de 2021. Neste relatório serão apresentados: descrição geral do monitoramento feito na bacia; histórico da operação do SAH; caracterização da bacia em seus aspectos hidroclimatológicos, incluindo caracterização do clima, chuvas e hidrologia. Será dado um foco mais específico à descrição das secas, tipologia de evento extremo que teve destaque neste ano de 2021, enfatizando as características hidroclimatológicas desse fenômeno.

2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PARAGUAI E MONITORAMENTO HIDROLÓGICO DA REGIÃO

Na Figura 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** um mapa da bacia do rio Paraguai é apresentado, com destaque para a parcela brasileira da bacia e para o bioma Pantanal. Nessa figura são indicadas as estações que compõem a rede de monitoramento da região. Alguns dados gerais dessas estações são exibidos na Tabela 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

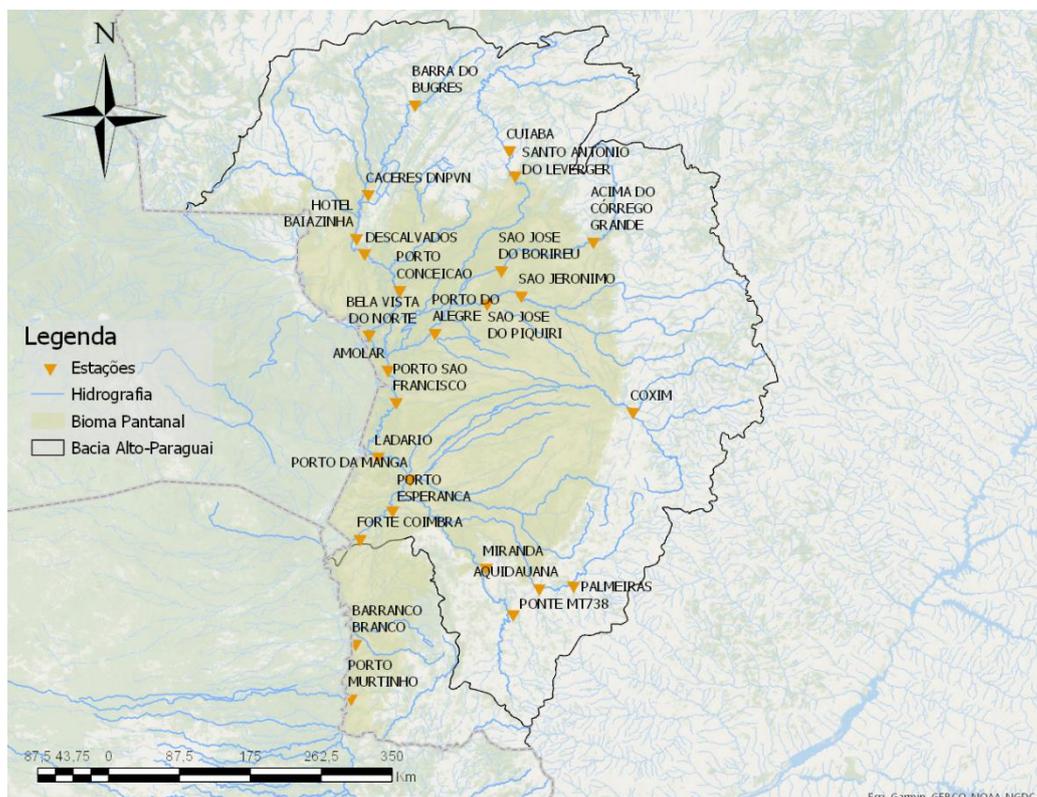


Figura 1: Mapa da bacia do rio Paraguai, com destaque para as sub-bacias que compõem a bacia e o bioma Pantanal.

Tabela 1: Estações de Monitoramento Fluviométrico de interesse na bacia do rio Paraguai.

Nome	Código	Rio	Lat	Long	Area (km ²)
PORTO DO ALEGRE	66750000	CUIABÁ	-17,62	-56,96	103.000
BELA VISTA DO NORTE	66125000	PARAGUAI	-17,64	-57,69	68.900
PORTO SÃO FRANCISCO	66810000	PARAGUAI	-18,39	-57,39	243.000
LADÁRIO	66825000	PARAGUAI	-19	-57,59	253.000
PORTO ESPERANÇA	66960008	PARAGUAI	-19,6	-57,43	371.000
FORTE COIMBRA	66970000	PARAGUAI	-19,92	-57,79	372.000
PORTO MURTINHO	67100000	PARAGUAI	-21,7	-57,89	576.000
BARRA DO BUGRES	66010000	PARAGUAI	-15,07	-57,18	9.250
CÁCERES DNPVN	66070004	PARAGUAI	-16,07	-57,7	32.400
HOTEL BIAZINHA	66077500	PARAGUAI	-16,56	-57,83	47.500
DESCALVADOS	66090000	PARAGUAI	-16,73	-57,74	47.100
PORTO CONCEIÇÃO	66120000	PARAGUAI	-17,14	-57,35	64.000
AMOLAR	66800000	PARAGUAI	-18,03	-57,48	234.000
PORTO DA MANGA	66895000	PARAGUAI	-19,25	-57,23	327.000
BARRANCO BRANCO	67030000	PARAGUAI	-21,09	-57,84	546.000
CUIABÁ	66260002	CUIABÁ	-15,58	-56,13	22.800
SÃO JOSÉ DO BORIRÉU	66470000	SÃO LOURENÇO	-16,92	-56,22	24.100
CÓRREGO GRANDE	66460000	SÃO LOURENÇO	-16,6	-55,2	23.000
SÃO JERÔNIMO	66600000	PIQUIRI	-17,2	-56	23.300
SÃO JOSÉ DO PIQUIRI	66650000	PIQUIRI	-17,29	-56,38	30.000
COXIM	66870000	TAQUARI	-18,5	-54,76	27.600
AQUIDAUANA	66945000	AQUIDAUANA	-20,47	-55,8	15.700
PALMEIRAS	66941000	AQUIDAUANA	-20,44	-55,42	10.900
PONTE MT738	66900000	MIRANDA	-20,76	-56,09	11.600
MIRANDA	66910000	MIRANDA	-20,24	-56,39	15.000
SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER	66270000	CUIABÁ	-15,86	-56,07	25.300

Elaborado pelo Autor (2021)

Na Figura 2, a bacia é representada por meio do diagrama unifilar. Esse diagrama é uma representação cartográfica, sintética e esquemática da organização estrutural da rede fluvial. Nessa representação, os rios são representados por linhas conectados por nós, que representam as confluências. No diagrama unifilar do rio Paraguai, também são indicadas informações das estações de monitoramento da bacia, incluindo seu nome, código e área de drenagem, os nomes dos rios e as distâncias entre as estações. Além disso, as sedes municipais são indicadas por círculos.

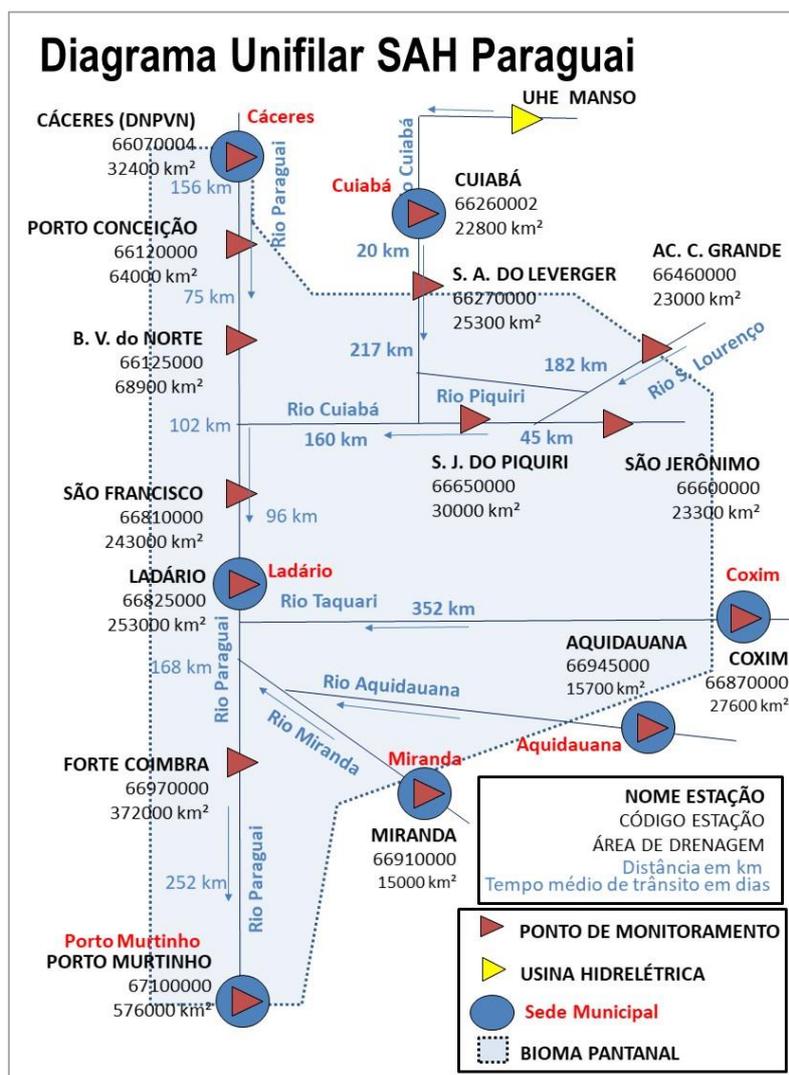


Figura 2: Diagrama unifilar da bacia do rio Paraguai, com destaque para as estações de monitoramento, sedes municipais, os principais afluentes do rio, áreas de drenagem e distância entre as estações.

O rio Paraguai nasce no estado do Mato Grosso, no município de Alto Paraguai, situado na Chapada dos Parecis. Ele atravessa a fronteira com o Mato Grosso do Sul até deixar o Brasil. Após sair, o rio cruza o Paraguai, passando por sua capital Assunción, e desemboca no rio Paraná em Corrientes, já na Argentina. Ao longo dos seus cerca de 2.400 km, o rio Paraguai marca as fronteiras do Brasil com a Bolívia, em sua parcela mais à montante. À jusante de Forte Coimbra, o rio marca a fronteira entre o Brasil e o Paraguai.

Os maiores afluentes do rio Paraguai por sua margem esquerda, aquela situada em território brasileiro, são os rios Cuiabá, São Lourenço, Taquari e Miranda. Já pela parcela internacional da bacia, alguns dos principais afluentes são: Raicho

San Carlos, Rio Negro, Riacho Yacaré, Rio Santo Corazón, Rio Bamburra e Riacho Obilebit.

Parte significativa da área da bacia do rio Paraguai situa-se no Pantanal sul-americano, que é a maior superfície úmida das Américas e uma das maiores do planeta (Assine, 2005; Collischonn et al., 2001). Santos (2019) descreve como o Pantanal e seus “leques aluviais” condicionam a hidrologia regional, conforme detalhado a seguir.

O Pantanal é uma bacia sedimentar formada ao final do período Neógeno, há 2,59 milhões de anos (Assine, 2005). Sua formação é associada possivelmente a uma distensão da placa continental e subsidência da planície pantaneira, decorrente da formação da Cordilheira dos Andes (Assine et al., 2014). Pode estar também associada à formação da região Centro-oeste do Brasil, em tempos em que não havia ainda a baixa do rio Paraguai, sendo essa área uma região elevada que separava a zona andina do Alto Paraná.

Segundo Assine et al. (2015), o Pantanal é um amplo trato deposicional dominado por sedimentação aluvial, em que seu tronco principal desse trato é o rio Paraguai, que coleta vários “leques aluviais” de seus afluentes. Na Figura 3 são destacados os principais leques aluviais do Pantanal que são os do Taquari, São Lourenço e Cuiabá, que ocupam 37%, 11% e 10% da planície pantaneira, respectivamente (Assine et al., 2015, 2014; Pupim et al., 2017).

A formação desses leques aluviais e, conseqüentemente da constituição dessas estruturas deposicionais é um importante condicionante da hidrologia regional (Santos, 2019). Esses arranjos, resultado de da atividade eólica, em um período em que predominava clima semiárido na região, possivelmente observado ao longo do último período de glaciação (Assine, 2005), formam sistemas fluviais distributivos de vazões (Assine et al., 2014). Tal formação provoca: elevados tempos de concentração de água na bacia; e também a formação de espelhos de água que podem favorecer intensos processos de evaporação direta. Em alguns locais, esses sistemas de leques com canais acessórios e com os de meandros formam lagoas que recebem excessos de vazão decorrentes das inundações anuais. A essa configuração que se dá o nome de *Wetlands*, ou áreas úmidas, características do Pantanal (Santos, 2019).

A evolução das vazões específicas na bacia de norte para o sul evidencia a influência desses condicionantes geológicos sobre a hidrologia da região. Nas

bacias de cabeceira do rio Paraguai, situadas na área da Amazônia legal, os rios chegam a apresentar vazões específicas da ordem de 30 L/s/km². Isso é resultado de intensos processos de chuvas e de aquíferos bastante produtivos, como é o caso da Chapada dos Parecis. Já nos trechos mais à jusante em Porto Murтинho, as vazões específicas são reduzidas a cerca de 4 L/s/km², com base nos dados hidrológicos regionais. Essa redução da produtividade da bacia é resultado direto de chuvas menos abundantes na planície pantaneira, mas principalmente, dos elevados tempos de concentração e escoamento lento das águas, ficando elas expostas a intensos processos de evapotranspiração na bacia ao longo do trajeto do rio Paraguai e seus afluentes.

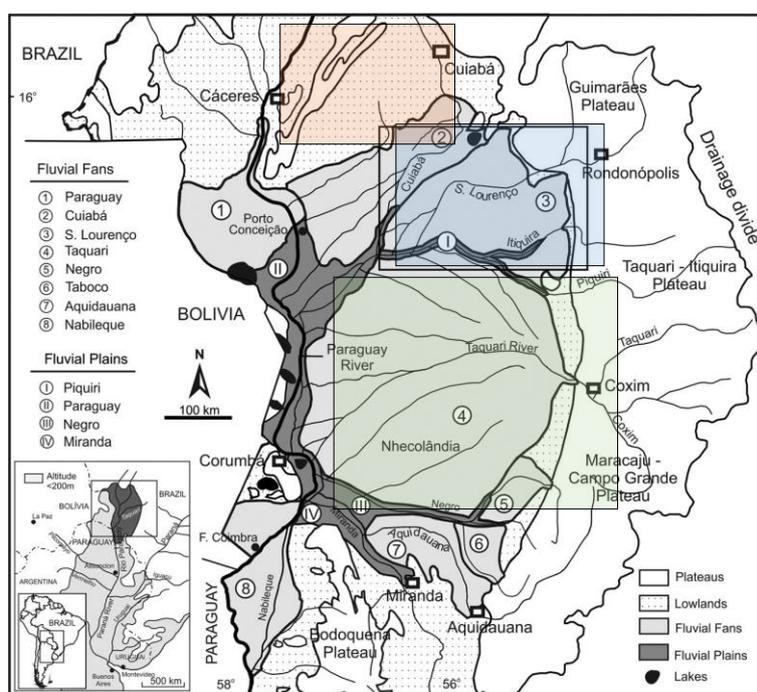


Figura 3. Sistemas aluviais e deposicionais da Planície do Pantanal, com destaque aos sistemas deposicionais do rio Taquari (abaixo), São Lourenço (intermediário) e Cuiabá (superior)
(Fonte: Santos, 2019, adaptada de Assine et al., 2015, 2014; e Pupim et al., 2017)

3. HISTÓRICO DE OPERAÇÃO DO SAH PARAGUAI

O sistema de alerta hidrológico do Pantanal opera desde 1994 e desde então vem atendendo a diversas entidades da região, tais como: Defesa Civil – MT, Capitania dos Portos, Serviço de Sinalização Náutica, EMBRAPA, Serviço de Segurança Pública – MS, prefeituras, sindicatos Rurais, algumas Fazendas Agropecuárias, dentre outras.

Desde então, a previsão hidrológica no Pantanal é realizada com o objetivo de subsidiar: ações de defesa civil e de proteção ambiental; o manejo pastoril; e a navegação interior. Tal atividade visa a minimizar danos materiais à população e às atividades econômicas da região como resultado de eventos hidrológicos extremos na região.

Dados hidrológicos são coletados por meio de estações automáticas, mas também utilizando informações coletadas diretamente com os observadores das estações fluviométricas. A partir desses dados, procede-se à modelagem estatística dos níveis, comparando os níveis observados ao histórico de registros. Inferem-se, deste modo, as tendências dos níveis em diversas estações. Esse processo comporta uma reavaliação contínua das previsões, à medida que novos dados são observados.

Nos últimos anos, o foco do monitoramento hidrológico tem sido a seca persistente observada na região. O acompanhamento tem sido estendido a esse tipo de fenômeno que já perdura desde 2020. Para isso foram ampliados os números de estações em que se realiza o acompanhamento dos níveis, e, além disso, têm sido feitos esforços no sentido de ampliar os horizontes de previsão de níveis, incluindo previsões sazonais (de janeiro a junho, para as cheias, e de abril a outubro para as secas).

Ainda que o foco do monitoramento da região tenha sido a seca, o SAH Paraguai mantém a operação ao longo de todo o ano, com o acompanhamento das cheias. Vale mencionar que, após um prolongado período de secas observado desde meados da década de 1960 até 1974, danos bastante significativos foram observados na bacia quando da ocorrência da cheia de 1974. Durante esse período de seca prolongada, grandes investimentos na produção bovina ocorreram nas planícies de inundação da bacia do rio Paraguai (Collischonn et al., 2001; Galdino et al., 2002). Quando da ocorrência da cheia de 1974, grande parte dessa produção foi perdida. Tal fato mostra a importância de se manter, mesmo após períodos prolongados de seca na bacia do rio Paraguai, um contínuo cuidado com a ocupação do solo da região e um acompanhamento ininterrupto das condições hidrológicas da bacia, olhando para todos os tipos de eventos extremos.

4. HIDROCLIMATOLOGIA DA BACIA DO RIO PARAGUAI

Neste capítulo, será feita uma breve descrição das principais características hidroclimatológicas da bacia do rio Paraguai. Características gerais do clima da região serão apresentados, incluindo-se: os principais elementos geradores de chuvas na região; regime pluviométrico; e regime hidrológico, com foco na ocorrência de secas.

4.1 CLIMA

A bacia do rio Paraguai, localizada na fronteira oeste do Brasil, encontra-se em uma região de predominância de clima de Savana, conforme a classificação de Koppen-Geiger (Figura 4). Além do clima de Savana (Aw, onde ao longo dos meses mais secos, praticamente nenhuma chuva é observada), no limite sul da bacia, há regiões de clima Temperado sem estação seca com verão quente (Cfa) (Peel et al., 2007).

Estudos recentes, indicam que as cheias e secas da calha principal do rio Paraguai são fortemente correlacionados com esses eventos em outras bacias, principalmente com a bacia do rio Madeira (Santos et al., 2020). Essa conexão entre a formação das cheias nessa bacia e em bacias situadas em clima de Monção e Savana indicam também a forte influência que a bacia do rio Paraguai pode ter do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS). O SMAS é considerando o fato meteorológico determinante do fim da estação seca na região e início das chuvosas, o que acontece por meio do estabelecimento dos canais de umidade entre a Amazônia e o centro sul do Brasil, típicos desse tipo de clima (Marengo et al., 2012).

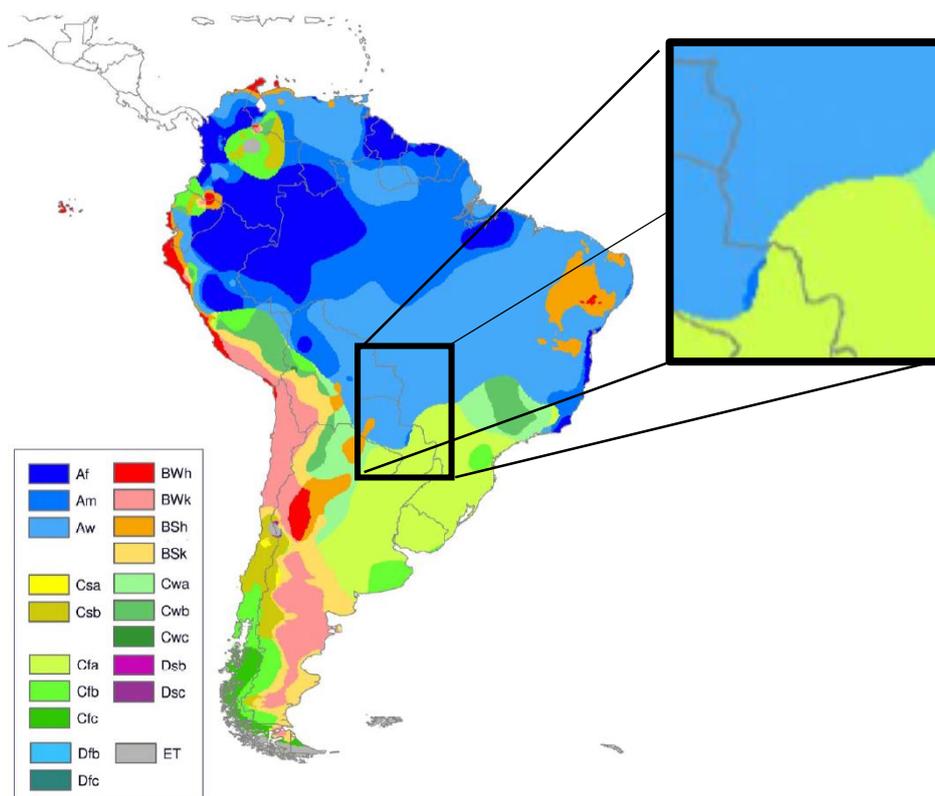


Figura 4: Mapa de climas de acordo com classificação de Köppen-Geiger na América do Sul (Fonte: Peel et al., 2007).

4.2 REGIME PLUVIOMÉTRICO

Conforme dados do Atlas Pluviométricos do Brasil (CPRM, 2011), a bacia do rio Paraguai apresenta valores médios anuais de chuvas na bacia da ordem de 1.250 mm ao ano (Figura 5 e Figura 6). Esses valores médios, porém, apresentam grande variabilidade espacial. Em algumas regiões da bacia, especialmente nas nascentes do rio Cuiabá, acumulados médios que chegam a 2.200 mm/ano são observados. Enquanto isso, em outros locais, no curso médio do rio Paraguai, acumulados anuais inferiores a 800 mm/ano são estimados. Temporalmente, esses acumulados também variam significativamente, sendo que o trimestre de Dezembro/Janeiro/Fevereiro é o mais chuvoso. As médias de precipitações indicadas pelo Atlas são referentes ao período de 1977 a 2006.

Já para o período mais recente, entre 2000 a 2020, estimativas de precipitações feitas pelo produto MERGE/INPE (Rozante et al., 2010), que combina estimativas de chuvas feitas com o auxílio de satélite e dados de pluviômetros, indicam chuvas médias anuais na bacia da ordem de 1.117 mm ao ano (Figura 7). Os meses mais chuvosos são os meses de janeiro (181 mm), fevereiro (166 mm), dezembro

(158 mm) e novembro (135 mm). As diferenças entre os acumulados anuais do Atlas e do MERGE/INPE podem decorrer tanto das diferentes formas de estimativa das chuvas, quanto do período de observação.

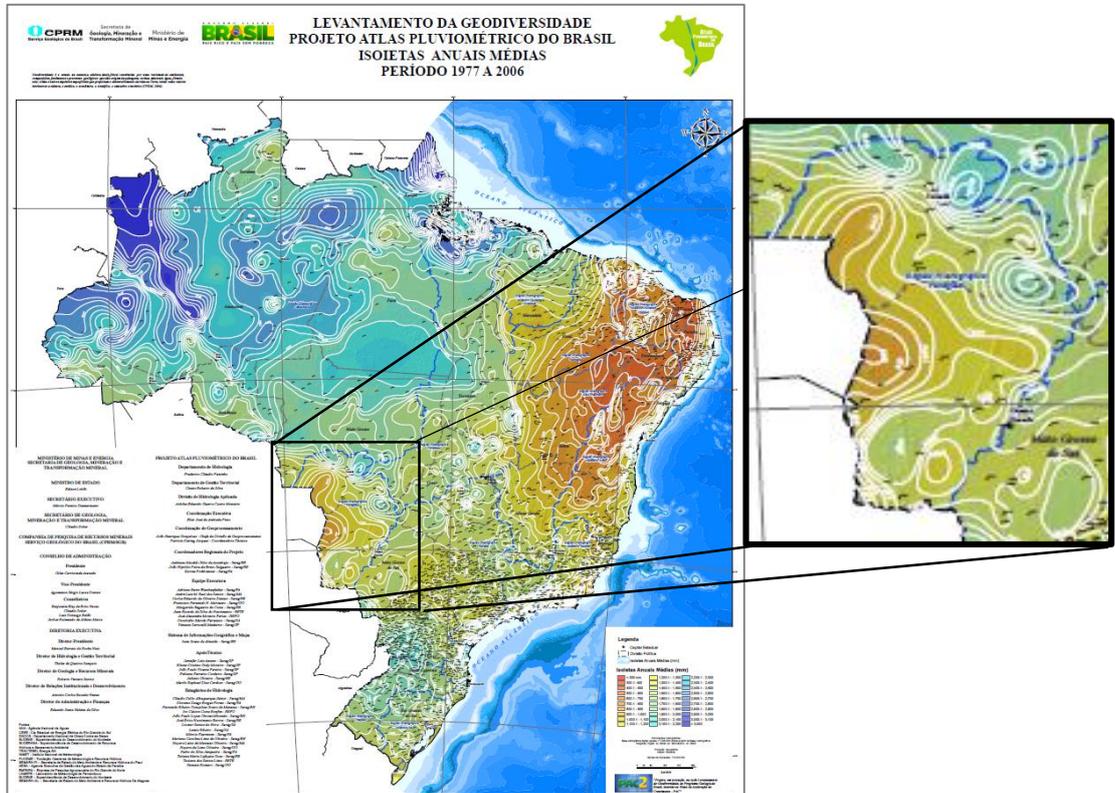


Figura 5: Atlas pluviométrico do Brasil – Isoietas de totais anuais médios (1977 a 2006).

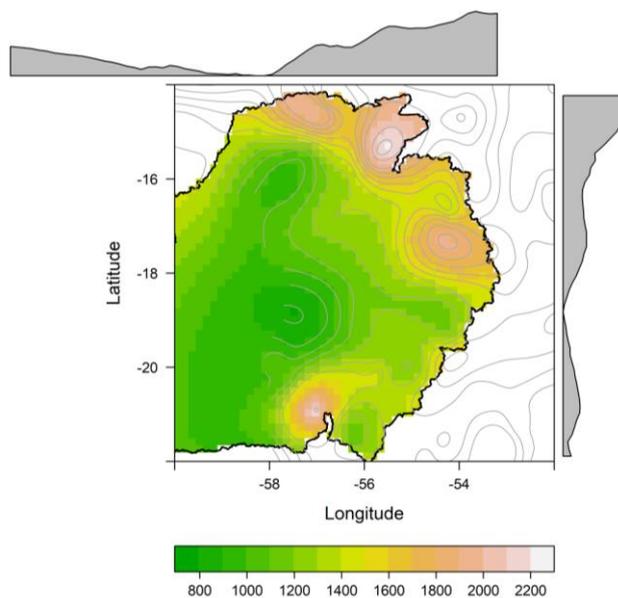


Figura 6: Atlas pluviométrico do Brasil – chuva média anual na bacia do rio Paraguai (1977 a 2006).

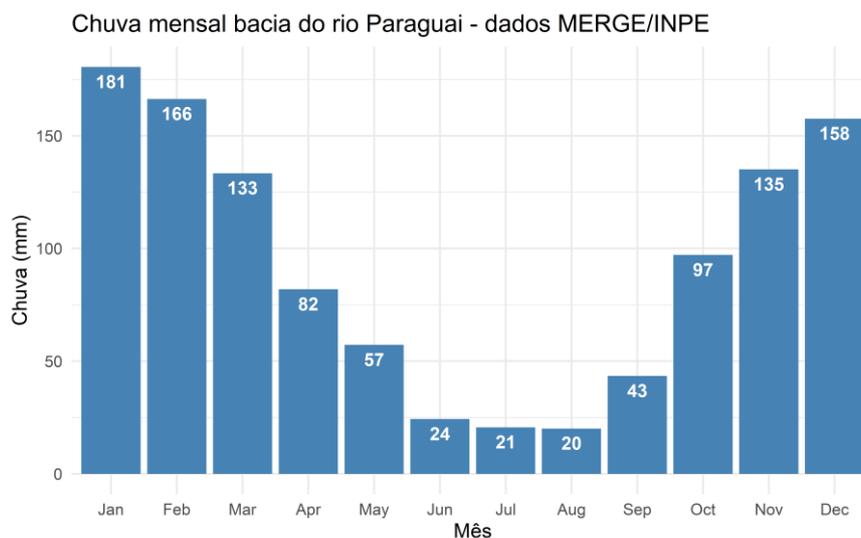


Figura 7: Chuva média mensal – dados MERGE/INPE – período de 2000 a 2020.

4.3 REGIME HIDROLÓGICO

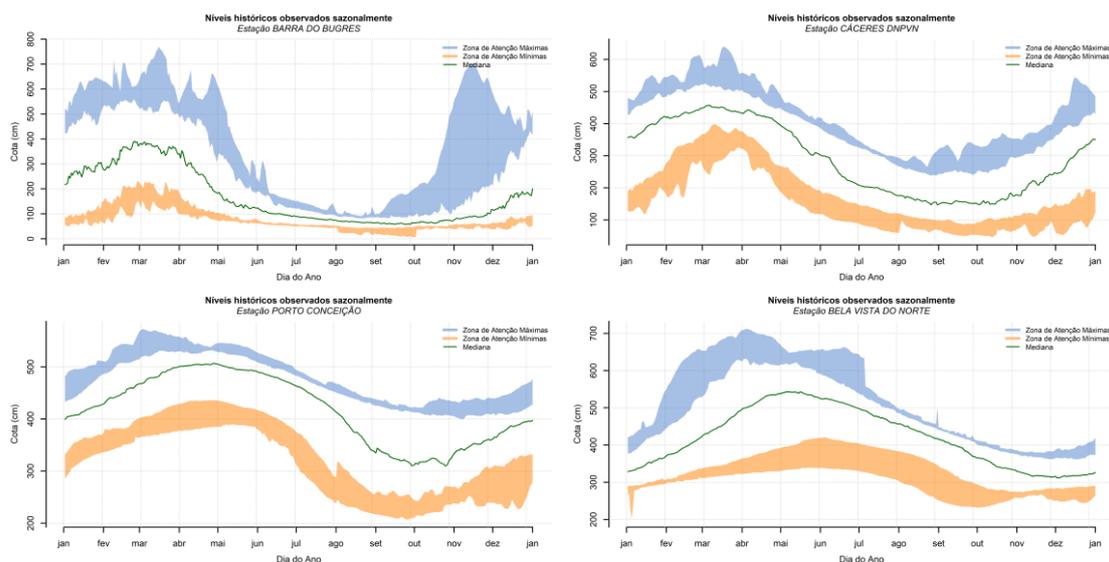
Como foi visto anteriormente na breve climatologia descrita acima, o clima da bacia tem predominância de características de Savana, com verão chuvoso e inverno seco. Essa característica condiciona a hidrologia regional. Na Figura 8 são apresentadas as variações anuais de níveis nas principais estações fluviométricas instaladas ao longo da calha do rio Paraguai.

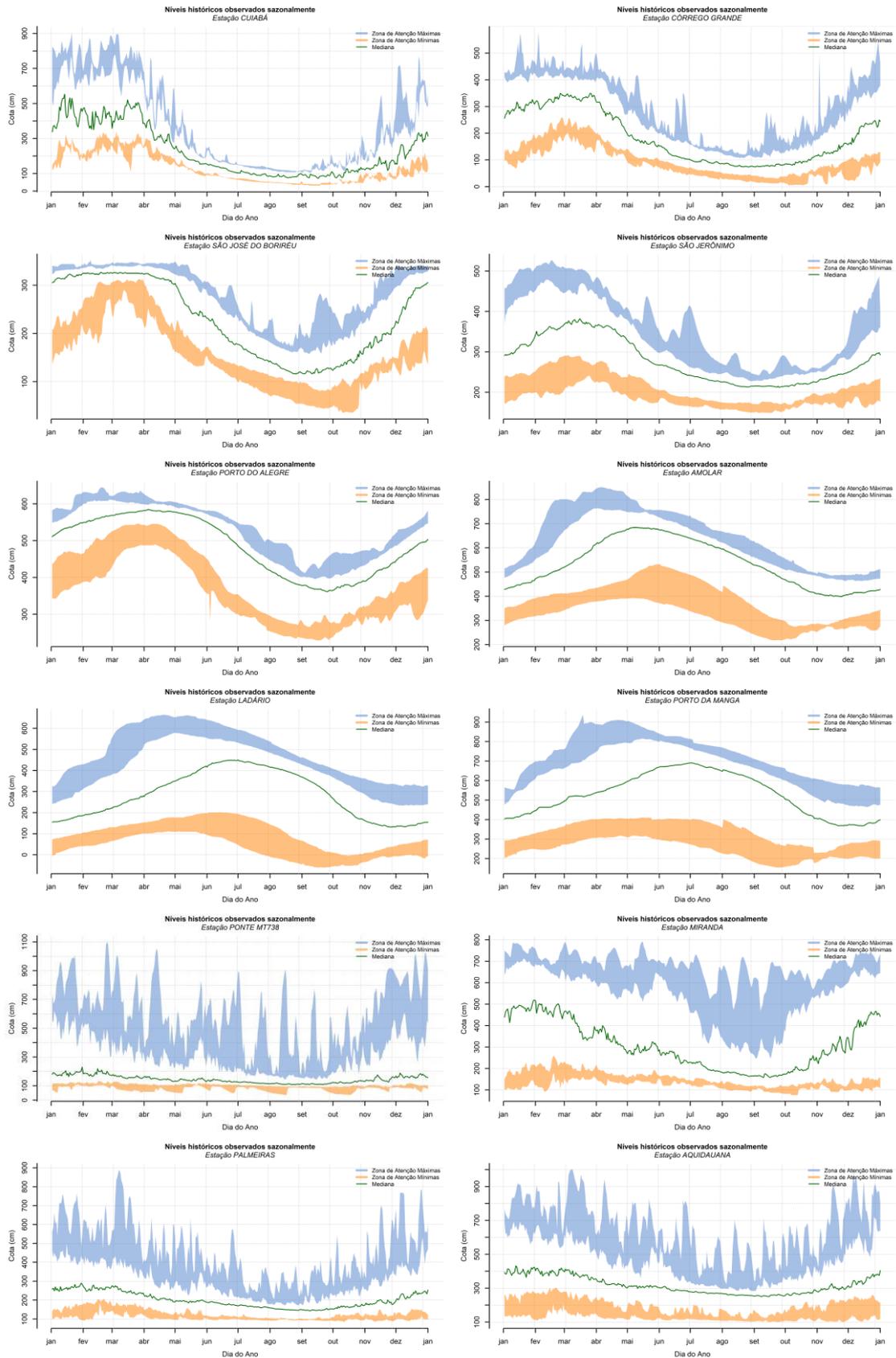
Em praticamente todas as estações de monitoramento, a característica de um verão chuvoso, consequência da formação de canais de umidade conectando a região Amazônica e o Centro-sul do Brasil (Marengo et al., 2012; Santos et al., 2020), se vê refletida na oscilação dos níveis nos rios. Ou seja, os níveis dos rios refletem um verão chuvoso, com picos de cheias ao longo dos meses de fevereiro e março, e um inverno seco, com as mínimas anuais observadas entre setembro, outubro e novembro.

Nas bacias dos rios Miranda e Aquidauana, contudo, existe uma tendência de que o período chuvoso não seja necessariamente seco, uma vez que, pela faixa azul nos gráficos, existe a possibilidade de ocorrência de chuvas significativas entre os meses de junho e agosto, embora menos frequentes do que aqueles observados durante o verão. Esse comportamento é resultado da característica de clima temperado nas parcelas mais ao Sul da bacia do rio Paraguai (Peel et al., 2007), onde não existe uma definição tão clara dos diferentes regimes hidrológicos ao longo do ano.

Outra característica que se observa diretamente a partir dos cotagramas é que as estações fluviométricas que monitoram bacias de menores dimensões refletem diretamente o regime pluviométrico: período de chuvas mais intensas entre fevereiro e março corresponde ao período dos máximos níveis anuais. Tal propriedade é observada, por exemplo, em Barra do Bugres, Cáceres, Cuiabá e Córrego Grande.

Contudo, em estações que monitoram bacias maiores, e que assim, recebem a influência direta da hidrodinâmica do Pantanal, como é o caso de Porto Conceição, Bela Vista do Norte, Amolar, Ladário, Porto da Manga, Porto Esperança, Forte Coimbra, Barranco Branco e Porto Murtinho, os picos de cheias são deslocados para os meses de abril a junho, e ocasionalmente até mais tarde. Tal fato resulta das características da hidrologia pantaneira, conforme descrito na caracterização da bacia: elevados tempos de concentração e formação de meandros e lagoas que recebem excessos de vazão decorrentes das inundações anuais que favorecem também intensos processos de evaporação direta, típica da configuração de *Wetlands* do Pantanal. Ainda que essa característica seja observada nas cheias anuais, com relação às mínimas anuais, porém, esse deslocamento é menos significativo, sendo que as mínimas mantêm sua ocorrência entre os meses de setembro a novembro.





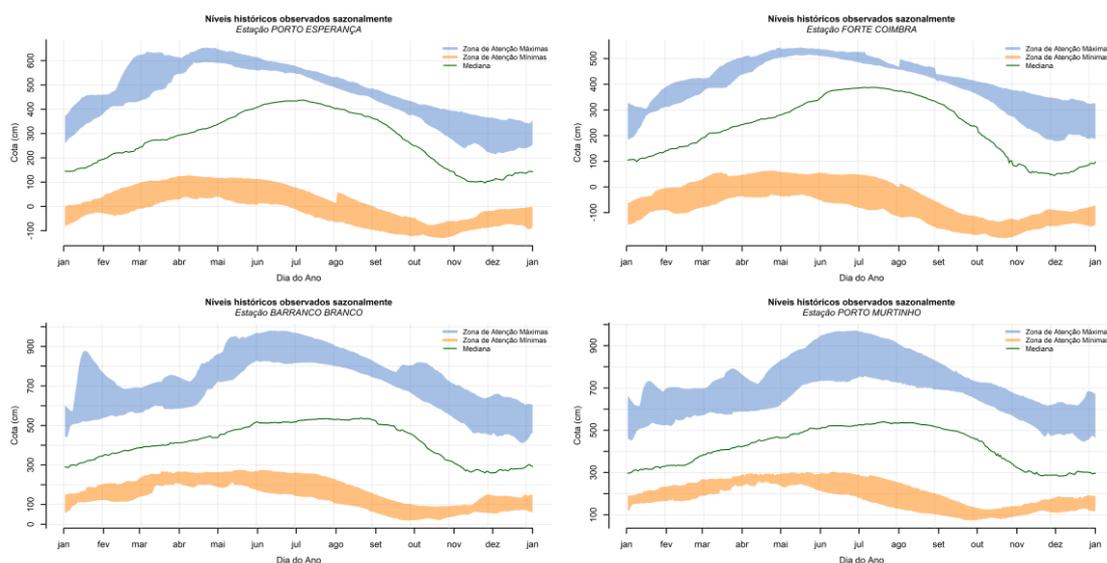


Figura 8: Variação sazonal dos níveis nas estações da bacia do rio Paraguai.

4.4 ASPECTOS ESTATÍSTICOS DAS SECAS NA BACIA

Neste tópico serão apresentadas estatísticas de níveis e vazões mínimas anuais, para que se possa ter de referência na análise da vazante de 2021. Considerando que em boa parte das estações, incluindo a estação de referência de Ladário, dados de vazões tem uma disponibilidade bastante limitada, o foco dessas estatísticas será voltado para os níveis dos rios.

Estatísticas dos níveis mínimos anuais são resumidos na Tabela 2. Essas estatísticas são, (em cm): níveis mínimo histórico dentre todos os registros; primeiro e terceiro quartil (probabilidades de 25% e 75% de superação em um dado ano, respectivamente); níveis médios e medianos da mínimas anuais; máximas níveis mínimos anuais; desvio padrão dos níveis mínimos anuais; e número de anos no histórico de registro de cada estação. Nessa tabela, são apresentados esses valores para as 15 principais estações localizadas na calha da bacia com histórico suficiente para se construir estatísticas confiáveis.

Tabela 2: Cotas e vazões máximas anuais (em cm e m³/s, respectivamente) nas estações de interesse na bacia do rio Paraguai.

Estação	Níveis (cm)							N
	Min.	Quartil_1	Mediana	Media	Quartil_3	Max.	DesvPad	
66125000	200	283	303	303	324	377	36,9	53
66810000	206	401	426	416	461	525	80,0	53
66825000	-61	59	105	101	152,25	244	75,5	122
66960008	-130	17,5	82	67	146,5	239	96,6	59

Estação	Níveis (cm)							N
	Min.	Quartil_1	Mediana	Media	Quartil_3	Max.	DesvPad	
66970000	-199	-50,75	23	15	100	212	102,6	60
67100000	73	190	226	236	300	460	90,0	83
66070004	46	93	133	140	194	253	54,6	57
66120000	207	266	306	312	379	420	62,5	49
66260002	30	60,5	78	76	93,75	120	26,9	16
66470000	35	93	107	114	138	230	33,6	49
66650000	140	182,75	197	202	221,5	336	33,5	50
66870000	116	224,5	291	265	322,5	370	76,0	55
66945000	99	204	238	221	252	338	51,7	53
66941000	83	126	135	131	144	170	20,7	53
66900000	35	88,5	94	96	108,5	125	17,0	51
66910000	76	114	136	142	165	259	40,4	56

Elaborado pelo Autor (2021)

Os mesmos dados da Tabela 2 são apresentados de forma gráfica na Figura 9. Nesse gráfico, além dos dados das mínimas históricas, são apresentados também os níveis mínimos observados no ano de 2021. Os dados de 2021 serão detalhados no tópico seguinte, contudo, já se observa o padrão de níveis bastante abaixo dos mínimos históricos na bacia do rio Paraguai como um todo, principalmente nas estações situadas em sua calha principal. Na figura, também são apresentadas estimativas de períodos de retorno empíricos, estimados pela expressão de Cunnane, que fornece uma forma de se estimar quantis empíricos aproximadamente não-enviesados para quase todas as distribuições de probabilidades (Naghetini e Pinto, 2007; Stedinger et al., 1993).

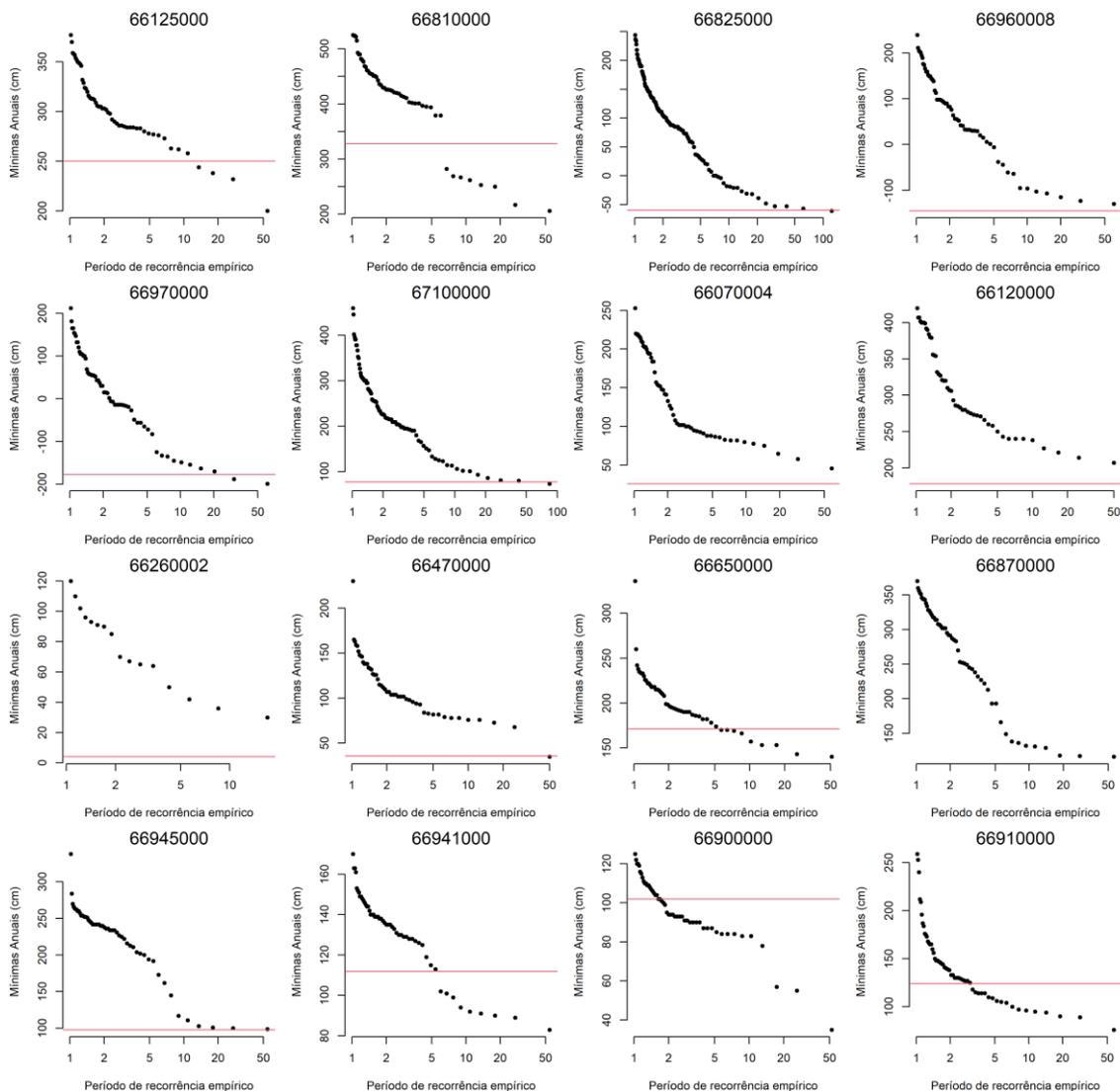
Cotas mínimas históricas e cotas mínimas observadas em 2021


Figura 9: Relação entre períodos de recorrência e vazões máximas anuais nas quatro principais estações na calha do rio Paraguai.

5. DESCRIÇÃO DA SECA DE 2021

5.1 CHUVAS

Do ponto de vistas das chuvas, o ano hidrológico de 2020-2021 foi marcado por ser o terceiro ano consecutivo com chuvas significativamente abaixo da média. A Figura 10 detalha essa sequência, indicando que o ano de 2019 apresentou déficit de aproximadamente 180 mm de chuvas, enquanto o ano de 2020, cerca de 400 mm. Esses déficits negativos se acumularam aos cerca de 230 mm de déficit de chuva até outubro de 2021 (Figura 11), somando cerca de 800 mm de chuvas a

menos nos últimos 3 anos. Considerando que a precipitação média esperada para a bacia é de aproximadamente 1.100 mm, o acumulado de déficits em 3 anos é da mesma ordem de grandeza da chuva esperada em um ano hidrológico típico. Caso seja considerado o período de 2015 até 2021, o déficit de chuvas estimado é da ordem de 1.000 mm em 7 anos, o que indica que o processo de formação da seca de 2021 vem se desenvolvendo há alguns anos.

Anomalia de chuva MERGE nos últimos 12 anos para PORTO_MURTINHO"-67100000

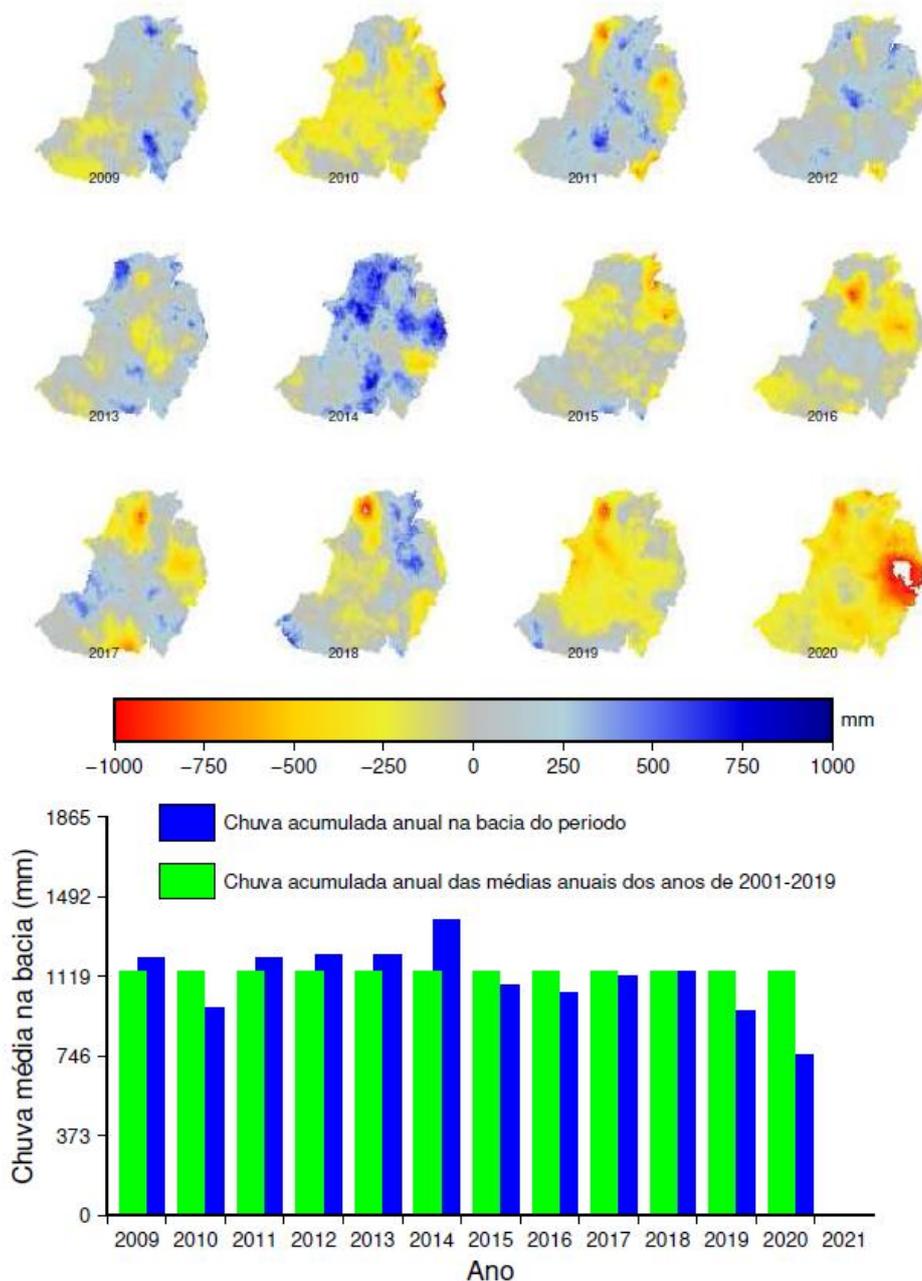


Figura 10: Anomalias de precipitação na bacia do rio Paraguai ao longo últimos anos (Fonte do dado: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/GPM/DAILY/>, créditos ao analista em geociências pela CPRM Daniel Medeiros Moreira pela geração da figura).

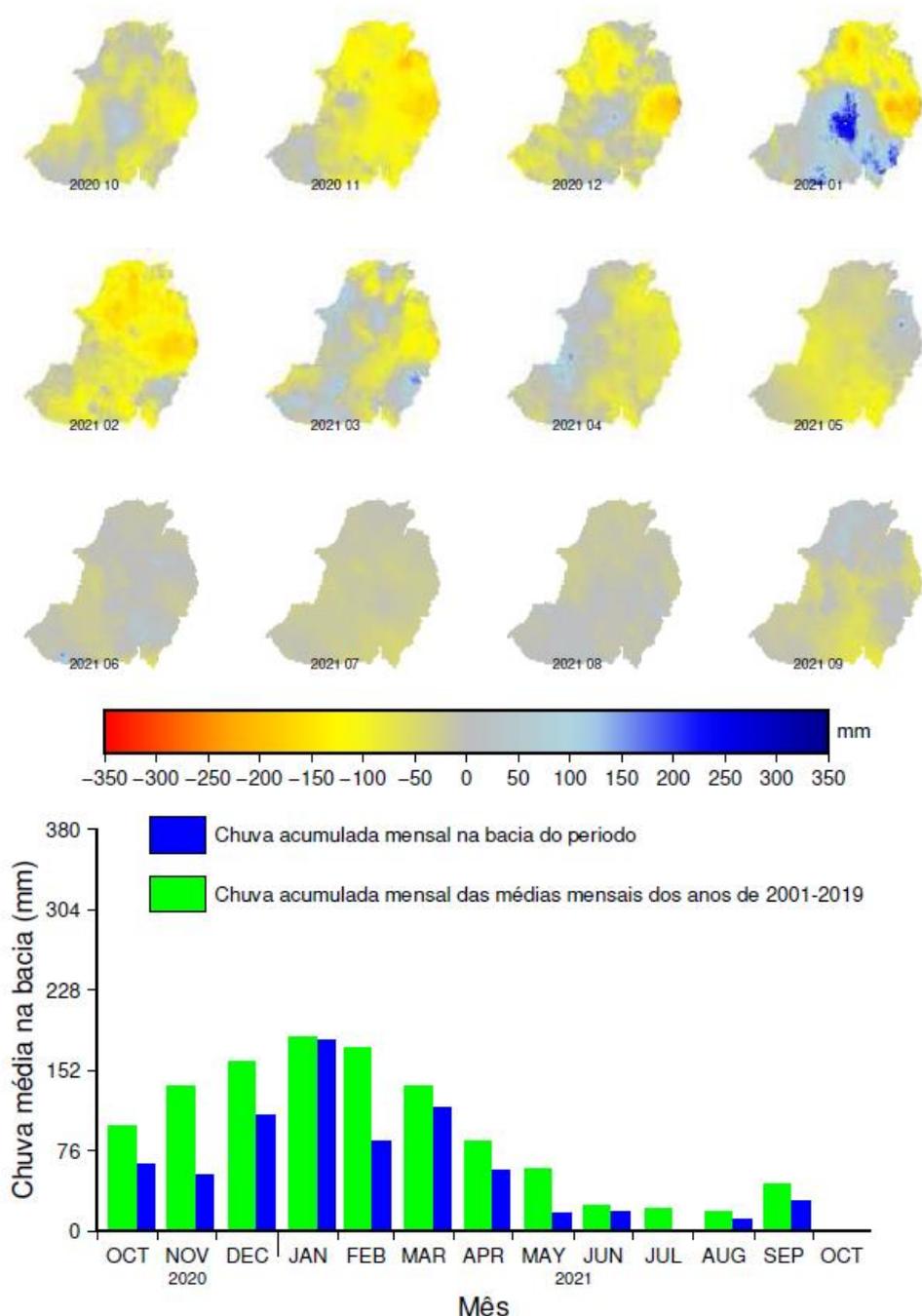


Figura 11: Anomalias de precipitação na bacia do rio Paraguai ao longo do ano de 2021
(Fonte do dado: <http://ftp.cptec.inpe.br/modelos/tempo/MERGE/GPM/DAILY/>, créditos ao analista em geociências pela CPRM Daniel Medeiros Moreira pela geração da figura).

Olhando com um pouco mais de detalhes o déficit observado em 2021 (Figura 11), nota-se que no mês de janeiro de 2021, as chuvas na bacia aproximaram-se dos valores climatológicos. Isso não ocorreu de modo homogêneo sobre a bacia, mas foi mais concentrado nas áreas centrais e sudeste da bacia. Essa concentração das chuvas fez com que, como será observado no item seguinte, as

elevações dos rios na bacia do rio Paraguai tenham ocorrido também nessas partes de bacia, incluindo a estação de referência de Ladário.

Apesar disso, nas bacias mais ao norte (Alto Paraguai, Cuiabá e Taquari) essas chuvas permaneceram abaixo de valores médios ao longo de todo o ano, fazendo com que os níveis dos rios dessas sub-bacias tenham também permanecido baixos ao longo do período. Vale lembrar que essas sub-bacias são aquelas em que os maiores volumes médios de chuvas são esperados na região, em que os aquíferos são bastante produtivos e as vazões específicas são maiores. Assim, são sub-bacias que têm uma grande importância na recuperação dos níveis dos rios e do volume das lagoas do Pantanal. Sendo assim, o fato de elas terem percebido chuvas mais baixas que o normal ao longo de todo o ano de 2021 comprometeu a recuperação dos níveis na bacia do rio Paraguai como um todo.

A Tabela 3 detalha esses déficits de precipitação e detalha sua ocorrência por sub-bacia. Estima-se um déficit bastante significativo sobretudo nas bacias dos rios Taquari e Alto-Paraguai, mas também nas bacias dos rios Cuiabá e Miranda. O único que não apresentou déficits tão significativos foi justamente o rio Aquidauana, na porção mais ao sul da área de contribuição à bacia do rio Paraguai.

Tabela 3: Anomalias de chuvas em sub-bacias do rio Paraguai (em mm).

Estação	Média Jan-Set (mm)	Obs. Jan-Set (mm)	Déficit Jan-Set (mm)
PORTO MURTINHO	748	516	-232
CUIABÁ	930	628	-301
CÁCERES	842	492	-350
COXIM	779	269	-509
MIRANDA	834	534	-300
AQUIDAUANA	836	865	29

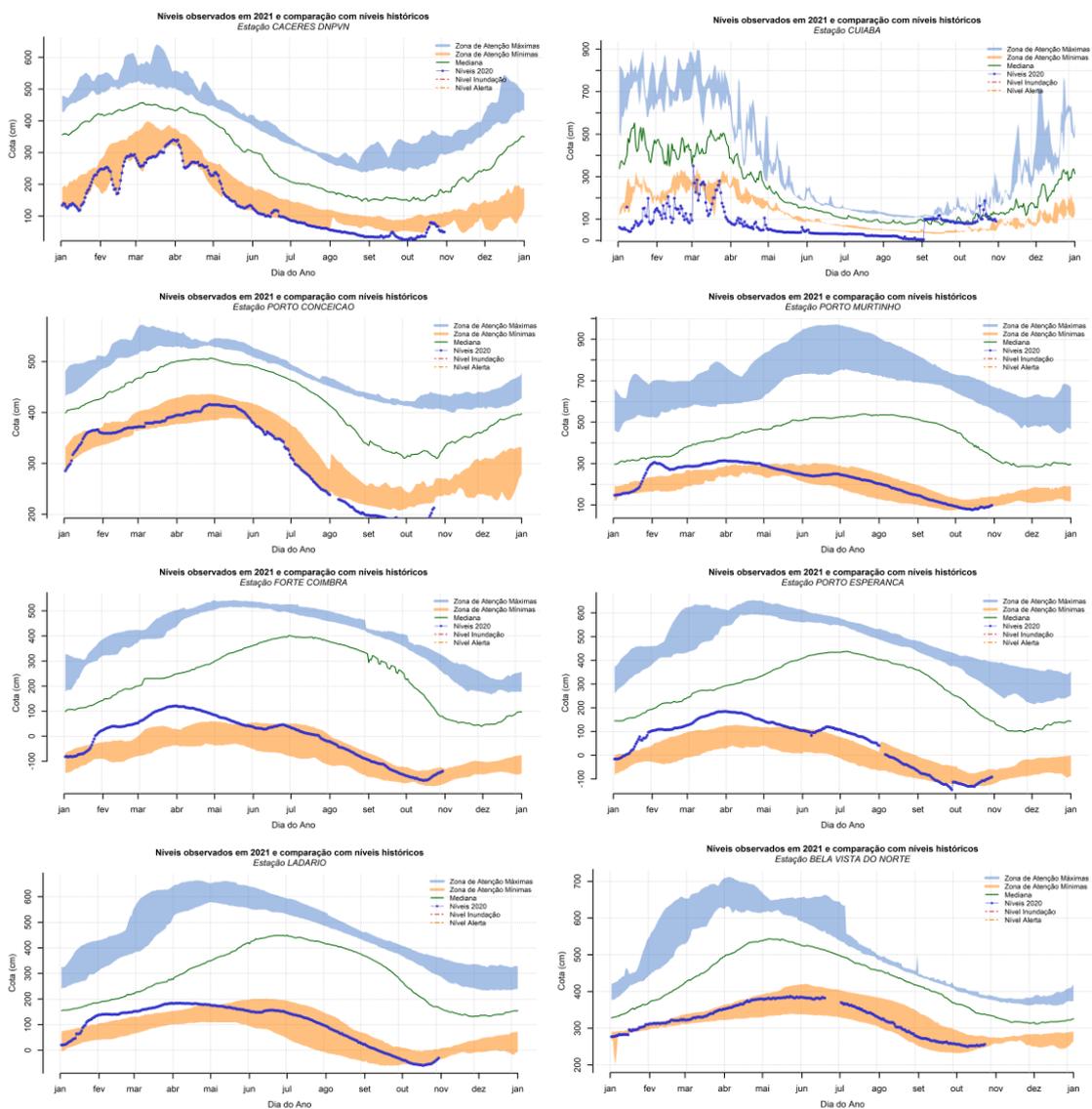
Elaborado pelo Autor (2021)

5.2 NÍVEIS DOS RIOS

Com relação aos níveis observados no ano de 2021, a Figura 12 apresenta os cotogramas do período, utilizando como referência o histórico de registro para a respectiva estação ao fundo dos gráficos. Nessas figuras, a faixa azul remete a permanências em níveis elevados, onde se situam 10% dos níveis mais elevados dos rios naquele dia, cheias mais altas e a faixa laranja remete a permanências

em níveis reduzidos, onde se situam 10% dos níveis mais baixos dos rios naquele dia.

Mais uma vez vale lembrar que o ano de 2020 foi um ano muito seco, fazendo com que o ponto de partida para os níveis dos rios em 2021 tenha sido muito baixo. Além disso, considerando os déficits de chuvas para o ano de 2021 descritos anteriormente, em praticamente todos os trechos monitorados ao longo de 2021, os níveis dos rios permaneceram ou dentro ou inclusive abaixo da zona de atenção para secas.



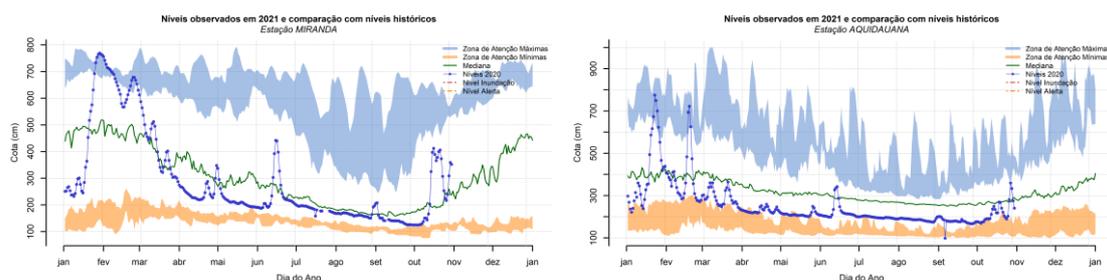


Figura 12: Variação sazonal dos níveis e cotograma da cheia de 2021 nas estações da bacia do rio Paraguai.

Em razão das chuvas acima da média em partes da bacia no mês de janeiro, os trechos do rio Paraguai à jusante de Porto Conceição, além das estações de Miranda e Aquidauana, tiveram elevações significativas nesse período, saindo temporariamente da chamada zona de atenção para mínimas. Porém, as estações de Cuiabá e Cáceres permaneceram com níveis abaixo da zona de atenção para mínimas, gerando níveis mínimos históricos nesses rios ao longo de todo o ano. Com base nessa constatação que se afirma que, o principal fator gerador dos níveis mínimos históricos observados no ano de 2021 foram os déficits de chuva de 2019 e 2020, combinado com um ano de 2021 com chuvas muito abaixo da normal. Tal fato foi especialmente intenso uma vez que as vazões foram menores principalmente nos trechos que têm maior contribuição para formação das vazões no rio Paraguai, que são as bacias do Alto Paraguai e Cuiabá.

Na Tabela 4 é apresentado um sumário dos níveis observados em 2021, incluindo o ranking dos níveis mínimos observados, comparados com o histórico de monitoramento dos níveis. Além disso, foi feita uma análise de frequência empírica das cotas. Em vários pontos da bacia, inclusive alguns que apresentam um histórico que vai desde os anos 1960, como é o caso da estação de Cáceres, os níveis mínimos alcançados em 2021 foram os mínimos históricos. Além desse local, em outros 3, mínimas históricas foram observadas este ano. Em Ladário e Porto Murinho, onde as séries históricas são as mais longas, indo desde 1900 e 1937, respectivamente, as secas de 2021 foram os segundos piores eventos do histórico. Os níveis mais baixos observados em Ladário e Porto Murinho ocorreram em 1964 e 1971.

O ajuste de frequência empírico resultou que os períodos de retorno dos níveis mínimos observados este ano em Ladário e Porto Esperança, são de aproximadamente 60 anos. Em outras palavras, a probabilidade de um nível tão baixo ocorrer em um ano específico é de aproximadamente 1,7%. Em Cáceres,

Porto Conceição e Cuiabá, os períodos de retorno são superiores a 50 anos (probabilidade de ocorrência inferior a 2%) e em Porto Murtinho da ordem de 40 anos (probabilidade de ocorrência de 2,5%). Essas estimativas indicam a severidade da vazante observada em 2021, como, de fato, sendo uma vazante de grande magnitude na bacia.

Tabela 4: Vazões e níveis máximos observados em 2021 nas estações que fazem parte do alerta e estimativa dos respectivos períodos de retorno.

Codigo	Nome	Minimas	DataMin	Ranking	TR
66070004	CÁCERES DNPVN	26	26/09/2021	1	> 50
66120000	PORTO CONCEIÇÃO	178	03/10/2021	1	> 50
66125000	BELA VISTA DO NORTE	250	07/10/2021	5	≈ 10
66825000	LADÁRIO	-60	15/10/2021	2	≈ 60
66960008	PORTO ESPERANÇA	-145	26/09/2021	1	≈ 60
66970000	FORTE COIMBRA	-177	13/10/2021	3	≈ 20
67100000	PORTO MURTINHO	77	12/10/2021	2	≈ 40
66260002	CUIABÁ	4	25/08/2021	1	> 50

Elaborado pelo Autor (2021)

6. OPERAÇÃO REALIZADA EM 2021

Ao longo de 2021, o SAH Rio Paraguai emitiu 43 boletins semanais e 5 prognósticos sazonais de níveis. Os boletins semanais incluíram os dados de monitoramento de níveis de rios, estimativas de chuvas por satélite, previsões de chuvas por satélite e previsões hidrológicas. As previsões hidrológicas foram geradas considerando a aplicação de modelos K-Vizinhos (do inglês K-Nearest Neighbors) (Lu et al., 2016). Trata-se de um modelo não paramétrico de previsão utilizado tanto para modelos de classificação como de regressão. Os dados de entrada consistem dos K exemplos do histórico mais próximos. Nos modelos de regressão, utilizados neste boletim, a saída é a média dos K vizinhos mais próximos do dado que se pretende prever. No caso da previsão de vazantes, correspondem às 5 vazantes mais semelhantes à vazante deste ano, considerando o nível atual e a variação dos níveis nas últimas 2 semanas, com um peso de 0,9 para os níveis atuais e 0,1 para a variação dos últimos 14 dias.

A CPRM participou ainda de 5 reuniões da Sala de Crise mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Nessas reuniões, foram apresentados panoramas da condição do rio quando da data das apresentações e prognósticos sazonais, considerando as condicionantes hidroclimatológicas

para a formação das vazões na região. Sendo assim, mais 5 prognósticos sazonais foram emitidos oficialmente, além dos boletins semanais.

Vale lembrar que desde janeiro de 2021, o Serviço Geológico do Brasil apontava para a probabilidade de 97% de que as cheias deste ano de 2021 seriam abaixo da normal. Esse quadro apontava para uma probabilidade alta também de que a seca observada em 2020 pudesse se repetir, o que de fato ocorreu. Nas reuniões realizadas ao longo do ano esse prognóstico foi sendo reforçado, constituindo elemento de grande importância para mitigar os impactos da seca severa observada na bacia.

7. PUBLICAÇÕES NA IMPRENSA RELACIONADA AO SAH

As secas no rio Paraguai do ano de 2021 tiveram grande repercussão na mídia. Desde o mês de janeiro, o SGB/CPRM vinha destacando os prognósticos sazonais, que indicavam elevada probabilidade de que o ano de 2021 teria cheias abaixo da média, o que implicava também em uma elevada probabilidade de que a seca deste ano, mais uma vez, estivesse entre as secas mais severas do histórico. Ao longo de todo o ano, esse prognóstico foi sendo reforçado e várias reportagens divulgadas nos veículos de imprensa propagaram essas informações. Várias reportagens também se voltaram para descrever o avanço da vazante.

Tanto alguns veículos de internet, quanto a imprensa escrita e a televisiva divulgaram essas atividades, o que ocorreu de forma bastante abundante na mídia regional, mas também tendo grande destaque na mídia nacional. Várias dessas reportagens, além de descreverem os prognósticos e o monitoramento feito pelo SGB/CPRM, destacaram também os impactos que a seca teve sobre atividades econômicas, em especial sobre o transporte e a navegação, incluindo a sobrecarga do fluxo de veículos pesados nas rodovias, uma vez que as vias fluviais encontravam-se com limitação para escoamento de produção agrícola e mineral. Na sequência, uma amostra dessas reportagens é listada, com os respectivos links dos veículos de imprensa que realizaram as reportagens.

- G1 – Mato Grosso do Sul – 20/01/2021
 - “Mesmo com período de cheia, nível do rio Paraguai deve ser abaixo do normal nos próximos meses, aponta SGB”
 - <https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2021/01/20/mesmo-com-periodo-de-cheia-nivel-do-rio->

[paraguai-deve-ser-abaixo-do-normal-nos-proximos-meses-aponta-sgb.ghtml](#)

- Jornal Hoje – 14/07/2021
 - “Seca no Pantanal já está entre os menores patamares registrados nesta época, pelo segundo ano seguido”
 - <https://globoplay.globo.com/v/9687153/>
- Jornal Hoje – 16/07/2021
 - “Pelo terceiro ano o nível do rio Paraguai, em MS, está bem abaixo do esperado”
 - <https://globoplay.globo.com/v/9693676/?s=0s>
- Jornal Nacional – 05/08/2021
 - “Confira os destaques da previsão do tempo”
 - <https://globoplay.globo.com/v/9745607/>
- Folha de São Paulo – 06/08/2021
 - “Seca no rio Paraguai pode comprometer reestruturação de porto para escoamento de grãos”
 - <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2021/08/seca-no-rio-paraguai-pode-comprometer-reestruturacao-de-porto-para-escoamento-de-graos.shtml>
- G1 – Mato Grosso do Sul – 06/08/2021
 - “Rio Paraguai registra baixa de nível diariamente e crise hídrica já é realidade em cidades pantaneiras”
 - <https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2021/08/06/rio-paraguai-registra-baixa-de-nivel-diariamente-e-crise-hidrica-ja-e-realidade-no-pantanal.ghtml>
- Jornal Nacional – 06/10/2021
 - “Em seca histórica, leito do Rio Paraguai fica seco em algumas áreas”
 - <https://globoplay.globo.com/v/9955945/>

8. AGRADECIMENTOS AOS PARCEIROS

Todo o monitoramento feito na bacia do rio Paraguai desenvolveu-se graças ao trabalho em conjunto feito pelo Serviço Geológico do Brasil e a Agência Nacional de Águas para a gestão e operação da Rede Hidrometeorológica Nacional (ANA, 2017). Além dessa parceria, diversos outros órgãos trabalham no monitoramento hidrometeorológico da região. Tanto a Marinha do Brasil, quanto o Exército

Brasileiro e o Imasul contribuíram em grande monta na manutenção do fluxo de dados hidrológicos na região. De suma importância também é a atividade desenvolvida pelo INPE, gerador de diversos produtos utilizados por todas as instituições de monitoramento da região, com destaque para o MERGE/INPE e o modelo de previsão de chuvas WRF. Também o Cemaden contribui sobremaneira com os alertas de desastres naturais trocando dados e análises com a CPRM.

9. CONCLUSÕES

A seca de 2021 no rio Paraguai foi uma das secas mais severas do histórico de monitoramento da região, alcançando a cota de -60 cm em Ladário, sendo o segundo nível mais baixo observado no rio desde o início de seu monitoramento em 1900. Apenas em 1964 o rio alcançou nível mais baixo do que esse, quando atingiu a cota de -61 cm. Essa seca severa foi provocada pela combinação de uma sequência de anos secos, culminando com um ano de 2021 bastante mais seco que o normal, principalmente nos trechos mais ao norte da bacia. Esses trechos mais à montante, especialmente, as bacias dos rios Alto Paraguai e Cuiabá são locais de recarga estratégicos para a bacia e que definirão a recuperação dos níveis no rio Paraguai. Em outras palavras, a bacia do rio Paraguai e o bioma Pantanal dependem principalmente de chuvas nessas sub-bacias para que seus níveis retornem a patamares mais próximos do normal.

A partir da primeira semana de janeiro, 9 meses antes do período mais extremos das secas na bacia, o SGB/CPRM já vinha alertando para uma probabilidade de 97% de que as cheias deste ano de 2021 seriam abaixo da normal. Esse quadro apontava para uma probabilidade alta também de que a seca observada em 2020 pudesse se repetir, o que de fato ocorreu. Ao longo do ano de 2021 esse prognóstico foi sendo reforçado, constituindo elemento de grande importância para mitigar os impactos da seca severa observada na bacia.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, 2017. Hidroweb: Sistemas de informações hidrológicas [WWW Document]. Agência Nac. Águas. URL <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/%5Cnhttp://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>
- Assine, M.L., 2005. A bacia sedimentar do Pantanal mato-grossense, in: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito-Neves, B.B. (Orgs.), A geologia do continente sul americano. Beca, São Paulo:, p. 61–74.
- Assine, M.L., Corradini, F.A., Pupim, F. do N., McGlue, M.M., 2014. Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland. *Sediment. Geol.* 301, 172–184. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.11.007>
- Assine, M.L., Merino, E.R., Pupim, F. do N., Macedo, H. de A., Santos, M.G.M. dos, 2015. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. *Brazilian J. Geol.* 45, 475–489. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201520150014>
- Collischonn, W., Tucci, C.E.M., Clarke, R.T., 2001. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: Part of a wider phenomenon of climate change? *J. Hydrol.* 245, 218–238. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00348-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00348-1)
- CPRM, 2011. Levantamento da Geodiversidade - Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil - Isoietas Anuais Médias Período 1977 a 2006.
- Galdino, S., Padovani, C.R., Soriano, B.M.A., Vieira, L.M., 2002. Mudanças do Regime Hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Taquari - Pantanal. *Bol. Pesqui. e Desenvolvimento/Embrapa Pantanal* 26, 1–24.
- Lu, Y., Qin, X.S., Xie, Y.J., 2016. An integrated statistical and data-driven framework for supporting flood risk analysis under climate change. *J. Hydrol.* 533, 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.041>
- Marengo, J.A., Liebmann, B., Grimm, A.M., Misra, V., Silva Dias, P.L., Cavalcanti, I.F.A., Carvalho, L.M.V., Berbery, E.H., Ambrizzi, T., Vera, C.S., Saulo, A.C., Nogues-Paegle, J., Zipser, E., Seth, A., Alves, L.M., 2012. Recent developments on the South American monsoon system. *Int. J. Climatol.* 32, 1–21. <https://doi.org/10.1002/joc.2254>
- Naghetini, M., Pinto, É.J.D.A., 2007. *Hidrologia Estatística*.
- Peel, M.C., Finlayson, B.L., McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 4, 439–473. <https://doi.org/10.5194/hessd-4-439-2007>
- Pupim, F. do N., Assine, M.L., Sawakuchi, A.O., 2017. Late Quaternary Cuiabá megafan, Brazilian Pantanal: Channel patterns and paleoenvironmental changes. *Quat. Int.* 438, 108–125. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.01.013>
- Rozante, J.R., Moreira, D.S., de Goncalves, L.G.G., Vila, D.A., 2010. Combining TRMM and surface observations of precipitation: Technique and validation over South America. *Weather Forecast.* <https://doi.org/10.1175/2010WAF2222325.1>
- Santos, M.S., 2019. Estudo do comportamento não-estacionário das vazões no rio Paraguai: detecção, atribuição e previsão de cheias. Universidade de

Brasília.

Santos, M.S., Alves, L.G.S., Moreira, D.M., Matos, A., 2020. ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE SECAS E CHEIAS NA FRONTEIRA OESTE DO BRASIL, in: Hídricos, A.B. de R. (Org.), Encontro Nacional de Desastres. p. 1–4.

Stedinger, J.R., Vogel, R.M., Foufoula-Georgiou, E., 1993. Frequency analysis of extreme events. *Hydrol. Handb.* <https://doi.org/10.1061/9780784401385>