

PADRÕES ATMOSFÉRICOS, EPISÓDIOS EXTREMOS E INUNDAÇÕES: UM ESTUDO DE CASO PARA OS MUNICÍPIOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS POMBA E MURIAÉ- BHRPM

Thiago Alves de Oliveira

Camila de Moraes Gomes Tavares

Cássia de Castro Martins Ferreira

Universidade Federal de Juiz de Fora

Paulo Miguel de Bodas Terassi

Emerson Galvani

Universidade de São Paulo

RESUMO

Considerando a interação entre as escalas do clima (Monteiro, 1976; 2013), o objetivo do trabalho foi analisar as condições atmosféricas e os danos associados ao evento extremo de janeiro de 2020 nas bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé (BHRPM). O mês de janeiro de 2020 registrou 54,8% dos dias sob atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS e os danos foram mais intensos na BH do rio Muriaé. Com isso, observou-se que os danos associados a inundações na BHRPM estão associados à atuação da ZCAS, mas também estão associados às formas de ocupação da bacia hidrográfica, bem como às relações de chuva-vazão, pois não necessariamente os municípios com maiores totais pluviométricos foram os mais impactados pelos danos das inundações.

Palavras-chave: Eventos extremos; Janeiro de 2020; Zona de Convergência do Atlântico Sul; Sudeste do Brasil.

ABSTRACT

Considering the interaction between climate scales, as proposed by Monteiro (1976; 2013), this study aimed to analyze the atmospheric conditions and associated damages of the extreme weather event that occurred in January 2020 in the Pomba and Muriaé river basins (BHRPM). During that month, 54.8% of the days were marked by the presence of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ), with the most severe impacts observed in the Muriaé River basin. The results indicate that flood-related damages in the BHRPM are linked to the influence of the SACZ, but also to land use patterns and rainfall-runoff dynamics, since the municipalities with the highest rainfall totals were not necessarily the most affected by the flooding impacts.

Key words: Extreme events; January 2020; South Atlantic Convergence Zone (SACZ); Southeastern Brazil.

INTRODUÇÃO

Os eventos extremos pluviométricos (EEP) estão associados a desvios dos totais pluviométricos em torno de uma climatologia, ou seja, das condições habituais de precipitação em determinado ambiente. Dentre as suas principais características está a baixa frequência, quando comparada a outros eventos pluviométricos e a sua elevada intensidade, o que repercute na alta capacidade de gerar danos em superfície (Stephenson, 2008; Santos, 2012; Alvarenga, 2012; Valverde, 2017; Fernandes; Valverde, 2017).

Com o aquecimento do sistema climático global, diversos estudos têm apontado para uma maior capacidade da atmosfera em reter umidade (Xu, et al., 2021; Khodja et al., 2022). Chan et al. (2016) e Cotterill et al. (2021) afirmam que, com base na relação de Clausius Clapeyron (CC), na medida em que a temperatura global se eleva 1 °C, a umidade do ar tende a se elevar 6-7%. Dessa forma, com uma atmosfera mais aquecida, haveria uma alteração nos padrões de precipitação e consequentemente nos eventos extremos.

Considerando as mudanças climáticas globais, as preocupações referentes aos eventos extremos se tornam ainda mais latentes, haja vista que, o último relatório do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change- IPCC, AR6, 2022) indica aumento da tendência e intensidade dos eventos climáticos extremos. Além disso, os anos de 2023 e 2024 apresentaram recorde de temperatura da superfície global, estando 1,36°C e 1,55°C, respectivamente, mais quente do que a média de temperatura pré-industrial, sendo os 10 últimos anos os mais quentes já registrados (NASA; ONU, 2025).

Embora fale-se de interferências climáticas de escala global, esses fenômenos de gênese global e/ou regional têm impactos significativos nas cidades, sobretudo aqueles de repercussão calamitosa (Monteiro, 2003). Ademais, o cenário se torna mais complexo com o persistente aumento populacional nas cidades. No Brasil, 87% da população habita nas áreas urbanas (IBGE, 2024) e considerando apenas a região sudeste esse percentual sobe para 97%. Esta condição faz com que haja uma amplificação das considerações de risco a eventos climáticos extremos, em função da concentração de pessoas nas cidades.

Nesse sentido, considerando os impactos dos eventos extremos na cidade como expressão da escala local de deflagração, e com base no subsistema hidrodinâmico do clima urbano (Monteiro, 1975), torna-se necessário observar a articulação entre as diferentes escalas dos fenômenos climáticos. Isso porque os processos atmosféricos, como a precipitação, envolvem sistemas e processos que operam em múltiplas escalas — desde as teleconexões atmosféricas e os sistemas meteorológicos até o nível do município. Há, portanto, uma interpenetração entre esses elementos que merece ser destacada.

Na escala local, também se encontra presente a importante relação entre as cidades e os corpos hídricos. É indiscutível o fato de que, desde os primórdios de suas constituições, as cidades foram (e são) orientadas em função da proximidade dos rios ao longo de sua história (Sant'Anna Neto, 2012; Rezende e Araújo, 2016). Dessa forma, em função da urbanização na construção das cidades, retraindo a natureza (Monteiro, 2003) há de se apresentar alterações do regime de produção nas bacias hidrográficas urbanas em função da impermeabilização do solo, impedindo a infiltração e acentuando os problemas associados à erosão urbana e aumento dos picos de cheia

além da minimização da recarga nos solos reduzindo a disponibilidade de água nos períodos de escassez hídrica (Santos, 2016).

Um dos principais impactos associados à dinâmica das bacias hidrográficas no contexto urbano e climático consiste nas inundações urbanas, que são, por sua vez, fenômenos condicionados por fatores naturais, mas agravados pelos fatores antropogênicos (Santos, 2012). A ocupação das planícies de inundações, que funcionam como regulador hidrológico nos períodos de chuvas intensas e cheias associadas (Santos, 2012), favorecem a ocorrência de impactos hidrológicos urbanos.

Considerando as áreas urbanas próximas aos canais fluviais, é possível destacar a necessidade de o planejamento e a gestão dos riscos também considerar a estrutura das bacias hidrográficas. A título de exemplo, cita-se o caso do estado do Rio Grande do Sul, ocorrido em abril/maio de 2024, descrito por Marengo et al. (2024) no qual uma complexidade de elementos de ordem climática, geomorfológica, hidrológica auxiliaram no entendimento daquele episódio causados de diversos danos de ordem econômica e social. Neste caso, diversos municípios de pequeno porte foram atingidos por um episódio deflagrado regionalmente.

Além disso, considera-se aqui, quando olhamos para os episódios de inundação, que há dois tipos com características distintas, sendo eles: as inundações bruscas e as inundações graduais. As primeiras típicas nas cidades médias e grandes, associadas a canais fluviais extremamente antropizados, normalmente causam seus danos de forma abrupta e repentina (ocorridos em até 6 horas após o início das chuvas). Esse tipo de evento, por sua vez, está associado, além da concentração espaço-temporal dos eventos pluviométricos, às características topográficas da área, onde áreas com alta declividade são mais suscetíveis à ocorrência de enxurradas e inundação bruscas (Silva, 2022).

Já as inundações graduais, normalmente, afetam todo e qualquer município, seja ele de qualquer porte, implicando na subida lenta e gradual do canal fluvial até ocupar sua planície, e com a descida gradual das águas (Kobiyama et al., 2024). Além disso, as inundações graduais são características de áreas de vales abertos, com extensas planícies e terrações fluviais correspondentes às regiões de menor gradiente de declive das vertentes no entorno, tornando-as mais suscetíveis a esse tipo de inundação (Campana, 2023).

Considerando a complexidade da relação entre bacias hidrográficas e as cidades enquanto espaços altamente modificados, a pergunta que se faz é: qual é o papel do estudo das bacias hidrográficas na análise de inundações graduais em perímetros urbanos? Mais uma vez, destaca-se a necessidade de uma abordagem entre escalas nos estudos de clima urbano, principalmente quando o objeto em tela se trata de cidades pequenas e médias, já que fenômenos regionais e de repercussão também espacial diretamente relacionados à dinâmica das bacias hidrográficas, podem estar associados diretamente à deflagração de impactos nas áreas urbanas enquanto escala local de impacto.

Com isso, sobre os episódios extremos de precipitação em bacias hidrográficas, é importante destacar que os danos podem ocorrer mesmo em municípios que não registraram elevados totais pluviométricos. Há a necessidade de tratar as inundações como um episódio extremo que ultrapassa os limites do local e assume uma característica sub-regional ou regional, em função da abrangência da bacia hidrográfica.

Dessa forma, a noção de risco baseia-se na consideração da chuva, ou dos eventos extremos como um evento perigoso que, a partir de sua ocorrência no tempo e no espaço, é capaz de deflagrar os episódios danosos. Os episódios danosos, no caso em questão: as inundações, respondem às condições prévias de suscetibilidade ambiental e aos condicionantes geomorfológicos que sugerem áreas com maiores possibilidades e outras com menor possibilidade de ocorrência (Nascimento Júnior, 2019).

No caso da vulnerabilidade, elemento associado às relações humanas, está diretamente relacionado às formas pelas quais o espaço é produzido, sendo que estas condições ocorrem independentemente da existência dos riscos. Na medida em que os eventos extremos de precipitação e, conseqüentemente, as inundações assumem a condição de perigo, os diferentes cenários de vulnerabilidade social e da suscetibilidade ambiental irão materializar os riscos (Nascimento Júnior, 2018). Com isso, ao avaliar as diferentes condições socioeconômicas dentre os municípios, visualiza-se que as condições de risco são experimentadas de forma distinta entre as cidades da área de estudo.

Nesse sentido, esse trabalho tem por objetivo investigar as condições sinóticas e os danos associados às chuvas nas cidades localizadas nas bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé (BHRPM), durante o episódio extremo de janeiro de 2020. Essa investigação pode oferecer subsídios ao planejamento territorial no contexto das bacias de drenagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo compreende as bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé (BHRPM). No perímetro das bacias localizam-se 74 municípios, dos quais 59 correspondem a municípios localizados no estado de Minas Gerais e 15 no estado do Rio de Janeiro (Figura 1). Apesar do total de municípios destacados, a bacia hidrográfica do rio Pomba (BHRP) drena 45 municípios, dos quais 42 são mineiros e 4 fluminenses. Já a bacia hidrográfica do rio Muriaé (BHRM) drena 28 municípios, sendo 18 do estado de Minas Gerais e 10 do estado do Rio de Janeiro.

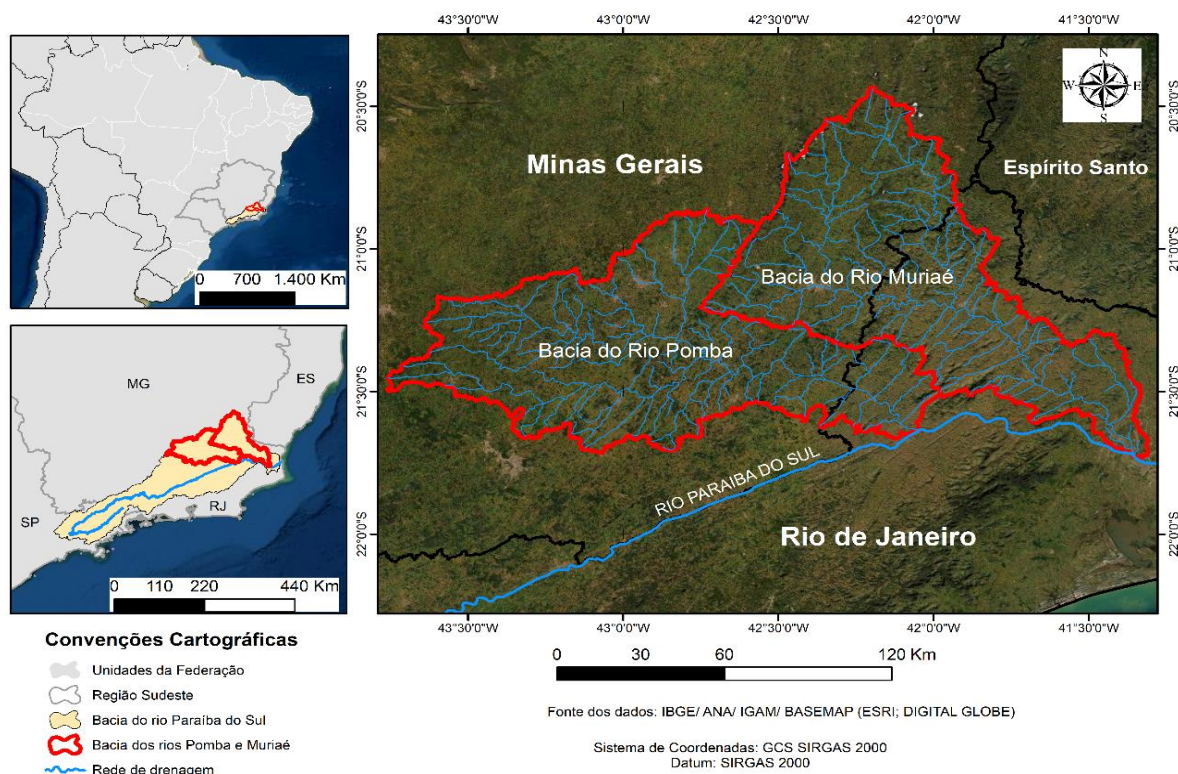


Figura 1: Bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé (BHRPM): localização da área de estudo.
Fonte: Organizado pelos autores (2025).

Considerando as características populacionais dos municípios, os municípios mais populosos da BHRP são: Barbacena (6), Ubá (56), Cataguases (9) e Leopoldina (26), superando os 50 mil habitantes (Figura 2). Ainda considerando a BHRP, 24 municípios (pouco mais de 50%) possuem menos de 10 mil habitantes. Já na BHRM os maiores totais populacionais correspondem aos municípios de Campos dos Goytacazes (61), Itaperuna (64) e Muriaé (30), superando os 100 mil habitantes. Na BHRM, 14 municípios (50%) possuem menos de 10 mil habitantes (Figura 2).

No tocante à taxa de urbanização (Figura 3), há uma variação de 27 a 96% dentre os municípios que ocupam ambas as bacias. Considerando a média de urbanização das bacias, a BHRP apresenta 77% da população morando em cidades, enquanto a BHRM apresenta 67,2%.

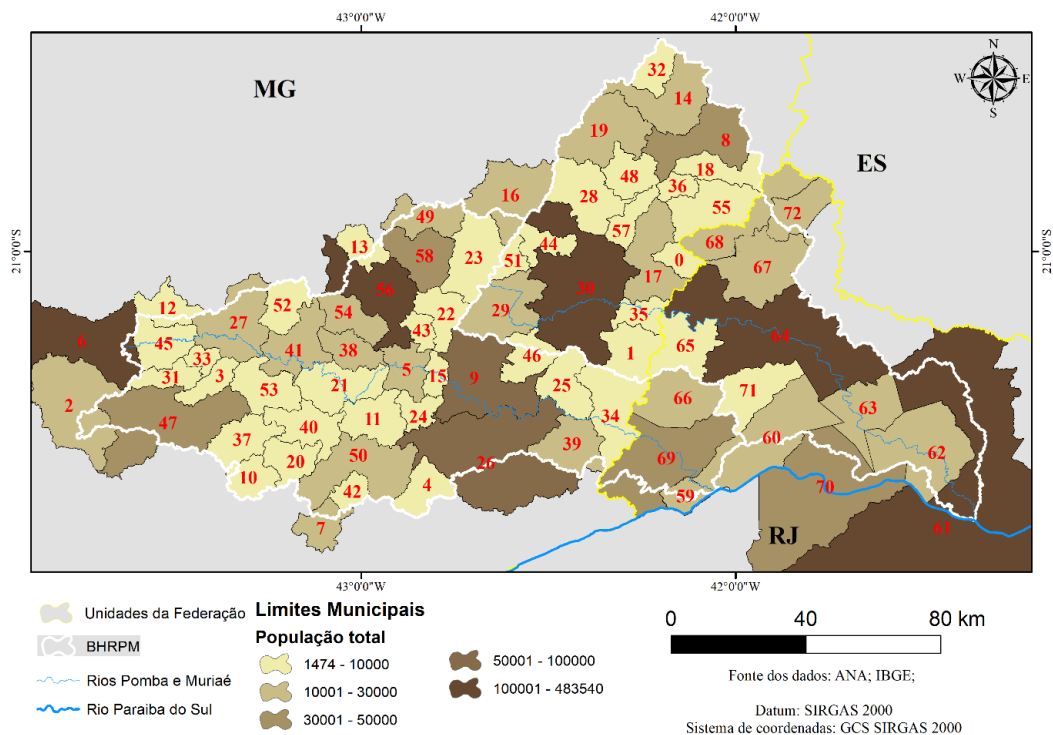


Figura 2: População total por município em 2022.
Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

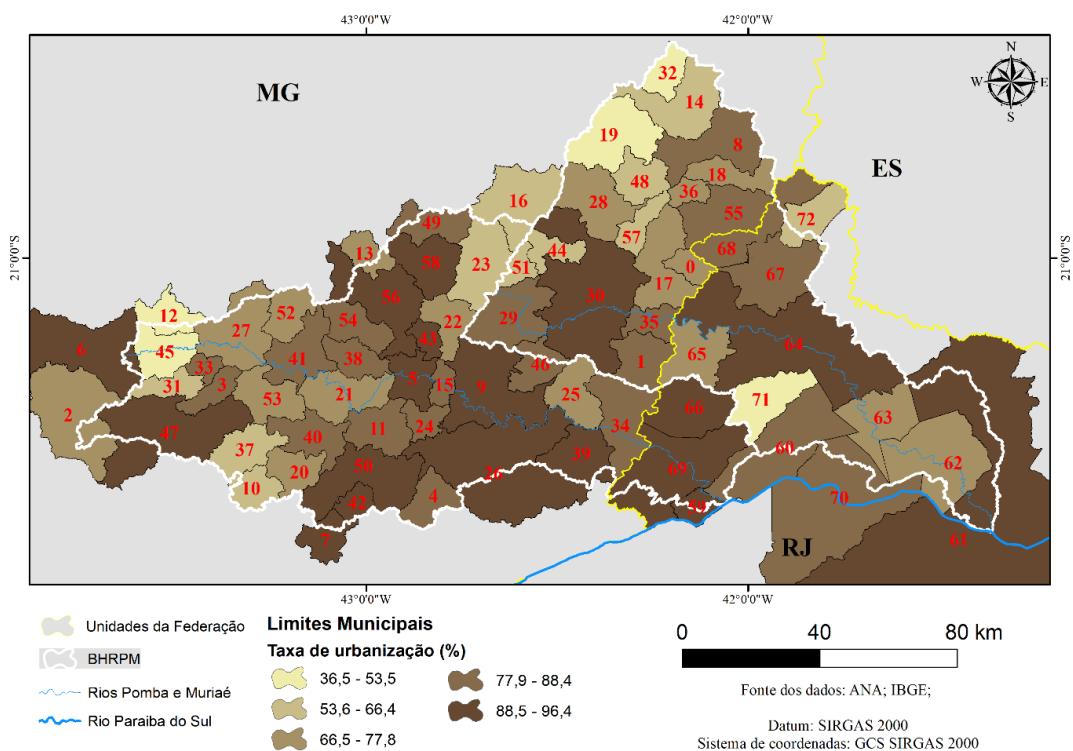


Figura 3: Taxa de urbanização por município em 2010.
Fonte: Organizado pelos autores, 2025.

Em termos geomorfológicos e climáticos, o relevo regional nas bacias hidrográficas é marcado por altimetrias que variam entre os 100 m e superam os 2000 m nas cabeceiras (Figura 4), em grande parte o relevo nas bacias é marcado pela depressão do rio Paraíba do Sul. Os divisores de água estão localizados no domínio da Serra da Mantiqueira, situados em contato com importantes bacias hidrográficas do sudeste do Brasil, como as bacias dos Rios Doce e Paraná.

Os dados de precipitação foram acessados junto à Agência Nacional de Águas (ANA) (Figura 4 e Quadro 1) e foram distribuídos em quatro grupos homogêneos (GH), conforme descrito por Oliveira; Terassi; Galvani (2023). De acordo como os autores, os grupos possuem características distintas nos totais de precipitação, associadas principalmente a fatores de ordem topográfica.

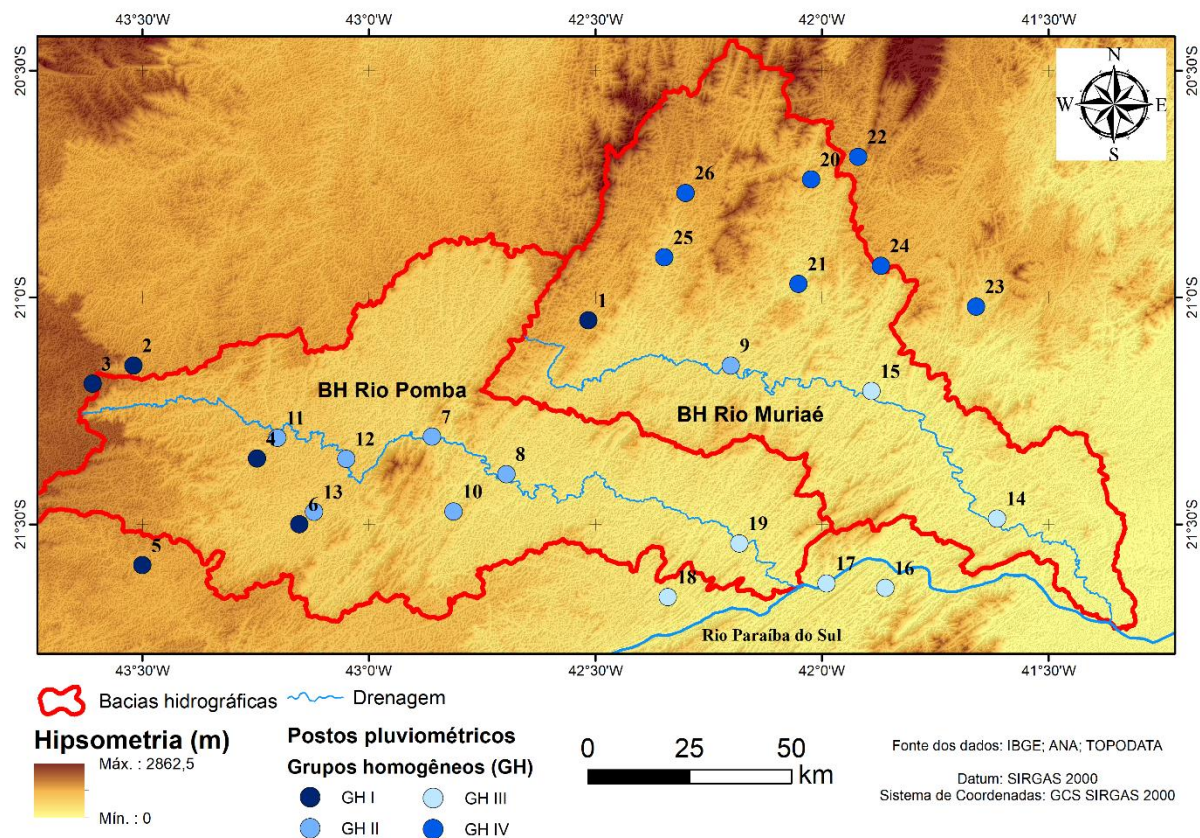


Figura 4: Mapa de caracterização hipsométrica da área de estudo e localização dos postos pluviométricos de acordo com os grupos homogêneos (GH).
Fonte: Adaptado de Oliveira; Terassi; Galvani (2023). Organizado pelos autores (2025).

GH-I	GH-II	GH-III	GH-IV
Muriaé (01)	Astolfo Dutra (07)	Cardoso Moreira (14)	Carangola (20)
Desterro do Melo (02)	Cataguases (08)	Itaperuna (15)	Porciúncula (21)
Barbacena (03)	Pat. do Muriaé (09)	São Fidélis (16)	Caiana (22)
Chapéu D'Uvas (05)	Itamarati de Minas (10)	Cambuci (17)	S. J. Calçado (23)
Tabuleiro (04)	Rio Pomba (11)	Pirapetinga (18)	Varre-Sai (24)

Piau (06)	Guarani (12)	S. A. Pádua (19)	Miradouro (25)
	Rio Novo (13)		S. F. Glória (26)

Quadro 1: Identificação dos postos pluviométricos e seus respectivos grupos homogêneos, segundo Oliveira; Terassi; Galvani (2023).

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2023).

Observando os climogramas da área de estudo (Figura 5) observa-se um período mais chuvoso no verão e outro mais seco no inverno, isto ocorre devido aos sistemas atmosféricos que atuam na região apresentarem condições distintas de posicionamentos nos períodos de verão e inverno. Gan et al. (2016) defendem a existência de um regime de monção no Brasil, o que provoca chuvas concentradas em grande medida no período de primavera e verão em contraposição ao período de outono e inverno, mais seco. O estado de Minas Gerais, de acordo com Reboita et al. (2018) também está inserido no contexto da monção sul-americana.

Observando a distribuição média da temperatura do ar e precipitação, percebe-se a existência de pelo menos dois tipos climáticos na área de estudo. Nas áreas mais serranas (Barbacena, Figura 5a), como no grupo I, o fator altimétrico interage com os atributos climáticos, promovendo um aumento nas precipitações e uma redução média da temperatura do ar. Já no climograma de Campos (Figura 5b), a temperatura média do ar é mais elevada em todos os meses, porém há uma redução de 458mm na precipitação média anual, quando comparada a Barbacena.

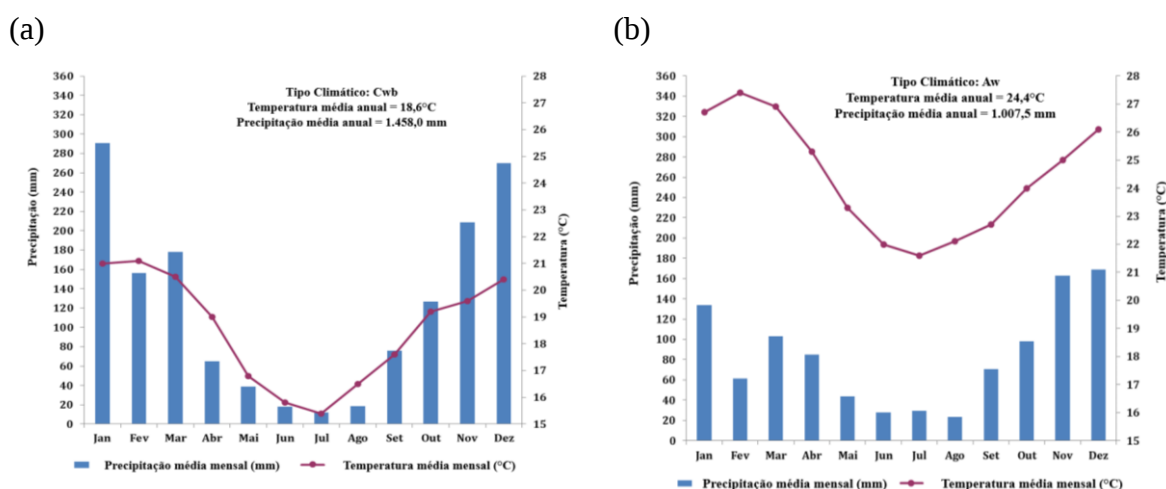


Figura 5: Climogramas para os municípios de Barbacena (a) e Campos dos Goytacazes (b).
Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia. Organizado pelos autores (2025).

No período de verão, são registrados os maiores totais pluviométricos na região, sobretudo quando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) está configurada, que também é, em grande medida, responsável pela ocorrência dos eventos extremos na região (Cavalcanti, 2012). No período do inverno, a atuação dos sistemas frontais pelo interior do continente e consequentemente o ingresso da massa Polar Atlântica, marcam condições de tempo estável e com temperatura do ar mais baixa. Além disso, a atuação da massa Tropical Atlântica também engendra condição de estabilidade. Portanto, no período do inverno as chuvas estão associadas apenas à passagem

dos sistemas frontais e/ou da massa Tropical Atlântica em áreas de influência orográfica (Borsato, 2016).

Dados

Para o desenvolvimento do trabalho, realizou-se o levantamento dos dados de precipitação pluviométrica de 26 postos compreendidos na BHRPM e arredores (figura 4). Os dados foram acessados junto ao portal hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) através do endereço eletrônico <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao> para o período compreendido entre os anos de 1970 e 2020.

Durante a pesquisa foram utilizados 26 postos pluviométricos, porém para os eventos dos dias 24 e 25 de janeiro de 2020 apenas 24 foram utilizados devido a falhas nos dados de Piau (GHI) e Miradouro (GH IV). Além disso, o posto de Muriaé (GH I) também apresentou falhas, porém essas foram substituídas pelos dados da estação meteorológica automática (EMA) do INMET (A517), localizada no município. O tratamento e análise dos dados pluviométricos foram realizados através dos softwares R studio; Microsoft Excel; Past.

Utilizou-se os dados de reanálise plotados para América do Sul da *National Oceanic and Atmospheric Administration*- NOAA dos seguintes parâmetros: Anomalia de vetor de vento a 850 hpa (1,5Km de altura); Anomalia de precipitação (mm/dia); Precipitação (mm/dia); Anomalia de umidade específica a 850 hpa. Os dados foram plotados através da plataforma PSL/NOAA disponível no endereço eletrônico <https://psl.noaa.gov/>.

Foi feito o levantamento dos mapas de alerta de risco geo-hidrológicos junto ao Centro de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais- CEMADEN (<http://www2.cemaden.gov.br/categoria/riscos-geo-hidrologicos/page/61/>) para o intervalo temporal que compreender a pesquisa em questão.

Além desses dados, foi realizado o levantamento diário das cartas sinóticas da Marinha do Brasil através de solicitação ao órgão. O levantamento foi feito para o mês de janeiro de 2020. As cartas sinóticas foram utilizadas para a caracterização sinótica dos sistemas atmosféricos atuantes no mês em questão.

Foram utilizados ainda, informações de decretos de emergência e calamidade pública decretados referente ao mês de janeiro de 2020. Os dados foram obtidos através de pesquisas em meios eletrônicos nos sistemas e sites das prefeituras municipais, além do sistema integrado de informações sobre desastres <<https://s2id.mi.gov.br/>>; os boletins diários da Defesa Civil do Estado de Minas <<https://www.sistema.defesacivil.mg.gov.br/>>; reportagens de jornal que trouxesse essa informação, foram acessadas informações nos jornais O Globo, Estado de Minas e no portal do G1.

Finalmente, utilizou-se os dados de vulnerabilidade a inundações obtidos junto à Agência Nacional de Águas.

Métodos

Após o levantamento das informações, foram mapeadas informações acerca do risco a inundações. Este mapeamento de risco de inundação gradual teve como base as informações da Agência Nacional de Águas (ANA). O mapeamento considera duas informações: a primeira está associada à recorrência de eventos de inundação, esta camada é chamada de frequência e a segunda informação visualiza o impacto associado a estes episódios, ou os danos gerados pelo episódio (Quadro 2).

Frequência/ Impacto	Frequência	Impactos
Alta	Eventos observados em período inferior a 5 anos.	Alto risco de danos à saúde humana e danos significativos a serviços essenciais, instalações e obras de infraestrutura pública e residências.
Média	Eventos observados em período entre 5 e 10 anos.	Danos razoáveis a serviços essenciais, instalações e obras de infraestrutura pública e residências.
Baixa	Eventos observados em período superior a 10 anos.	Danos localizados.

Quadro 2: Características observadas pela Agência Nacional de Água para a definição da frequência e dos impactos associados às inundações.

Fonte: Agência Nacional de Águas (2014). Adaptado pelos autores (2025).

Por fim, o mapa de risco a inundações considera a junção das duas variáveis para a integralização dos trechos com alto, médio e baixo risco a inundações (Quadro 3). Com base na matriz de vulnerabilidade os trechos críticos com alto, médio e baixo risco são mapeados nos canais fluviais da área de estudo.

Vulnerabilidade a inundações	Alto	Alto impacto e qualquer frequência de inundações.
		Médio impacto e alta frequência de inundações.
	Média	Médio impacto e frequências média e baixa de inundações.
		Baixo impacto e alta frequência de inundações.
	Baixa	Baixo impacto e frequências média e baixa a inundações.

Quadro 3: Vulnerabilidade associado às inundações graduais com base na classificação proposta pela Agência Nacional de Águas-ANA.

Fonte: Agência Nacional de Águas (2014). Adaptado pelos autores (2025).

Além disso, os decretos de situação de emergência e calamidade pública foram mapeados a partir da sua divulgação por meios oficiais. As informações de danos foram mapeadas através dos dados informados pelos municípios ao s2id, porém os dados brutos foram transformados em indicadores para fins de comparação.

As informações de óbitos, feridos e enfermos foram somadas para cada município e associadas à população total do município, indicando o número de impactos humanos por mil habitantes.

Da mesma forma, os dados de pessoas desabrigadas e desalojadas seguiram o mesmo procedimento, indicando o número de desabrigados e desalojados por mil habitantes.

As informações de residências danificadas e destruídas foram também somadas, porém associadas ao dado de domicílios totais do município, levantada pelo Censo de 2022 (IBGE, 2022). Por fim, os dados de infraestruturas urbanas danificadas (equipamentos de saúde, educação, unidades prestadoras de serviços) foram associadas aos dados de área urbanizada, indicando o número de equipamentos danificados por km², entendendo que estes são mais comuns nas áreas urbanas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As chuvas de janeiro de 2020 e a série histórica de precipitação

Considerando os eventos significativos do mês de janeiro de 2020 (Dalagnol et al., 2022; Vasconcellos e Souza, 2022), esse mês foi elencado para estudo de caso. Os dados individuais, por posto pluviométrico, permitem visualizar que houve casos nos quais a precipitação em janeiro de 2020 foi o dobro da média histórica (1970-2020) (figura 6). Entretanto, apenas dois postos (Cambuci e Pirapetinga), no grupo homogêneo III, registraram chuvas abaixo da média neste mês. Além disso, em quatro postos pluviométricos a precipitação em janeiro de 2020 foi superior ao dobro da média histórica, como em: Campos dos Goytacazes (GH III), Varre-Sai, Caiana e São José do Calçado, localizadas no GH IV, todos na BH do rio Muriaé e adjacências.

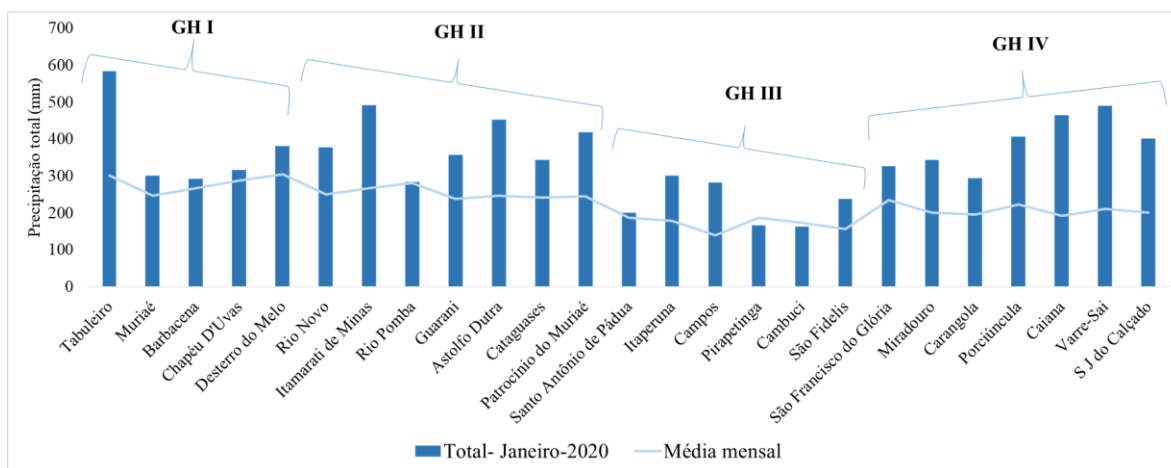


Figura 6: Precipitação total mensal em janeiro de 2020 e média histórica mensal para o mês.

Fonte: Organizado pelos autores (2025).

De forma geral, o verão de 2020 foi anormalmente chuvoso em toda a região sudeste do Brasil. Segundo Vasconcellos e Souza (2022) este foi o verão mais chuvoso nessa região do Brasil desde 1991. Na figura abaixo (Figura 7), observa-se as anomalias de ventos, umidade do ar e precipitação para este período.

Na figura 7 (a) a anomalia de vento indicou uma variação positiva dos ventos em baixos níveis (850 mb) indicando uma maior convergência de ventos oriundos da região norte do Brasil

neste mês. Na figura 7 (b) indica a anomalia de precipitação em mm/dia, na região sudeste do Brasil houve anomalias que superaram os 6mm/dia.

A figura 7 (c) apresenta a precipitação em mm/dia para janeiro de 2020, em que é possível visualizar a maior intensidade de precipitação nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Da mesma forma, o mapa de umidade específica a 850 mb permite indicar que havia, para aquele período, uma alta disponibilidade de umidade em baixos níveis na atmosfera, o que pode justificar os elevados totais pluviométricos nesse período (Figura 7d).

Vasconcellos e Souza (2022) destacam um conjunto de teleconexões que propiciaram a ocorrência desse episódio, dentre elas uma anomalia negativa na TSM do Atlântico Sul, além de uma fase positiva do Modo Anular Sul (SAM). De acordo com os autores, estas duas condições favoreceram a instalação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que está associada a volumes pluviométricos mais elevados.

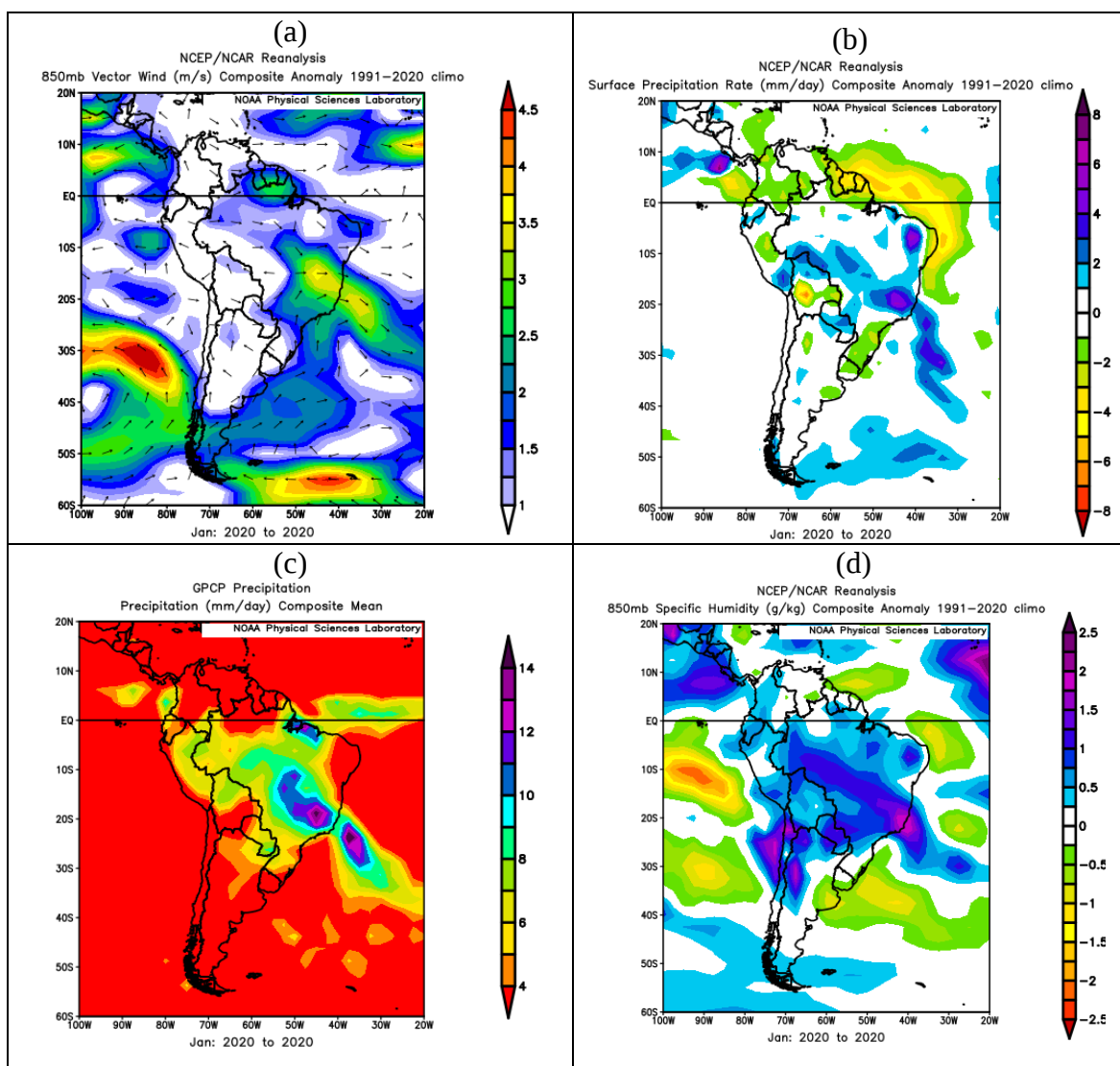


Figura 7: (a) Anomalia de vetor de vento a 850 hpa (1,5Km de altura); (b) Anomalia de precipitação (mm/dia); (c) Precipitação (mm/dia); (d) Anomalia de umidade específica a 850 hpa.

Fonte: PSL/NOAA. Organizado pelos autores (2025).

Da mesma forma, Rosso et al. (2018) afirmam que em episódios positivos da Oscilação Antártica (modo anular sul) os episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul ficam mais frequentes e persistentes. A figura 8 apresenta a distribuição sequencial das condições sinóticas diárias do mês de janeiro de 2020 para a área de estudo.

A partir da observação sinótica, verificou-se a atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) em 54,8% dos dias no mês de janeiro de 2020, na área de estudo (BHRPM). Em comparação com os outros sistemas atmosféricos que tiveram: 25,8% de sistemas frontais; 12,9% sob influência de linhas de instabilidade, além de 6,5% dos dias com atuação da massa Polar atlântica (Figura 8).

A ZCAS é particularmente importante para a região no verão austral, pois é responsável, em baixos níveis por ventos acentuados e convergência de umidade persistente, no entanto, sua formação condicionada às configurações atmosféricas específicas, das quais, cita-se os Jatos de Baixos Níveis (JBN's) no transporte de umidade da região Amazônica condicionada pela Cordilheira dos Andes (Silva, Reboita e Escobar, 2019; Aguiar e Cataldi, 2021; Pezzi, et al., 2022; Carvalho, Gobo e Nascimento, 2023). Esse sistema é notavelmente significativo na região por, segundo Cavalcanti (2012) ter sido o responsável por 74% dos eventos extremos entre os anos de 1960 a 2005 no Sudeste do Brasil.

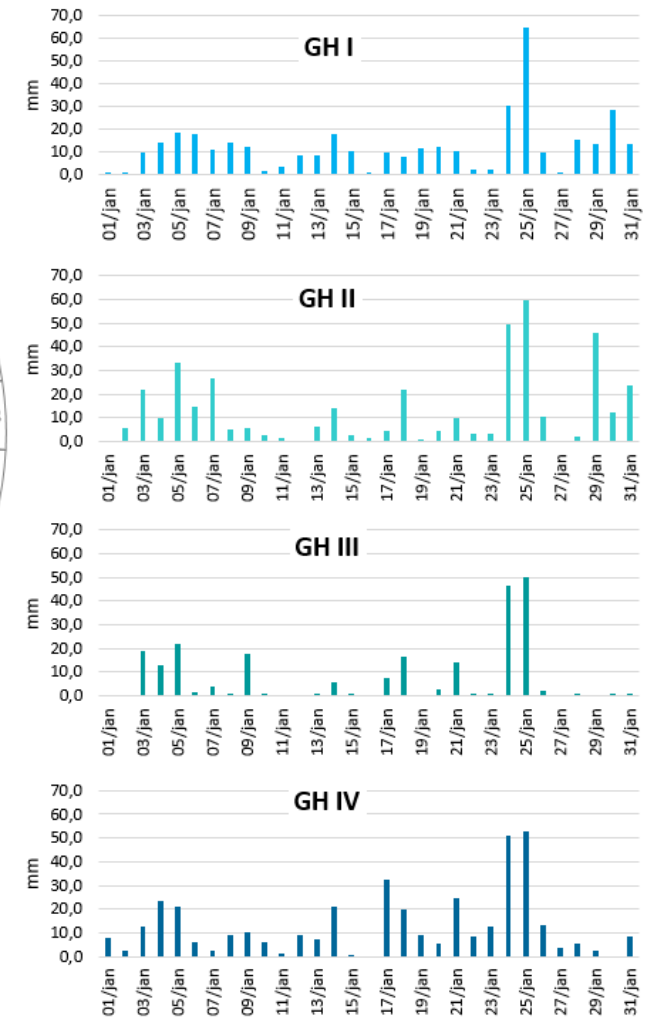
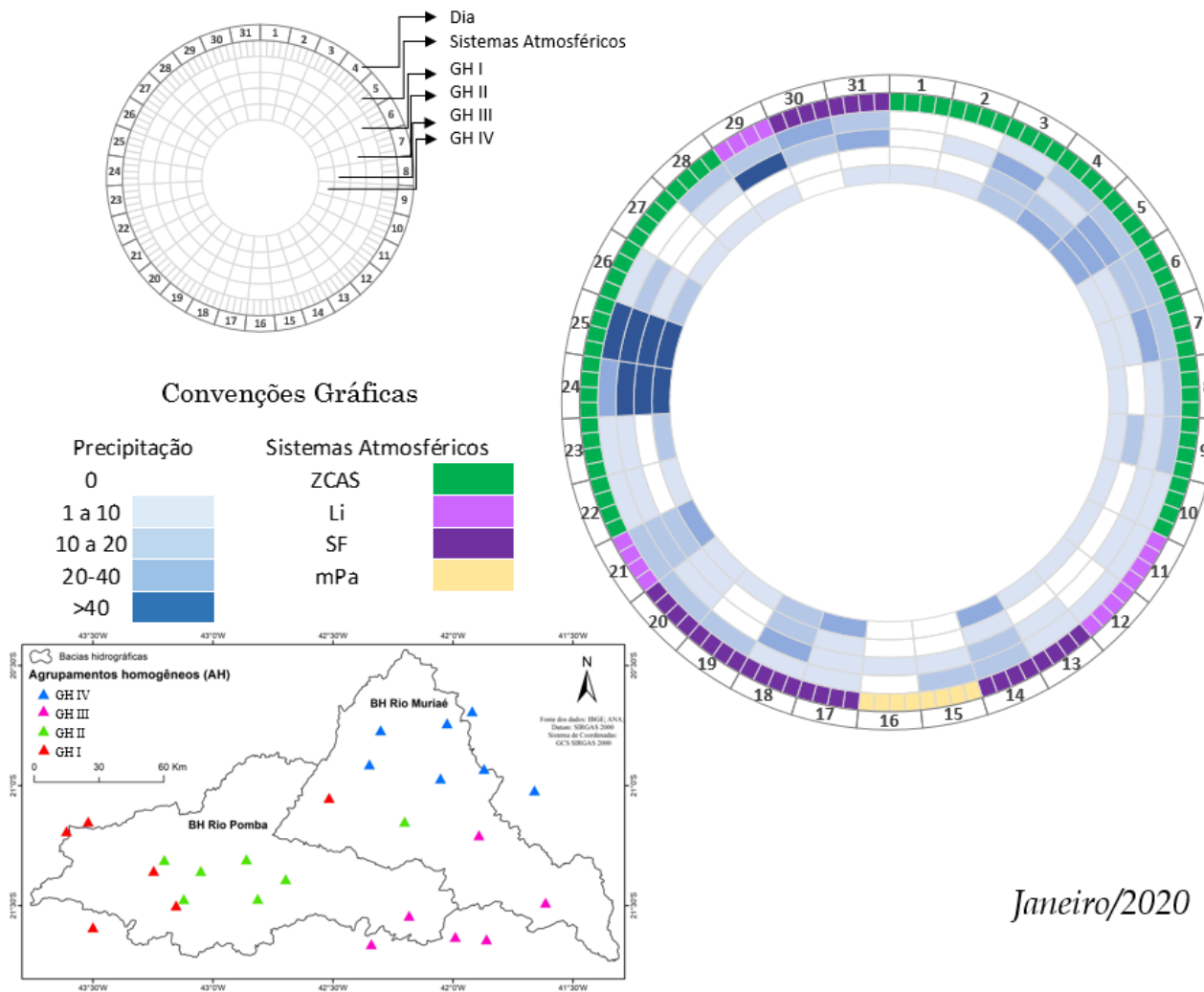
Em termos sinóticos, o mês de janeiro de 2020 começou sob influência de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que provocou precipitação generalizada e de baixa intensidade ao longo da BHRPM, perdurando até o dia 10 do mês em questão. A partir de então, houve a evolução da ZCAS para uma linha de instabilidade (Figura 8).

Na sequência houve uma passagem de um sistema frontal entre os dias 12 e 13 e na retaguarda avançou uma massa polar atlântica. O dia 16/01 foi o que registrou os menores totais pluviométricos, apenas nas áreas com influência orográfica (Figura 8).

A partir do dia 17/01/2020 houve o avanço de outro sistema frontal no litoral brasileiro, o qual assumiu uma condição estacionária, evoluiu para uma linha de instabilidade até a configuração de uma nova Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS no dia 22/01/2020. A partir de então, este episódio permaneceu ativo até o dia 28/01. Importante destacar que os dias com precipitação mais intensa na BHRPM foi entre os dias 24 e 25/01, sob influência desse episódio de ZCAS (Figura 8).

De acordo com o relatório gerencial do CEMADEN “entre os dias 24/01 e 25/01, em função das chuvas intensas originadas de um episódio de ZCAS associado ao deslocamento de um cavado em níveis médios e altos, e um centro de baixa pressão sobre o Oceano Atlântico”. Por fim, no final do mês, a ZCAS evoluiu para outra linha de instabilidade, até a passagem de outro sistema frontal entre os dias 30 e 31/01.

Entre os dias 24 e 25 de janeiro de 2020 foram registrados os maiores totais pluviométricos na área de estudo (Figura 9). Comparando os dados por posto pluviométrico, nos dias 24 e 25 de janeiro de 2020 (Figura 9), com o valor do percentil 95 e 99 calculado, observa-se que a precipitação no período superou o percentil 95 em 13 dos 24 postos pluviométricos no dia 24/01/2020 e no dia 25/01/2020, 15 postos registraram totais pluviométricos superiores ao percentil 95.



Legenda: ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul); Li (Linha de instabilidade); SF (Sistema Frontal); mPa (Massa Polar Atlântica); Os dados por grupo homogêneo representam a média diária de precipitação entre os postos de cada grupo para o mês de janeiro de 2020.

Importante destacar que todos os postos pluviométricos que integram o grupo homogêneo IV superaram o percentil 95 em pelo menos 1 dos dias, fato que não foi repetido nos outros GH. Apesar disso, o posto de Cardoso Moreira (Campos) teve o maior desvio em relação aos percentis calculados, superando inclusive o percentil 99 nesses dias (Figura 10).

Apenas três postos registraram precipitação acima do percentil 99 no dia 24 de janeiro de 2020, além de Cardoso Moreira (Campos), Muriaé (no GH I) e São Francisco do Glória (no GH IV). No dia 25/01/2020) quatro postos registraram eventos extremos (superiores ao percentil 99), Patrocínio do Muriaé (GH II), Cardoso Moreira (GH III) e Caiana (GH IV). Todos os postos localizados na BH do rio Muriaé (Figura 10).

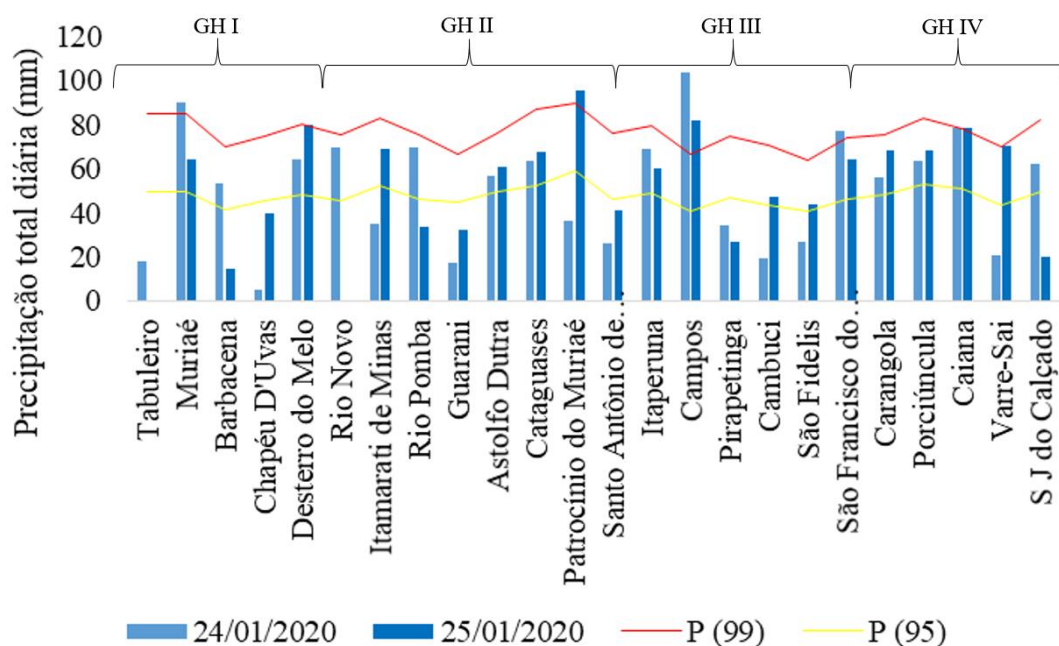


Figura 10: Precipitação total diária, por posto pluviométrico, nos dias 24 e 25 de janeiro de 2020.
Fonte: Organizado pelo autor, 2025.

Conforme já destacado, este período foi influenciado pela ocorrência de uma Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), além de uma tempestade tropical (Kurumi) que se formou no Atlântico Sudeste. Na figura 11a, é possível observar o escoamento em baixos níveis (850 hPa) indicando a atuação dos jatos de baixos níveis durante este episódio. Além disso na imagem de satélite percebe-se a intensa nebulosidade associada aos sistemas atmosféricos atuantes no sudeste do Brasil (Figura 11b).

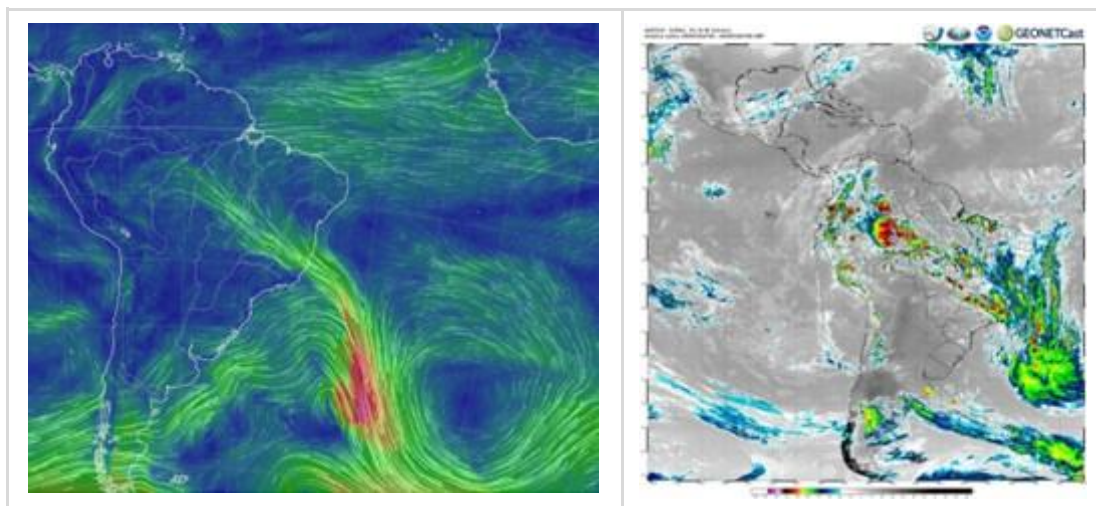


Figura 11: (a) Escoamento em baixos níveis (850 hpa) indicando a atuação dos JBN na região sudeste do Brasil (25/01/2020). (b) Imagem GOES16- Canal 15 (12.30 microns)- América Latina: 202001242130-202001242139 GMT.

Fonte: Earthnullshchool. (<https://earth.nullschool.net/#2020/01/25/2000Z/wind/isobaric/850hPa/patterson=-66.78,-12.88,403>)

Segundo Marengo e Soares, (2002); Marengo e Soares (2004); Santos e Reboita, (2018) essa circulação atua tanto no verão quanto no inverno, sendo mais frequente no verão (entre os meses de dezembro e fevereiro), tendo como mecanismo de formação os ventos alísios de nordeste. Esses jatos, por sua vez, têm influência no posicionamento e intensidade da ZCAS (Reboita e Escobar, 2019). Nas figuras 12 é possível, portanto, verificar a atuação da ZCAS formada pela contribuição dos JBN's verificados na figura anterior, influenciando de forma significativa nas chuvas dos dias 24 e 25 nos quatro GH analisados.

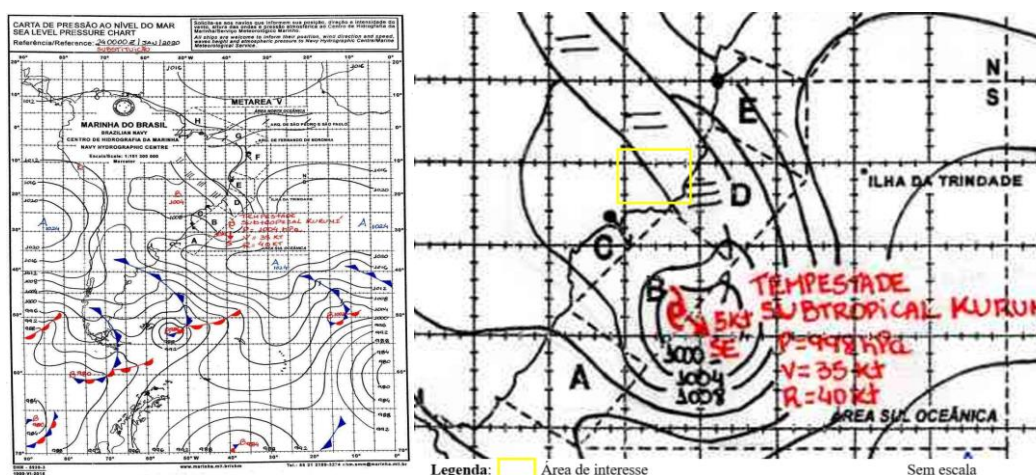


Figura 12: Carta sinótica para o dia 24 de janeiro de 2020.

Fonte: Marinha do Brasil. Adaptado pelos autores.

Segundo Ferreira e Reboita (2022) e Marengo et al., (2023) a ZCAS consubstancia-se como um dos principais sistemas atmosféricos na gênese de eventos extremos. Segundo Ferreira e Reboita (2022), no sudeste do Brasil, os sistemas frontais e a ZCAS são os principais sistemas relacionados à ocorrência de desastres na região sudeste do Brasil.

Devido ao potencial causador de danos associados à circulação da ZCAS, houve a divulgação de alertas pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais-CEMADEN, indicando que era sabida a possibilidade de eventos pluviométricos intensos na região de estudo. A figura 13 apresenta a distribuição espacial da previsão de risco do CEMADEN. Segundo os dados a área de estudo apresentou alerta de risco alto e muito alto, indicando, portanto, a elevada probabilidade de eventos geo-hidrológicos em função dos eventos analisados.

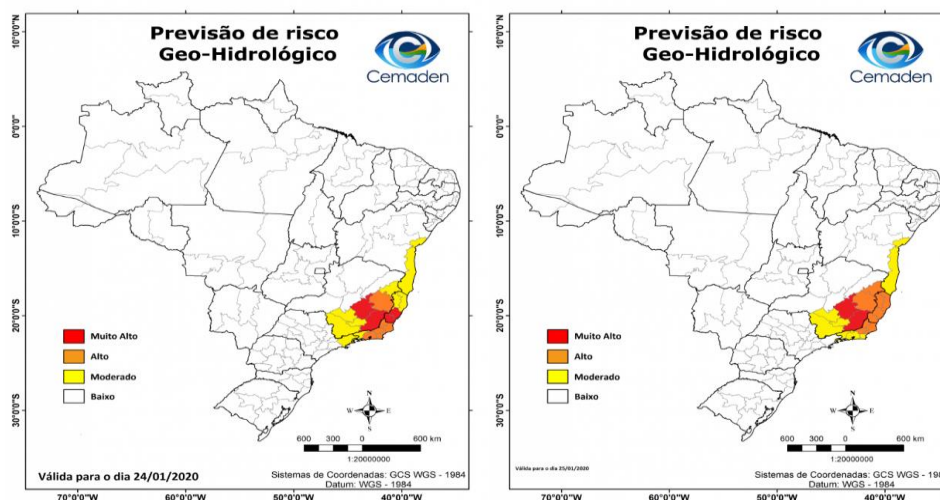


Figura 13: Alertas emitidos pelo Centro Nacional de Monitoramento e alertas de desastres naturais-CEMADEN para os dias 24 e 25 de janeiro de 2020.

Fonte: CEMADEN. Adaptado pelos autores (2025).

A informação do alerta do Cemaden para o dia 25/05/2025 tratava de um risco muito alto para episódios Geo-hidrológicos que foram confirmados a partir dos eventos extremos de precipitação registrados ao longo da BHRPM. De acordo com Marengo et al. (2024, p. 214) “os alertas são emitidos diretamente aos municípios e também de forma simultânea ao Centro Nacional de Gestão de Riscos e Desastres (Cenad). Esses alertas então são retransmitidos por meios alternativos aos organismos estaduais e municipais”.

De acordo com o mapa de vulnerabilidade a inundações graduais da Agência Nacional de Águas (Figura 14), há diversos trechos na BHRPM com alto risco a inundações graduais, diversos deles associados às áreas urbanas municipais. Considerando a existência de alertas associados a características ambientais predisponentes a eventos hidrológicos significativos, as medidas de redução dos riscos, prevenção e alerta colocam-se como mecanismos essenciais no contexto em questão.

De acordo com Moraes (2023), apesar dos avanços no monitoramento e nos alertas associados a eventos hidrometeorológicos, ainda falta ampliarmos a capacidade de comunicar os eventos previstos, de forma efetiva, à população. Além disso, o autor destaca que a vulnerabilidade social é um elemento fundamental para a redução dos riscos a episódios hidrometeorológicos.

As chuvas ao longo do mês de janeiro de 2020 causaram diversos danos, a vários municípios, ilustrada através dos decretos de emergência e calamidade pública. Considerando que estes decretos têm a função de informar ao governo federal a necessidade de recursos para as respostas frente aos danos (Quadro 4).

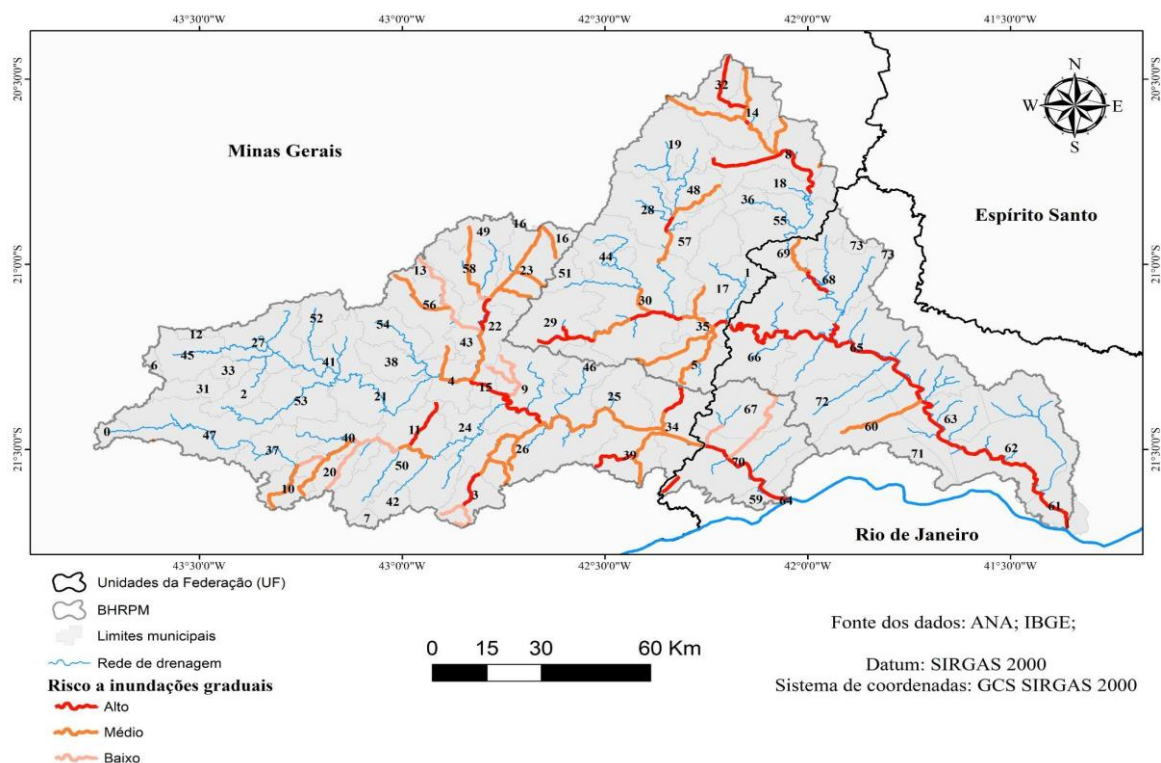


Figura 14: Risco a episódios de inundações graduais nos cursos d'água da BHRPM.

Fonte: Organizado pelos autores (2025).

Situação de emergência (SE)	Situação anormal, provocada por desastres, causando danos e prejuízos que impliquem o comprometimento parcial da capacidade de resposta do poder público do ente atingido e da qual decorre a necessidade de recursos complementares dos demais entes da Federação para o enfrentamento da situação.
Estado de calamidade pública (CP)	Situação anormal, provocada por desastres, causando danos e prejuízos que impliquem o comprometimento substancial da capacidade de resposta do poder público do ente atingido, de tal forma que a situação somente pode ser superada com o auxílio dos demais entes da Federação.

Quadro 4: Definição para a edição de decretos de situação emergência (SE) e calamidade pública (CP).

Fonte: BRASIL, Lei 14750/2023. Organizado pelos autores (2025).

Considerando os municípios da área de estudo (BHRPM), houve uma maior concentração de decretos na bacia hidrográfica do rio Muriaé, 57,1% dos municípios decretaram situação de emergência ou calamidade pública em janeiro de 2020 (Figura 15). Além disso, os municípios Orizânia (32), Carangola (8) e Muriaé (30) decretaram situação de calamidade pública, indicando que houve danos mais importantes nos seus limites municipais (Figura 15).

Na bacia hidrográfica do rio Pombo (BHRP), 26,1% dos municípios editaram decretos de emergência nesse período, concentrados na sub-bacia do rio Xopotó e no médio/baixo curso do rio

Pomba (Figura 15). Importante destacar que são municípios que estão situados em trechos críticos de alto risco a inundações graduais.

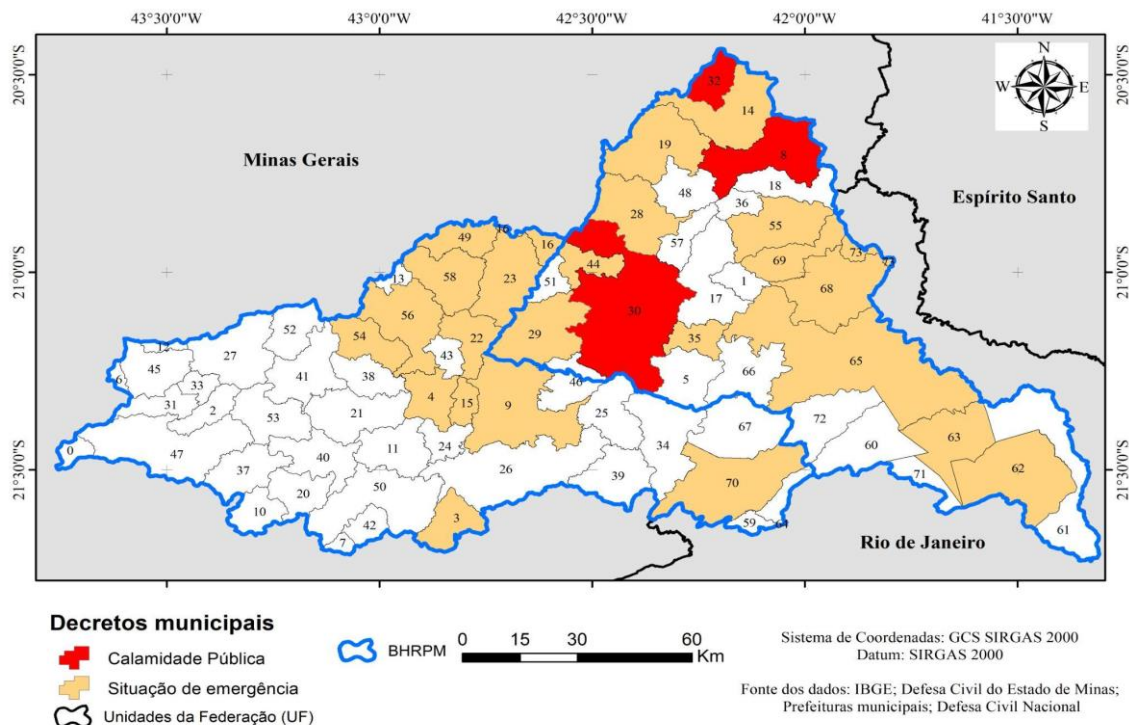


Figura 15: Município das BHRPM com decretos de situação de emergência e calamidade pública editados em janeiro de 2020.

Fonte: Organizado pelos autores (2025).

Na bacia hidrográfica do rio Pomba (BHRP), 26,1% dos municípios editaram decretos de emergência nesse período, concentrados na sub-bacia do rio Xopotó e no médio/baixo curso do rio Pomba (Figura 15). Importante destacar que são municípios que estão situados em trechos críticos de alto risco a inundações graduais.

Observando os municípios que decretaram situação de emergência (SE) e calamidade pública (CP) na bacia hidrográfica do rio Pomba-BHRP, 91% dos municípios estão alojados em área de médio/alto risco a inundação. Dentre os municípios, cinco deles (41,7%) estão em condição de alto risco (Argirita (3); Cataguases (9); Dona Eusébia (15); Guidoal (22); Santo Antônio de Pádua (70)) e outros 5 com condição de médio risco (Astolfo Dutra (4); Ervália (16); São Geraldo (49); Ubá (56) e Visconde do Rio Branco (58)). O município de Guiricema (23) possui trechos com médio e alto risco (Figuras 14 e 15).

A Lei 12/608 de 2012 institui a Política de Proteção e Defesa Civil, dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil, no inciso 2 do segundo artigo coloca-se que “a incerteza quanto ao risco de desastre não constituirá óbice para a adoção das medidas preventivas e mitigadoras de situação de risco” (Brasil, 2012). Logo, embora os eventos extremos pluviométricos sejam menos frequentes e a ocorrência de inundações

associadas a esses eventos possa ser, também menos frequente, essa condição não deve servir como justificativa para a não adoção de medidas de adaptação e mitigação dos riscos.

No caso dos dados analisados, considerando que 91% dos municípios localizam em áreas já predisponentes ao risco de inundações, ou seja, apresentam alta probabilidade de ocorrência desses eventos, as ações de redução e mitigação devem ser imediatas, uma vez que, confirmou-se que as áreas de alto e médio risco sofrem com os eventos em questão com repercussão social significativa demonstrada pela decretação das condições de emergência e calamidade pública.

Na BHRM, dentre os municípios que editaram decretos de SE ou CP, 43,8% possuem condição de alto risco, 18,8% possuem médio risco e 12,5% apresentam tanto alto como médio risco. Por outro lado, 25% não apresentaram condição de risco, de acordo com o mapeamento da Agência Nacional de Águas- ANA. Considerando todos os municípios afetados ao longo das BHRPM, 82,1% já apresentaram condição de médio/alto risco a inundações. Indicando que há uma boa correspondência entre os municípios mapeados e a real ocorrência de danos associados a inundações (Figuras 14 e 15).

Os impactos à população (mortos, internados e enfermos) foram relacionados à população total do município, na primeira categoria, (impactos humanos) houve uma variação de 0 impactado a 2,2 pessoas impactadas por 1000 habitantes. Observando as áreas urbanas afetadas (figura 16), tem-se que os danos considerados humanos (Mortos, feridos e enfermos), foram mais intensos nos municípios de Cardoso Moreira (62) e Porciúncula (69). Tendo em vista que ambas as bacias apresentam elevado percentual de população vivendo em áreas urbanas, e considerando que o risco está diretamente associado à condição humana (Marandola Júnior e Hogan, 2004).

Nas informações sobre desabrigados e desalojados, estas variaram de 0,4 a 477,1 habitantes impactados por 1000, o município de Cardoso Moreira (62) foi o mais impactado, pois 477,7%0 da sua população total foi atingida pelas inundações do rio Muriaé. Indicando a abrangência dos danos a este município fluminense. Além de Cardoso Moreira (62), Porciúncula (69) e Patrocínio do Muriaé (35) também tiveram danos significativos, com 261,9 e 179,3 desabrigados/desalojados por mil habitantes (Figura 16).

Os danos à moradia e à estrutura urbana apresentaram variações significativas, com o primeiro variando de 0 a 169,4 moradias/1000 e o segundo de 0,1 a 101,0 equipamentos/km². Os resultados indicam que, quando associados aos alertas de risco e aos níveis de suscetibilidade a impactos geo-hidrometeorológicos, os equipamentos urbanos estão consideravelmente expostos a riscos, o que é corroborado pelos indicadores analisados (Figura 16).

Considerando o número de residências danificadas ou destruídas por 1000, os municípios de Patrocínio do Muriaé (35), Carangola (8) e Italva (63) despontam com os maiores registros na BHRPM. Por outro lado, ao considerar os danos a infraestruturas urbanas, Ervália (16), Orizânia (32) e Dona Eusébia (15) foram os municípios com maior proporção. Importante considerar que nesse caso, todos os municípios possuem menos de 20 mil habitantes (Figura 16).

Considerando os indicadores acima, foi possível observar que os danos registrados pelas prefeituras municipais foram menos abrangentes nos municípios que decretaram calamidade pública, quando comparados a outros municípios da área de estudo. Cidades como Dona Eusébia (15), Porciúncula (69), Cardoso Moreira (62) e Patrocínio do Muriaé (35) registraram,

proporcionalmente às suas áreas urbanas danos mais abrangentes. Considerando que todas essas cidades possuem menos de 20 mil habitantes.

Além disso, analisando a bacia hidrográfica do rio Muriaé nos mapas de desabrigados e desalojados e dos danos às infraestruturas urbanas, é possível visualizar a relação direta desses danos com os canais fluviais, sobretudo com os rios Muriaé, Glória e Carangola, que drenam este setor da BHRM.

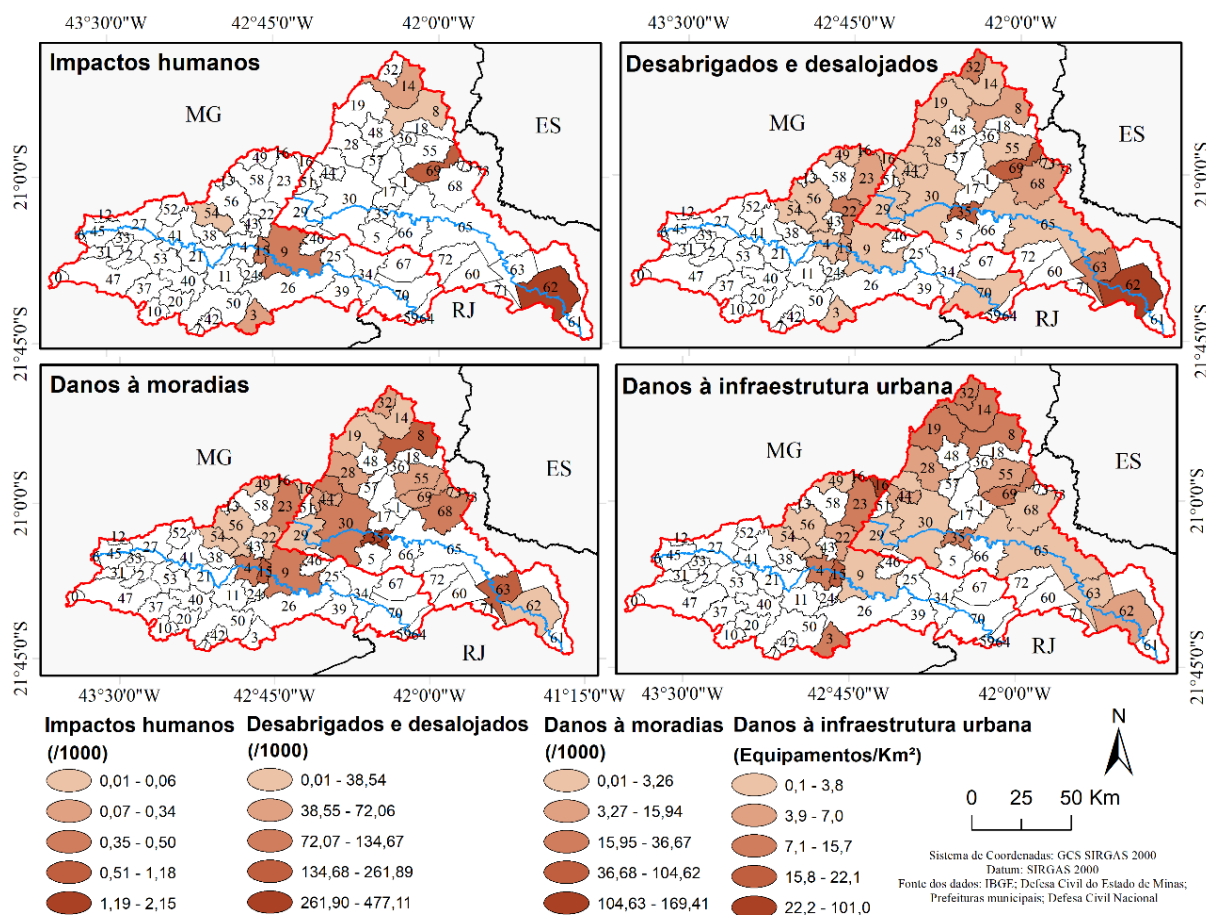


Figura 16: Mapa de distribuição dos impactos humanos (habitantes/km²), desabrigados e desalojados (habitantes/ Km²), danos à moradia (moradia/Km²) e danos à infraestrutura urbana (equipamentos/km²), ao longo do episódio 2020.

Fonte: Organizado pelos autores.

Os resultados indicam o que Monteiro (1975; 2003) coloca a respeito dos eventos extremos nas áreas urbanas que consubstanciam condições calamitosas. Ademais, o autor pondera que esses eventos são complexos exigindo aprofundamentos tanto no tocante à gênese dos eventos através da identificação dos sistemas atmosféricos desencadeadores desses fenômenos quanto da perturbação na dinâmica e integridade física urbana quanto nos mecanismos de defesa.

As leituras realizadas neste estudo evidenciam que os mecanismos de defesa precisam de maior atenção, pois, embora existam alertas, estes não foram suficientes para minimizar os impactos e os danos nas áreas urbanas das bacias analisadas. Isso ressalta a necessidade de integrar as análises da dinâmica ambiental das bacias, considerando tanto as áreas de maior suscetibilidade

a impactos geo-hidrológicos, associadas às condições naturais do ambiente, quanto às políticas públicas relacionadas à exposição aos riscos.

Além disso, há que se considerar o fato de que municípios (áreas urbanas) de pequeno porte podem e são impactadas em eventos climáticos extremos, ainda que não necessariamente ali caia volumes elevados de precipitação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As chuvas que atingiram as bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé-BHRPM desencadearam diversos episódios de inundação. Olhando para os sistemas atmosféricos atuantes, considera-se a prevalência de dias sob influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul como responsável pelos elevados totais pluviométricos.

Os riscos estão diretamente associados à probabilidade de ocorrência de eventos danosos. Embora a dinâmica pluviométrica seja natural (embora considere-se mudanças nos padrões em função das mudanças climáticas globais) assim como a suscetibilidade às inundações, o processo de ocupação das bacias ao longo dos rios consubstanciando as áreas urbanizadas no interior da bacia resulta na exposição dos sujeitos aos riscos.

Observando os resultados obtidos por habitante, moradia, equipamentos por km² foi possível identificar os municípios mais carentes de atenção no contexto dos impactos hidrológicos nas BHRPM, sendo Dona Eusébia, Porciúncula, Cardoso Moreira e Patrocínio do Muriaé, embora os decretos de calamidade pública tenham sido editados para Muriaé, Orizânia e Carangola. Sob uma perspectiva urbana, embora tenha havido alertas sobre os eventos deflagradores, as medidas de prevenção e mitigação não foram suficientes para reduzir os danos.

A análise das áreas urbanas a partir das bacias hidrográficas revelou que, embora os impactos sejam locais, a interpretação regional do fenômeno indica que um sistema atuante em escala regional pode desencadear efeitos em diferentes municípios, cada um com suas particularidades em relação à exposição aos riscos e à suscetibilidade. Além disso, destaca-se que a vulnerabilidade também é um fator relevante nesse contexto, ainda que não tenha sido abordada nesta pesquisa. Dessa forma, o presente trabalho ilustra o fato de que o espaço urbanizado embora núcleo do sistema climático urbano mantém relações íntimas com o ambiente regional imediato em que se insere. Demonstrando, portanto, a importante análise entre escalas nos estudos de clima a partir da perspectiva urbana.

Observando os 74 municípios drenados pela BHRPM, 37% decretaram situação de emergência ou calamidade pública, reforçando a ideia de que o urbano deve ser considerado um ponto no regional que interagirá com as outras escalas do clima para consubstanciar na ocorrência dos episódios climáticos extremos. Além disso, é no urbano que as manifestações dos episódios extremos serão mais significativas, na medida em que há maior concentração de pessoas.

Submetido em 06 de fevereiro de 2025.

Aceito para publicação em 06 de agosto de 2026.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**. Brasília: ANA, 2014. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.
- AGUIAR, L. F.; CATALDI, M. Social and environmental vulnerability in Southeast Brazil associated with the South Atlantic Convergence Zone. **Natural Hazards**, v. 109, p. 2423-2437, 2021.
- ALVARENGA, L. A. Precipitação no Sudeste brasileiro e sua relação com a Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Agrogeoambiental** v4n2, agosto 2012.
- BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba-PR: CRV, 2016.
- BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012**. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; e altera as Leis nos 12.340, de 1º de dezembro de 2010, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 11 abr. 2012.
- BRASIL. **Lei nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023**. Altera as Leis nºs 12.608, de 10 de abril de 2012, e 12.340, de 1º de dezembro de 2010, para aprimorar os instrumentos de prevenção de acidentes ou desastres e de recuperação de áreas por eles atingidas, as ações de monitoramento de riscos de acidentes ou desastres e a produção de alertas antecipados. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 13 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14750.htm. Acesso em: 2 jun. 2025.
- CAMPANA, A. S. **Análise de áreas suscetíveis à inundação na Villa O'Higgins, Patagônia Central, Chile, utilizando sensoriamento remoto e o processo analítico hierárquico**. Dissertação (mestrado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.
- CARVALHO, A. B.; GOBO, J. P. A.; NASCIMENTO, F. I. C. do. Influência da ZCAS na variabilidade climática da região Amazônica. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, UNICENTRO, Guarapuava - Paraná, 2023.
- CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic associated with extreme precipitation over South America: a review and case studies for the first decade the 21st century. **Atmospheric Research**, 118, p. 27-40, 2012.
- CHAN, S. C.; KENDON, E. J.; ROBERTS, N. M.; FOWLER, H. J.; BLENKINSOP, S. Downturn in scaling of UK extreme rainfall with temperature for future hottest days. **Nature Geoscience**, v. 9, p. 24-29, 2016.
- COTTERILL, D.; STOTT, P.; CHRISTIDIS, N.; KENDON, E. Increase in the frequency of extreme daily precipitation in the United Kingdom in autumn. **Weather and Climate Extremes**, v. 33, p. 100340, 2021.

- DALAGNOL, R.; GRAMCIANINOV, C. B.; CRESPO, N. M.; LUIZ, R.; CHIQUETTO, J. B.; MARQUES, M. T. A.; DOLIF NETO, G.; ABREU, R. C.; LI, S.; LOTT, F. C.; ANDERSON, L. O.; SPARROW, S. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. e15, 2022.
- FERNANDES, R. A.; VALVERDE, M. C. Análise da resiliência aos extremos climáticos de chuva: estudo preliminar na região de Mauá no ABC Paulista- São Paulo. **RBCIAMB**, n.44, jun 2017, p. 1-17.
- FERREIRA, G. W. S.; REBOITA, M. S. A New Look into the South America Precipitation Regimes: Observation and Forecast. **Atmosphere** 2022, 13, 873
- GAN, M. A.; SANTOS, L. F.; LIMA, J. R. A.; AFONSO, M. S.; SILVA, A. B. Monção da América do Sul. Edição comemorativa de 30 anos do Climanálise, **Revista Climanálise**, 2016.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2022: População residente, por sexo e situação do domicílio, por municípios – Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- KHODJA, M. B.; METOUCHI, A.; HALLAL, D. D.; KHELFI, M. E. A.; ÖNSOY, H.; TOUMI, S. Spatiotemporal characterization of the annual rainfall variability in the Isser Watershed (Algeria). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 15, n. 2, p. 190, 2022.
- KOBIYAMA, M.; MICHEL, R.; FLORES, C.; BIEHL, A.; FRANCK, A. **Inundação brusca (enxurrada) e inundação gradual que ocorreram no estado de Rio Grande do Sul**. Nota Técnica IPH-UFRGS. Porto Alegre: UFRGS, 2024.
- MARANDOLA JR., E; HOGAN, D. J. O risco em perspectiva: tendências e abordagens. **Revista Geosul**, v. 19, n. 38, p. 25-58, 2004.
- MARENGO, J. A. SOARES, W. Episódios de Jatos de Baixos Níveis ao Leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 35-52, 2002.
- MARENGO, J. A.; DOLIG, G.; CUARTAS, A.; CAMARINHA, P.; GONÇALVES, D.; LUIZ, R.; SILVA, L.; ALVALA, R. C. S.; SELUCHI, M. E.; MORAES, O. I.; SOARES, W. R.; NOBRE, C. A. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. **Estudos Avançados**, v. 38, n. 112, p. 203-228, 2024.
- MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUNHA, A. P.; CUARTAS, L. A.; GONCALVES, D.; SPERLING, V. B.; RAMOS, A. M.; DOLIF, G.; SAITO, S.; BENDER, F.; LOPES, T. R.; ALVALA, R. C.; MORAES, O. L. Heavy rainfall associated with foods in southeastern Brazil in November–December 2021. **Natural Hazards**, 2023.

- MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP–NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261, 15 June 2004.
- MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. IG06- USP, 1976. (Série Teses e Monografias n. 25).
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. In: MONTEIRO, C. A. F; MENDONÇA, F. A. (Orgs) **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2013. p. 9-68. 2.ed., 1º reimp.
- MORAES, O. L. L. Proposing a metric to evaluate early warning system applicable to hydrometeorological disasters in Brazil. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v.982 87, 103579, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103579>
- NAÇÕES UNIDAS. **ONU confirma 2024 como o ano mais quente já registrado, com cerca de 1,55°C acima dos níveis pré-industriais**. 10 jan. 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/287173-onu-confirma-2024-como-o-ano-mais-quente-j%C3%A1-registrado-com-cerca-de-155%C2%B0c-acima-dos-n%C3%ADveis>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- NASA. **Global Temperature | Vital Signs – Climate Change: Vital Signs of the Planet**. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>. Acesso em: 2 jun. 2025.
- OLIVEIRA, T. A.; TERASSI, P. M. B.; GALVANI, E. Variabilidade espacial da precipitação nas bacias hidrográficas dos rios Pomba e Muriaé MG/RJ: investigação via técnica de agrupamento. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. XV, 2023, Guarapuava. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**. p. 1085- 1099, 2023.
- PEZZI, L. P.; QUADRO, M. F. L.; LORENZZETTI, J. A.; MILLER, A. J.; ROSA, E. B.; LIMA, L. N.; SUTIL, U. A. The effect of Oceanic South Atlantic Convergence Zone episodes on regional SST anomalies: the roles of heat fluxes and upper-ocean dynamics. **Climate Dynamics**, v. 59, p. 2041-2065, 2022.
- REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. DE A.; LLOPART, M.; ROCHA, R. P. DA. Cenários de mudanças climáticas projetados para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira De Climatologia**, p. 110-128, 2018.
- REZENDE, G. B. M.; ARAÚJO, S. M. S. As cidades e as águas: ocupações urbanas nas margens de rios. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, No. 2, 2016.
- ROSSO, F.V., BOIASKI, N.T., FERRAZ, S.E.T., ROBLES, T.C. 2018. Influência da Oscilação Antártica na Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Atmosphere** 9: 431. <https://doi.org/10.3390/atmos9110431>.
- SANT'ANNA NETO, J. L. O clima como risco, as cidades como sistemas vulneráveis, a saúde como promoção da vida. **Cadernos de geografia**, n. 30-31, p. 215-228, 2012.
- SANTOS, C. A. **Impacto da utilização de pavimentação permeável em áreas urbanas na recuperação de bacias hidrográficas**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel- Paraná, 2016.
- SANTOS, D. F.; REBOITA, M. S. Jatos de Baixos Níveis a leste dos Andes: comparação entre duas reanálises. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, vol. 22- jan/ jun 2018.

- SANTOS, K. R. Inundações urbanas: um passeio pela literatura. Élisée, **Rev. Geo. UEG** - Goiania, v.1, n.1, p.177-190, jan./jun. 2012.
- SILVA, F. A. R. **Análise Hidrodinâmica de enxurradas por meio de simulação numérica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2022.
- SILVA, J. P. R.; REBOITA, M. S.; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da zona de convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 15, Vol. 25, p. 355-377, JUL/DEZ 2019.
- STEPHENSON, D. B. Definition, diagnosis and origin of extreme weather and climate events. In: DIAZ, H.F e MURNANE, R. J (org.). **Climate Extremes and Society**, Cambridge University Press, p. 11-23, 2008.
- VALVERDE, M. C. The interdependence of climate and socioeconomic vulnerability in the ABC Paulista Region. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo v. XX, n. 3 n p. 39-60 n jul.-set. 2017.
- VASCONCELLOS, F. C.; SOUZA, J. N. The anomalous wet 2020 southeast Brazil austral summer: characterization and possible mechanisms. **Atmosfera**, v. 35, n. 1, p. 27-38, 2022.
- XU, F.; ZHOU, Y.; ZHAN, L. Spatial and temporal variability in extreme precipitation in the Pearl River Basin, China from 1960 to 2018. **International Journal of Climatology**, 2021.