

EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO E DESASTRES HIDRO-GEO-METEOROLÓGICOS NO BRÁSIL

PRECIPITATION EXTREMES AND HYDRO-GEO-METEOROLOGICAL DISASTERS IN BRAZIL

EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN Y DESASTRES HIDRO-GEO-METEOROLOGICOS EN BRASIL

PRÉCIPITATIONS EXTRÊMES ET CATASTROPHES HYDRO-GÉO-MÉTÉOROLOGIQUES AU BRÉSIL

Jose A. Marengo¹

¹ National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters, CEMADEN, São José dos Campos, Brazil. Graduate Program in Natural Disasters, UNESP/CEMADEN, São José dos Campos, Brazil e Graduate School of international Studies, Korea University, Seoul, South Korea. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8578-7639>. E-mail: jose.marengo@cemaden.gov.br.

Introdução

Extremos climáticos afetam diretamente os sistemas humanos e naturais no Brasil, na América do Sul e no mundo. Um extremo meteorológico, como uma chuva intensa, não é um desastre. Nesse caso, o desastre são os impactos causados pela chuva sobre uma população vulnerável a esse fenômeno extremo. Precipitações abundantes levam a inundações, enxurradas e deslizamentos de terra, e as secas aumentam o risco de seca e incêndios florestais. A América do Sul tem experimentado nas últimas décadas enxurradas, inundações, deslizamentos de terra, períodos de secas, ondas de calor e incêndios florestais que afetam os biomas Amazônia e Pantanal, Nordeste do Brasil. As tendências observadas e projetadas para condições mais úmidas e/ou secas aumentam o risco de desastres que podem impactar populações vulneráveis que vivem em áreas expostas. Muitos eventos extremos de chuva que ocorreram entre 2023-2024, considerados os anos mais quentes da história, e foram influenciados pelo El Niño e a mudança climática antrópica. Embora os desastres relacionados à água sejam os que mais matam pessoas na região, em comparação com secas ou incêndios florestais, todos os desastres relacionados ao clima mostram implicações socioeconômicas, enfatizando os efeitos desproporcionais sobre as populações pobres e vulneráveis. As inundações no sul do Brasil destacaram a importância de manter e atualizar as defesas contra inundações.

Entre 1948 e 2023, cerca de 11 milhões de pessoas foram afetadas por eventos hidrometeorológicos no país, destacando a necessidade de ações preventivas. Os desastres climáticos destacaram a importância dos sistemas de alerta precoce como uma forma eficaz de minimizar fatalidades, juntamente com uma melhoria na percepção de risco de desastre pela população e tomadores de decisão, para informar o que as pessoas precisam fazer quando um alerta de risco de desastre é emitido. Embora o clima extremo possa ser bem previsto, cada país precisa implementar, testar e melhorar continuamente os sistemas de alerta precoce para garantir a segurança das pessoas e aumentar a resiliência da população.

Extremos de precipitação deflagram inundações, enchentes, enxurradas e deslizamentos de terra. Eventos compostos extremos de seca-calor amplificam a seca e os seus impactos e aumentam o risco de incêndios florestais. Os relatórios AR5 e AR6 do IPCC (IPCC, 2013; 2021; 2022) mostram que a frequência e a intensidade de eventos de chuvas intensas provavelmente aumentaram em escala global na maioria das regiões terrestres com boa cobertura observacional. O volume e intensidade da precipitação aumentou em escala continental e no Sul do Brasil nos últimos 50-60 anos, e a variabilidade natural de clima (Ex. El Niño, La Niña), assim como a influência humana, em particular as emissões de gases de efeito estufa, é o principal impulsionador de este aumento (IPCC, 2021).

No presente capítulo, a avaliação se concentra em uma revisão baseada na literatura recente publicada em escala regional, bem como nos relatórios AR5 e AR6 do IPCC (IPCC, 2017; 2021; 2022) e no *WMO State of Climate for Latin American and the Caribbean*

(WMO, 2024; 2025) sobre extremos de chuva. Informações adicionais vêm do Relatório Especial do IPCC sobre Extremos SREX (IPCC, 2012) sobre extremos no passado e projeções para mudanças em extremos de chuva intensa, todos com ênfase no Brasil. Desde o IPCC AR5 (IPCC, 2017), houve novos desenvolvimentos importantes e avanços de conhecimento sobre mudanças em extremos climáticos e de tempo em relação à influência humana em eventos extremos individuais que levam a desastres hidro-geo-meteorológicos.

Alguns estudos se referem a um evento como “extremo” se ele não tiver precedentes; outros se referem a eventos que ocorrem várias vezes ao ano como eventos extremos moderados. A raridade de um evento com magnitude fixa também pode mudar sob mudanças climáticas induzidas pelo homem, tornando eventos sem precedentes até agora bastante prováveis sob as condições atuais, mas únicos no registro observacional - e, portanto, frequentemente considerados como “surpresas” (Seneviratne *et al.*, 2021).

Na América do Sul, as tendências observadas indicam um aumento na intensidade e frequência de extremos de chuva na sua porção Sudeste do seu território. No Brasil, alguns desses eventos de chuvas intensas foram considerados “incomuns e sem precedentes” em 2023 e 2024. Em fevereiro de 2023, chuvas intensas e deslizamentos de terra mataram 65 pessoas em São Sebastião/São Paulo, e 683 mm foram acumulados em 15 horas, o maior volume de chuva observado na história brasileira em intervalos tão curtos. Em maio de 2024, chuvas intensas de mais de 200 mm/24 horas no vale do Rio Taquari desencadearam enchentes que afetaram a cidade de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, no que é considerado o pior desastre climático do Brasil, deixou 183 mortes e quase 7 bilhões de dólares em perdas econômicas (Marengo *et al.*, 2024a, WMO, 2025). Desastres como inundações, enchentes repentinas e deslizamentos de terra, por causa de episódios de chuvas extremas, desencadeiam desastres que matam centenas de pessoas todos os anos no Brasil e na América do Sul.

No Brasil, desastres climáticos aumentam 460% em desde 1991 a 2023. Nos 32 anos analisados pela Aliança Brasileira pela Cultura Oceânica (2025), foram registrados 64.280 desastres climáticos em 5.117 municípios brasileiros (quase 92% do total). Metade dos desastres computados são secas; inundações, enxurradas e enchentes representam 27% e tempestades, 19%. Mais de 219 milhões de pessoas foram afetadas, incluindo mortos, desalojados, desabrigados e enfermos, sendo 78 milhões somente nos últimos quatro anos. Os prejuízos econômicos também aumentaram ao longo das décadas somaram R\$ 547,2 bilhões entre 1995 (primeiro ano desses dados) e 2023. O prejuízo anual médio desde 2020 é de R\$ 47 bilhões por ano, mais que o dobro da média anual da década anterior, de R\$ 22 bilhões anuais.

Eventos extremos de precipitação

Causas da precipitação na América do Sul

Estudos descreveram a climatologia regional da América do Sul e os principais mecanismos produtores de chuva. Marrafon e Reboita (2020) forneceram um bom resumo dos mecanismos produtores de chuva no continente. As maiores quantidades de precipitação são geralmente observadas entre a Amazônia e o Sudeste do Brasil no contexto do Sistema de Monções Sul-Americano (SAMS), que ocorre durante o verão austral. A precipitação é mais intensa no Centro e Sudeste do Brasil quando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) está ativa. Durante a estação chuvosa, o Jato de Baixo Nível Sul-Americano a leste dos Andes (SALLJ) é responsável por transportar calor e umidade da Amazônia para latitudes mais altas. Frentes frias vindas do Sul, proporcionam instabilidade convectiva que suporta sistemas convectivos de mesoescala e casos de precipitação intensa sobre a bacia do Prata. No sul do Brasil, a atividade ciclônica também pode ser responsável por episódios de chuvas intensas, principalmente se ocorrer no verão ou nas estações de transição e for precedida pela influência do SALLJ.

Em outras regiões, como o Nordeste do Brasil, observa-se um regime de precipitação mais complexo, sendo relacionado à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) durante o final do verão e outono sobre a costa norte e mais ligado à circulação oceânica e perturbações de leste, especialmente durante o outono e inverno, frequentemente causando episódios de precipitação intensa. Rios atmosféricos associados a sistemas de frente fria que impactam o lado oeste da Cordilheira dos Andes em latitudes médias são características típicas durante o inverno que levam a eventos extremos de precipitação, inundações repentinas e deslizamentos de terra na costa oeste da América do Sul (Viale *et al.*, 2018).

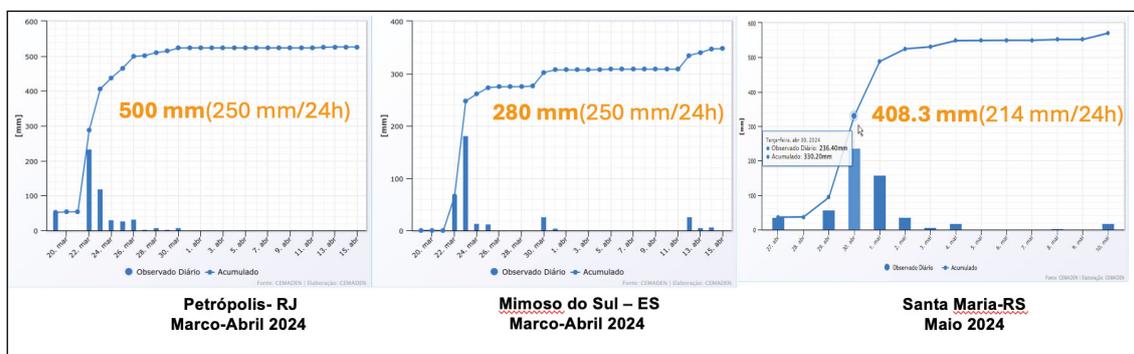
Exemplos de extremos de chuva e desastres decorrentes em 2022 e 2023 no Brasil

A Tabela 1 mostra uma lista de extremos de precipitação associados aos sistemas acima que geraram extremos de precipitação e desencadearam desastres que causaram fatalidades na região.

Tabela 1. Exemplos de extremos de precipitação de 2022 a 2024 e desastres hidro-geo-meteorológicos subsequentes no Brasil. As informações incluem local, data, valores da precipitação extrema e evento hidrológico, se houver, e referência.

Data e lugar	Chuvas extremas e impactos	Referência
Petrópolis/Rio de Janeiro, fevereiro 15, 2022	258 mm/3 horas, fevereiro climatologia 200mm, deslizamentos de terra e enxurradas, 231 mortes	Alcantara <i>et al.</i> (2023)
Recife/Pernambuco, maio 25-20, 2022	551 mm/5 dias, climatologia: 411 mm, deslizamentos de terra e enxurradas, 130 mortes	Marengo <i>et al.</i> (2023)
Gravatá, Maquiné/Rio Grande do Sul, junho 16, 2023	300 mm/24 horas, 11 mortes, 18 desaparecidos devido a inundações.	Floodlist (2023)
São Sebastião/São Paulo, Brasil Fevereiro 18-19, 2023	683 mm/15 horas, climatologia: 120 mm, deslizamentos de terra deixaram 65 mortes	Marengo <i>et al.</i> (2024b)
Vale do Taquari/Rio Grande do Sul, setembro 3-5, 2023	100 mm/24 horas, aumento da cota do rio Taquari em 12 m, setembro 6-7, inundações deixaram 48 mortes	WMO (2024), Alvala <i>et al.</i> (2024)
Rio de Janeiro/Rio de Janeiro, fevereiro 21-22, 2024	42.8 mm/1 hora, deslizamentos de terra fora da capital, incluindo bairros Barra do Piraí, Japeri, Mendes e Nova Iguaçu, 8 mortes	Floodlist (2024a)
Mimoso do Sul/Espírito Santos, Brasil, março 22-23, 2024	Acumulados de chuva variam entre 300 e 600 mm/48 horas, 20 mortes devido a inundações e enxurradas. Perdas da ordem de US 200 milhões na produção de café	INMET (2024)
Vale do Taquari e Porto Alegre Metropolitan Region/Rio Grande do Sul, maio 1-5, 2024	A inundação em Porto Alegre foi deflagrada pelas chuvas intensas na bacia do Lago Guaíba, com acumulados que ultrapassaram os 500 mm/5 horas, gerando níveis do lago de 5,35 m em maio 5, maior que a inundação de 1941. 183 mortes	Marengo <i>et al.</i> (2024a), Reboita <i>et al.</i> (2024), Floodlist (2024b)

Fonte: Elaborado pelo autor.



Fonte: CEMADEN (2024).

Figura 1. Valores mensais e acumulados diários no dia mais chuvoso em Petrópolis-RJ e Mimoso do Sul-ES em março e abril 2024, e em Santa Maria-RS em maio 2024.

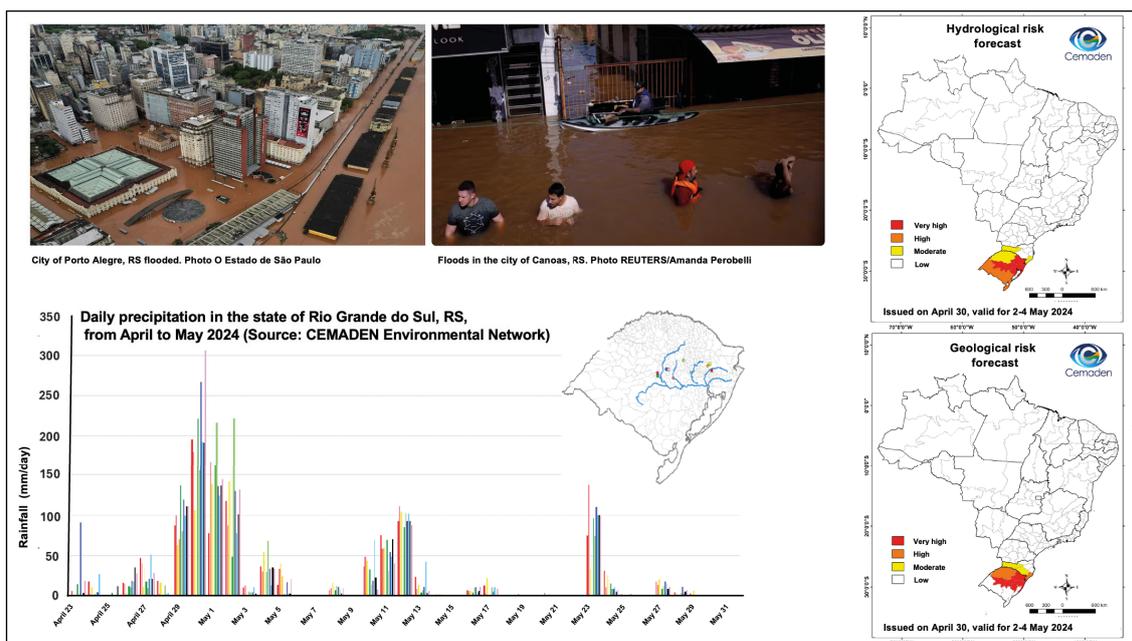
A Figura 1 mostra os acumulados diários de chuva durante março e abril 2024 no Rio de Janeiro e Espírito Santo, respectivamente, e em maio 2024 o Rio Grande do Sul. As chuvas diárias foram intensas e os acumulados num dia foram mais da metade da média mensal. Estes extremos de chuva e geraram desastres com consequências, como mostrado na Tabela 1. As chuvas de 22 e 23 de março tiveram impacto de grande magnitude no

Sudeste, com 4 mortes em Petrópolis, 20 em Mimoso do Sul e 183 mortes no Rio Grande do Sul em maio 2024.

Segundo a Tabela 1, em 2023, a precipitação acumulada de 683 mm em 15 horas durante os eventos de deslizamento de terra e inundação repentina de São Sebastião, estado de São Paulo, entre 18 e 19 de fevereiro de 2023, matou 65 pessoas (Marengo *et al.*, 2024b). Chuvas intensas afetaram o estado do Rio de Janeiro no sudeste do Brasil e o estado da Bahia no nordeste do Brasil, causando inundações com vítimas e danos. Inundações ao longo do rio Acre na região oeste da Amazônia causaram danos generalizados e deslocamento em comunidades ribeirinhas no Peru, Brasil e Bolívia em fevereiro de 2024, onde os níveis do rio Acre aumentaram em 6-7 m no espaço de alguns dias. Na Bolívia, em Cobija, os níveis do Rio Acre atingiram 15,83 m. Chuvas fortes afetaram os estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro, causando inundações e desencadeando deslizamentos de terra, causando a morte 27 pessoas (INMET).

De 23 a 25 de outubro de 2024, a cidade de São Paulo sofreu fortes chuvas com ventos fortes influenciados por outro ciclone extratropical e uma frente fria associada da costa do sudeste da América do Sul, com 87 mm/24 horas, causando a morte de três pessoas. Em 26 de outubro, chuvas intensas de 115 mm/24 horas impactaram a cidade de Belo Horizonte, com ruas alagadas e risco de deslizamentos de terra nos subúrbios da cidade (INMET, WMO, 2025).

As inundações sem precedentes de abril a maio de 2024 no estado do Rio Grande do Sul, no sul do Brasil, afetaram 478 dos 497 municípios do estado. Precipitações extremas causaram inundações na maior parte do estado, afetando 2.398.255 pessoas e levando a 183 mortes e 27 desaparecidos (Marengo *et al.*, 2024a; Reboita *et al.*, 2024). Em uma semana de chuva o Rio Grande do Sul viu grande parte de suas cidades e a própria capital invadidas pela água. Imóveis destruídos, mortos, desaparecidos e dezenas de milhares de desabrigados. A tempestade fez com que os rios tributários do Lago Guaíba (rios Taquari, Caí, Pardo, Jacuí, Sinos e Gravataí) transbordassem, levando a níveis recordes de 5,35 m em 5 de maio, mais altos do que a enchente anterior em 1941, contribuindo para inundações em áreas vulneráveis da Região Metropolitana de Porto Alegre e municípios próximos (Figura 2).



Fonte: CEMADEN (2024).

Figura 2. Imagens da inundação de Maio de 2024 no Rio Grande do Sul/Brasil. Lado superior: Fotos da enchente na cidade de Porto Alegre e Canoas; lado inferior: Precipitação diária em estações no estado do Rio Grande do Sul na bacia do Lago Guaíba, e cada cor representa estações individuais. Lado direito: Previsões hidrológicas e geológicas emitidas pelo CEMADEN em 30 de abril válidas para 2 e 3 de maio de 2024, as cores no lado inferior de cada painel representam o nível de alertas.

A linha do tempo dos eventos relacionados a este desastre mostra claramente que as previsões de chuvas e alertas de alto risco de inundação foram emitidas dois dias antes da grande enchente na cidade de Porto Alegre:

- 28 de abril - Previsão do tempo para chuvas intensas no RS foi emitida pelo INMET, CEMADEN;
- 29 de abril - Emissão de alertas iniciais para risco alto/muito de desastres geo-hidrológicos pelo CEMADEN;
- 30 de abril - Agravamento da situação, Defesa Civil informou;
- 31 de abril - Estado de emergência emitido pela Defesa Civil;
- 2 de maio - Início do transbordamento do Lago Guaíba;
- 5 de maio - Pico de transbordamento do Lago Guaíba inundando áreas vulneráveis da cidade de Porto Alegre.

A população que vive em áreas vulneráveis e expostas foi avisada e evacuada a tempo. No entanto, o número de fatalidades ainda foi alto. Há necessidade de implementar ações preventivas com a população mais vulnerável e atividades de educação ambiental para a sociedade. É necessário aumentar a percepção do risco de desastres pela população e pelas autoridades públicas. É necessário melhorar os sistemas de previsão do tempo e

alerta sobre o risco de desastres causados por extremos climáticos e, assim, salvar vidas e proteger populações em áreas de risco. O ponto principal deste caso é o aumento do risco de extremos e vulnerabilidade, bem como a gestão territorial insuficiente ou deficiente, o planejamento urbano e os problemas de governança remanescentes nos níveis federal, estadual e local. O Brasil é um exemplo dessa combinação complexa.

Tendências de extremos de precipitação

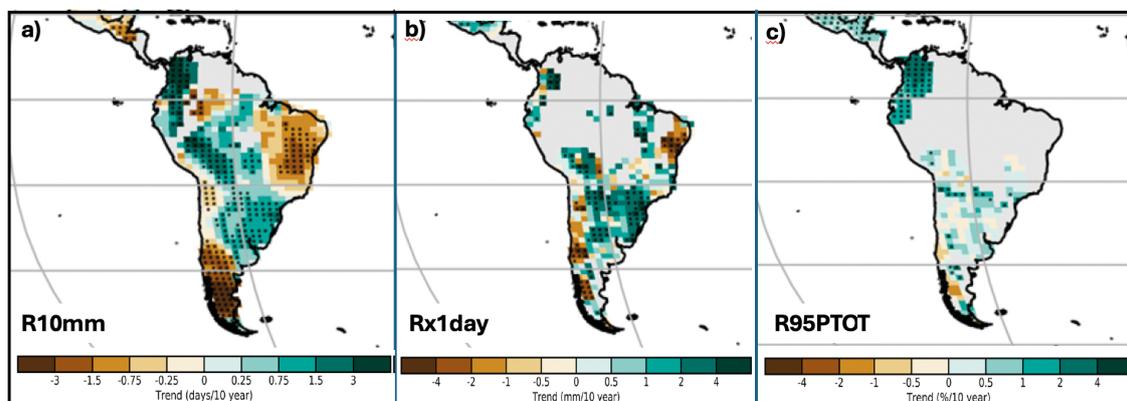
Haylock *et al.* (2006) estudaram tendências em extremos de precipitação na América do Sul com base em dados de estação durante o período de 1960 a 2000. Eles identificaram uma mudança para condições mais chuvosas nas regiões do sul do Brasil, Paraguai, Uruguai e norte e centro da Argentina. Skansi *et al.* (2013) encontraram uma tendência positiva de dias secos consecutivos na Argentina ao norte de 30°S entre 1950 e 2010. Uma diminuição nos extremos de precipitação foi observada no Sul do Peru e centro-sul do Chile, com este último mostrando reduções significativas em muitos índices. Santos *et al.* (2012) identificam tendências positivas de precipitação extrema em Manaus, Amazônia central, durante 1971-2007. Essas tendências são explicadas por mudanças associadas ao El Niño/La Niña.

Avila *et al.* (2016) identificaram tendências positivas na precipitação extrema no sul do Brasil de 1978 a 2014 que levaram a um maior risco de deslizamentos de terra/eventos de inundações repentinas. Ceron *et al.* (2024) mostram que a frequência de extremos de precipitação aumentou na Amazônia peruana e no nordeste da Amazônia brasileira, e reduziu no centro da bacia Amazônica, principalmente durante as primeiras estações do ano: dezembro-janeiro-fevereiro (DJF) e março-abril-maio (MAM).

Balmaceda-Huarte *et al.* (2021) avaliaram tendências em índices de extremos de precipitação conforme retratados por diferentes conjuntos de dados observacionais e reanálises no sul da América do Sul durante o período de 1979-2017 e encontraram tendências positivas e significativas na ocorrência de dias chuvosos consecutivos (CWD), a frequência de dias com precipitação acima de 10 mm (R10mm) e a precipitação acumulada quando a precipitação diária excedeu o 95º percentil (R95p) sobre o sudeste da América do Sul. Re e Barros (2009) e Penalba e Robledo (2010) descobriram que o sudeste da América do Sul teve tendências predominantemente positivas de precipitação abundante durante a segunda metade do século XX, especialmente na frequência e intensidade durante o verão e a primavera austrais. Usando o conjunto de dados HadEX2 para 1901-2010, Donat *et al.* (2013) mostram tendências positivas significativas em precipitação extrema no sudeste da América do Sul e tendências positivas não significativas de dias secos consecutivos no sudeste da América do Sul.

Dunn *et al.* (2020) usaram o conjunto de dados HadEX3 para 1950-2018 e encontraram redução em três índices de extremos de precipitação de Frich *et al.* (2002) na Amazônia oriental e nordeste oriental do Brasil (conforme mostrado pelo índice R10mm). Os índices Rx1day e R95PTOT mostram fortes aumentos de cerca de 2 mm por década e 1-2%/ano, respectivamente,

nas partes orientais do sul e noroeste da América do Sul (Figura 3). De acordo com o IPCC (2021), esses aumentos na precipitação média e extrema observados desde a década de 1960 (alta confiança) nessas regiões são impulsionados pela variabilidade interna, bem como a influência humana no clima, como aumentos nos gases de efeito estufa e aerossóis.



Fonte: Adaptado de Dunn *et al.* (2020).

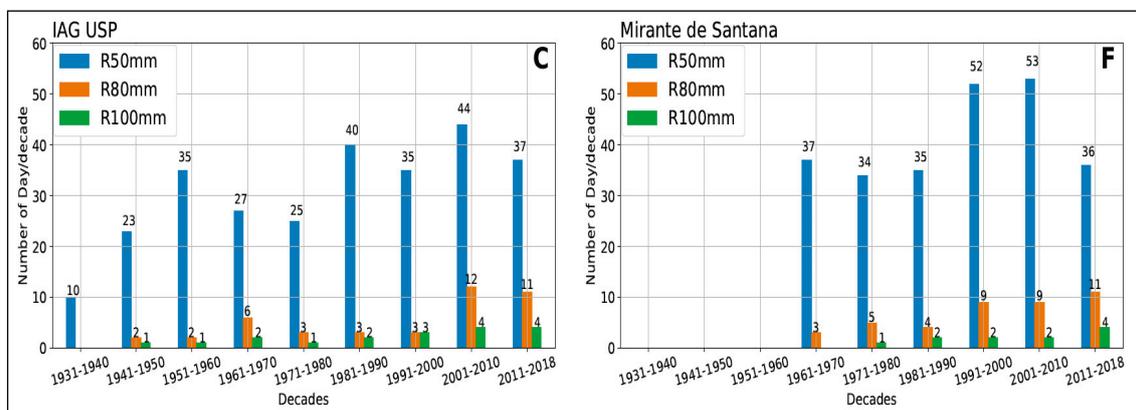
Figura 3. Tendências lineares em séries anuais de índices extremos de precipitação para a América do Sul: (a) R10mm (dias/década); (b) R95pTOT (%/década) e (c) Rx1day (mm/década) durante 1950–2018).

As tendências foram calculadas apenas para caixas de grade com dados suficientes (pelo menos 66% dos anos com dados e o último ano da série sendo 2009 ou posterior). Tendências significativas são indicadas com pontilhado. Todos os painéis usam um período de referência de 1961 a 1990, com mapas apresentados em uma grade de longitude-latitude de $1,875^\circ \times 1,25^\circ$.

Avila *et al.*, (2016) avaliaram mudanças espaciais e temporais na precipitação de 1978 a 2014 nas regiões do Rio de Janeiro (RJMR) e Santa Catarina (SCMR), e observaram que a maioria dos índices relacionados à precipitação apresenta tendências positivas, especialmente nos índices de precipitação extrema. Correlações positivas estatisticamente significativas são descobertas entre eventos de deslizamentos de terra/inundações repentinas e precipitação máxima anual de 1 dia e 5 dias consecutivos, e esses índices podem ser indicadores úteis de eventos de risco natural para estas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Todos esses estudos mostram em comum a tendência crescente de extremos de precipitação no sudeste da América do Sul nos últimos 70 anos. Por exemplo, a cidade de São Paulo mostrou um aumento significativo no volume total de precipitação da estação chuvosa durante as últimas sete décadas. Na estação Mirante de Santana (INMET), na década de 1960, houve 40 dias com pluviosidade extrema, 37 acima de 50 mm e três com chuva superior a 80 mm. Mas nenhuma ocorrência de chuva diária ultrapassou os 100 mm. A partir dos anos 1990, sempre foram registrados ao menos 60 dias com chuvas extremas a cada década. Entre 2011 e 2020, apareceu um indício ainda mais preocupante. Ocorreu uma pequena redução no número de dias com chuvas superiores a 50 mm, mas um aumento expressivo na quantidade de episódios de pluviosidade concentrada dos outros dois níveis. Comparando os resultados

da década passada com a anterior (2001 a 2010), houve uma redução discreta na incidência de dias com chuva acima de 50 mm (de 53 para 47), mas um aumento significativo de dias com chuva acima de 80 mm (de 9 para 16 ocorrências) e 100 mm (de 2 para 7). Comportamento similar pode ser observar na estação do IAG USP. Isso mostra que na capital paulista, as chuvas volumosas tendem a ficar mais frequentes (Figura 4).



Fonte: Marengo *et al.* (2020).

Figura 4. Número de dias por década com chuva de 50, 80 e 100 mm na Região Metropolitana de São Paulo, estações do IAG USP e Mirante de Santana.

A cidade de Belo Horizonte mostrou na década de 1960, 5 dias com precipitação acima de 80 mm, enquanto esse número aumentou para 12 no final da década de 2010. Isso, juntamente com a ocupação inadequada de áreas de risco na periferia das grandes cidades, como encostas e margens de cursos d’água, leva a inundações, enxurradas e deslizamentos de terra (Marengo *et al.*, 2023; Alvala *et al.*, 2024; Alcantara *et al.*, 2023). O sudeste da América do Sul tem visto um aumento na precipitação anual total e na frequência de eventos extremos de chuva (Skanski *et al.*, 2013; Donat *et al.*, 2013). Marrafon e Reboita (2020) detectaram uma tendência positiva em dias secos consecutivos no nordeste do Brasil e nos Andes durante o inverno. Um padrão similar de intensificação dos dias de chuva extrema também foi observado em duas capitais situadas em pontos opostos do país, Belém, no Pará, e Porto Alegre, no Rio Grande do Sul (Marengo *et al.*, 2020).

Assim, tendências positivas recentes na precipitação em geral e em eventos extremos de chuva especificamente representam ameaças tangíveis e perigosas à vida humana com alto risco de desastres hidro-geo-meteorológicos. O aquecimento aumenta o risco de deslizamentos de terras e inundações repentinas no contexto das alterações climáticas, tais como projeções de aumento de chuvas extremas. A mudança nos impactos potenciais de deslizamentos de terra e inundações mostra que algumas regiões densamente povoadas, são as mais expostas a deslizamentos de terra e inundações. Destacam-se o Sul e Sudeste do Brasil, incluindo regiões metropolitanas com alto desenvolvimento econômico e densamente povoadas, que podem ser aquelas onde os desastres podem se

intensificar tanto em termos de frequência quanto de magnitude. As projeções do clima futuro permitem resultados conclusivos quanto à intensificação de eventos extremos de chuva em cenários abaixo de 4°C (Marengo *et al.*, 2021).

O aumento da temperatura do planeta implica um aumento da umidade atmosférica, que é ainda maior em regiões tropicais (IPCC, 2021). Em outras palavras, sistemas climáticos transitórios enfrentam maiores quantidades de umidade nos dias atuais do que nas últimas décadas, gerando precipitação de curto prazo mais intensa. Isso é totalmente consistente com as tendências positivas em extremos de precipitação no sudeste da América do Sul. Sistemas semipermanentes como a ZCAS também estão, quando presentes, se desenvolvendo em ambientes com mais água precipitável. Sistemas ciclônicos fortes dependem da disponibilidade de umidade para gerar liberação de calor latente, que está se tornando mais frequente atualmente (Marrafon *et al.*, 2021). Esse raciocínio é consistente com o aumento da frequência de ciclones intensos desde a década de 1970, particularmente durante junho-agosto, detectados no Atlântico Sul por Marrafon *et al.* (2021). Devido a lacunas de dados em outras regiões do continente (América do Sul Tropical), é difícil identificar tendências de longo prazo em extremos de precipitação nessas regiões.

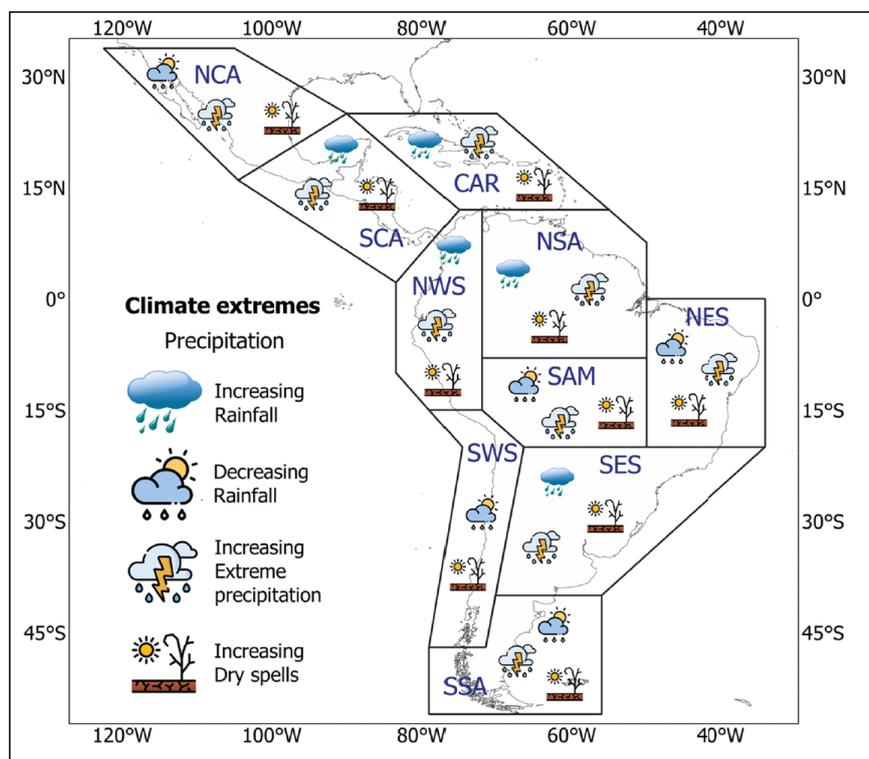
Cenários futuros de extremos de precipitação e seca

Espera-se que as mudanças climáticas alterem significativamente a frequência e a intensidade de eventos climáticos extremos na América do Sul, com implicações profundas para ecossistemas, saúde humana e infraestrutura. Esta seção discute as mudanças projetadas em extremos de precipitação, com base nos modelos do Coupled Model Intercomparison Project Fase 6 (CMIP6) e avaliações do Sexto Relatório de Avaliação AR6 do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas IPCC (IPCC, 2021), e novas evidências publicadas depois dele. Os modelos globais usados para cenários de mudanças climáticas não são precisos o suficiente para prever a variabilidade temporal de sistemas meteorológicos transitórios, como frentes atmosféricas, ciclones, anticiclones e zonas de convergência, entre outros (IPCC, 2021). A precipitação média está projetada para aumentar no Sudeste da América do Sul (alta confiança). Ela diminui no Nordeste da América do Sul (confiança média). Essa tendência é consistente entre as projeções do modelo até o meio do século XXI para os cenários RCP4.5 e RCP8.5.

Avila *et al.*, (2022) avaliaram projeções de modelos do High-Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP) para projeções de extremos de precipitação (Frisch *et al.*, 2002) para 2021–2050 em relação a 1981–2014 sob o SSP5–8.5 para várias regiões da América do Sul). A Figura 5 resume as mudanças projetadas em precipitação, extremos de precipitação, períodos de seca e aridez. Resumo das mudanças projetadas em extremos de precipitação nas várias regiões para a América do Sul 2021–2050 para modelos globais CMIP6 sob o cenário SSP5-8.5 (IPCC, 2021; Avila *et al.*, 2022).

Os impactos das mudanças na precipitação na América do Sul são complexos e variam significativamente por região (Dunn *et al.*, 2020, 2024; Olmo *et al.*, 2022a; Lagos-Zuñiga *et al.*, 2022). Sobre as mudanças projetadas na precipitação, Ambrizzi *et al.* (2019) destacam os avanços na modelagem climática regional que melhoraram nossa compreensão de como esses eventos extremos podem se manifestar na América do Sul. Nesse sentido, Lagos-Zuñiga *et al.* (2022) avaliaram as mudanças no índice RX5day (precipitação acumulada em cinco dias consecutivos - Frisch *et al.*, 2002) com base em um conjunto de nove modelos climáticos regionais. Eles descobriram que aumentos consistentes desse índice no sudeste da América do Sul são esperados até o final do século (2071–2099) quando comparado ao período base 1981–2005 no RCP8.5.

No Brasil, os impactos das mudanças nos padrões de precipitação serão particularmente diversos. Por exemplo, na Bacia Amazônica, Alves *et al.* (2021) avaliam a variabilidade da precipitação e mudanças futuras em várias escalas de tempo, observando que a região pode experimentar estações secas mais pronunciadas e chuvas intensas durante a estação chuvosa. Essa combinação aumenta os riscos de secas e inundações, ameaçando o delicado equilíbrio do ecossistema amazônico e os meios de subsistência das pessoas que dependem dele. Pendergrass *et al.* (2017) destacam a tendência global de aumento da variabilidade da precipitação sob um clima mais quente, o que sugere que a região Nordeste pode enfrentar períodos de seca mais prolongados.



Fonte: Adaptado de Figura 15 de Avila *et al.* (2022).

Figura 5. Resumo das mudanças projetadas nos extremos climáticos de precipitação para cada região de referência da América Latina e Caribe para o período de 2021–2050 sob o cenário SSP5-8.5.

Essas mudanças projetadas ressaltam os impactos diferentes das mudanças climáticas na precipitação na América do Sul. Regiões como o sudeste da América do Sul podem enfrentar o aumento de inundações e desastres relacionados à excesso de chuva. Ashfaq *et al.* (2021) enfatizam ainda mais a importância de compreender essas diferenças regionais, pois serão essenciais para o desenvolvimento de estratégias de adaptação direcionadas que atendam às necessidades específicas de cada área.

Os modelos climáticos preveem mudanças na vazão dos rios, afetando a disponibilidade de água, mas eles lutam para prever com precisão as mudanças na frequência e magnitude das inundações (IPCC, 2021; 2022). Além disso, a intensificação do El Niño-Oscilação Sul (ENSO) devido às mudanças climáticas pode levar a eventos extremos de chuva no Sudeste da América do Sul, incluindo o sul e sudeste do Brasil (Collazo *et al.*, 2023). Esta região pode sofrer chuvas extremas e inundações, A frequência aumentada de tais eventos pode sobrecarregar os sistemas de resposta a desastres e exacerbar as desigualdades sociais e econômicas existentes, particularmente em regiões com recursos e infraestrutura limitados.

Assim, o Brasil tem regiões mais suscetíveis a catástrofes climáticas relacionadas a chuvas do que outras. As principais são a Serra do Mar, a Serra da Mantiqueira e a Serra Geral, na extensão que vai do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná a Santa Catarina. É uma área cujo terreno é bem conhecido, em que temos uma concentração de escorregamentos e fluxos de detritos e inundações. Com a crise climática e aumento nos índices pluviométricos, a tendência é que áreas suscetíveis a deslizamentos e inundações tenham eventos de magnitudes ainda maiores. Qualquer município dentro dessas serras vai continuar tendo movimentos como deslizamentos. Isso faz parte da natureza daquele compartimento geológico. Cenários futuros de extremos de chuva podem agravar ainda mais a ameaça e aumentar o risco de desastres em áreas vulneráveis e expostas (Marengo *et al.*, 2021).

Conclusões

Eventos climáticos e meteorológicos extremos causam impactos na população e na economia, bem como danos ao meio ambiente e riscos à saúde. É por isso que são tão perigosos e precisam de medidas preventivas e estudos socioambientais para reduzir seus impactos. Portanto, é muito importante analisar eventos extremos para identificar suas tendências atuais e explorar as possíveis mudanças que as mudanças climáticas induzirão em sua frequência e intensidade. Isso é extremamente importante em regiões onde eventos extremos de chuva desencadeiam desastres e podem afetar populações vulneráveis que vivem em áreas expostas. A população pobre é a que mais sofre e, dependendo da magnitude do desastre, os impactos chegam a todas as camadas. Isso aconteceu nas enchentes do Rio Grande do Sul, que atingiram desde o pequeno produtor ao grande latifundiário.

Os Planos nacionais de adaptação ou mudanças climáticas podem ser muito úteis para propor uma estrutura legal para ajudar a população a lidar com os impactos de extremos de variabilidade climática e mudanças climáticas. Esta é a dimensão central do debate sobre justiça climática (IPCC, 2022). Eventos climáticos extremos podem ser especialmente prejudiciais para sistemas urbanos complexos porque grande parte da população urbana do mundo vive em áreas costeiras baixas. Metade da população mundial vive em cidades e uma grande parte da indústria mundial também está localizada lá. Até 2050, mais de 70% da população – 6,4 bilhões de pessoas – deverá viver em áreas urbanas. As projeções climáticas para meados e fim do século XXI mostram para a América do Sul um aumento na intensidade de eventos de chuva no sudeste da América do Sul, o que implica riscos significativos não apenas para áreas urbanas, mas também para agricultura, recursos hídricos e ecossistemas em toda a região e o maior risco de desastres. Portanto, mais estudos são necessários para entender os extremos de precipitação, e também de secas das causas às tendências, para melhorar nossa compreensão das tendências extremas de precipitação e como elas podem desencadear desastres climáticos.

Este estudo não contempla o tema de secas, mas certamente deve ser avaliado em estudos futuros, pois tanto secas como extremos de chuva podem afetar a segurança alimentar, energética, hídrica saúde e risco de fogo. Em relação à seca, há necessidade de desenvolver estratégias para lidar com seus impactos, do monitoramento ao alerta precoce, para que ações governamentais de proteção à população possam ser implementadas. Quando a seca ocorre com ondas de calor, esses eventos compostos de seca e calor impactam diretamente o risco de incêndios florestais e a hidrologia dos rios. Possíveis mudanças no clima e nos extremos climáticos devido ao aquecimento global também aumentam a necessidade de melhores previsões, sistemas de alerta precoce e avaliações de risco de desastres para a população e instrutura estratégica.

Referências

ALCÂNTARA, E.; MARENGO, J.; MANTOVANI, J.; LONDE, L.R.; SAN, L. Y.; PARK, E.; LIN, Y. N.; WANG, J.; MENDES, T.; CUNHA, A. P.; PAMPUCH, L.; SELUCHI, M. E.; SIMÕES, S.; CUARTAS, L. A.; GONCALVES, D.; MASSI, K.; ALVALÁ, R. C. S.; MORAES, O. L.; SOUZA FILHO, C.; MENDES, R.; NOBRE, C.A. Deadly disasters in southeastern South America: flash floods and landslides of February 2022 in Petrópolis, Rio de Janeiro, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 23, 1–19. 2023. <https://doi.org/10.5194/nhess-23-1-2023>

ALIANÇA BRASILEIRA PELA CULTURA OCEÂNICA. **Brasil em transformação: o impacto da crise climática.** Caderno Técnico I, 2024: o ano mais quente da história. (UNIFESP-UNESCO-MCTI)/FGB. Santos, SP, 2025. Disponível: <https://www.uol.com.br/ecoa/colunas/noticias-da-floresta/2025/01/25/desastres-climaticos-no-brasil-aumentam-460-em-relacao-aos-anos-1990.htm>

- ALVALÁ, R.C.S.; RIBEIRO, D.F.; MARENGO, J.Á.; SELUCHI, M.E.; GONÇALVES, D.M.; DA SILVA, L.A.; CUARTAS PINEDA, L.A.; SAITO, S. Analysis of the hydrological disaster occurred in the state of Rio Grande do Sul, Brazil in September 2023: Vulnerabilities and risk management capabilities, **International Journal of Disaster Risk Reduction** 110. 2024. 104645. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104645>
- Alves, L.M.; Chadwick, R.; Moise, A.; Brown, J.; Marengo, J.A.; Assessment of rainfall variability and future change in Brazil across multiple timescales. **Int J Climatol**. 41 (Suppl. 1): E1875–E1888. 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.6818>
- AMBRIZZI, T.; REBOITA, M.S.; DA ROCHA, R.P.; LLOPART, M. The state of the art and fundamental aspects of regional climate modeling in South America. **Ann. N.Y. Acad. Sci.**, 1436: 98-120. 2019. <https://doi.org/10.1111/nyas.13932>
- ASHFAQ, M.; CAVAZOS, T.; REBOITA, M. S.; TORRES-ALAVEZ, J. A.; IM, E. S.; OLUSEGUN, C. F.; ALVES, L.; KEY, K.; ADENIYI, M. O.; TALL, M.; SYLLA, M. B.; MEHMOOD, S.; ZAFAR, Q.; DAS, S.; DIALLO, I.; COPPOLA, E.; GIORGI, F. Robust late twenty-first century shift in the regional monsoons in RegCM-CORDEX simulations. **Climate Dynamics**, 57(5-6), 1463-1488. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05306-2>
- AVILA, A.; JUSTINO, F.; WILSON, A.; BROMWICH, D.; AMORIM, M. Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil, **Environ. Res. Lett.** 11 114029. 2016. doi:10.1088/1748-9326/11/11/114029
- AVILA, A.; GUERRERO, F.C.; ESCOBAR, Y.S.; JUSTINO, F. Recent Precipitation Trends and Floods in the Colombian Andes, **Water**, 11, 379. 2019. doi:10.3390/w11020379
- AVILA, A.; TORRES, R. R.; ZULUAGA, C. F.; CERÓN, W.; OLIVEIRA, L.; BENEZOLI, V.; RIVERA, I.A.; MARENGO, J. A.; WILSON, A. B.; MEDEIROS F. Current and Future Climate Extremes Over Latin America and Caribbean: Assessing Earth System Models from High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP)), Vol.:(0112 33456789) **Earth Systems and Environment**, 2022. <https://doi.org/10.1007/s41748-022-00337-7>
- BALMACEDA-HUARTE, R.; OLMO, M.E.; BETTOLLI, M.L. Regional climate projections of daily extreme temperatures in Argentina applying statistical downscaling to CMIP5 and CMIP6 models. **Climate Dynamics**. 2024. <https://doi.org/10.1007/s00382-024-07147-9>
- BALMACEDA HUARTE, R.; OLMO, M.; BETTOLLI, M.L.; POGGI, M.M. Evaluation of multiple reanalyses in reproducing the spatio-temporal variability of temperature and precipitation indices over southern South America. **International Journal of Climatology**. 2021. doi: 10.1002/joc.7142.
- CERÓN, W.L.; KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; CANCHALA, T.; AVILA-DIAZ, A.; RIBEIRO, I.; ROJA, J.; ESCOBAR-CARBONARI, J.; TAPASCO, J. New insights into trends of rainfall extremes in the Amazon basin through trend-empirical orthogonal

- function (1981–2021), *Int J Climatol*. 2024. 44:3955–3975. doi: 10.1002/joc.856
- COLLAZO, S.; BARRUCAND, M.; RUSTICUCCI, M. Hot and dry compound events in South America: present climate and future projections, and their association with the Pacific Ocean. *Nat Hazards* 119, 299–323. 2023. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06119-2>
- DONAT, M.G.; ALEXANDER, L.V.; YANG, H. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: the HadEX2 dataset. *J Geophys Res Atmos*. 2013. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50150>
- DUNN, R. J. H.; ALEXANDER, L. V.; DONAT, M. G.; ZHANG, X.; BADOR, M.; HEROLD, N.; et al. Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125, e2019JD032263. 2020. <https://doi.org/10.1029/2019JD032263>
- DUNN, R. J. H.; HEROLD, N.; ALEXANDER, L. V.; DONAT, M. G.; ALLAN, R.; BADOR, M.; et al. Observed global changes in sector-relevant climate extremes indices—An extension to HadEX3. *Earth and Space Science*, 11, e2023EA003279. 2024. <https://doi.org/10.1029/2023EA003279>
- FLOODLIST. **Bolivia** – 20 Feared Missing After Floods in Tarija. 2023. Disponível em: <https://floodlist.com/america/floods-tarija-bolivia-february-2022>
- FLOODLIST. **Brazil** – 8 Killed in Floods and Landslides As Rain Lashes State of Rio de Janeiro 2024a. Disponível em: <https://floodlist.com/america/brazil-floods-rio-de-janeiro-february-2024>
- FLOODLIST. **Brazil** – 11 Dead, Thousands Displaced After Floods and Landslides in Rio Grande do Sul 2024b. Disponível em: <https://floodlist.com/america/brazil-floods-rio-grande-do-sul-june-2023>
- FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; TANK, A. K.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19(3), 193–212. 2002. <https://doi.org/10.3354/cr019193>
- HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature, *J of Climate*, 18 (1490-1512). 2006.
- IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp. 2012.
- IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y.

Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. 2013.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change** (2021) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Reitzel, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32. 2021. doi:10.1017/9781009157896.001.

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 University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 3056. 2022. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

IPCC SREX. Summary for Policymakers. In: **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation** [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 3-21. 2012.

LAGOS-ZÚÑIGA, M.; BALMACEDA-HUARTE, R.; REGOTO, P.; TORREZ, L.; OLMO, M.; LYRA, A.; PAREJA-QUISPE, D.; BETTOLLI, M.L. Extreme indices of temperature and precipitation in South America: trends and intercomparison of regional climate models. **Climate Dynamics**. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06598-2>

MARENGO, J.; ALVES, L.; AMBRIZZI, T.; YOUNG, A.; BARRETO, N.; RAMOS, A. Trends in extreme rainfall and hydrogeometeorological disasters in the Metropolitan Area of São Paulo: a review. **Ann NY Acad Sci**. 2020. <https://doi.org/10.1111/nyas.14307>

MARENGO, J.A.; CAMARINHA, P.I.; ALVES, L.M.; DINIZ, F.; BETTS, R.A. Extreme Rainfall and Hydro-Geo-Meteorological Disaster Risk in 1.5, 2.0, and 4.0°C Global Warming Scenarios: An Analysis for Brazil. **Front. Clim.** 3:610433. 2021. doi: 10.3389/fclim.2021.610433

MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A. P.; SELUCHI, M. E.; NOBRE, C.A.; DOLIF, G.; GONCALVES, D.; ASSIS DIAS, M.; CUARTAS, L. A.; BENDER, F.; RAMOS, A. M.; MANTOVANI, J. R.; ALVALÁ, R.C.S.; MORAES, O.L. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, 39, 100545. 2023 doi: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100545>

MARENGO, J.A.; DOLIF, G.; CUARTAS, A.; CAMARINHA, P.; GONCALVES, D.; LUIZ, R.; SILVA, L.; ALVALA, R. C. S.; SELUCHI, M.E.; MORAES, O.L.; SOARES, W.R.; NOBRE, C.A. O Maior Desastre Climático do Brasil: Chuvas e

Inundações no Estado de Rio Grande do Sul em Abril-Maio 2024, In: **Press, Revista do Instituto de Estudos Avançados da USP**. 2024.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P. et al. **Heavy rains and hydrogeological disasters on February 18th-19th, 2023, in the city of São Sebastião, São Paulo, Brazil: from meteorological causes to early warnings**, submitted Natural Hazards. 2024b.

MARRAFON, V.H.; REBOITA, M. Características da Precipitação na América do Sul reveladas através de Índices Climáticos. In: **Revista Brasileira de Climatologia**. June 2020. doi: 10.5380/abclima.v26i0.72181

MARRAFON, V.H.; REBOITA, M.S.; DA ROCHA, R.P.; CRESPO, N. Extratropical cyclones in the Southern Hemisphere: comparison among different reanalyses. In: **Revista Brasileira de Climatologia**, 17(28) – Jan/Jun, 2021. doi: dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.74460

OLMO, M.; BALMACEDA-HUARTE, R.; BETTOLLI, M.L. Multi-model ensemble of statistically downscaled GCMs over southeastern South America: historical evaluation and future projections of daily precipitation with focus on extremes. **Climate Dynamics**. 2022. doi: 10.1007/s00382-022-06236-x

PENALBA, O.C.; ROBLEDO, F. Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. **Climatic Change** 98 (Issue 3), 531–550. 2010.

PENDERGRASS, A.G.; KNUTTI, R.; LEHNER, F.; DESER, C.; SANDERSON, B.M. Precipitation variability increases in a warmer climate. **Sci Rep.** 2, Dec 21;7(1):17966. 2017. doi: 10.1038/s41598-017-17966-y

POVEDA, G.; ESPINOZA, J. C.; ZULUAGA, M. D.; SOLMAN, S. A.; GARREAUD, R.; VAN OEVELEN, P. J. High Impact Weather Events in the Andes. **Frontiers in Earth Science**, 8, 509764. 2020. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00162>

RE, M.; BARROS, V. Extreme rainfalls in SE south America. **Climatic Change**, 96, 119. 2009.

RIVERA, J.A.; OTTA, S.A.; LAURO, C.; ZAZULIE, N. A Decade of Hydrological Drought in Central-Western Argentina. **Frontiers in Water**. 2021. doi: 10.3389/frwa.2021.640544

SALGADO-GÁLVEZ, M.A. Estimating the Lost Economic Production Caused by Internal Displacement Because of Disasters. **Int J Disaster Risk Sci**, 9, 496–506. 2018. <https://doi.org/10.1007/s13753-018-0190-9>

SANTOS, C. A. C. D.; SATYAMURTY, P.; SANTOS, E. M. D. Tendências de índices de extremos climáticos para a região de Manaus-AM. **Acta Amazonica**, 42(3): 329-336, 2012.

SENEVIRATNE, S.I.; ZHANG, X.; ADNAN, M.; BADI, W.; DERECHYNSKI, C.; DI LUCA, A.; GHOSH, S.; ISKANDAR, I.; KOSSIN, J.; LEWIS, S.; OTTO, F.; PINTO, I.; SATOH, M.; VICENTE-SERRANO, S.M.; WEHNER, M.; ZHOU, B. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: **Climate Change 2021:**

The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766. 2021. doi: 10.1017/9781009157896.013.

SKANSI, M. D. L. M.; BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; AGUILAR, E.; ANDRÉS, J.; GROENING, A.; BENTACUR, O. J.; ROSA, Y.; GEIER, C.; LEONOR, R.; AMAYA, C.; JÁCOME, H.; MALHEIROS, A.; ORIA, C.; MAX, A.; SALLONS, S.; VILLAROEL, C.; MARTÍNEZ, R.; ALEXANDER, L. V.; JONES, P. D. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. **Global and Planetary Change**, 100:295–307. 2013.

VIALE, M.; VALENZUELA, R.; GARREAUD, R.; MARTIN RALPH, F. Impacts of Atmospheric Rivers on Precipitation in Southern South America. *J. of Hydrology*. 2018. doi: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-18-0006.1>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). State of Climate for Latin America and Caribbean 2023. WMO, Geneva, Switzerland. 2024.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). State of Climate for Latin America and Caribbean 2024. WMO, Geneva, Switzerland. (em preparação). 2025.



Artesanato Terena, da Aldeia Kopenoti - Terra Indígena de Araribá, Avaí - SP.
Crédito: Irineu Njhea Terena.