



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Thalita Fernandes da Cunha

**MUDANÇAS NA DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EXTREMA PARA
CENÁRIOS ATUAL E FUTURO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA O BRASIL**

Prof. Dr. Henderson Silva Wanderley
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Thalita Fernandes da Cunha

**MUDANÇAS NA DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EXTREMA PARA
CENÁRIOS ATUAL E FUTURO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA O BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. Henderson Silva Wanderley
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JUNHO – 2026

MUDANÇAS NA DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO EXTREMA PARA CENÁRIOS ATUAL E FUTURO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA O BRASIL

Thalita Fernandes da Cunha

APROVADA EM: 19 de Junho de 2026

BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **HENDERSON SILVA WANDERLEY**
Data: 25/06/2026 18:34:41 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Henderson Silva Wanderley – UFRRJ
Orientador

Documento assinado digitalmente
 **BRUNO ARAUJO FURTADO DE MENDONÇA**
Data: 25/06/2026 18:42:14 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Bruno Araujo Furtado de Mendonça – UFRRJ
Membro

Documento assinado digitalmente
 **DANIELA ROBERTA BORELLA**
Data: 25/06/2026 18:49:23 -0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profª. Drª. Daniela Roberta Borella – UFRRJ
Membro

Foi o tempo que dedicaste à tua rosa que a
fez tão importante.

O Pequeno Príncipe

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao meu orientador, Henderson, pela oportunidade, paciência, aprendizados e por acreditar no meu potencial ao longo desses anos, o que tornou esta pesquisa possível.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite, se disponibilizarem para a avaliação e, assim, agregarem mais conhecimento ao trabalho.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pelo acesso ao ensino gratuito, de qualidade e público.

À FAPERJ, por proporcionar o financiamento das bolsas de iniciação científica, que foi importante durante minha trajetória na graduação.

Aos professores da universidade, em especial aos do Instituto de Florestas e ao professor Bruno, que me orienta no estágio interno, auxiliando e contribuindo para o meu aprendizado nesse momento final.

Às minhas amigas Lívia, Sara, Naila e Manu, que, apesar das particularidades e diferenças, tornaram o dia a dia mais leve, aconchegante, engraçado e feliz. Obrigada por serem vocês, por estarem comigo em momentos difíceis, pelo apoio, por acreditarem em mim até mais do que eu mesma e por terem feito parte desse momento tão importante e marcante para mim.

Ao meu amigo Renan, que esteve do meu lado desde o primeiro dia de aula, quando tudo era muito novo e estávamos eufóricos. Obrigada pela amizade e carinho que construímos juntos.

Aos meus pais, Maria Helena e Izaede, pelos incentivos aos estudos, por reconhecerem minha capacidade, por poder sempre contar com vocês, pelas energias positivas e por estarem ao meu lado, mesmo estando em outro estado. Obrigada pelo amor incondicional, por todos os ensinamentos e virtudes que moldaram e continuam moldando a pessoa que sou.

À minha irmã Taymara, ao meu cunhado Leonel e à minha sobrinha Maria Clara, por serem família, moradia e casa, estando comigo nos meus dias mais felizes e nos mais tristes também. Obrigada pela convivência do dia a dia, pelo suporte, apoio, por cuidarem tão bem de mim, por me incluírem e por sempre pensarem em mim antes de vocês mesmos.

Ao meu irmão Tayguara, por todo o carinho, cuidado, apoio emocional, pelo abraço de urso e por me ajudar absolutamente sempre que preciso. Obrigada por ser abrigo.

À minha melhor amiga Rafa, por estar comigo desde quando meu sotaque mineiro ainda era carregado até os dias atuais, não largando minha mão em momento algum. Obrigada por sempre ser essa amiga companheira, leal e cuidadosa, por nunca deixar de acreditar em mim e por sempre estar ao meu lado.

Ao meu melhor amigo do ensino médio, Lucca, por sempre tornar meus dias mais felizes e me proporcionar as melhores gargalhadas. Obrigada por ser exatamente do jeito que é.

À minha madrinha Renata, por me apoiar nas minhas loucuras, pelas broncas, pelo carinho e zelo. Obrigada por ser minha segunda mãe.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até este momento.

Meu mais sincero obrigada!

RESUMO

As mudanças climáticas têm alterado os padrões de precipitação em diversas regiões do mundo, influenciando a frequência e a intensidade dos eventos extremos. No Brasil, episódios recentes de secas, enchentes, inundações e deslizamentos evidenciam a vulnerabilidade do país frente às alterações climáticas. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo identificar mudanças na distribuição da precipitação extrema para cenários atual e futuro de mudanças climáticas para diferentes regiões do Brasil. Para isso, foram utilizadas 17 estações meteorológicas distribuídas pelo território brasileiro, considerando a análise de índices de precipitação relacionados às mudanças climáticas: precipitação anual total dos dias úmidos (PRCPTOT), número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano (CDD), número máximo de dias consecutivos com chuva no ano (CWD), máxima precipitação anual em 1 dia (RX1day) e máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (RX5day) com base em dados projetados pelos modelos climáticos, CanESM5, MIROC6 e MPI-ESM1, pertencentes ao CMIP6, considerando os cenários intermediário (SSP 4.5) e pessimista (SSP5-8.5). A avaliação contou com dados médios dos modelos climáticos para período histórico (1990 a 2020) e para cenários futuros (2021 a 2100). Os resultados indicaram redução do índice PRCPTOT para a maior parte das estações analisadas, com variações entre 20,14 e 321,3 mm/século no cenário SSP2-4.5 e entre 142,15 e 489,49 mm/século no cenário SSP5-8.5. O índice CDD apresentou aumento entre aproximadamente 3 e 40 dias/século no SSP2-4.5 e entre 1 e 51 dias/século no SSP5-8.5, enquanto CWD apresentou redução entre 0 e 10 dias/século e entre 0 e 19 dias/século, respectivamente. Para os índices de precipitação extrema, observou-se aumento da precipitação máxima em um dia (RX1day), com variações entre 0,73 e 15,9 mm/dia no SSP2-4.5 e entre 0,89 e 31,6 mm/dia no SSP5-8.5, bem como RX5day, variando entre 1,3 e 29,22 mm/5 dias e entre 3,57 e 35,49 mm/5 dias, respectivamente. Dessa forma, os resultados indicam que as mudanças climáticas poderão alterar os regimes de precipitação no Brasil, promovendo a combinação de períodos secos mais prolongados e eventos de chuva mais intensos, principalmente sob o cenário pessimista SSP5-8.5. Esse cenário reforça a necessidade de medidas de adaptação e planejamento voltadas ao enfrentamento dos impactos associados aos eventos extremos de precipitação.

Palavras-chave: Chuva; Seca; Eventos Extremos; Modelos Climáticos

ABSTRACT

Climate change has changed precipitation patterns in several regions of the world, influencing the frequency and intensity of extreme events. In Brazil, recent episodes of droughts, floods, floods and landslides show the country's vulnerability to climate change. In this context, this study aimed to identify changes in the distribution of extreme precipitation for current and future scenarios of climate change for different regions of Brazil. For this, 17 weather stations distributed throughout the Brazilian territory were used, considering the analysis of precipitation indices related to climate change: total annual precipitation of wet days (PRCPTOT), maximum number of consecutive days without rain in the year (CDD), maximum number of consecutive days with rain in the year (CWD), maximum annual precipitation in 1 day (RX1day) and maximum annual precipitation in 5 consecutive days (RX5day) based on data projected by the models Climate, CanESM5, MIROC6 and MPI-ESM1, belonging to CMIP6, considering the intermediate (SSP 4.5) and pessimistic (SSP5-8.5) scenarios. The evaluation relied on average data from climate models for historical period (1990 to 2020) and for future scenarios (2021 to 2100). The results indicated a reduction in the PRCPTOT index for most of the stations analyzed, with variations between 20.14 and 321.3 mm/century in the SSP2-4.5 scenario and between 142.15 and 489.49 mm/century in the SSP5-8.5. scenario. The CDD index showed an increase between approximately 3 and 40 days/century in SSP2-4.5 and between 1 and 51 days/century in SSP5-8.5, while CWD showed a reduction between 0 and 10 days/century and between 0 and 19 days/century, respectively. For extreme precipitation rates, an increase in maximum precipitation in one day (RX1day) was observed, with variations between 0.73 and 15.9 mm/day in SSP2-4.5 and between 0.89 and 31.6 mm/day in SSP5-8.5, as well as RX5day, ranging between 1.3 and 29.22 mm/5 days and between 3.57 and 35.49 mm/5 days, respectively. Thus, the results indicate that climate change may change precipitation regimes in Brazil, promoting the combination of longer dry periods and more intense rain events, especially under the pessimistic scenario SSP5-8.5. This scenario reinforces the need for adaptation and planning measures aimed at confronting the impacts associated with extreme precipitation events.

Keywords: Rain; Drought; Extreme Events; Weather Models

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	1
2.1. Precipitação	2
2.2. Eventos Extremos de Precipitação	2
2.3. Índices de Precipitação Extrema	3
2.4. Mudanças Climáticas	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1. Área de Estudo e Dados Utilizados	5
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
4.1. Precipitação anual total dos dias úmidos (PRCPTOT)	9
4.2. Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano (CDD)	12
4.3. Número máximo de dias consecutivos com chuva no ano (CWD)	14
4.4. Máxima precipitação anual em 1 dia (RX1day)	16
4.5. Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (RX5day)	18
5. CONCLUSÃO	20
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

Eventos extremos, particularmente os de precipitação pluvial, têm preocupado pesquisadores, devido às mudanças na frequência e intensidade desses eventos extremos no mundo, por ocasionarem prejuízos sociais, econômicos e ambientais (Da Silva G. *et al.*, 2020; Dias; Matos, 2023; Liu, Y. *et al.*, 2020).

O aumento da temperatura do ar média global observada nas últimas décadas tem provocado alterações nos padrões climáticos e desequilíbrios ambientais em diferentes regiões do planeta. Essas mudanças representam ameaças significativas para os seres humanos e para diversas formas de vida na Terra. À medida que aumenta a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera intensifica-se também o aquecimento global, o que favorece a ocorrência de desastres ambientais e eventos climáticos extremos (National Aeronautics and Space Administration, 2023).

Estudos da Confederação Nacional de Municípios (CNM) demonstram que eventos extremos associados à precipitação têm afetado grande parte dos municípios brasileiros, especialmente por meio de inundações, enxurradas e alagamentos. Entre 2013 e 2022, esses eventos provocaram danos em 2,2 milhões de moradias e afetaram diretamente 4,2 milhões de pessoas, que precisaram sair de suas casas evidenciando a elevada vulnerabilidade socioambiental frente aos desastres hidrometeorológicos no Brasil (CNM, 2023).

Sob esse viés, as inundações figuram entre os desastres naturais com maior potencial de causar perdas humanas e impactos socioeconômicos em diversas regiões do mundo (Doocy *et al.*, 2013; World Meteorological Organization, 2023; Rentschler; Salhab; Jafino, 2022). O crescimento populacional, associado à degradação ambiental, às alterações nos ecossistemas e às mudanças climáticas, tem contribuído para o aumento da vulnerabilidade e dos riscos relacionados a esses eventos (Jongman *et al.*, 2015; Rogers *et al.*, 2025). Segundo Marengo *et al.* (2024), o evento ocorrido no Rio Grande do Sul entre abril e maio de 2024 configurou uma das maiores tragédias climáticas já registradas no Brasil, devido ao elevado número de pessoas afetadas e aos intensos prejuízos econômicos e estruturais.

Eventos como os ocorridos em Teresópolis (RJ) em 2011, Belo Horizonte (MG) em 2020, São Sebastião (SP) em 2023 e os mais recentes em Juiz de Fora e Ubá (MG) em 2026 evidenciam como eventos extremos de precipitação, associados à deficiência de infraestrutura urbana e ao crescimento desordenado das cidades, podem ampliar os impactos sociais, econômicos e ambientais sobre a população (Moreira, 2024).

Portanto, diante da intensificação dos eventos extremos de precipitação, torna-se fundamental compreender os padrões pluviométricos e as mudanças na distribuição da chuva nas diferentes regiões do Brasil. Esse entendimento contribui para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de adaptação voltadas à redução dos impactos ambientais, sociais e econômicos associados aos eventos extremos, além de auxiliar no planejamento urbano, agrícola e na gestão dos recursos hídricos. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo identificar mudanças na distribuição da precipitação extrema, para cenários atual e futuro de mudanças climáticas, para o Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Precipitação

A constante circulação da água no ciclo hidrológico faz com que ela permaneça em transformação e deslocamento entre diferentes compartimentos do planeta. Dessa forma, uma mesma molécula de água pode, em determinado momento, estar armazenada no subsolo, posteriormente escoar por rios até alcançar os oceanos, evaporar para a atmosfera, precipitar sobre os continentes e até integrar organismos vivos. Após processos como transpiração, decomposição ou evaporação, essa água retorna ao ambiente, dando continuidade ao ciclo hidrológico (Chambel, 2018).

Nesse contexto, a precipitação corresponde à água, em estado líquido ou sólido, que alcança a superfície terrestre em decorrência da condensação do vapor d'água presente na atmosfera, podendo ocorrer sob diferentes formas, como garoa, chuva, granizo, orvalho, geada e neve. A garoa caracteriza-se por gotículas muito finas, geralmente com diâmetros entre 0,1 e 0,5 mm, enquanto a chuva é formada por gotas maiores, com diâmetros entre 0,5 e 5 mm. Em determinadas condições atmosféricas, especialmente em nuvens convectivas de grande desenvolvimento vertical, pode ocorrer a formação de granizo, constituído por pedras de gelo de diferentes tamanhos. O orvalho resulta da condensação do vapor d'água sobre superfícies expostas devido ao resfriamento noturno, e, quando a temperatura do ar atinge valores inferiores a 0 °C, pode ocorrer a formação de geada, caracterizada pelo surgimento de cristais de gelo. Já a neve é proveniente da precipitação de cristais de gelo agrupados em flocos de formatos e dimensões variados, sendo sua ocorrência no Brasil limitada a pequenas áreas da região Sul do país (Naghetini, 2012).

As chuvas podem ser classificadas em convectivas, orográficas e frontais ou ciclônicas, de acordo com o processo responsável pela ascensão das massas de ar. As convectivas resultam do aquecimento da superfície terrestre e caracterizam-se por chuvas intensas e de curta duração. As orográficas ocorrem quando massas de ar úmidas encontram barreiras montanhosas, provocando chuvas geralmente persistentes nas encostas voltadas ao vento. Já as chuvas frontais ou ciclônicas são causadas pelo encontro entre massas de ar com diferentes temperaturas, apresentando longa duração e abrangendo grandes áreas (Rodrigues, 2012).

A precipitação é considerada uma das variáveis climáticas de maior relevância, desempenhando papel fundamental nos processos ambientais, hidrológicos e socioeconômicos. O conhecimento sobre sua distribuição e comportamento ao longo do tempo é essencial para o planejamento adequado de diversas atividades humanas (Costa *et al.*, 2015).

2.2. Eventos Extremos de Precipitação

O monitoramento e a mensuração adequados de eventos de chuva extrema são fundamentais para a compreensão dos processos associados aos fenômenos climáticos intensos, além de contribuírem para a análise das possíveis mudanças climáticas e de seus impactos futuros. As alterações nos padrões de ocorrência de eventos de precipitação extrema configuram-se entre os principais efeitos das mudanças climáticas globais, podendo provocar impactos expressivos tanto na sociedade quanto nos ecossistemas naturais. Além disso, estudos demonstram crescimento significativo na frequência e na intensidade dos eventos de precipitação extrema observados nas últimas décadas (Demirdjian; Zhou; Huffman, 2018).

As inundações graduais estão associadas a períodos prolongados de precipitação contínua, nos quais o excesso de água acumulado no solo dificulta a drenagem natural. Já as inundações bruscas ocorrem em decorrência de chuvas intensas e concentradas em curto intervalo de tempo. Além disso, a intensidade desses eventos e os impactos causados frequentemente podem estar relacionados à ocorrência de outros desastres naturais, como os deslizamento de solo e rochas, influenciados pela duração e abrangência espacial dos eventos

extremos de precipitação. O conhecimento da intensidade e da duração dos eventos extremos de precipitação é essencial para identificar áreas vulneráveis e auxiliar no planejamento urbano, agrícola e ambiental, além de contribuir para estratégias de prevenção e adaptação (Cardoso; Quadro; Bonetti, 2020).

Pesquisas sobre eventos extremos de precipitação demonstram que alterações no transporte e na distribuição da umidade atmosférica influenciam diretamente a ocorrência dessas chuvas (Clarke *et al.*, 2026; Gimeno *et al.*, 2016; Liu, B. *et al.*, 2020). Durante eventos extremos, verificou-se uma redução na contribuição das principais fontes de umidade para a precipitação total, embora algumas regiões, como o Atlântico Norte e o Mediterrâneo, tenham ampliado sua influência sobre as áreas continentais. Além disso, fatores climáticos, padrões de circulação atmosférica e processos regionais, como a reciclagem da água, desempenham um papel importante na intensificação e distribuição das precipitações extremas (Vazquez *et al.*, 2020).

Estudos recentes têm demonstrado que o aumento da temperatura do ar, contribui para o aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos de precipitação, especialmente aqueles de longa duração e grande abrangência espacial. Além disso, esses eventos podem provocar impactos ambientais e sociais significativos, como enchentes e deslizamentos (Hatsuzuka; Sato; Higuchi, 2021).

2.3. Índices de Precipitação Extrema

Os índices de precipitação extrema são amplamente utilizados para analisar alterações na intensidade, frequência e duração dos eventos de chuva, contribuindo para a compreensão da variabilidade climática e dos impactos das mudanças climáticas. Entre os 27 índices climáticos extremos, os principais índices para representar precipitação extrema, destacam-se RX1day, RX5day, R95p, SDII, R20mm CDD, CWD e PRCPTOT (Tabela 1), os quais permitem identificar períodos secos prolongados e eventos de precipitação intensa (Avila-Diaz *et al.*, 2020).

Os índices climáticos propostos pelo ETCCDI permitem padronizar a análise de eventos extremos, possibilitando a comparação espacial e temporal das alterações climáticas relacionadas à precipitação. Dessa forma, esses índices auxiliam na identificação de tendências associadas à ocorrência de eventos extremos em diferentes regiões (Reboita *et al.*, 2022).

Tabela 1. Índices de precipitação extrema conforme recomendado pelo ETCCDI.

ÍNDICE	DESCRIÇÃO	UNIDADE
PRCPTOT	Precipitação total anual, considerando chuva ≥ 1 mm	mm
RX1day	Precipitação máxima anual em 1 dia	mm
RX5day	Precipitação máxima anual em 5 dias consecutivos	mm
R95p	Precipitação total anual de dias $> 95^{\circ}$ percentil	mm
SDII	A razão da precipitação total anual para o número de dias úmidos (≥ 1 mm)	mm/dia
R20mm	Contagem anual de dias em que chuva ≥ 20 mm	dias

CWD	Número máximo de dias consecutivos com chuva ≥ 1 mm	dias
CDD	Número máximo de dias consecutivos sem chuva < 1 mm	dias

Fonte: A lista completa de índices e definições precisas está disponível em etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml

Diante disso, completando as análises climáticas, a fase 6 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6) reúne simulações de modelos climáticos globais, incluindo modelos acoplados de circulação geral atmosfera-oceano (AOGCM) e modelos do sistema terrestre (ESM), utilizados para representar e analisar o comportamento do clima em escala global (Grose *et al.*, 2020).

Estudos de mudanças climáticas também utilizam modelos climáticos globais para projeções futuras. No âmbito do CMIP6, as projeções climáticas futuras são fundamentadas em cinco trajetórias socioeconômicas compartilhadas (Shared Socioeconomic Pathways – SSPs), que representam diferentes cenários de desenvolvimento socioeconômico e emissões de gases de efeito estufa (Tabela 2) (O'Neill *et al.*, 2017).

Tabela 2. Descrição das trajetórias socioeconômicas compartilhadas (SSPs).

TRAJETÓRIA	DESCRIÇÃO
SSP1 “Sustentabilidade” Baixos desafios à mitigação e adaptação	Prevê uma transição para o desenvolvimento sustentável, com redução das desigualdades e uso mais eficiente dos recursos naturais e energéticos.
SSP2 “Trajetória intermediária” Desafios moderados à mitigação e adaptação	Apresenta continuidade das tendências atuais, com avanços lentos em sustentabilidade e manutenção das desigualdades sociais e ambientais, apesar de melhorias graduais no uso dos recursos naturais e energéticos.
SSP3 “Rivalidade regional” Altos desafios à mitigação e adaptação	É marcado pelo fortalecimento do nacionalismo e pela priorização de interesses regionais, resultando em baixo desenvolvimento econômico, redução de investimentos em educação e tecnologia, elevado consumo de recursos naturais e agravamento das desigualdades sociais e ambientais.
SSP4 “Desigualdade” Baixos desafios à mitigação e altos à adaptação	Apresenta forte desigualdade entre os países, com concentração do desenvolvimento tecnológico e econômico nas nações mais desenvolvidas. Além disso, persistem elevados níveis de consumo de recursos naturais, aumento dos conflitos e intensificação dos problemas sociais e ambientais.

SSP5	
“Desenvolvimento baseado em combustíveis fósseis”	Caracterizado por rápido crescimento econômico, avanço tecnológico e elevados investimentos em educação e saúde, porém associado ao intenso consumo de recursos naturais e combustíveis fósseis.
Altos desafios à mitigação e baixo à adaptação	

Fonte: Adaptado de O’NEILL *et al.*, 2017.

2.4. Mudanças Climáticas

Segundo Artaxo (2020), as mudanças climáticas têm provocado alterações nos regimes de precipitação e temperatura, no nível e na composição química dos oceanos, além de influenciar a fenologia das plantas, o funcionamento dos ecossistemas, a distribuição da biodiversidade e a dinâmica de organismos vetores de doenças. O autor destaca que esses efeitos resultam da interação entre mudanças climáticas, perda de biodiversidade e fatores sociais, afetando simultaneamente os sistemas naturais e as sociedades humanas. No Brasil, essas alterações têm contribuído para a intensificação de secas prolongadas e de eventos extremos de precipitação e inundação, com expressivos impactos ambientais, sociais e econômicos.

Nesse contexto, as mudanças climáticas têm se destacado como um dos principais desafios ambientais e sociais da atualidade, em razão dos impactos associados ao aumento da temperatura global, às alterações nos regimes de precipitação e à intensificação dos eventos climáticos extremos. Entretanto, apesar do amplo consenso científico acerca dessas transformações, a disseminação de desinformação e discursos negacionistas ainda representa um obstáculo para a compreensão pública sobre a gravidade do problema. O negacionismo climático contribui para a circulação de informações falsas e para a minimização dos efeitos das mudanças climáticas, dificultando o desenvolvimento de políticas públicas, estratégias de mitigação e ações de adaptação (Aguiar; Monteiro; Batista, 2022). Além disso, os autores também destacam que para o mês de maio de 2021, o Brasil registrou “quase meio milhão de pessoas afetadas por enchentes”, evidenciando os impactos sociais associados aos eventos extremos.

Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (2023), o aquecimento do sistema climático é inequívoco, sendo a influência humana, principalmente por meio da emissão de gases de efeito estufa, a principal responsável pelas mudanças observadas no clima global desde meados do século XX. Essas alterações podem ser observadas por meio do aumento da temperatura média global, alterações nos regimes de precipitação e intensificação dos eventos climáticos extremos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo e Dados Utilizados

O presente estudo abrangeu o território brasileiro, com estações meteorológicas distribuídas nas cinco regiões geográficas do país, de forma a representar diferentes padrões

climáticos e regimes de precipitação (Figura 1). O Brasil apresenta grande diversidade geográfica e climática em decorrência de sua extensa dimensão territorial, abrangendo diferentes latitudes, formas de relevo, tipos de cobertura vegetal e influências atmosféricas. O relevo brasileiro é predominantemente composto por planaltos, depressões e planícies, enquanto a distribuição das chuvas e das temperaturas é influenciada por fatores como a circulação atmosférica, a continentalidade, a maritimidade e a atuação de diferentes massas de ar. Essa combinação de elementos contribui para a ocorrência de distintos domínios climáticos, que variam desde condições equatoriais úmidas na Região Norte até climas subtropicais no Sul do país, resultando em significativa variabilidade espacial e temporal da precipitação (Mendonça; Danni-Oliveira, 2017).

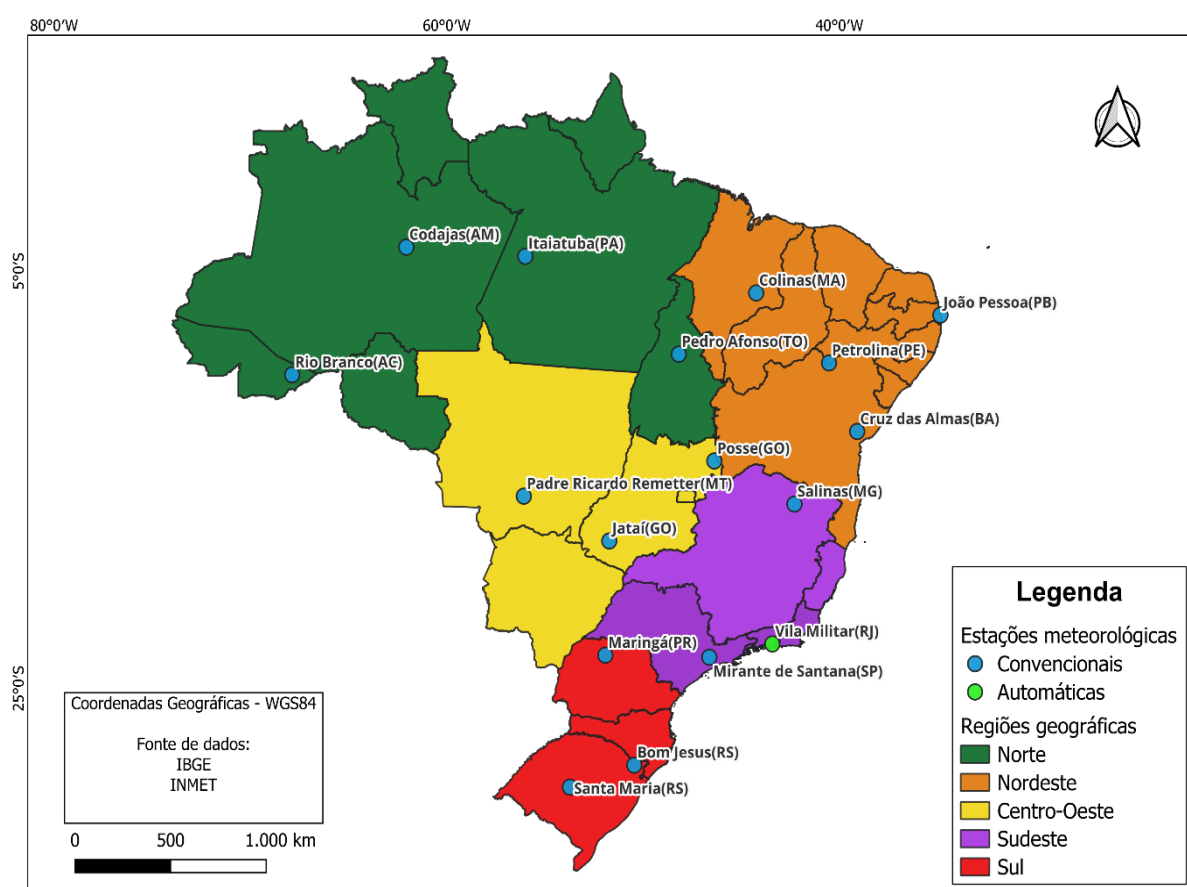


Figura 1. Localização das estações meteorológicas selecionadas para o estudo, distribuídas pelas regiões geográficas do Brasil.

Para a realização desta pesquisa, os dados de latitude e longitude das estações meteorológicas foram obtidos por meio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados históricos e projetados de precipitação foram obtidos do arquivo do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados Fase 6 (CMIP6), considerando a média de três Modelos Climáticos Globais (MCGs): MIROC6, MPI-ESM1-2-LR e CanESM5, também utilizados por Correa *et al.* (2022) e Da Conceição e Wanderley (2025). Os dados desses modelos tiveram sua grade de resolução espacial ajustada para $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, a fim de padronizar a escala de análise.

Foram consideradas para análise 17 estações meteorológicas que apresentaram menor quantidade de dados ausentes, as quais contemplaram todas as regiões geográficas do Brasil. Em seguida, os dados foram processados no software R, com o auxílio dos pacotes *ncdf4* e

raster. O pacote ncdf4 foi utilizado para a leitura e manipulação dos arquivos no formato NetCDF, amplamente empregado em bases de dados climáticos por armazenar informações multidimensionais, como latitude e longitude. Já o pacote raster foi utilizado para o processamento espacial dos dados, permitindo a leitura, organização, recorte e extração das informações climáticas correspondentes às coordenadas de cada estação meteorológica.

Além disso, foi necessário realizar o ajuste das informações de longitude no software R, uma vez que os dados dos modelos climáticos geralmente são disponibilizados no sistema de 0° a 360°, enquanto as coordenadas das estações do INMET utilizam longitudes negativas para representar o Hemisfério Oeste, localização do Brasil. Dessa forma, realizou-se a conversão das longitudes mediante subtração de 360°, para permitir a correta associação entre os dados dos modelos e a localização específica de cada estação analisada (Tabela 3). O software Microsoft Excel, foi utilizado ao final para elaboração de gráficos temporais e o ajuste linear para os índices climáticos ao longo da série temporal.

Tabela 3. Informações geográficas das estações meteorológicas utilizadas.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	LOGITUDE AJUSTADA	ALTITUDE (m)
Região Norte					
Codajas - AM	82326	-3,84111°	-62,0553°	297,94°	30,31
Itaiatuba - PA	82445	-4,27694°	-55,9931°	304,01°	24,5
Pedro Afonso - TO	82863	-8,96861°	-48,1772°	311,82°	189,53
Rio Branco - AC	82915	-9,95917°	-67,8689°	292,13°	160,71
Região Nordeste					
Colinas - MA	82676	-6,03306°	-44,2333°	315,77°	175,56
João Pessoa - PB	82798	-7,09528°	-34,8486°	325,15°	9,67
Petrolina - PE	82983	-9,38861°	-40,5233°	319,48°	372,54
Cruz das Almas	83222	-12,6753°	-39,0897°	320,91°	219,69
Região Sul					
Maringá - PR	83767	-23,4°	-51,9167°	308,08°	542
Bom Jesus - RS	83919	-28,6694°	-50,4419°	309,56°	1047,5
Santa Maria - RS	83936	-29,7247°	-53,7206°	306,28°	103,1
Região Sudeste					
Salinas - MG	83441	-16,1549°	-42,2849°	317,72°	476,07
Vila Militar - RJ	A621	-22,8614°	-43,4114°	316,59°	30,43
Mirante de Santana - SP	83781	-23,4964°	-46,62°	313,38°	785,16

Região Centro-Oeste					
Posse - GO	83332	-14,0892°	-46,3667°	313,63°	830,35
Padre Ricardo Remetter - MT	83364	-15,7761°	-56,0719°	303,93°	140
Jataí - GO	83464	-17,9236°	-51,7175°	308,28°	669,84

Os índices de extremos climáticos de precipitação foram divididos em dois períodos: histórico (1990-2020) e o período atual e futuro (2021-2100), correspondente às projeções climáticas do século XXI (Tabela 4). A escolha desses períodos foi baseada na metodologia previamente desenvolvida durante a iniciação científica, permitindo a continuidade das análises.

As projeções climáticas futuras foram analisadas com base em dois cenários do CMIP6, denominados Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) ou Caminhos Socioeconômicos Compartilhados. O cenário SSP2-4.5 representa uma trajetória intermediária de emissões, na qual políticas parciais de mitigação são adotadas, com estabilização do forçamento radiativo em 4,5 W/m² e aumento estimado de 2,1 a 3,5°C nas temperaturas globais em relação aos níveis pré-industriais, já o cenário SSP5-8.5, representa o limite superior de emissões, caracterizado pelo desenvolvimento intensivo de combustíveis fósseis, ausência de políticas efetivas de mitigação e forçamento radiativo de 8,5 W/m², com projeção de aumento de 3,2 a 5,4°C até 2100 (IPCC, 2021). Cenários utilizados também por Melo, M. *et al.* (2025) e Bosco e Valverde (2022).

Tabela 4. Descrição e unidade dos índices climáticos para avaliação de eventos extremos..

ÍNDICES	DESCRIÇÃO	UNIDADE
CDD	Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano.	dias
CWD	Número máximo de dias consecutivos com chuva no ano.	dias
PRCPTOT	Precipitação anual total dos dias úmidos.	mm
RX1day	Máxima precipitação anual em 1 dia.	mm
RX5day	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos.	mm

Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, [s.d.]).

O Canadian Earth System Model version 5 (CanESM5) é um Modelo Climático Global utilizado para simular mudanças climáticas históricas, variabilidade climática e projeções futuras em escala centenária. O modelo é composto por componentes atmosféricos tridimensionais, oceânicos, gelo marinho, superfície terrestre e modelos explícitos do ciclo do carbono terrestre e oceânico, permitindo representar interações entre diferentes sistemas climáticos (Swart *et al.*, 2019.)

O Model for Interdisciplinary Research on Climate version 6 (MIROC6), lançado em 2017, é um modelo climático global desenvolvido por instituições japonesas, incluindo a JAMSTEC, Universidade de Tóquio, NIES e RIKEN. O modelo incorpora componentes

atmosféricos, oceânicos, superfície terrestre, aerossóis e gelo marinho, sendo amplamente utilizado em estudos de mudanças climáticas e eventos extremos devido à sua capacidade de representar processos atmosféricos e oceânicos em alta complexidade. Os sistemas climáticos tropicais, como a precipitação de verão no Pacífico ocidental e a Oscilação de Madden-Julian e a circulação atmosférica de latitudes médias são significativamente aprimorados no MIROC6, sendo essas melhorias atribuídas à nova parametrização para processos convectivos rasos e à inclusão da estratosfera (Tatebe *et al.*, 2019).

O Max Planck Institute for Meteorology Earth System Model version 1.2 (MPI-ESM1.2) é um modelo climático desenvolvido pelo Instituto Max Planck de Meteorologia, na Alemanha. O modelo integra os sistemas atmosférico, oceânico, terrestre e biogeoquímico, incluindo o ciclo do carbono, por meio do acoplamento entre os modelos ECHAM6, MPIOM, JSBACH e HAMOCC5 (Mauritsen *et al.*, 2019)

É importante destacar, que a análise adotada neste estudo é de natureza descritiva e comparativa, baseada na comparação dos índices entre o período histórico e os cenários futuros, sem aplicação de testes estatísticos de tendência. Essa abordagem é consistente com os objetivos propostos, uma vez que a comparação entre períodos distintos permite identificar as mudanças projetadas nos índices de precipitação extrema. Reconhece-se, contudo, que a aplicação de testes de significância estatística, constituiria um ganho analítico ao trabalho, sendo apontada como recomendação para estudos futuros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Precipitação anual total dos dias úmidos (PRCPTOT)

A Figura 2 apresenta a distribuição do índice PRCPTOT para os períodos atual e futuro, em ambos os cenários de mudanças climáticas, para as estações meteorológicas selecionadas na pesquisa. A linha preta representa o período atual, a linha azul o cenário futuro intermediário (SSP2-4.5) e a linha vermelha o cenário extremo (SSP5-8.5).

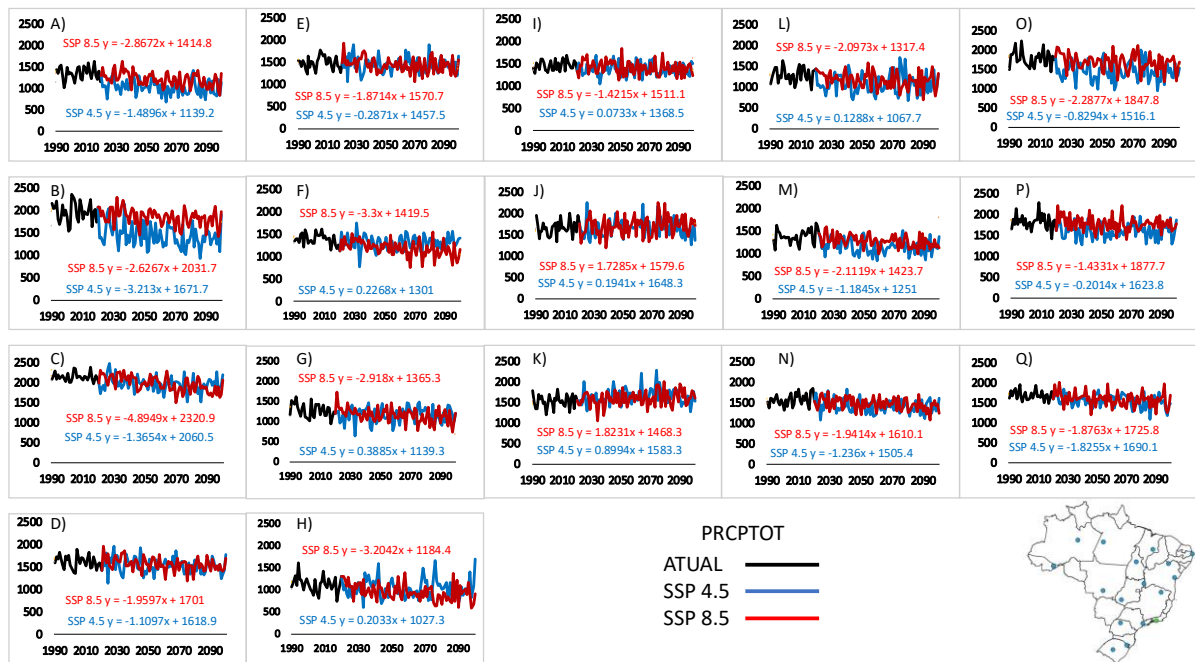


Figura 2. Precipitação anual total dos dias úmidos (mm) média para o cenário atual e futuro de mudanças climáticas para as estações meteorológicas pertencentes às regiões do Brasil. A) Itaiatuba-PA, B) Codajas-AM, C) Rio Branco-AC, D) Pedro Afonso-TO, E) Colinas-MA, F) João Pessoa-PB, G) Petrolina-PE, H) Cruz das Almas-BA, I) Maringá-PR, J) Bom Jesus-RS, K) Santa Maria-RS, L) Salinas-MG, M) Vila-Militar -RJ, N) Mirante de Santana-SP, O) Posse-GO, P) Jataí-GO e Q) Padre Ricardo Remetter-MT.

Conforme demonstrado na Tabela 5, para o período atual (1990-2020), a precipitação apresentou redução para as estações meteorológicas da Região Norte (Acre, Amazonas, Pará e Tocantins), da Região Nordeste (Maranhão, Paraíba, Pernambuco e Bahia) e da Região Centro-Oeste (Goiás e Mato Grosso), enquanto as regiões Sul (Paraná e Rio Grande do Sul) e Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) apresentaram aumento. Para os cenários futuros, as regiões apresentaram um padrão heterogêneo: algumas localidades projetam aumento da precipitação total anual tanto no cenário SSP2-4.5 quanto no SSP5-8.5, outras indicam tendência de redução em ambos os cenários, e há ainda casos em que a direção da mudança diverge entre os dois cenários analisados.

Tabela 5. Coeficiente angular (a) da tendência linear do índice PRCPTOT (mm/ano) para o período atual (1990-2020) e cenários futuros SSP2-4.5 e SSP5-8.5, por estação meteorológica.

ESTAÇÃO	Cenário atual (mm/ano)	Cenário Futuro (SSP2 – 4.5) – mm/ano	Cenário Futuro (SSP5 – 8.5) – mm/ano
Norte			
Codajas - AM	-1,0118	-3,213	-2,6267
Itaiatuba - PA	-0,5561	-1,4896	-2,8672
Pedro Afonso -TO	-3,5939	-1,1097	-1,9597
Rio Branco - AC	-1,3447	-1,3654	-4,8949
Nordeste			
Colinas - MA	-0,0675	-0,2871	-1,8714
João Pessoa - PB	-4,5362	+0,2268	-3,3
Petrolina - PE	-6,0729	+0,3885	-2,918
Cruz das Almas - BA	-3,9878	+0,2033	-3,2042
Sul			
Maringá - PR	+1,7291	+0,0733	-1,4215
Bom Jesus - RS	+4,1374	+0,1941	+1,7285
Santa Maria - RS	+0,5842	+0,8994	+1,8231
Sudeste			
Salinas - MG	+0,6382	+0,1288	-2,0973
Vila Militar - RJ	+4,4352	-1,1845	-2,1119
Mirante de Santana - SP	+4,5185	-1,236	-1,9414
Centro-Oeste			
Posse - GO	-2,0412	-0,8294	-2,2877
Padre Ricardo Remetter - MT	-3,3979	-1,8255	-1,8763
Jataí - GO	-2,345	-0,2014	-1,4331

Esse comportamento evidencia a elevada variabilidade espacial da precipitação no Brasil, resultado também identificado por Marrafon e Reboita (2020) para a América do Sul. Os autores destacam que os padrões pluviométricos apresentam respostas distintas entre as

regiões, refletindo a influência de diferentes sistemas atmosféricos e características climáticas locais. Dessa forma, as projeções de aumento e de redução da precipitação total anual reforçam a complexidade das respostas climáticas diante dos cenários de mudança climática.

Na Região Norte, todas as estações analisadas, apresentaram tendência de redução na precipitação total anual de forma consistente em todos os períodos avaliados, com coeficientes angulares negativos tanto no cenário atual quanto nos cenários futuros SSP2-4.5 e SSP5-8.5. Rio Branco (AC) se destaca por apresentar a maior intensificação da redução no cenário mais extremo, com coeficiente de -489,49 mm/século em SSP5-8.5, quase quatro vezes superior ao observado no período atual. Comportamento explicado por Marengo, Souza Junior (2018), pois com a remoção da cobertura vegetal, ocorre redução da umidade e formação de nuvens, diminuindo assim os regimes pluviométricos.

Na Região Nordeste, observa-se um comportamento distinto entre as estações. Colinas (MA) mantém tendência de redução em todos os períodos, ainda que com coeficientes de menor magnitude no cenário atual (-6,75 mm/século). Já João Pessoa (PB), Petrolina (PE) e Cruz das Almas (BA) apresentam um padrão não linear: partem de forte redução no período atual (coeficientes entre -399,0 e -607,0 mm/século), invertem para tendência de aumento no cenário intermediário SSP2-4.5 (+20,0 a +39,0 mm/século) e retornam à redução no cenário extremo SSP5-8.5 (-292,0 a -330,0 mm/século). Esse comportamento sugere que a intensidade do forçamento radiativo pode alterar não apenas a magnitude, mas também o sinal da resposta pluviométrica projetada. Padrão observado por Farias et al. (2024) para a Recife (PE).

A Região Centro-Oeste apresenta tendência de redução consistente em todas as estações e períodos analisados. Padre Ricardo Remetter (MT) apresenta o maior coeficiente de redução no cenário atual (-339,79 mm/século), enquanto Posse (GO) mantém a tendência de queda mais acentuada nos cenários futuros, chegando a -228,77 mm/século no SSP5-8.5.

Na Região Sul, o comportamento diverge entre as estações. Bom Jesus (RS) e Santa Maria (RS) apresentam tendência de aumento mantida em todos os períodos, incluindo os dois cenários futuros, único padrão desse tipo identificado no estudo. Já Maringá (PR), apesar do aumento no período atual e da manutenção dessa tendência (ainda que discreta) no SSP2-4.5, projeta reversão para redução no cenário SSP5-8.5 (-142,15 mm/século). A BBC News Brasil (2024), relata por meio dos cientistas ligados ao IPCC, que a região sul viverá ainda mais eventos extremos, destacando que o Rio Grande do Sul sempre foi um ponto geográfico que inclui padrão de chuvas intensas e outros de seca, devido a encontro de sistemas polares e tropicais.

A Região Sudeste apresenta o padrão de reversão mais expressivo do estudo. Vila Militar (RJ) e Mirante de Santana (SP) registram os maiores coeficientes de aumento no período atual (+443,52 e +451,85 mm/século, respectivamente), mas revertem essa tendência em ambos os cenários futuros, com reduções entre -118,0 e -211,0 mm/século. Salinas (MG) segue padrão semelhante, mantendo aumento discreto no SSP2-4.5 (+012,88 mm/século), mas revertendo para redução expressiva no SSP5-8.5 (-209,73 mm/século). Esse resultado é relevante porque indica que, mesmo nas estações com maior magnitude histórica de aumento pluviométrico, os cenários futuros de mudanças climáticas, especialmente o mais extremo, apontam para reversão da tendência. Portanto, o regime de precipitação no Brasil poderá ser afetado pelas mudanças climáticas, em função da redução das chuvas, principalmente com a concretização do cenário mais pessimista.

A redução da precipitação observada em parte das estações da Região Nordeste pode estar relacionada às alterações na posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), principal sistema responsável pela ocorrência de chuvas na região. Segundo Melo, A. *et al.* (2000), temperaturas mais elevadas no Oceano Atlântico Equatorial favorecem o deslocamento da ZCIT para latitudes mais ao norte, reduzindo os totais pluviométricos sobre as regiões Norte e Nordeste do Brasil. Adicionalmente, fenômenos atmosféricos e oceânicos de grande escala

que atuam sobre os Oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais também contribuem para a variabilidade das chuvas observada na região (Da Silva, A. *et al.*, 2025).

4.2. Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano (CDD)

Diferentemente do observado para o PRCPTOT, o CDD apresenta um padrão predominantemente de aumento na maioria das estações e cenários, sobretudo no cenário mais extremo (SSP5-8.5) (Figura 3), indicando tendência de intensificação de períodos secos consecutivos mesmo em regiões onde a precipitação total anual não necessariamente diminui.

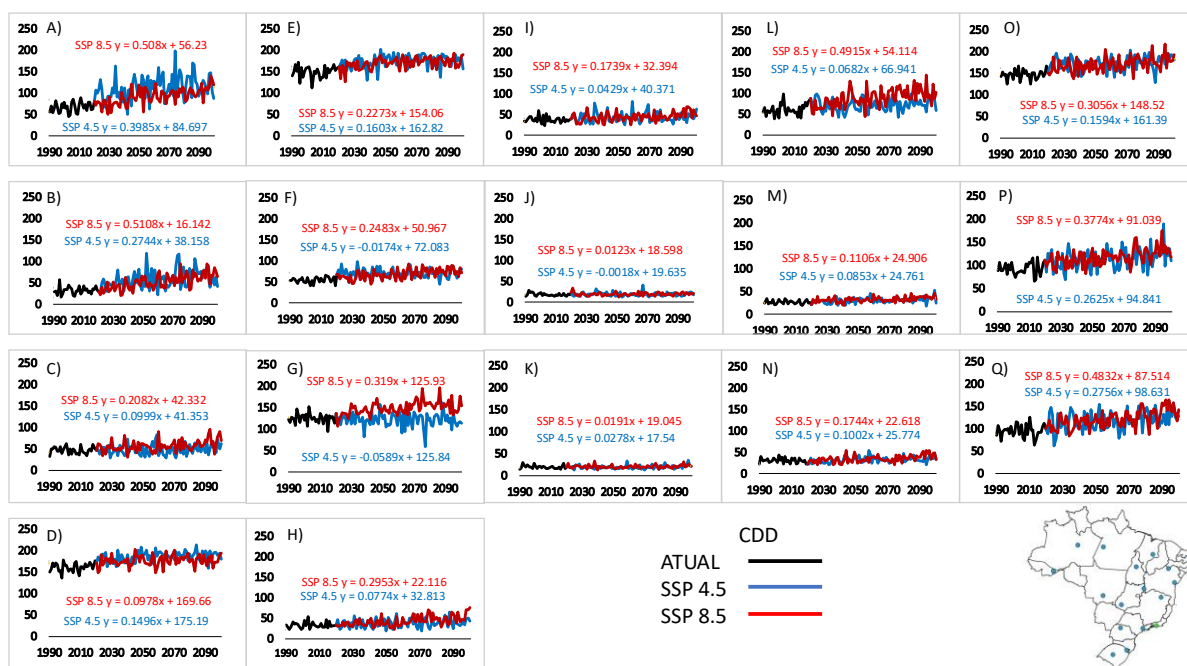


Figura 3. Dias consecutivos sem chuva anual para o cenário atual e futuro de mudanças climáticas para as estações meteorológicas pertencentes às regiões do Brasil. A) Itaiatuba-PA, B) Codajas-AM, C) Rio Branco-AC, D) Pedro Afonso-TO, E) Colinas-MA, F) João Pessoa-PB, G) Petrolina-PE, H) Cruz das Almas-BA, I) Maringá-PR, J) Bom Jesus-RS, K) Santa Maria-RS, L) Salinas-MG, M) Vila Militar -RJ, N) Mirante de Santana-SP, O) Posse-GO, P) Jataí-GO e Q) Padre Ricardo Remetter-MT.

Como observado na Tabela 6, o aumento da variação média para o cenário SSP2-4.5 foi entre 2 dias/século (Rio Grande do Sul) a 39 dias/século (Pará) e para o cenário SSP5-8.5 foi entre 9 dias/século (Tocantins) a 51 dias/século (Amazonas). Valores acima de 100 dias/ano foram observados em Pará para os cenários futuro; Tocantins, Maranhão e Goiás para todos os cenários. Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, São Paulo apresentaram valores médio entre 20 e 50 dias/ano para o cenário atual e futuro. Resultados semelhantes encontrados por Medeiros (2024).

O aumento de CDD tem como maior consequência o aumento do número de dias sem chuva ou com chuva inferior a 1 mm. Este índice é importante para prever possíveis problemas com falta de água, aumentando a duração e a intensidade de estações secas, ou seja, lugares que possuem problemas recorrentes com períodos de secas e dependem economicamente das condições econômicas devem ficar atentos para essa questão. O aumento do número de CDD nos últimos anos confirmou os resultados do PRCPTOT, que indicou índices pluviométricos reduzidos em todas as regiões analisadas. Nesse contexto, a tendência positiva pode estar

relacionada com a urbanização, ou seja, regiões mais urbanizadas do Brasil, podem tender ao aumento de CDD (Mendes; Gomes, 2021).

Tabela 6. Coeficiente angular (α) da tendência linear do índice CDD (dias/ano) para o período atual (1990-2020) e cenários futuros SSP2-4.5 e SSP5-8.5, por estação meteorológica.

ESTAÇÃO	Cenário atual (dias/ano)	Cenário Futuro (SSP2 – 4.5) – dias/ano	Cenário Futuro (SSP5 – 8.5) – dias/ano
Norte			
Codajas - AM	+0,0389	+0,2744	+0,5108
Itaiatuba - PA	+0,3039	+0,3985	+0,508
Pedro Afonso -TO	+0,2659	+0,1496	+0,0978
Rio Branco - AC	-0,0466	+0,0999	+0,2082
Nordeste			
Colinas - MA	+0,1727	+0,1603	+0,2273
João Pessoa - PB	+0,1424	-0,0174	+0,2483
Petrolina - PE	-0,0402	-0,0589	+0,319
Cruz das Almas - BA	+0,0495	+0,0774	+0,2953
Sul			
Maringá - PR	-0,0736	+0,0429	+0,1739
Bom Jesus - RS	-0,1045	-0,0018	+0,0123
Santa Maria - RS	-0,0768	+0,0278	+0,0191
Sudeste			
Salinas - MG	+0,4871	+0,0682	+0,4915
Vila Militar - RJ	-0,0422	+0,0853	+0,1106
Mirante de Santana - SP	-0,115	+0,1002	+0,1744
Centro-Oeste			
Posse - GO	+0,154	+0,1594	+0,3056
Padre Ricardo Remetter - MT	+0,0672	+0,2756	+0,4832
Jataí - GO	+0,1322	+0,2625	+0,3774

Os maiores valores de dias secos consecutivos tendem a ocorrer em áreas do interior do país, como Pará, Tocantins, Maranhão, Goiás e Mato Grosso. Esse comportamento pode estar associado, entre outros fatores, à menor influência direta da umidade proveniente dos oceanos em regiões continentais, uma vez que o transporte de vapor d'água ocorre predominantemente a partir das áreas oceânicas em direção ao continente. Assim, regiões mais próximas ao litoral apresentam maior disponibilidade de umidade, enquanto áreas mais internas podem apresentar maior persistência de períodos secos (Arias *et al.*, 2023).

Além disso, para a Região Norte, Alves *et al.* (2021), destacam que anomalias da temperatura da superfície do mar nos Oceanos Pacífico e Atlântico, especialmente durante eventos de El Niño e períodos de aquecimento do Atlântico Tropical Norte, contribuem para a ocorrência de secas e redução da precipitação para a região.

A escassez de água e a segurança hídrica têm assumido crescente relevância no debate público e na gestão de recursos naturais, especialmente diante de crises recentes de abastecimento em grandes centros urbanos brasileiros. Nesse contexto, os impactos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica estão associados a fatores de gestão dos recursos hídricos e a condições institucionais, que influenciam a distribuição e o acesso à água (Agência Nacional das Águas, 2024).

As projeções indicam aumento dos valores de CDD para a maior parte das estações analisadas, principalmente no cenário SSP5-8.5, sugerindo maior persistência dos períodos secos. Esse comportamento é consistente com os resultados encontrados por Marrafon e Reboita (2020), que observaram aumento dos dias consecutivos secos em diferentes regiões da América do Sul.

4.3. Número máximo de dias consecutivos com chuva no ano (CWD)

De forma geral, observa-se predominância de tendência de redução no número de dias consecutivos com chuva, sobretudo no cenário mais extremo (SSP5-8.5), padrão que se soma à intensificação dos dias secos consecutivos (CDD) discutida anteriormente, reforçando a hipótese de maior concentração e menor persistência dos eventos de precipitação nos cenários futuros. O índice CWD fornece o número máximo de dias consecutivos com precipitação a cada ano, sempre levando em consideração o valor de referência maior do que 1 mm por dia. Valores inferiores a 1mm, ou seja, de 0,1mm a 0,9mm, não são considerados no cômputo dos índices e são desprezados da série temporal. Na Figura 4, observa-se um declínio ao longo dos anos, já que o PRCPOT também teve a mesma tendência e o CDD teve o inverso dos dois. Segundo Mendes e Gomes (2021), a redução dos dias úmidos consecutivos pode estar associada a anomalias atmosféricas de umidade, temperatura e circulação dos ventos, que influenciam a dinâmica da precipitação em diferentes regiões da América do Sul.

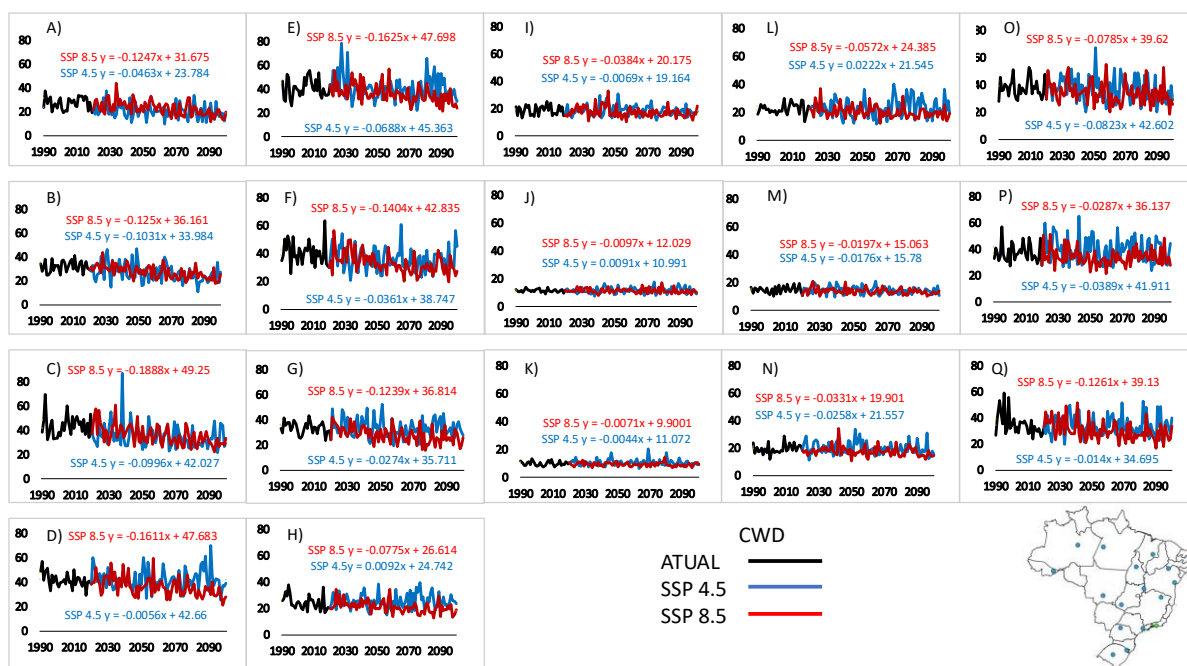


Figura 4. Dias consecutivos com chuva anual para o cenário atual e futuro de mudanças climáticas para as estações meteorológicas pertencentes às regiões do Brasil. A) Itaiatuba-PA, B) Codajas-AM, C) Rio Branco-AC, D) Pedro Afonso-TO, E) Colinas-MA, F) João Pessoa-PB, G) Petrolina-PE, H) Cruz das Almas-BA, I) Maringá-PR, J) Bom Jesus-RS, K) Santa Maria-RS, L) Salinas-MG, M) Vila Militar -RJ, N) Mirante de Santana-SP, O) Posse-GO, P) Jataí-GO e Q) Padre Ricardo Remetter-MT.

De acordo com a Tabela 7, as simulações dos modelos indicam redução dos dias úmidos consecutivos (CWD) para a maioria das estações em ambos os cenários futuros, com coeficientes angulares negativos variando de -0,0069 dias/ano (Maringá-PR) a -0,1888 dias/ano

(Rio Branco-AC) no SSP5-8.5. Somente Cruz das Almas (BA), Bom Jesus (RS) e Salinas (MG) apresentaram valores de aumento, restritos ao cenário SSP2-4.5 (+0,0092 dias/ano; +0,0091 dias/ano; e +0,0222 dias/ano, respectivamente), com reversão para redução no cenário mais extremo (SSP5-8.5), padrão de baixa magnitude semelhante ao observado para o índice PRCPTOT.

Os maiores valores de redução do índice foram encontrados em Rio Branco (AC, -0,1888 dias/ano), Pedro Afonso (TO, -0,1611 dias/ano), Colinas (MA, -0,1625 dias/ano), João Pessoa (PB, -0,1404 dias/ano), Petrolina (PE, -0,1239) e na Região Centro-Oeste, com destaque para Padre Ricardo Remetter (MT), que registrou o maior coeficiente de redução do estudo no período atual (-0,4368 dias/no). As Regiões Sul e Sudeste apresentaram os menores valores de variação, com coeficientes entre -0,0044 e -0,0384 dias/ano no Sul, e entre -0,0176 e -0,0572 dias/ano no Sudeste, indicando maior estabilidade relativa do número de dias consecutivos com chuva nessas regiões diante dos cenários futuros de mudanças climáticas.

Tabela 7. Coeficiente angular (a) da tendência linear do índice CWD (dias/ano) para o período atual (1990-2020) e cenários futuros SSP2-4.5 e SSP5-8.5, por estação meteorológica.

ESTAÇÃO	Cenário atual (dias/ano)	Cenário Futuro (SSP2 – 4.5) – dias/ano	Cenário Futuro (SSP5 – 8.5) – dias/ano
Norte			
Codajas - AM	+0,0591	-0,1031	-0,125
Itaiatuba - PA	-0,0196	-0,0463	-0,1247
Pedro Afonso -TO	-0,2719	-0,0056	-0,1611
Rio Branco - AC	+0,053	-0,0996	-0,1888
Nordeste			
Colinas - MA	+0,0222	-0,0688	-0,1625
João Pessoa - PB	-0,1613	-0,0361	-0,1404
Petrolina - PE	-0,1501	-0,0274	-0,1239
Cruz das Almas - BA	-0,2562	+0,0092	-0,0775
Sul			
Maringá - PR	-0,0285	-0,0069	-0,0384
Bom Jesus - RS	-0,0189	+0,0091	-0,0097
Santa Maria - RS	-0,0049	-0,0044	-0,0071
Sudeste			
Salinas - MG	+0,0535	+0,0222	-0,0572
Vila Militar - RJ	+0,0197	-0,0176	-0,0197
Mirante de Santana - SP	+0,0972	-0,0258	-0,0331
Centro-Oeste			
Posse - GO	-0,0002	-0,0823	-0,0785
Padre Ricardo Remetter - MT	-0,4368	-0,014	-0,1261
Jataí - GO	-0,0512	-0,0389	-0,0287

O conhecimento adequado das médias históricas e das tendências observadas nos últimos anos no Brasil também é fundamental para o planejamento de ações em diversos segmentos, como agricultura, desenvolvimento urbano, geração e transmissão de energia, gestão de recursos hídricos, entre outros setores. Por isso, pesquisas sobre projeções futuras de mudanças climáticas nas próximas décadas também têm sido progressivamente estruturadas para alimentar as esferas ambiental e socioeconômica com elucidações que auxiliem em medidas de prevenção de desastres de qualquer magnitude e natureza. Além disso, estudos de

atribuição podem ajudar a determinar se a influência humana na precipitação pode ser distinguida da variabilidade natural (Luiz-Silva; Oscar-Júnior, 2022).

Portanto, juntando os três índices já é possível ter a visão de medidas que poderão ser realizadas para minimizar os impactos, como por exemplo, observar a quantidade de água que vai ter aproximadamente em determinado ano de interesse, junto do CWD e fazer um estoque de água para usar no período de seca, que será determinado pelo índice CDD.

Vazquez *et al.* (2020), destacam que as implicações desses eventos têm potencial negativo, mas também podem apresentar importância socioeconômica para determinadas comunidades e por isso deve-se ter estudos voltados para a compreensão desses fenômenos.

4.4. Máxima precipitação anual em 1 dia (RX1day)

De maneira geral, observa-se predominância de tendência de aumento da precipitação máxima diária nos cenários futuros (Figura 5), inclusive em estações onde o índice PRCPTOT projeta redução da precipitação total anual, padrão que sugere tendência de intensificação de eventos de chuva concentrados, mesmo em regiões com redução do volume total anual. O índice RX1day permite uma análise de tendência e intensidade dos eventos de intensa precipitação para o país. Além disso, o índice reflete a intensidade da chuva que pode causar inundações bruscas, enchentes, enxurradas (Bodas Terassi *et al.*, 2026; Marengo *et al.*, 2021).

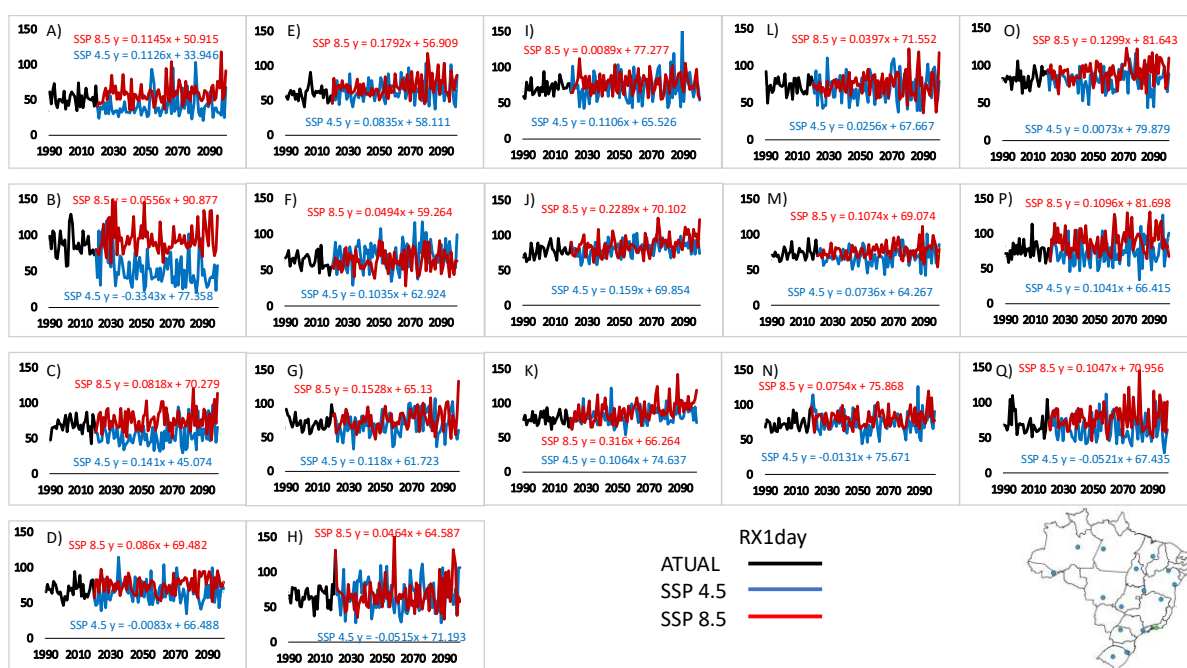


Figura 5. Precipitação anual máxima em um dia (mm) média para o cenário atual e futuro de mudanças climáticas para as estações meteorológicas pertencentes às regiões do Brasil. A) Itaiatuba-PA, B) Codajas-AM, C) Rio Branco-AC, D) Pedro Afonso-TO, E) Colinas-MA, F) João Pessoa-PB, G) Petrolina-PE, H) Cruz das Almas-BA, I) Maringá-PR, J) Bom Jesus-RS, K) Santa Maria-RS, L) Salinas-MG, M) Vila Militar -RJ, N) Mirante de Santana-SP, O) Posse-GO, P) Jataí-GO e Q) Padre Ricardo Remetter-MT.

A Tabela 8, indica que as projeções apontam aumento do índice por século para a grande maioria dos estados brasileiros, com variação média entre 0,73 (Goiás) mm/dia a 15,9 (Rio Grande do Sul) mm/dia para o cenário SSP2-4.5 e a para o cenário SSP5-8.5 a variação foi entre 0,89 (Paraná) mm/dia a 31,6 (Rio Grande do Sul) mm/dia.

A análise conjunta dos índices RX1day e CWD evidencia mudanças na distribuição temporal da precipitação. Enquanto os valores de CWD indicam redução da persistência dos períodos chuvosos, o aumento de RX1day sugere maior concentração da precipitação em eventos intensos de curta duração. Esse comportamento é consistente com os resultados apresentados por Lyra *et al.* (2018) e Avila-Diaz *et al.* (2020) para o Sudeste brasileiro, que projetam aumento dos períodos secos e diminuição dos dias úmidos consecutivos. Em contrapartida, Avila-Diaz *et al.* (2020) destacam que, apesar da redução na persistência dos dias chuvosos, a frequência e a intensidade dos eventos de precipitação extrema tendem a aumentar nos cenários futuros, evidenciando alterações na distribuição temporal das chuvas.

Tabela 8. Coeficiente angular (α) da tendência linear do índice RX1day (mm/1dia/ano) para o período atual (1990-2020) e cenários futuros SSP2-4.5 e SSP5-8.5, por estação meteorológica.

ESTAÇÃO	Cenário atual (mm/dia/ano)	Cenário Futuro (SSP2 – 4.5) – mm/1dia/ano	Cenário Futuro (SSP5 – 8.5) – mm/1dia/ano
Norte			
Codajas - AM	-0,3219	-0,3343	+0,0556
Itaiatuba - PA	-0,0581	+0,1126	+0,1145
Pedro Afonso -TO	+0,081	-0,0083	+0,086
Rio Branco - AC	+0,0676	+0,141	+0,0818
Nordeste			
Colinas - MA	-0,008	+0,0835	+0,1792
João Pessoa - PB	-0,4028	+0,1035	+0,0494
Petrolina - PE	-0,1064	+0,118	+0,1528
Cruz das Almas - BA	+0,3868	-0,0515	+0,0464
Sul			
Maringá - PR	+0,2684	+0,1106	+0,0089
Bom Jesus - RS	+0,3138	+0,159	+0,2289
Santa Maria - RS	-0,004	+0,1064	+0,316
Sudeste			
Salinas - MG	+0,0396	+0,0256	+0,0397
Vila Militar - RJ	+0,2484	+0,0736	+0,1074
Mirante de Santana - SP	+0,3508	-0,0131	+0,0754
Centro-Oeste			
Posse - GO	+0,2536	+0,0073	+0,1299
Padre Ricardo Remetter - MT	-0,3204	-0,0521	+0,1047
Jataí - GO	+0,0051	+0,1041	+0,1096

A compreensão do conceito de desastre é fundamental para a análise dos fatores que contribuem para sua ocorrência. Abordagens contemporâneas destacam que os desastres não devem ser compreendidos apenas como fenômenos naturais, mas como resultado da interação entre eventos naturais e condições sociais, econômicas e institucionais. Nessa perspectiva, os desastres são considerados processos potencialmente evitáveis, decorrentes das vulnerabilidades existentes e da forma como a sociedade organiza e ocupa o território (United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2025).

Dessa forma, a análise de cenários de mudanças climáticas torna-se uma ferramenta importante para o planejamento e a adoção de medidas preventivas voltadas à redução dos impactos associados a eventos extremos. Essa abordagem permite compreender

vulnerabilidades em diferentes escalas, envolvendo não apenas o meio ambiente e a população, mas também a capacidade de resposta dos governos e das instituições responsáveis pela gestão dos riscos. Assim, espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação diante dos possíveis impactos decorrentes da intensificação das chuvas extremas no Brasil.

4.5. Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (RX5day)

O índice apresenta o padrão mais heterogêneo entre todos os analisados até aqui, com inversões de sinal frequentes entre os cenários em praticamente todas as regiões, o que evidencia maior instabilidade e incerteza nas projeções de eventos extremos de precipitação concentrados em múltiplos dias (Figura 6). Na maioria das estações analisadas, observa-se tendência de aumento também para os acumulados de 5 dias (RX5day), embora com magnitude inferior à do RX1day, o que sugere que a intensificação das chuvas extremas está mais associada a eventos concentrados em curto prazo do que a acumulados prolongados. O índice RX5day apresenta a precipitação acumulada em 5 dias, máxima ocorrida em um ano. É um indicador da possibilidade de movimento massas, como deslizamento, desmoronamento e queda de barreira (Bodas Terassi *et al.*, 2026; Marengo *et al.*, 2021).

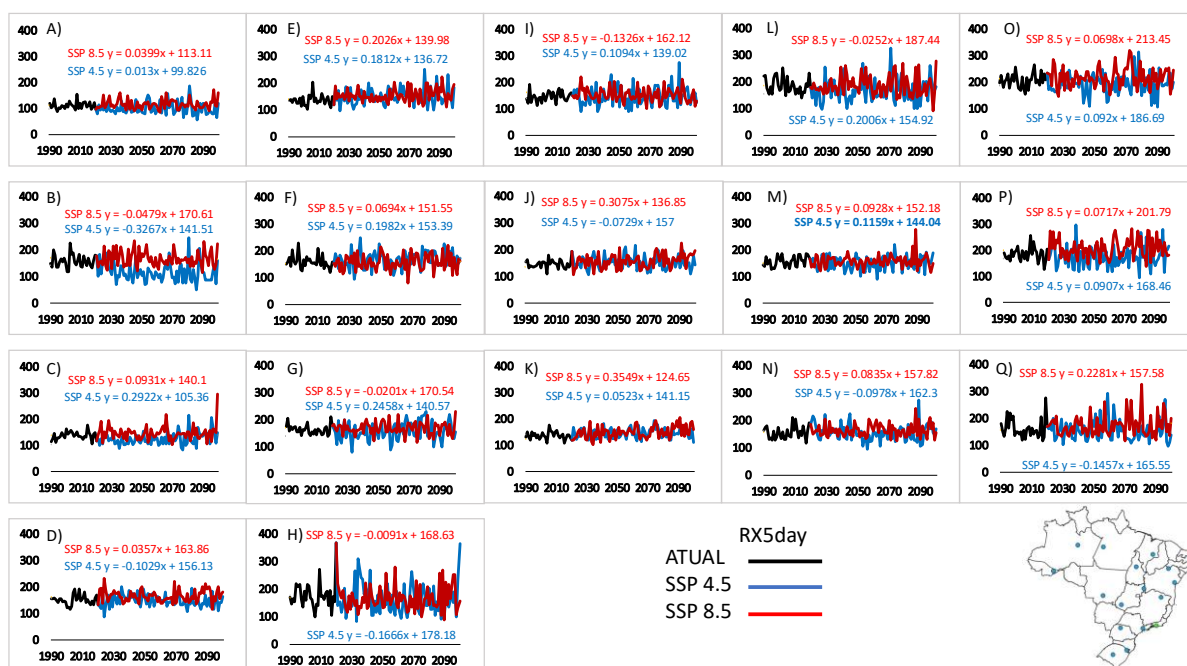


Figura 6. Precipitação anual máxima em cinco dias consecutivos (mm) média para o cenário atual e futuro de mudanças climáticas para as estações meteorológicas pertencentes às regiões do Brasil. A) Itaiatuba-PA, B) Codajas-AM, C) Rio Branco-AC, D) Pedro Afonso-TO, E) Colinas-MA, F) João Pessoa-PB, G) Petrolina-PE, H) Cruz das Almas-BA, I) Maringá-PR, J) Bom Jesus-RS, K) Santa Maria-RS, L) Salinas-MG, M) Vila Militar -RJ, N) Mirante de Santana-SP, O) Posse-GO, P) Jataí-GO e Q) Padre Ricardo Remetter-MT.

De acordo com a Tabela 9, a Região Sul projeta tendência predominante de intensificação dos acumulados de 5 dias rumo ao cenário mais extremo, com destaque para Bom Jesus (+0,3075 mm/5dias) e Santa Maria (+0,3549 mm/5dias), que atingem os maiores coeficientes de aumento no SSP5-8.5, a Região Sudeste apresenta o comportamento oposto: as maiores amplitudes de variação do estudo, com Vila Militar (RJ, +0,7355 mm/5dias) e Mirante

de Santana (SP, +0,5928 mm/5dias) registrando os maiores aumentos no período atual, seguidos de desaceleração ou reversão nos cenários futuros (+0,0928 e +0,0835 mm/5dias no SSP5-8.5, respectivamente).

A Região Nordeste reforça essa instabilidade, com estações vizinhas apresentando padrões opostos: João Pessoa (PB) e Petrolina (PE) reverterem de forte redução atual (-0,5584 e -0,35) para aumento no SSP2-4.5 (+0,1982 e +0,2458 mm/5dias), enquanto Cruz das Almas (BA) segue trajetória inversa, partindo do maior coeficiente positivo do estudo no período atual (+0,6664 mm/5dias) para redução em ambos os cenários futuros (-0,1666 e -0,0091 mm/5dias).

As Regiões Norte e Centro-Oeste apresentam comportamento intermediário, com alternância de sinal concentrada principalmente no cenário SSP2-4.5, como em Codajás (AM, -0,3267 mm/5dias) e Padre Ricardo Remetter (MT, -0,1457 mm/5dias), mas com tendência de estabilização ou aumento no SSP5-8.5 na maioria das estações. Esse comportamento evidencia que a resposta da precipitação extrema acumulada em múltiplos dias é mais sensível a fatores locais e à variabilidade inter-modelos do que os padrões observados para os índices de precipitação total (PRCPTOT) e de dia único (RX1day), reforçando a necessidade de cautela na interpretação de tendências de eventos extremos de maior duração em escala regional.

Tabela 9. Coeficiente angular (a) da tendência linear do índice RX5day (mm/5dias/ano) para o período atual (1990-2020) e cenários futuros SSP2-4.5 e SSP5-8.5, por estação meteorológica.

ESTAÇÃO	Cenário atual (mm/5dias/ano)	Cenário Futuro (SSP2 – 4.5) – mm/5dias/ano	Cenário Futuro (SSP5 – 8.5) – mm/5dias/ano
Norte			
Codajás - AM	+0,0679	-0,3267	-0,0479
Itaiatuba - PA	+0,1079	+0,013	+0,0399
Pedro Afonso -TO	+0,0607	-0,1029	+0,0357
Rio Branco - AC	+0,2065	+0,2922	+0,0931
Nordeste			
Colinas - MA	+0,0305	+0,1812	+0,2026
João Pessoa - PB	-0,5584	+0,1982	+0,0694
Petrolina - PE	-0,35	+0,2458	-0,0201
Cruz das Almas - BA	+0,6664	-0,1666	-0,0091
Sul			
Maringá - PR	+0,3813	+0,1094	-0,1326
Bom Jesus - RS	+0,2228	-0,0729	+0,3075
Santa Maria - RS	-0,1903	+0,0523	+0,3549
Sudeste			
Salinas - MG	-0,8061	+0,2006	-0,0252
Vila Militar - RJ	+0,7355	+0,1159	+0,0928
Mirante de Santana - SP	+0,5928	-0,0978	+0,0835
Centro-Oeste			
Posse - GO	+0,5248	+0,092	+0,0698
Padre Ricardo Remetter - MT	-0,3596	-0,1457	+0,2281
Jataí - GO	-0,0843	+0,0907	+0,0717

O aumento dos acumulados, especialmente no RX5DAY, sugere que episódios prolongados de chuva forte se tornarão mais frequentes e mais intensos. Essa intensificação tem implicações diretas na gestão hídrica, no planejamento urbano e na prevenção de desastres, o

que destaca a necessidade de adaptação das cidades e dos sistemas de infraestrutura diante das mudanças climáticas. Resultados obtidos por Dantas *et al.* (2025) ratificam os encontrados na presente pesquisa, onde verificou-se que os indicadores de extrema precipitação sugerem alterações nos padrões de precipitação, com projeções indicando aumento e redução para as regiões do Brasil. As mudanças previstas são mais expressivas sob cenários de maiores emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE), e para as regiões Norte e Nordeste do país.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados encontrados podemos concluir que:

- A distribuição da precipitação extrema no Brasil apresenta padrões relevantes distintos entre o período atual e os cenários futuros de mudanças climáticas
- Análise dos índices PRCPTOT e CWD projeta-se redução com o passar dos anos para a maioria das regiões brasileiras.
- O índice CDD indica tendência de aumento com o passar dos anos acarretando em possíveis estações de seca mais prolongadas para determinadas regiões brasileiras
- A análise dos índices de extremos de precipitação RX1day e RX5day mostraram aumento expressivo na precipitação extrema para cenários futuros de mudanças climáticas ao longo do século para as regiões brasileiras.
- Os aumentos nos totais máximos acumulados em cinco dias consecutivos (RX5day) sugerem maior probabilidade de ocorrência de episódios prolongados de chuva extrema, potencializando risco de movimento em massa como: deslizamentos, desmoronamento e queda de barreiras.
- De modo geral, a elevação e redução dos índices indicam que a tendência futura é de intensificação dos eventos extremos de precipitação, com impactos diretos na gestão hídrica, no planejamento urbano e na prevenção de desastres para as regiões brasileiras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

National Aeronautics and Space Administration (NASA). *Is Climate Change the Same as Global Warming – We Asked a NASA Scientist: Episode 46*, 2023. Disponível em: <https://www.nasa.gov/earth/climate-change/is-climate-change-the-same-as-global-warming-we-asked-a-nasa-scientist-episode-46/>. Acesso em: 24 maio 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023: informe anual*. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjunturainforme2023.pdf>. Acesso em: 24 maio 2026.

ALVES, Lincoln M. et al. Assessment of rainfall variability and future change in Brazil across multiple timescales. *International Journal of Climatology*, v. 41, p. E1875-E1888, 2021. Disponível em: <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/am-pdf/10.1002/joc.6818>. Acesso em: 24 maio 2026.

ARIAS, Paola A. et al. Changes in atmospheric moisture transport over tropical South America: an analysis under a climate change scenario. *Climate Dynamics*, v. 61, n. 11, p.

4949-4969, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-023-06833-4>. Acesso em: 24 maio 2026.

ARTAXO, Paulo. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos avançados*, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/TRsRMLDdzxRsz85QNYFQBHs/?lang=pt>. Acesso em: 24 maio 2026.

AVILA-DIAZ, Alvaro et al. Assessing current and future trends of climate extremes across Brazil based on reanalyses and earth system model projections. *Climate Dynamics*, v. 55, n. 5, p. 1403-1426, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Alvaro-Avila-Diaz-2/publication/342248372_Assessing_current_and_future_trends_of_climate_extremes_across_Brazil_based_on_reanalyses_and_earth_system_model_projections/links/6234a3cfd545b772940264b2/Assessing-current-and-future-trends-of-climate-extremes-across-Brazil-based-on-reanalyses-and-earth-system-model-projections.pdf. Acesso em: 24 maio 2026.

BCC NEWS BRASIL. Rio grande do Sul ainda vai viver muitos eventos extremos, dizem cientistas brasileiras que colaboram com IPCC. *BBC News Brasil*, 2024. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/czkv2mrdv31o>. Acesso em: 2 Julho 2026

BOSCO, Ricardo Brambila; VALVERDE, María Cleofé. Projeções climáticas de precipitação e temperatura na Região Metropolitana do Vale do Paraíba-SP simulados por modelos climáticos do CMIP6. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 3, p. 1621-1638, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ricardo_Brambila_Bosco/publication/361398860_Projecoes_climaticas_de_precipitacao_e_temperatura_na_Regiao_Metropolitana_do_Vale_do_Paraiba_-_SP_simulados_por_modelos_climaticos_do_CMIP6/links/62ae13d2e1193368baa7bdfa/Projecoes-climaticas-de-precipitacao-e-temperatura-na-Regiao-Metropolitana-do-Vale-do-Paraiba-SP-simulados-por-modelos-climaticos-do-CMIP6.pdf. Acesso em: 30 Junho 2026.

CARDOSO, Camila de Souza; QUADRO, Mário Francisco Leal de; BONETTI, Carla. Persistência e abrangência dos eventos extremos de precipitação no Sul do Brasil: Variabilidade espacial e padrões atmosféricos. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, p. 219-231, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/HS55q8wxdX5zFYZWnZz7QFy/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 24 maio 2026.

CHAMBEL, António. *Águas Subterrâneas: a importância de um recurso escondido*. Évora: Universidade de Évora, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/25019>. Acesso em: 24 maio 2026.

CLARKE, Ben et al. Climate change and El Niño behind extreme precipitation leading to major floods in southern Brazil in 2024. *npj Natural Hazards*, v. 3, n. 1, p. 4, 2026. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s44304-025-00162-8>. Acesso em: 30 Junho 2026.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). *Boletim CNM destaca os prejuízos dos desastres naturais na habitação*. Brasília: CNM, 2023. Disponível em:

<https://cnm.org.br/comunicacao/noticias/boletim-cnm-destaca-os-prejuizos-dos-desastres-naturais-na-habitacao-confira>. Acesso em: 24 maio 2026.

CORREA, Wesley de Souza Campos et al. Evaluation of temperature and precipitation simulations of a subset of CMPI6 models for Brazil. *Derbyana*, 43, 39 p., ISSN: 2764-1465, 2022. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/774/743>. Acesso em: 30 Junho 2026.

COSTA, Micejane da Silva et al. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região Semiárida do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 08, n. 05 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/038a5c21-4f50-40ac-8bff-b5795e86179a/content>. Acesso em: 30 Junho 2026.

DA CONCEIÇÃO, Thamires Franco; WANDERLEY, Henderson Silva. Precipitação extrema para os cenários atual e futuros de mudanças climáticas para a cidade do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 36, p. 618-637, 2025. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/19304/10969>. Acesso em: 30 Junho 2026.

DA SILVA, Alíbia Deysi Guedes et al. Mudanças climáticas e variabilidade termopluiométrica na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 36, p. 533-559, 2025. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/18695/10966>. Acesso em: 24 maio 2026.

DA SILVA, Greicy Kelly et al. Análise de projeções das mudanças climáticas sobre precipitação e temperatura nas regiões hidrográficas brasileiras para o século XXI. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 55, n. 3, p. 420-436, 2020. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/624. Acesso em: 24 maio 2026.

DANTAS, Leydson Galvíncio et al. Projections of extreme weather events according to climate change scenarios and populations at-risk in Brazil. *Climatic Change*, v. 178, n. 8, p. 152, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-025-03989-2>. Acesso em: 24 maio 2026.

DE AGUIAR, Claudio Gustavo Borges; MONTEIRO, Patricia Ortiz; BATISTA, Andréia Jayme. Negacionismo e mudanças climáticas. *Revista Ciências Humanas*, v. 15, n. 3, 2022. Disponível em: <https://rchunitau.com.br/index.php/rch/article/download/922/455>. Acesso em: 24 maio 2026.

DE BODAS TERASSI, Paulo Miguel et al. Climate extremes and socioeconomic impacts of extreme rainfall events in April and May 2024 in Rio Grande do Sul, Brazil. *Natural Hazards*, v. 122, n. 10, p. 454, 2026. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-026-08154-1>. Acesso em: 30 Junho 2026.

DE MELO, Matheus Henrique Bezerra et al. Análise da variação térmica e índice pluviométrico em Bacias Hidrográficas no Semiárido Brasileiro de acordo com projeções do CMIP6. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 18, n. 1, p. 001-018, 2025. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/261642/48200>. Acesso em: 24 maio 2026.

DEMIRDJIAN, Levon; ZHOU, Yaping; HUFFMAN, George J. Statistical modeling of extreme precipitation with TRMM data. *Journal of applied meteorology and climatology*, v. 57, n. 1, p. 15-30, 2018. Disponível em: <https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/57/1/jamc-d-17-0023.1.xml>. Acesso em: 30 Junho 2026.

DIAS, Reinaldo; MATOS, Fernanda. Impactos das mudanças climáticas nos recursos hídricos: desafios e implicações para a humanidade. *Revista Sociedade Científica*, v. 6, n. 1, p. 1571-1603, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Fernanda-Matos/publication/374142896_Impactos_das_mudancas_climaticas_nos_recursos_hidricos_d_esafios_e_implicacoes_para_a_humanidade/links/650f995161f18040c21a3a1f/Impactos-das-mudancas-climaticas-nos-recursos-hidricos-desafios-e-implicacoes-para-a-humanidade.pdf?__cf_chl_f_tk=nfUxQK9IQi8H.R7Zw8HKXRnChJ2xqK3i1v.OjED0fWI-1782914974-1.0.1.1-RwiHoXsu5l4h3kNCfANgx9XTcQiDOQuZ2iSTY0eKIol. Acesso em: 30 Junho 2026.

DOOCY, Shannon et al. The human impact of floods: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. *PLoS currents*, v. 5, p. ecurrents. dis. f4deb457904936b07c09daa98ee8171a, 2013. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3644291/>. Acesso em: 30 Junho 2026.

FARIAS, Vanine Elane Menezes de; RODRIGUES, Arivânia Bandeira; MONTEIRO, Pedro Benjamin Carreiro Lima; ARAUJO, Diego Cezar dos Santos; MONTENEGRO, Suzana Maria Gico Lima; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira. PERSPECTIVAS CLIMÁTICAS FUTURAS COM BASE NOS MODELOS DO CMIP6 PARA MUNICÍPIOS DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE (PE), BRASIL. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 25, n. 101, p. 58–79, 2024. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/71642/39249>. Acesso em: 2 Julho 2026.

GIMENO, Luis et al. Major mechanisms of atmospheric moisture transport and their role in extreme precipitation events. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 41, n. 1, p. 117-141, 2016. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-environ-110615-085558>. Acesso em: 30 Junho 2026

GROSE, Michael Richard et al. Insights from CMIP6 for Australia's future climate. *Earth's Future*, v. 8, n. 5, p. e2019EF001469, 2020. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019EF001469>. Acesso em: 24 maio 2026.

HATSUZUKA, Daisuke; SATO, Tomonori; HIGUCHI, Yoshihito. Sharp rises in large-scale, long-duration precipitation extremes with higher temperatures over Japan. *Npj Climate and Atmospheric Science*, v. 4, n. 1, p. 29, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41612-021-00184-9>. Acesso em: 27 Junho 2026

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Índices de extremos climáticos*. São José dos Campos: INPE, [s.d.]. Disponível em: <https://ftp.cptec.inpe.br/pesquisa/grpeta/petamd/Projetos/Projeta/indices.pdf>. Acesso em: 24 maio 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2021: *The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em: 27 Junho 2026.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2023: *Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editado por H. Lee, J. Romero. Geneva: IPCC, 2023. 184 p. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf. Acesso em: 27 Junho 2026.

JONGMAN, Brenden et al. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 18, p. E2271-E2280, 2015. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1414439112>. Acesso em: 27 Junho 2026.

KARL, Thomas R.; NICHOLLS, Neville; GHAZI, Anver. Clivar/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes workshop summary. *Climatic change*, v. 42, n. 1, p. 3-7, 1999. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/100521613/a3A100549152687020230401-1-i3bvwc-libre.pdf?1680319510=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCLIVAR_GCOS_WMO_Workshop_on_Indices_and.pd&Expires=1782923220&Signature=Nkwi~gVoxzzBXxcW615Iq9x9YaZcUJgehj~lnx1180Pu0TYApG3VGXZ9I~RkixHCoxj8MWKYSDBJ-HIA-0dKUxeLsIqT7NojwMAM56mr2M5wH5HWsMqTPcVJlKe95YfQ8eW0xWNdXJuVJZTkSE7av16a-dPNmA3RH3y-R-gZqgK~KHJ3wQgDHgHu-5F8nhKV9D74TqpEG3kSD61~Wvx7TeRj19pUHQiqsKs61Vq47Znr8ISMKe~67UzeKtqrsRaELb~X9nrNmVS4urEDuESipeS2hx2v823f~X4CAGixEhWukLX8c-CY13U8jZxZl9RG2X12oyfIW8VWG-Xs4iBbwg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 24 maio 2026.

LIU, Bingjun et al. Global atmospheric moisture transport associated with precipitation extremes: Mechanisms and climate change impacts. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, v. 7, n. 2, p. e1412, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Xuezhi-Tan-2/publication/338863767_Global_atmospheric_moisture_transport_associated_with_precipitation_extremes_Mechanisms_and_climate_change_impacts/links/5e39a0df92851c7f7f1cec1c/Global-atmospheric-moisture-transport-associated-with-precipitation-extremes-Mechanisms-and-climate-change-impacts.pdf. Acesso em: 27 Junho 2026.

LIU, Yujie et al. Global socioeconomic risk of precipitation extremes under climate change. *Earth's future*, v. 8, n. 9, p. e2019EF001331, 2020. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2019EF001331>. Acesso em: 27 Junho 2026.

LUIZ-SILVA, Wanderson; OSCAR-JÚNIOR, Antonio Carlos. Climate extremes related with rainfall in the State of Rio de Janeiro, Brazil: a review of climatological characteristics and recorded trends. *Natural Hazards*, v. 114, n. 1, p. 713-732, 2022. Disponível em:

https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9169958/pdf/11069_2022_Article_5409.pdf. Acesso em: 24 maio 2026.

LYRA, Andre et al. Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution. *Theoretical & Applied Climatology*, v. 132, n. 1-2, p. 663, 2018. Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/117782621/s00704-017-2067-z20240828-1-xc6jq4-libre.pdf?1724853144=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DClimate_change_projections_over_three_me.pdf&Expires=1782926577&Signature=a~91fmw1YXA28nyE18dn-xJw1ZPjZJlphX0LSorjKK7O9WbI0-kyOrUUT6beQ5-aAXN5-uJMz~Bp1Ht9TvBmpfsUYjb13P6eLJB0F9uz6FCyQbGlxRvA3CE5cCk1kbeF--IBKJuUOvPCwLer9SD-eGObcu8zE33WlmCdk6Bk~VXXYXm~VC4ynpT08dgbYxPRzNB4aUFhklkYPmeXM09bfkeG6q8LTHReMs6DIIdCxJWMF3zPsFncmOssFVn3QzX490-Pa~yiHt2d9d3Iwyw8WWoxvuzAc8Zr7ApZGCCaSoHPXQCgYVcaF17OSbUI9GqZmXgHhKsF15hf5Uv4KkhwBPA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 24 maio 2026.

MARENGO, Jose A. et al. Extreme rainfall and hydro-geo-meteorological disaster risk in 1.5, 2.0, and 4.0 C global warming scenarios: an analysis for Brazil. *Frontiers in Climate*, v. 3, p. 610433, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/climate/articles/10.3389/fclim.2021.610433/full>. Acesso em: 27 Junho 2026.

MARENGO, José A.; SOUZA JUNIOR, Carlos. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. *São Paulo: ALANA*, 2018. Disponível em: https://www.oamanhae hoje.org.br/assets/pdf/Relatorio_Mudancas_Climaticas-Amazonia.pdf. Acesso em: 02 de Julho 2026.

MARENGO, José A. et al. O maior desastre climático do Brasil: chuvas e inundações no estado do Rio Grande do Sul em abril-maio 2024. *Estudos Avançados*, v. 38, p. 203-228, 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-025-56654-8>. Acesso em: 27 Junho 2026.

MARRAFON, Vitor Hugo; REBOITA, Michelle Simões. Características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos. *Revista brasileira de climatologia*, v. 26, 2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14236/7462>. Acesso em: 24 maio 2026.

MAURITSEN, Thorsten et al. Developments in the MPI-M Earth System Model version 1.2 (MPI-ESM1. 2) and its response to increasing CO₂. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, v. 11, n. 4, p. 998-1038, 2019. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018MS001400>. Acesso em: 27 Junho 2026.

MEDEIROS, Felipe Jeferson de. *Extremos climáticos de precipitação e suas projeções sobre o Brasil utilizando as gerações de modelos do CMIP*. 2024. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstreams/aeb2acf7-7b4a-4a01-9890-f7616f0f68cb/download>. Acesso em: 30 Junho 2026.

MELO, A. B. C. et al. Estudo Climatológico da Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua Influência sobre o Nordeste do Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. 2000. Disponível em:

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/67507824/Estudo_climatologico_da_posicao_da_ZCIT_20210603-12498-9dqqju.pdf?1738415920=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEstudo_climatologico_da_posicao_da_ZCIT.pdf&Expires=1782925566&Signature=MnvNXxsyZ0xwD-Dbu76UvbL51BdN-0m068MQNk8-aUbK7Y7iE0uQwI1cUwK1geN-IDEX3ePDsMpDC6J7KVccdqBNIGtvxCUn2~9EMBssHkH9qmc2AhqDq680qVMNHtzg2rQIwFSZCouqW8ZYIPvVRCEg9owauGFLI2GuU3bqQIunkXCoNkcY1D2uMhnN8rghGNbh4Rt2tiSshZc9TFZBFvg0doQJh-ZPgcAr0RGiugYBAPGUnMzoIXwwRWITWNQeRbDk3YUyJtrRasHCkax1f6V9suTEFx12wImZG6mdqKnO-5cCpsej5H5lkffpkyAlkmO5briZ5EnKX8xAjK2ZoQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 24 maio 2026.

MENDES, David; GOMES, Helber Barros. Detecção e atribuição das anomalias anuais dos índices de extremos de chuva e temperaturas máxima e mínima diárias sobre o litoral de São Paulo/Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 05, p. 3008-3043, 2021.

Disponível em: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/108518445/39762-libre.pdf?1701967309=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDeteccao_e_atribuicao_das_anomalias_anua.pdf&Expires=1782925819&Signature=S~X3tAArPdoBE5D5hImUIFPyakGjYmjPwxQSgLLIQhSeR09ffYmatkMWt6Gi2dLrI3QwAxoIL6hM~-p-T6KSvzF79VvgTDbFWeUq-71XxdEEnN6k16Fx9hBAb9oQK2uRjrl20hpWgMy3DgaAltj~2EcrrUkT4jX5wPq0NIY399MikSehK7Teyq-B0I62GMPtYTtErc0Aj5ar8l288zJZwEbdD2GLxvgiUJENhyyuKoeWFZxWXFDL4yLuYHDISIVfx0Pz1SoG-m8nIwxgg7aw~j2xflvkyRpq2flNQBcKdaz6Lz-ICl3lAQ09m2dFyjgnK7VvifRATyFwS0ExrNQiw__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 27 Junho 2026.

MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. *Climatologia: noções básicas e climas do Brasil*. São Paulo: Oficina de textos, 2017. Disponível em:

https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=cThNDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=MENDON%3C%87A,+Francisco%3B+DANNI-OLIVEIRA,+In%3CAAs+Moresco.+Climatologia:+no%3CA7%3CB5es+b%3CA1sicas+e+climas+do+Brasil.+Oficina+de+textos,+2017.&ots=s3avzsNbbl&sig=NCverdY5sJOGDDowWz_Sjcml5z4&redir_esc=y#v=onepage&q=MENDON%3C%87A%2C%20Francisco%3B%20DANNI-OLIVEIRA%2C%20In%3CAAs%20Moresco.%20Climatologia%3A%20no%3CA7%3CB5es%20b%3CA1sicas%20e%20climas%20do%20Brasil.%20Oficina%20de%20textos%2C%202017.&f=false. Acesso em: 24 maio 2026.

MOREIRA, Richard Eustáquio de Assis. Deslocamentos induzidos por desastres relacionados à chuva no Brasil entre 2013 e 2022. REMHU: *Revista Interdisciplinar da Mobilidade Humana*, v. 32, p. e321876, 2024. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/remhu/a/b9fDSzf4yqJgbB7VcmTwSRp/?lang=pt>. Acesso em:

NAGHETTINI, Mauro. Introdução à hidrologia aplicada. *Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais*, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mauro-Naghetini/publication/306959699_Introducao_a_Hidrologia_Aplicada_ApostilaSebentaDraft/links/57c08ab808aeb95224d4a362/Introducao-a-Hidrologia-Aplicada-Apostila-Sebenta-Draft.pdf. Acesso em: 24 maio 2026.

O'NEILL, Brian C. et al. The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global environmental change*, v. 42, p. 169-180, 2017. Disponível em: <https://dspace.library.uu.nl/server/api/core/bitstreams/8b6fa501-8c45-4924-97e9-c3cf386ec9e1/content>. Acesso em: 24 maio 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (WMO). *Status of Mortality and Economic Losses due to Weather, Climate and Water Extremes (1970-2021)*. 2023. Disponível em: <https://storymaps.arcgis.com/stories/8df884dbd4e849c89d4b1128fa5dc1d6>. Acesso em: 24 maio 2026.

PETERSON, Thomas et al. *Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs*. Geneva: World Meteorological Organization, 2001. Disponível em: https://eprints.soton.ac.uk/30144/1/048_wgccd.pdf. Acesso em: 30 Junho 2026.

REBOITA, Michelle Simões et al. South America climate change revealed through climate indices projected by GCMs and Eta-RCM ensembles. *Climate Dynamics*, v. 58, n. 1, p. 459-485, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Vitor-Hugo-Marrafon/publication/354076087_South_America_climate_change_revealed_through_climate_indices_projected_by_GCMs_and_Eta-RCM_ensembles/links/6143284d5c251a59664564b9/South-America-climate-change-revealed-through-climate-indices-projected-by-GCMs-and-Eta-RCM-ensembles.pdf. Acesso em: 24 maio 2026.

RENTSCHLER, Jun; SALHAB, Melda; JAFINO, Bramka Arga. Flood exposure and poverty in 188 countries. *Nature communications*, v. 13, n. 1, p. 3527, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-022-30727-4>. Acesso em: 30 Junho 2026.

RODRIGUES, Carlos. *Precipitação*. ICAAM - ETC Universidade de Évora, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10174/7709>. Acesso em: 30 Junho 2026.

ROGERS, Justin S. et al. The role of climate and population change in global flood exposure and vulnerability. *Nature Communications*, v. 16, n. 1, p. 1287, 2025. Disponível em: The role of climate and population change in global flood exposure and vulnerability | Nature Communications. Acesso em: 30 Junho 2026.

SWART, Neil C. et al. The Canadian earth system model version 5 (CanESM5. 0.3). *Geoscientific Model Development*, v. 12, n. 11, p. 4823-4873, 2019. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/12/4823/2019/gmd-12-4823-2019.html>. Acesso em: 27 Junho 2026.

TATEBE, Hiroaki et al. Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. *Geoscientific Model Development*, v. 12, n. 7,

p. 2727-2765, 2019. Disponível em: <https://gmd.copernicus.org/articles/12/2727/2019/gmd-12-2727-2019.html>. Acesso em: 27 Junho 2026.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2025: Resilience Pays: Financing and Investing for Our Future*. Geneva: UNDRR, 2025. Disponível em: <https://www.undrr.org/gar/gar2025>. Acesso em: 24 maio 2026.

VAZQUEZ, Marta et al. Atmospheric moisture sources associated with extreme precipitation during the peak precipitation month. *Weather and Climate Extremes*, v. 30, p. 100289, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212094720303029>. Acesso em: 24 maio 2026.