



Panorama dos Eventos Extremos e dos
Cenários Climáticos Futuros
para o Estado do Paraná



Fonte: Leme Comunicação

Publicação do relatório em parceria
com a Agência Escola UFPR.

Fotografia: Unsplash

Projeto gráfico: Isabela Ciunek e Yasmin Salamon

Revisão: Ivan Coelho e Naotake Fukushima

Equipe Técnica – Eixo 1 do NAPI

Camila Bertoletti Carpenedo
(UFPR - Curitiba)

Carlos Coimbra
(UFPR - Palotina)

Gabriela Goudard
(UFPR - Curitiba)

Leila Limberger
(UNIOESTE - Marechal
Cândido Rondon)

Pedro Augusto Breda Fontão
(UFPR - Curitiba)

Sidnei Osmar Jadoski
(UNICENTRO - Guarapuava)

Wilson Flavio Feltrim Roseghini
(UFPR - Curitiba)

CONTEÚDO

Introdução Geral

3

1. Histórico de eventos extremos e desastres registrados no Paraná nos últimos anos

5

2. Índices de eventos extremos e de detecção de mudanças climáticas no Estado do Paraná

8

3. Modelos de previsão climática futura regionalizados para o Estado do Paraná

12

INTRODUÇÃO GERAL



Na contemporaneidade os problemas decorrentes das mudanças climáticas se agravaram de tal maneira que passaram à condição de emergência. A aceleração e intensificação de inúmeros problemas evidenciados, sobretudo, pelos impactos cada vez mais graves dos eventos climáticos extremos sobre grupos humanos, agricultura, economia e saúde, dentre outros, clama por medidas urgentes. Soluções baseadas na natureza são importantes ferramentas para mitigação e adaptação às mudanças climáticas e um passo fundamental para o Desenvolvimento Sustentável do Estado do Paraná.

Entretanto, para o desenvolvimento e planejamento de estratégias inovadoras para mitigação e adaptação aos impactos das mudanças climáticas, é importante, por exemplo, medir estoques de carbono, instaurar o monitoramento efetivo de gases do efeito estufa, da poluição atmosférica, da temperatura do ar e dos excessos hídricos, bem como disponibilizar a informação para os agentes envolvidos desenvolverem políticas públicas e privadas efetivas. Neste contexto, houve a articulação de diversos pesquisadores do Estado para a criação do Novo Arranjo de Pesquisa e Inovação – **NAPI – EMERGÊNCIA CLIMÁTICA (NAPI-EC)**, sob coordenação geral do Prof. Francisco Mendonça/UFPR.

O objetivo principal do NAPI-EC é desenvolver estudos e projetos de tecnologia e inovação visando avaliar o impacto das mudanças climáticas no Estado do Paraná e promover a mitigação da emissão de gases e aerossóis atrelados ao efeito estufa provenientes de atividades urbano-industriais e agropecuárias, bem como a adaptação aos cenários climáticos futuros, nos quais os eventos climáticos extremos tendem a se intensificar.

Os estudos e projetos no NAPI-EC têm como escopo principal a quantificação dos impactos e a redução dos riscos às atividades econômicas e sociais em face da diferenciada vulnerabilidade socioambiental e da necessária prevenção aos impactos das mudanças climáticas globais. As propostas estão divididas em cinco eixos temáticos assim estruturados:

Este documento apresenta alguns resultados do Eixo 1, especialmente aqueles que favorecem uma caracterização dos efeitos das mudanças climáticas já sentidas no Estado, bem como, as projeções de cenários futuros. Dessa forma, encontra-se estruturado em três partes: I) histórico de eventos extremos e desastres no Paraná; II) índices de eventos climáticos extremos e III) cenários de mudanças climáticas globais para o Estado do Paraná.

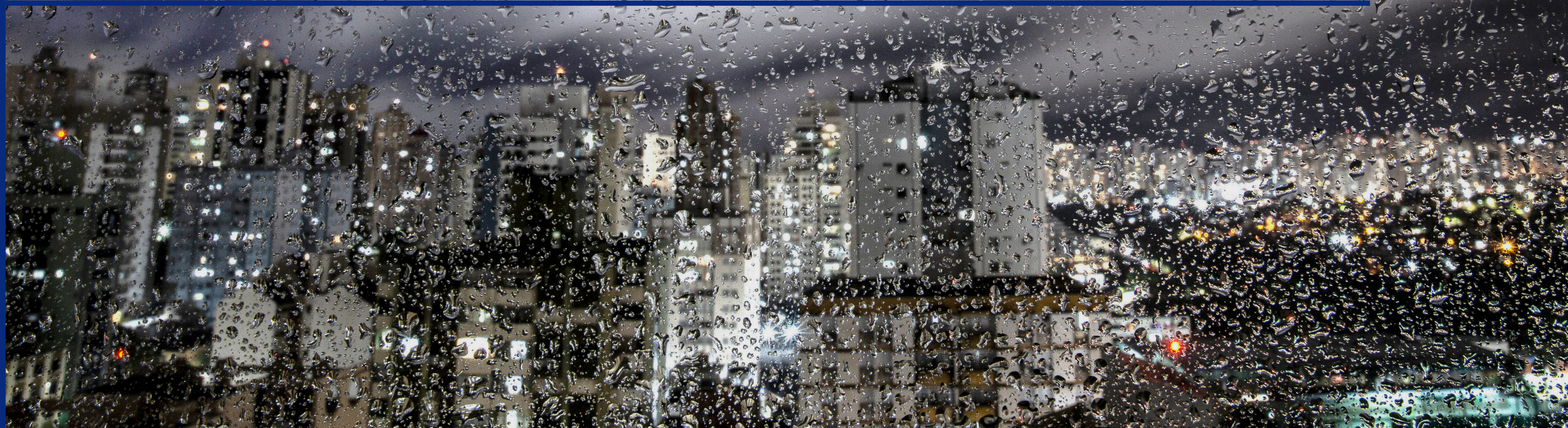
As propostas estão divididas em cinco eixos temáticos assim estruturados:

- 1.** Diagnóstico e prognósticos das mudanças climáticas no estado do Paraná;
- 2.** Impactos das mudanças climáticas na biodiversidade e nas bases ecológicas do território paranaense;
- 3.** Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa e poluentes climáticos de vida curta no estado do Paraná;
- 4.** Adaptabilidade e resiliência humana às mudanças climáticas: avaliação de riscos e vulnerabilidades;
- 5.** Ações e perspectivas educacionais no processo de sensibilização e conscientização para o enfrentamento das emergências climáticas no Paraná.



Fonte: [Istock.com/August Avop](https://www.istock.com/photographer/August-Avop)

1. HISTÓRICO DE EVENTOS EXTREMOS E DESASTRES REGISTRADOS NO PARANÁ NOS ÚLTIMOS ANOS



Estado do Paraná apresenta a sua história climática associada a eventos extremos, ora marcados pelo excesso de precipitação, ora pelos déficits pluviais que culminaram em impactos e desastres diversos para a população ao longo dos últimos anos. Do ponto de vista dos desastres relacionados às anomalias positivas de precipitação, tais como tempestades locais convectivas, enxurradas, alagamentos e inundações, no período de 1979 a 2023 foram evidenciadas 3096 ocorrências na Defesa Civil estadual, com 374 municípios atingidos no Paraná, 4.098.804 pessoas afetadas e 102 óbitos registrados.

A figura 1 permite constatar que esses eventos se concentraram em grandes centros urbanos, como Curitiba e região metropolitana, bem como no litoral, na porção central e no oeste do Estado.

Os municípios que se destacaram em termos de desastres associados aos extremos pluviais positivos foram os seguintes: Curitiba (72 ocorrências), Querência do Norte (54), São José dos Pinhais (48), Araucária (43) e Foz do Iguaçu (42). Municípios como União da Vitória, Francisco Beltrão, Prudentópolis, Umuarama, Ponta Grossa, Paranaguá, Guarapuava, Almirante Tamandaré, Colombo e Guaratuba apresentaram entre 30 e 40 registros de desastres (Figura 1). Ressalta-se que, por se tratar de notificações que precisam ser informadas à Defesa Civil estadual para o seu registro, os casos aqui destacados não refletem a totalidade dos desastres que afetaram o Estado no período de 1979 a 2023.

1979 a 2023 foram evidenciadas 3096 ocorrências na Defesa Civil estadual, com 374 municípios atingidos no Paraná, 4.098.804 pessoas afetadas e 102 óbitos registrados.

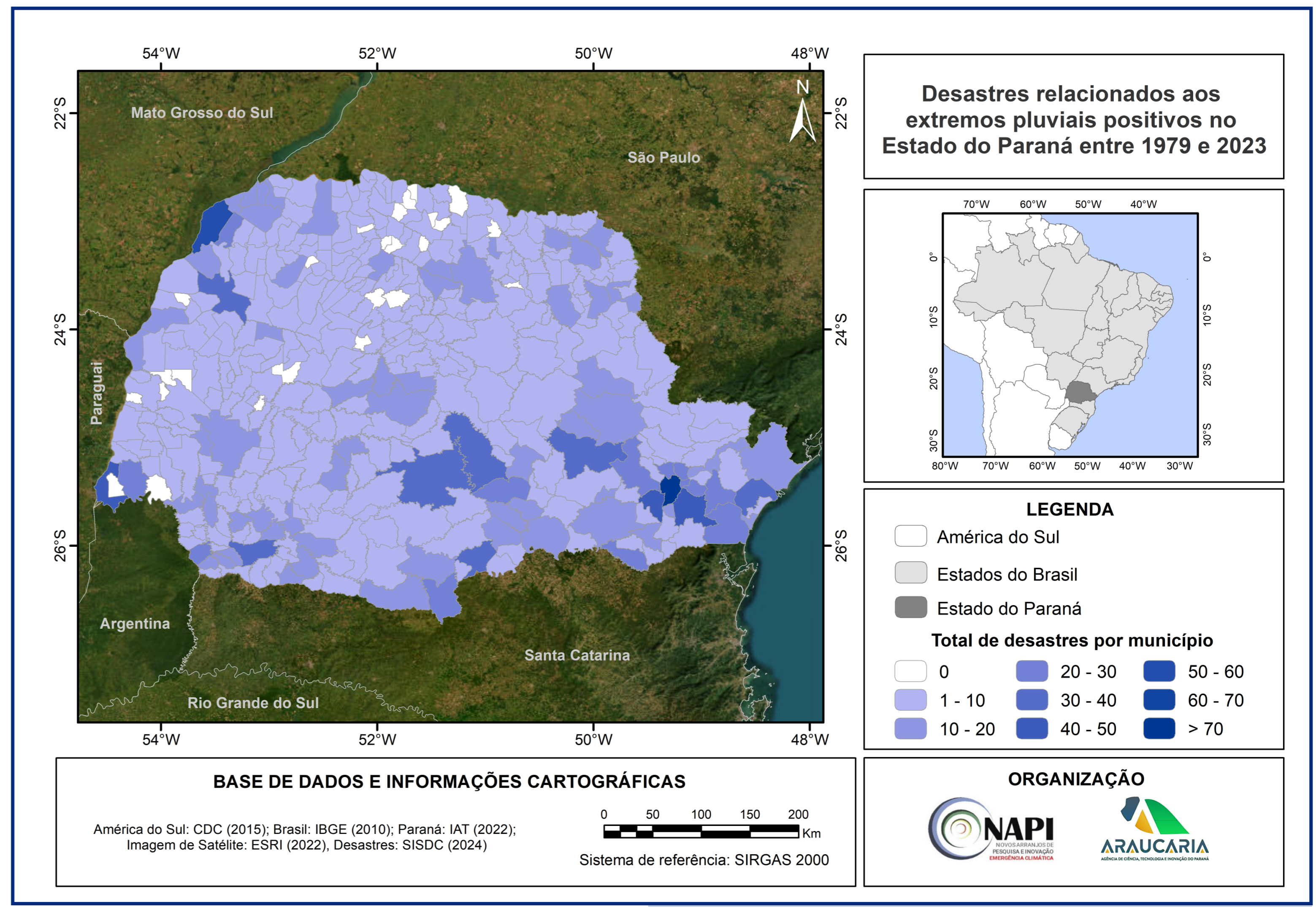


Figura 1. Desastres relacionados aos extremos pluviais positivos (tempestades locais convectivas, enxurradas, alagamentos e inundações) no Estado do Paraná entre 1979 e 2023

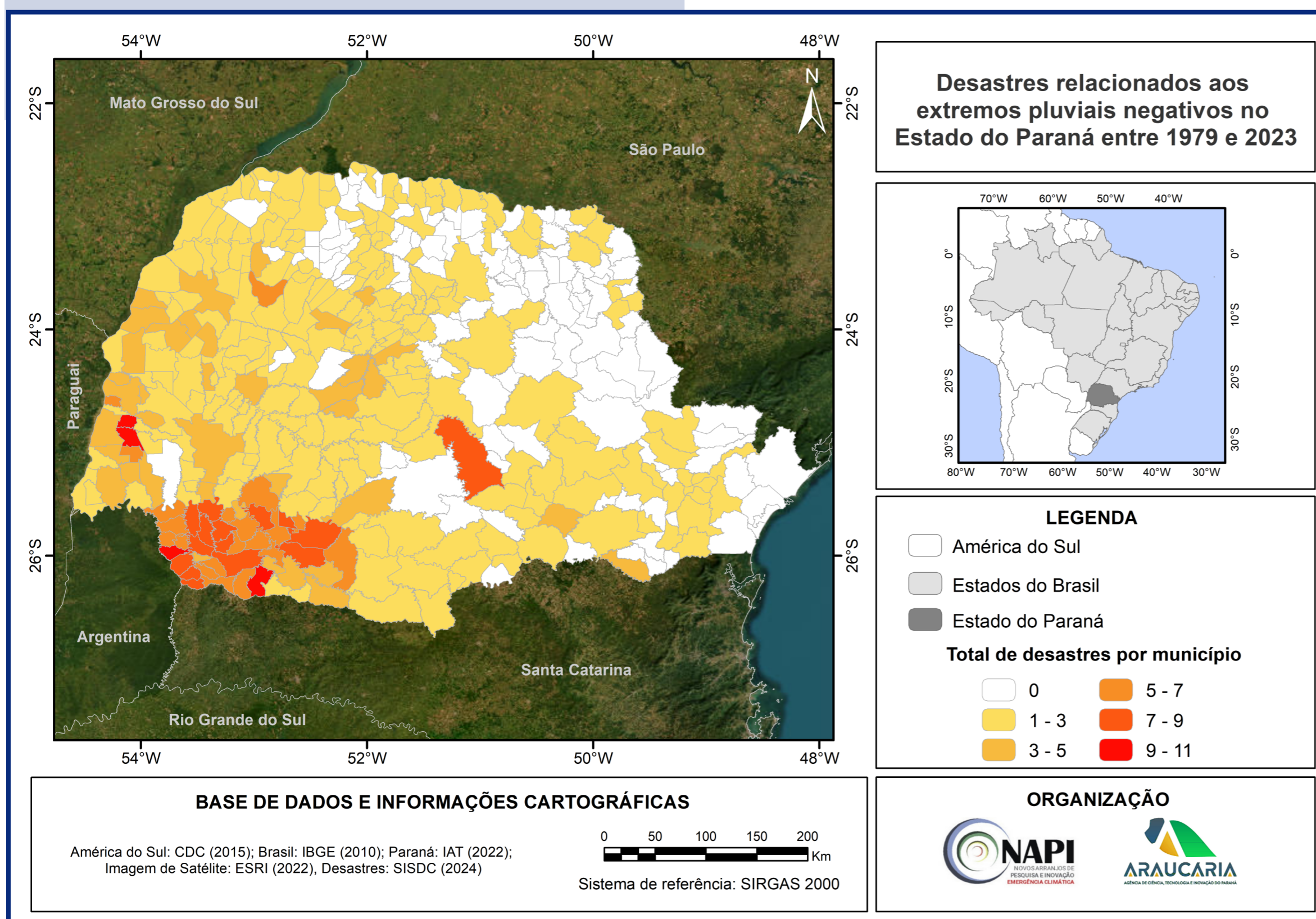
Fonte: SISDC (2024). Organização: Goudard (2024).



Fonte: Istock.com/S. Maggi

Figura 2. Desastres relacionados aos extremos pluviiais negativos (estiagens e secas) no Estado do Paraná entre 1979 e 2023

Fonte: SISDC (2024). Organização: Goudard (2024).



No que se refere às anomalias negativas de precipitação, as quais culminaram em estiagens e secas no Estado, notaram-se 849 ocorrências (Figura 2), 285 municípios atingidos, 3.480.015 pessoas afetadas e 3 óbitos registrados no Estado do Paraná no recorte temporal de 1979 a 2023.

A figura 2 demonstra a dimensão espacial dos desastres relacionados às estiagens e secas, possibilitando constatar que estes se concentram, sobretudo, no sudoeste do Estado do Paraná. Os municípios que apresentaram as maiores ocorrências de estiagens e secas no Paraná entre 1979 e 2023 foram os seguintes: São José das Palmeiras e Pranchita, com 11 ocorrências, seguidos por Diamante D’oeste e Renascença, com 10 notificações. Os municípios de Ampére, Bom Jesus do Sul, Nova Esperança do Sudoeste, Realeza e Santa Izabel do Oeste apresentaram 9 notificações de desastres relacionados às estiagens e secas entre 1979 e 2023.

Cabe ressaltar, que assim como no contexto dos extremos positivos e seus desastres associados, os registros aqui destacados não refletem todos os desastres ligados às estiagens e secas que atingiram o Estado do Paraná, uma vez que os registros na Defesa Civil dependem de notificação dos impactos por parte da população. Neste sentido, a título de exemplo, a seca de 2020 que atingiu de maneira bastante efetiva

o Estado, não foi notificada na maior parte dos municípios associados.

Além disso, cabe destacar que os impactos relacionados aos extremos pluviiais positivos (tempestades locais convectivas, enxurradas, alagamentos e inundações) tendem a ser mais notificados pela população do que as condições de estiagens e secas, em decorrência do potencial de impacto relacionado a estes eventos. Desse modo, as espacializações expressas nas figuras 1 e 2 refletem apenas parcialmente a realidade dos desastres que afetam o Estado do Paraná, sendo estes altamente recorrentes. Cabe ressaltar ainda, que os impactos relacionados às ondas de calor e de frio são pouco notificados no Estado, ainda que aconteçam com frequência.

Dessa forma, levando-se em consideração a recorrência de eventos extremos e desastres no Estado do Paraná, faz-se necessário compreender dois aspectos importantes, quais sejam: I) o comportamento desses extremos nos últimos anos em termos de variabilidade e II) os cenários climáticos futuros ligados às mudanças climáticas globais, que podem intensificar a frequência e a intensidade desses eventos climáticos extremos no Estado. Estas discussões são apresentadas nos itens seguintes do presente relatório, visando subsidiar políticas públicas de enfrentamento às mudanças do clima e seus impactos no contexto paranaense.

2. ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS E DE DETECÇÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ESTADO

Para a avaliação da variabilidade dos eventos climáticos extremos no Estado do Paraná, no período de 1979 a 2023, foram utilizados dois conjuntos de dados: o primeiro de abrangência global, CPC-Global Unified Temperature e Global Unified Gauge-Based Analysis of Daily Precipitation (NOAA/OAR/ESRL PSL), com espaçamento horizontal de 0,5° x 0,5° e, o segundo de abrangência regional para as precipitações, ligado às estações meteorológicas disponibilizadas pelo sistema do Hidroweb, da Agência Nacional de Águas e pelo Instituto Água e Terra (IAT). Os extremos foram avaliados por meio de alguns dos índices do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) da Organização Meteorológica Mundial.

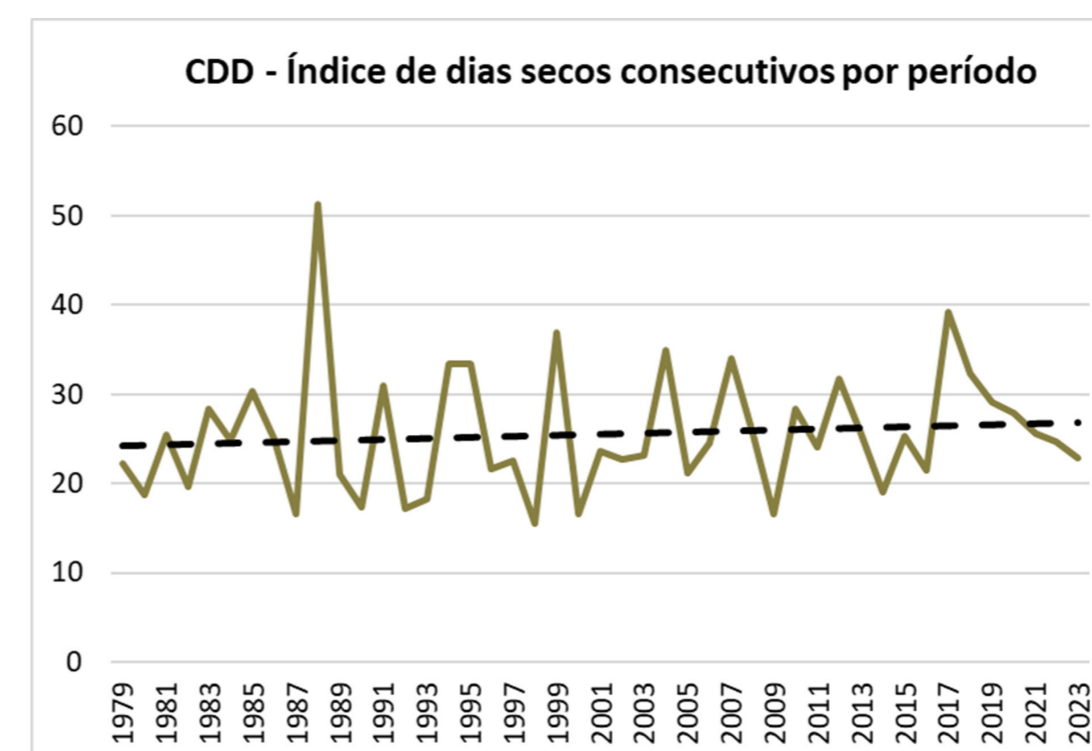
As tendências gerais identificadas para o Estado do Paraná em relação às precipitações foram de **aumentos de dias secos (CDD), diminuição de dias úmidos (CWD) e do número de dias de chuva (RR1)**, bem como aumento da intensidade da precipitação (SDII), relativa à quantidade de milímetros por dia (Figura 3).

Neste sentido, a diminuição de dias de chuva associada ao aumento da intensidade, pode ocasionar uma maior quantidade de impactos relacionados às precipitações extremas.

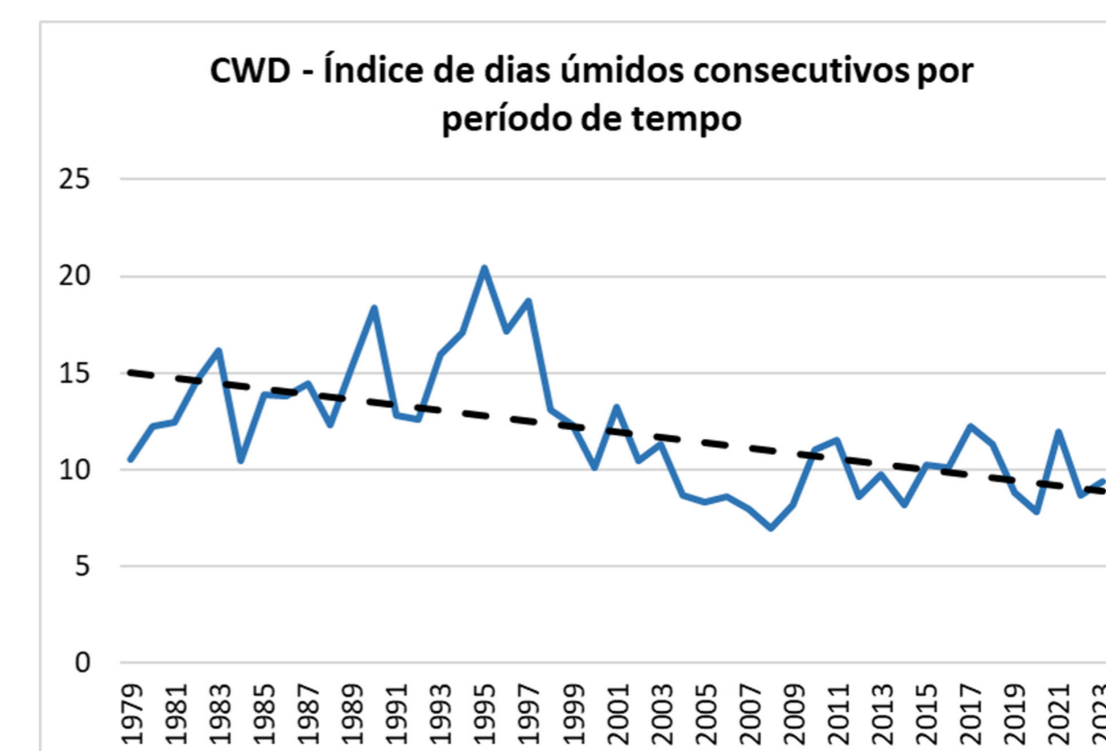
No que se refere às temperaturas, foram evidenciadas condições de aquecimento em todo o Estado, com aumentos de dias de verão (SU) e consecutivos de verão (CSU) no período de 1979 a 2023, com registros de temperaturas superiores à 25°C (Figura 3).

Figura 3. Índices de Eventos Climáticos Extremos para o Estado do Paraná de 1979 a 2023

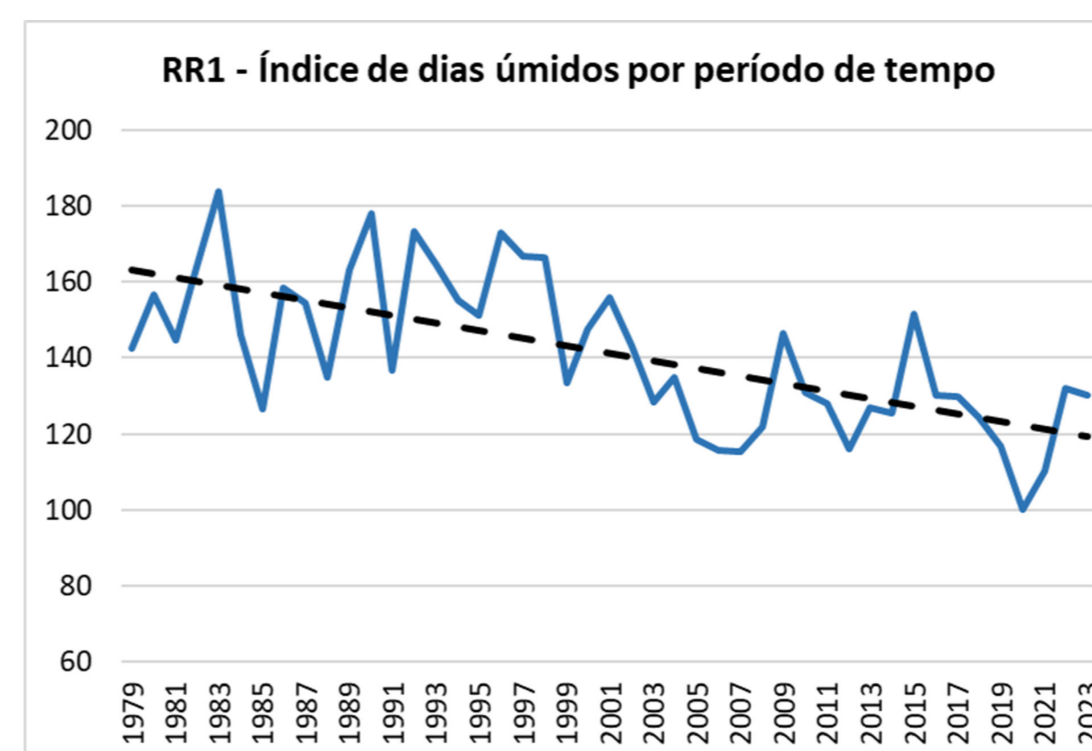
Legenda:
 (A) CDD - índice de dias secos consecutivos por período,
 (B) CWD - índice de dias úmidos consecutivos por período,
 (C) RR1 - índice de dias úmidos por período de tempo, (D) SDII - índice de intensidade diária simples por período de tempo (mm/dia),
 (E) SU - índice de dias de verão (> 25 graus) por período, (F) CSU - índice de dias consecutivos de verão por período (> 25 graus). Organização: Goudard (2024).



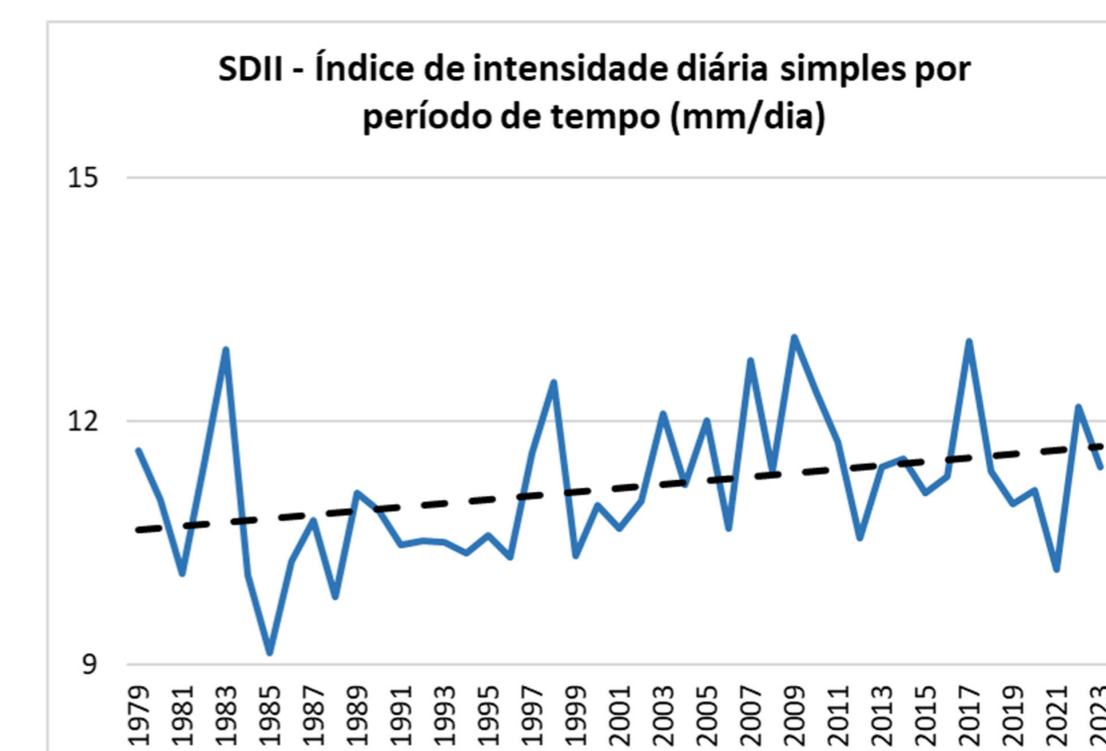
(A)



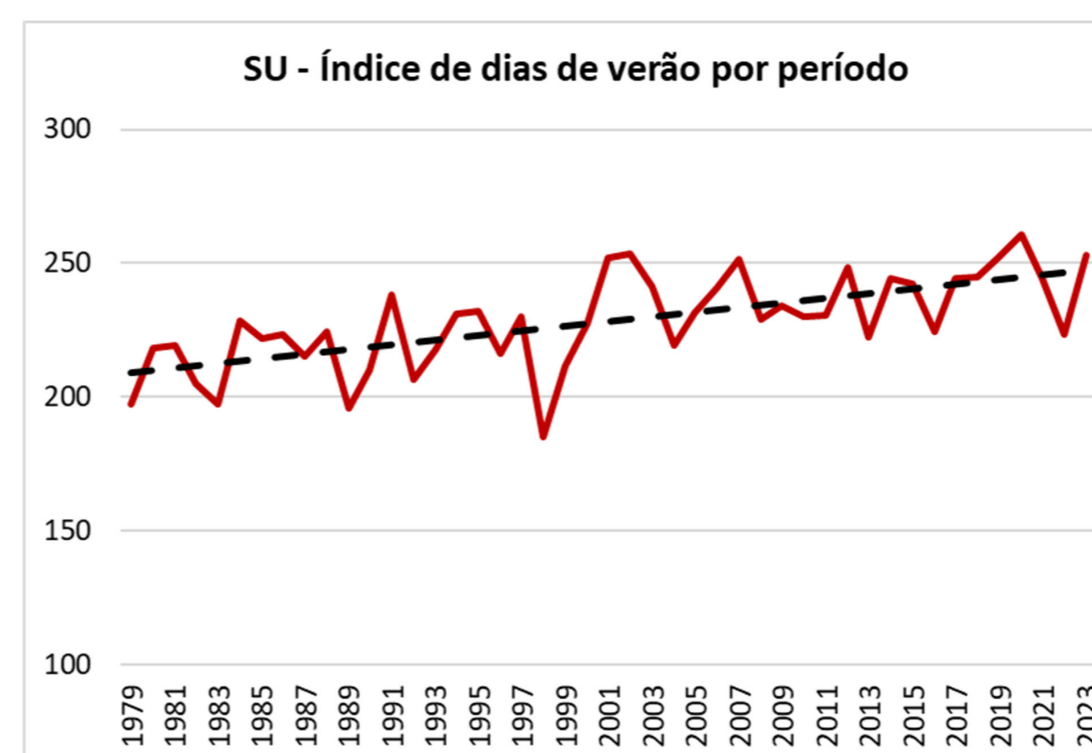
(B)



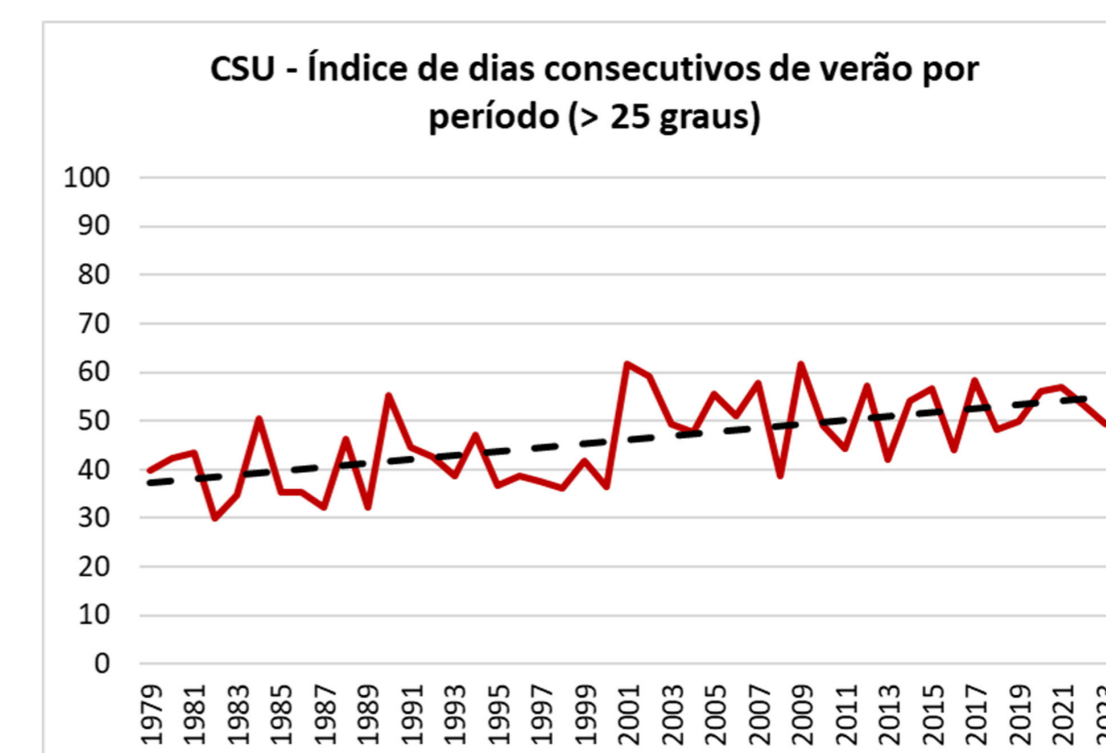
(C)



(D)



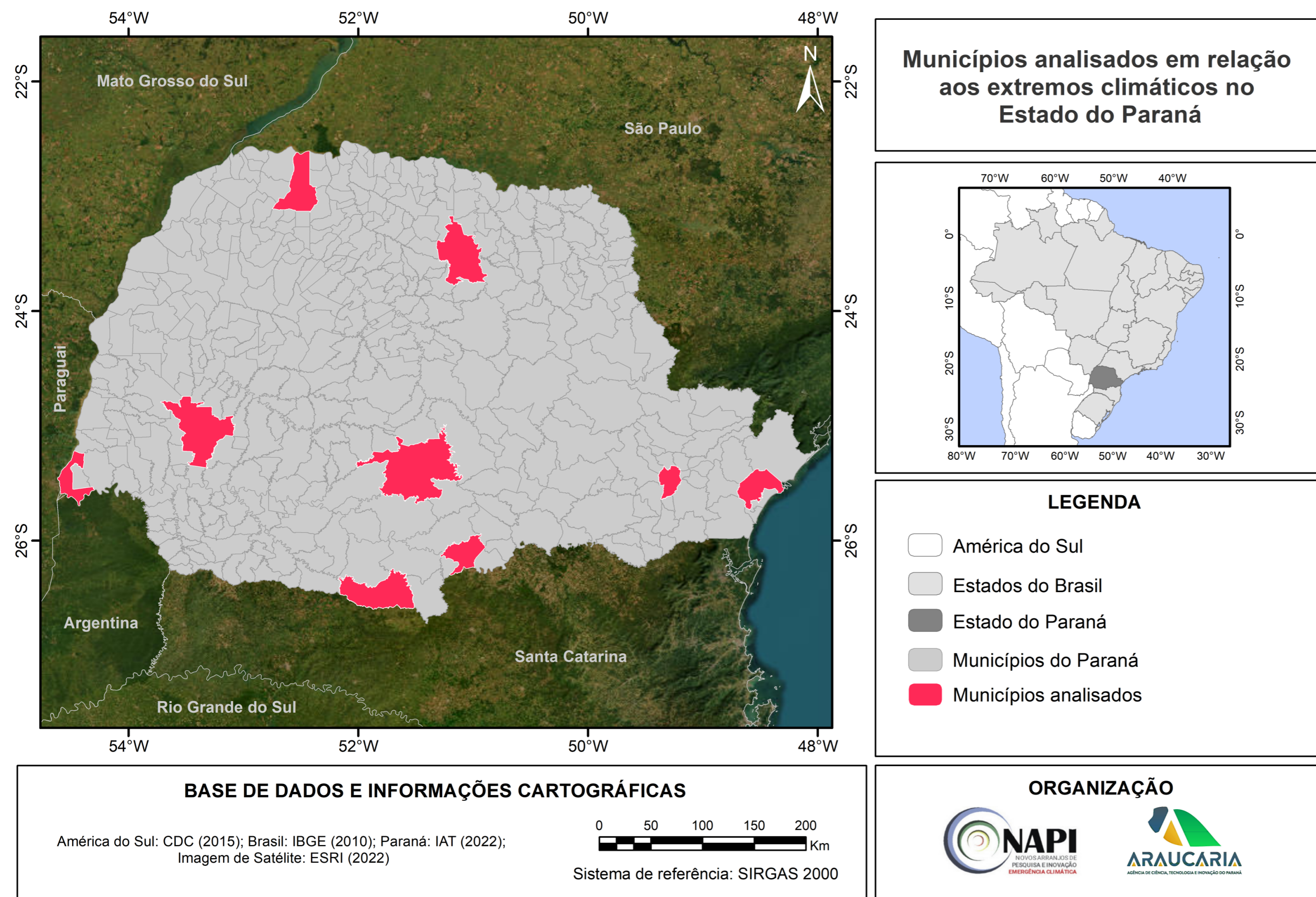
(E)



(F)

Figura 4. Municípios selecionados para análise detalhada de eventos extremos

Organização: Goudard (2024).



Dessa forma, os dados expressos por esses índices refletem o aumento das temperaturas no Estado, bem como a intensificação de extremos secos e chuvosos, que podem gerar impactos expressivos, como condições recentes registradas no Estado.

Os índices que analisam a temperatura de 1979 a 2023 apresentam um consenso quanto ao aquecimento no Paraná; contudo, as precipitações apresentam maiores variações em decorrência da sua alta variabilidade espaço-temporal. Neste sentido, no intuito de detalhar os extremos de precipitação em diferentes regiões do Estado do Paraná, foram selecionados 9 municípios (Figura 4) para realizar as análises supracitadas, de maneira a constatar possíveis variações dos padrões gerais identificados para o Estado.

ÍNDICE / MUNICÍPIO	PARANÁ-GERAL	CASCADEL	CURITIBA	FOZ DO IGUAÇU	GUARAPUAVA
RR1	diminuição*	diminuição	diminuição*	diminuição	diminuição
P99	diminuição	diminuição*	aumento	diminuição	diminuição
P95	diminuição	sem variações	sem variações	aumento	aumento
P90	não avaliado	aumento	aumento	sem variações	diminuição
RX1DAY	aumento	diminuição	aumento*	aumento	aumento
PRCPTOT	diminuição*	diminuição	aumento	sem variações	diminuição
CDD	aumento	aumento	aumento*	aumento	sem variações
CWD	diminuição*	diminuição	diminuição	aumento	diminuição
SDII	aumento*	diminuição*	aumento	aumento	aumento

ÍNDICE / MUNICÍPIO	PARANÁ-GERAL	CASCADEL	CURITIBA	FOZ DO IGUAÇU	GUARAPUAVA
RR1	diminuição*	diminuição	diminuição*	diminuição	diminuição
P99	diminuição	diminuição*	aumento	diminuição	diminuição
P95	diminuição	sem variações	sem variações	aumento	aumento
P90	não avaliado	aumento	aumento	sem variações	diminuição
RX1DAY	aumento	diminuição	aumento*	aumento	aumento
PRCPTOT	diminuição*	diminuição	aumento	sem variações	diminuição
CDD	aumento	aumento	aumento*	aumento	sem variações
CWD	diminuição*	diminuição	diminuição	aumento	diminuição
SDII	aumento*	diminuição*	aumento	aumento	aumento

Quadro 1. Síntese dos índices de eventos climáticos extremos ligados às precipitações para o Paraná e 9 municípios do Estado

Organização: Goudard (2024). Com * as tendências com significância estatística no teste de Mann-Kendall

Os resultados encontrados demonstram padrões semelhantes aos evidenciados para a média dos dados do Paraná para a maior parte dos municípios analisados (Quadro 1). Dessa forma, notam-se predomínios de diminuição do número de dias de chuva (RR1) e de precipitações anuais (PRCPTOT), bem como de aumentos de dias consecutivos secos (CDD) e da intensidade da precipitação em mm/dia (SDII) na maior parte do Estado. Estes fatores podem potencializar impactos relacionados tanto a falta de precipitação (estiagens e secas), como ao seu excesso, culminando em alagamentos, enchentes e inundações.

Em relação ao número de dias úmidos (> 1 mm – RR1), verifica-se que, com exceção de Londrina e Paranaguá, os demais municípios apresentam um padrão de diminuição do número de dias de chuva (Quadro 1), ainda que em sua grande maioria sem significância estatística no teste de Mann-Kendall.

Os percentis (p99, p95 e p90), que refletem 1%, 5% e 10% das precipitações mais expressivas das séries históricas avaliadas, respectivamente, apresentam variações de tendências entre os municípios analisados, conforme expresso no Quadro 1. O P99, em geral, demonstrou predomínio de tendências negativas entre os municípios, ao passo que o P95 esteve associado à tendências positivas na maior parte dos municípios. O P90 apresentou tendências de aumento em 4 municípios, diminuição em 2 e em 3 cidades não apresentou variações consideráveis. Cabe destacar que para cada município analisado foram calculados individualmente os valores de p99, p95 e p90, respeitando a variabilidade pluvial de cada uma das cidades. O índice RX1DAY, relativo a máxima precipitação em um dia, demonstrou tendências positivas na maior parte dos municípios analisados (Quadro 1), fato que, aliado à intensificação da intensidade das chuvas (mm/dia – SDII), configura-se como uma tendência potencial de incremento de impactos e

desastres relacionados ao excesso de chuva. A precipitação anual (PRCPTOT) esteve associada às tendências negativas nas médias do Estado e na maioria dos municípios avaliados (Quadro 1), o que indica que as precipitações têm diminuído, contudo vêm se tornando mais intensas (índices RX1DAY e SDII). Desse modo, sugere-se alterações no padrão de distribuição da pluviosidade no Estado do Paraná em seu ciclo anual.

O índice relativo aos dias consecutivos secos (CDD) apresentou, preponderantemente, tendências positivas, com diminuições apenas no município de Paranaguá, no litoral do Estado, conforme evidenciado no Quadro 1. Em contrapartida, os dias consecutivos úmidos (CWD) apresentam indicativos de diminuições no Estado e nos municípios avaliados.

O índice de intensidade simples diária (SDII), relativo à quantidade de precipitação registrada em dias úmidos (>1 mm - PRCPTOT) em relação ao número de dias de chuva (RR1), apresentou tendências de aumentos em 6 dos 9 municípios analisados (Quadro 1), com exceção de Cascavel, marcado por tendências negativas e Londrina e Paranaguá, sem variações consideráveis no período de 1979 a 2023.

De modo geral, pode-se notar para o Estado do Paraná uma diminuição de dias de chuva, das quantidades anuais de precipitação e dos dias consecutivos úmidos, ao passo que índices como RX1DAY, CDD e SDII foram marcados por tendências de aumentos, o que sugere uma intensificação de extremos pluviais, tanto positivos, como negativos.

3. MODELOS DE PREVISÃO CLIMÁTICA FUTURA REGIONALIZADOS PARA O ESTADO DO PARANÁ



Fonte: Istock.com/Cristian Lourenço

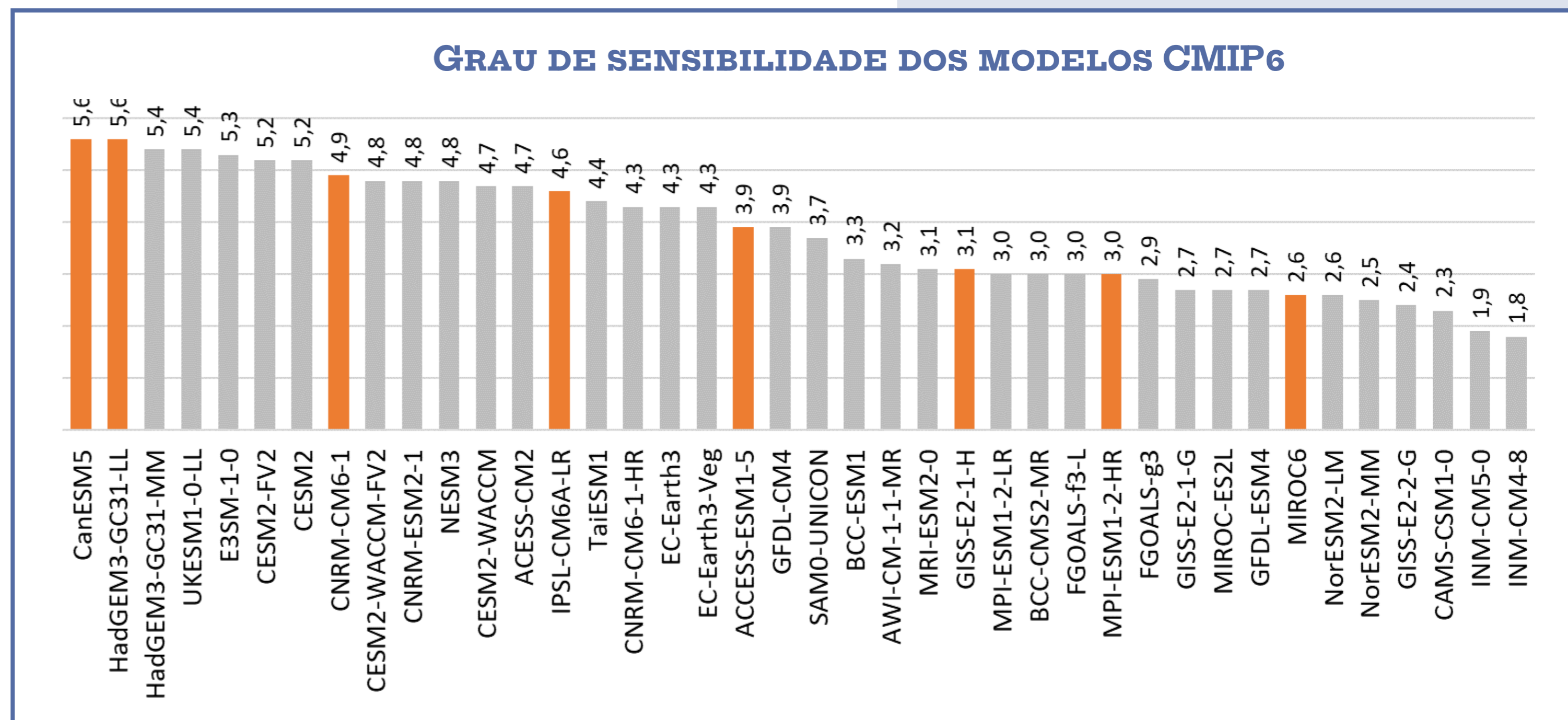
Ressalta-se que se optou por utilizar dois conjuntos de dados dos modelos CMIP6, uma vez que o primeiro apresenta uma visão mais abrangente dos prognósticos climáticos, visto que considera todos os modelos disponibilizados e, o segundo permite analisar os efeitos do aquecimento nas temperaturas máximas e mínimas registradas no Paraná.

Figura 5. Grau de sensibilidade climática (°C) dos modelos do CMIP6 (em laranja os modelos analisados)

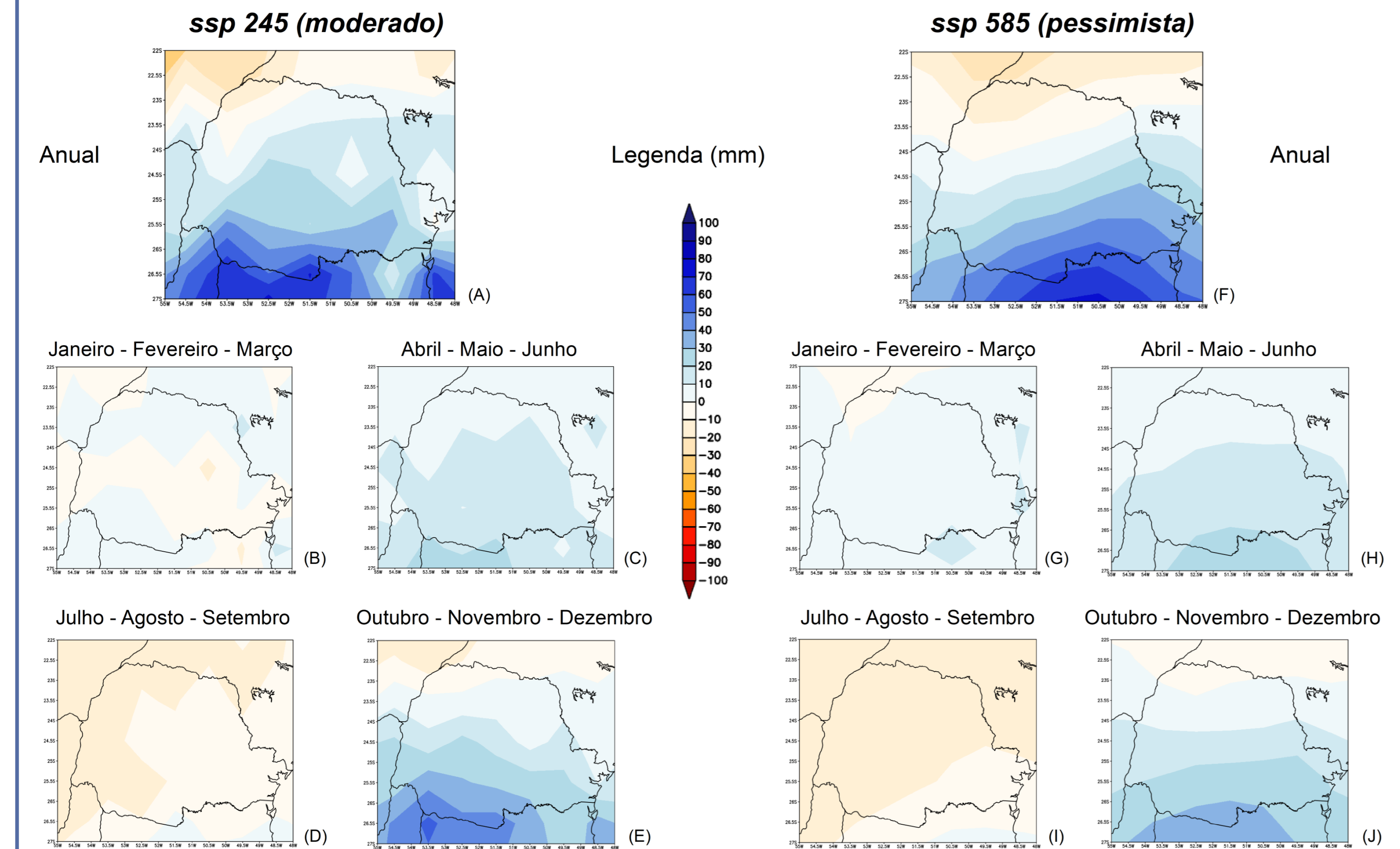
Fonte: adaptado de CMIP6 (2022). Organização: Goudard (2024).

Para a análise dos cenários futuros anuais e sazonais de precipitação e temperatura para o Estado do Paraná, foram utilizados dois conjuntos de dados: I) média de todos os modelos do CMIP6, atrelados ao último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e disponibilizados na base do PSL (NOAA) e II) média de 8 modelos com sensibilidades climáticas distintas (Figura 5), disponibilizados na plataforma WorldClim.

Para o primeiro conjunto de dados foram utilizados os seguintes períodos: 2020 – 2049, 2050 - 2079 e 2070 - 2099, com base nas médias históricas de 1985 a 2014, nos cenários moderado (ssp245) e pessimista (ssp585) de emissão de gases de efeito estufa, para os dados de temperatura e precipitação anuais e sazonais. No contexto do segundo conjunto de dados, foram utilizados os períodos de 2041 - 2060 e 2081 - 2100 para as temperaturas máximas e mínimas, considerando os mesmos cenários (moderado e pessimista).



CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO (2020-2049)



Neste contexto, levando-se em consideração o conjunto total de modelos do CMIP6, do ponto de vista das precipitações anuais e sazonais, pode-se notar no recorte temporal de 2020 a 2049, aumentos pluviais anuais da ordem de 60 mm na porção sul do Estado, tanto no cenário moderado (Figura 6a), como no pessimista (Figura 6f). Em contrapartida, na porção noroeste do Estado verificam-se diminuições nas médias anuais no período de 2020 a 2049 de até 30 mm/ano (Figura 6a e Figura 6f).

As análises sazonais permitem constatar aumentos pluviais nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho, outubro, novembro e dezembro, ao passo que os meses de julho, agosto e setembro são marcados por diminuição das precipitações, em ambos os cenários analisados (Figura 6d e Figura 6i). Os aumentos mais expressivos ocorrem na porção sul do Estado nos meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 6e e Figura 6j), com valores de até 40 mm na sazonalidade.

2020-2049

Figura 6. Anomalias de precipitação em cenários climáticos futuros para o Estado do Paraná (2020 – 2049 com base no período histórico de 1985 - 2014)

Legenda: (A) anomalia anual no cenário ssp 425 (moderado); (B) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 425 (moderado); (C) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 425 (moderado); (D) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 425 (moderado); (E) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 425 (moderado); (F) anomalia anual no cenário ssp 585 (pessimista); (G) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 585 (pessimista); (H) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 585 (pessimista); (I) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 585 (pessimista); (J) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 585 (pessimista).

Organização: Goudard (2024).

2050-2079

Em todos o cenários analisados, as projeções indicam verões mais chuvosos e invernos mais secos.

No período de 2050 a 2079 (Figura 7), verificam-se os mesmos padrões evidenciados anteriormente, sendo estes intensificados em termos de aumentos e diminuições das precipitações no Estado. Dessa forma, do ponto de vista anual verificam-se anomalias positivas de precipitação, sobretudo no centro-sul do Estado, com valores variando de 10 a 100 mm/ano.

No cenário moderado (Figura 7a), os acréscimos pluviais superaram os 120 mm/ano no sul do Estado, ao passo que no cenário pessimista (Figura 7f) estes valores apresentam anomalias positivas de 120 mm a 200 mm nestas mesmas porções do Paraná. Desse modo, os aumentos pluviais são mais expressivos no cenário pessimista (Figura 7f) em comparação ao cenário moderado (Figura 7a).

Em relação às variações sazonais, constatam-se os mesmos padrões evidenciados no período de 2020 a 2049, porém intensificados. Neste sentido, os aumentos

pluviais são mais expressivos nos meses de abril, maio, junho (Figura 7c e Figura 7h), outubro, novembro e dezembro (Figura 7e e Figura 7j), ao passo que se notam diminuições das precipitações, de 10 a 30 mm, em julho, agosto e setembro (Figura 7d e Figura 7i), em ambos os cenários analisados. Os aumentos pluviais variam de 10 mm a mais de 100 mm na sazonalidade do Estado do Paraná, com destaque para a porção sul e para os meses de outubro, novembro e dezembro (Figura 7e e Figura 7j), em que estes processos são mais expressivos.

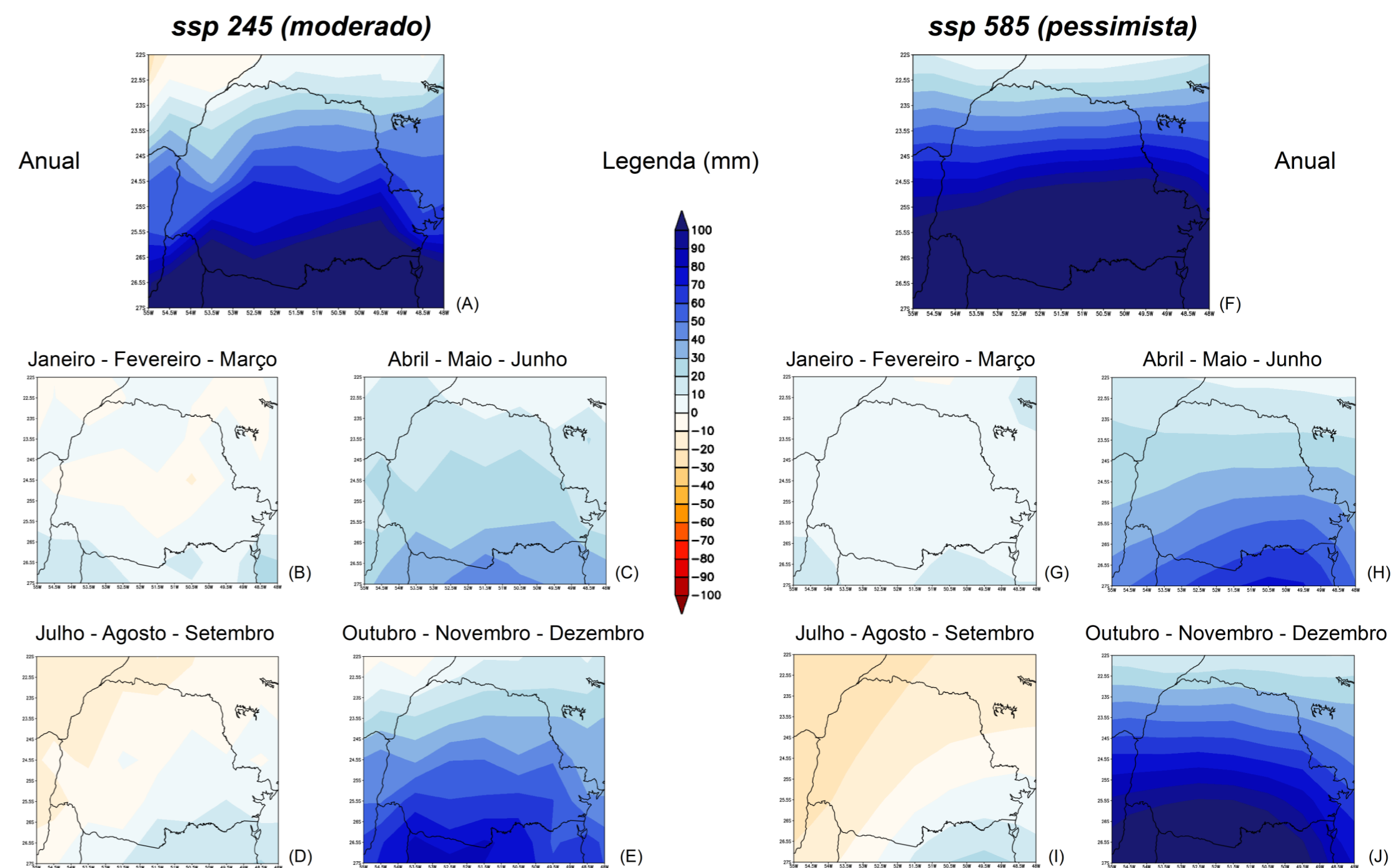
Em relação às variações entre os prognósticos moderado e pessimista, pode-se verificar que os padrões entre estes cenários são os mesmos, tanto anual, como sazonalmente, porém são intensificados em termos de anomalias no cenário pessimista. Neste sentido, notam-se aumentos de chuvas mais significativos anualmente (Figura 7a e Figura 7f) e, nos meses de abril, maio, junho, outubro, novembro e dezembro no cenário ssp585 (Figura 7c, Figura 7h, Figura 7e e Figura 7j). De modo semelhante, as diminuições pluviais no noroeste do Estado nos meses de julho, agosto e setembro são mais evidentes no prognóstico pessimista (Figura 7i).

Figura 7. Anomalias de precipitação em cenários climáticos futuros para o Estado do Paraná (2050 – 2079 com base o período histórico de 1985 - 2014)

Legenda: (A) anomalia anual no cenário ssp 425 (moderado);
 (B) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 425 (moderado);
 (C) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 425 (moderado);
 (D) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (E) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (F) anomalia anual no cenário ssp 585 (pessimista);
 (G) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 585 (pessimista);
 (H) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 585 (pessimista);
 (I) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 585 (pessimista);
 (J) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 585 (pessimista).

Organização: Goudard (2024).

CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO (2050-2079)



CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO (2070-2099)

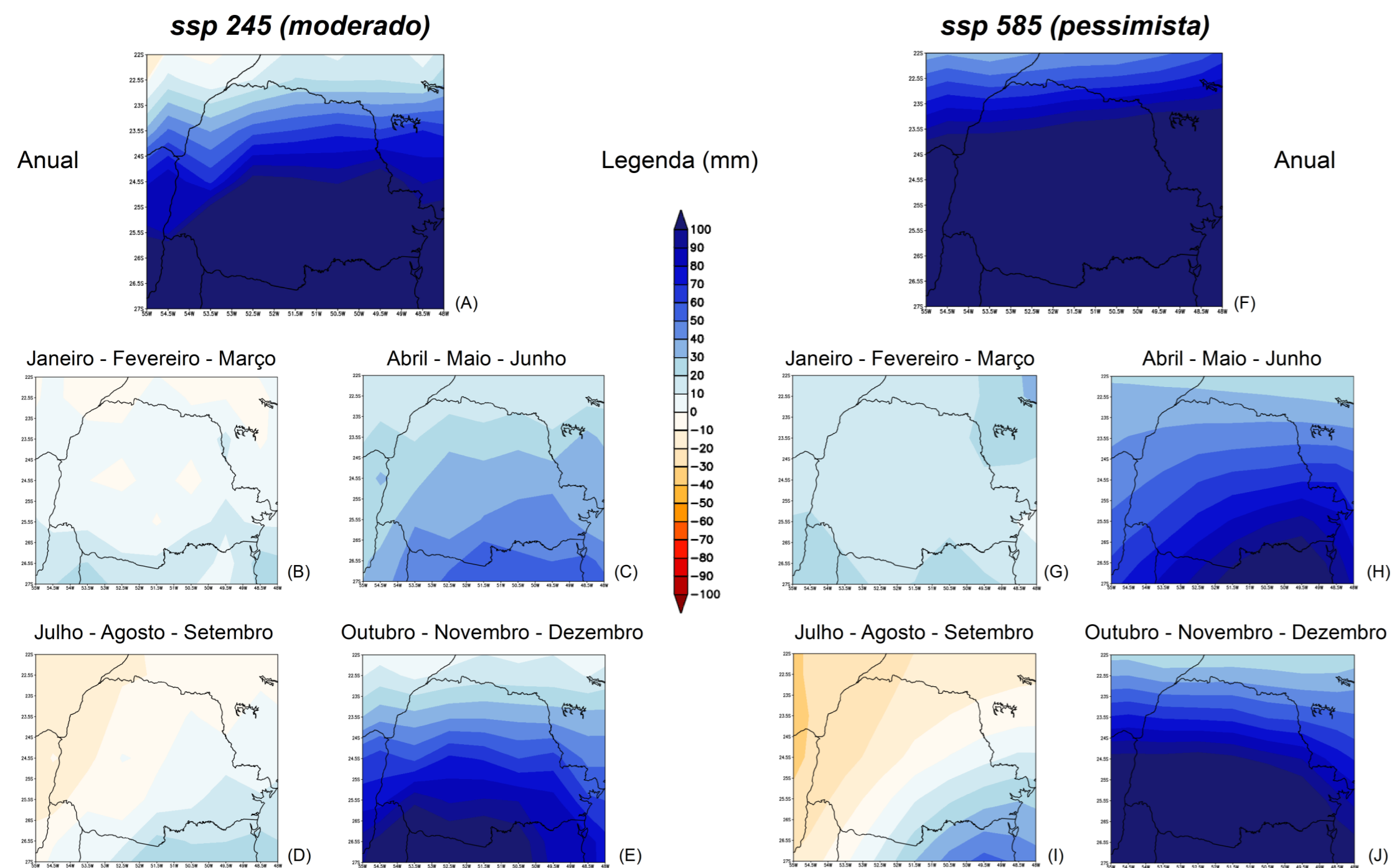


Figura 8. Anomalias de precipitação em cenários climáticos futuros para o Estado do Paraná (2070 – 2099 com base o período histórico de 1985 - 2014)

Legenda: (A) anomalia anual no cenário ssp 425 (moderado);
 (B) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 425 (moderado);
 (C) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 425 (moderado);
 (D) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (E) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (F) anomalia anual no cenário ssp 585 (pessimista);
 (G) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 585 (pessimista);
 (H) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 585 (pessimista);
 (I) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 585 (pessimista);
 (J) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 585 (pessimista).

Organização: Goudard (2024).

2070-2099

No que se refere ao recorte temporal de 2070 a 2099 (Figura 8), evidenciam-se para o Estado do Paraná os mesmos padrões pluviométricos, de modo intensificado, destacados para os períodos de 2020 a 2049 e 2050 a 2079.

Do ponto de vista anual, os aumentos pluviométricos atingem valores de 200 mm no cenário moderado (Figura 8a) e de 120 mm a 320 mm/ano nas anomalias para o prognóstico pessimista (Figura 8f), sobretudo no sul do Estado.

A análise sazonal permite constatar anomalias negativas de precipitação no noroeste do Paraná nos meses de julho, agosto e setembro, com variações de 10 a 30 mm (Figura 8d e Figura 8i), ao passo que os demais meses apresentaram aumentos pluviométricos no Estado, com destaque para a porção centro-sul e, principalmente, para os meses de abril, maio, junho (Figura 8c e Figura 8h), outubro, novembro e dezembro (Figura 8e e Figura 8j), com anomalias positivas que chegam a 160 mm nos acumulados sazonais (Figura 8j). Ressalta-se que as variações das precipitações em relação ao período histórico (1985 - 2014) são mais expressivas no cenário pessimista (Figuras 8f-j).

Cabe ressaltar que por se tratar de dados de modelos, existem incertezas quanto aos cenários futuros apresentados, de modo que os mapeamentos evidenciados na presente cartilha devem ser considerados como tendências para os recortes anuais e sazonais, sem que os valores de anomalias apresentados sejam adotados como valores absolutos; devem ser considerados quanto à direção da tendência e padrão espacial.

No que se refere à variação das temperaturas entre as simulações históricas do CMIP6 e as reanálises do ERA5, no período de 1985 a 2014, Carpenedo et al. (2024)¹ evidenciaram que os modelos superestimam a temperatura do ar em todos os trimestres do ano, especialmente nas áreas de maior altitude (picos superiores à 1200 m). No extremo norte do Estado verifica-se subestimação de até -1°C em todas as estações do ano e, em algumas áreas do litoral, de até -2°C.

Para as precipitações, as análises foram realizadas considerando-se os dados do GPCC - Global Precipitation Climatology Centre em comparação aos valores históricos simulados pelo conjunto de modelos do CMIP6, no recorte de 1985 a 2014. Estas validações permitiram evidenciar superestimação dos dados de pluviosidade em todos os trimestres analisados, sobretudo nos períodos de JFM (janeiro, fevereiro e março) e OND (outubro, novembro e dezembro), com diferenças superiores a 250 mm. Os valores superestimados se destacam, sobretudo na porção sul do Estado em todos os cenários.

¹ CARPENEDO, C. B., GOBI, G. H., YAMANOUCHI, F. T., MACHADO, M. A.M. Temperatura do ar em cenários futuros de mudanças climáticas no estado do Paraná. Revista Brasileira de Climatologia, 34, p.692-707, 2024.

2020-2049

CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA (2020-2049)

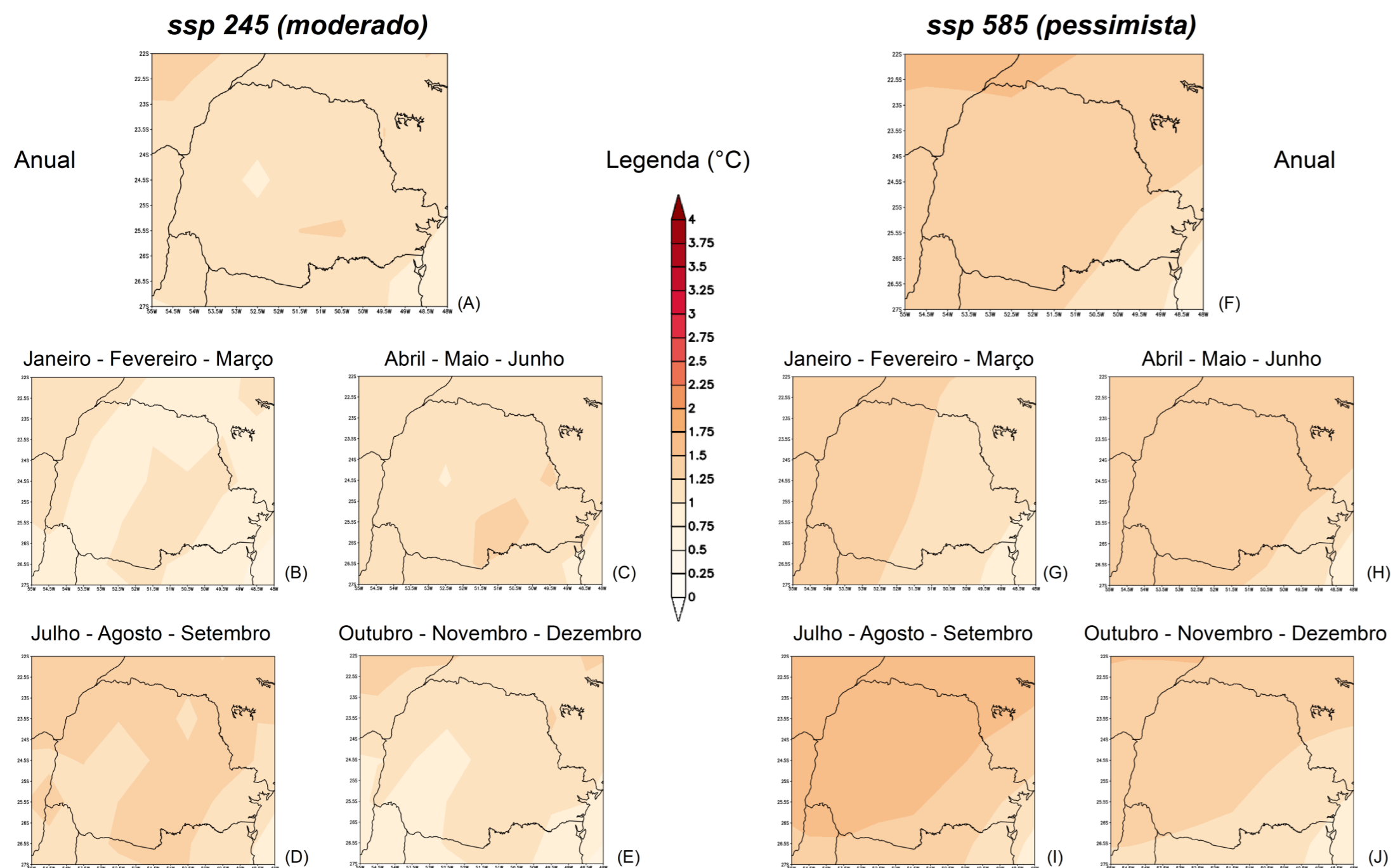
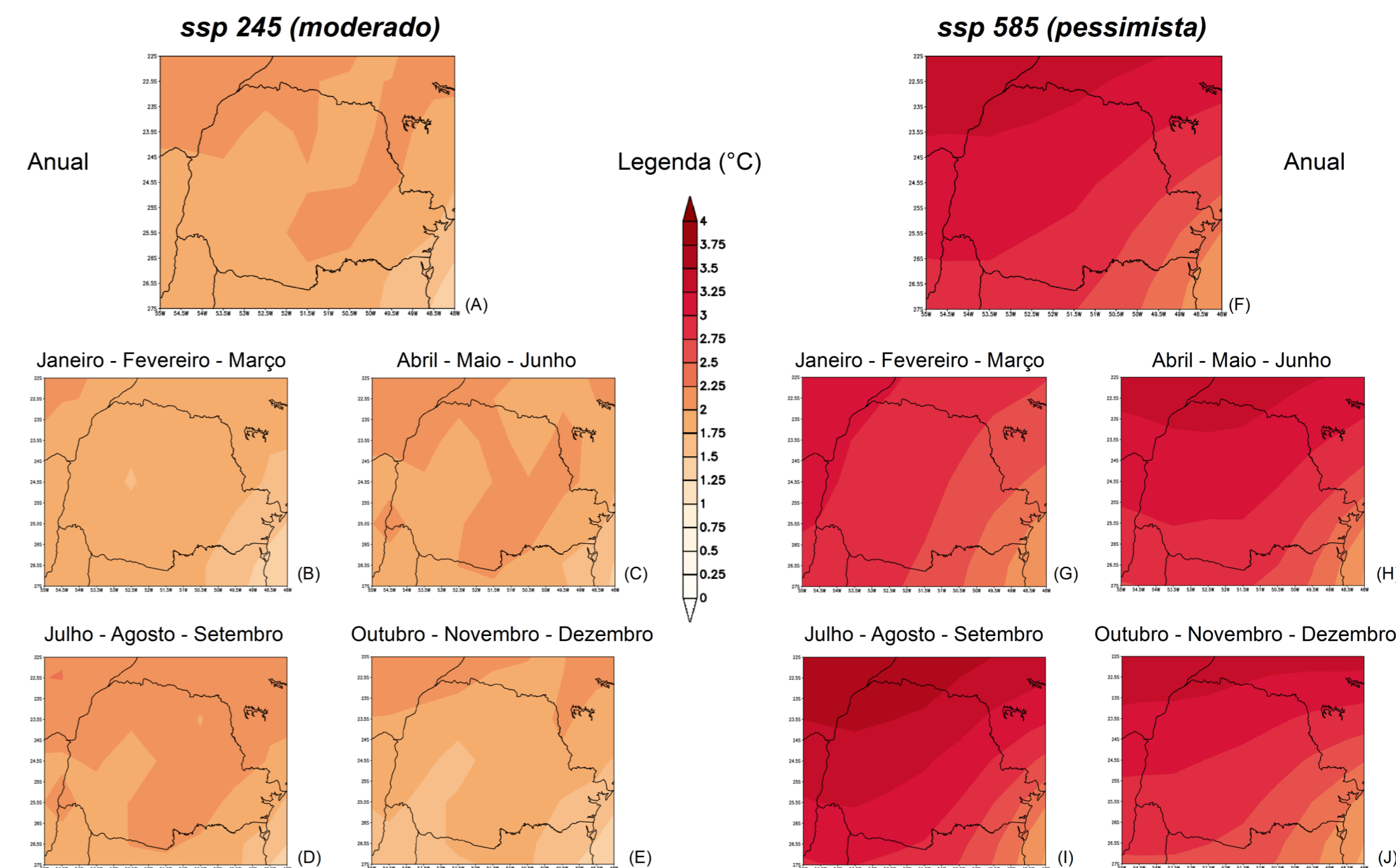


Figura 9. Anomalias de temperatura em cenários climáticos futuros para o Estado do Paraná (2020 – 2049 com base o período histórico de 1985 - 2014)

Legenda: (A) anomalia anual no cenário ssp 425 (moderado);
 (B) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 425 (moderado);
 (C) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 425 (moderado);
 (D) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (E) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (F) anomalia anual no cenário ssp 585 (pessimista);
 (G) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 585 (pessimista);
 (H) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 585 (pessimista);
 (I) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 585 (pessimista);
 (J) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 585 (pessimista).

Organização: Goudard (2024).

CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA (2050-2079)



2050-2079

Figura 10. Anomalias de temperatura em cenários climáticos futuros para o Estado do Paraná (2050 – 2079 com base o período histórico de 1985 - 2014)

Legenda: (A) anomalia anual no cenário ssp 425 (moderado);
 (B) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 425 (moderado);
 (C) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 425 (moderado);
 (D) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (E) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (F) anomalia anual no cenário ssp 585 (pessimista);
 (G) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 585 (pessimista);
 (H) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 585 (pessimista);
 (I) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 585 (pessimista);
 (J) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 585 (pessimista).

Organização: Goudard (2024).

CENÁRIOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA (2070-2099)

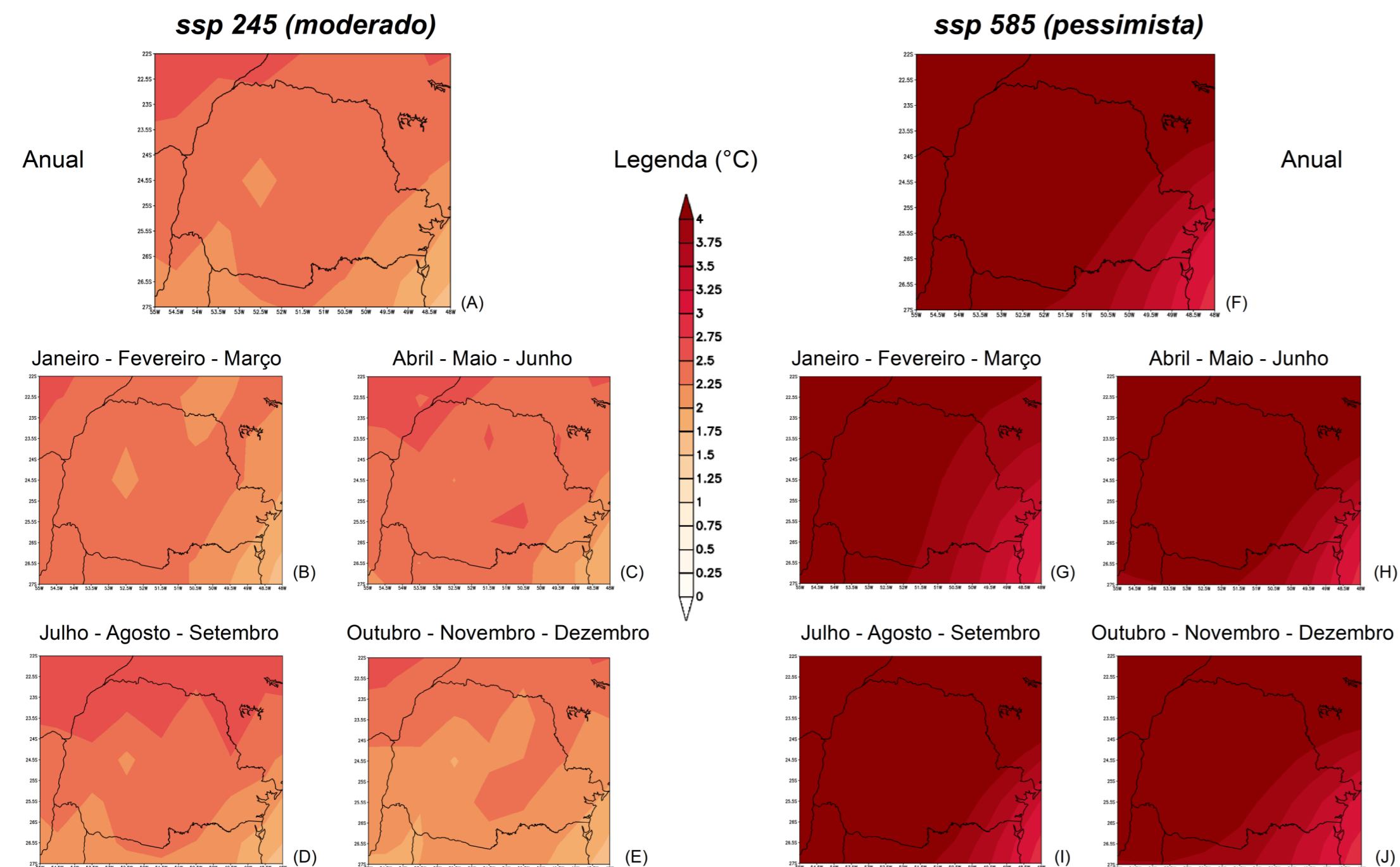


Figura 11. Anomalias de temperatura em cenários climáticos futuros para o Estado do Paraná (2070 – 2099 com base no período histórico de 1985 - 2014)

Legenda: (A) anomalia anual no cenário ssp 425 (moderado);
 (B) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 425 (moderado);
 (C) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 425 (moderado);
 (D) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (E) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 425 (moderado);
 (F) anomalia anual no cenário ssp 585 (pessimista);
 (G) anomalia dos meses de janeiro, fevereiro e março no cenário ssp 585 (pessimista);
 (H) anomalia dos meses de abril, maio e junho no cenário ssp 585 (pessimista);
 (I) anomalia dos meses de julho, agosto e setembro no cenário ssp 585 (pessimista);
 (J) anomalia dos meses de outubro, novembro e dezembro no cenário ssp 585 (pessimista).

Organização: Goudard (2024).

2070-2099

Do ponto de vista das temperaturas médias, os prognósticos (moderado e pessimista) projetados para os períodos de 2020 - 2049, 2050 - 2079 e 2070-2099 sugerem acréscimos térmicos anuais e em todas as estações do ano para o Estado do Paraná, com valores de aumentos variando de 1° a 1,75°C em 2020-2049 (Figura 9), 1,5°C a 4°C em 2050-2079 (Figura 10) e, 1,5°C a 5°C em 2070-2099 (Figura 11). Destaca-se que em todos os períodos e em ambos os cenários, os aumentos foram mais expressivos em julho, agosto e setembro (Figuras 9d, 10d, 11d e Figuras 9f, 10f, 11f) e na porção centro-norte do Estado.

Além disso, os aumentos em termos de temperaturas médias evidenciados nos períodos de 2020 - 2049, 2050 - 2079 e 2070-2099 foram mais expressivos no cenário pessimista atrelados às mudanças climáticas globais. Neste contexto, no período de 2020 a 2049, os aumentos térmicos variaram entre 0,5°C e 1,5°C no cenário moderado e 0,75°C a 1,75°C no pessimista (Figura 9). Em 2050 a 2079, os valores foram de 1,25°C a 2,25°C no cenário moderado e 1,75°C a 4°C no pessimista (Figura 10). Em 2070 a 2099, às variações térmicas figuraram entre 1,75°C a 2,5°C no prognóstico moderado e de 2,75°C a valores superiores à 4°C, considerando o cenário pessimista (Figura 11).

No que se refere às temperaturas máximas, pode-se notar aquecimentos em todas as estações do ano (Figura 12). No período histórico de 1970 a 2000, as

médias apresentavam variações de 23°C a 32°C no verão, 20°C a 28°C no outono, 17°C a 26°C no inverno e 19°C a 30°C na primavera.

No verão (Figura 12 a-e), os prognósticos futuros apontam para temperaturas máximas variando de 24°C a 35°C (25°C a 35°C) no período de 2041-2060 no cenário moderado (pessimista) e de 25°C a 36°C (27°C a 38°C) no período de 2081-2100 no cenário moderado (pessimista). Desse modo, notam-se aumentos de 1°C a 6°C nas médias em relação ao recorte temporal de 1970 a 2000 (23°C a 32°C).

No outono (Figura 12 f-j), os cenários climáticos futuros destacam variações das temperaturas máximas de 21°C a 31°C (22°C a 31°C) no período de 2041-2060 e de 22°C a 32°C (24°C a 35°C) no período de 2081-2100 no cenário moderado (pessimista). Neste sentido, constata-se aumentos térmicos de 1°C a 7°C nas médias em relação ao recorte temporal de 1970 a 2000, com valores variando de 20°C a 28°C

No que se refere ao inverno (Figura 12 k-o), no período de 2041-2060 evidenciam-se variações das temperaturas máximas médias de 18°C a 28°C (19°C a 29°C) no cenário moderado (pessimista). Para o período de 2081-2100, as variações são de 19°C a 29°C (21°C a 32°C), considerando o cenário moderado (pessimista). Neste contexto, os aumentos térmicos associados às mudanças do clima oscilam de 1°C a 6°C em relação

à média histórica de 1970 a 2000, com valores de 17°C a 26°C.

Do ponto de vista das médias da primavera (Figura 12 p-t), no recorte temporal de 2041-2060, verificam-se variações de 21°C a 33°C (21°C a 34°C) e no período de 2081-2100, oscilações médias de 22°C a 34°C (24°C a 37°C) nos cenários moderados (pessimistas). Desse modo, notam-se acréscimos térmicos de 2°C a 7°C em relação às médias históricas de 1970 a 2000, com valores médios de temperaturas máximas variando entre 19°C a 30°C.

Partindo-se destes valores, pode-se constatar que os prognósticos climáticos futuros das temperaturas máximas no Estado do Paraná refletem condições de aquecimento em todas as estações do ano.

Além disso, do ponto de vista espacial, evidencia-se que os referidos aquecimentos são mais expressivos da direção central ao norte do Estado, corroborando com os cenários apresentados anteriormente para as médias térmicas, englobando todos os modelos do CMIP6.



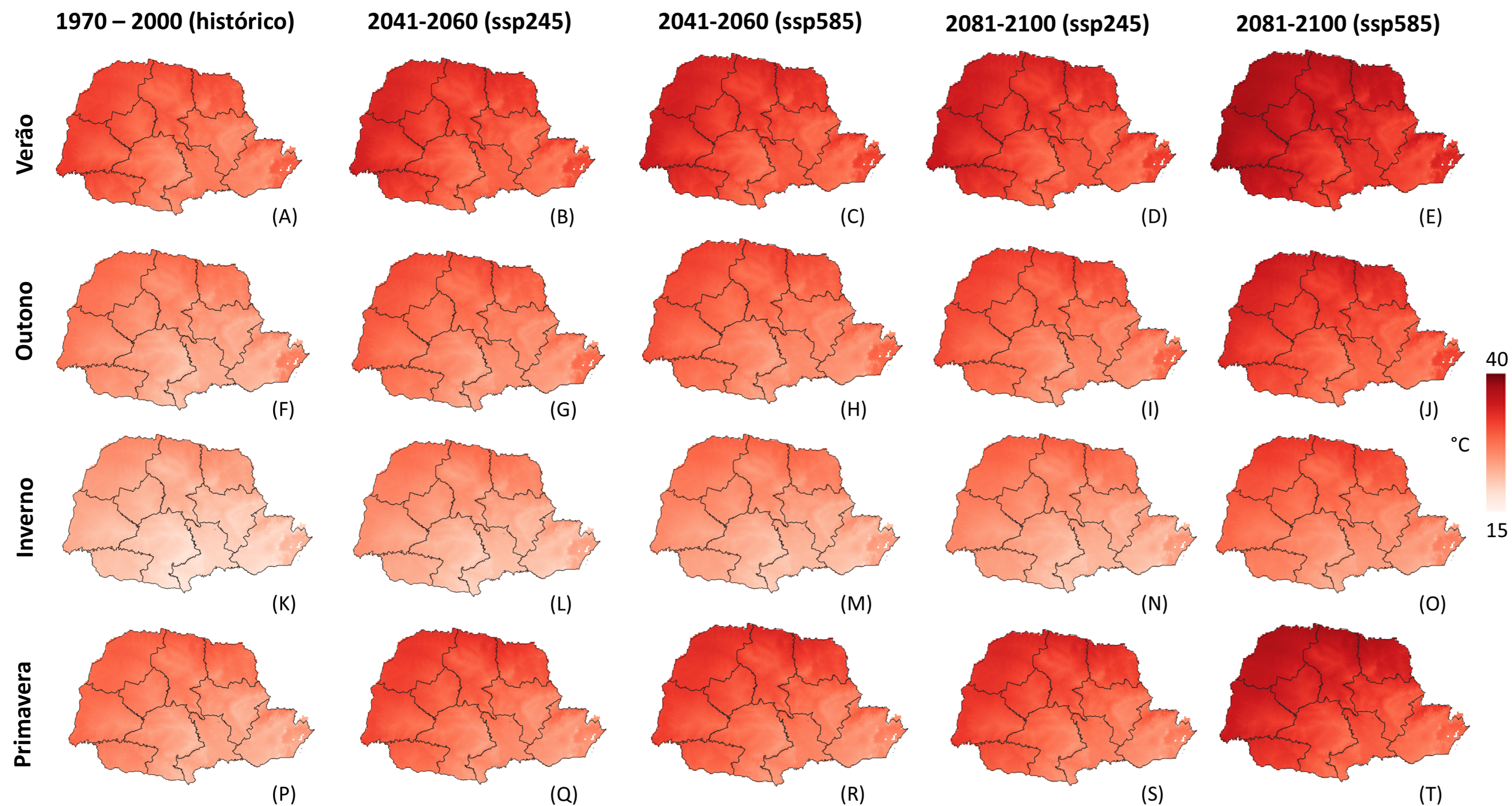


Figura 12. Médias das temperaturas máximas

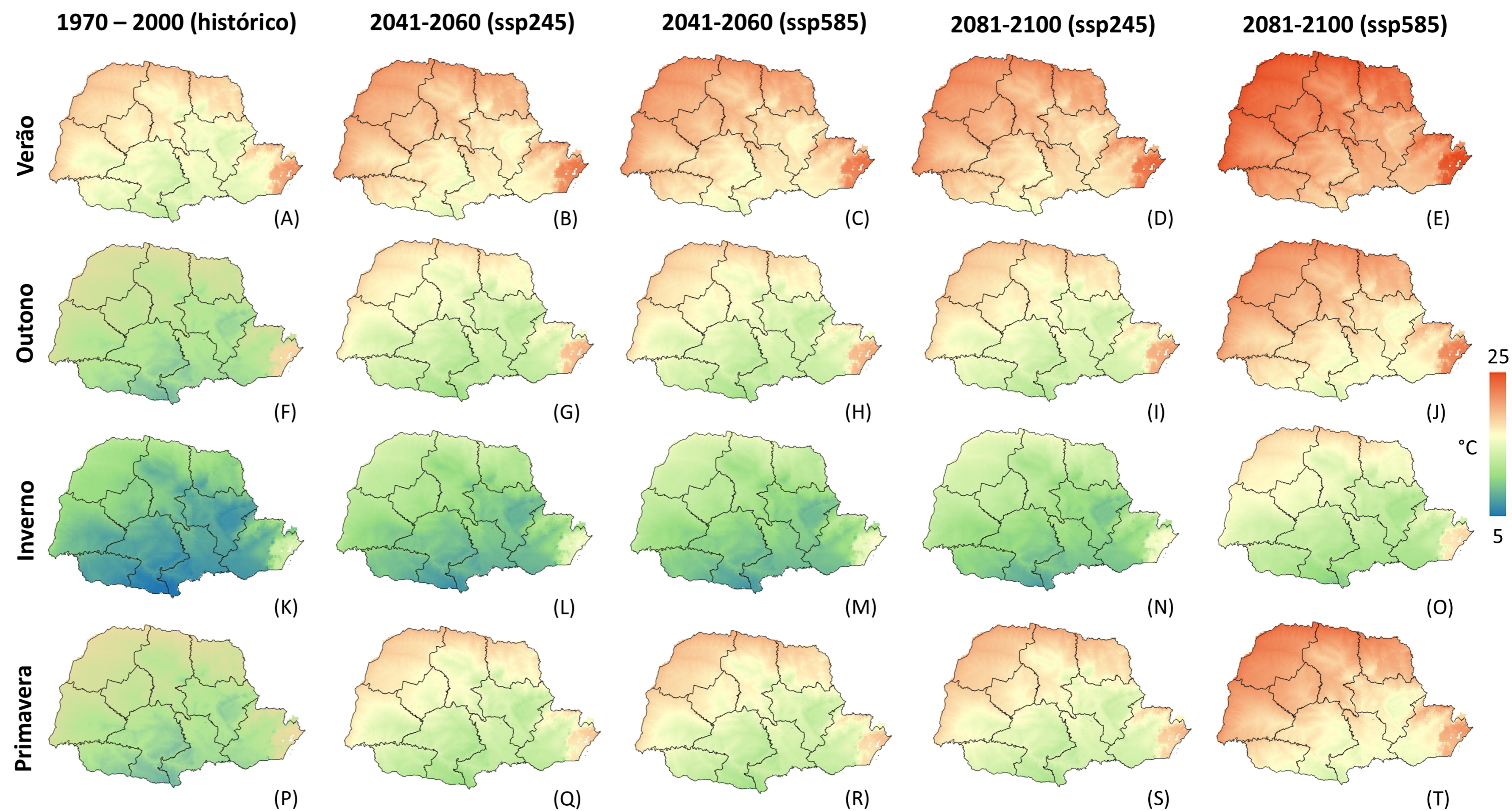
Legenda: (A) média das temperaturas máximas no verão no período histórico de 1970 a 2000, (B) média das temperaturas máximas no verão no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (C) média das temperaturas máximas no verão no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (D) média das temperaturas máximas no verão no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (E) média das temperaturas máximas no verão no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585), (F) média das temperaturas máximas no outono no período histórico de 1970 a 2000, (G) média das temperaturas máximas no outono no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (H) média das temperaturas máximas no outono no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (I) média das temperaturas máximas no outono no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (J) média das temperaturas máximas no outono no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585), (K) média das temperaturas máximas no inverno no período histórico de 1970 a 2000, (L) média das temperaturas máximas no inverno no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (M) média das temperaturas máximas no inverno no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (N) média das temperaturas máximas no inverno no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (O) média das temperaturas máximas no inverno no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585), (P) média das temperaturas máximas na primavera no período histórico de 1970 a 2000, (Q) média das temperaturas máximas na primavera no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (R) média das temperaturas máximas na primavera no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (S) média das temperaturas máximas na primavera no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (T) média das temperaturas máximas na primavera no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585).

Fonte: WorldClim (2022). Organização: Goudard (2024).

Figura 13. Médias das temperaturas mínimas

Legenda: (A) média das temperaturas mínimas no verão no período histórico de 1970 a 2000, (B) média das temperaturas mínimas no verão no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (C) média das temperaturas mínimas no verão no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (D) média das temperaturas mínimas no verão no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (E) média das temperaturas mínimas no verão no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585), (F) média das temperaturas mínimas no outono no período histórico de 1970 a 2000, (G) média das temperaturas mínimas no outono no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (H) média das temperaturas mínimas no outono no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (I) média das temperaturas mínimas no outono no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (J) média das temperaturas mínimas no outono no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585), (K) média das temperaturas mínimas no inverno no período histórico de 1970 a 2000, (L) média das temperaturas mínimas no inverno no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (M) média das temperaturas mínimas no inverno no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (N) média das temperaturas mínimas no inverno no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (O) média das temperaturas mínimas no inverno no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585), (P) média das temperaturas mínimas na primavera no período histórico de 1970 a 2000, (Q) média das temperaturas mínimas na primavera no período de 2041 a 2060 no cenário moderado (ssp245), (R) média das temperaturas mínimas na primavera no período de 2041 a 2060 no cenário pessimista (ssp585), (S) média das temperaturas mínimas na primavera no período de 2081 a 2100 no cenário moderado (ssp245), (T) média das temperaturas mínimas na primavera no período de 2081 a 2100 no cenário pessimista (ssp585).

Fonte: WorldClim (2022). Organização: Goudard (2024).



Assim como nos modelos do CMIP6 disponibilizados pelo PSL (NOAA), os dados modelados do Worldclim para as temperaturas máximas e mínimas também apresentam certo grau de incerteza quanto aos cenários futuros projetados, de modo que devem ser considerados como tendências.

Do ponto de vista das temperaturas mínimas, também podem ser evidenciados aquecimentos em todas as estações do ano (Figura 13). No período histórico de 1970 a 2000, as médias das mínimas apresentavam variações de 12°C a 22°C no verão, 9°C a 19°C no outono, 4°C a 15°C no inverno e 8°C a 18°C na primavera.

Os prognósticos de mudanças climáticas para o verão (Figura 13a-e) colocam em evidência variações térmicas das temperaturas mínimas de 14°C a 23°C (14°C a 24°C) e 15°C a 24°C (17°C a 26°C) para os períodos de 2041-2060 e 2081-2100, respectivamente, no cenário moderado (pessimista). Estes valores refletem aumentos de 2°C a 4°C em comparação às médias históricas de 1970 a 2000, com oscilações médias de 12°C a 22°C.

No outono (Figura 13f-j), os cenários futuros apontam para variações nas médias de 10°C a 20°C (11°C a 21°C) e 11°C a 21°C (14°C a 23°C) nos períodos de 2041-2060 e 2081-2100, respectivamente, considerando o cenário moderado (pessimista). Dessa forma, constatarem-se aumentos de 1°C a 4°C em relação às médias de 1970 a 2000 (9°C a 19°C para as temperaturas mínimas).

Em relação ao inverno (Figura 13k-o), as variações médias constatadas para os períodos de 2041-2060 e 2081-2100 foram de 6°C a 16°C (6°C a 16°C) e 7°C a 17°C (9°C a 19°C), respectivamente, considerando o cenário moderado (pessimista).



Fonte: Ângelo Rocha

Neste contexto, notaram-se acréscimos nas médias térmicas mínimas de 2°C a 4°C em relação ao recorte temporal de 1970 a 2000, com médias das temperaturas mínimas variando entre 4°C e 15°C no Estado do Paraná.

Do ponto de vista da primavera (Figura 13p-t), os prognósticos futuros indicam variações das médias das temperaturas mínimas de 10°C a 20°C (11°C a 20°C) em 2041-2060 e de 11°C a 21°C (13°C a 24°C) de 2081-2100 para o cenário moderado (pessimista). Dessa forma, verificam-se aumentos térmicos nas

médias de 2°C a 6°C, considerando as médias históricas das temperaturas mínimas de 1970 a 2000, com valores médios de 8°C a 18°C.

Neste contexto, levando-se em consideração os valores apresentados, pode-se notar aumentos nas médias das temperaturas mínimas em todas as estações do ano no Paraná, com destaque para a primavera, sendo estes mais expressivos nas porções centro-norte e litorânea do Estado.



inspire ciência.

<https://www.araucaria.pr.gov.br/napi-emergencia-climatica/>