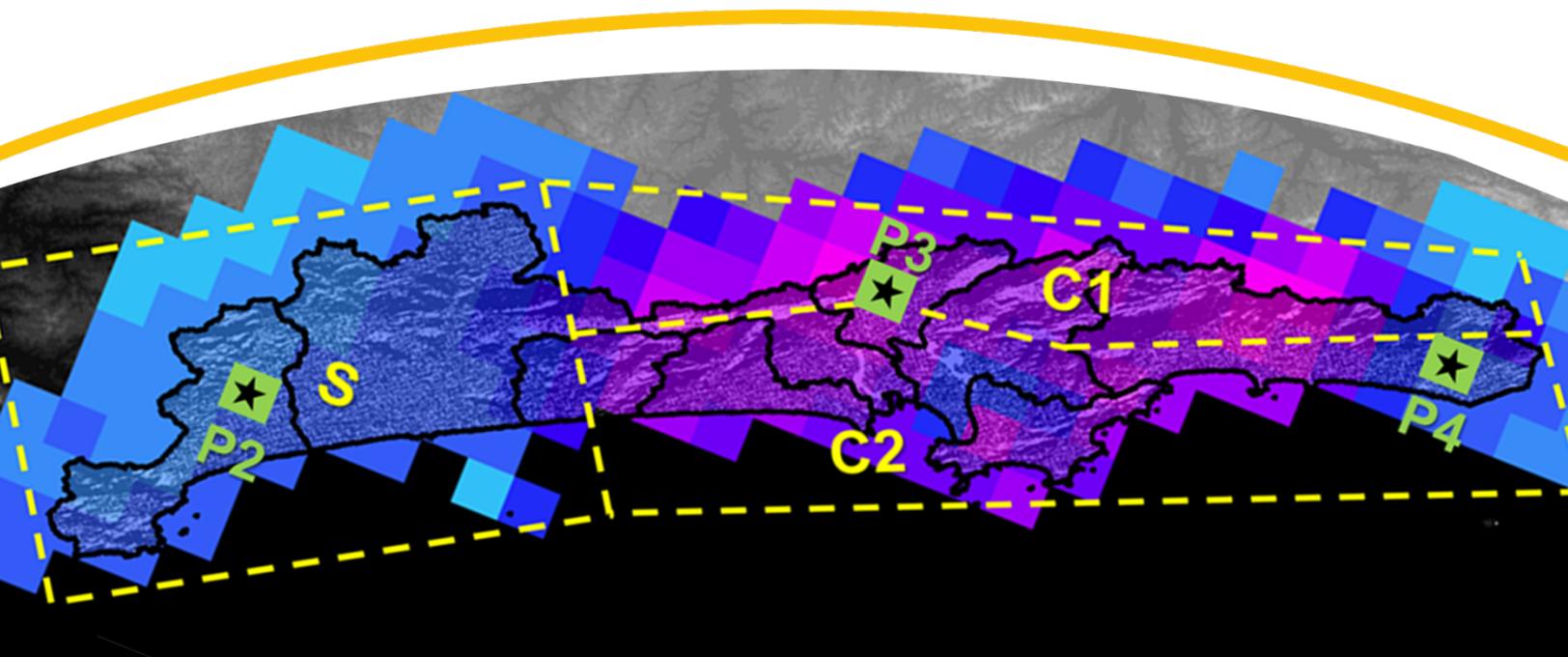




municípios paulistas
resilientes

Avaliação de dados e modelagem climática para a região metropolitana da Baixada Santista

*Relatório Final das Análises Climáticas para a Baixada Santista
considerando dados observados e modelagem do clima futuro*



Elaborado por:

Pedro Ivo Camarinha

Este documento foi produzido por consultores independentes no âmbito da implementação do Projeto Apoio ao Brasil na Implementação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (ProAdapta).

O ProAdapta é fruto da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) e o Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão), no contexto da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão) e implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Contribui para o alcance dos objetivos deste projeto e para a coordenação técnica, em parceria com a GIZ, do processo de origem deste documento, o Governo do Estado de São Paulo, por meio de sua Secretária de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA).

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ, do Governo do Estado de São Paulo e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

Ministério do Meio Ambiente

Secretaria de Clima e Relações Internacionais
Departamento de Clima
Departamento de Relações Internacionais

GIZ

Ana Carolina Câmara (Coordenação)
Armin Deitenbach (Assessor técnico)
Paula Moreira (Assessora técnica)
Patrícia Betti (Consultora Técnica)

Equipe Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente - SIMA

Marcos Rodrigues Penido (Secretário de Infraestrutura e Meio Ambiente – SIMA)
Eduardo Trani (Sub-Secretário de Meio Ambiente – SIMA)

Equipe Grupo Técnico Municípios Paulistas

Resilientes (PMPR)

Jussara Carvalho (ponto focal AINT)
Margarette Sabella (AINT)
Bianca Mazzuchelli (AINT)
Ana Lucia Segamarchi (AINT)
Paul Dale (AINT)
Victor Hugo Morizono (AINT)
Claudio Ferreira (IG)
Nadia Lima (IG)

Pedro Carignato Leal (IG)

Marco Nalon (IF)
Gil Scatena (CPLA)
Sandra Jules (CPLA)
José Walter (PMVA)
Danielle Julião (PMVA)
Malu Freire (CEA)
Rita Zanetti (CEA)
Tenente Tiago Lourenço (Defesa Civil – Casa Militar)
Sargento Sérgio C. Dia (Defesa Civil – Casa Militar)

Ministério do Meio Ambiente

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP 70068-901
Telefone: + 55 61 2028-1206

Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente – SIMA (SP)

Av. Professor Frederico Hermann Junior, 345
Alto de Pinheiros – CEP 05459-900 – São Paulo

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

GIZ Agência Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501 - Ed. Brasília Trade Center 70.711-902 Brasília/DF
Telefone: + 55-61-2101-2170

A encargo de:

Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha

BMU Bonn:
Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

Ana Carolina Câmara

T:+55 61 9 99 89 71 71

T +55 61 2101 2098

E ana-carolina.camara@giz.de

São José dos Campos, 22 de Outubro de 2021

Avaliação de dados de modelagem climática para
a Região Metropolitana da Baixada Santista

**Relatório FINAL das Análises Climáticas para a Baixada Santista
considerando dados observados e modelagem do clima futuro**

Autor: Pedro Ivo Camarinha

Projeto: Apoio ao Brasil na Implantação da sua Agenda Nacional de
Adaptação à Mudança do Clima – ProAdapta

Número do Projeto: 15.9060.3-001.00

São José dos Campos, 22 de outubro de 2021

1. Introdução

Este relatório tem como objetivo apresentar e discutir os resultados das análises climáticas geradas para a Baixada Santista, de modo semelhante àquelas que foram feitas para o município de Santos, dentro do escopo da presente consultoria. As diferenças metodológicas entre os dois casos estão explicadas nos próximos itens, mas basicamente são ajustes necessários para que as análises fossem representativas no âmbito regional.

Cabe ressaltar que as metodologias envolvidas nos procedimentos adotados são tecnicamente robustas, ora pautadas pelo estado da arte da ciência do clima, pelo conhecimento dos especialistas envolvidos, mas também envolvendo técnicas inovadoras que foram incorporadas para atender os objetivos do projeto. No entanto, por este estudo ser uma extensão do Plano de Ação Climática de Santos - PACS¹, os dados climáticos utilizados são os mesmos, assim como a metodologia base para o tratamento e customização dos dados. Sendo assim, neste relatório constam apenas as explicações a respeito das complementações que foram necessárias para atender a demanda da i) compartimentação territorial da Baixada Santista e ii) a divisão dos resultados em período seco e chuvoso. Mais detalhes podem ser consultados no Item 3.2 do PACS.

De qualquer forma, apresenta-se a Figura 1 para reforçar as etapas de trabalho que também foram executadas no âmbito deste estudo. Atenta-se para o fato de que este trabalho não contempla a espacialização dos resultados a serem incorporados no índice de riscos climáticos (SEVICA), que foi feito somente para o município de Santos (e está em conformidade com o contrato).

¹ PACS - 3.2 O CLIMA EM SANTOS: HOJE E NO FUTURO - RESULTADOS DAS AVALIAÇÕES DE DADOS DE MODELAGEM CLIMÁTICA – Disponível em: https://www.santos.sp.gov.br/static/files_www/files/portal_files/hotsites/pacs/plano_de_acao_climatica_de_santos_pacs_parte_i.pdf



Figura 1 - Apresentação das etapas de trabalho envolvidas na Análise Climática.

2. Ajustes Metodológicos

2.1. Divisão do calendário entre período seco e chuvoso

Um dos avanços deste trabalho em relação ao que foi apresentado no PACS (PACS – Item 3.2), é o fato que as análises climáticas foram feitas para dois períodos interanuais. Para tal, avaliou-se as normais climatológicas dos municípios da Baixada Santista e observou-se a mesma distribuição temporal em todos os casos. Como exemplo, a Figura 2 representa as normais para Mongaguá (esquerda) e Guarujá (direita), onde é possível observar que os seis meses com maiores índices pluviométricos são outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março, sendo este o “período chuvoso” (ONDJFM). Por outro lado, entre abril e setembro tem-se os menores índices pluviométricos, sendo este o “período seco” (AMJJAS).

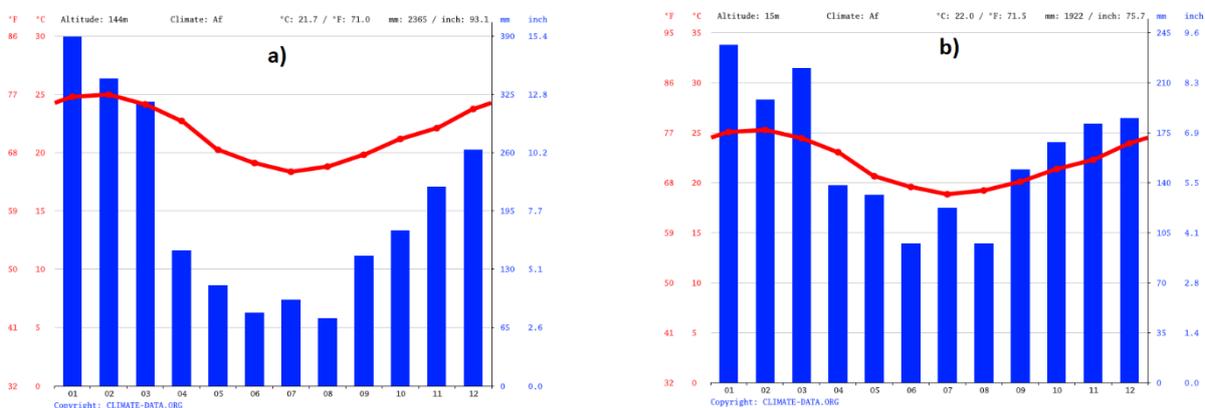


Figura 2 – Normais climatológicas para a) Mongaguá e b) Guarujá.

2.2. Compartimentação Territorial

Conforme exposto no Plano de Trabalho deste adendo contratual, foram selecionados três pontos representativos dos compartimentos da Baixada Santista que foram escolhidos o presente estudo (Figura 2). Para o setor mais ao Sul da Baixada Santista (denominado “setor S”) escolheu-se o ponto “P2”, localizado em Peruíbe; para a porção central serrana da Baixada Santista (denominada “Setor C1”) escolheu-se o ponto P3, em Cubatão; e na porção central-costeira (“setor C2”), escolheu-se o ponto P4, no extremo leste de Bertioga.

Ressalta-se que foram feitas diferentes pré-análises para que se chegasse a esta definição. Em suma, foram escolhidos seis pontos espalhados pelo território, sendo dois para cada um dos territórios apresentados na Figura 2. Nesta análise, utilizou-se de dados observados de precipitação e temperatura (CHIRPS e CPC, respectivamente) para o período de 1976-2005 e constatou-se que os pares tinham semelhanças entre si, de modo que contrastavam dos demais em alguns aspectos: a porção “S” tem menores índices pluviométricos (tanto em valores absolutos quanto extremos de precipitação) e tende a ser um pouco mais quente que as demais; a porção “C1” – que se encontra em altitude elevada – apresentou os maiores índices pluviométricos (em valores totais e também para os índices extremos), enquanto a porção costeira “C2” apresentou resultados intermediários entre estas duas situações, o que implicou na divisão territorial apresentada na Figura 3.

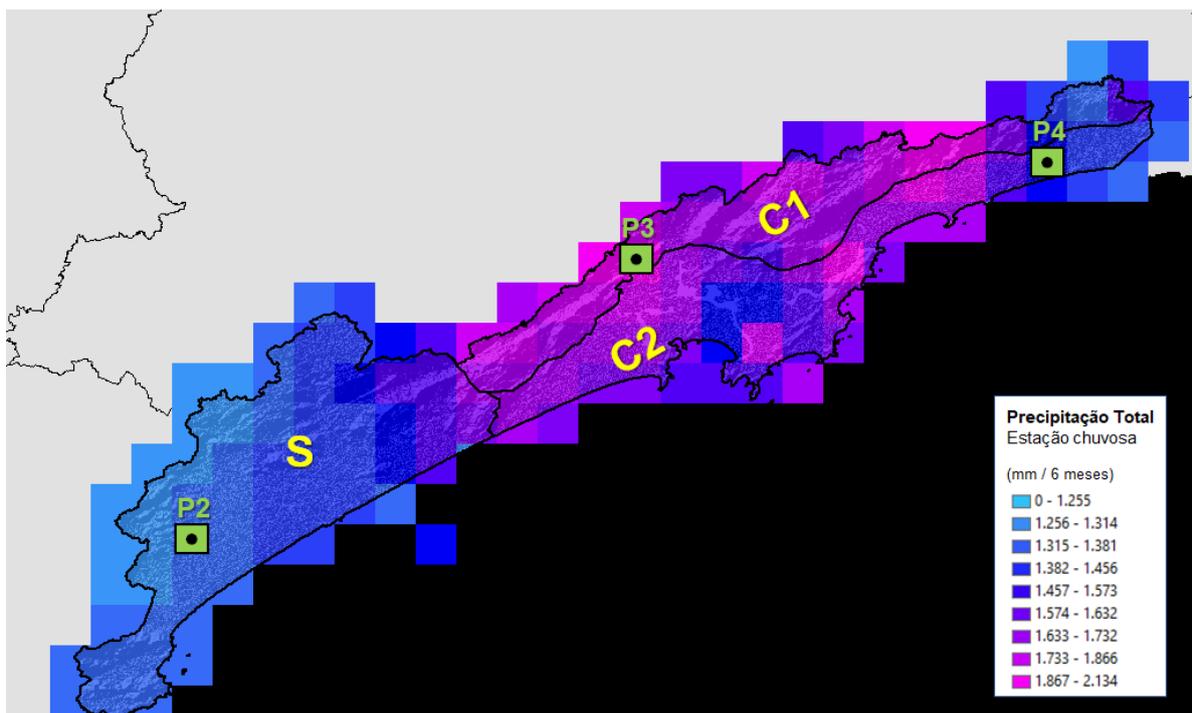


Figura 3 – Compartimentação da Baixada Santista (S, C1 e C2) e seus respectivos pontos representativos (P2, P3 e P4).

Embora a Figura 3 apresente apenas o plano de fundo com a Precipitação total durante o período chuvoso (ONDJFM), esta mesma análise foi feita também para o período seco (AMJJAS), para alguns índices de extremos de precipitação (Rx1day e Rx5day) e também de temperatura (TXn, TXx e WSDI), que constataram os mesmos contrastes intrarregionais. A utilização de um ponto representativo implica na extrapolação de suas estatísticas, padrões e tendências para todo o seu respectivo compartimento. Esta aproximação metodológica possui vantagens e limitações associadas, as quais estão melhor explicadas no Box 1, a seguir.

Box 1: Porque cada compartimento territorial possui apenas um valor e quais as limitações associadas?

Neste estudo, o território da Baixada Santista foi dividido em três compartimentos: Sul (S), Central-Serra (C1) e Central-Planície (C2). Esta compartimentação foi feita tomando-se como base a variabilidade espacial de alguns indicadores climáticos (de temperatura e precipitação), após uma profunda análise que utilizou os dados observados no período entre 1976-2005. Esta divisão foi necessária porque, embora seja uma região pequena do ponto de vista climatológico, ela possui alguns contrastes bem definidos devido à suas características geográficas e ambientais, onde se destaca a influência da orografia sob as encostas da Serra do Mar. Estas análises não estão aqui apresentadas, pois o foco deste Box é esclarecer qual a fonte de dados dos valores atribuídos à cada compartimento (nos mapas e boxplots que foram gerados) e quais as limitações e incertezas associadas.

Cada compartimento possui um ponto representativo (P2, P3 e P4), conforme pode ser observado na Figura B1.1. Estes pontos foram utilizados para agregar os resultados dos 20 modelos climáticos, os quais possuem resoluções variando entre 5km e 44km e grades estatísticas diferentes entre si. Para cada índice climático utilizado neste estudo, cada ponto recebe os valores dos 20 pontos de grade em que estão inseridos, estruturando, assim, um

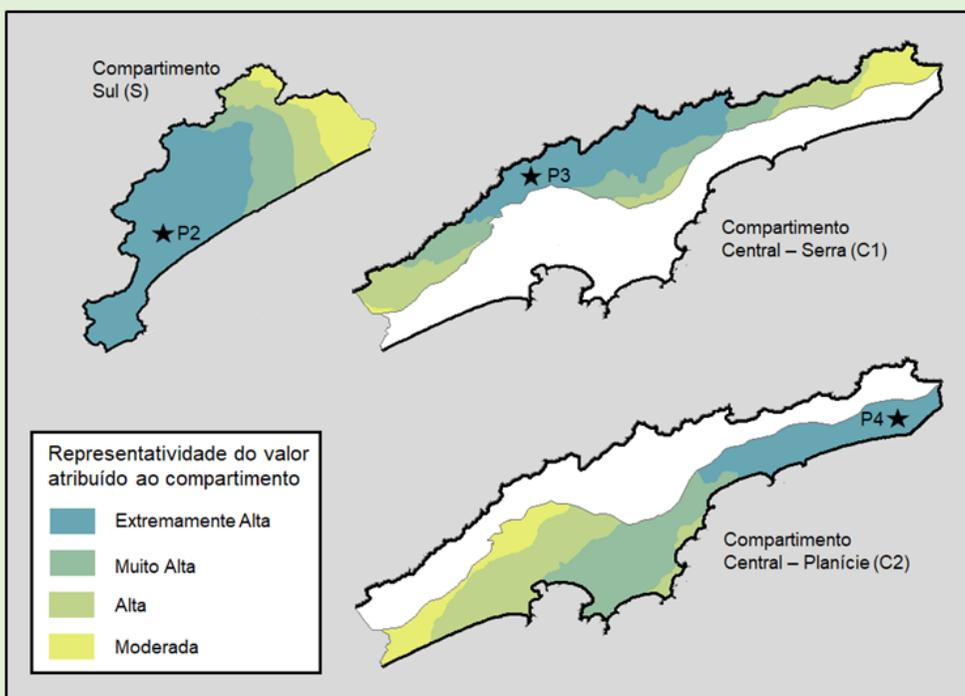


Figura B1.1 – Níveis de representatividade do valor de um índice qualquer quando atribuído à cada um dos compartimentos territoriais.

conjunto de valores que estabelece uma estatística própria. É desta estatística que são calculados todos os parâmetros de análise utilizados neste estudo e que foram atribuídos aos compartimentos (ex. mediana, o nível de concordância, etc.).

Existem muitos outros pontos que poderiam servir de referência para este processo metodológico, mas a escolha destes três pontos em particular se deve especialmente à dois motivos. O primeiro é que, avaliando os dados observados entre 1976-2005, eles representaram bem os contrastes regionais (a saber: precipitação mais elevada nas regiões de serra, porção ao sul mais quente e com menos chuva, e planície central na situação intermediária). O segundo motivo se deve ao fato de que esta distribuição geográfica garante uma boa distância entre os pontos, diminuindo a possibilidade de haver sobreposição de pontos de grade mais representativos dos compartimentos adjacentes (o que poderia misturar os padrões climáticos e mascarar os contrastes). No entanto, embora seja uma estratégia válida, é importante mencionar que a representatividade de cada ponto dentro de seu compartimento é maior para as localidades mais próximas e geograficamente mais semelhantes, o que caracteriza em níveis de incertezas um pouco maiores para as localidades mais distantes e com características diferentes. Assim, para facilitar a visualização de como esta leitura pode ser feita, a Figura B4.1 ilustra os níveis de representatividade de cada ponto em seu compartimento.

2.3. Ajustes para os Serviços Climáticos para Extremos de Precipitação

De forma análoga ao que foi feito no PACS (PACS – Item 3.2), todos os resultados apresentados se baseiam, inicialmente, em parâmetros obtidos através dos dados observados no período compreendido entre 1981-2010, pela base de dados do CHIRPS 5km. Dentre os vários pontos de grade desta base de dados sob o território da Baixada Santista, escolheu-se os três pontos referenciados anteriormente, na Figura 3. Desta forma, todas as análises que serão apresentadas foram feitas considerando as estatísticas de cada ponto de forma separada. Embora os modelos utilizados tenham grades diferentes por conta de suas resoluções, a rotina computacional desenvolvida identifica, para cada um dos 20 modelos utilizados, o respectivo ponto de grade em que tais pontos estão inseridos e, em seguida, agrupa estes valores em uma base estatística para cada ponto.

Cabe ressaltar que, no presente trabalho, as análises foram divididas entre período chuvoso (ONDJFM) e seco (AMJJAS). Portanto, cada ponto terá sua base estatística dividida para estes dois períodos. Assim, todos os cálculos relacionados aos limiares críticos e a quantidade de dias que ultrapassam estes limiares foram feitos considerando os parâmetros encontrados no conjunto de dados de cada período do ano (seco e chuvoso), e para cada ponto.

2.3.1. Eventos potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra

As análises para deslizamentos de terra foram relacionadas aos eventos de chuva que acontecem em 72h, divididos em três limiares diferentes (80 mm, 127 mm e 220 mm) e que possuem relações com a magnitude e quantidade de ocorrências de deslizamentos que podem ser deflagrados em cada situação. A definição destes limiares é embasada tanto no PPDC da Baixada Santista, quanto na experiência dos consultores, mas também em estudos empíricos recentes que avaliam a quantidade de deslizamentos observados e suas correlações com a intensidade de chuvas, destacando-se uma nota técnica do Cemaden (n.º 5913920), que propõe os limiares destacados na Figura 4.

VOLUMES ACUMULADOS DE CHUVA (mm) PREVISTOS PARA ENTRADA EM CENÁRIOS DE DESLIZAMENTOS COM BASE NA SEVERIDADE							
LIMIAR 1 - DESLIZAMENTOS OCASIONAIS							
$y = 31.35 \cdot \log_{10}(x) + 24.96$							
1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h
24.96	39.92	49.36	58.80	68.24	77.68	83.20	87.12
LIMIAR 2 - DESLIZAMENTOS MULTIPLOS							
$y = 20.97 \cdot \ln(x) + 37.313$							
1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h
37.31	60.35	74.89	89.42	103.96	118.49	126.99	133.03
LIMIAR 3 - DESLIZAMENTOS EXTREMOS							
$y = 40.416 \cdot \ln(x) + 53.67$							
1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h
53.67	98.07	126.09	154.10	182.11	210.13	226.52	238.14

Figura 4 – Limiares para a Baixada Santista sugeridos por um estudo do Cemaden através do Projeto RedeGeo, que considerou ocorrências de 236 deslizamentos durante 2014-2019.

Embora estes limiares tenham sido definidos para toda a Baixada Santista, eles têm maior expressividade para Santos e Guarujá, visto que 88% dos deslizamentos utilizados para este cálculo ocorreram nestes dois municípios. Por este motivo, é provável que não se tenha ocorrências de eventos que ultrapassem estes limiares em outras localidades, como a porção “S” que recebe menos chuva historicamente. *Obs: Todas demais etapas metodológicas para esta análise segue os mesmos procedimentos apresentados no PACS (PACS – Item 3.2). A única diferença é que as estatísticas foram separadas por período chuvoso e seco. De qualquer forma, os itens a seguir são suficientes para compreensão dos métodos empregados.*

2.3.2. Eventos potencialmente deflagradores inundações bruscas, enxurradas e alagamentos

As análises para os eventos hidrológicos de interesse deste estudo (inundações bruscas, enxurradas e alagamentos) foram divididas exatamente como

foi feito para Santos, por meio de três limiares para o período de 24h (50, 80 e 110 mm), os quais possuem relações com a magnitude e quantidade de ocorrências que podem ser deflagradas em cada situação. A definição destes limiares se baseia na experiência dos consultores, especificamente através da consulta dos dados de ocorrências disponíveis na base de dados REINDESC (Registros de Eventos de Inundação e Deslizamentos do Cemaden). Normalmente, estes três limiares se referem à eventos intensos de chuva que acontecem num período menor que 24h, especialmente em 6h e 12h, sendo estes os intervalos mais representativos para a análise. No entanto, a melhor resolução temporal disponível em todas as bases dos modelos climáticos utilizados é de 24h e, portanto, esta é a única forma de avaliá-los. Importante ressaltar que, ainda que estejamos avaliando os eventos de inundações bruscas, enxurradas e alagamentos, os 3 limiares definidos para 24h são semelhantes aos sugeridos na Figura 4 para um intervalo de 6h. Ou seja, de forma indireta e aproximada, os resultados aqui apresentados também podem ser considerados para eventos de deslizamentos de terra, com as devidas ressalvas. Todas demais etapas metodológicas para esta análise segue os mesmos procedimentos apresentados no PACS (PACS – Item 3.2). A única diferença é que as estatísticas foram separadas por período chuvoso e seco.

2.4. Ajustes para o Cálculo dos Índices de Extremos

Os índices de eventos extremos foram subdivididos em duas categorias relacionados às variáveis envolvidas, ou seja, à precipitação (RR) e às temperaturas mínimas (TN) e máximas (TX), os quais são apresentados de forma sumarizada na Tabela 1. Para este estudo, esses índices foram calculados separadamente para os meses compreendidos entre o período chuvoso (ONDJFM) e seco (AMJJAS). Para conhecimento, o período chuvoso de um determinado ano é contemplado a partir de 01 de outubro do respectivo ano, até o 31 de março do ano subsequente. O período seco é determinado entre 01 de abril e 30 de setembro do respectivo ano. A descrição específica para cada um desses índices é apresentada a seguir e é ligeiramente diferente àquela apresentada no PACS (PACS – Item 3.2), pois no presente estudo as análises não são feitas para o calendário anual, mas por períodos de seis meses (seco e chuvoso).

Tabela 1 - Índices de eventos extremos calculados para este estudo.

Precipitação		
Sigla	Descrição	Unidade
CDD	Número máximo de dias consecutivos sem chuva, no período	dias
CWD	Número máximo de dias consecutivos com chuva, no período	dias
RX1day	Máxima precipitação anual em 1 dia, no período	mm
RX5day	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos, no período	mm
R95pTOT	Prec. total anual dos dias com chuva > percentil 95, no período	mm
PRCPTOT	Precipitação total no período	mm
Temperatura mínima		
Sigla	Descrição	Unidades
CSDI	Número de dias com pelo menos 6 dias consecutivos de temp. mínima < percentil 10 (ondas de frio), em cada período	Dias
TNn	Menor temperatura mínima no período	°C
TNx	Maior temperatura mínima no período	°C
TNm	Temperatura mínima média no período	°C
Temperatura máxima		
Sigla	Descrição	Unidades
WSDI	Número de dias com pelo menos 6 dias consecutivos de temp. máxima > percentil 90 (ondas de calor), no período	dias
TXn	Menor temperatura máxima no período	°C
TXx	Maior temperatura máxima no período	°C
TXm	Temperatura máxima média no período	°C

2.4.1. Índices de Eventos Extremos de Precipitação

O índice CDD representa o número máximo de dias consecutivos sem chuva e é obtido por meio da contagem de dias consecutivos com montante de precipitação RR menor do que 1 mm em um dia durante um período seco ou chuvoso (j). Para isso encontra-se o máximo de dias consecutivos que satisfazem o seguinte critério:

$$CDD = \text{contagem máxima consecutiva}(RR_j < 1 \text{ mm/dia})$$

De maneira semelhante, é encontrado o índice CWD, o qual representa o número máximo de dias consecutivos com chuva, sendo o mesmo obtido por meio da contagem de dias com montante de precipitação RR maior ou igual do que 1 mm em um dia durante um período seco ou chuvoso (j). Para isso encontra-se o máximo de dias consecutivos que satisfazem o seguinte critério:

$CWD = \text{contagem máxima consecutiva } (RR_j \geq 1 \text{ mm/dia})$

O índice RX1day representa máxima precipitação em um dia para cada período seco e chuvoso analisado, e é obtido por meio da identificação da precipitação máxima RR em um dia, durante o respectivo período seco ou chuvoso (j), seguindo o critério a seguir:

$$RX1day_j = \text{máxima}(RR_{1dia,j})$$

De maneira semelhante é obtido o índice RX5day, o qual representa a máxima precipitação anual em cinco dias, identificando a precipitação máxima RR em cinco dias durante o período seco ou chuvoso (j), seguindo o critério a seguir:

$$RX5day_j = \text{máxima}(RR_{5dias,j})$$

O índice R95pTOT representa a precipitação total por período (seco e chuvoso) dos dias com precipitação acima do percentil 95 (calculado também para cada conjunto de 30 períodos secos e chuvosos), o qual é obtido considerando a amostra de dias com precipitação maior ou igual a 1 mm/dia (w) durante todos os períodos secos ou chuvosos do período histórico (*baseline*). Para isso, considera-se o seguinte critério:

$$R95pTOT_j = \sum_{w=1}^W RR_{w,j} \text{ onde } RR_{w,j} > \text{percentil}(95)$$

De maneira semelhante, porém simplificada, é obtido índice PRCPTOT, o qual representa a precipitação total por período seco e chuvoso, conforme o seguinte critério:

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{i,j}$$

2.4.2. Índices de Eventos Extremos de Temperatura

O índice CSDI representa o número máximo de pelo menos 6 dias consecutivos com temperatura mínima (TN) abaixo do percentil 10, o qual é obtido considerando uma janela de 5 dias para cada dia do período seco e chuvoso, durante o período histórico. Com isso, considera-se o seguinte critério:

$$CSDI_j = contagem[TN_{6dias,j} < percentil(10)]$$

Seguindo uma lógica semelhante obtém-se o índice WSDI, porém considerando a temperatura máxima (TX) acima do percentil 90. Com isso, considera-se o seguinte critério:

$$WSDI_j = contagem[TX_{6dias,j} > percentil(90)]$$

Os índices TNn e TNx representam o valor de temperatura mínima e máxima da temperatura mínima (TN) durante o período seco e chuvoso, para isso consideram-se respectivamente os seguintes critérios:

$$TNn_j = mínima(TN_j) \text{ e } TNx_j = máxima(TN_j)$$

De maneira semelhante são obtidos os índices com relação às temperaturas máximas (TXn e TXx, respectivamente), seguindo os seguintes critérios:

$$TXn_j = mínima(TX_j) \text{ e } TXx_j = máxima(TX_j)$$

Os índices TNm e TXm representam os valores de temperatura média por período, seco e chuvoso, das temperaturas mínimas e máximas, respectivamente, e são definidos de acordo com os critérios a seguir:

$$TNm_j = média(TN_j) \text{ e } TXm_j = média(TX_j)$$

2.5. Teste de Tendência de Mann-Kendall

O teste de tendência de Mann-Kendall é utilizado para determinar se existe ou não uma tendência em uma série temporal de dados. O mesmo é um teste não-paramétrico, o que significa dizer que não há restrições de sua aplicação para dados

que não tem uma distribuição normal. A hipótese nula do teste é de que não existe tendência na série temporal, já a hipótese alternativa é de que tal tendência existe e pode ser de aumento ou de diminuição ao longo da série temporal. É muito importante que ressaltar a hipótese nula é mantida ou rejeitada de acordo com o nível de significância estatística escolhido. Neste estudo, o nível de significância escolhido foi de 80% (parâmetro $\alpha = 0.20$). O teste é baseado na estatística S:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{ sinal}(x_j - x_i),$$

onde o $\text{ sinal}(x_j - x_i)$ é obtido por meio da seguinte relação:

$$\text{ sinal}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0, \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0, \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0. \end{cases}$$

A estatística S é normalmente distribuída com média:

$$E(S) = 0$$

e variância:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}.$$

O valor da estatística S é utilizado para obter a estatística Z:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0, \\ 0 & \text{se } S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0. \end{cases}$$

A hipótese nula é rejeitada se $|Z| > Z_{\alpha/2}$, onde α representa o nível de significância adotado e $Z_{\alpha/2}$ representa o valor crítico de Z advindo de uma tabela padrão normal.

Os valores positivos de Z indicam tendências crescentes, enquanto que valores negativos indicam tendências decrescentes.

Este teste foi aplicado para cada todos os índices de extremos de temperatura e precipitação avaliados neste estudo, para todos os períodos (1976-2005; 2021-2050; 2051-2080; 2081-2100) e cenários RCP (4.5 e 8.5), para cada conjunto de dados de cada um dos 20 modelos utilizados. No caso das projeções do clima futuro, no entanto, o resultado individual de cada modelo não é apresentado porque foge do escopo do estudo, tendo em vista que o mais importante é compreender o resultado predominante para o grupo de modelos. Desta forma, o grupo de resultados dos testes de Mann-Kendall serão sintetizados em uma só informação, que representará **a percentagem dos modelos que indicam o resultado predominante dos testes de Mann-Kendall**, atribuindo o sinal negativo quando a predominância for de tendência de decréscimo, sinal positivo para predominância de tendência de acréscimo; e sem sinal quando a predominância dos modelos indicar resultados sem tendência.

3. Resultados e Discussões

Neste item estão apresentados todos os resultados gerados para a análise climática em cenários de mudanças do clima feitos para a Baixada Santista no âmbito desta consultoria, com suas respectivas discussões. Antes de apresentá-los, destaca-se a importância da leitura dos boxes explicativos, que foram elaborados para direcionar a leitura e melhor interpretação dos resultados e discussões.

O primeiro Box apresentado neste item (Box 2), refere-se às terminologias qualitativas utilizadas para pautar as discussões sobre as análises dos índices climáticos. Este balizamento é fundamental para que o leitor saiba interpretar as descobertas / alegações apresentadas no decorrer do relatório. Considerando que este estudo pode subsidiar a planificação de ações de adaptação e redução de risco, ou quaisquer outras políticas públicas relacionadas ao tema, é mandatório que o leitor compreenda, de forma transparente, o nível de confiabilidade de cada resultado e das alegações, tendo em vista que análises do clima futuro sempre estarão envoltas de incertezas que são intrínsecas às técnicas de modelagem e que precisam ser consideradas em qualquer processo de tomada de decisão.

Resumidamente, no decorrer deste relatório são utilizados termos específicos para definir os níveis de confiabilidade para uma determinada alegação sobre o comportamento climático futuro, sendo este uma combinação entre o nível de concordância e de evidência constatado. Em todos os casos, a terminologia designada para qualificar as o nível de confiabilidade aparecerá em itálico e entre colchetes, por exemplo [*alta confiabilidade*]. Dependendo do contexto de utilização da alegação feita, a terminologia pode ser mais específica para falar a respeito apenas de uma ou das duas dimensões, por exemplo [*baixa concordância, evidência robusta*]. Este caso é normalmente empregado quando níveis opostos de concordância e evidência coexistem. Por exemplo, o nível de *confiabilidade média* pode ser fruto da combinação de *média concordância* e *média evidência*. Nesse caso, damos prioridade para definir diretamente o nível de confiabilidade. Entretanto, o nível de *confiabilidade média* também pode ser dado pela combinação de *alta concordância* e *evidência limitada*, bem como por *baixa concordância* e *evidência robusta*. Para estes casos, optaremos por explicitar as dimensões separadamente para garantir que o leitor não interprete de forma equivocada. Os critérios para essa classificação qualitativa estão apresentados no Box 2, a seguir.

Box 2.a.: Como interpretar as incertezas associadas aos resultados e qual a terminologia utilizada?

Obtidos os resultados da modelagem do clima futuro, as análises subsequentes são feitas buscando encontrar possíveis alterações nos padrões e/ou na distribuição estatística de cada índice avaliado, quando comparado com o período de referência (1976-2005). Normalmente, para os índices de temperatura e precipitação, o foco é voltado para encontrar alterações relacionadas aos máximos e mínimos valores (extremos), mas também aos valores médios encontrados em um período futuro.

Quando identificada pelo especialista, uma **descoberta/alegação** sempre possuirá um nível de incerteza associada, que reflete o seu nível de confiabilidade (quanto maior a incerteza, menor a confiabilidade). Importante lembrar que estas incertezas são inerentes à qualquer resultado do clima futuro devido à complexidade de representação dos processos atmosféricos em horizontes temporais para avaliações de mudanças climáticas (anos, décadas, séculos), mas que podem ser maiores ou menores dependendo de diversos fatores, tais como: a destreza de cada modelo em representar o clima local, a magnitude das mudanças relativas constatadas, a quantidade de modelos que identificam o mesmo padrão, a consistência de tal descoberta quando verificada também em outros períodos, cenários ou até mesmo correlacionada com outro índice / variável, dentre outros.

Assim, o nível de confiabilidade pode ser estimado qualitativamente baseando-se em dois parâmetros dos elementos que levam a tal descoberta/alegação: i) a concordância entre as fontes de informação (principalmente os modelos utilizados) e o nível de evidência.

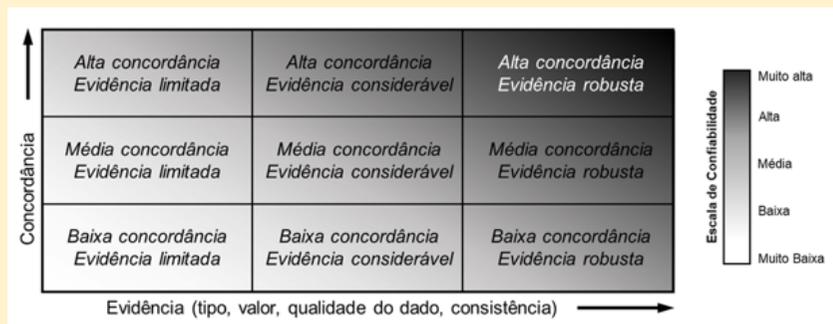


Figura B2.1 – Matriz de referência para estimar os níveis de confiabilidade a partir dos níveis de concordância e de evidência. Adaptado de IPCC, (2010).

Importante notar que, embora seja possível definir níveis de concordância e de evidência a partir de critérios pré-definidos, a matriz apresentada na Figura B2.1 é apenas um norteador desta classificação, que é representada pela escala que vai de tons mais claros até os mais escuros e que não possui limites bem definidos, de forma que a avaliação do especialista é sempre mandatória para sua classificação final. Portanto, partir da relação dos níveis de concordância e de evidência, os especialistas podem, juntamente com seus conhecimentos e informações adicionais, usar a matriz da Figura B2.1 para estimar o nível de confiabilidade que, neste relatório, é classificada em cinco classes: **muito baixa, baixa, média, alta e muito alta**, e que segue minimamente a proposta da escala apresentada na direita da Figura B2.1. Esta classificação aparecerá após as alegações, sempre em itálico e entre colchetes, por exemplo [*alta confiabilidade*].

Antes de exemplificar como a terminologia é aplicada neste estudo, é preciso caracterizar o que são as “alegações” mencionadas. Como o objetivo da análise climática é encontrar mudanças no comportamento do clima futuro, as alegações se referem à constatações mais abrangentes que ressaltam alguma tendência de aumento / diminuição da temperatura ou precipitação, seja a respeito dos valores médios, máximos, mínimos ou de eventos extremos; as quais são, geralmente, caracterizadas pelas evidências coletadas em um grupo de variáveis e índices, reforçadas em um ou mais horizontes temporais, e que podem ser encontradas em um ou mais cenários RCPs. Por exemplo: suponha que os resultados de 4 índices de temperatura sejam consistentes ao apontar o aumento de temperatura (mínima, média e máxima) em 1 °C até 2050 no cenário RCP 4.5, e 1,5 °C no RCP 8.5. Neste caso, a alegação poderia ser: é esperado que haja o aumento de pelo menos 1 °C até a metade do século [*alta confiabilidade*].

Dependendo do caso, a terminologia utilizada pode ser mais específica para falar sobre as duas dimensões que definem o nível de confiabilidade, por exemplo [*baixa concordância, evidência robusta*]. Este caso é normalmente empregado quando níveis opostos de concordância e evidência coexistem. Por exemplo, o nível de *confiabilidade média* pode ser dado pela combinação de *alta concordância e evidência limitada*, bem como por *baixa concordância e evidência robusta*. Para estes casos, a terminologia utilizada explicita as duas dimensões separadamente para garantir que o leitor não interprete de forma equivocada. (continua →)

Box 2.b.: Como interpretar as incertezas associadas aos resultados e qual a terminologia utilizada?

Note que as alegações passíveis de classificação do nível confiabilidade não se referem à descrição de uma variável ou índice em particular, em um determinado período e cenário RCP. Nestes casos mais específicos, a terminologia aplicada é outra, e refere-se à **probabilidade** de concretização de uma determinada mudança acontecer no futuro. Nestes casos particulares, a probabilidade é definida contabilizando a porcentagem dos resultados que sugerem aquele fato. Utilizando o mesmo exemplo anterior, seria possível complementar a frase da seguinte maneira: é esperado que haja o aumento de pelo menos 1 °C até a metade do século [*alta confiabilidade*], sendo **provável** que atinja +1,5 °C se as trajetórias de emissões seguirem o cenário RCP 8.5.

Portanto, as alegações mais específicas serão pautadas quanto a sua probabilidade, que é expressa em termos qualitativos, e representa a quantidade de resultados e /ou opiniões dos especialistas que indicam, direta ou indiretamente, o fato alegado, conforme apresentado a seguir:

- virtualmente certo: entre 95% e 100% dos resultados;
- muito provável: entre 80% e 100% dos resultados;
- provável: entre 66% e 100% dos resultados;
- possível: mais que 50% dos resultados
- pouco provável: entre 30% e 50% dos resultados;
- improvável: menos que 30% dos resultados.

Complementarmente, ao longo do texto ainda são utilizadas duas outras terminologias que possuem relação com os níveis de confiabilidade e que representam parcialmente as dimensões da matriz apresentada na Figura B2.1, mas que são atribuídas também à alegações que se referem à casos particulares sobre a **mudança relativa** de uma variável ou índice: o nível de concordância dos modelos; e nível de evidência.

Portanto, quando uma alegação estiver relacionada ao aumento / diminuição da variável / índice em um período futuro comparado com o período de

referência, o texto pode apresentar qualificações a respeito **do nível de concordância dos modelos** em apontar aquele mesmo padrão predominante (de aumento / diminuição), conforme as terminologias a seguir:

- baixa concordância: quando menos de 66% dos modelos indicarem o aumento / diminuição;
- média concordância (ou concordância significativa): quando mais de 66% e menos de 80% dos modelos indicarem o aumento / diminuição;
- alta concordância: quando mais de 80% dos modelos indicarem o aumento ou diminuição,

Por exemplo: suponha que 14 dos 20 modelos utilizados (70%) indiquem que o total de precipitação será maior que o valor encontrado no período de referência entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Neste caso, a frase poderia ser: “há média concordância dos modelos em indicar o aumento do total de precipitação até a metade do século, no cenário RCP 8.5”. Note que o nível de concordância é algo bem específico e se refere especialmente à porcentagem dos modelos que indicam o mesmo sinal da mudança relativa predominante, o que é diferente do caso explicado anteriormente sobre probabilidade de concretização de uma alegação.

Para avaliar o **nível de evidência** de uma alegação a respeito do comportamento futuro de uma determinada variável / índice, um dos critérios se refere à magnitude do aumento / diminuição que foi constatado. Para isso, tomamos como referência o valor da mudança relativa (em %) entre a mediana encontrada no período futuro (mais detalhes no Box 3) e o valor observado no período de referência, utilizando-se dos seguintes critérios:

- evidência limitada: entre zero e $\pm 1,00\%$;
- evidência discreta: entre 1,01% e $\pm 2,50\%$;
- evidência considerável ou médio nível de evidência: entre $\pm 2,51\%$ e $\pm 5,00\%$;
- evidência significativa: entre $\pm 5,01\%$ e $\pm 10,0\%$;
- evidência robusta: maior que 10,0% / menor que -10,0%;

Os outros dois boxes deste item (Box 3 e Box 4) são direcionados para a leitura dos resultados através dos diagramas de caixa, também chamados de *boxplots*, que é o principal formato de apresentação dos resultados gerados para as análises climáticas deste estudo. Embora este tipo de diagrama seja bastante utilizado para sintetizar os resultados de análises climáticas de multimodelos, ele não é tão conhecido pelo público em geral. Portanto, o objetivo destes boxes explicativos é esclarecer como cada diagrama foi estruturado e apresentar todas as informações possíveis que podem ser obtidas pela sua correta interpretação. O Box 3 explica as características gerais dos diagramas e o Box 4 direciona o seu uso para o presente estudo em particular, utilizando, inclusive, um exemplo real que será encontrado no item 3.1 para ilustrar sua aplicação e leitura.

Box 3: Como os gráficos em boxplot devem ser interpretados?

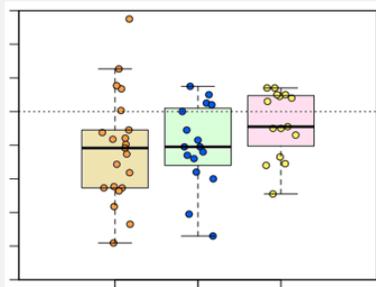


Figura B3.1 – Exemplo de boxplot e valores amostrais que compõem sua estatística

O boxplot, ou diagrama de caixa, é uma forma de representação gráfica que permite visualizar a distribuição de um conjunto de dados. Este tipo de diagrama apresenta alguns parâmetros estatísticos, tais como o valor máximo e mínimo, a mediana, possíveis *outliers* e, principalmente, os quartis – que são valores que separam o conjunto de amostras a cada 25% do total. Na figura ao lado, cada boxplot é composto por um

conjunto de 20 amostras, representadas pelas pequenas bolinhas coloridas, que foram inseridas ao diagrama apenas para facilitar a explicação. Na prática, o diagrama aparece como um retângulo com uma linha no meio, além de um traço superior e um inferior, que representam os parâmetros estatísticos conforme a figura ao lado.

Indo de baixo para cima, o mínimo valor encontrado está representado pelo traço inferior. Em seguida, a base do retângulo representa o primeiro quartil, o que significa que um quarto das amostras (25%) são menores que este valor. O traço no meio é o segundo quartil, chamado também de mediana, pois abaixo e acima dele encontram-se 50% das amostras. O topo do retângulo é o terceiro quartil, que indica que 75% das amostras estão abaixo deste valor. O traço superior é o valor máximo encontrado (desconsiderando os outliers, que também podem aparecer do gráfico). Além destas informações, também é possível inferir, indiretamente, a dispersão dos resultados. Isto é, o quão próximos ou distantes os resultados estão entre si. Desta forma, quanto mais distante um quartil for do outro, maior será a dispersão das amostras agrupadas entre os dois quartis. Em outras palavras, quanto mais “alto” ou “esticado” for um diagrama e quanto mais distante os traços estiverem do retângulo, maior será a dispersão quando comparado com diagramas mais achatados e com os traços próximos.

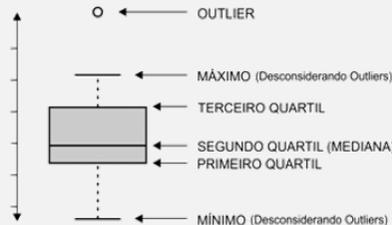


Figura B3.2 – Parâmetros do Boxplot

Box 4: E neste estudo, como os boxplots podem ajudar?

Neste estudo, foram gerados boxplots para 3 períodos futuros (2021-2050, 2051-2080 e 2081-2100), que possuem um par de diagramas cada, que representam os resultados para os cenários RCPs 4.5 e 8.5. Todos os gráficos possuem uma linha contínua cortando os horizontes temporais. Esta linha se refere ao valor encontrado no período de referência através de dados observados para o período 1975-2005, e serve como principal parâmetro comparativo para sabermos se o comportamento esperado do índice é aumentar ou diminuir no futuro. Esta análise comparativa é bem simples, pois toma como base a mediana de cada boxplot (linha que corta os retângulos). Quando a mediana está acima da linha de referência, os resultados sugerem que é mais provável ter-se um aumento daquele índice no futuro. Quando a mediana estiver abaixo, os resultados sugerem que o índice diminuirá. Além destas interpretações, é possível avaliar uma série de outros fatores, conforme pode ser observado na figura a seguir.

A linha contínua que corta todos os gráficos é o **valor de referência**, obtido através de dados observados no período compreendido entre 1976-2005. Todas as análises são feitas comparando o resultado de cada boxplot em relação a este valor.

A base do boxplot se encontra acima da linha sólida que representa o valor de referência. Isto significa que **pelo menos 75% dos modelos sugerem que tal índice será superior ao valor de referência**. Trata-se de uma alta concordância entre os modelos.

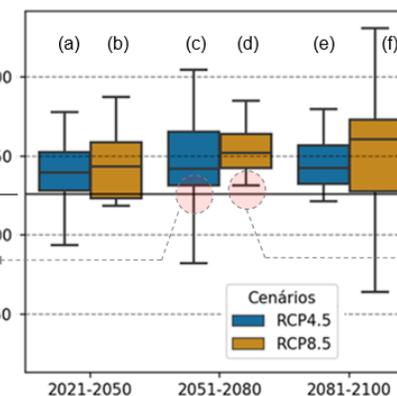


Figura B4.1 – Exemplo prático de como interpretar os boxplots apresentados neste estudo

A mediana é o principal parâmetro para comparar o aumento ou diminuição do índice avaliado em relação ao valor de referência (linha sólida).

A diferença entre elas representa o incremento esperado do índice para o período avaliado.

O mínimo valor do conjunto de amostra é MAIOR que o valor de referência. Isto significa que 100% dos modelos sugerem que tal índice será superior ao valor de referência. Ou seja, há total convergência dos modelos em indicar o aumento do respectivo índice avaliado.

No exemplo acima, note que praticamente todos os boxplots possuem suas bases (primeiro quartil) acima da linha de referência, o que significa que é muito provável que tal indicador aumente nas próximas décadas, especialmente no cenário RCP 8.5 (em amarelo). Os boxplots dos casos c) e f) são os que possuem maior dispersão dos resultados (mais “esticados”), o que implica também em maiores incertezas associadas. Por outro lado, os boxplots de d) e e) são aqueles com menor dispersão (mais “achatados”).

3.1. Índices de Extremos de Precipitação

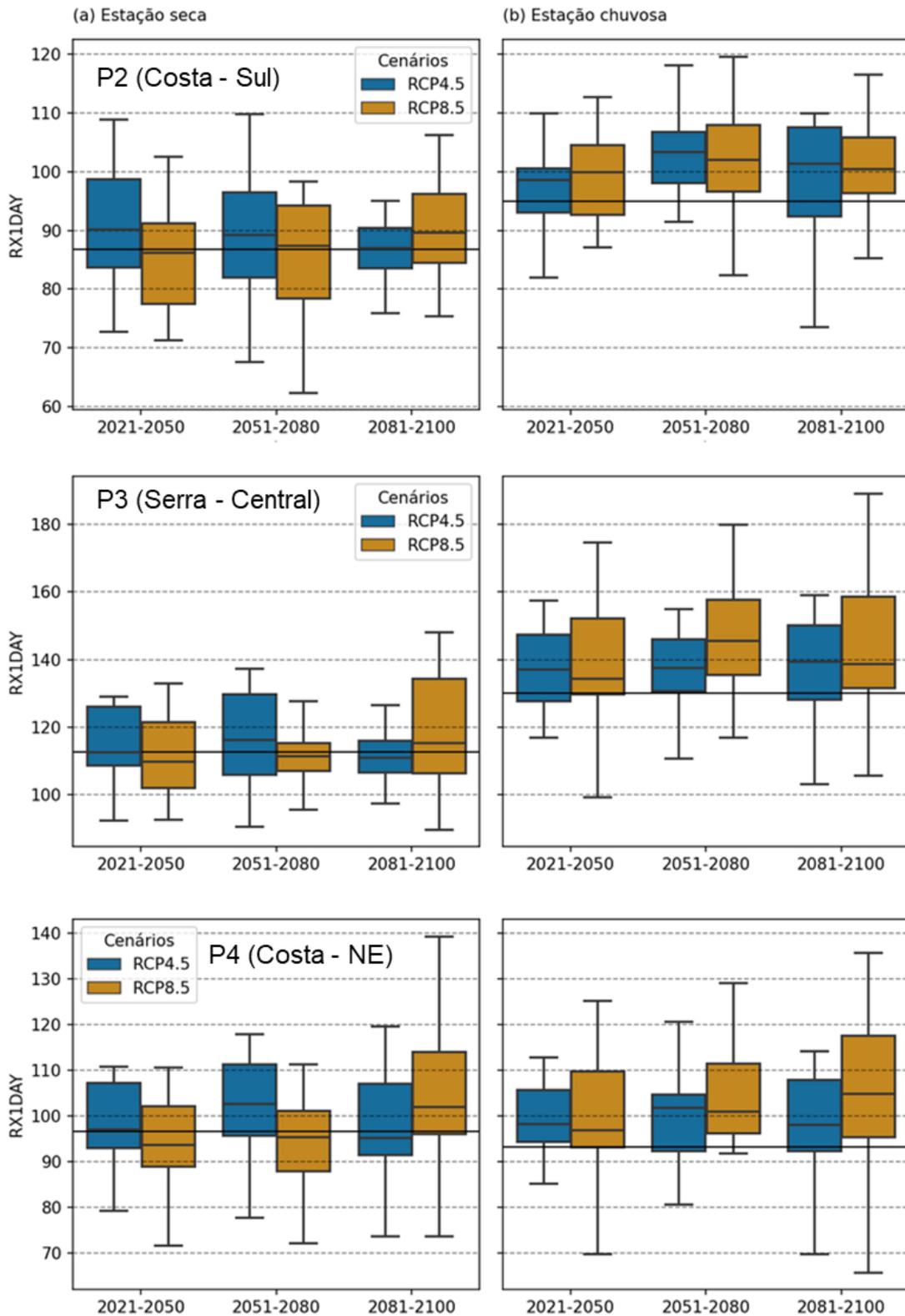


Figura 5 - Boxplots para o índice Rx1day, para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor do Rx1day no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

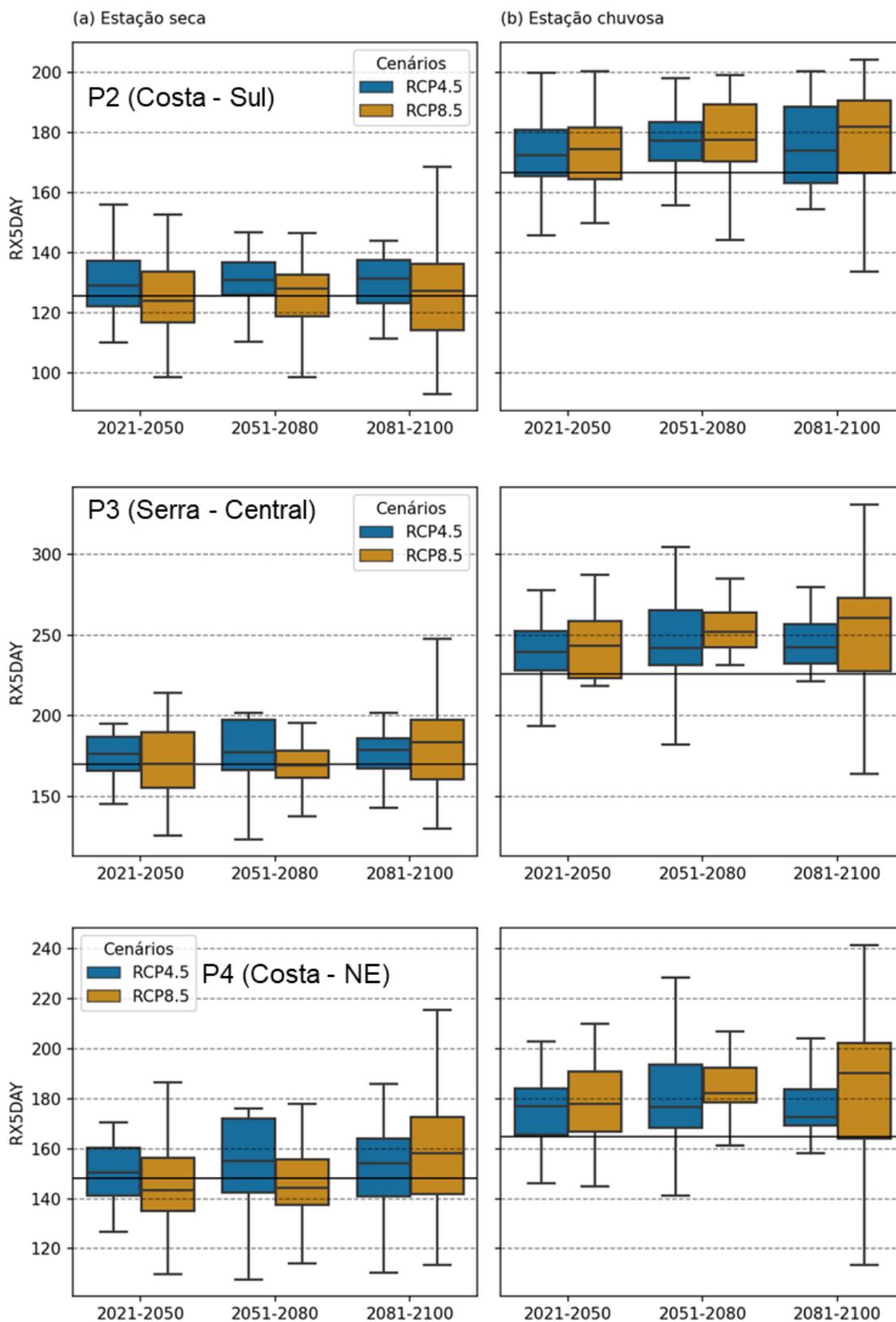


Figura 6 - Boxplots para o índice Rx5day, para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor do Rx5day no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

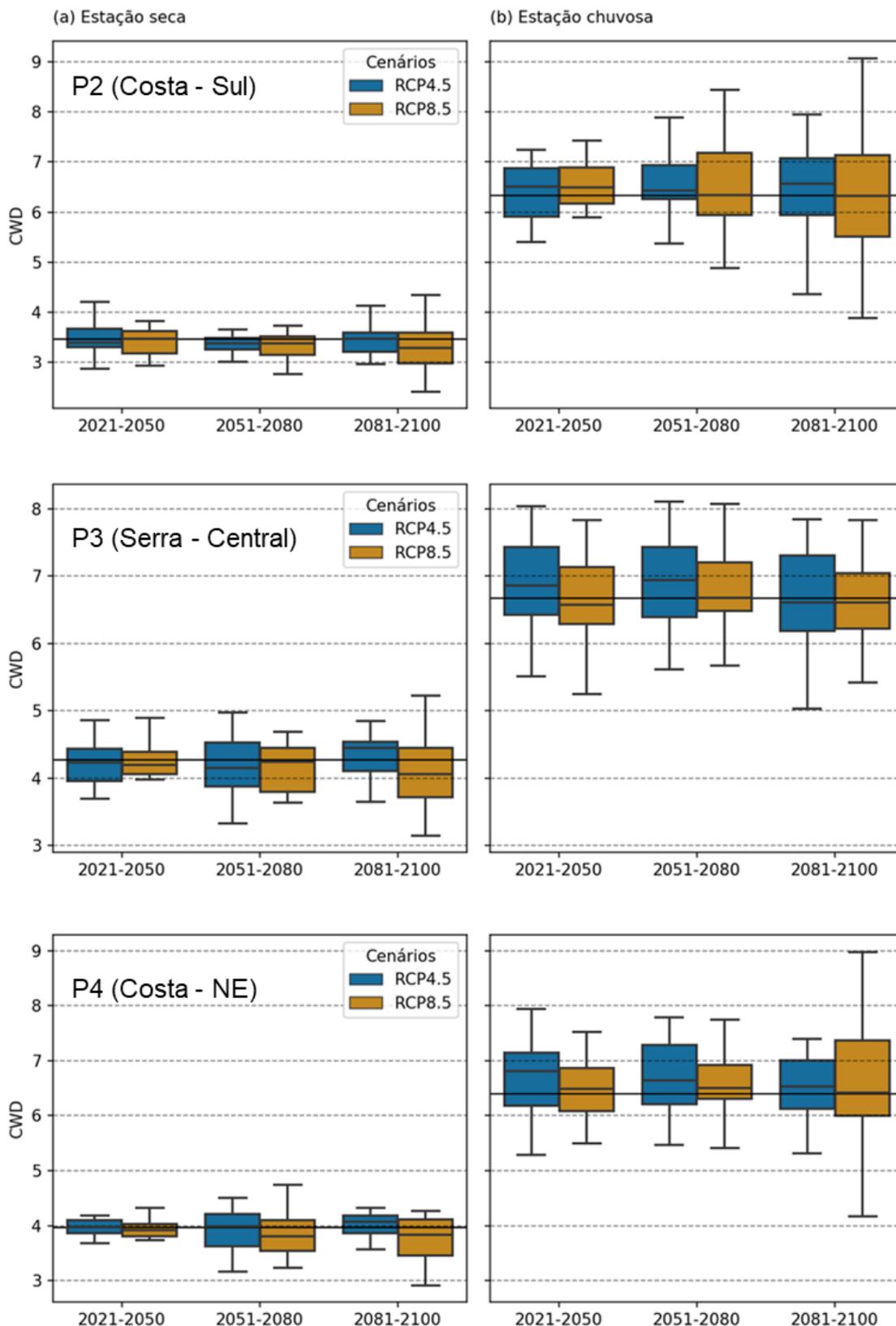


Figura 7 - Boxplots para o índice CWD (dias consecutivos com chuva), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor do CWD no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

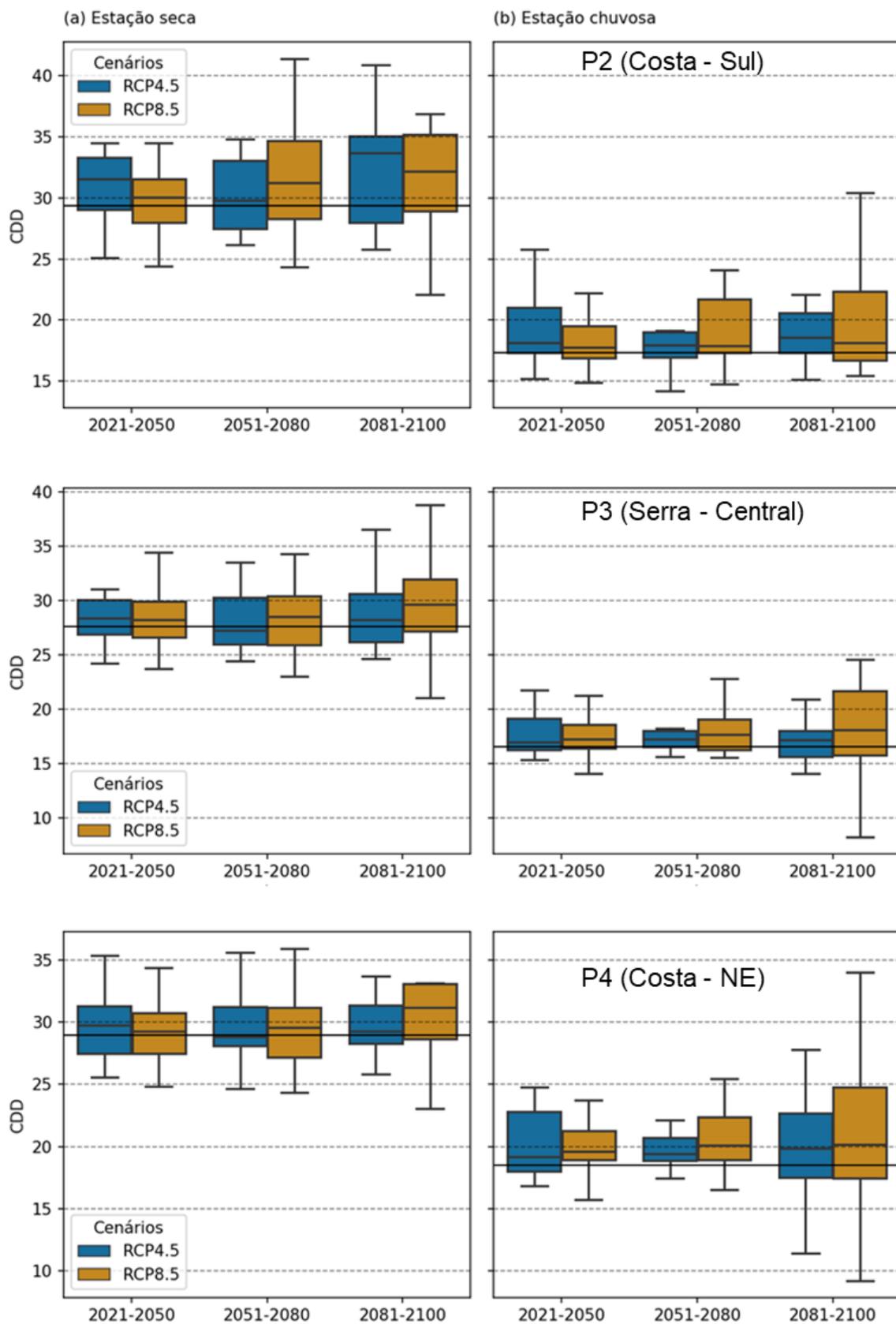


Figura 8 - Boxplots para o índice CDD (dias consecutivos sem chuva), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor do CDD no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

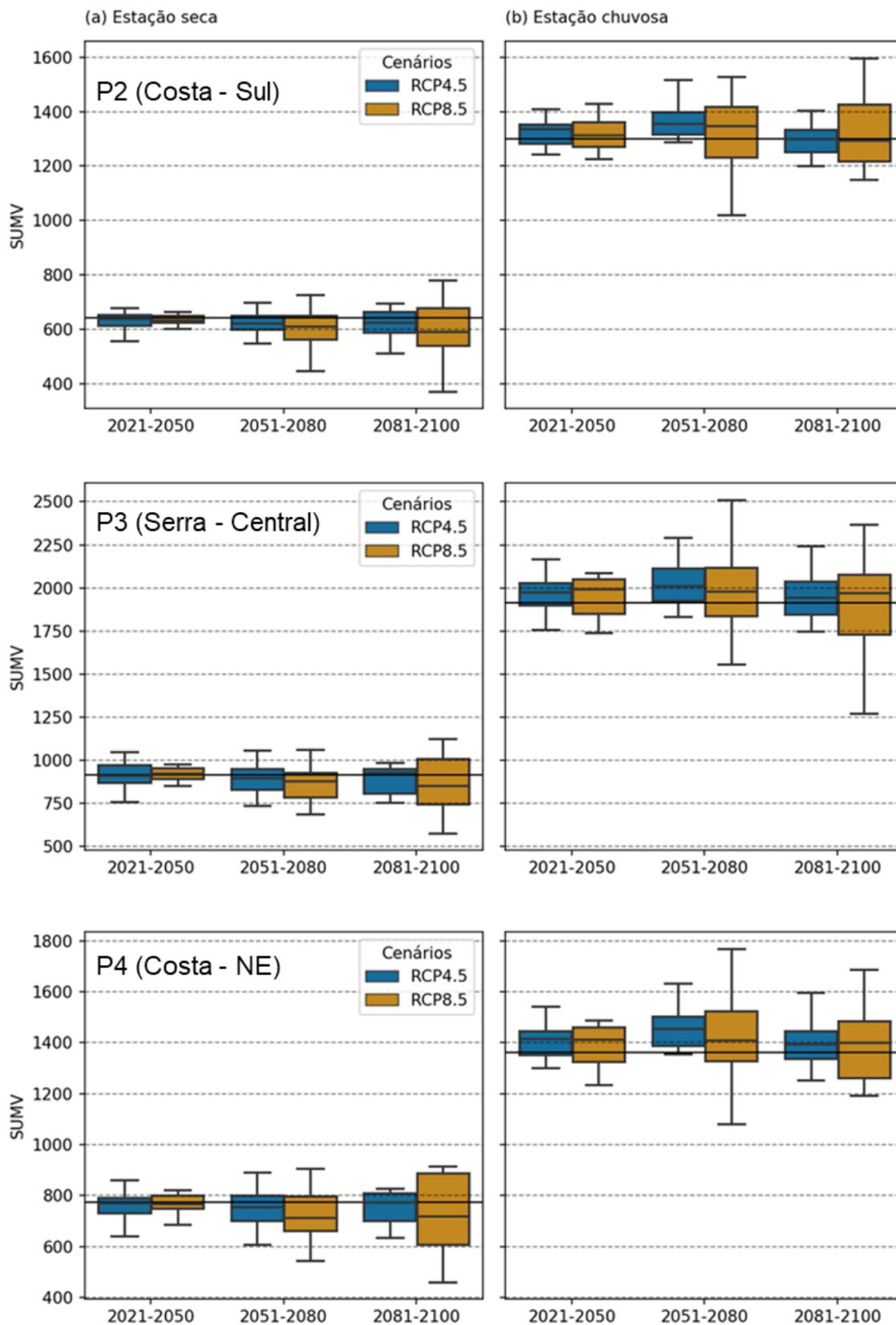


Figura 9 - Boxplots para a Média do Total de Precipitação (em milímetros), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

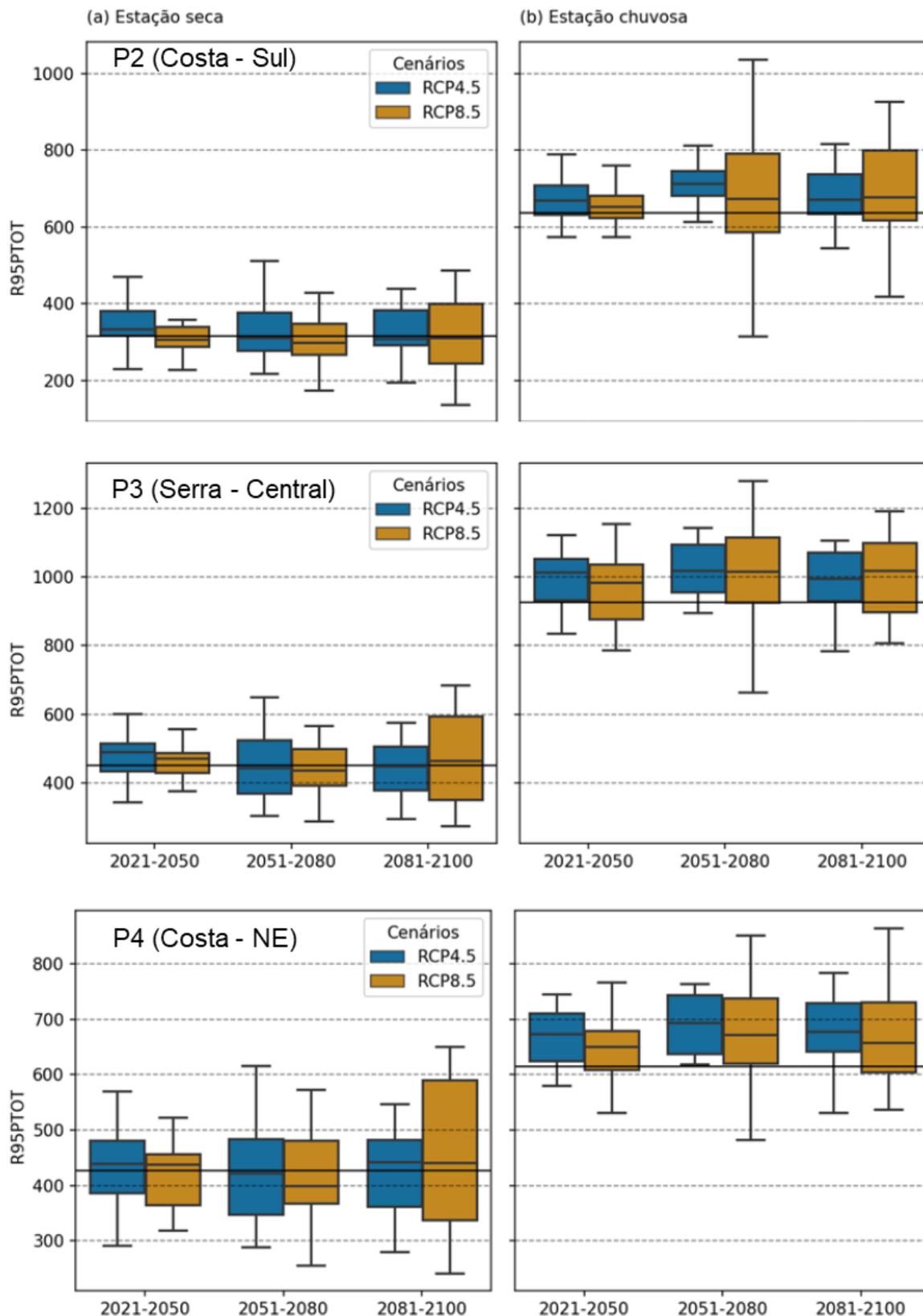


Figura 10 - Boxplots para a Média do Total de Precipitação acima do percentil 95 (em milímetros), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

De uma forma geral, os resultados apresentados apresentam alguns padrões semelhantes entre si, os quais merecem destaque os seguintes pontos:

- Por estarem localizados em regiões costeiras, em geral, os pontos P2 e P4 apresentam índices de precipitação inferiores ao P3, que é o único ponto em região de serra e, por conta da orografia, sempre apresenta os maiores índices pluviométricos (normalmente chove mais e futuramente esse padrão tende a ser mantido em relação aos demais).
- Os pontos P2 e P4 apresentam resultados muito semelhantes entre si, principalmente no período chuvoso. Para o período seco, o ponto P2 (que está mais ao Sul) tende a sempre apresentar valores inferiores ao P4.
- Para todos os casos, é esperado que, na média, chova cada vez menos durante a estação seca (Figura 9a) [*concordância significativa, evidência discreta*]. Além disso, as poucas chuvas durante este período estarão mais espaçadas entre si, causando períodos de estiagens maiores do que o normal (Figura 8) [*média confiabilidade*].
- Para a estação chuvosa, a tendência é sempre de chover um pouco mais que o período de referência (Figura 9b), mas este aumento de volume precipitado não será homogêneo e será decorrente do aumento da magnitude dos eventos extremos [*alta confiabilidade*] (Figura 5Figura 6 Figura 10). E mesmo havendo a sinalização do aumento do volume médio precipitado, é *muito provável* que haja mais dias consecutivos sem chuvas (Figura 8), ao passo que, quando chover, os eventos sejam mais volumosos/intensos.
- Para todos os índices, as diferenças entre as medianas dos cenários RCP 4.5 e 8.5 são relativamente pequenas (5% na média), o que poderia levar à errônea conclusão de que os impactos futuros das mudanças climáticas serão os mesmos independentemente dos cenários. No entanto, o que muda drasticamente de um caso para o outro é a dispersão dos resultados, de modo que, por diversas vezes, o cenário RCP 8.5 apresenta possibilidades muito mais críticas que o cenário RCP 4.5. Isto reflete as incertezas associadas às análises que, via de regra, é sempre maior para o

cenário 8.5 e, portanto, este é também o que caracteriza maior risco no geral.

Alguns índices de extremos apresentados anteriormente podem ser estudados de maneira mais aprofundada, devido à sua maior relação com alguns riscos climáticos relevantes para o município de Santos e também pela criticidade de seus resultados propriamente ditos. Por exemplo, o aumento considerável do índice Rx1day, sobretudo no ponto P3 (região central, porção serrana), pode, entre outros impactos, intensificar processos de erosividade do solo em regiões de maior altitude, o que pode implicar em diversos impactos secundários à jusante, na porção costeira e urbana da Baixada e que, portanto, devem ser considerados na planificação das diretrizes para medidas de adaptação. Neste sentido, a recomendação é que sejam feitos novos estudos voltados para este tipo específico de investigação, mas que estarão brevemente explorados no item 4 - “*Análise e discussões para cada Território da Baixada*” .

3.1.1. Análise de tendência por teste de Mann-Kendall - Precipitação

			Observado	RCP 4.5			RCP 8.5		
			1976-2005	2021-2050	2051-2080	2081-2100	2021-2050	2051-2080	2081-2100
Rx1day	seco	P2 (Sul)	↓	→→	→→→	→→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	↓	→→	→→	→→→	→→→	→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→	→	→→→	→→	→→→
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→	→→	→→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→	→→	→→→	→→→	→→	→→
		P4 (Central-Costa)	↓	→→	→→	→→→	→→→	→→→	→→→
Rx5day	seco	P2 (Sul)	→	→→	→→→	→→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→	→→	→→→	→→→	→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	↓	→→	→→	→	→→→	→→	→→→
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→	→→	→→→	→→	→	→→→
		P3 (Serra)	→	→	→→	→→→	→→→	→→	→→
		P4 (Central-Costa)	↓	→→	→→	→→→	→→→	→→→	→→→
R95ptot	seco	P2 (Sul)	↓	→→	→→→	→→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→	→	→→→	→→→	→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	↓	→→	→	→→→	→→	→→	→→→
	chuv.	P2 (Sul)	↓	→	→	→→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	↑	→→	→→	→→→	→→	→→	→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→	→→→	→→	→→→	→→
CWD	seco	P2 (Sul)	→	→→→	→→	→→→	→→→	→→	→→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→	→→	→→→	→→	→
		P4 (Central-Costa)	↓	→→→	→→→	→→	→→→	→→	→
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→	→→→	→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→	→→→	→	→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→→	→	→	→→→	→→→
CDD	seco	P2 (Sul)	→	→→→	→→→	→→→	→→	→→→	→→
		P3 (Serra)	→	→→	→→→	→→→	→→	→→→	→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→	→→→	→→	→→→	→→
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→	→→→	→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→→	→→	→→	→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→	→→	→→	→→→	→→→
Total PPT	seco	P2 (Sul)	↓	→→	→→→	→→	→→	→→	→→
		P3 (Serra)	↓	→→	→→	→→	→→	→→	→→
		P4 (Central-Costa)	↓	→→	→→	→→	→→	→→	→→
	chuv.	P2 (Sul)	→	→	→→	→→→	→→	→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→	→→	→→→	→→	→→→	→→
		P4 (Central-Costa)	→	→	→→→	→→→	→→	→→→	→→→

Predominância de tendência negativa	% modelos indicando o mesmo resultado	Predominância de testes sem tendência	% modelos indicando o mesmo resultado	Predominância de tendência positiva	% modelos indicando o mesmo resultado	Testes de significância acima de 80% - alpha = 0.20. Obs: Para o período 1976-2005 foram utilizados dados observados de somente uma fonte (CHIRPS) e, portanto, não há variações quanto ao nível de concordância (quantidade de setas).
↓	35% - 60%	→	35% - 60%	↑	35% - 60%	
↓ ↓ ↓	61 - 80%	→ →	61 - 80%	↑ ↑ ↑	61 - 80%	
↓ ↓ ↓ ↓	81% - 100%	→ → →	81% - 100%	↑ ↑ ↑ ↑	81% - 100%	

Figura 11 – Resultado da análise de tendência por Mann-Kendall para os índices de extremos de precipitação. Testes feitos com alpha = 0.20 (80% de significância estatística).

Os resultados dos testes de tendência por Mann-Kendall indicam um comportamento praticamente homogêneo em todos os índices de extremos de precipitação, em todos os períodos futuros analisados: sem exceção, os resultados indicam que não há tendência estatisticamente significativa de aumento ou diminuição destes índices. O que varia entre os resultados é o grau de concordância entre os modelos para indicar este comportamento de “sem tendência”, sendo que a maioria dos casos sugere que pelo menos 80% dos modelos (três setas horizontais) indicam que não há tendência significativa.

Porém, é muito importante ressaltar que isto não significa que os eventos extremos de precipitação não irão se tornar mais frequentes e severos, conforme as alegações feitas no item anterior (3.1). Este tipo de resultado por Mann-Kendall indica que, ao olhar as séries temporais ao longo dos períodos de 30 anos, não há consistência estatística para afirmar que estes índices terão incrementos positivos que se prevaleçam aos incrementos negativos quando se compara ano a ano. Ou seja, quando constatados (ver item anterior), o aumento na frequência e intensidade dos eventos extremos *possivelmente* ocorrerá de forma concentrada, em alguns poucos anos ao longo das décadas, mas sendo tão intensos que puxam consideravelmente a média dos resultados para cima [*média confiabilidade*].

Por exemplo, os resultados para os eventos extremos que acontecem numa janela temporal de 5 dias, (índice Rx5day, Figura 6) são expressivos ao indicar que haverá um aumento *significativo* (aproximadamente 10%) durante o período chuvoso das próximas décadas [*alta confiabilidade*], especialmente na região de serra da Baixada Santista (P3, boxplots centrais da Figura 6). No entanto, sem a análise de tendência feita pelos testes de Mann-Kendall, não seria possível alegar que este aumento seria gradual (por exemplo, a cada 2 ou 3 anos ocorrer um evento um pouco maior do que o normal); moderadamente distribuído (por exemplo, um evento sem precedentes a cada 5 anos) ou concentrado (por exemplo, um evento extremamente intenso, muito mais severo que o normal, a cada dez ou quinze anos).

Este tipo de informação é muito importante porque diminui também as incertezas a respeito dos tipos de impactos que podem ser esperados nas próximas décadas. Se por acaso houvesse tendência estatisticamente significativa de aumento dos índices de eventos extremos, seria mais provável que os impactos associados fossem aumentando gradualmente, o que permitiria uma mobilização mais espontânea dos sistemas impactados para reagir à eventos futuros, tendo em vista que a percepção deste incremento ocorreria quase que naturalmente com o passar dos anos. Porém, como o resultado pelos testes de Mann-Kendall indica que não há tendência significativa de aumento, e havendo consistência nos resultados de que o aumento médio acontecerá (item anterior), pode-se dizer que os impactos associados aos eventos ainda mais intensos (fora da normalidade) podem acontecer poucas vezes por décadas, mas tendem a ser muito mais contundentes quando. Além disso, como *provavelmente* os eventos mais extremos (fora da normalidade) estarão

temporalmente distantes entre si, é preciso que haja uma preparação e antecipação maior para que os sistemas não se adequem apenas aos eventos extremos mais recorrentes (aqueles que são severos, mas que estão dentro da normalidade), sob o risco desta “não preparação” ampliar exponencialmente os impactos associados a estes grandes eventos, quando ocorrerem.

Importante também notar os resultados do teste de Mann-Kendall referentes ao período de referência (1976-2005). Para estes casos, foram utilizados dados observados (CHIRPS) e, portanto, não há variações quanto ao nível de concordância (quantidade de setas), de modo a informação principal que deve ser explorada é se os testes identificaram alguma tendência estatisticamente significativa (setas para cima ou para baixo) ou sem tendência. É possível observar que, durante o período chuvoso, praticamente todos os resultados indicam que não há tendência significativa de aumento ou diminuição, com exceção do P4 (porção central-costeira), que indica uma tendência de diminuição dos eventos extremos de precipitação.

Já para o período seco, é observado um padrão de decréscimo dos índices de eventos extremos (Rx1day, Rx5day, R95ptot durante) estes meses do ano, impactado também no total de chuva acumulado (SUMV); o que representa que anomalias negativas (diminuição) de precipitação têm sido mais frequentes que as positivas (aumento) desde o período presente. Importante notar que sinais de decréscimos de precipitação e eventos extremos durante o período seco também foram discretamente verificados nos dados de modelagem do clima futuro (especialmente na Figura 9). Isto sugere que, enquanto os eventos extremos de precipitação se tornarão mais frequentes durante os meses chuvosos em toda Baixada Santista (com destaque as localidades serranas), anomalias de pouca precipitação serão mais recorrentes durante o período seco (com destaque para porção Sul), situação esta que será mais intensa a partir da segunda metade de século [*média concordância, evidência significativa*].

O único resultado para o período de referência que indica tendência estatisticamente significativa de aumento é no P3 (porção central, serrana) no período chuvoso, para o índice R95ptot. Este sinal do período pretérito reforça um padrão de prováveis mudanças climáticas já em curso, e que poderão se estender nas próximas décadas, em conformidade com as alegações feitas para este compartimento da

Baixada, especialmente pelos resultados dos boxplots das Figura 5, Figura 6 e Figura 10.

3.2. Índices de Extremos de Temperatura

3.2.1. Temperaturas Máximas

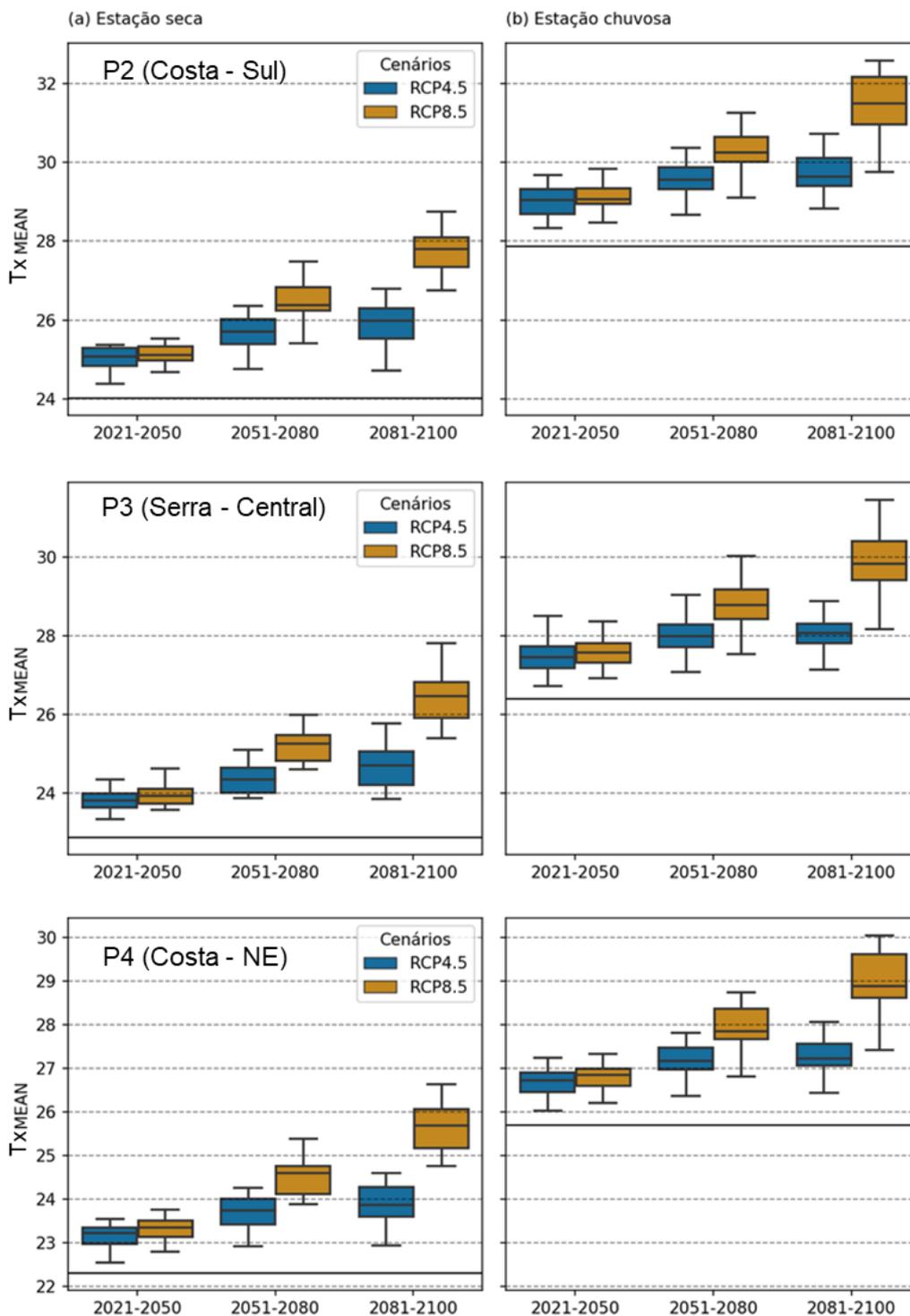


Figura 12 - Boxplots para a Média da Temperatura Máxima ($^{\circ}$ C), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

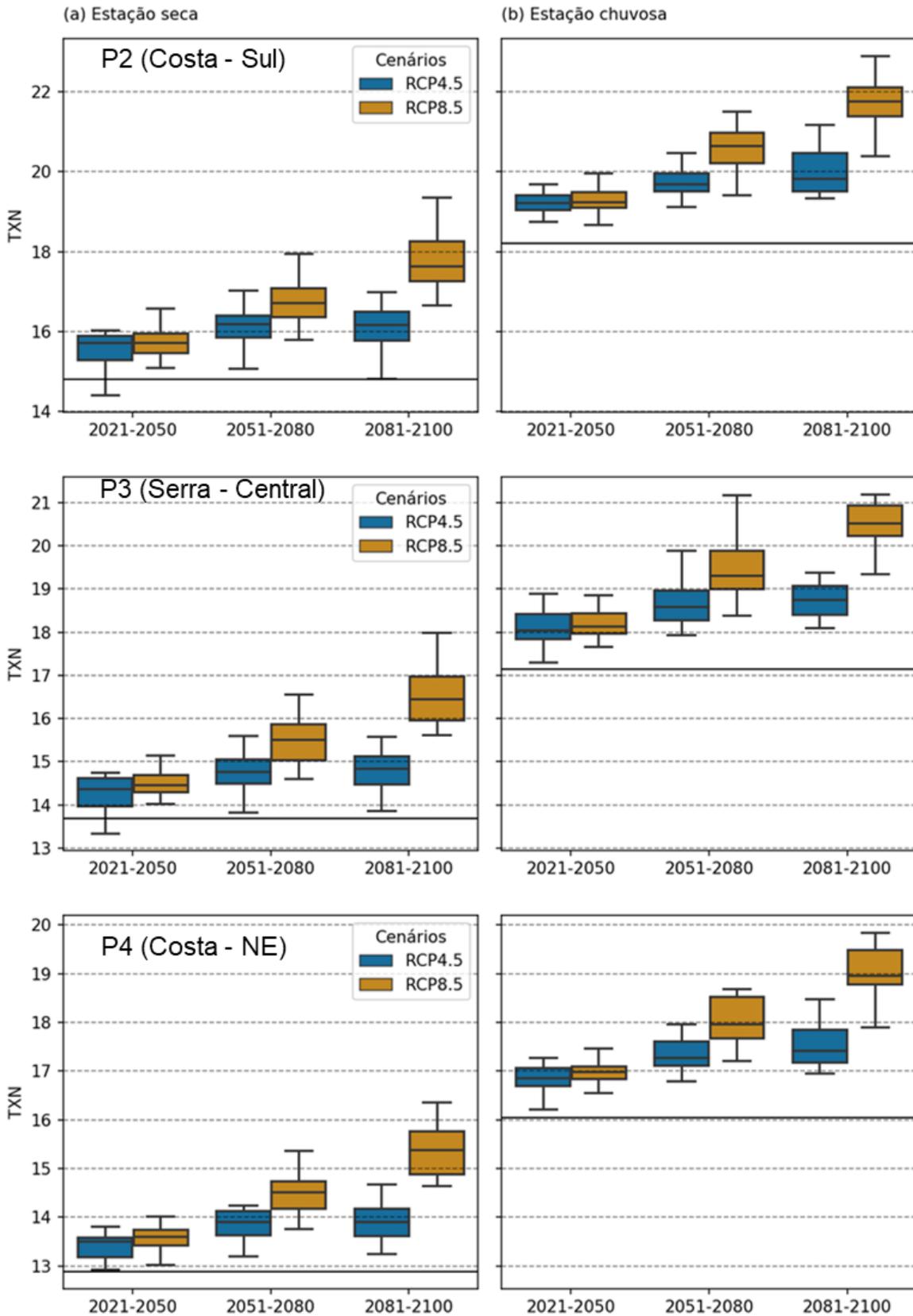


Figura 13 - Boxplots para a Menor Temperatura Máxima ($^{\circ}$ C), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

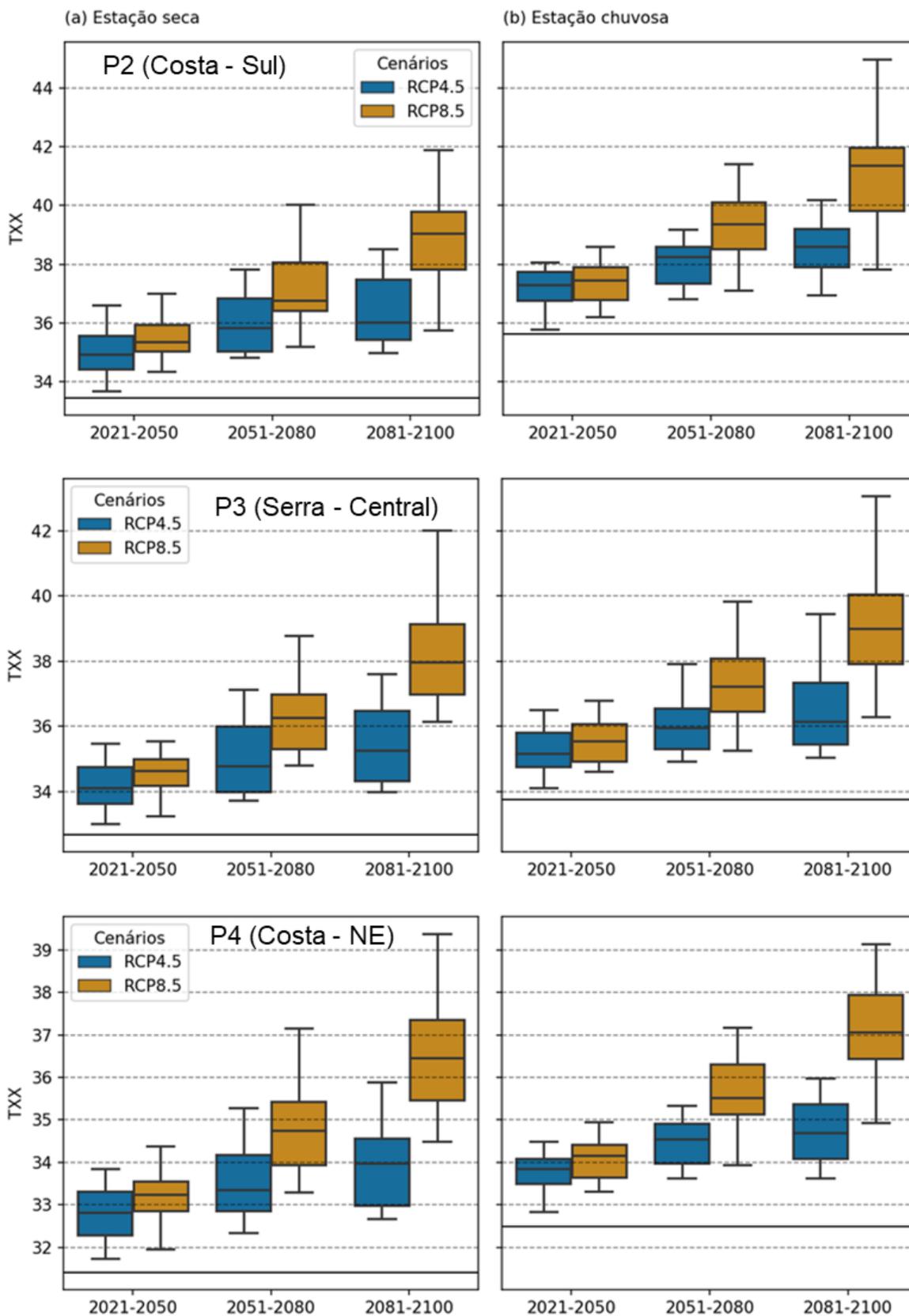


Figura 14 - Boxplots para a Maior Temperatura Máxima (° C), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

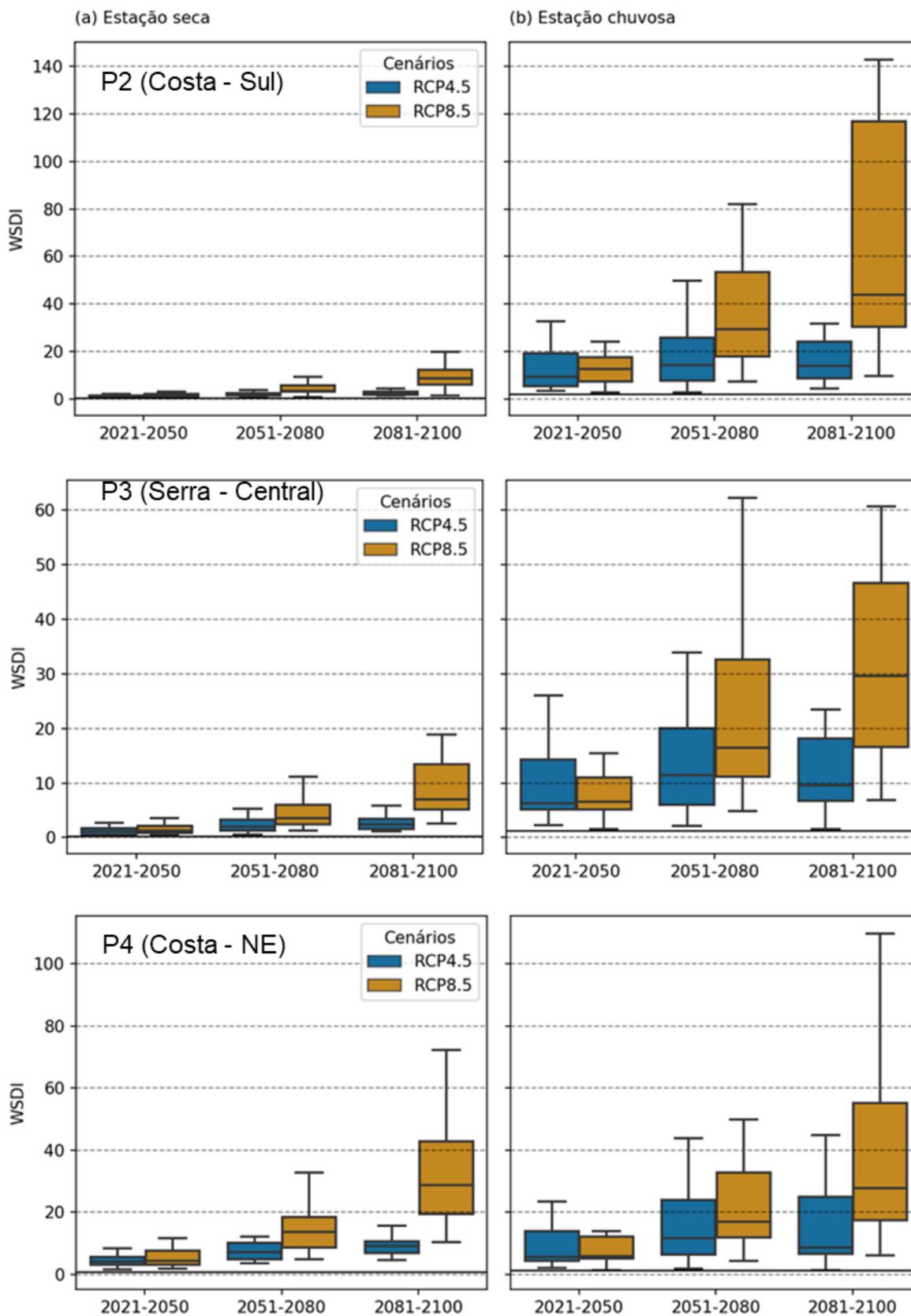


Figura 15 - Boxplots o índice WSDI (Quantidade de “Períodos Quentes”), para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

3.2.2. Temperaturas Mínimas

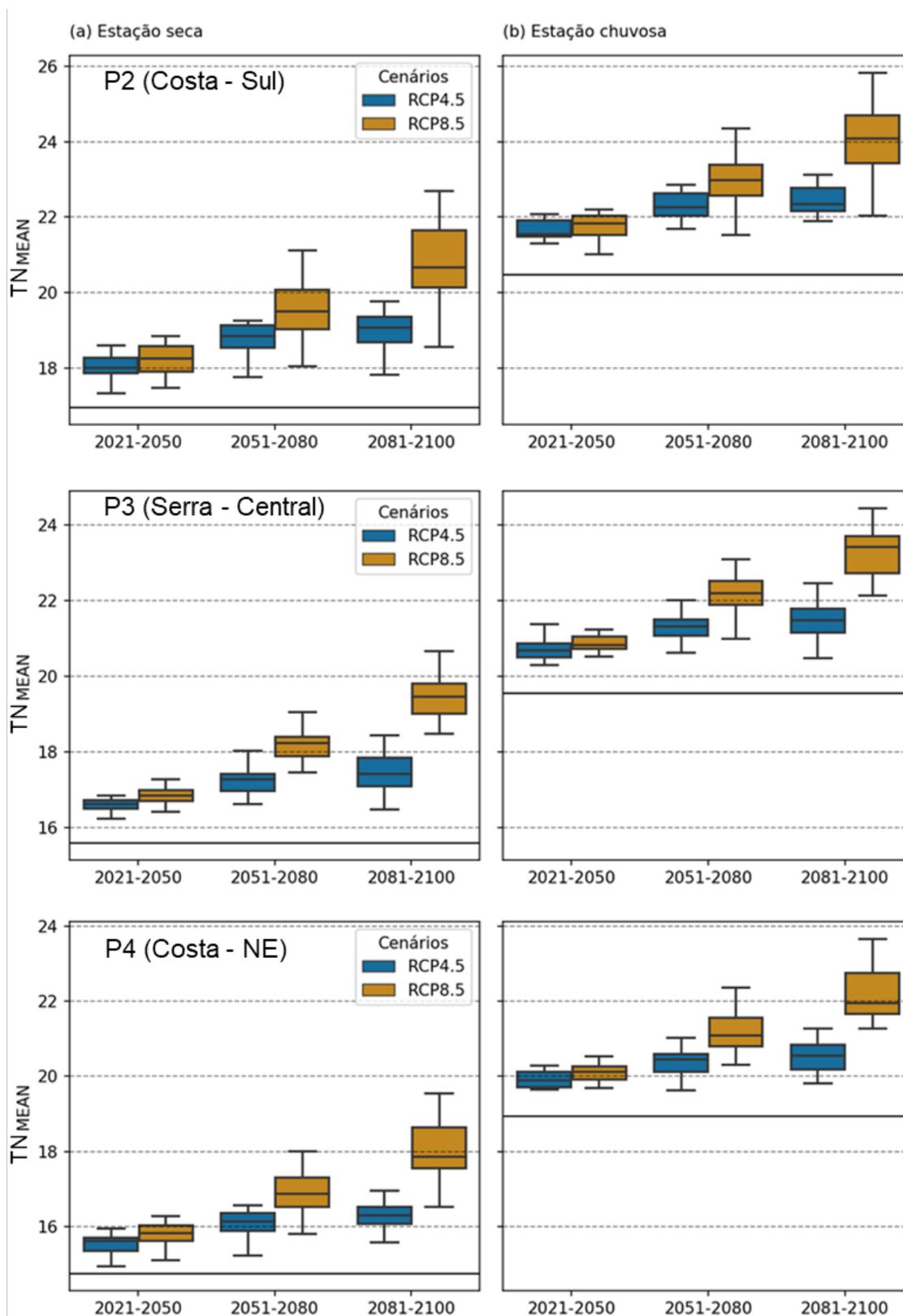


Figura 16 - Boxplots para a Média de Temperatura Mínima ($^{\circ}$ C) para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

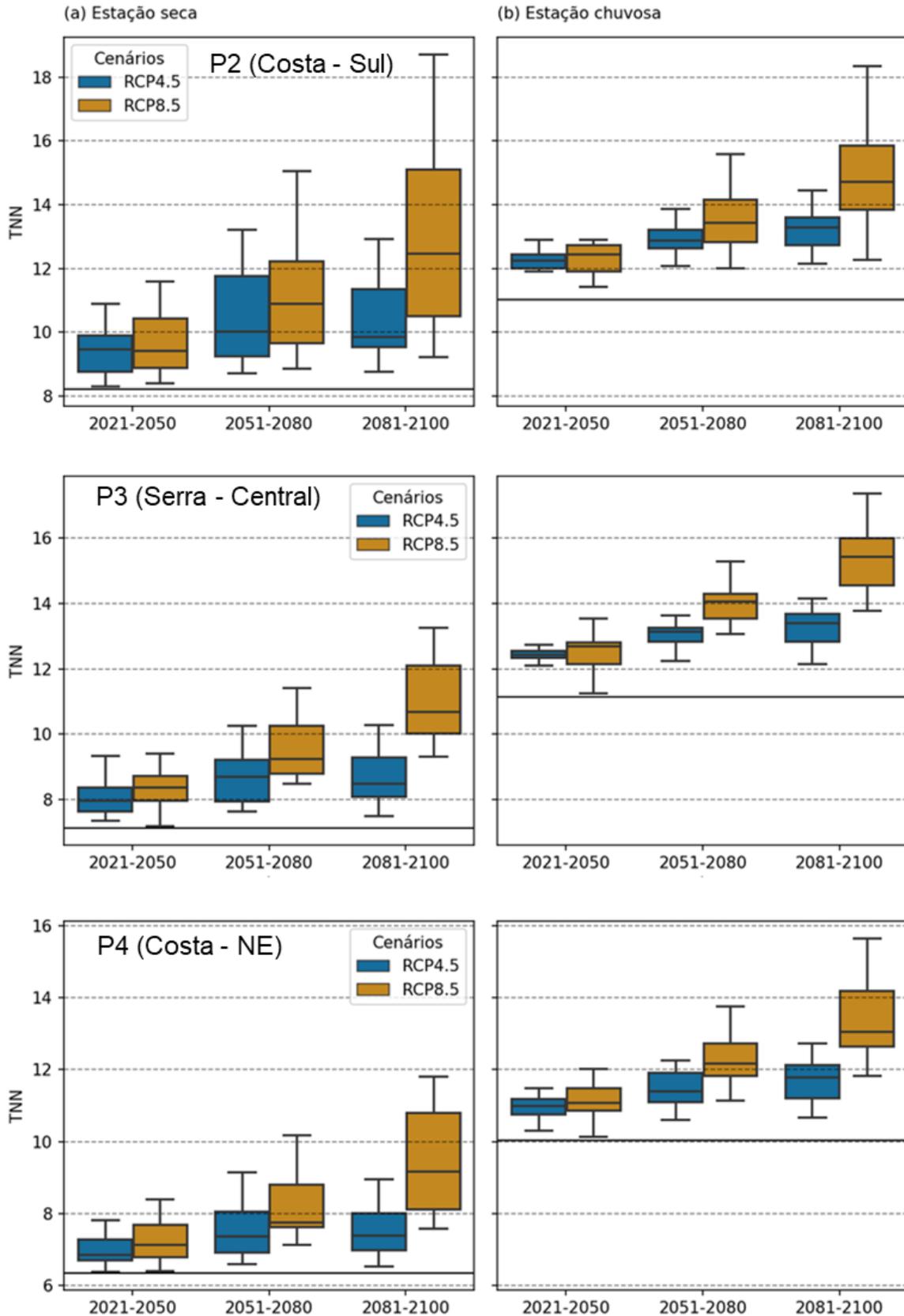


Figura 17 - Boxplots para a Menor Temperatura Mínima (° C) para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

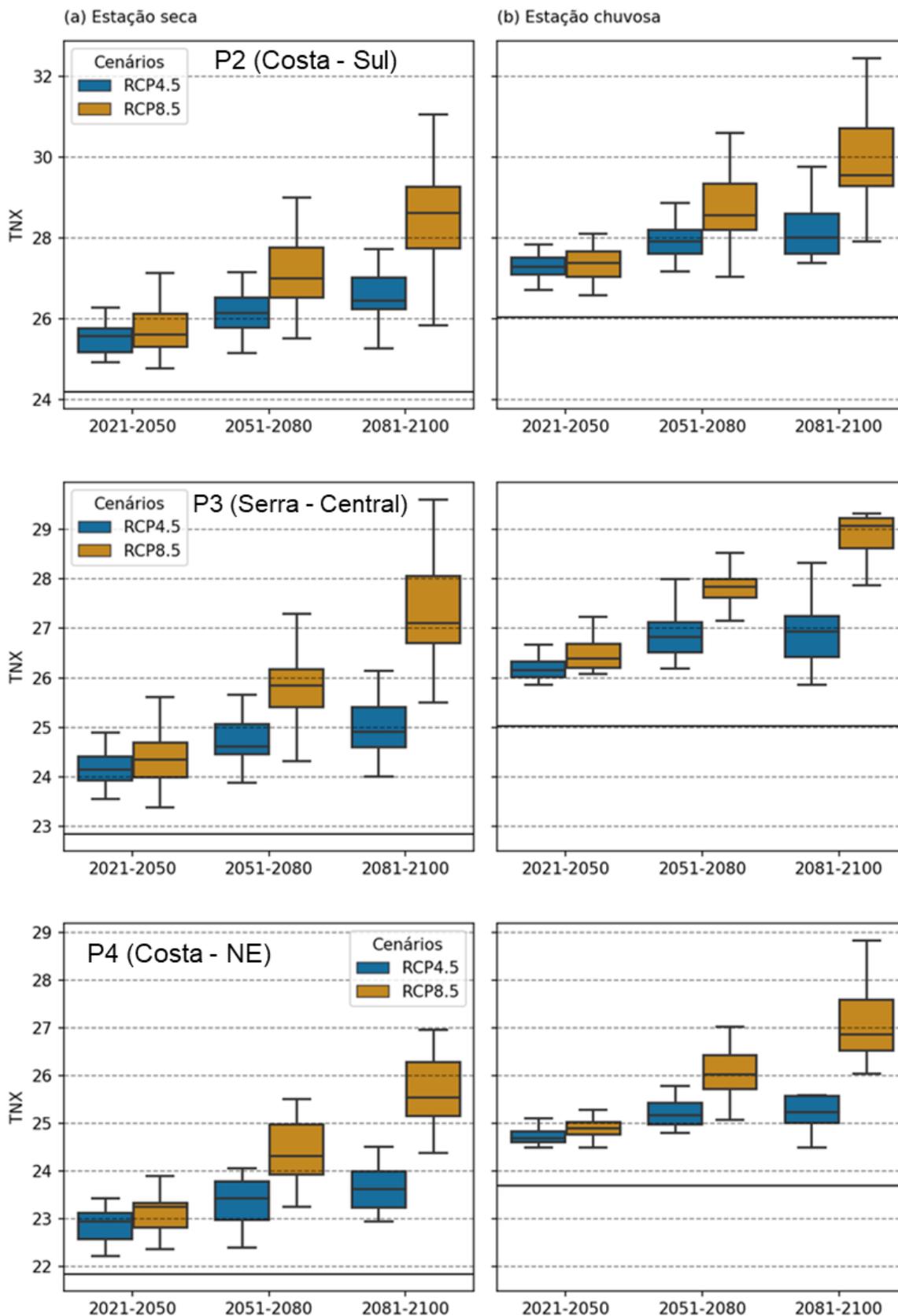


Figura 18 - Boxplots para a Maior Temperatura Mínima ($^{\circ}$ C) para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

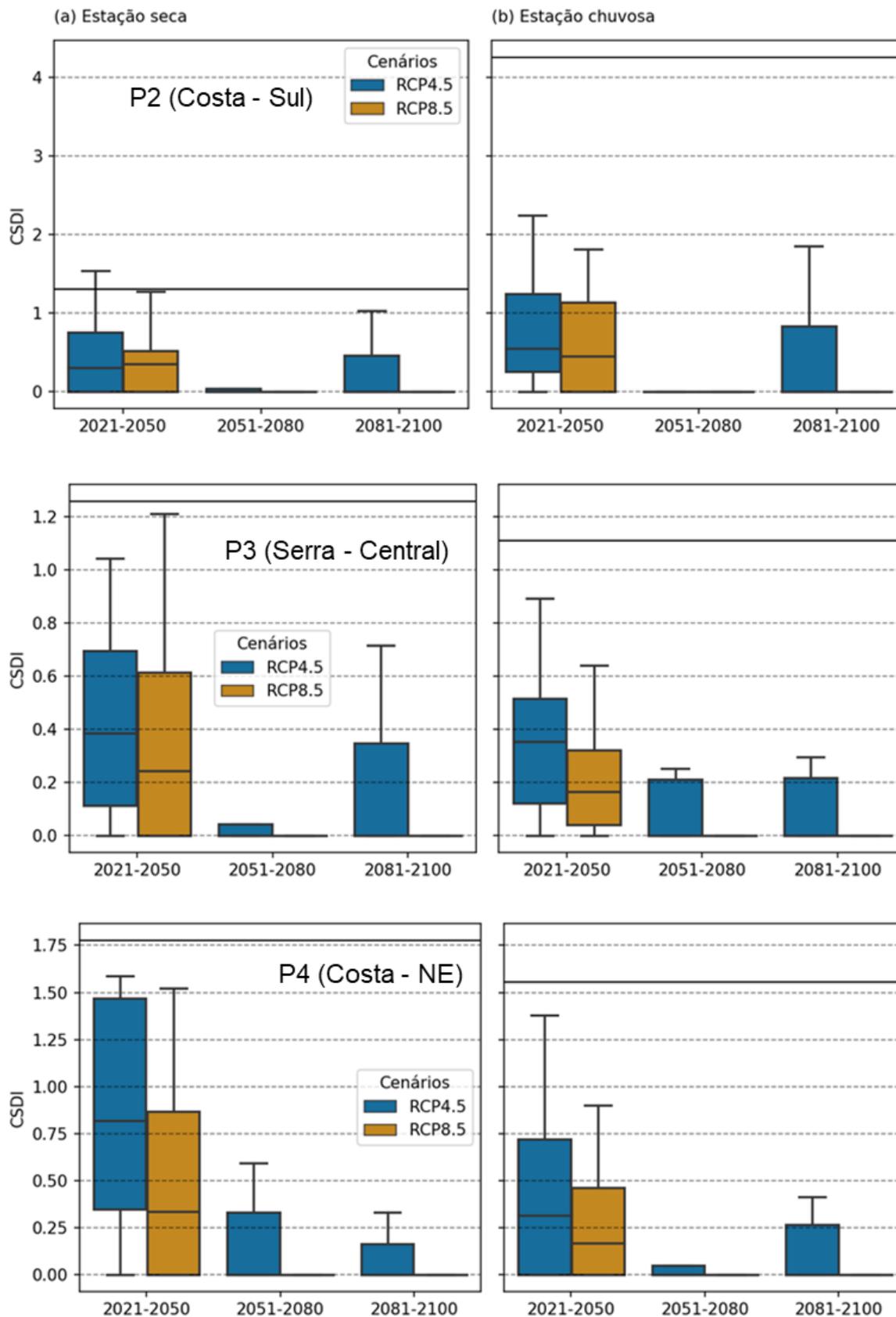


Figura 19 - Boxplots para o índice CSDI (quantidade de “Períodos Frios”) para os pontos P2, P3 e P4, nesta ordem. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

Assim como no caso dos índices extremos de precipitação, os resultados para os índices de temperatura apresentam, de uma forma geral, alguns padrões semelhantes entre si e que merecem ser destacados, tais como:

- Quanto mais ao Sul-Sudeste for uma localidade da Baixada Santista, mais quente ela tende a ser [*evidência significativa*], seja para a temperatura média, mínima ou máxima. Isto é, a porção mais ao Sul (representada pelo ponto P2) é um pouco mais quente que a região serrana central (P3), que é ligeiramente mais quente que a região da planície central (P4) - Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 16, Figura 17 e Figura 18.
- Para todos os índices de temperatura (não incluindo o CSDI e WSDI, Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 16, Figura 17, Figura 18), foi observado que as mudanças relativas (em porcentagem) entre os períodos futuros e período de referência (1976-2005) são, aproximadamente, as mesmas para todos os pontos. Isto é, se os resultados indicarem, por exemplo, um incremento de +10% no aumento da média da temperatura máxima para a porção mais ao Sul (P2), é esperado que também haja um incremento aproximado de 10% para a porção central (P3) ou mais a nordeste (P4). No entanto, os valores absolutos alcançados (que são as referências que normalmente direcionam as análises de impacto) são diferentes entre si, haja vista o que foi mencionado no item anterior (sul mais quente que o norte-nordeste).
- Em termos de impactos causados por extremos de temperatura, os resultados deixam *significativamente evidenciado* que o cenário RCP 8.5 pode ser muito mais impactante que o cenário RCP 4.5 (fato este que não foi necessariamente observado nas análises dos índices de precipitação). Em geral, o incremento de temperatura entre 2050-2080 no cenário RCP 8.5 é cerca de 50% maior que o incremento esperado em 2100 para o cenário RCP 4.5 [*confiabilidade muito alta*]. Ou seja, se as trajetórias de emissões realmente seguirem o cenário previsto pelo RCP 8.5, a partir de 2050 já são esperadas alterações climáticas de grande magnitude, alterações estas que demorariam entre 30 e 50 anos para acontecer no cenário RCP 4.5. No cenário 4.5 ainda haveria a possibilidade de nem chegar a este ponto crítico

- (que seria a reversibilidade ou a estagnação das mudanças climáticas antrópicas, que somente será possível se as emissões de gases de efeito estufa forem praticamente zeradas até 2050) [*confiabilidade alta*].
- Conforme mencionado anteriormente, os padrões observados entre as regiões analisadas tendem a ser os mesmos. No entanto, destaca-se o cenário de risco que pode ser estabelecido na porção Sul da Baixada Santista (P2), pois após 2080 os resultados indicam, sob *alto nível de confiabilidade*, que a média da temperatura máxima diária (Figura 12) *provavelmente* será acima de 31.5 ° C durante o período chuvoso (atualmente é de 28 ° C) sendo que 25% dos modelos indicam a possibilidade de alcançar situações com valores superiores à 32 ° C [*baixa concordância, evidência significativa*].
 - Além disso, para esta mesma porção da Baixada Santista também é *provável* que as maiores temperaturas máximas ao longo do verão sejam recorrentemente na faixa de 40 ° C já a partir de 2050 no cenário RPC 8.5, sendo *possível* chegar aos 42 ° C em 2100.
 - A respeito dos “períodos quentes” (WSDI), nota-se que estas anomalias se tornarão muito mais frequentes a partir de 2050 [*alta confiabilidade*] principalmente durante o período chuvoso (especialmente no verão), onde seriam estabelecidas condições para o fenômeno de “ondas de calor”. De todos os resultados apresentados, novamente a porção Sul se destaca (ponto P2, boxplot superior direito da Figura 15), haja vista que é praticamente consenso entre os modelos indicar a ocorrência de 40 dias que esta condição de calor extremo seria alcançada a cada estação chuvosa entre 2081-2100 (*confiabilidade alta*). Para piorar, 25% dos modelos indicam a possibilidade deste número ser ainda maior, chegando a 120 dias a cada estação chuvosa, o que significa uma onda de calor (que dura pelo menos 6 dias) a cada 2 semanas (*baixa concordância, evidência robusta*). Para fins comparativos, no período entre 1976-2005 (30 anos) a média observada foi de 2 dias de calor extremo a cada estação chuvosa, o que representa 1 onda de calor a cada 3 períodos chuvosos (1 onda de calor a cada 72 semanas).

- Ainda sobre a porção mais ao Sul (P2) e os “períodos quentes” (WSDI, Figura 15), no cenário RCP 8.5, ao final do século, os resultados apontam que é *muito* provável ocorrerem ondas de calor mesmo durante período seco (especialmente durante o outono), aproximadamente 1 vez por ano. Além disso, os resultados sugerem que as maiores temperaturas máximas diárias serão na faixa dos 39 ° C (*baixa concordância, evidência significativa*). Esta possibilidade se torna ainda mais preocupante quando são inseridos os impactos de diminuição da chuva durante o período seco e (Figura 9), principalmente, do grande aumento de dias consecutivos sem chuva (CDD, Figura 8). Esta combinação de anomalias climáticas acontecendo simultaneamente podem ser suficientes para colapsar diversos sistemas de atividades humanas, mecanismos ecológicos, hidrológicos e biológicos. Portanto, este cenário requer maior aprofundamento para que os impactos potenciais sejam identificados para, posteriormente, definir medidas de adaptação que sejam implementadas antecipadamente visando reduzir os riscos associados.
- De forma oposta ao WSDI, os resultados do índice CSDI (Figura 19) indicam que as anomalias que caracterizam “períodos frios” reduzem drasticamente entre 2021-2050, ao passo que a partir da metade do século já não será mais esperado eventos deste tipo (*alta confiabilidade*). Ou seja, nos cenários avaliados, o aquecimento médio da temperatura será tão intenso que períodos anômalos frios (em relação as normais climatológicas obtidas entre 1976-2005) *muito provavelmente* não acontecerão mais após 2050.

3.2.3. Análise de tendência (Mann-Kendall) – Temperatura Máxima

			Observado	RCP 4.5			RCP 8.5		
			1976-2005	2021-2050	2051-2080	2081-2100	2021-2050	2051-2080	2081-2100
TNx	seco	P2 (Sul)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	↑	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
TNn	seco	P2 (Sul)	→	→→→	→→→	→→→	→→	↑	→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→	→→→	→→	↑↑	→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→→	→→→	→→	↑	↑
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→→	→→	→→→	→	↑↑	→→
		P3 (Serra)	→	→→	→→	→→→	→→	↑↑↑	→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→	→→→	→→	↑↑↑	→→
CSDI	seco	P2 (Sul)	↓	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	↓	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
	chuv.	P2 (Sul)	↑	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	↑	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
TNmean	seco	P2 (Sul)	↑	↑↑	→→	→→	↑↑	↑↑↑	↑↑
		P3 (Serra)	↑	↑	→→	→→→	↑↑	↑↑↑	↑
		P4 (Central-Costa)	→	↑	→→	→→→	↑↑	↑↑↑	↑
	chuv.	P2 (Sul)	→	↑↑	↑	→→→	↑↑↑	↑↑↑	↑
		P3 (Serra)	→	↑↑	↑	→→→	↑↑↑	↑↑↑	↑↑
		P4 (Central-Costa)	→	↑↑	↑↑	→→→	↑↑↑	↑↑↑	↑

Predominância de tendência negativa	% modelos indicando o mesmo resultado	Predominância de testes sem tendência	% modelos indicando o mesmo resultado	Predominância de tendência positiva	% modelos indicando o mesmo resultado
↓	35% - 60%	→	35% - 60%	↑	35% - 60%
↓↓	61 - 80%	→→	61 - 80%	↑↑	61 - 80%
↓↓↓	81% - 100%	→→→	81% - 100%	↑↑↑	81% - 100%

Testes de significância acima de 80% - alpha = 0.20.
 Obs: Para o período 1976-2005 foram utilizados dados observados de somente uma fonte (CHIRPS) e, portanto, não há variações quanto ao nível de concordância (quantidade de setas).

Figura 20 - Resultado da análise de tendência por Mann-Kendall para os índices de temperatura máxima (TX). Testes feitos com alpha = 0.20 (80% de significância estatística).

Os resultados dos testes de Mann-Kendall para os índices de temperatura máxima trazem algumas observações importantes e complementares àquelas que foram apresentadas nos itens anteriores. De uma forma geral, os resultados mais expressivos se referem às maiores temperaturas máximas (TXx) e média de temperatura máxima (TXmean), especialmente no cenário RCP 8.5.

Para as maiores temperaturas máximas (TXx), os resultados indicam que anomalias de extremos de temperatura já irão se tornar mais recorrentes entre 2021-2050, independentemente do cenário. Este padrão de aumento das anomalias é mais presente na região central da Baixada Santista, tanto na porção de serra quanto costeira, e deve ser mais pronunciada em situações que o nível de gases de efeito estufa forem maiores, isto é, seguindo as trajetórias propostas pelo cenário RCP 8.5. A principal diferença entre os cenários RCPs é que este padrão de anomalias positivas recorrentes *muito provavelmente* tende a se estabilizar após 2050 no

cenário RCP 4.5, enquanto no cenário RCP 8.5 *provavelmente* continuará a se intensificar pelo menos até 2080.

Para a média da temperatura máxima (TXmean), os resultados indicam que não há tendência significativa de aumento (ou diminuição) no cenário RCP 4.5. No entanto, os resultados anteriores apresentados na Figura 12 indicam que haverá um aumento relativo significativo, de pelo menos 1 ° C, em todas as porções da Baixada neste cenário, sob *alto nível de confiabilidade*. Esta combinação de resultados sugere que haverá oscilações de anomalias positivas e negativas entre os anos de 2021-2050 – o que impede a detecção de tendência estatisticamente significativa - mas que as anomalias positivas (anos mais quentes) tendem a ser mais fortes que as anomalias negativas (anos menos quentes) – o que caracteriza a mudança relativa de pelo menos +1 ° C observada em todos os resultados da Figura 12. Os impactos associados neste cenário tendem a ser menores que os previstos no cenário RP 8.5, tendo em vista que em anos de anomalias negativa (anos menos quentes), os sistemas naturais podem se recuperar do estresse causado nos anos mais quentes.

Já para o cenário RCP 8.5, praticamente em todos os períodos (2021-2050, 2051-2080 e 2081-2100) e em toda Baixada Santista, os testes de Mann-Kendall detectam predominância da tendência de aumento da temperatura média, que tende a ser ainda mais evidente entre 2051-2080. Isto significa que anos com anomalias positivas de temperatura serão recorrentes neste cenário e que, *muito provavelmente*, estas anomalias serão cada vez severas até 2080, ao ponto de que não serão mais esperados anos com temperaturas máximas no mesmo nível que foi observado no período de referência (1976-2005). Do ponto de vista dos impactos associados, este resultado – juntamente com aqueles apresentados no item anterior – indica que os sistemas naturais e humanos *muito provavelmente* sofrerão de diversas formas, tendo em vista que muitas condições limites poderão ser frequentemente alcançadas, o que diminui drasticamente a resiliência destes sistemas, especialmente os naturais que não tem a capacidade de se adaptarem em uma escala de tempo tão curta. Importante notar que após a metade do século, no cenário RCP 8.5, todos os índices de extremos aumentam significativamente (resultados do item anterior) e este aumento deverá ser recorrente e incremental ao longo dos anos. Isto explicita ainda mais a necessidade de ações, locais e globais, direcionadas para não chegarmos neste cenário, mas, sabendo que existe esta possibilidade, de que é urgente a

necessidade de estudos mais aprofundados para entender os impactos locais e, assim, estabelecer estratégias de adaptação antecipadas focadas na redução de riscos aos sistemas humanos e naturais.

Quanto aos resultados para o período de referência (1976-2005), chama a atenção os resultados para a média de temperatura máxima (TXmean), onde fica constatado que a porção Sul da Baixada (P2) já tem sido impactada por reiterados anos com anomalias positivas (anos mais quentes), tanto durante o período seco quanto durante o período chuvoso. Isto pode explicar parcialmente o fato da porção Sul ter sido considerada a mais quente da Baixada Santista (ver item 3.2.1) e, considerando os resultados das projeções do clima futuro para as próximas décadas, *é muito provável* que os impactos devido aos extremos de temperatura elevadas sejam maiores e mais frequentes nesta região.

Ainda sobre o período de referência, os resultados para porção central-serrana (P3) também chamam a atenção por ter sido detectada tendência de aumento das maiores temperaturas máximas (TXx) e média de temperatura máxima (TXmean) durante o período seco. Este fato, juntamente com outras evidências coletadas pelos resultados em boxplots (item 3.2.1), sugere que esta porção, embora menos quente que as demais, esteja sendo impactada por mudanças do clima já em curso e que, *muito provavelmente*, se acentuarão nas próximas décadas, independente do cenário de emissões. No entanto, o fato desta porção ser ainda bastante conservada, contribui para que os impactos aos sistemas humanos sejam abrandados, mas podendo colocar em risco boa parte dos ecossistemas após 2050, sobretudo se as trajetórias de emissões seguirem o RCP 8.5, o que poderia culminar em cenários de risco extremamente desafiadores ao final do século.

3.2.4. Análise de tendência (Mann-Kendall) – Temperatura Mínima

			Observado	RCP 4.5			RCP 8.5		
			1976-2005	2021-2050	2051-2080	2081-2100	2021-2050	2051-2080	2081-2100
TNx	seco	P2 (Sul)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	↑	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
TNn	seco	P2 (Sul)	→	→→→	→→→	→→→	→→	↑	→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→	→→→	→→	↑↑	→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→→	→→→	→→	↑	↑
	chuv.	P2 (Sul)	→	→→→	→→	→→→	→	↑↑	→→
		P3 (Serra)	→	→→	→→	→→→	→→	↑↑↑	→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→	→→	→→→	→→	↑↑↑	→→
CSDI	seco	P2 (Sul)	↓	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	↓	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
	chuv.	P2 (Sul)	↑	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P3 (Serra)	→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
		P4 (Central-Costa)	↑	→→	→→→	→→→	→→→	→→→	→→→
TNmean	seco	P2 (Sul)	↑	↑↑	→→	→→	↑↑	↑↑↑	↑↑
		P3 (Serra)	↑	↑	→→	→→→	↑↑	↑↑↑	↑
		P4 (Central-Costa)	→	↑	→→	→→→	↑↑	↑↑↑	↑
	chuv.	P2 (Sul)	→	↑↑	↑	→→→	↑↑↑	↑↑↑	↑
		P3 (Serra)	→	↑↑	↑	→→→	↑↑↑	↑↑↑	↑↑
		P4 (Central-Costa)	→	↑↑	↑↑	→→→	↑↑↑	↑↑↑	↑

Predominância de tendência negativa	% modelos indicando o mesmo resultado	Predominância de testes sem tendência	% modelos indicando o mesmo resultado	Predominância de tendência positiva	% modelos indicando o mesmo resultado	Testes de significância acima de 80% - alpha = 0.20. Obs: Para o período 1976-2005 foram utilizados dados observados de somente uma fonte (CHIRPS) e, portanto, não há variações quanto ao nível de concordância (quantidade de setas).
↓	35% - 60%	→	35% - 60%	↑	35% - 60%	
↓↓	61 - 80%	→→	61 - 80%	↑↑	61 - 80%	
↓↓↓	81% - 100%	→→→	81% - 100%	↑↑↑	81% - 100%	

Figura 21 - Resultado da análise de tendência por Mann-Kendall para os índices de temperatura mínima (TN). Testes feitos com alpha = 0.20 (80% de significância estatística).

Os resultados dos testes de Mann-Kendall para os índices de temperatura mínima apresentam muita similaridade com os de temperatura máxima. Basicamente, o resultado mais expressivo desta análise recaí sobre a média das temperaturas mínimas (TNmean). Desde o período de referência (1976-2005), já há evidências de que os anos tem se tornado incrementalmente mais quentes e que este tipo de anomalia é mais presente durante o período seco. Ademais, os resultados indicam que este comportamento (aumento incremental ao longo dos anos) continuará entre 2021-2050 [*alta confiabilidade*], e tende a ser ainda mais presente no cenário RCP 8.5, especialmente após 2080. Neste cenário, os resultados são bastante conclusivos em indicar que as noites se tornarão cada vez mais quentes (tanto pelo índice TNn quanto TNmean).

3.3.Eventos de chuva potencialmente deflagradores de inundações bruscas, enxurradas e alagamentos

Os resultados para a análise dos eventos potencialmente deflagradores de inundações bruscas, enxurradas e alagamentos estão apresentados nas Figura 22, Figura 23 e Figura 24. Esta análise utiliza os mesmos limiares utilizados para Santos, ou seja, quantificou-se os eventos que ultrapassaram os limiares e 50, 80 e 110 mm em 24h.

De uma forma geral, os resultados possuem correlação direta com algumas tendências já observadas nas análises dos índices de extremos de precipitação, especialmente o índice Rx1day (Figura 5) e R95pTot (Figura 10). Isto por que o índice Rx1day indica a magnitude dos maiores eventos em 24h ao longo do período analisado e, portanto, que possuem relação direta com os resultados a seguir, mais especificamente para os eventos com potencial para impacto generalizados (acima de 110mm/24h), indicados na Figura 24. Já o R95pTot indica o volume total dos eventos que ultrapassam o percentil 95%, onde se enquadram os eventos acima do limiar de 80mm e 110 mm em 24h (Figura 23 e Figura 24), corroborando diretamente para a validação dos resultados e reforçando a robustez da metodologia aplicada.

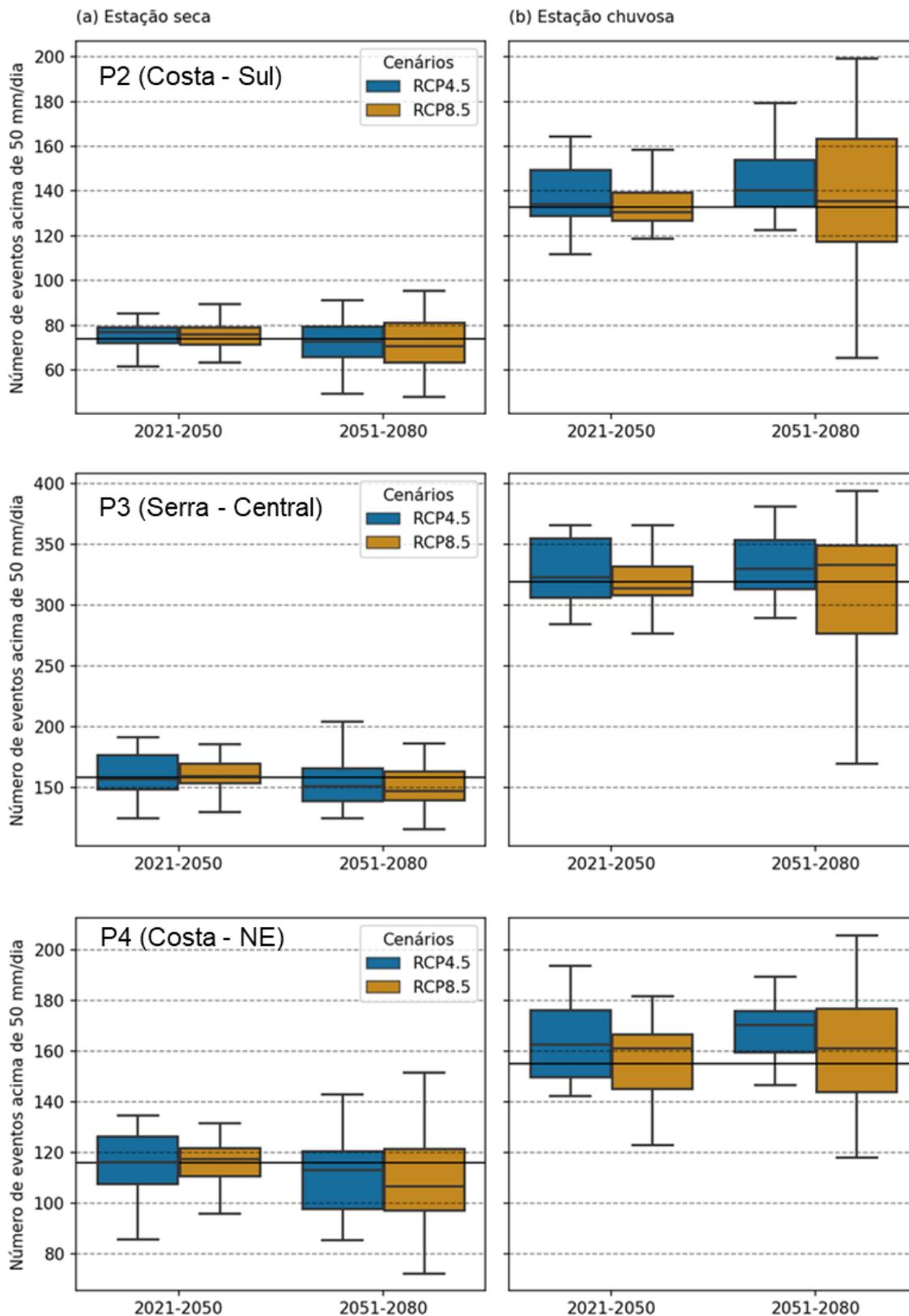


Figura 22 – Boxplots para o total de eventos que ultrapassam o limiar de 50 mm em 24h, potencialmente deflagradores de inundações bruscas, enxurradas e alagamentos pontuais para os pontos P2, P3 e P4. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

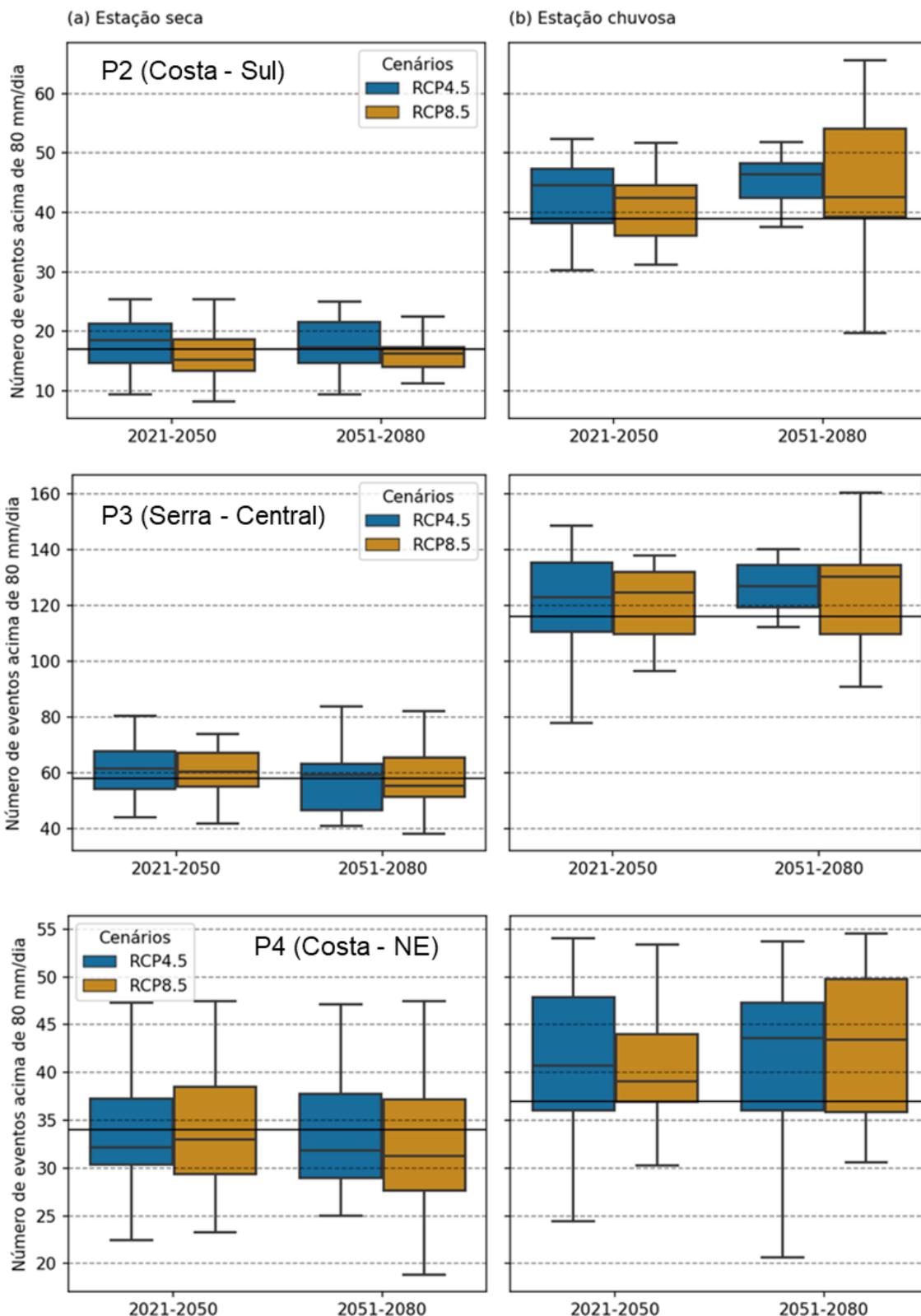


Figura 23 - Boxplots para o total de eventos que ultrapassam o limiar de 80 mm em 24h, potencialmente deflagradores de inundações bruscas, enxurradas e alagamentos esparsos de impacto moderado, para os pontos P2, P3 e P4. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

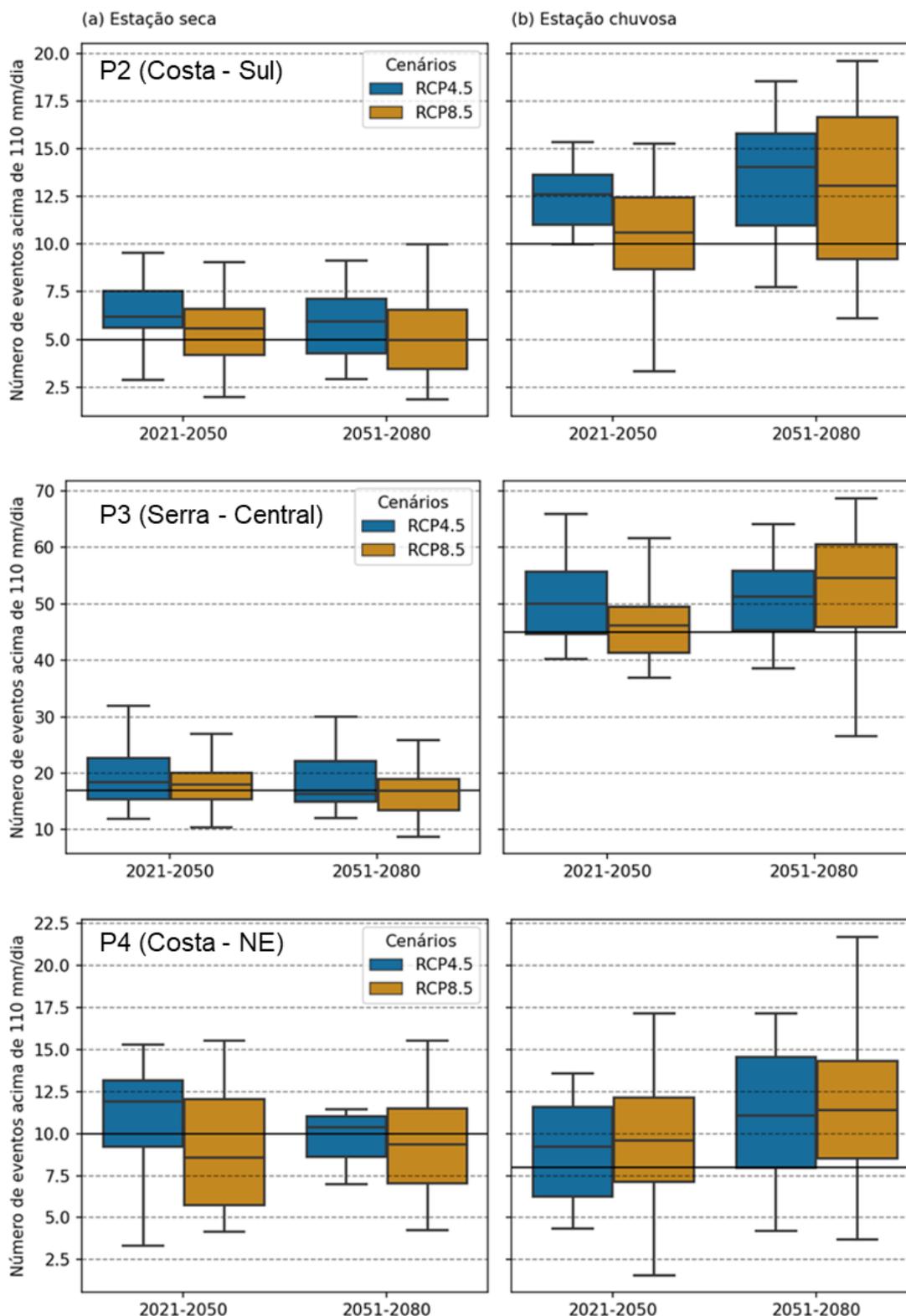


Figura 24 – Boxplots para o total de eventos que ultrapassam o limiar de 110 mm em 24h, potencialmente deflagradores de inundações bruscas, enxurradas e alagamentos generalizados e de alto impacto, para os pontos P2, P3 e P4. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

Levando em consideração as mudanças relativas, pode-se dizer que os resultados para os três pontos analisados estão em concordância com aqueles apresentados no PACS (PACS – Item 3.2), conforme os padrões que estão destacados a seguir:

- não há mudanças significativas nos padrões relacionados aos eventos que ultrapassam o limiar de 50 mm em 24h (Figura 22), de modo que os resultados sugerem uma leve diminuição na quantidade de eventos durante o período seco [*baixa concordância, evidência limitada*], e um pequeno aumento durante período chuvoso, especialmente após 2050 [*baixa concordância, evidência discreta*].
- os resultados indicam o aumento moderado (em torno de 10%-15%) para os eventos acima de 80 mm em 24h (Figura 23), especialmente no período chuvoso, o que sugere o aumento da frequência destes eventos durante o verão [*alta confiabilidade*]. Por outro lado, durante a estação seca não há resultados expressivos sobre alterações nos padrões, inclusive sugerindo uma discreta diminuição [*baixa confiabilidade*];
- os resultados sugerem que os eventos mais severos, que ultrapassam o limiar de 110 mm em 24h (Figura 24), se tornarão mais frequentes nos períodos futuros, em toda Baixada Santista [*muito alta confiabilidade*]. Este aumento varia entre 10% e 30%, dependendo da região (ponto) analisado e do horizonte temporal. Durante os meses mais secos não há um padrão bem definido e são esperadas pequenas alterações [*média confiabilidade*].

Em termos absolutos, os resultados sugerem algumas variações entre os três pontos, mas que estão em concordância com outras discussões apresentadas anteriormente neste relatório. A porção mais ao Sul da Baixada (ponto P2) recebe menos eventos severos que as demais, sendo que a porção central-serrana (ponto P3) é onde os eventos mais ocorrem. Dos três tipos de eventos analisados, o que mais chama atenção são os que ultrapassam 100 mm em 24h, na porção central-serrana (P3), especialmente no período chuvoso. Foi constatado que no período de referência (1976-2005), estes eventos aconteciam, aproximadamente, 15 vezes por década (ou 1 a cada 4 meses de estação chuvosa), ao passo que após 2050 são esperados 18 eventos por década (ou 1 a cada 3 meses e 1 semana durante a

estação chuvosa). Pode parecer que 3 eventos a mais por década não é muito, mas é preciso ressaltar que esta sinalização de aumento de frequência tende a vir acompanhada do aumento de magnitude (sinalizada pela análise do índice Rx1day, Figura 5), o que sugere que os eventos podem atingir uma severidade sem precedentes e, potencialmente, impactos muito maiores [*média confiabilidade*]. Além disso, o aumento mencionado não é temporalmente bem distribuído, de modo que a na grande maioria dos anos a tendência é ter-se eventos com frequência dentro da média e, em anos com anomalias climáticas (como o *El Niño*), esta frequência se tornará muito maior, puxando a média do período para cima [*média confiabilidade*].

Outra característica que chama atenção nos resultados é o fato da porção ao sul (P4) ter ligeiramente mais eventos que ultrapassam o limiar de 110 mm durante o período seco: um total de 10 durante o período de referência contra 8 no período chuvoso. No entanto, a quantidade de eventos durante o período seco está dentro do esperado, mas a baixa quantidade de eventos durante o período chuvoso pode estar ligada ao fato de ser o ponto que menos é influenciado pela orografia, sendo este o principal fator influenciador dos eventos de maior severidade, sobretudo durante o verão. Esta constatação não é atual, pois há décadas diversos autores têm destacado que o relevo atua como importante fator de intensificação orográfica (MONTEIRO, 1973; CONTI, 1975; NIMER, 1989; NUNES, 1990; SANT'ANNA NETO, 1990; BLANCO, 1999) que, aliado à posição geográfica de zona de transição entre sistemas atmosféricos tropicais e subtropicais, resulta em uma dinâmica de altos montantes pluviais, como os observados na região.

Esta informação é muito importante para entendermos que, naturalmente, um município da Baixada Santista será mais exposto à eventos extremos de precipitação quanto maior for sua proximidade com as grandes escarpas da Serra do Mar, sobretudo quando estas formarem paredões além de somente uma orientação, como o arcabouço formado ao redor de São Vicente, Santos e Guarujá, que intensificariam o efeito orográfico em diferentes condições, comparada com as demais localidades estão próximas à paredões da Serra do Mar somente em uma orientação (normalmente de sudoeste-nordeste, paralela à costa). Adicionalmente, os resultados (incluindo aqueles apresentados no PACS – Item 3.2) sugerem que estas mesmas localidades serão ainda mais expostas à eventos extremos, dado que o efeito

orográfico poderá ser intensificado tanto em frequência quanto magnitude. A frequência tende a aumentar por conta do provável aumento de sistemas frontais e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que passam pela região [*média confiabilidade*], e a magnitude estaria ligada com as condições atmosféricas que podem ser estabelecidas num cenário de aumento da temperatura média da atmosfera e que serve de “combustível” para eventos extremos, ou seja, uma atmosfera mais dinâmica, com maior umidade disponível para precipitar (lei de *Clausius-Clapeyron*) favorecendo processos convectivos, além de poderem estar associados à ventos mais intensos, que potencializariam o efeito orográfico.

3.4. Eventos potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra

Os resultados para a análise de eventos de chuva potencialmente deflagradoras de deslizamentos de terra segue a mesma proposta feita para Santos no PACS (PACS – Item 3.2). Isto é, quantificando eventos que ultrapassam três limiares diferentes – 80, 127 e 220 mm – mas agora para uma janela temporal de 72 horas, que estão relacionados com diferentes cenários de riscos (ocorrência de deslizamentos pontuais, esparsos e generalizados). Houve apenas a necessidade de se ajustar o limiar do ponto P4 (em Bertiooga), pois os dados observados provenientes do CHIRPS não indicaram nenhum evento acima deste limiar durante o período de referência (1976-20050. Desta forma, para este ponto, a análise foi ajustada para o limiar de 216 mm em 72h, que foi o evento de maior severidade encontrado no período de referência.

De modo análogo aos eventos discutidos no item 3.3., os resultados apresentados nas Figura 25, Figura 26 e Figura 27 reforçam as tendências e padrões já evidenciados na análise através dos índices de extremos de precipitação, especialmente o resultados para o índice Rx5day (Figura 6) e também o R95pTOT (Figura 10). Tanto os padrões encontrados entre os três pontos quanto os contrastes observados entre as estações chuvosa e seca, são praticamente os mesmos, fato este que valida a metodologia aplicada e reforça os principais aspectos quanto a intensificação dos eventos mais severos.

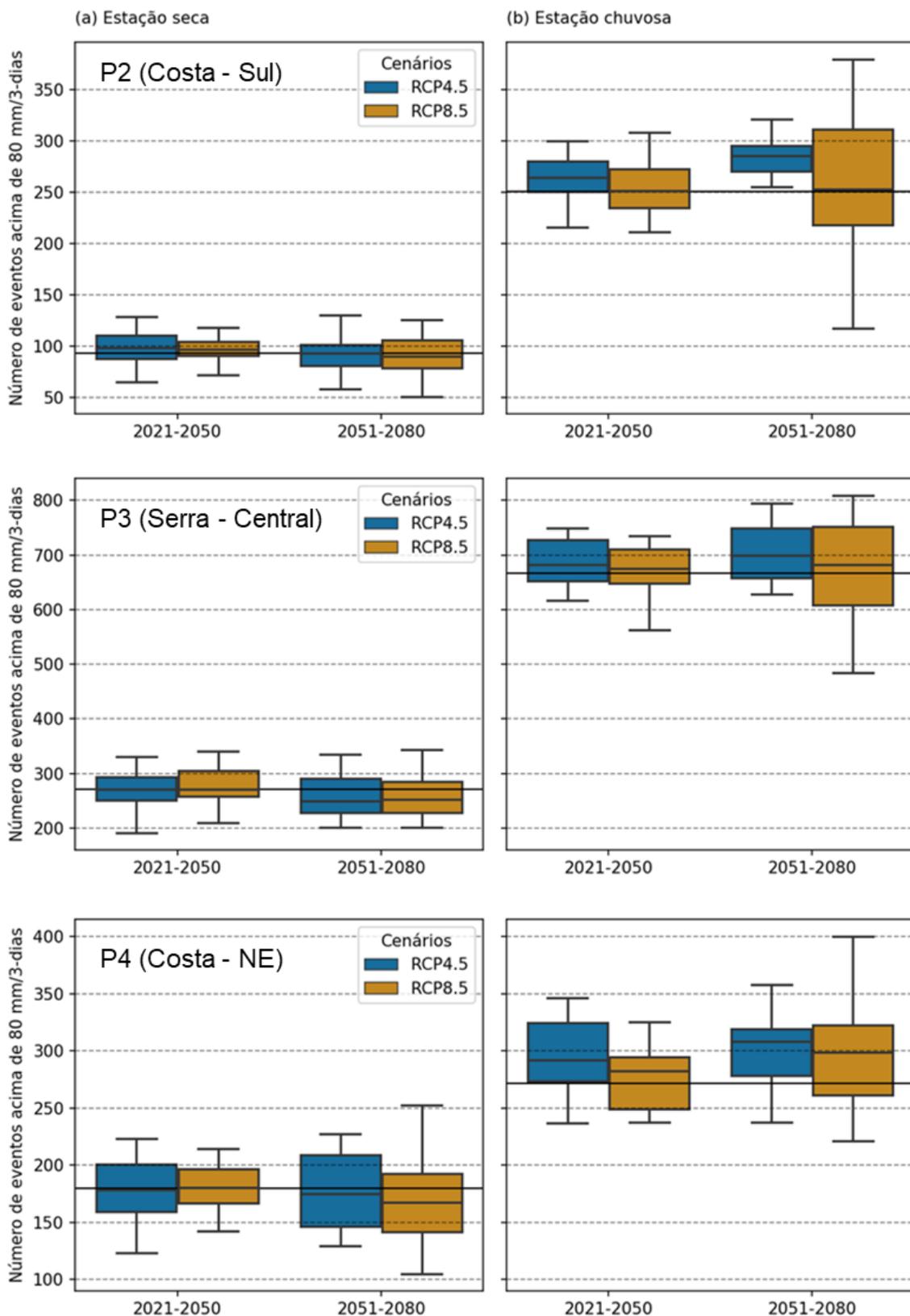


Figura 25 - Boxplots para o total de eventos que ultrapassam o limiar de 80 mm em 72h, potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra pontuais, para os pontos P2, P3 e P4. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

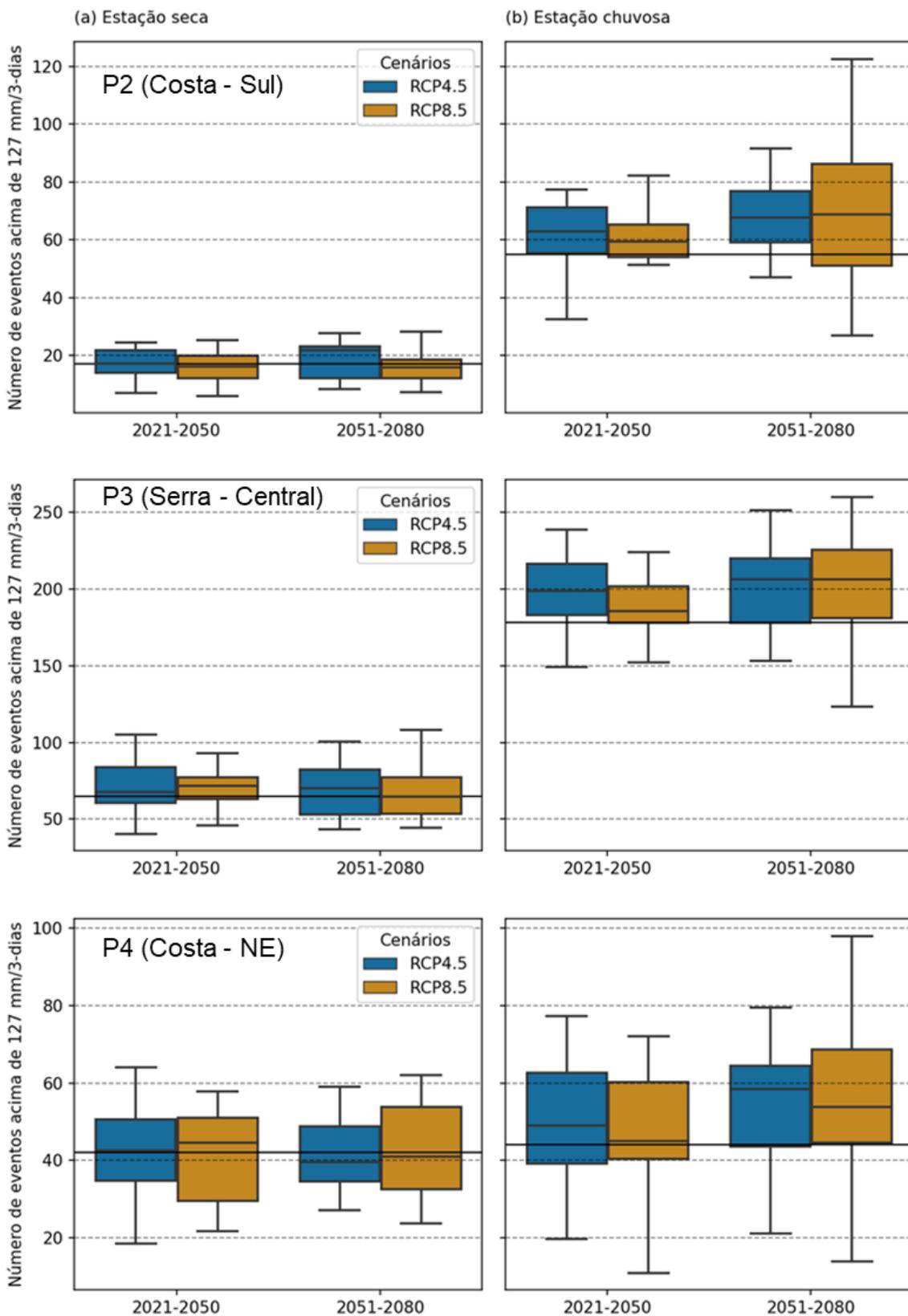


Figura 26 - Boxplots para o total de eventos que ultrapassam o limiar de 127 mm em 72h, potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra esparsos de impacto moderado, para os pontos P2, P3 e P4. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

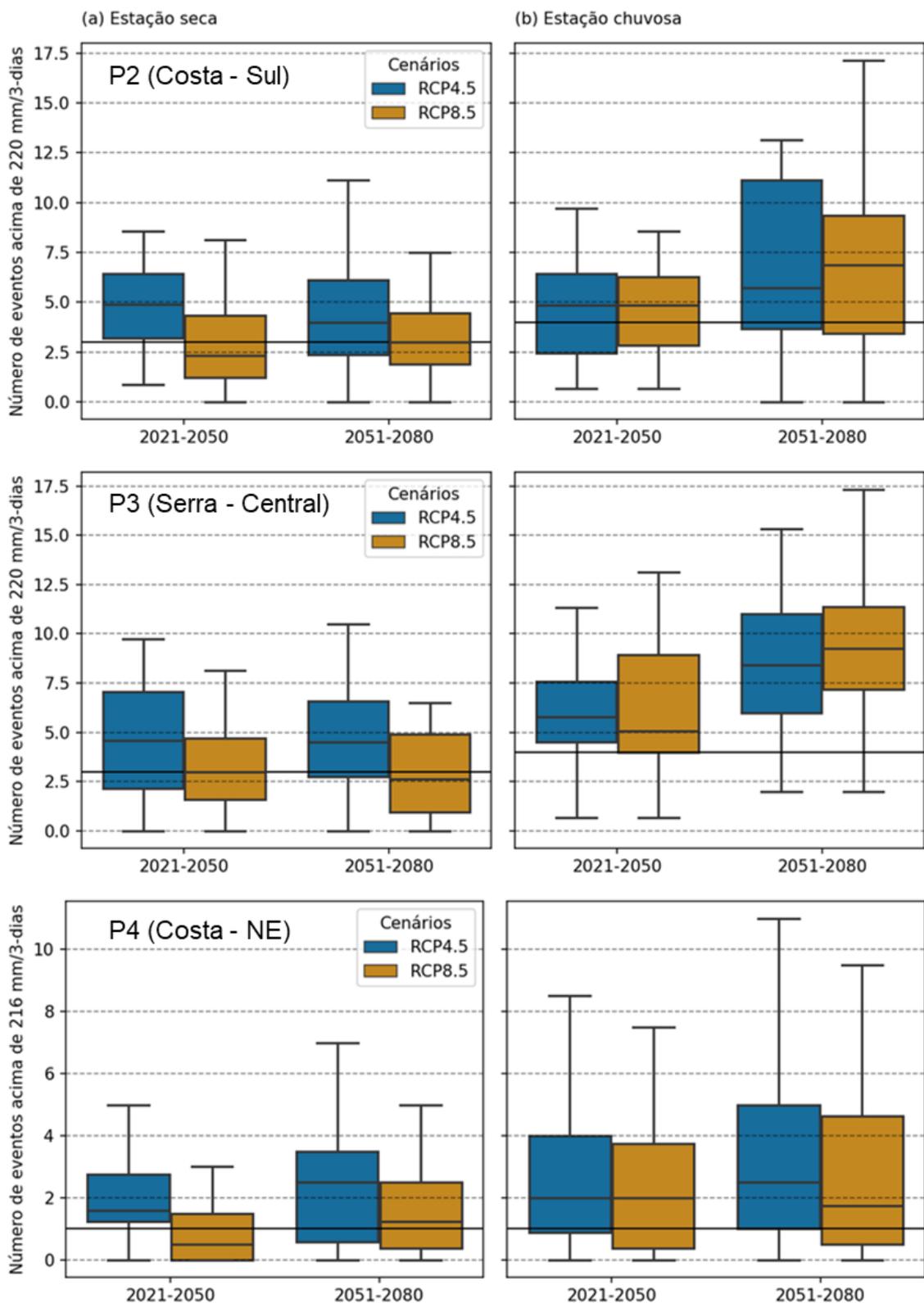


Figura 27 - Boxplots para o total de eventos que ultrapassam o limiar de 220 em 72h para os pontos P2 e P3, e de 216mm em 72h para o ponto P4, considerados eventos potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra generalizados com alto impacto. Do lado esquerdo, os resultados para o período seco e, do lado direito, para o período chuvoso. A linha contínua nos gráficos representa o valor encontrado no período de referência (1976-2005), a partir de dados observados.

Novamente, levando em consideração as mudanças relativas, pode-se dizer que os resultados para os três pontos analisados estão em concordância com aqueles apresentados no PACS (PACS – Item 3.2), conforme os padrões que estão destacados a seguir:

- há *evidências limitadas e baixa concordância* para inferir qualquer mudança nos padrões da frequência dos eventos que ultrapassam o limiar de 80 mm em 72h (Figura 25). Os resultados sugerem uma pequena diminuição de eventos durante o período seco e um discreto aumento durante período chuvoso, especialmente após 2050 [*baixa confiabilidade*];
- os resultados sugerem o aumento moderado (em torno de 10%) para os eventos acima de 127 mm em 72h (Figura 26), especialmente no período chuvoso [*alta confiabilidade*]. Para a estação seca não há resultados expressivos, sendo que a tendência é de haver uma discreta diminuição [*baixa confiabilidade*] com o passar das décadas;
- os eventos mais severos - que ultrapassam o limiar de 220 mm em 72h - se tornarão mais frequentes nas próximas décadas [*alta confiabilidade*]. Este aumento varia entre 100% e 300% dependendo da região analisado e do horizonte temporal (Figura 27). Durante os meses mais secos não há um padrão bem definido, pois pelo cenário RCP 4.5 espera-se um aumento médio de 100%, sendo que pelo cenário RCP 8.5 a tendência é de haver decréscimo. Já para o período chuvoso, há tendência é de aumento [*alta confiabilidade*], que tende a ser maior para o cenário RCP 8.5, especialmente após 2050.

Em termos absolutos, os resultados sugerem algumas variações entre os três pontos, mas que estão em concordância com outras discussões apresentadas anteriormente neste relatório, especialmente a análise dos eventos potencialmente deflagradores de inundações bruscas, enxurradas e alagamentos. Assim, de uma forma geral, a região que mais recebe eventos severos é a porção central serrana (P3), seguida pela região centro-norte costeira (P4), e por último a porção sul (P2). No entanto, há uma exceção para este padrão, que foi observada na análise dos eventos que ultrapassam o limiar de 220 mm em 72h (Figura 27). Neste caso

especificamente, a porção centro-norte costeira (P4) foi a que teve menos eventos no período observado (1976-2005) e também é aquela que apresenta menores valores no futuro, muito embora a mudança relativa neste ponto (P4) seja de aproximadamente 100% a partir de 2050, enquanto para o ponto P2 é de 50%.

Dentre todas as análises para eventos de chuvas potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra, a que mais chama atenção é a respeito da porção central serrana (P3, boxplots centrais da Figura 27). Nesta região, é esperado um aumento considerável na frequência dos eventos deflagradores de deslizamentos generalizados – acima de 220 mm em 72h – [*alta confiabilidade*] especialmente a partir da segunda metade do século e durante os meses chuvosos [*confiabilidade muito alta*]. Os resultados sugerem que a partir de 2050 a frequência dos grandes eventos pluviométricos *provavelmente* será aproximadamente de um a 4 anos, enquanto no período de referência essa frequência era a cada 10 anos. Além disso, cabe ressaltar que os resultados também indicam a possibilidade de um cenário ainda mais crítico, porém *improvável*, onde a frequência de eventos desta magnitude seria de 2 eventos a cada 5 anos (Figura 27b, gráficos centrais, topo do boxplot do RCP 8.5, 2051-2080, indicando que 25% dos modelos apontam para a frequência 12 eventos em 30 anos).

4. Análise e discussões para cada Território da Baixada

4.1. Porção Sul (setor “S”, representada pelo ponto P2)

A porção Sul da Baixada Santista (S) considerada neste estudo é caracterizada pelos municípios de Peruíbe, Mongaguá e Itanhaém (com exceção de sua parte alta, como a região do Porto Velho), e é representada pelas análises do ponto P2. Foi verificado que esta é a região mais quente da Baixada dentre as três analisadas durante o período de referência, e que também será a região com maiores valores absolutos de temperatura nos períodos futuros [*alta confiabilidade*], embora o aumento relativo (em porcentagem, comparando com a série histórica entre 1976-2005) seja praticamente o mesmo que as demais regiões e varie conforme proposto pelos cenários RCPs.

Há evidências significativas a respeito do aumento da frequência e duração dos “períodos quentes” durante o período seco (meses entre abril e setembro), principalmente no inverno, assim como da duração dos dias consecutivos sem chuva, que poderão alcançar uma média de 35 dias ao final do século, contra uma média de 29 observada no período de referência (1976-2005). Estes dois fatores combinados (estiagem com altas temperaturas) podem acarretar diversos tipos de impactos para a saúde humana, nos recursos hídricos e nos ecossistemas em geral, especialmente se estas anomalias ocorrerem ao mesmo tempo e durante os períodos de transição (começo do outono e final da primavera), onde as temperaturas tendem a ser mais elevadas que o inverno. Sob estas condições, é esperado que ocorra um aumento de veranicos e estiagens, com maior severidade que o normal, já nas próximas décadas [*alta confiabilidade*], mas é pouco provável que sejam estabelecidos cenários extremamente críticos até 2050, pois a média das mudanças relativas é de cerca de +10% na duração dos períodos de estiagem, sendo que o aumento considerável de temperatura deve acontecer de forma mais isolada durante o verão (que é mais chuvoso). No entanto, a partir de 2050, é *muito provável* que essa conjunção de anomalias climáticas passe a acontecer mais frequentemente e com maior severidade nos períodos de transição mencionados [*média confiabilidade*], o que demandaria de uma série de ações preparatórias para lidar com os impactos potenciais, além de medidas adaptativas que fossem focadas em minimizar os riscos associados de forma antecipada, especialmente no que se refere à saúde hídrica da Baixa Santista.

São esperados mais dias com extremos de temperatura, já nas próximas décadas (2021-2050) [*alta confiabilidade*], onde a média das temperaturas máximas ao longo da estação pode ultrapassar os 30 ° C em alguns anos, juntamente com dias de calor extremo ultrapassando máximas de 38 ° C. Esta situação *muito provavelmente* se intensificará ainda mais depois de 2050 se as trajetórias de emissões forem direção ao que é considerado no cenário RCP 8.5, mas *provavelmente* se estabilizando caso estas se mantenham dentro do que é esperado no cenário RCP 4.5.

De todos os resultados, o mais preocupante se refere ao índice WSDI: duração dos “períodos quentes”, que reforça o que foi mencionado nos parágrafos anteriores. Este índice quando aplicado para o “período chuvoso” indica, de maneira aproximada, a quantidade de dias em situações que caracterizam “ondas de calor” que, por definição, são períodos de temperatura bem acima do normal (maior que o percentil 90) e que essa situação perdure por pelo menos 6 dias. No período de referência (1976-2005), a quantidade média de dias em que estas condições foram alcançadas foi cerca de 2 dias a cada período chuvoso. Porém, como a definição de “ondas de calor” prevê a duração de pelo menos 6 dias, isto significa que, na prática, ocorreu uma “onda de calor” de 6 dias a cada 3 anos (que dá uma média de 2 dias por ano). Ou seja, nos 30 anos do período de referência, ocorreram 10 ondas de calor com duração de 6 dias cada, aproximadamente. Porém, os resultados das projeções futuras indicam que é muito provável que esta frequência seja aumentada 10 vezes entre 2051-2080, chegando a uma média de 20 dias em situação de ondas de calor durante cada estação chuvosa, o que significa uma média de 3 ondas de calor de duração de 6-7 dias cada. Além disso, as projeções indicam que ao final do século (2081-2100) é *possível* que essa quantidade seja ainda maior, chegando a 40 dias no cenário RCP 8.5, o que seria, aproximadamente, uma onda de calor por mês durante a estação chuvosa, durando 6 ou 7 dias cada. Isso significa que as ondas de calor se tornarão muito mais frequentes e intensas [*alta confiabilidade*], podendo causar múltiplos impactos e, até mesmo, o colapso de alguns sistemas, humanos (setor da Saúde, por exemplo, como uma sobrecarga de enfermidades causadas pelo calor extenuante) ou ecológicos (desequilíbrio ecossistêmico por conta do colapso de mecanismos biológicos de algumas espécies). Portanto, este cenário requer maior aprofundamento para que os impactos associados sejam identificados com maior

clareza para, posteriormente, definir medidas de adaptação que sejam implementadas antecipadamente.

No que se refere aos eventos extremos de chuva, há evidências limitadas sobre o aumento de suas frequências e magnitudes. O ponto principal é o aumento significativo da magnitude dos eventos mais severos que acontecem em períodos iguais ou inferiores a 24h [*alta confiabilidade*]. Além de serem potencialmente deflagradores de inundações bruscas, o aumento da magnitude de eventos intensos que acontecem em poucas horas aumenta também o potencial de erosividade do solo, sobretudo aqueles que não estiverem cobertos por vegetação natural, podendo, entre outros impactos, levar mais sedimentos aos corpos d'água e retroalimentar as condições que favorecem a ocorrência de inundações. Também chama a atenção o encurtamento do período de retorno de eventos de alto potencial de impacto que acontecem em 72 horas (chuvas acima de 220 mm), que *muito provavelmente* será de um evento a cada 3 anos, ao invés de a cada 5-6 anos no período de referência.

Inserindo estas alegações sob o contexto socioambiental da região, os impactos mais prováveis serão relacionados às inundações bruscas, principalmente nas localidades próximas aos corpos d'água que cortam as áreas urbanas e periurbanas destes municípios. Os altos índices pluviométricos observados nas partes mais altas da Serra do Mar e o cenário de intensificação das chuvas pode fazer com que eventos de grande magnitude se manifestem mais frequentemente nas áreas à montante, se propagando rapidamente para as áreas mais baixas com alto potencial de impacto. Além disso, as enxurradas também merecem atenção, haja vista que há muitas frentes de expansão urbana em áreas de declive e próximas às grandes encostas, o que demanda um sistema de drenagem eficiente e o devido planejamento para que situações adversas dessa natureza não aumentem nas próximas décadas.

Atualmente, os deslizamentos de terra não são considerados uma tipologia de “ameaça” frequente nesta porção da Baixada, seja pela menor quantidade de elementos expostos à este tipo de processo (poucas áreas de risco em encostas suscetíveis), ou pelos menores índices pluviométricos (quando comparado com as demais porções). No entanto, é nítido que o processo de expansão urbana dos municípios desta porção está avançando em direção às encostas da Serra do Mar, o que pode aumentar significativamente a exposição da população e outras atividades.

Sob essa perspectiva, os deslizamentos de terra podem se tornar mais frequentes e, inclusive, estabelecer cenários de riscos preocupantes – porém de forma pontual/localizada – considerando que estes municípios não estão acostumados a lidar com desastres desta natureza atualmente, o que significa uma menor capacidade de enfrentamento. Por esta razão, é importante que estes potenciais cenários sejam estudados mais profundamente considerando as especificidades locais, e que desde já sejam observados com cautela pelo poder público, pois ainda há a possibilidade de tratar este problema sem a necessidade de ações mais intervencionistas, através, por exemplo, de medidas de adaptação não-estruturais de “não arrependimento” (termo usando em inglês, “*no regrets*”), sobretudo as que se encaixam no âmbito de AbE (adaptação baseada em ecossistema), educação ambiental, normativas e leis de uso e ocupação, além da capacitação da Defesa Civil a respeito desta temática e apoio às entidades e programas voltados ao monitoramento e alerta de desastres naturais.

4.2. Porção Central-Serrana (setor “C1”, representada pelo ponto P3)

Este compartimento da Baixada Santista é caracterizado por toda parte serrana e de altitudes elevadas, que vai desde a parte alta (serrana) de Mongaguá, Praia Grande e São Vicente, passando por Cubatão, metade da parte continental de Santos até divisa entre Bertioga e São Sebastião, representado pelas análises do ponto P3, que está localizado em Cubatão (ver Figura 3). Sua principal característica refere-se aos elevados índices pluviométricos, seja em valores totais, índices de eventos extremos, ou quantidade de eventos potencialmente deflagradores de processos geo-hidrológicos. Conforme explicado nas discussões dos resultados, esta é uma característica natural do clima da região, que tem o efeito orográfico como um dos principais responsáveis pelos elevados índices pluviométricos constatados historicamente. Para reforçar estas constatações, estas características foram verificadas durante o período de referência (1976-2005, a partir de dados observados), sendo que as projeções do clima futuro indicam que todos estes padrões se intensificarão ainda mais nas próximas décadas [alta confiabilidade].

Muitos são os resultados que reforçam a intensificação dos eventos de chuva nesta porção da Baixada, sobretudo os eventos mais extremos. Dentre os três pontos

analisados (P2, P3 e P4), de modo geral, este é o que apresenta maior concordância e convergência entre os modelos ao indicar esta tendência, o que significa que as incertezas associadas são menores que os demais casos. Por ser uma região que naturalmente recebe eventos mais volumosos e intensos, e com mais frequência que os demais, todo e qualquer aumento evidenciado pelas projeções futuras merecem atenção especial, pois diversos impactos já ocorrem historicamente e tendem, sob esta ótica, a se intensificarem ainda mais, o que pode levar à cenários de risco críticos sem precedentes.

Nos itens anteriores os resultados foram apresentados e discutidos de forma separada, cabendo aqui ressaltar as características mais importantes para o território como um todo. Neste sentido, destaca-se o fato de que as chuvas mais brandas (menos que 30mm/h, 50mm/24h e 80mm/72h) devem ser um pouco menos frequentes que o normal [baixa concordância, evidência discreta], ao passo que os eventos mais extremos e raros (maiores que 80mm/h, 127mm/24h e 220mm/72h) tendem a ocorrer em maior quantidade e intensidade já nas próximas décadas (até 2050) [alta confiabilidade]. Importante notar que, normalmente, é constatado e esperado que esta tendência de intensificação dos eventos de chuva seja maior e mais frequente nos cenários RCP que consideram um maior aquecimento da temperatura média global, como o caso do cenário RCP 8.5. No entanto, para esta porção da Baixada Santista, diversos resultados indicam que esta tendência ocorrerá independentemente do cenário analisado, até mesmo sugerindo, por diversas vezes, resultados mais críticos (maior intensificação) para cenário RCP 4.5. Esta constatação evidencia a necessidade de um planejamento antecipado à estas mudanças do clima, principalmente quando é levado em consideração que os esforços globais em direção ao Acordo de Paris não estão sendo suficientes para frear as emissões de gases de efeito estufa até 2030 e, muito provavelmente, nossas trajetórias de emissões estariam entre o cenário RCP 4.5 e 8.5. Ou seja, é muito provável o aumento da frequência e severidade dos eventos extremos de precipitação se concretize já nas próximas décadas [média confiabilidade], se agravando consideravelmente na segunda metade do século [alta confiabilidade].

Dentre os riscos associados à esta tendência, destaca-se o aumento considerável de deslizamentos de terra, especialmente em eventos com ocorrências

generalizadas e com alto potencial de impacto [*confiabilidade muito alta*], assim como inundações bruscas, enxurradas e alagamentos [*alta confiabilidade*]. Ainda que não tenha sido avaliado diretamente neste estudo, também é *provável* que haja a intensificação de processos erosivos, tendo em vista que são esperados mais eventos de chuva forte e rápida nesta porção da Baixada, que é composta por relevos acidentados com encostas íngremes, uma combinação que favorece o aumento da erosividade do solo, em teoria, de forma exponencial.

Todo este cenário evidencia ainda mais a importância da conservação da Mata Atlântica em toda baixada, especialmente na porção serrana e de maiores altitudes, tendo em vista que nesta porção são esperados os maiores acumulados e eventos mais extremos de precipitação, tornando-a mais exposta aos processos erosivos e de movimentos de massa, mas sabendo também que diversos serviços ecossistêmicos prestados pela floresta colaboram para que estes impactos sejam amenizados. Porém, cabe ressaltar que somente a conservação das áreas naturais e o correto uso e manejo do solo não serão suficientes para minimizar os impactos associados a estes eventos de chuva. Se por um lado as regiões de encostas naturais estiverem conservadas, do outro haverá um forte processo de urbanização que desde o tempo presente já avançou sob áreas de relevo e antropizou encostas, além de já terem alterado a topografia natural em práticas de taludes de corte-e-aterro, o que estabelece cenários de risco já instalados em muitas localidades na interface entre a planície costeira e porção serrana. Isto significa dizer que, de um modo ou de outro, a região sofrerá mais impactos relacionados a estes tipos de *ameaças*, mesmo se as condições atuais forem mantidas [*alta confiabilidade*]. Portanto, se faz urgente a avaliação mais aprofundada de toda a cadeia de impacto associada, considerando os diferentes cenários climáticos apresentados neste estudo, em nível local, e trazendo todas as especificidades que esta análise demanda, com vistas a encontrar as melhores janelas de oportunidade para que sejam traçadas medidas de adaptação efetivas, para que as vulnerabilidades sejam identificadas e reduzidas, menos pessoas e elementos estejam expostos a estes riscos, e que seja possível aumentar suas capacidades adaptativas e de enfrentamento.

No que se refere aos resultados da temperatura, não há grandes discrepâncias entre o que foi observado nas demais regiões. Há um padrão evidente de aumento

das temperaturas médias, mínimas e máximas, de forma incremental, seguindo de forma aproximada o que é esperado pelos cenários RCP 4.5 e 8.5: aumento de 1.5 °C até 2050 [*alta confiabilidade*], sendo que a partir desta data e até o final do século (2051-2100) é *provável* que as temperaturas subam mais 0.5 ° C no cenário RCP 4.5, enquanto para o cenário RCP 8.5 é *muito provável* que suba mais 1 ° C, mas sendo *possível* que este aumento alcance 2 ° C.

Importante ressaltar que os resultados, *per se*, não refletem os possíveis *feedbacks* positivos (retroalimentação) que podem ocorrer sob todo o complexo contexto socioambiental que esta porção da Baixada possui (mosaicos urbanos e industriais, portos, áreas de conservação, atividades costeiras, etc.). Estes *feedbacks* podem ser entendidos como processos físicos que, neste caso, aconteceriam na escala local, e que favorecem para um aumento ainda maior das temperaturas, estabelecendo microclimas mais quentes e que intensificam os impactos associados, sobretudo os de calor extremo. Um exemplo pode ser dado ao considerar alguns possíveis cenários que os dados de precipitação sugerem, somados aos de temperatura: por exemplo, como há a possibilidade significativa das estiagens aumentarem nos períodos de transição (começo do outono e final da primavera), estes podem ser acompanhados de dias com temperaturas bem mais elevadas que o normal, o que aumentaria a evapotranspiração da mata nativa das encostas da Serra Do Mar e diminuindo a disponibilidade hídrica. Se períodos com este cenário forem muito longos, é *provável* que a vegetação nativa sinta estes efeitos e tenha-se diversos desequilíbrios ecológicos, principalmente nos menores fragmentos de Mata Atlântica e nas regiões de borda das unidades de conservação. Quanto mais fragmentada a vegetação, maiores e mais frequentes serão os impactos aos ecossistemas florestais e, conseqüentemente, nas áreas adjacentes, podendo levar a substituição de espécies predominantes e que se adaptam melhor a climas menos úmidos, bem como causar stress hídrico nas bacias desta porção. Todos estes impactos poderiam acarretar, no longo prazo, em uma cobertura vegetal menos densa e menor, diminuindo boa parte do abrandamento da temperatura exercido pela vegetação natural da Mata Atlântica e, com isso, retroalimentando todo o mecanismo de aumento de temperatura. Embora este seja apenas um exemplo simples de alguns impactos, o objetivo aqui é destacar que os impactos na fauna e flora serão múltiplos, sobretudo em ecossistemas mais frágeis (como, por exemplo, os manguezais), e que

estes poderiam desencadear outros impactos difíceis de serem estimados em uma análise setorialmente não específica, como a proposta deste estudo.

Além disso, considerando que boa parte desta região é altamente industrializada (principalmente Cubatão), é *provável* que alguns processos industriais venham a ser comprometidos com o aumento significativo da temperatura e, *possivelmente*, de redução de disponibilidade hídrica, pois algumas condições operacionais limites podem ser mais facilmente alcançadas nestes cenários, além do aumento da probabilidade de ter-se incêndios florestais em um ambiente mais seco e com períodos maiores de estiagem.

4.3. Porção Central-costeira (setor “C2”, ponto P4)

Este compartimento da Baixada Santista é caracterizado por toda parte central e nordeste de planície costeira, que vai de Praia Grande até Bertioga e é representada pelo ponto P4 neste estudo. Os dados observados de precipitação (1976-2005) permitem constatar que esta porção possui características intermediárias em relação aos dois outros compartimentos discutidos anteriormente. Em comparação à porção sul (“S”, representada pelo ponto P4), esta região da Baixada possui maior proximidade das encostas da Serra do Mar, mas, por outro lado, praticamente todo seu território encontra-se em baixas altitudes, diferenciando-se da porção serrana (“C1”, representada pelo ponto P3). No geral, isto faz com que os índices pluviométricos (total sazonal e índices de extremos) sejam superiores ao da porção sul (provavelmente pela região ser mais influenciada pelo efeito orográfico), mas que não chegam a ser tão elevados quanto aqueles observados na porção serrana.

Em relação às projeções do clima futuro, os resultados sugerem que esta porção terá incrementos significativos (na mesma proporção que a região serrana) no que se refere às chuvas mais intensas [*alta confiabilidade*]. Além disso, esta característica será mais pronunciada durante a estação chuvosa [*concordância significativa, evidência robusta*], sendo que os resultados para a estação seca são inconclusivos, embora prevaleça também a tendência de um pequeno aumento [*baixa concordância, evidência limitada*]. Em complementação a este sinal climático, os resultados indicam que o aumento na intensidade/severidade dos eventos de

precipitação *muito provavelmente* será maior na segunda metade do século e no cenário RCP 8.5, que sugere um aumento médio de 12%, ante 6% do cenário 4.5.

No que se refere ao aumento da frequência dos eventos mais extremos de chuva, os resultados mais significativos também se referem aos meses chuvosos. É *muito provável* que os eventos mais extremos e raros (acima de 80mm em 24h e acima de 127mm em 72h) ocorram numa frequência bem maior do que o normal, variando entre +20% e +50%, aumento este que já é esperado até 2050, e aumentando um pouco mais nas décadas seguintes. Mesmo com este considerável aumento relativo, em termos absolutos esta porção da Baixada Santista é atualmente a que menos recebe - e que menos receberá - eventos desta severidade. Para fins comparativos, os dados observados indicam um total de 8 eventos acima de 110mm/24h durante os meses chuvosos do período de 1976-2005, de modo que é *provável* esta quantidade aumentará para 10-12 eventos entre 2021-2050 ou 2051-2080. Já a porção central serrana (P3) apresenta um quantitativo de 45 eventos no período observado, e que deve aumentar para 50-55 nos horizontes futuros (menor aumento relativo, porém muito mais eventos no total). Importante ressaltar que, devido à proximidade das porções costeiras e serranas, alguns localidades tendem a ser mais impactadas pelos eventos extremos seguindo o que foi apresentado para a porção central-serrana (ver limitações apontadas no Box 1), especialmente as regiões de transição - como a porção continental de Santos - e aquelas que, embora não estejam em regiões de serra, também são influenciadas pelo efeito orográfico devido à alguns morros (como parte do Guarujá).

Os resultados também apontaram que estes sinais de aumento dos eventos mais severos vêm acompanhado da diminuição considerável dos dias consecutivos sem chuva (CDD), que acontecerá de forma mais intensa durante o período chuvoso [*alta confiabilidade*], mas também durante a estação seca [*moderada confiabilidade*]. Isto significa que os eventos se tornarão mais volumosos e concentrados em períodos de tempo mais curtos, ao passo que haverá um aumento significativo do espaçamento entre eles. Isto significa que é *provável* que ocorram situações de veranicos mesmo durante a estação chuvosa (provavelmente nos meses de março e abril, na transição das estações). Embora este padrão também tenha sido observado nas demais

porções da Baixada, as incertezas associadas para esta região são menores [*alta confiabilidade*].

Em termos de impactos potenciais relacionados aos eventos extremos de chuva, pode-se dizer que nesta porção da Baixada são esperados impactos semelhantes àqueles descritos e discutidos para Santos, no PACS (PACS – Item 3.2), principalmente os municípios de Guarujá e São Vicente, que apresentam algumas características (ambientais, urbanas, geográficas, sociais) semelhantes à porção continental santista. Dentre os diversos riscos climáticos associados, destacam-se aqueles associados à processos geo-hidrológicos (deslizamentos de terra, intensificação de processos erosivos, solapamento, carreamento de sedimentos, enxurradas, alagamentos, inundações bruscas, etc.), tanto pelos impactos múltiplos que podem ser causados à população, mas também em diversas infraestruturas críticas presentes na região.

Portanto, e considerando o complexo mosaico da paisagem e de interações socioecológicas desta porção da Baixada Santista, reitera-se a atenção especial que deve ser dada à estes tipos de riscos climáticos, seja através da consideração destas potencialidades em planejamentos territoriais e zoneamentos ecológico-econômicos; pelo aumento de ações que vislumbrem o aumento percepção de risco como um todo; por meio de estudos aprofundados e específicos (como o que foi feito para Santos), ou mesmo através da priorização de práticas conservacionistas, em geral, para evitar a degradação do ecossistema terrestre e marinho que podem ser fundamentais para manter a resiliência climática da região, mesmo com fatores externos atuando em favor das mudanças climáticas. Não menos importante, destaca-se novamente a importância de ações de proteção e defesa civil, incluindo monitoramento e alerta, como forma de identificar e reduzir os riscos com o passar dos anos, mas também exercendo um papel fundamental para a diminuição dos impactos imediatamente antes, durante e após eventos extremos que podem levar à situação de desastres naturais.

Quanto à temperatura, os dados observados indicaram que esta é a região menos quente das três analisadas, com temperaturas médias cerca de 1° C inferior à porção serrana e 2° C inferior à porção Sul, enquanto as maiores máximas e mínimas registradas tendem a ser até 2,5 °C menor que as demais. Lembrando que esta

característica é mais evidente nas regiões mais à nordeste (Bertioga e seus limites com São Sebastião), ao passo que estas diferenças tendem a ser menores em direção à São Vicente e Praia Grande (ver Box 1).

Os resultados a partir das projeções de clima futuro indicam que a tendência de praticamente todos os índices de temperatura é muito semelhante à todas as demais regiões da Baixada Santista e pode ser resumida da seguinte maneira nesta porção: as temperaturas médias, máximas e mínimas aumentarão +1°C até 2050 [*alta confiabilidade*]. Ao final do século é *muito provável* que este incremento aumenta mais 1,5 ° C, sendo *possível* que chegue à 3 ° C. Além disso, é esperado que as temperaturas máximas sofram incrementos ainda maiores, aumentando 2,5 °C até 2050 [*alta confiabilidade*], sendo *provável* que alcance o incremento de +4,5 e +5,5 °C ao final do século, para os cenários 4.5 e 8.5, respectivamente, o que estabelece uma média de temperaturas máximas diárias entre 38 e 37 °C.

De todos os índices avaliados, aquele que mais se destaca dos padrões e valores observados nas demais regiões é o índice WSDI, associado às ondas de calor. Mesmo que a média de temperatura seja a mais baixa entre as demais regiões, os resultados sugerem que é *muito provável* que as ondas de calor aumentem significativamente nesta porção da Baixada em comparação com as demais. Ou seja, elas aconteceriam mais frequentemente e seriam mais longas que nas demais regiões, porém com uma intensidade menor [*alta confiabilidade*]. No período de referência, para a estação chuvosa, os dados observados indicam que estas ondas de calor aconteciam cerca de 1 vez a cada 6 anos, sendo que os modelos são contundentes ao indicar que este número aumentaria cerca de 10 vezes até 2050, chegando a uma frequência de aproximadamente 2 vezes a cada estação chuvosa (ou 1 vez a cada 3 meses) [*alta confiabilidade*]. Ainda mais críticos são os cenários para a segunda metade do século, que indicam que é *muito provável* que este número dobre no RCP 4.5 (chegando a 4 ondas de calor por estação chuvosa) e quintuplicar no RCP 8.5, chegando à marca de 8-9 ondas de calor por estação chuvosa ou 1 a cada 3 semanas. Este contexto climático com ondas de calor frequentes pode, por si só, ser considerando bastante desafiador. Porém, é preciso ressaltar que: conforme as ondas de calor forem se tornando mais frequentes e intensas, os demais resultados indicam que situações como esta aconteçam simultaneamente à períodos

com chuvas temporalmente esparsas e até mesmo com estiagens e veranicos [moderada confiabilidade]. Isto intensificaria ainda mais os múltiplos impactos associados, sobretudo a partir de 2050, à saúde humana, à diversas atividades antrópicas, mas especialmente aos ecossistemas e recursos hídricos, que provavelmente não conseguirão se adaptar às mudanças abruptas, sob risco de alcançar situações críticas, principalmente se estiverem outros elementos exercendo pressão sobre os mesmos (como avanço de áreas urbanas, poluição, desmatamento, etc.).

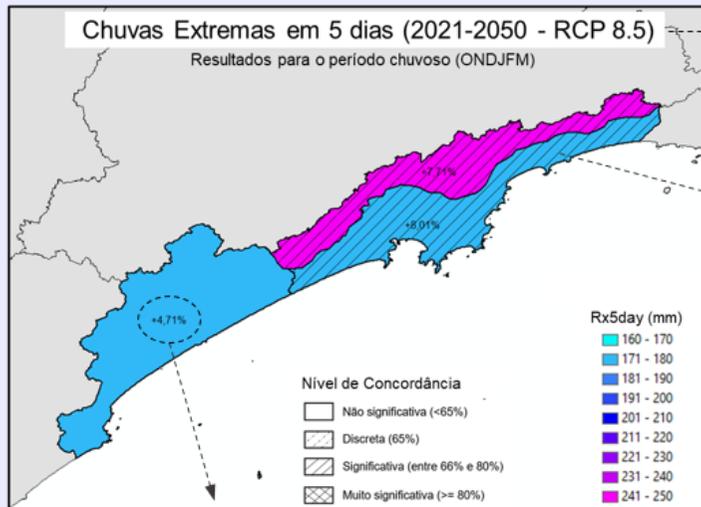
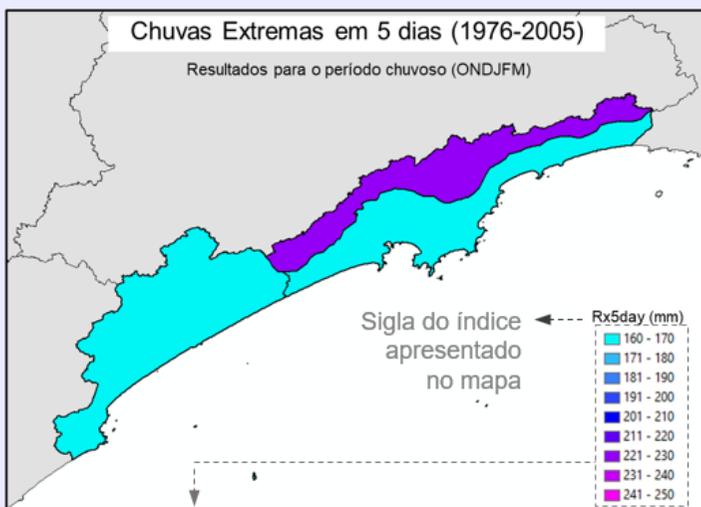
5. Espacialização dos resultados para 2021-2050, no cenário RCP 8.5

Este item apresenta resultados do período 2021-2050 no cenário RCP 8.5 na forma de mapas, que foi uma demanda da SIMA para que se pudesse comparar o presente estudo com outros previamente já elaborados neste mesmo período e cenário, e que usam desta mesma forma de apresentação. Importante ressaltar que todas as informações contidas nos mapas (valores absolutos, mudança relativa e nível de concordância) já foram apresentadas e discutidas nos itens anteriores, especificamente os boxplots apresentados no item 3. No entanto, ao apresentar os resultados na forma de mapas, é possível visualizar melhor, e de forma conjunta, algumas informações que podem não estar tão evidentes quando se analisa os gráficos em boxplot. Para facilitar a interpretação dos resultados, elaborou-se o Box 5 que está apresentado a seguir. Além disso, devido aos métodos utilizados, recomenda-se fortemente a leitura do Box 1, para que seja possível visualizar melhor quais as limitações associadas.

Optou-se por elaborar apenas os mapas dos índices climáticos que apresentaram resultados mais significativos para a região de estudo, seja em termos da importância dos riscos climáticos associados e/ou devido à alta confiabilidade dos resultados, que permitem inferir, com menos incertezas, quais são os possíveis comportamentos climáticos esperados já nas próximas décadas (2021-2050).

Box 5: Como interpretar os mapas?

Os mapas elaborados para este estudo apresentam os resultados dos principais índices climáticos para a Baixada Santista, que foi subdividida em três compartimentos territoriais (*mais detalhes no Box 1*). Para cada índice climático, elaborou-se um par de mapas: o primeiro (sempre à esquerda), representa os valores encontrados através de dados observados para o período de referência (também chamado de *baseline*), compreendido entre 1976-2005. O segundo mapa (sempre à direita), representa o mesmo índice climático, mas para o período futuro compreendido entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. No caso das projeções futuras, o valor apresentado é fruto da combinação de 20 modelos climáticos, e o valor que cada compartimento recebe refere-se à mediana obtida pelo resultado dos 20 modelos, naquele período. Além do valor do respectivo índice no período futuro, há outras duas informações que podem ser obtidas pelo mapa da direita: i) as hachuras representam o nível de concordância entre os modelos ao indicar a tendência de aumento/diminuição, conforme a legenda; e ii) no centro de cada compartimento há um valor percentual que representa a mudança relativa do índice quando se compara o resultado futuro com o resultado para o *baseline*, acompanhado pelo sinal de “+” ou “-” que indica o aumento ou a diminuição do índice, respectivamente. Obs.: o valores atribuídos aos compartimentos são provenientes de extrapolações dos valores dos seus respectivos pontos representativos (recomendamos a leitura do Box 1).



→ Título do mapa, com o nome adaptado do índice, por extenso, seguido do período futuro e cenário RCP.

As hachuras servem para facilitar a identificação das situações onde há concordância estatística significativa entre os modelos. Quando não há hachura, significa que menos de 65% dos modelos concordam com o sinal da tendência predominante (aumento ou diminuição).

A paleta de cores utilizada nos dois mapas é sempre a mesma, e suas divisões foram feitas para facilitar a identificação do aumento ou diminuição do índice quando comparado com o mapa ao lado.

Mudança relativa do índice (em %), comparando o valor deste período (2021-2050) com o baseline.

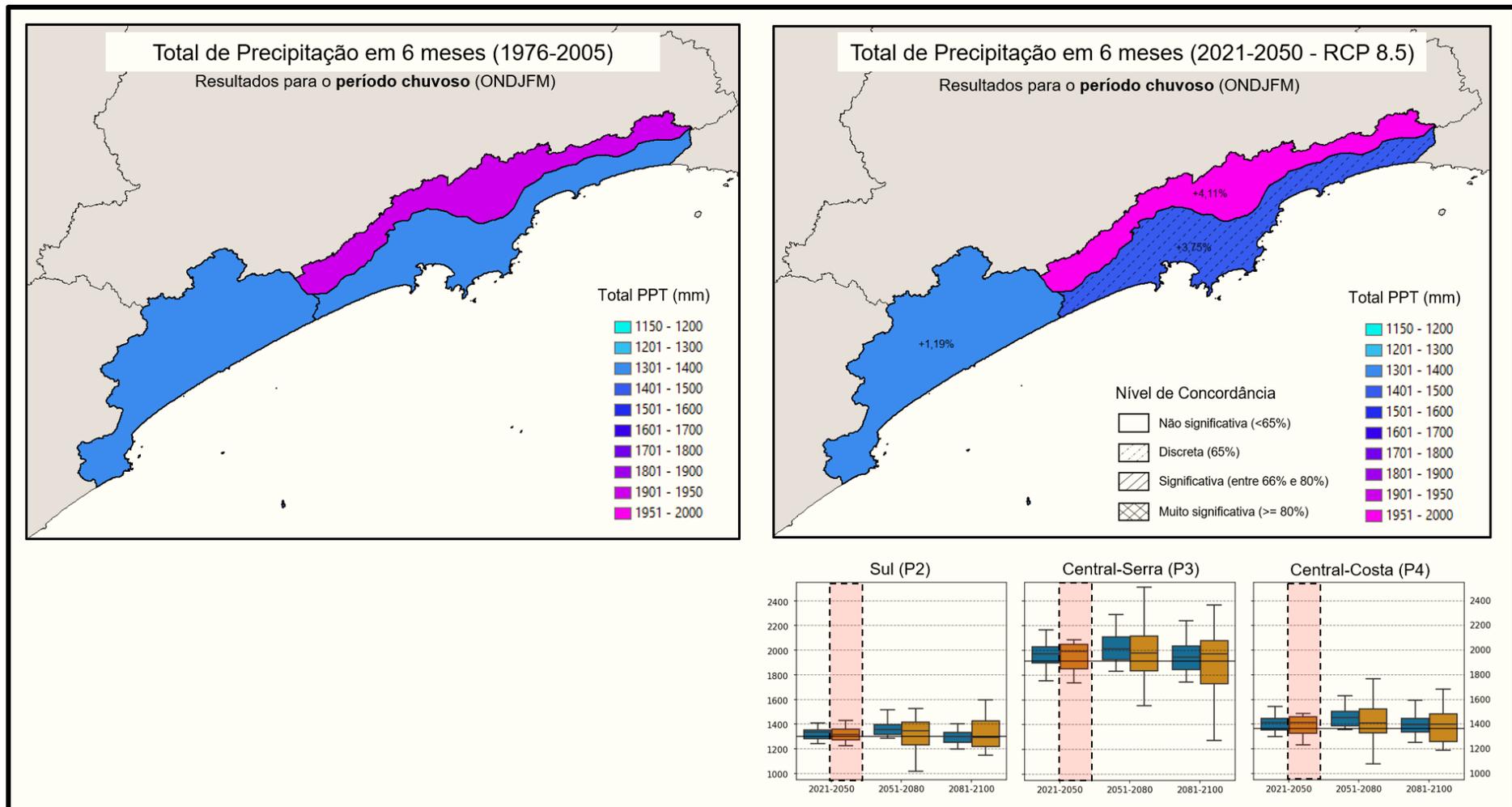


Figura 28 – Mapas do Total de Precipitação na estação chuvosa, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

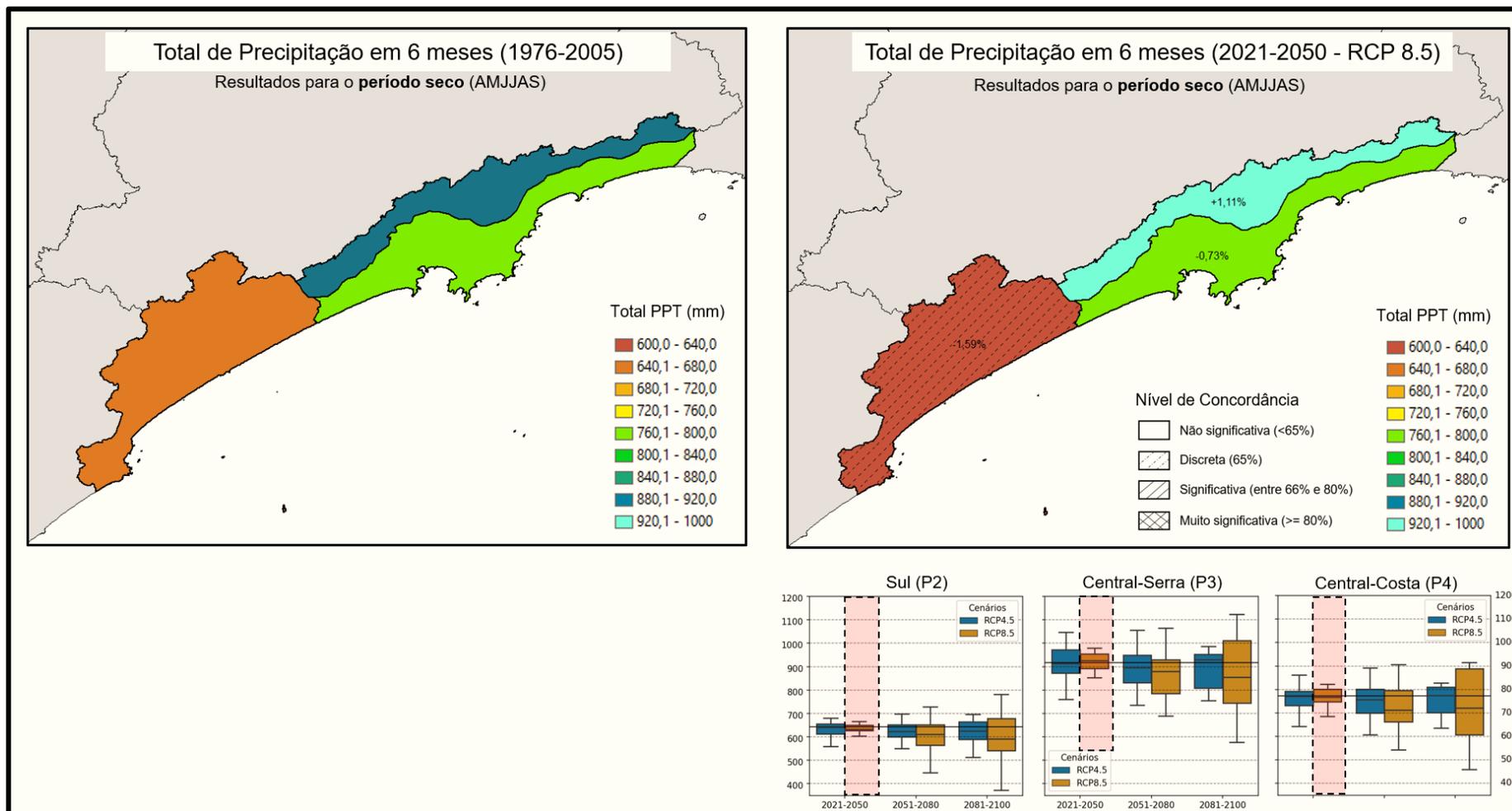


Figura 29– Mapas do Total de Precipitação na estação seca, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

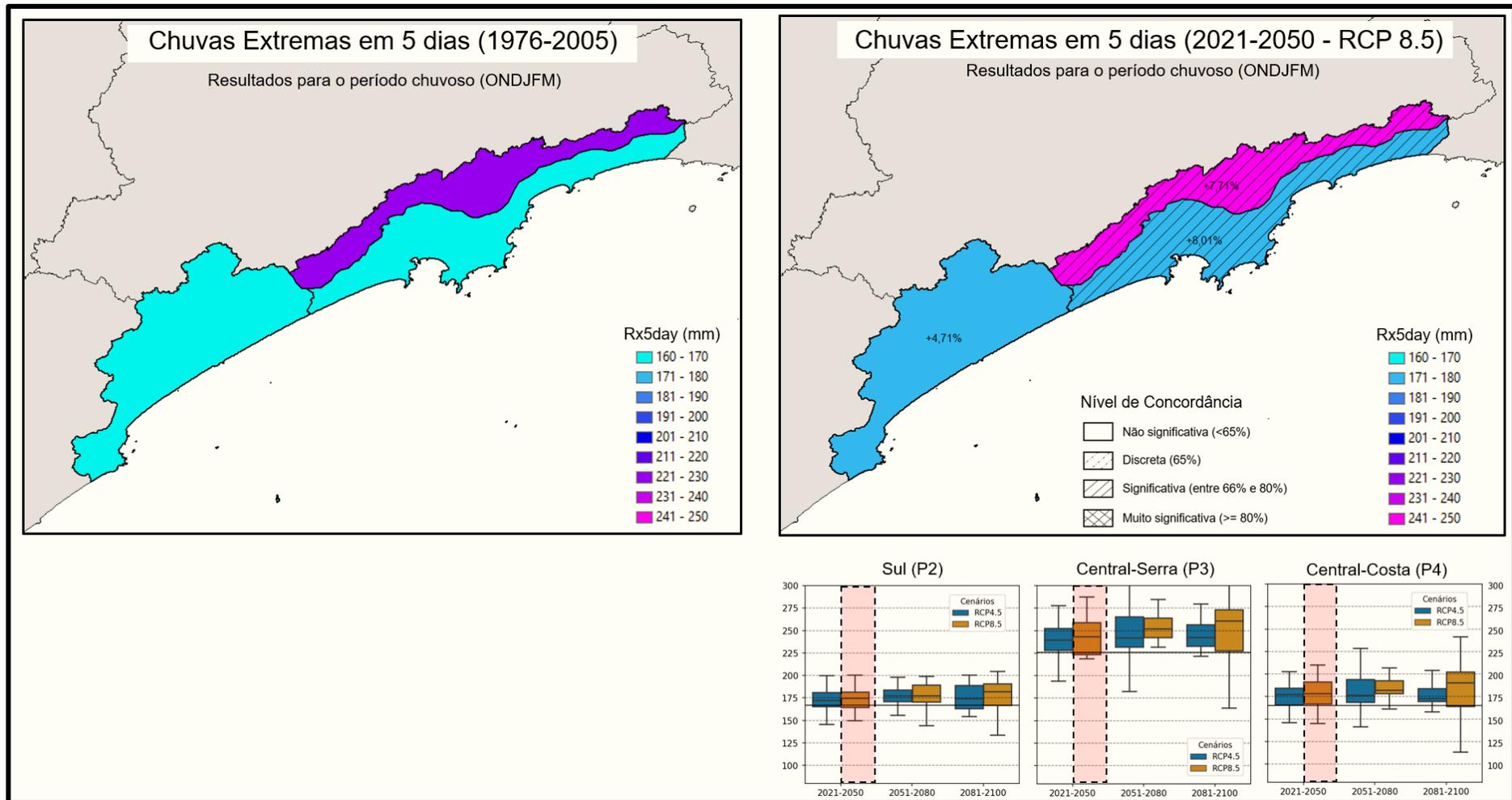


Figura 30 – Mapas do índice Rx5day (maior acumulado em uma janela temporal de 5 dias) para a estação chuvosa, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

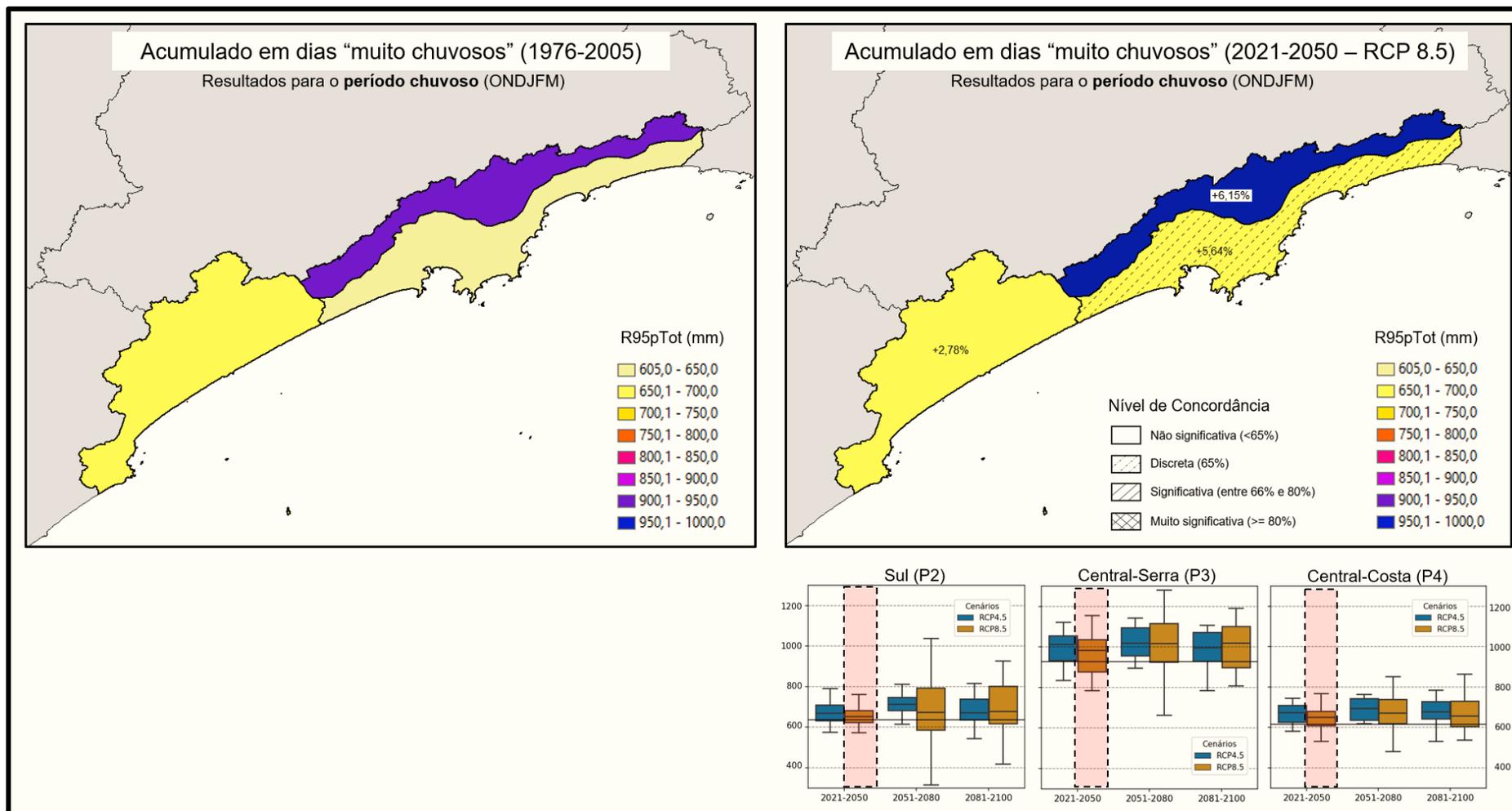


Figura 31 - Mapas do índice R95pTot (acumulado em dias acima do percentil 95) para a estação chuvosa, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

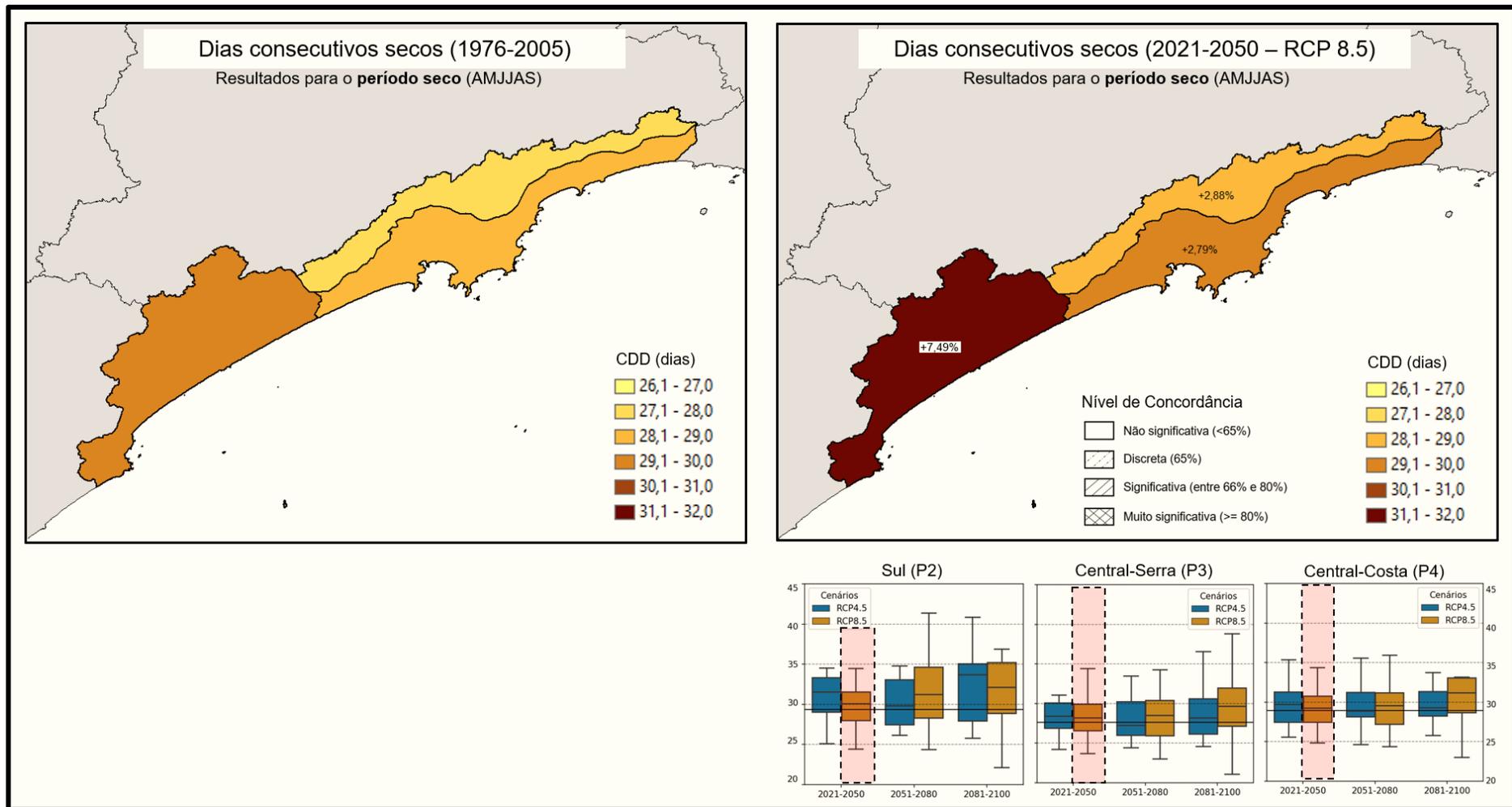


Figura 32 - Mapas do índice CDD (Dias consecutivos secos) para a estação seca, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

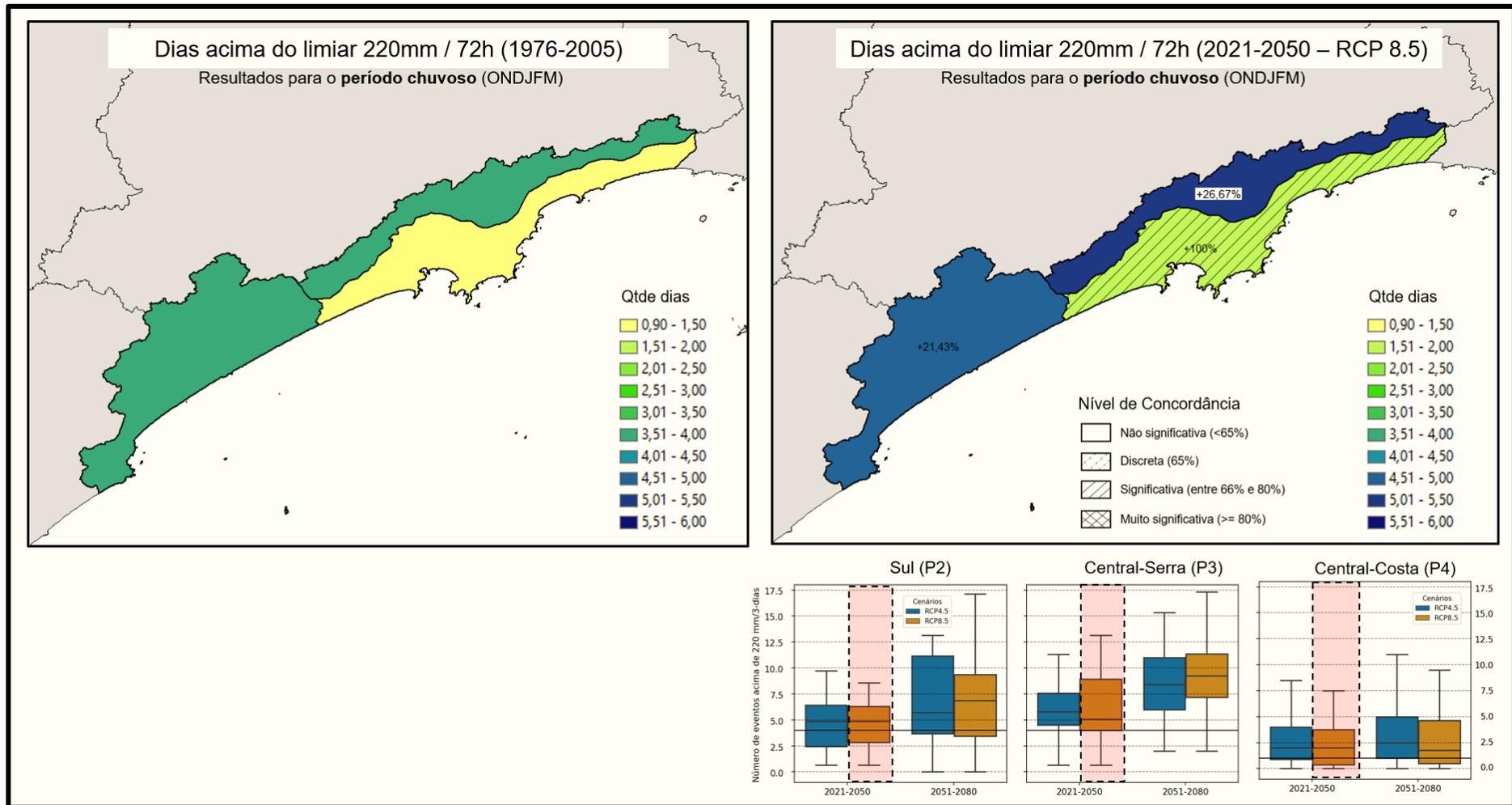


Figura 33 - Mapas da Quantidade de Dias acima do Limiar de 220 mm em 72h (eventos potencialmente deflagradores de deslizamentos de terra generalizados) para a estação chuvosa, total em períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

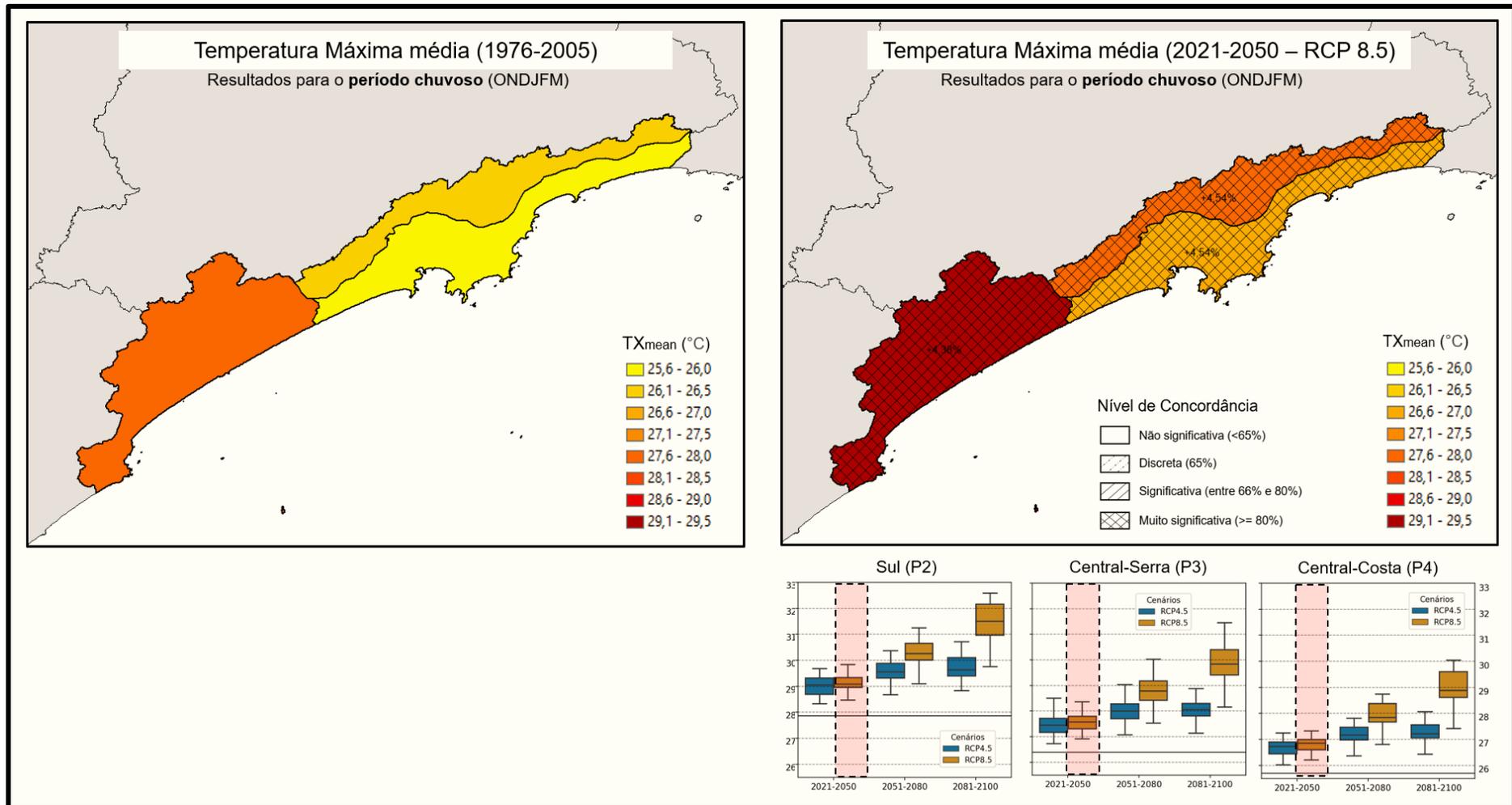


Figura 34 - Mapas do índice TXmean (Temperatura Máxima média) durante a estação chuvosa, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

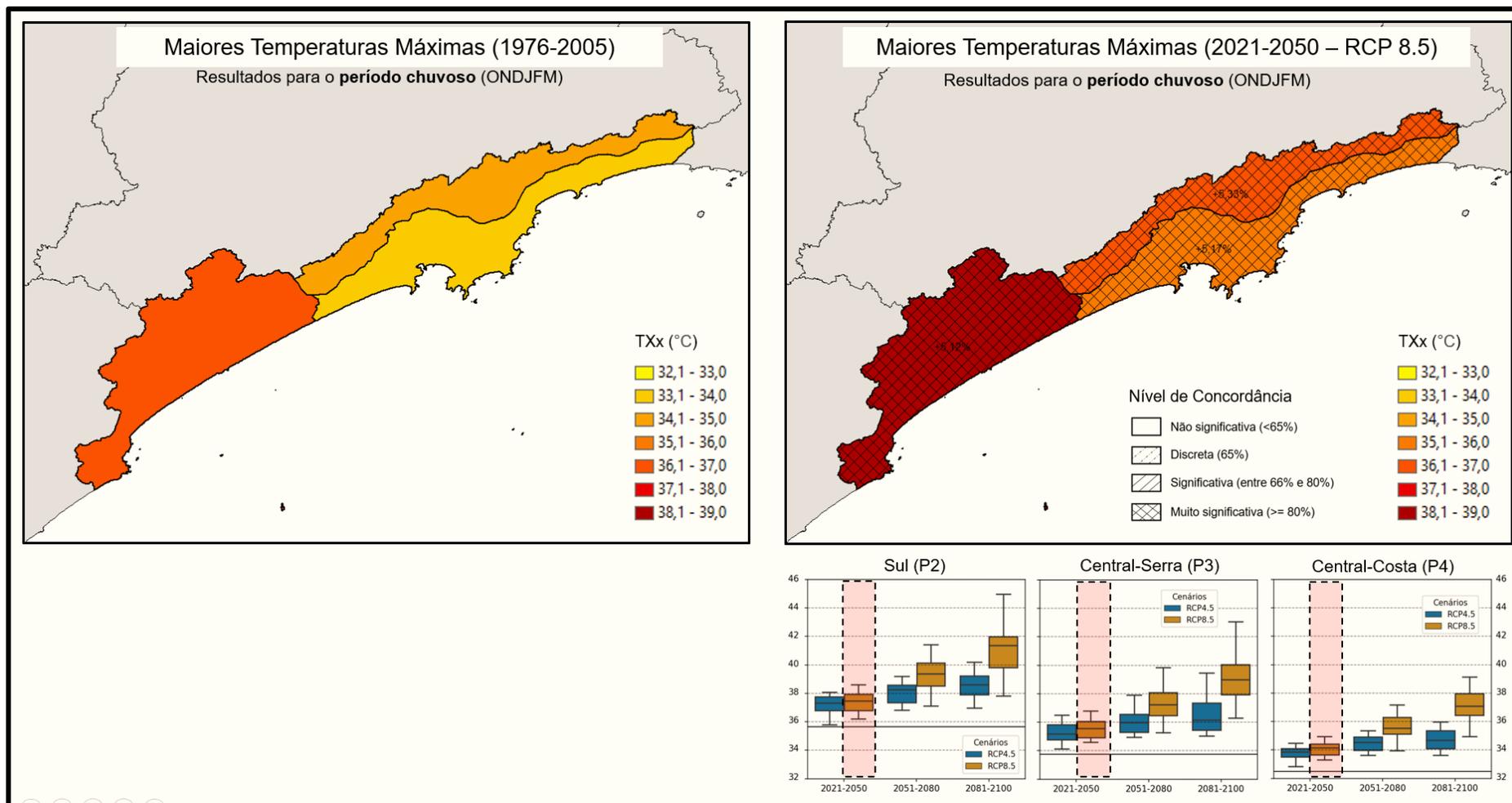


Figura 35 - Mapas do índice TXx (maiores Temperaturas Máximas) durante a estação chuvosa, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

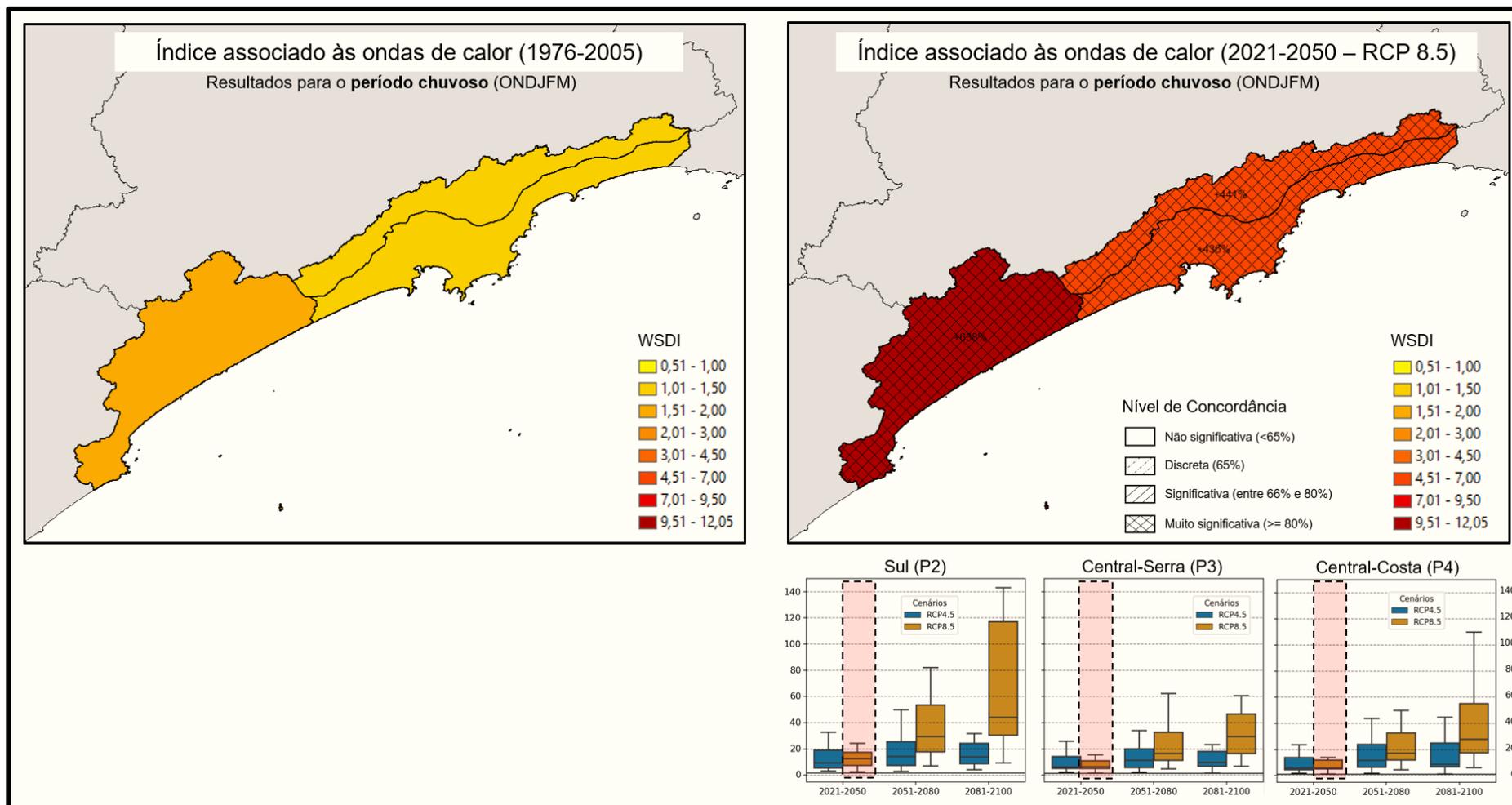


Figura 36 - Mapas do índice WSDI (períodos quentes) durante a estação chuvosa, média obtida de períodos de 30 anos: a esquerda, período de referência (1976-2005); a direita, resultado sintetizado representando a mediana dos 20 modelos climáticos utilizados para as projeções do clima entre 2021-2050, no cenário RCP 8.5. Na parte inferior estão os boxplots do mesmo índice, destacando (em vermelho) o período 2021-2050, no cenário RCP 8.5 (referente ao mapa da direita).

6. Considerações Finais

A metodologia aplicada foi capaz de identificar os principais sinais climáticos esperados para as próximas décadas, com a robustez metodológica que essa temática demanda. Diferente do que é normalmente encontrado na literatura brasileira, seja em periódicos científicos ou em estudos encomendados, o presente trabalho contemplou uma profunda análise de indicadores climáticos fazendo uso de multimodelos regionalizados e cientificamente validados, os quais tiveram os seus dados organizados de forma representativa aos diferentes territórios de análise da Baixada Santista, com qualificações a respeito das incertezas associada.

Os resultados indicam que as mudanças no clima da Baixada Santista são semelhantes por toda sua extensão em valores relativos, com pequenas variações entre os valores absolutos, e com poucas exceções de padrões específicos à uma localidade em particular. Desta forma, a seguir estão elencadas as principais constatações obtidas a partir dos resultados de modelagem e que estão presentes em todos os compartimentos territoriais analisados:

- aumento de cerca +1°C na média das temperaturas máximas e mínimas até 2050 [*confiabilidade muito alta*], sendo que ao final do século este incremento *provavelmente será* de aproximadamente +1,5 °C para o cenário 4.5 e +3,0 °C. para o RCP 8.5.
- os dias mais quentes do ano ser caracterizados por eventos com um aumento ainda maior, cerca de +2 °C até 2050 [*confiabilidade alta*], e *provavelmente* chegando a anomalias entre +4,0 e +5,0 °C ao final do século, dependendo das trajetórias de emissões de gases de efeito estufa;
- Durante a estação chuvosa, especialmente no verão, os eventos de ondas de calor se tornarão significativamente mais frequentes e intensos com o passar dos anos, já sendo esperado um aumento significativo até 2050 [*média concordância, evidência robusta*], com eventos *provavelmente* 5 vezes mais frequentes. Ao final do século, este aumento tende a ser ainda maior, *possivelmente* 10 vezes no

cenário RCP 4.5 e o *provavelmente* o dobro disso (20 vezes) no cenário RCP 8.5.

- Os eventos extremos de chuva aumentarão tanto em magnitude quanto em frequência já nas próximas décadas [*alta confiabilidade*] e *muito provavelmente* se acentuando ainda mais na segunda metade do século; causando mais eventos de inundações bruscas, enxurradas, alagamentos, processos erosivos e deslizamentos de terra; especialmente nas regiões de serra e logo abaixo das mesmas [*alta concordância, evidência robusta*] , *possivelmente* por conta da intensificação do efeito orográfico durante os eventos extremos.
- Quanto mais extremo for um evento já registrado historicamente, maior será o aumento relativo de sua frequência. Até 2050, eventos com tempo de recorrência de 15 a 10 anos tendem a acontecer pelo menos a cada 5 anos [*alta confiabilidade*], o que poderá levar à superação de condições limites e operacionais consideradas em projetos de diversas infraestruturas, como sistemas de drenagem, entre outros.
- Os eventos recordes de precipitação em 1, 3 ou 5 dias tendem a ser quebrados com mais frequência [*confiabilidade muito alta*]. É *provável* que a média dos maiores valores registrados anualmente seja pelo menos 5% maior até 2050, e *muito provavelmente* o dobro disso (10%) ao final do século. Por se tratar de uma média, é esperado que na maioria dos anos até 2050 este aumento não seja tão evidente ano a ano, ao passo que, esporadicamente (*possivelmente em anos de eventos ENSO extremos*), este aumento alcance valores muito acentuados e difíceis de serem estimados, mas que poderão causar impactos muito maiores que os já registrados historicamente;
- Eventos de chuva mais branda (menos que 30mm/h, 50mm/24h e 80mm/72h) - que são historicamente mais frequentes - passarão a acontecer um pouco menos que o normal e estarão temporalmente mais distantes entre si [*média confiabilidade*]. Por esta razão, a maior quantidade de dias consecutivos sem chuva *possivelmente* será, ao menos, 10% maior até 2050, e 20% no final do século durante a estação

chuvosa. Por outro lado, no período seco, é *possível* que ocorra a metade deste aumento. Mesmo assim, nas duas estações, sobretudo nos meses de transição, é *provável* que ocorram mais veranicos e estiagens que também serão mais severos, o que eventualmente causaria situações de déficit hídrico significativo, pois períodos de baixa precipitação devem se coincidir com períodos de elevadas temperaturas e elevada evapotranspiração;

- Os “períodos frios” e as “ondas de frio” raramente devem acontecer até 2050 [confiabilidade muito alta], sendo que após esta data é virtualmente certo que a região não tenha mais eventos desse tipo se as trajetórias de emissões seguirem o cenário RCP 8.5;
- Embora seja bastante complexo fazer análises diretas relacionadas à descargas elétricas, este é um outro tipo de risco climático que pode estar, teoricamente, associado os resultados dos índices aqui explorados; tendo em vista que os resultados indicam que as tempestades serão mais intensas e frequentes nos meses mais quentes do ano, em um cenário com temperaturas mais elevadas que o normal, que caracterizaria uma combinação favorável às descargas elétricas, que já são bastante presentes na região [*méda confiabilidade*].

Em valores absolutos, há algumas diferenças sutis entre as regiões, as quais foram discutidas diretamente nos seus respectivos itens apresentados anteriormente (itens 4.1, 4.2, e 4.3). Ademais, vale destacar os valores extremos de temperatura que podem ocorrer na porção Sul (ponto P2), principalmente quando persistirem por alguns dias e caracterizando ondas de calor mais frequentes e severas [*alta confiabilidade*]; e a intensificação das chuvas extremas que podem se tornar bem mais frequentes nas regiões de maiores altitudes [*alta confiabilidade*], mas especialmente aquelas nas proximidades de Cubatão, Santos, São Vicente e Guarujá, que já recebem os eventos de precipitação mais elevados historicamente da Baixada e que apresentam diferentes vulnerabilidades e elementos expostos, além de complexas interações entre os sistemas humanos e naturais.

Desta forma, recomenda-se fortemente que estudos aprofundados a respeito dos riscos climáticos sejam continuados por toda a Baixada Santista, a fim de compreender melhor estas relações e todos os impactos potenciais para direcionar medidas de adaptação específicas e eficazes. De forma ampla e geral, reiteramos a importância de apoiar medidas de adaptação de “não arrependimento”, sobretudo as que se encaixam no âmbito de AbE (adaptação baseada em ecossistema), educação ambiental, normativas e leis de uso e ocupação (sobretudo mais conservacionistas), além da capacitação e suporte à Defesa Civil a respeito desta temática e apoio às entidades e programas voltados ao monitoramento e alerta de desastres naturais, que são soluções mais fáceis e baratas de serem implementadas no médio e curto prazo e que já aumentarão a capacidade de adaptação de forma latente e eficaz