



WORK VIII 2025 Eta

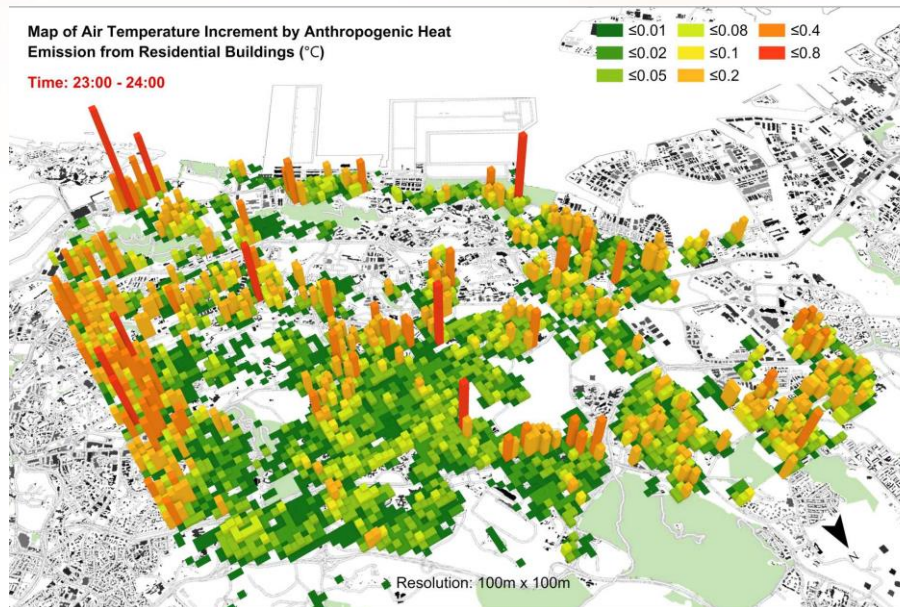
WORKSHOP EM MODELAGEM NUMÉRICA DE TEMPO, CLIMA
E MUDANÇAS CLIMÁTICAS UTILIZANDO O MODELO ETA

Projeções climáticas na RMSP – Planos de ação

Reflexões sobre os planos de ação de
enfrentamento as mudanças climáticas
e os desafios da gestão do risco em
nível municipal

Profa. Dra. Maria Valverde
Universidade Federal do ABC
maria.brambila@ufabc.edu.br

Introdução :



Fonte: <https://frs.ethz.ch/news-events/frs-news-channel/2021/05/Climate-Modelling-for-Resilient-Urban-Planning.html>

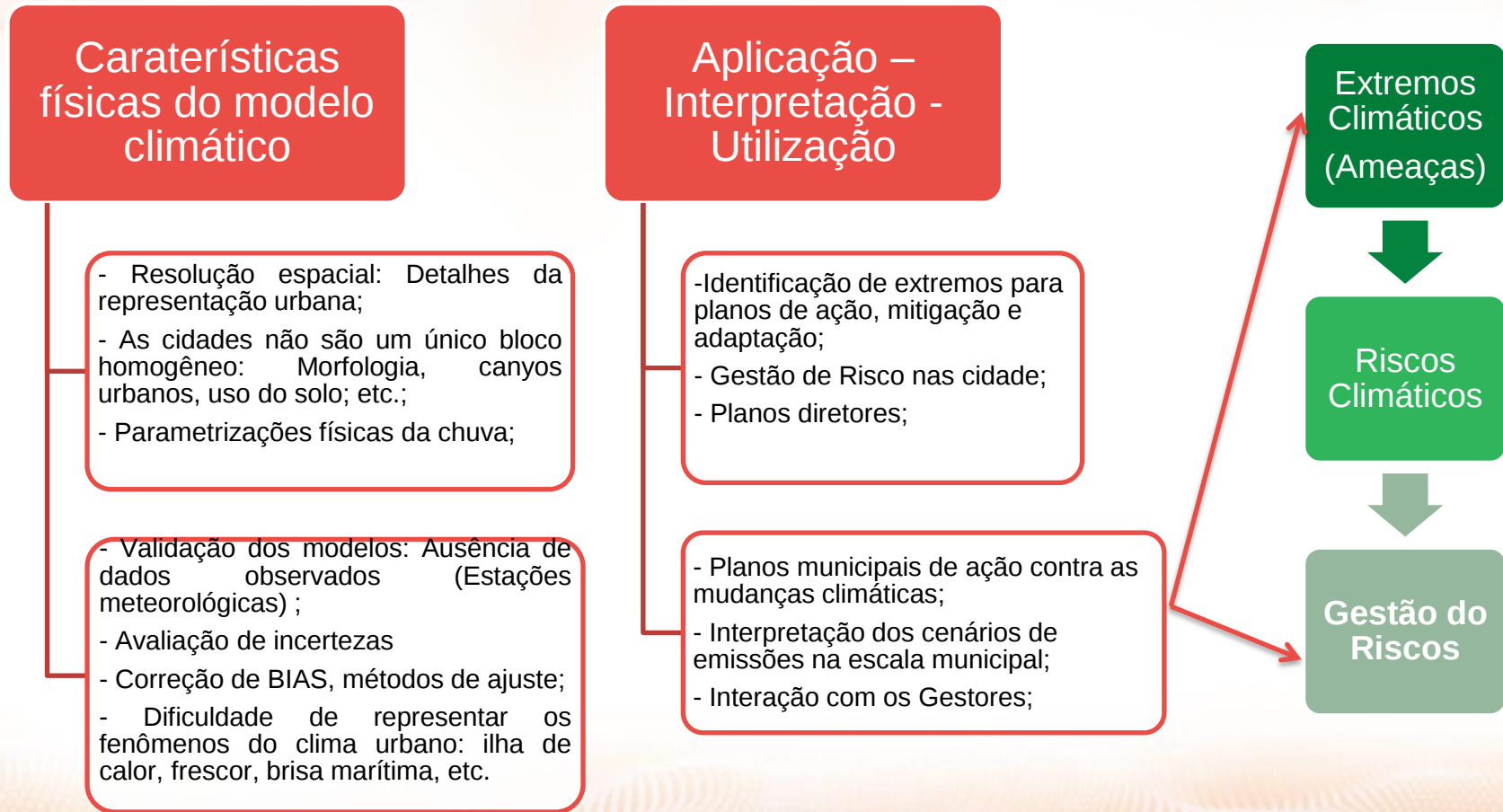
Modelagem climática para um planejamento urbano resiliente

“O planejamento e o projeto urbano resiliente ao clima são desafiadores e essenciais para lidar com as mudanças climáticas e a urbanização, que frequentemente envolvem enorme incerteza (Chao, 2021)”.

Como são utilizadas as projeções futuras nos planos de ação climática de uma Região Metropolitana?

Desafios da modelagem em áreas urbanas!!!!

Modelos Climáticos e as Projeções do clima em cidades: Desafios



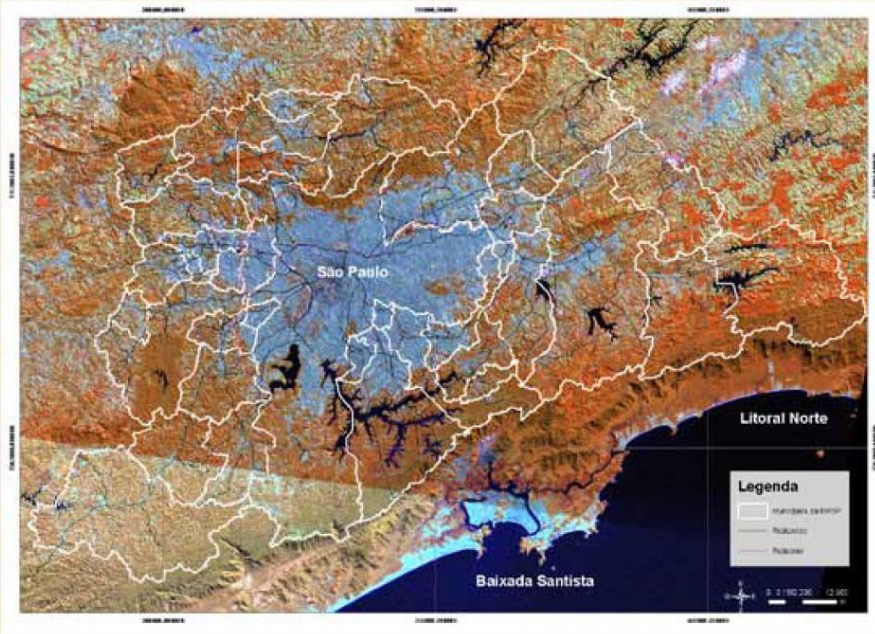
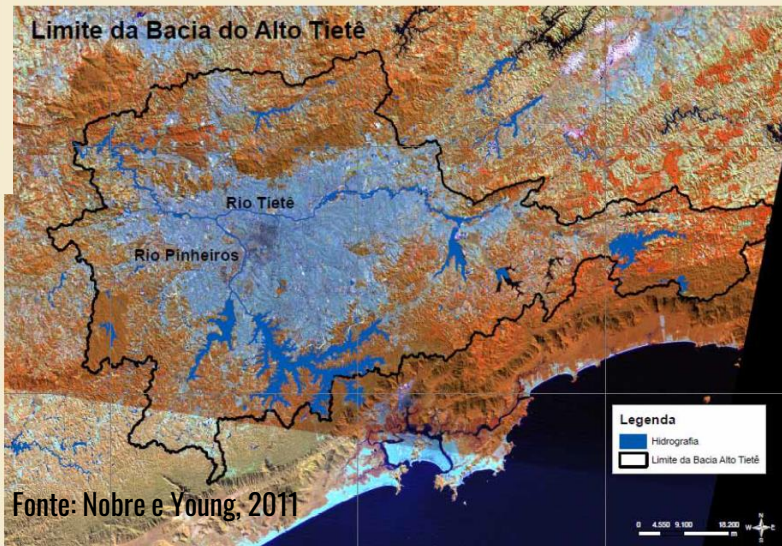


Figura 1: Localização da Região Metropolitana de São Paulo.

Região Metropolitana de São Paulo



Fonte: Nobre e Young, 2011

Figura 2: Bacia do Alto Tietê. Fonte: Imagem do Satélite Landsat ETM + (órbita ponto 219-076; de 17/07/2008: resolução 30mx 30m).

Fonte: Imagem Satélite Landsat ETM + (órbita ponto 219-076; de 17/07/2008: resolução 30mx 30m).

Fonte: Nobre e Young, 2011

Complexa na sua representação: espaço físico, mancha urbana e uma rede de drenagem muito antropizada.

Estudos na Região Metropolitana de São Paulo – RMSP e projeções futuras

Autor, Ano	Região / Municípios	Dados Utilizados	Modelos Globais	Modelos Regionais	Projeções
Marengo et al., 2013	RMSP	Observados (IAG)	-	HadCM3 global model, using the Eta CPTEC regional model with a horizontal resolution of 40 × 40 km	Cenário do SRES A1B (CMIP3)
Lyra et al., 2018	RMSP	Observados (IAG e EMA - obs)	-	Eta Regional Climate Model (RCM) (5km x 5km)	Cenários do HadGEM2-ES RCP4.5 and RCP8.5
Batista et al., 2016	RMSP	Observados (IAG e INMET)	-	RegCM4 projections from the CREMA (CORDEX REgCM4 hyper-Matrix experiment) – resolution 50 km x 50 km	Cenários RCP8.5 para dois time slices: present (1975–2005), and future (2065–2099) climates.
Valverde et al., 2023	Sudeste da RMSP	Observados (IAG e EMA - obs)	CNRM-CM6-1-HR (CMIP6), (50 x 50 km)	Eta-HADGEM2_ES (CMIP5), resolution 5 km x 5 km	Cenários RCP4.5 e RCP8.5. Cenários SSP2-4.5 e SSP5-8.5

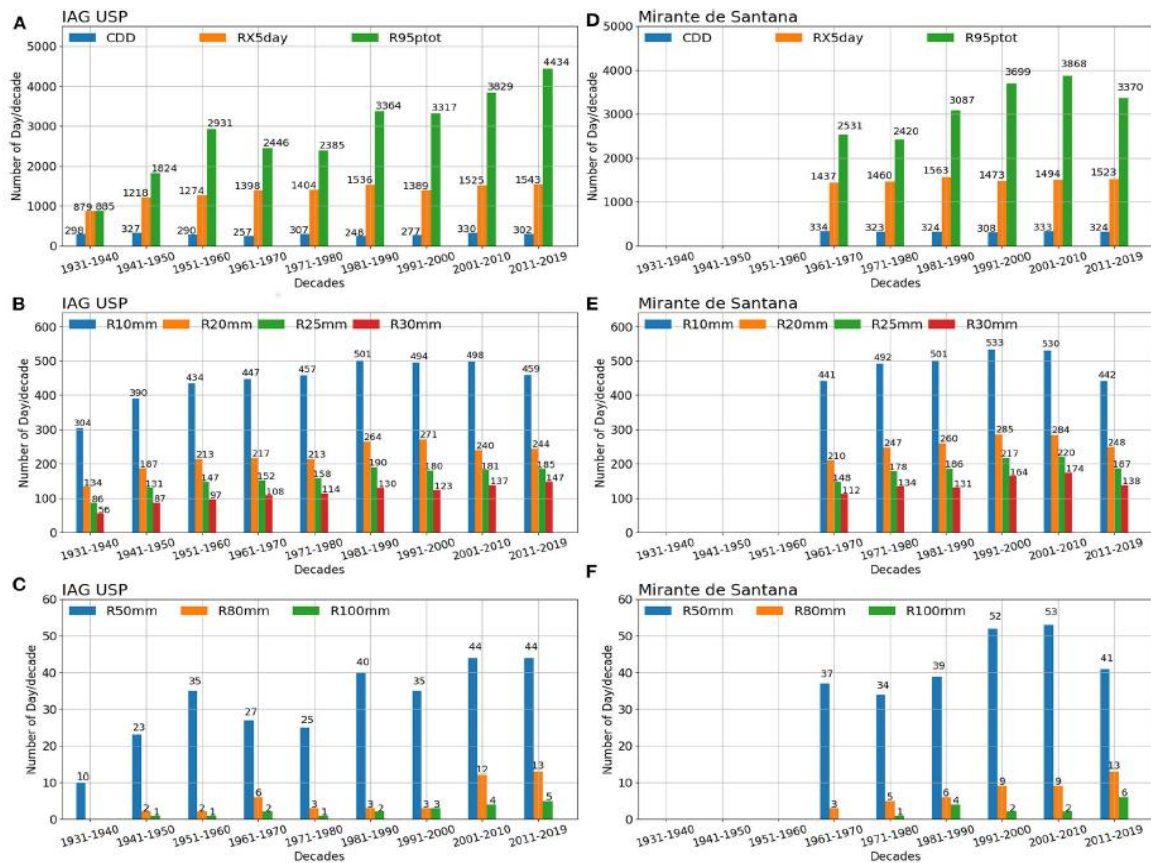


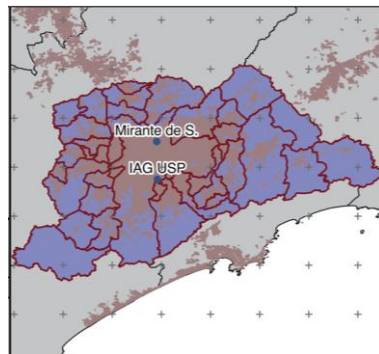
FIGURE 4 | Decadal accumulation of CDD (consecutive dry days), heavy precipitation (R95P), and 5 days accumulated precipitation (R5xDay) for (A) IAG-USP and (D) Mirante de Santana; for numbers of days with precipitation above 10 mm (R10), 20 mm (R20), 25 mm (R25), and 30 mm (R30) for (B) IAG-USP and (E) Mirante de Santana; and for number of days with precipitation above 50 mm (R50), 80 mm (R80), and 100 mm (R100) for (C) IAG-USP, and (F) Mirante de Santana, with number showing the corresponding decadal numerical values.

Dados Observados na RMSP:

- São locais próximos na RMSP, mas existem diferenças

IAG → Parque de Ciência e Tecnologia da USP - Vila Água Funda, na zona leste.

Mirante de Santana → bairro do Jardim São Paulo, na zona Norte.

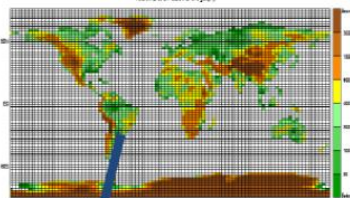


□ Municipalities □ Metropolitan Area
■ Urban Area

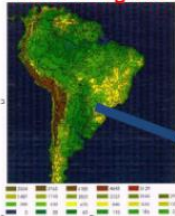
- Diferença entre cidades
- Diferença entre bairros em uma cidade

Estratégia do Downscaling para mudanças de clima

Modelo Global UK Met Office-
HadCM3



Modelo regional

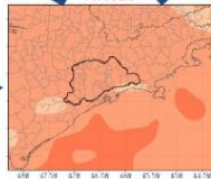


Eta CPTC (40 km)

Sudeste do Brasil



RMSD



Mudanças climáticas e extremos
RMSP:
2030-40, 2050-60, 208-90

Clima e extremos
RMSP:
2030-40, 2050-60,
2080-90

Climatologia do
presente (1961-90).
Média e extremos

Cenário A1B IPCC,
período 2010-2100

Figura 23. Esquema de regionalização ("downscaling") dinâmica de cenários climáticos futuros para a RMSP.

Fonte: Nobre et al., 2011

**“Observed and projected changes in rainfall extremes
in the Metropolitan Area of São Paulo”**

Fonte: Marengo et al., 2013

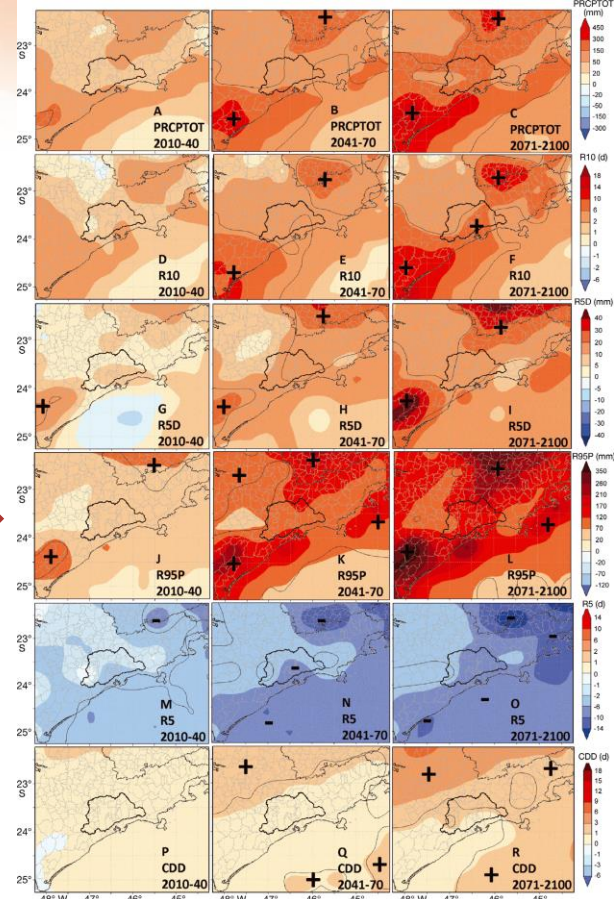


Fig. 4. Maps of changes of the indices PRCPTOT, R10, R5D, R95P, R5, and CDD for the northeastern part of the state of São Paulo, based on the ensemble mean of the 4 runs. Thick black line: MASP region. Changes are for the 2010–2040, 2041–2070, and 2071–2100 time slices relative to 1961–1990. Statistical significance at the 5% level was assessed by the Mann-Kendall test; dashed lines (with signs): areas where significance was reached.

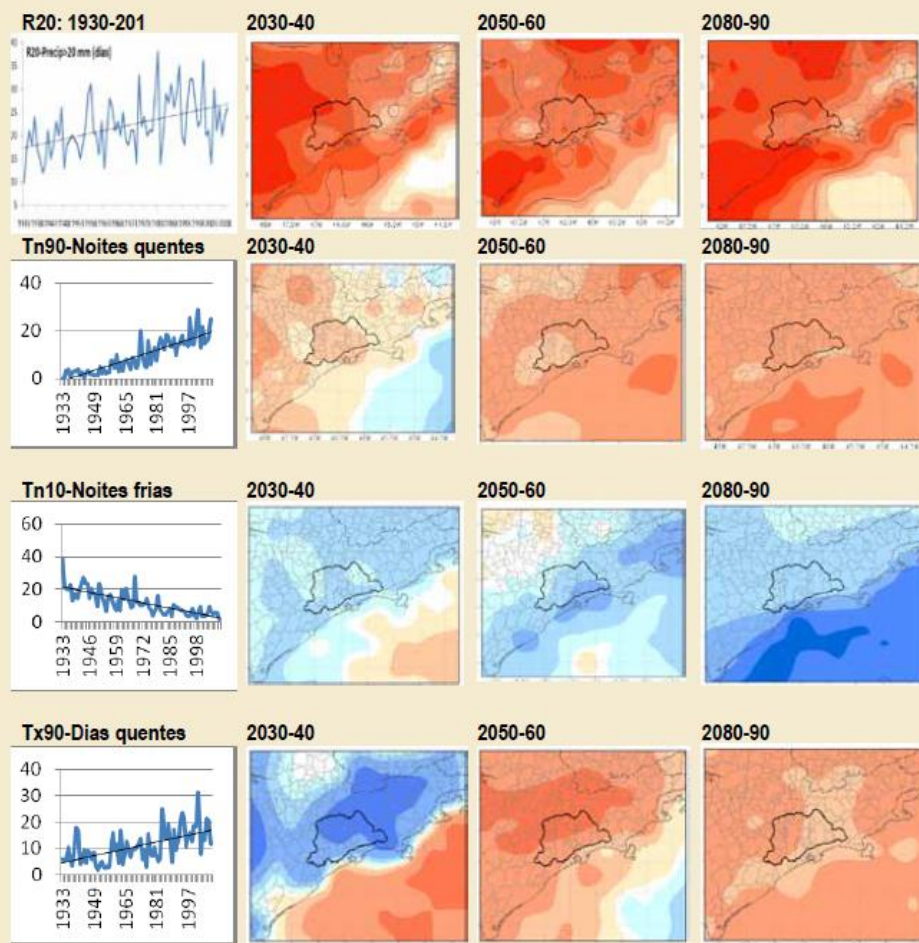


Figura 27: Tendências observadas (1930-2010) no número de dias com chuva acima de 20 mm (R20 dias), frequência de noites quentes Tn90 (%), noites frias tn10 (%) e dias quentes Tx90 (%) para a estação de Água Funda-USP IAG, RMSP [coluna à esquerda]. Colunas 2 a 4 apresentam as projeções de mudanças destes índices para 2030-40, 2050-60 e 2080-90 relativos a 1961-90 para a RMSP, produzidas pelo modelo Eta-CPTEC. Na coluna 5, escala de cores vermelho/azul mostra aumentos/reduções nestes índices para o futuro.

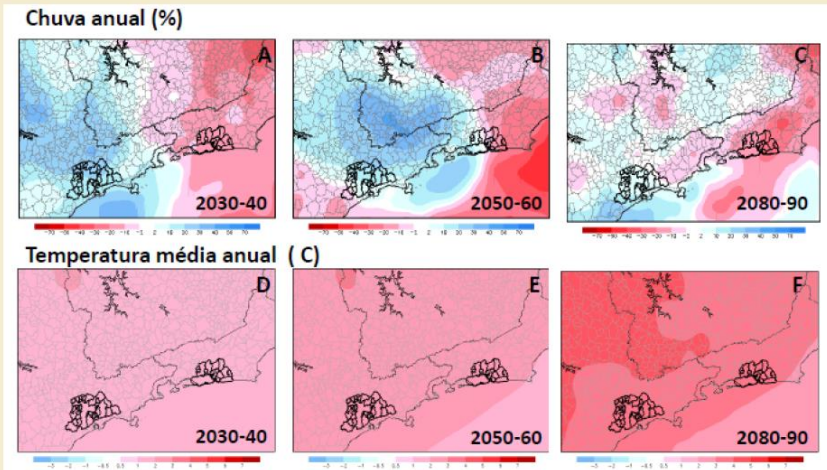


Figura 24: Anomalias de precipitação anual (%) (a, b, c) e temperatura média anual (°C) (d, e, f) projetadas pelo modelo regional climáticos Eta-CPTEC, para os períodos 2030-40, 2050-60 e 2080-90, em relação a 1961-1990, para o cenário de emissões intermediário SRES A1B. As áreas em destaque indicam a RMSP e RMRJ.

A Figura 24 apresenta as mudanças de precipitação anual (%) e a temperatura média anual (°C) projetada pelo modelo regional Eta-CPTEC para os períodos 2030-40, 2040-50 e 2080-90, no cenário intermediário SRES A1B, em relação ao período referencial 1961-90.

As regiões em destaque indicam a RMSP e a região metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Os campos de temperatura média anual projetados no cenário A1B para este século indicam um aumento de 1 a 2° C em todo o domínio analisado para 2030-40, de 2-3° C para 2040-50 e de até 4° C para 2080-90. No que concerne as mudanças na precipitação, com a ressalva de que a incerteza é maior para estimativas de mudanças de precipitação,

**“VULNERABILIDADES DAS MEGACIDADES
BRASILEIRAS ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS:
A REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO”
(Nobre et al., 2011)**

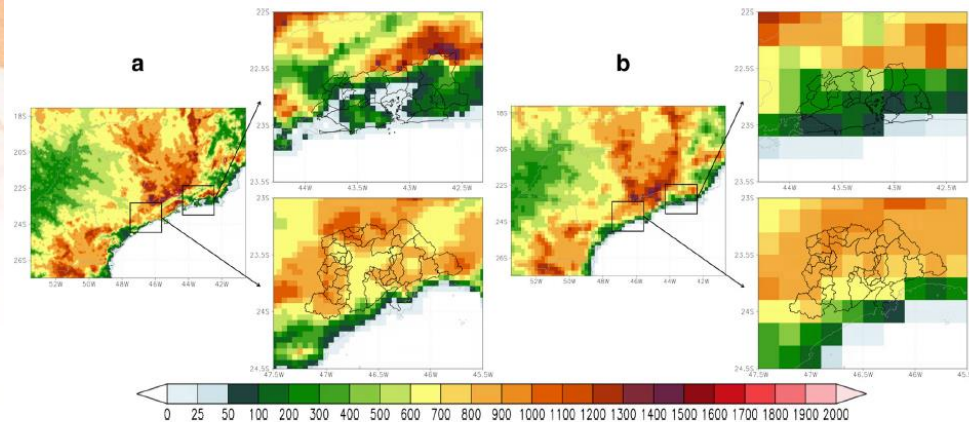


Fig. 1 Eta model topography (m) at a 5-km and b 20-km resolutions

Fonte: Lyra, et al. 2018,

“Climate change projections over three metropolitan regions in Southeast Brazil using the non-hydrostatic Eta regional climate model at 5-km resolution”

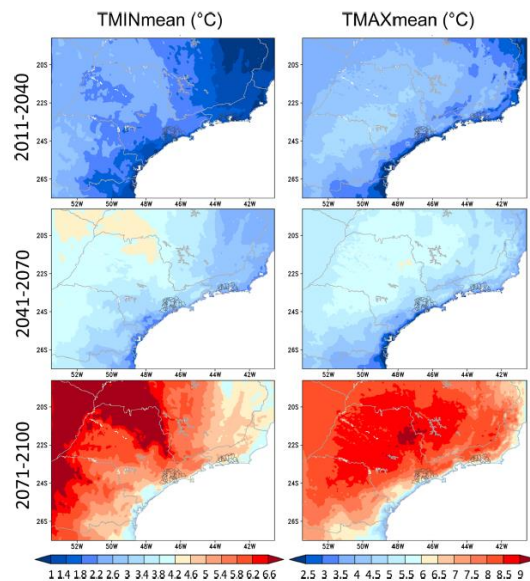


Fig. 13 Differences between the three future time periods and the historical period (1961–1990) under the RCP8.5 scenario. Columns from left to right: 1–TMINmean (°C) and 2–TMAXmean. Future periods are 2011–2040 (top row), 2041–2070 (middle row), and 2071–2100 (bottom row)

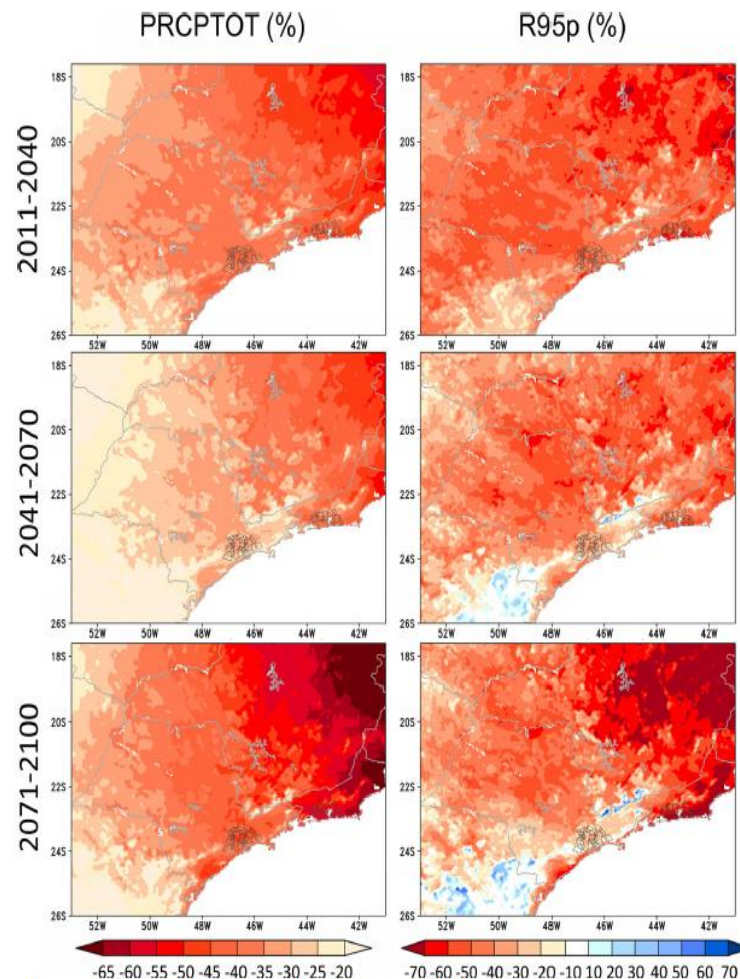
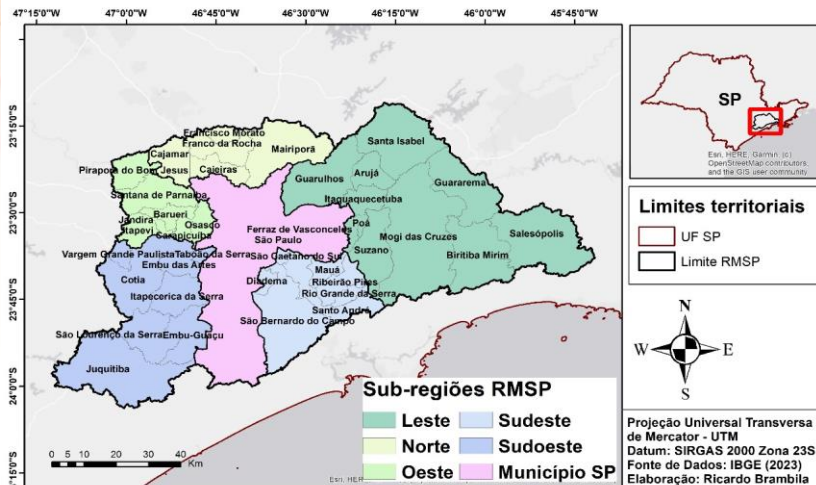
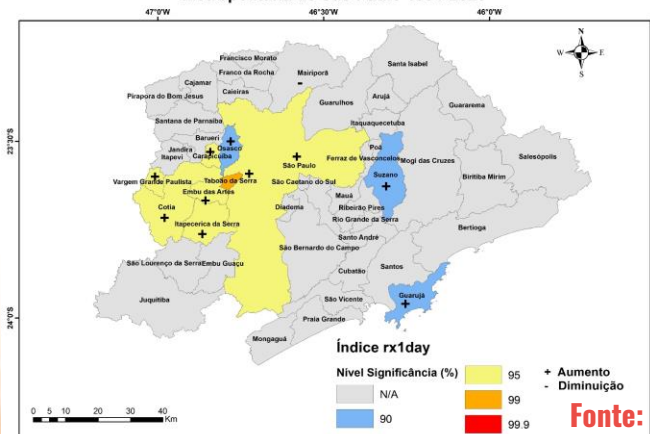


Fig. 14 Differences between the three future time slices and the historical period (1961–1990) under the RCP8.5 scenario. Left column PRCPTOT (%) and right column R95p (%). Future periods are 2011–2040 (top row), 2041–2070 (middle row), and 2071–2100 (bottom row)

LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO E SUB-REGIÕES



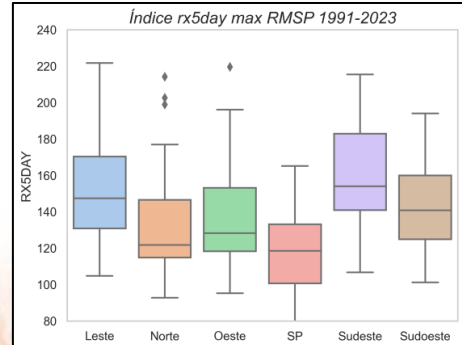
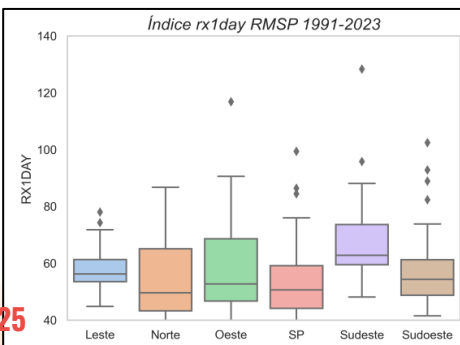
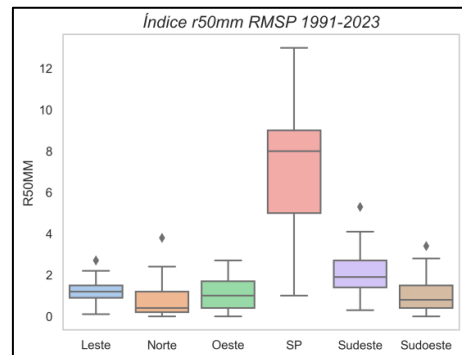
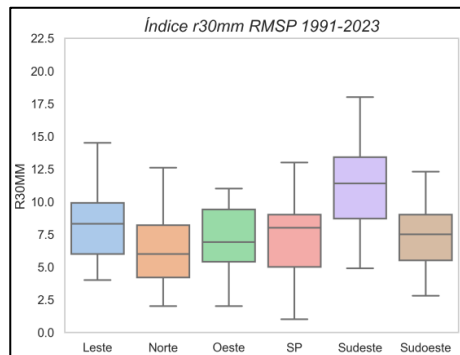
Tendência Eventos Extremos Mesorregião Metropolitana de São Paulo 1991-2023



Estudos nas sub-regiões da RMSP: Necessidade de estudos regionalizados e na escala municipal

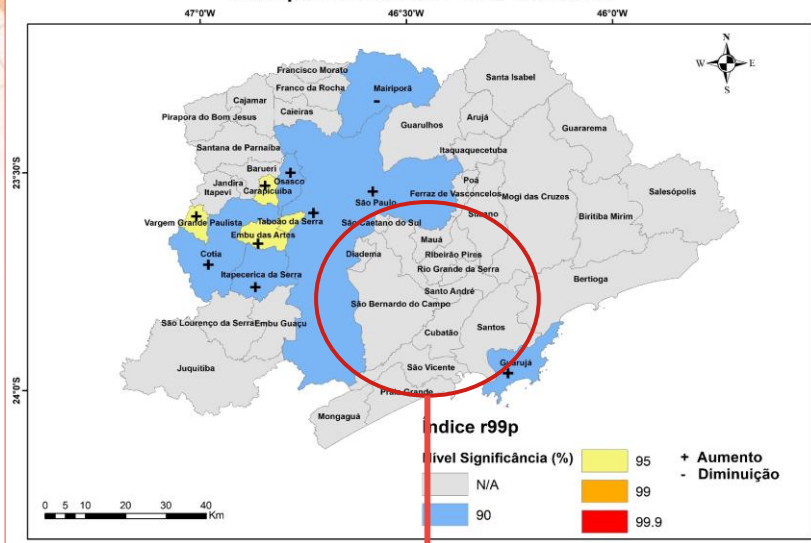
6 Sub-regiões da RMSP:

- Variabilidades climáticas diferenciadas
- Extremos climáticos diferenciados
- Impactos dos extremos climáticos



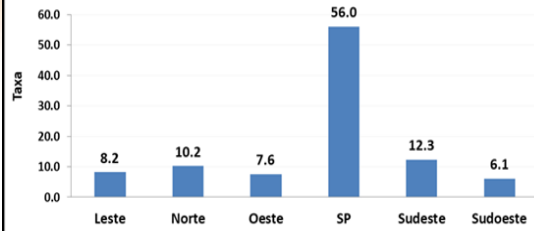
Fonte: Brambila, et al., 2025

Tendência Eventos Extremos Mesorregião Metropolitana de São Paulo 1991-2023



Estudos na sub-região do ABC Paulista no sudeste da RMSP:

Taxa de ocorrência de eventos hidro-geológicos nas sub-regiões da RMSP 2003-2023

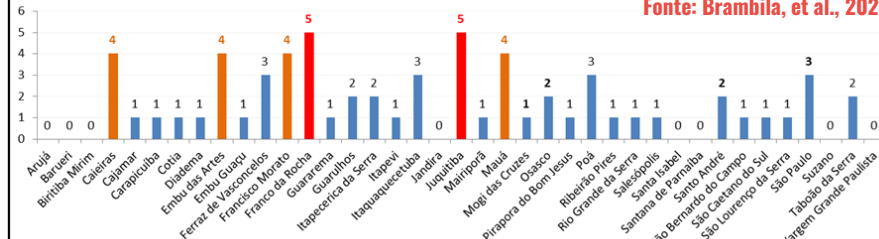


Impactos das chuvas extremas na RMSP, por Sub-região e município

Figura 6 – Taxas de ocorrência de eventos de desastres reconhecidos na RMSP para o período 2003 e 2023.

a) Desastres hidro-geológicos reconhecidos associados a precipitação nos municípios da RMSP 1991-2023

Fonte: Brambila, et al., 2025



b) Ocorrência de eventos hidro-geológicos associados a precipitação nos municípios da RMSP 1991-2023

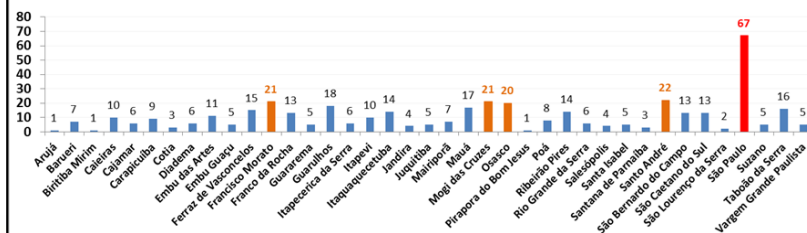


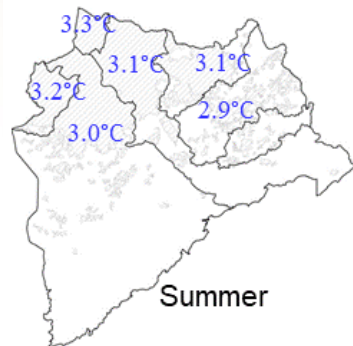
Figura 7 – Números de eventos de desastres reconhecidos (a) e o total de registros (b), nos municípios da RMSP. Fonte dos dados: Atlas Digital de desastre

Projeções nos municípios do ABC Paulista

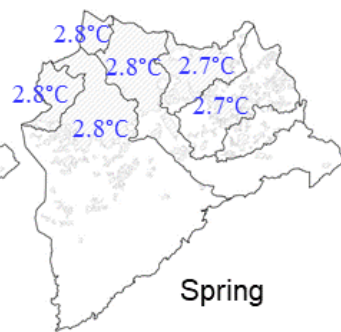
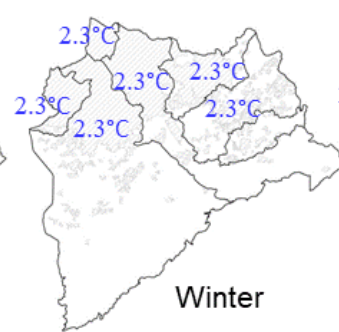
Objetivo: Poder ser utilizados para atualização do Plano de Ação Climática no ABC Paulista.

Anomalias

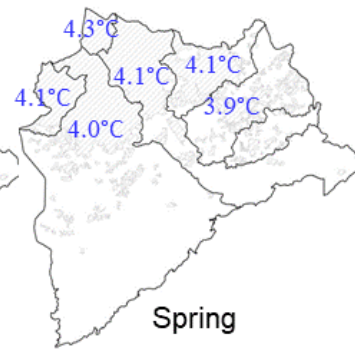
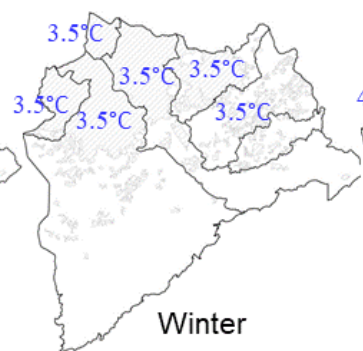
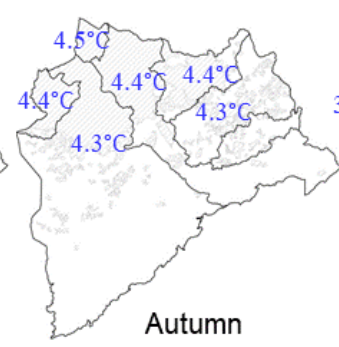
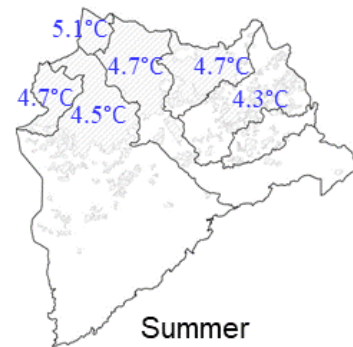
RCP 4.5



TMAX (2020 – 2040) – EtaHADcm3



RCP 8.5

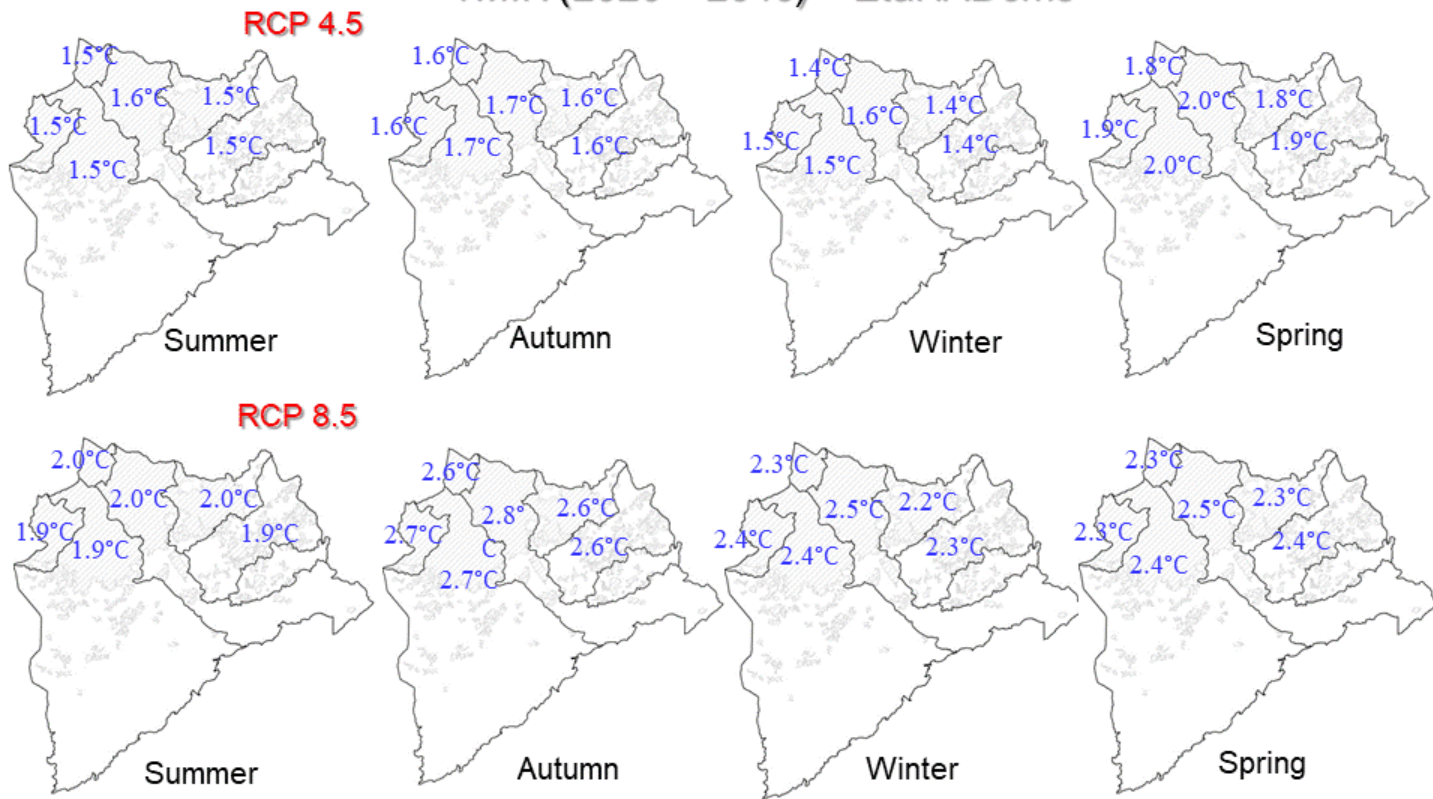


“Climate projections of precipitation and temperature in cities from ABC Paulista, in the Metropolitan Region of São Paulo - Brazil”

Fonte: Valverde, et al., 2023

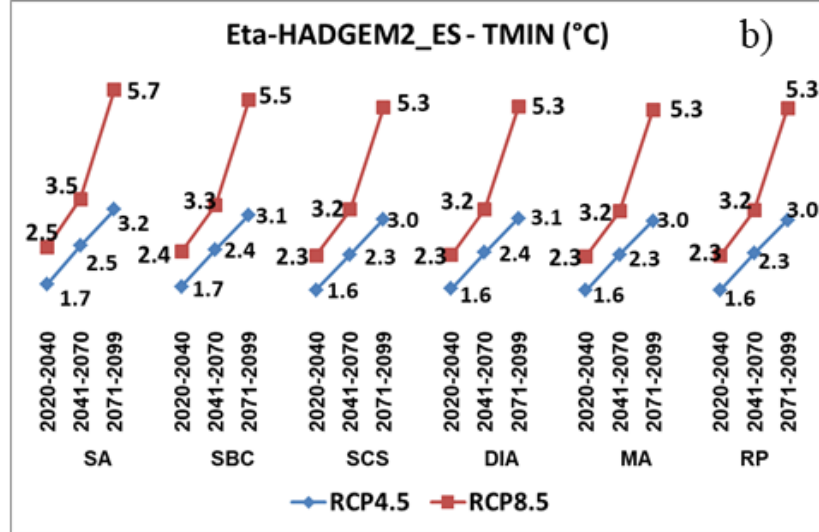
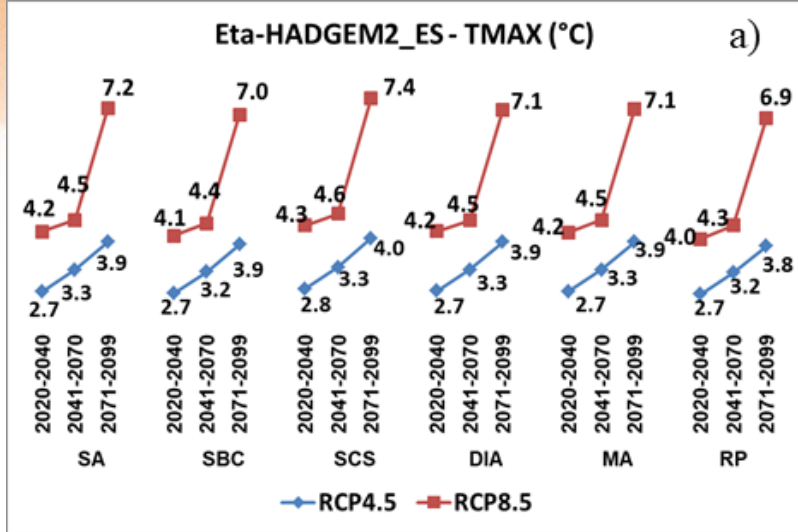
Projeções nos municípios do ABC Paulista

TMIN (2020 – 2040) – EtaHADcm3

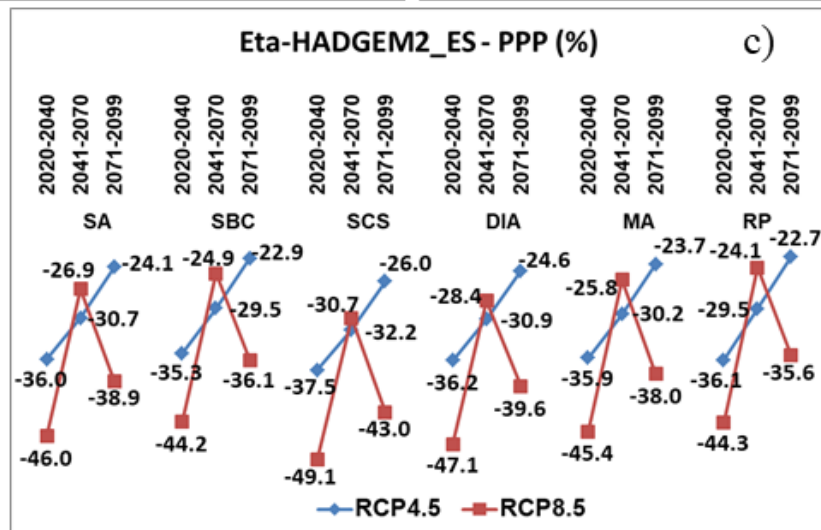


Fonte: Valverde, et al., 2025

Anomalias



Para três *time slices* e dois cenários de emissões e para os municípios do ABC Paulista

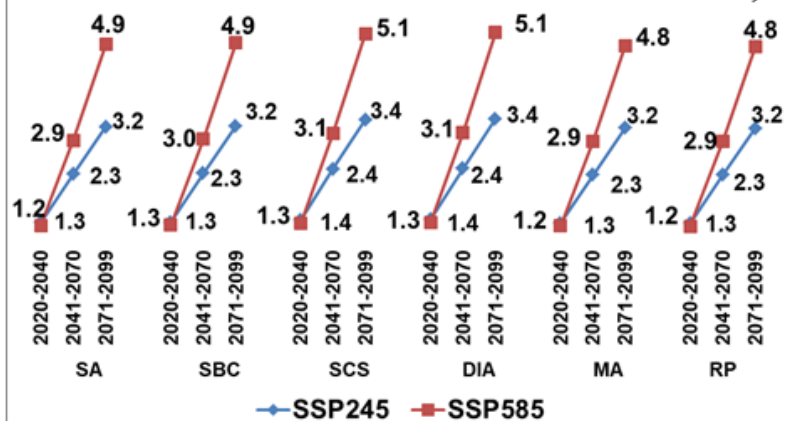


Porcentagens

Fonte: Valverde, et al., 2023

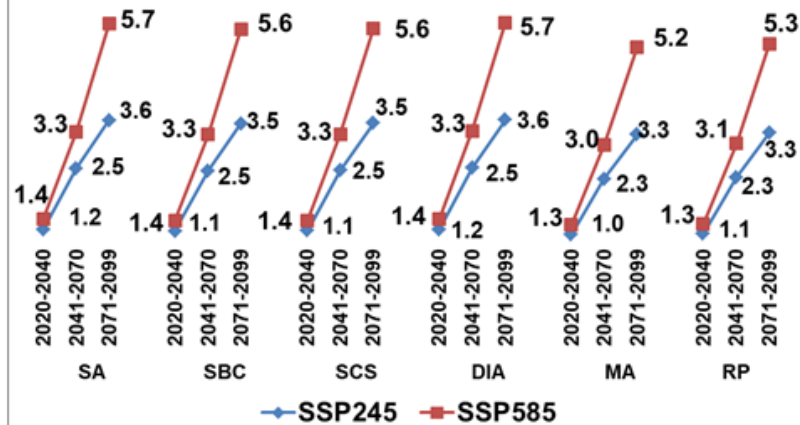
CNRM-CM6-1-HR - TMAX (°C)

a)



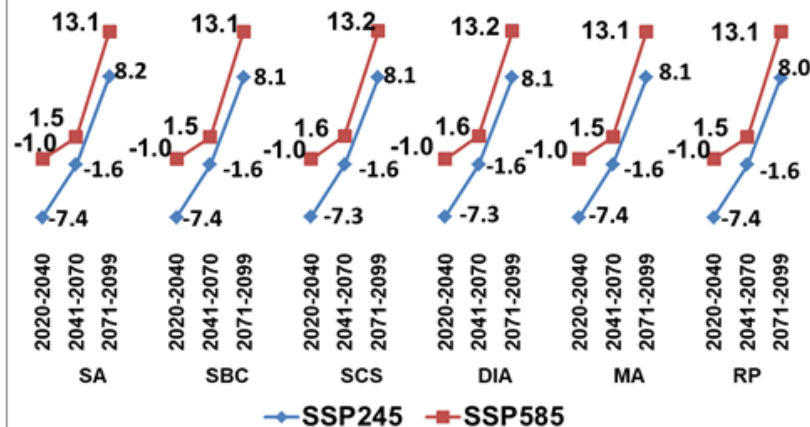
CNRM-CM6-1-HR - TMIN (°C)

b)



CNRM-CM6-1-HR - PPP (%)

c)



Modelo Global:
CNRM-CM6-1-HR (50 km X 50 km)

Diferenças em relação ao
modelo regional.

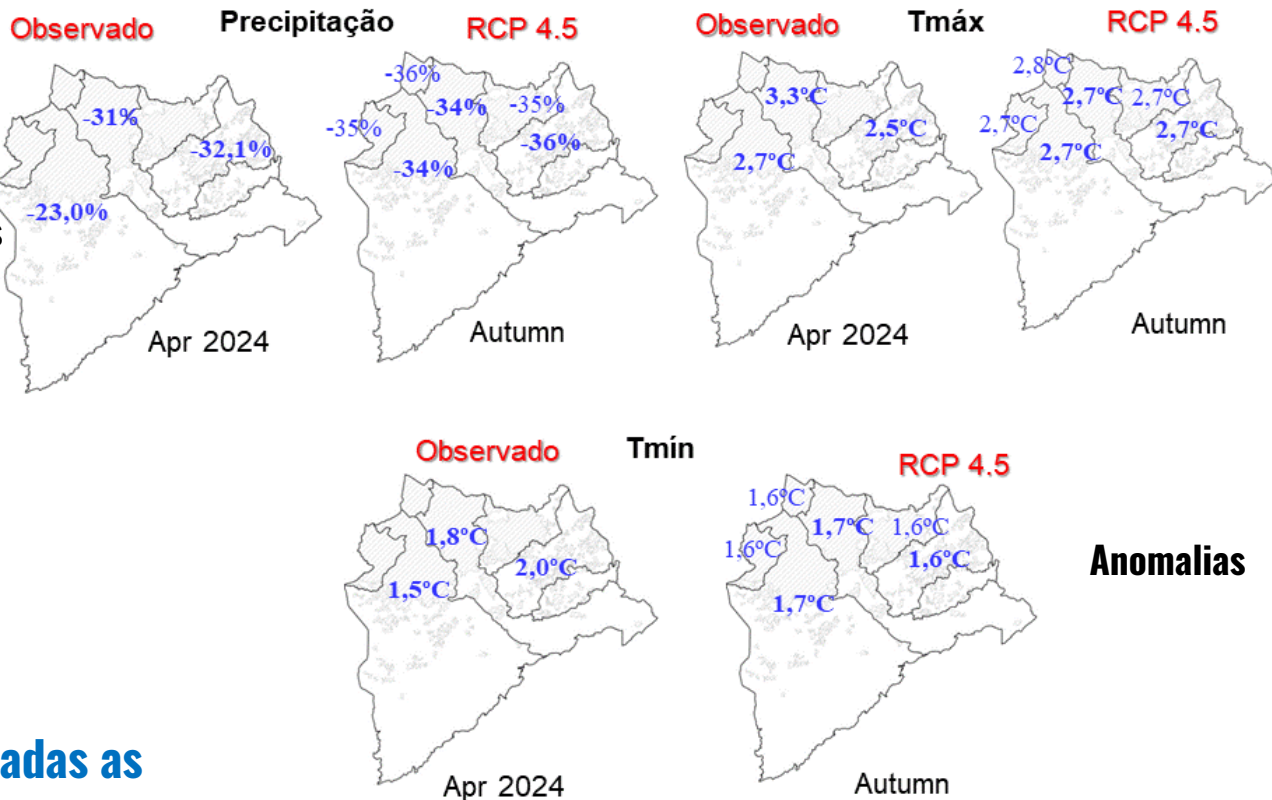
Comparação com o ano de 2024

Porcentagens

Ano 2024

- O ano mais quente já registrado, com cerca de 1,55°C acima dos níveis pré-industriais (WMO, 2025)
- Ocorrência do El Niño
- 6 Ondas de Calor atingindo o Sudeste do Brasil

**Como são
apresentadas/utilizadas as
projeções climáticas aos
Gestores Municipais
(Tomadores de Decisões)?**



Ameaças Climáticas Atuais (Riscos Climáticos)

Ameaças Climáticas Futuras (Previsões e Projeções)

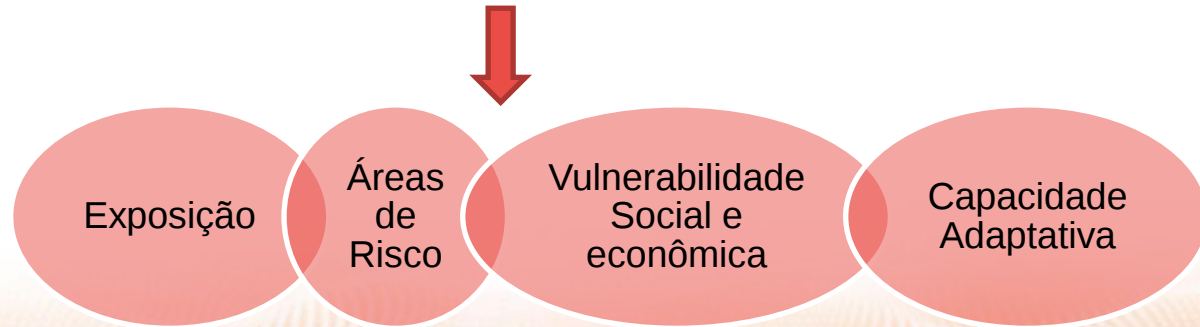


☐ Incrementos das Chuvas (inundações, enxurradas, deslizamentos)

☐ Sistemas atmosféricos mais intensos e frequentes, exemplo: Ciclones Extratropicais (ventanias, rajadas, tormenta de areia, raios e trovões)

☐ Ondas de Calor (intensificação das ilhas de calor, modificações na brisa, poluição, conforto térmico, etc.)

Efeito Multiplicado



Avaliação de risco A identificação e avaliação de risco é um dos principais passos que vai nortear as demais etapas do processo de gestão. A avaliação de risco, conforme a Figura , envolve basicamente o inventário dos perigos naturais (P), o estudo da vulnerabilidade (V) e o mapeamento das áreas de risco (R)

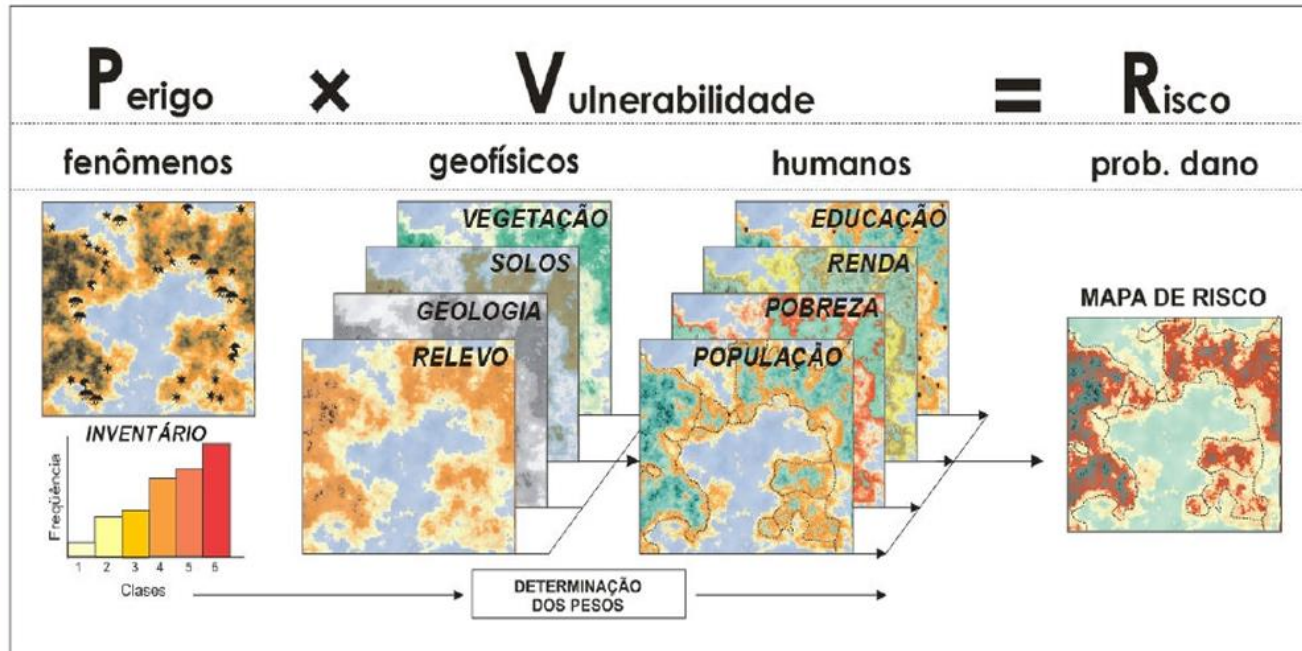
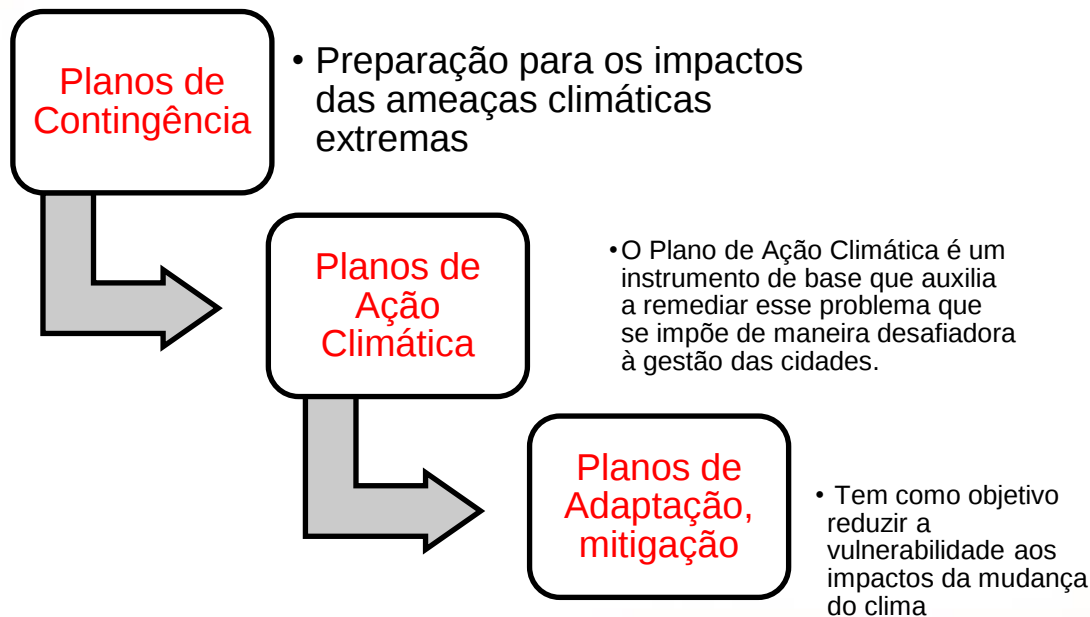


Figura 16 – Parâmetros que envolvem uma análise de risco.

Questionamentos: As cidades estão preparadas?

- Os planos diretores das cidades incluem informações climáticas para organizar o seu espaço físico?
- Os gestores conseguem entender o que são cenários de emissões futuras?
- Por que ainda a Emergência Climática é um assunto que parece ser relevante na agenda política, mas não é?

Governança Municipal : Desafio na Gestão do Risco



Ciclo para elaboração de um plano de adaptação municipal

Primeira Edição (2021)



Figura 9. Etapas para a elaboração do plano de adaptação e resiliência à mudança do clima



1



O ciclo se inicia com a **aplicação da lente climática**, que consiste na interpretação de dados climáticos existentes a fim de identificar como a mudança do clima pode afetar o município ou a região e seus objetivos de desenvolvimento. Neste passo, são definidos os temas prioritários para a adaptação e a construção de resiliência no território e o escopo do planejamento, com o delineamento de objetivos específicos preliminares para o plano.

2



Após essa análise inicial, é preciso conduzir uma **avaliação do risco climático** para verificar esses aspectos com mais profundidade, de modo a determinar os objetivos específicos que efetivamente farão parte do plano.

3



A seguir, são identificadas possíveis **medidas de adaptação e resiliência** capazes de reduzir os riscos climáticos encontrados no passo anterior, de acordo com os objetivos estabelecidos.

4



O passo seguinte é **selecionar**, entre as medidas identificadas, aquelas que serão implementadas, definindo sua **prioridade**.

5



Em seguida, deve ser elaborado o plano de ação para a **implementação** das medidas selecionadas e priorizadas.

6



Então, é preciso planejar as ações de **monitoramento e avaliação** das medidas, que permitirão realizar os ajustes necessários para garantir, ao longo da implementação do plano, o cumprimento dos objetivos definidos, bem como visualizar os resultados e as lições aprendidas no processo.

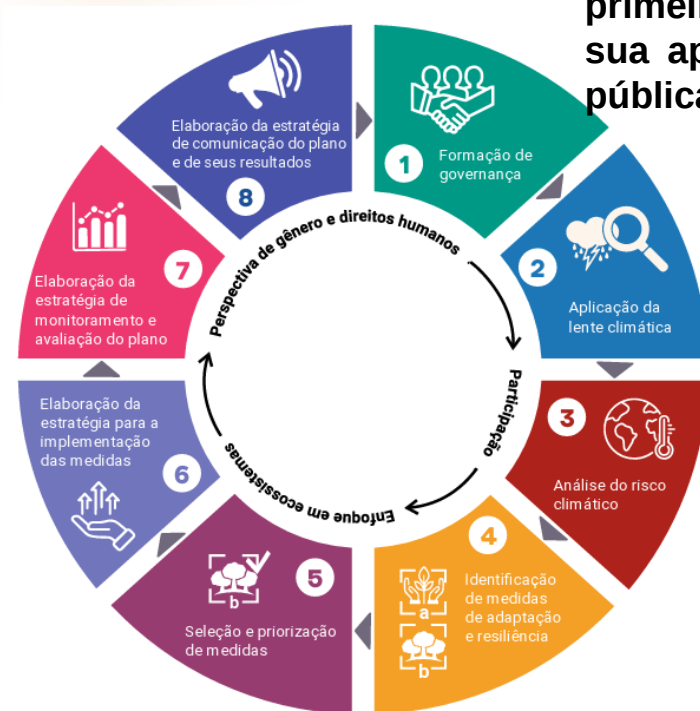
7



Por fim, a proposta é elaborar uma **estratégia para a comunicação** do plano e de seus resultados.

Ciclo para elaboração de um plano de adaptação municipal

Segunda Edição (2023)
(Aprimoramento)



Inclusão da Governança como primeira fase do plano → Garante a sua aplicação através de políticas públicas

Fonte: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://smastr16.blob.core.windows.net/municipiosresilientes/sites/257/2023/06/guia_-pmpr_2a-edicao_2023.pdf

Lente Climática - Aplicação: (Exemplo para a cidade de SP)

Matriz 2. Aplicação da lente climática – exemplo de preenchimento (continuação)

Clima: Qual o tipo de clima e suas características quanto à temperatura e precipitação? Descreva o comportamento dos principais indicadores, tais como temperatura, precipitação, número de dias sem chuva e número de dias no ano com chuvas acima de 25 mm. Quais as principais tendências das alterações climáticas (projeções) para a região? Quais os principais efeitos sobre a população, a economia, a biodiversidade, a infraestrutura, etc.?

Fontes de dados recomendadas: [Projeta, Centro de Estudos da Metrópole \(CEM\)](#), [Dados Ambientais – Ministério do Meio Ambiente](#), [Instituto Nacional de Meteorologia \(INMET\)](#)

Dados básicos:

- Tipo climático.
- Temperatura média anual.
- Precipitação média anual.
- TNn – Menor temperatura mínima anual.
- TXx – Maior temperatura máxima anual.
- CDD – Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano.
- PREC – Precipitação.
- UR2M – Umidade relativa do ar a 2 metros da superfície.

Características e condições atuais:	Tendências:
O clima na região é sazonal tropical úmido (a pluviosidade média anual é de 1.818 mm). A temperatura média anual não apresenta grandes variações ao longo do ano – os valores médios mensais oscilam de 19,5 °C (junho) a 25,9 °C (fevereiro). Os meses de verão são aqueles que possuem maiores valores médios, enquanto os meses de inverno são os mais secos, porém com valores médios de precipitação superiores a 60 mm no mês. Atualmente, a região vem sofrendo períodos de estiagem mais longos, prejudicando as culturas de mandioca e milho, especialmente dos produtores familiares e de quilombolas. Os baixos índices de Umidade Relativa do Ar (URA) têm potencializado a ocorrência de incêndios florestais e a fuligem residual desse processo tem ocasionado problemas respiratórios em crianças e idosos. Os impactos desse perigo climático também são observados na redução da biodiversidade em algumas áreas protegidas e na produção de água.	As projeções climáticas indicam um aumento entre 4 °C e 6 °C da temperatura média anual até o ano de 2050 e uma redução da precipitação anual em cerca de 25% em comparação com a média climatológica de 1960-1990. Também se prevê um aumento dos eventos extremos de precipitação. Os efeitos principais serão: maior desconforto térmico causado pelo calor e pela redução das chuvas; perdas na agricultura, diminuindo a segurança alimentar e nutricional, especialmente das pessoas quilombolas e produtores/as familiares; maior insegurança hídrica e piora das condições climáticas para as atividades econômicas e sociais.

Quantos municípios conseguem ter essas informações climáticas para iniciar a elaboração de um plano?

Quantos municípios tem ausência de estações meteorológicas em seu território?

Como será possível validar ou ajustar uma projeção climática sem informação in situ?

Fonte: chrome-extension://efaidnbmn
nribpcajpcglclefindmk
aj/https://smastr16.blo
b.core.windows.net/mu
nicipiosresilientes/sites
/257/2023/06/guia_-
pmpr_2a-
edicao_2023.pdf

Considerações Finais

- Importância de gerar projeções climáticas de alta resolução que incluam a malha urbana (expansão, fontes antrópicas, etc.) para poder ser utilizadas na escala municipal;
- Isso possibilita conhecer os riscos climáticos na escala municipal, do contrário não tem como mitigar ou adaptar;
- A confiabilidade, validação, calibração e incerteza das projeções devem ser tratadas de forma clara e transparente quando tratamos das projeções climáticas.;
- Como a identificação dos riscos climáticos através das projeções futuras podem orientar políticas públicas municipais para planos de adaptação e mitigação?
- Olhar do Gestor → reconhecer a problemática e a sua importância → Implementação e aplicação de políticas públicas para adaptação e mitigação para o município.

Muito Obrigada!