



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA  
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA APLICADA



MILENA LUMI HANGAI

**Um estudo sobre as bases da construção dos cenários do IPCC,  
segundo o sexto relatório AR6 e comparação com dados obtidos  
para Campinas - SP**

Campinas  
24/11/2023

MILENA LUMI HANGAI

**Um estudo sobre as bases da construção dos cenários do IPCC,  
segundo o sexto relatório AR6 e comparação com dados obtidos  
para Campinas - SP**

Monografia apresentada ao Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção de créditos na disciplina Projeto Supervisionado, sob a orientação do(a) Prof. Ana Maria Heuminski de Ávila.

## Resumo

A monografia aborda a importância da análise de projeções climáticas, destacando sua importância na compreensão e gestão dos riscos associados às mudanças climáticas. O foco principal do estudo é o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). É estudada também a evolução dos relatórios do IPCC do AR4 ao AR6. Há uma análise para a região de Campinas - São Paulo, utilizando projeções climáticas do IPCC para as variáveis meteorológicas de temperatura máxima, mínima e precipitação. A comparação com dados locais e a análise de tendências obtidas na última monografia da disciplina MS777, realizada no 1º semestre de 2023, reforçam a consistência entre as projeções globais previstas pelo IPCC. O estudo contribui para uma compreensão mais aprofundada das projeções climáticas em uma região específica.

## Abstract

The monograph addresses the importance of analyzing climate projections, emphasizing their role in understanding and managing risks associated with climate change. The main focus of the study is the Sixth Assessment Report (AR6) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The evolution of IPCC reports from AR4 to AR6 is also examined. There is an analysis for the Campinas - São Paulo region, using IPCC climate projections for meteorological variables such as maximum and minimum temperatures and precipitation. The comparison with local data and the trend analysis obtained in the last monograph of the MS777 course, conducted in the first semester of 2023, reinforce the consistency between the global projections provided by the IPCC. The study contributes to a deeper understanding of climate projections in a specific region.

# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Evolução dos relatórios</b>	<b>7</b>
2.1	AR4 . . . . .	8
2.2	AR5 . . . . .	11
2.3	AR6 . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Projeção para a região de Campinas-SP</b>	<b>17</b>
3.1	Temperatura máxima . . . . .	18
3.2	Temperatura mínima . . . . .	20
3.3	Precipitação (RX1day) . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Comparação com os resultados de MS777</b>	<b>24</b>
4.1	Precipitação RX1day . . . . .	26
4.2	Temperatura máxima . . . . .	26
4.3	Temperatura mínima . . . . .	28
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>30</b>

# 1 Introdução

A análise de projeções climáticas assume um papel de extrema relevância na sociedade, pois desempenha um papel fundamental na compreensão e controle dos perigos associados às mudanças climáticas. Tais projeções permitem a antecipação dos impactos climáticos que se aproximam, ao identificar ameaças de eventos extremos como inundações, estiagens, tempestades e ondas de calor. Simultaneamente, essas projeções são cruciais para traçar estratégias de adaptação da sociedade às exposições dos perigos climáticos.

Em um contexto de mudanças climáticas em ascensão, o entendimento dos cenários climáticos disponibiliza informações essenciais para o preparo e reação a fenômenos climáticos extremos, tornando-se de extrema importância. Diante disso, o estudo de projeções climáticas é uma ferramenta essencial para a gestão de riscos relacionados às mudanças no clima.

O International Panel on Climate Change (IPCC) é responsável por sintetizar o conhecimento científico relacionado às mudanças climáticas, abrangendo suas origens, impactos e estratégias de mitigação e adaptação. Reunindo especialistas de diversas partes do mundo, o IPCC desempenha um papel fundamental quando se trata de cenários climáticos, fazendo parte da elaboração de cenários de projeções climáticas e pela publicação de relatórios de avaliação periódicos (a cada aproximadamente 7 anos) que resumem os principais resultados da pesquisa climática.

Neste trabalho, será estudado o Sexto Relatório de Avaliação ou Assessment Report 6 (AR6) do IPCC, publicado em 2021-2023. Os relatórios de avaliação publicados pelo IPCC levam em consideração diversas variáveis, como por exemplo, o ciclo de carbono, aerossóis, vegetação dinâmica, química da atmosfera, etc. (CHOU; ÁVILA, 2008)

O AR6 enfatiza que o aquecimento global é inquestionavelmente resultado da atividade humana e alerta que estamos em direção a um aumento de temperatura de 1,5°C até 2030. O relatório destaca os efeitos significativos das mudanças climáticas, como eventos extremos, aumento do nível do mar e perda de biodiversidade. Além disso, destaca a necessidade de ações imediatas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e adaptar-se às mudanças climáticas.

Após o estudo do AR6, será feita uma análise comparativa de resultados. Serão comparados os dados e as tendências obtidas a partir da análise de séries temporais, previamente elaborada na disciplina MS777. Então, estes dados, serão confrontados com as projeções dadas pelo IPCC, gerando uma melhor compreensão sobre os cenários futuros para as cidades estudadas (Campinas, São Paulo e Piracicaba).

## 2 Evolução dos relatórios

A construção dos relatórios do IPCC é feita através do estudo de três grupos de trabalho compostos por cientistas de alto nível de todo o mundo, independentes e também ligados a organizações e governos, além de uma força tarefa e uma unidade de apoio técnico. O resultado dos estudos é compilado e sintetizado para divulgar o conhecimento sobre os impactos do aquecimento global para o meio ambiente e para a vida, evidenciando quais as causas e efeitos e possíveis soluções que possam diminuir os danos sofridos.

O grupo de trabalho I é responsável por avaliar os aspectos das mudanças climáticas e referem-se aos riscos e impactos associados, por exemplo, ao aumento da temperatura, à desertificação, à diminuição da precipitação, à perda de biodiversidade, à degradação dos solos e das florestas, ao recuo glacial e aos impactos relacionados, à acidificação dos oceanos, à subida do nível do mar e à salinização (IPCC, 2023). O grupo de trabalho II avalia a vulnerabilidade socioeconômica diante dos efeitos do aquecimento global e é separado por região e por tema, como alimentação, ecossistema, indústria, saúde, entre outros (IPCC, 2023). O grupo de trabalho III fica responsável por formular estratégias de resposta (mitigação, redução e adaptação) frente aos problemas causados pelas mudanças climáticas (IPCC, 2023).

Portanto, com a formulação dos relatórios a partir do trabalho conjunto dos 3 GT's, o IPCC tem desempenhado um papel importante na assistência aos governos e tomadores de decisões ao avaliar as informações científicas disponíveis sobre a mudança climática.

Neste trabalho é apresentada a evolução dos relatórios publicados pelo IPCC. Desde a criação da organização em 1988 foram publicados 6 relatórios. Cada um de-

les possui pontos que atraem mais atenção em temas diferentes, tudo de acordo com a evolução dos estudos e descoberta de novos problemas, impactos e tratativas.

O primeiro relatório, finalizado em 1990, apontou que o planeta sofreu um aumento de 0.3 a 0.6 °C desde o período pré-industrial e estimou que durante o século 21 poderia haver um aumento de 0.3°C por década (IPCC, 2023). Atualmente, com o sexto relatório, espera-se limitar o aumento da temperatura global a 1.5°C até 2030 e este resultado já representa um risco de destruição para alguns ecossistemas (IPCC, 2023).

Segundo o Hoegh-Guldberg et al. (2018), dependendo das futuras condições socioeconômicas, limitando o aquecimento para 1,5°C, em comparação com 2°C, pode reduzir a proporção de a população mundial exposta a um aumento induzido pelas alterações climáticas no estresse hídrico em até 50%, embora haja uma variabilidade considerável entre regiões (confiança média). Os impulsionadores socioeconômicos, no entanto, são esperados ter uma influência maior sobre esses riscos do que as mudanças no clima (confiança média).

Diante disso, será feita uma análise mais detalhada de cada um dos relatórios a partir do AR4 até o AR6.

## **2.1 AR4**

No Quarto Relatório de Avaliação (AR4), divulgado em 2007, há os Special Report on Emissions Scenarios (SRES), que são cenários agrupados em 4 famílias de cenários (A1, A2, B1 e B2) que exploram diferentes caminhos de desenvolvimento (IPCC, 2007). De acordo com AR4, os SRES desempenham um papel crucial na construção de cenários que incorporam diversas variáveis, como as demográficas, econômicas e tecnológicas, resultando na projeção de cenários que abrangem diferentes níveis de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

O cenário A1 é caracterizado por um crescimento econômico muito rápido, uma população global que atinge o seu pico no meio do século e, em seguida, começa a declinar, bem como a rápida introdução de novas e mais eficientes tecnologias (IPCC, 2007). O cenário A1 se divide em três subgrupos que descrevem diferentes direções no que diz respeito à mudança tecnológica no sistema energético. Esses três grupos são diferenciados pelo seu foco tecnológico:



1. Fossil Intensive (A1FI): Neste grupo, a ênfase recai na continuação do uso intensivo de combustíveis fósseis, como carvão, petróleo e gás natural, para atender às demandas energéticas.

2. Non-fossil Energy Sources (A1T): Aqui, o foco é na transição para fontes de energia não fósseis, como energias renováveis (eólica, solar, hidrelétrica, etc.) e nucleares, visando reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

3. A Balance Across All Sources (A1B): Esse grupo busca um equilíbrio entre as diversas fontes de energia, combinando tecnologias tanto de fontes fósseis quanto não fósseis, visando uma abordagem mais diversificada e equilibrada no sistema energético.

Já o cenário A2, é caracterizado por um mundo bem heterogêneo, com um grande crescimento populacional, desenvolvimento econômico e tecnológico lentos (IPCC, 2007).

O cenário B1 descreve um mundo convergente, com uma população global que atinge seu pico no meio do século e diminui a partir desse ponto, semelhante ao cenário A1. No entanto, o cenário B1 se distingue por apresentar mudanças econômicas rápidas, com reduções na intensidade de uso de materiais e a introdução de tecnologias limpas e eficientes em recursos (IPCC, 2007).

Por fim, o cenário B2 representa um mundo que prioriza a sustentabilidade econômica, social e ambiental por meio de soluções locais e regionais, com um crescimento populacional constante, desenvolvimento econômico intermediário e mudanças tecnológicas mais lentas e diversas em comparação com outros cenários (IPCC, 2007).

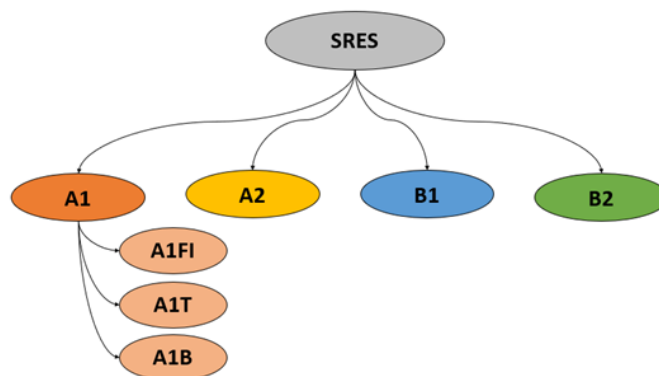


Figura 1: Resumo dos SRES. Fonte: Arquivo Pessoal (2023)

A partir dos cenários apresentados foram feitas projeções para os próximos anos

com os possíveis impactos e resultados das mudanças climáticas para o planeta. Abaixo encontram-se os gráficos para a emissão de GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), a temperatura média global e a precipitação global, de acordo com o AR4.

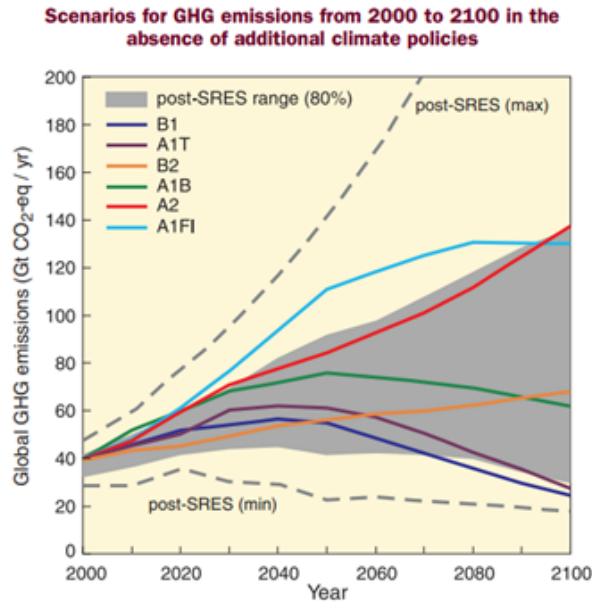


Figura 2: Projeção das emissões em diferentes cenários. Fonte: Synthesis Report AR4

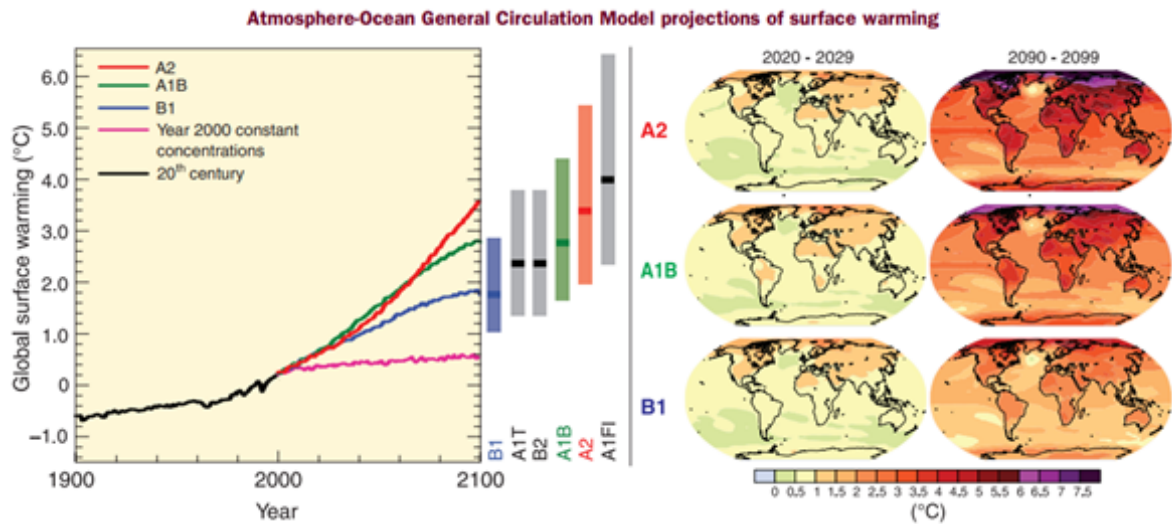


Figura 3: Aumento da temperatura da superfície em diferentes cenários. Fonte: Synthesis Report AR4

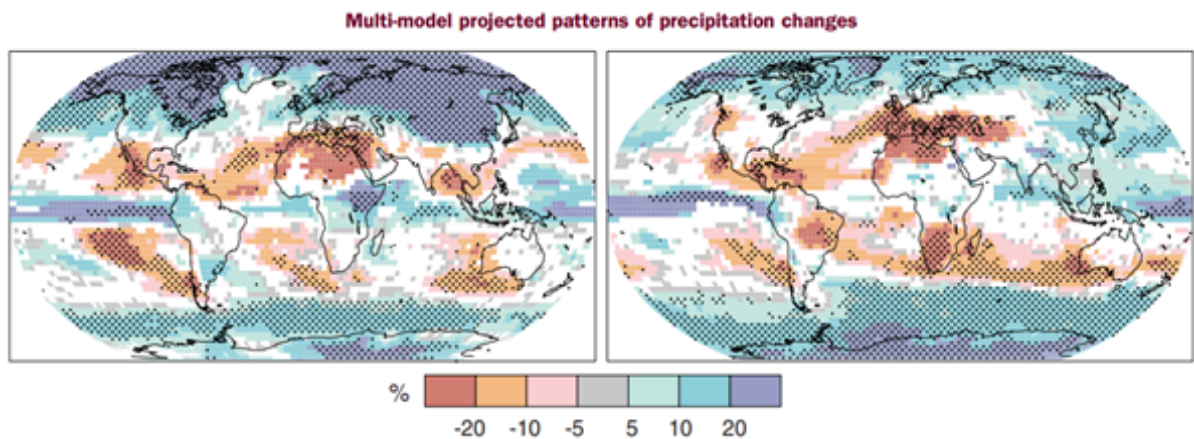


Figura 4: Projeção dos modelos de precipitação. Fonte: Synthesis Report AR4

## 2.2 AR5

De forma semelhante ao AR4, no AR5, divulgado em 2014, há diferentes cenários chamados Representative Concentration Pathways (RCPs). Estes, são conjuntos de cenários mais completos que os cenários do Special Report on Emissions Scenarios (SRES) utilizados no relatório anterior. A principal diferença entre as projeções do AR4 para o AR5, são que os RCPs incluem cenários com políticas climáticas.

No Quinto Relatório de Avaliação, há 4 cenários diferentes: RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 e RCP2.6. Em termos de comparação, o RCP8.5 é comparável ao cenário SRES A2/A1FI, RCP6.0 ao B2 e RCP4.5 ao B1 (IPCC, 2014). A diferença entre os RCPs está nas políticas de emissões de GEE que eles representam. Portanto, eles fornecem uma variedade de cenários para entender como as mudanças climáticas podem evoluir com base em diferentes ações humanas e políticas.

Assim, o RCP2.6 representa o cenário ideal e quase utópico, com reduções significativas nas emissões de GEE, resultando em uma limitação do aquecimento global a valores abaixo de 2°C em relação aos níveis pré-industriais.

Já o RCP4.5 representa um cenário em que as emissões de GEE são moderadamente reduzidas. Este cenário prevê um aumento de temperatura, mas em um nível mais controlado em relação ao RCP8.5.

O RCP6.0 tem emissões de GEE intermediárias, com um aquecimento global mais

relevante que no RCP4.5, mas ainda assim, menos intensos que no RCP8.5.

Por fim, o RCP8.5 descreve um cenário de emissões muito elevadas de GEE ao longo do século atual. Este cenário prevê um aquecimento global substancial e impactos climáticos graves.

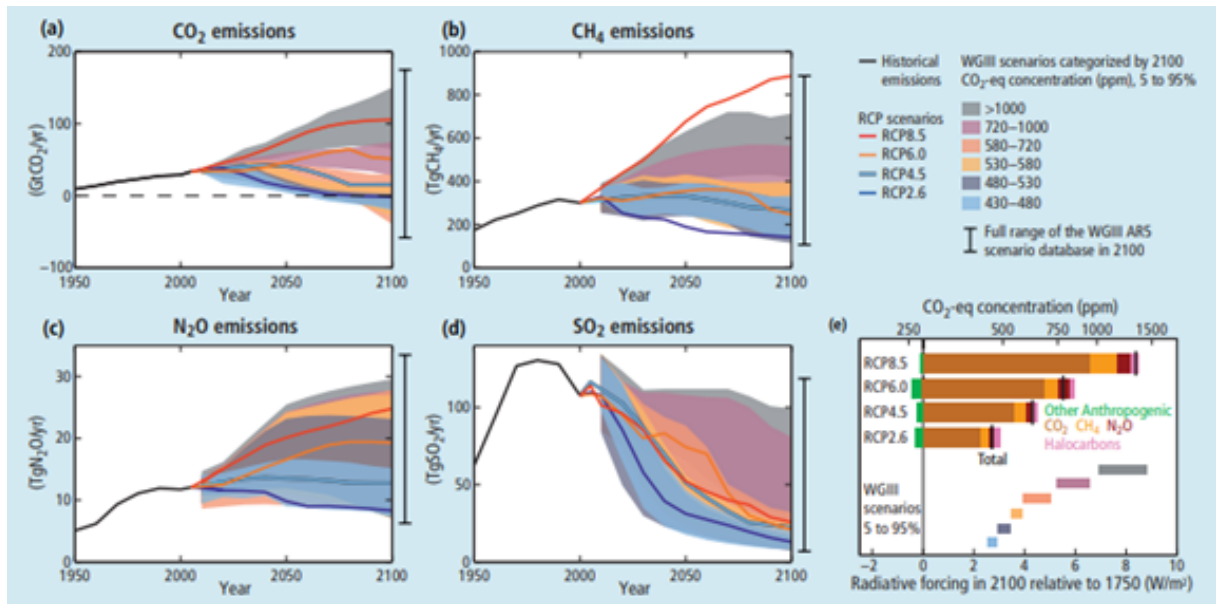


Figura 5: Emissões de gases poluentes em diferentes cenários. Fonte: Synthesis Report AR5

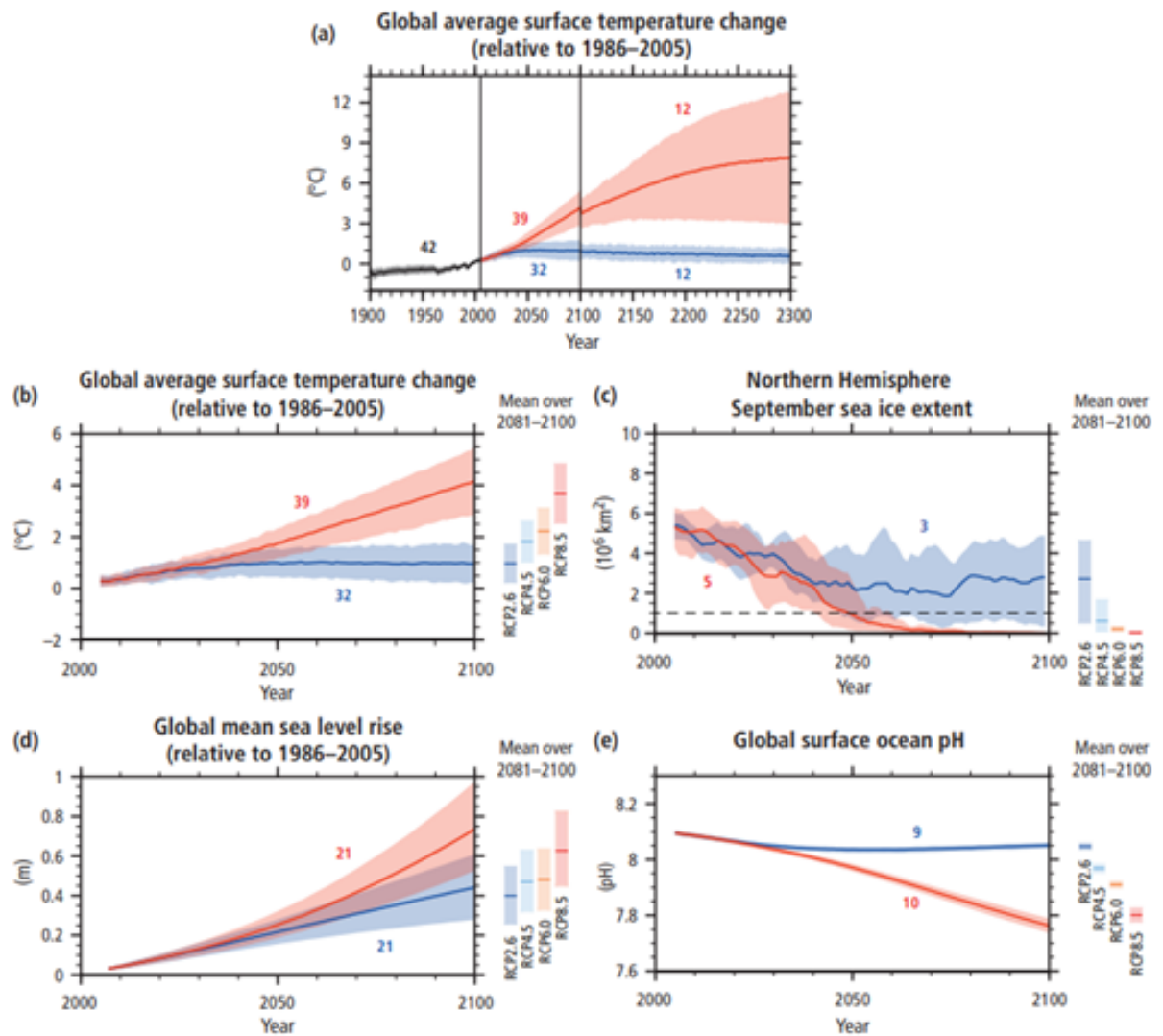


Figura 6: Diferentes aspectos climáticos para cada cenário do AR5. Fonte: Synthesis Report AR5

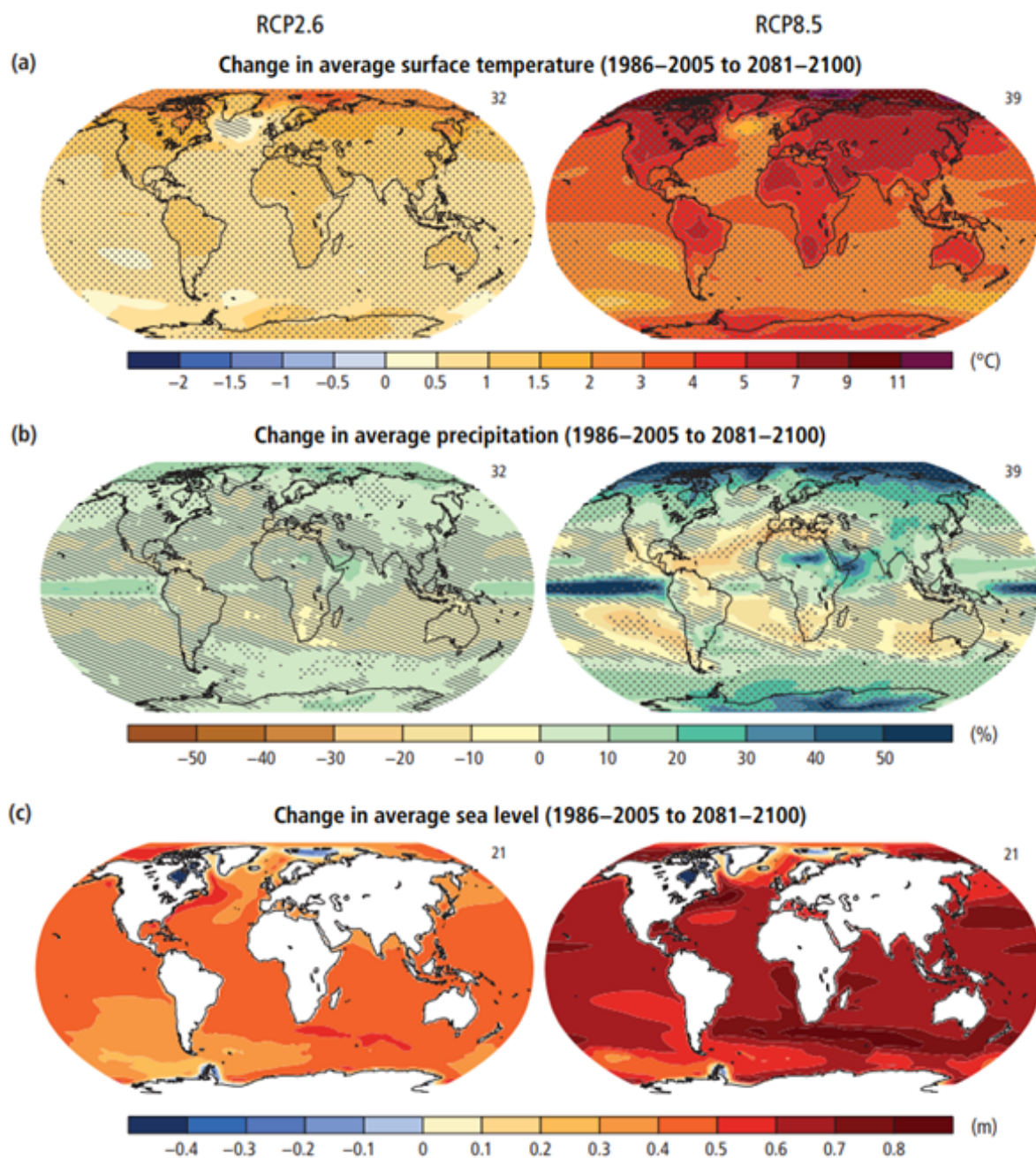


Figura 7: Mapa de mudança da temperatura, precipitação e nível do mar. Fonte: Synthesis Report AR5

## 2.3 AR6

Assim como os outros relatórios, o AR6, divulgado em 2023, possui os cenários chamados Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). Os SSPs descrevem mudanças plausíveis

em alguns aspectos da sociedade como demográfico, econômico, tecnológico, social, governamental e ambiental (O'NEILL, 2015).

A principal diferença das projeções do AR6 (SSPs) para as projeções do AR5 (RCPs), no GT II, é um maior enfoque nas variáveis socioeconômicas, demográficas e políticas que influenciam nas emissões de GEE.

No AR6, há 5 cenários diferentes: SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5. Eles podem se relacionar com os RCPs do AR5 como a tabela abaixo mostra:

**Box SPM.1, Table 1: Description and relationship of scenarios and modelled pathways considered across AR6 Working Group reports. (Cross-Section Box.2 Figure 1)**

Category in WGIII	Category description	GHG emissions scenarios (SSPx-y*) in WGI & WGII	RCPy** in WGI & WGII
C1	limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot***	Very low (SSP1-1.9)	
C2	return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot***		
C3	limit warming to 2°C (>67%)	Low (SSP1-2.6)	RCP2.6
C4	limit warming to 2°C (>50%)		
C5	limit warming to 2.5°C (>50%)		
C6	limit warming to 3°C (>50%)	Intermediate (SSP2-4.5)	RCP 4.5
C7	limit warming to 4°C (>50%)	High (SSP3-7.0)	
C8	exceed warming of 4°C (>50%)	Very high (SSP5-8.5)	RCP 8.5

Figura 8: Tabela comparativa que relaciona os cenários do AR6 com os cenários do AR5

O SSP1-1.9 representa o cenário com emissões muito baixas de GEE, com perspectiva de zerar a liberação de CO<sub>2</sub> até 2050, o que limitaria o aumento da temperatura global a 1,5°C em relação a 1850-1900.

O SSP1-2.6 representa o cenário com emissões baixas, com perspectiva de zero emissões de CO<sub>2</sub> até 2070.

O SSP2-4.5 é um cenário de emissões intermediárias em que o nível de emissão de CO<sub>2</sub> se mantém perto do patamar atual até a metade do século.

O SSP3-7.0 é um cenário de altas emissões de CO<sub>2</sub>, em que a liberação do gás carbônico dobra até 2100.

O SSP5-8.5 representa o cenário de altíssimas emissões de CO<sub>2</sub>, dobrando o nível atual de emissões até o ano de 2050.

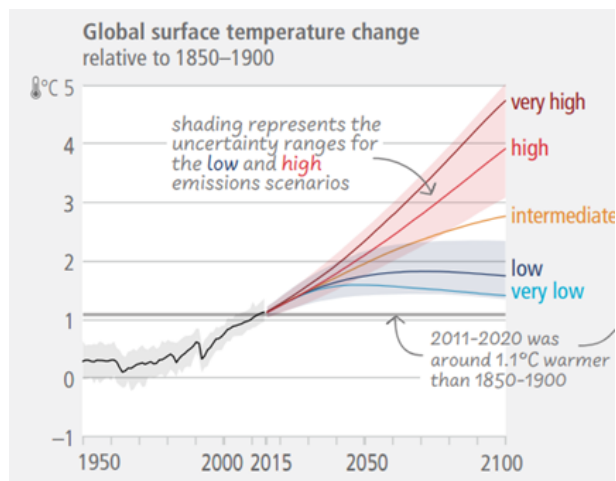


Figura 9: Projeção da temperatura da superfície em diferentes cenários do AR6. Fonte: Synthesis Report AR6

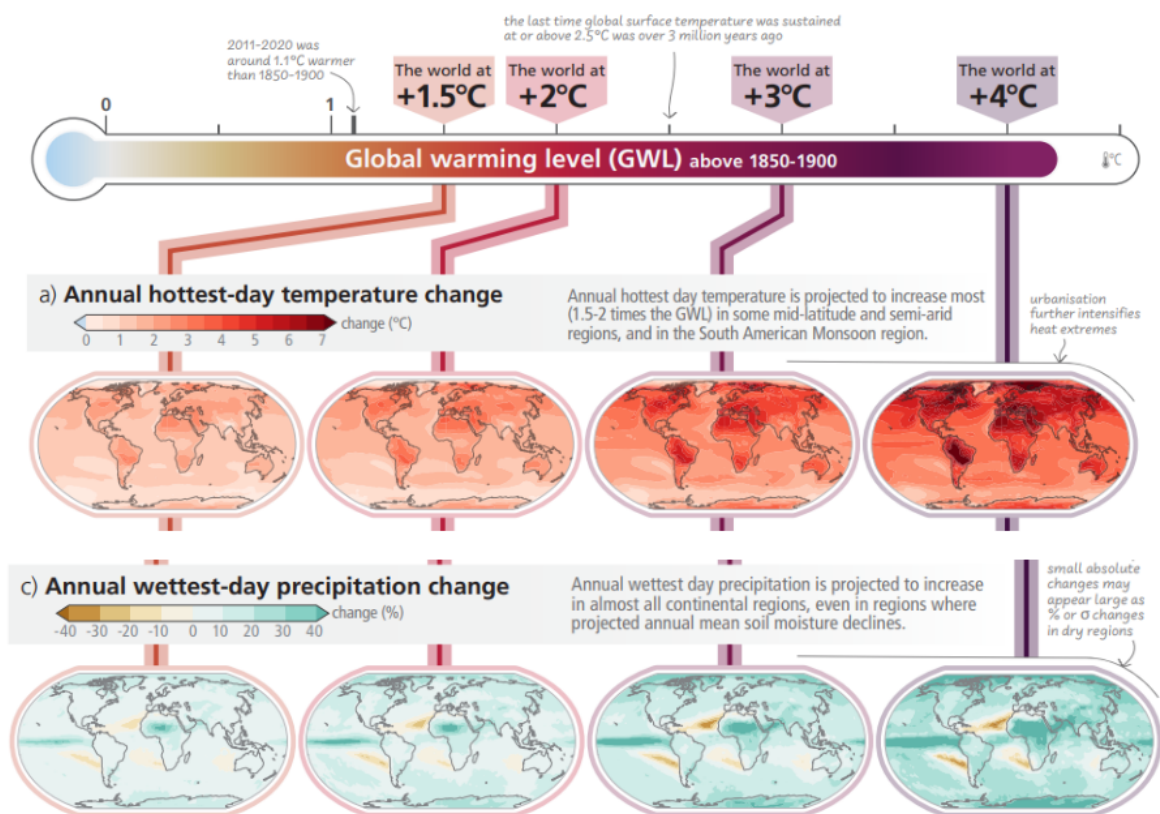


Figura 10: Esquema gráfico de projeção para diferentes aspectos climáticos. Fonte: Synthesis Report AR6



### 3 Projeção para a região de Campinas-SP

O objeto de estudo das análises deste capítulo é a região de Campinas, localizada no interior do estado de São Paulo com localização geográfica aproximada de 22°54' S e 47°03' O. A região de Campinas destaca-se por sua importância econômica e sua biodiversidade única. Diante das crescentes preocupações globais com as mudanças climáticas, é crucial examinar as projeções climáticas específicas para esta região.

Este capítulo abordará de maneira abrangente as projeções climáticas, focalizando especialmente os aspectos cruciais de temperatura máxima, mínima e precipitação. A compreensão desses parâmetros é importante para antecipar os impactos das mudanças climáticas em Campinas, possibilitando o desenvolvimento de estratégias adaptativas e a formulação de políticas sustentáveis. Ao examinar esses elementos, obtém-se uma visão mais precisa do futuro climático desta região, proporcionando informações valiosas para planejamento urbano, gestão de recursos naturais e tomada de decisões informadas.

A ferramenta utilizada para criar as projeções é o IPCC WGI Interactive Atlas: Regional information (Advanced) e caracteriza-se por análises espaciais e temporais flexíveis de grande parte das informações observadas e projetadas sobre as mudanças climáticas que sustentam a contribuição do GTI para o AR6, incluindo sínteses regionais para Impulsionadores de Impacto Climático (Iturbide, 2021)

O site para utilização da ferramenta do IPCC possui diversos parâmetros que auxiliam na criação das projeções climáticas, como a variável a ser analisada (temperatura, precipitação), o período da projeção, o cenário (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP4-8.5), a estação analisada (verão, inverno, primavera, outono e anual), o período base de comparação e os modelos matemáticos de projeção.

Para este trabalho foram definidos alguns parâmetros padrões para todas as projeções, são elas:

- Período da projeção: é o período de interesse das projeções, onde o gráfico resultante é destacado para evidenciar as informações. O período considerado é 2041-2060.
- Período base comparação: é o período de referência dos aspectos climáticos, representa o padrão do planeta Terra em termos climáticos pois se trata da época pré-industrial. O período é 1850-1900.

- Estação: os dados projetados são derivados de uma estação específica do ano, pode ser escolhido apenas o período do verão ou inverno, por exemplo. Neste caso, foi utilizado a estação “Anual” que representa a média das 4 estações do ano.
- Modelos matemáticos: os modelos matemáticos são um conjunto de equações e condições de contorno que descrevem uma situação climática quantitativamente. Existem diversos modelos disponíveis para realizar projeções. Neste trabalho foi feita a média de todos os modelos calculados pelo site do IPCC.

As variáveis projetadas são as temperaturas máximas e mínimas e a precipitação. Toda projeção é apresentada com os 4 cenários possíveis.

### 3.1 Temperatura máxima

Esta variável representa a média das temperaturas máximas diárias em um período de um ano. As projeções são mostradas nas imagens abaixo:

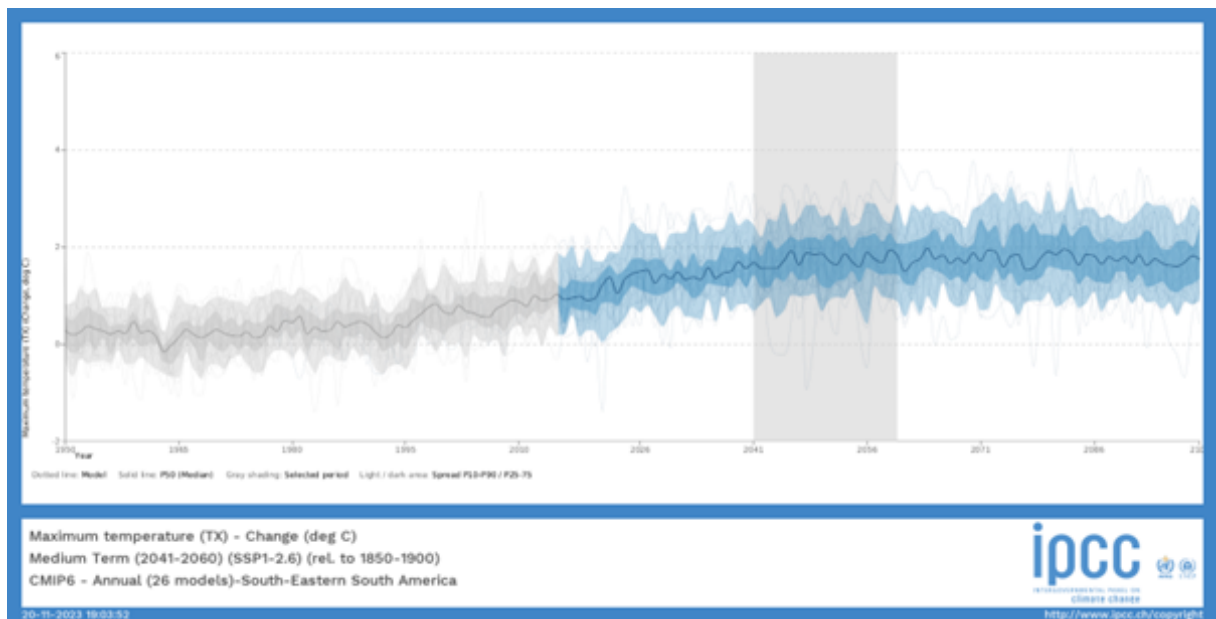


Figura 11: Projeção de temperatura máxima para o cenário SSP1-2.6. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

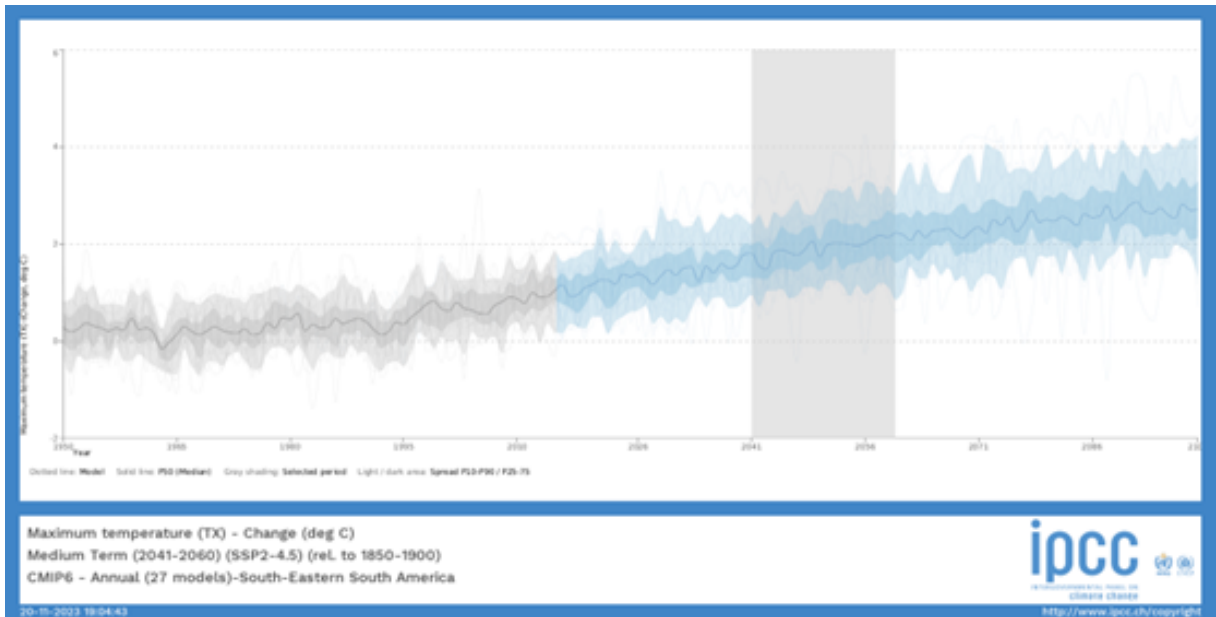


Figura 12: Projeção de temperatura máxima para o cenário SSP2-4.5. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

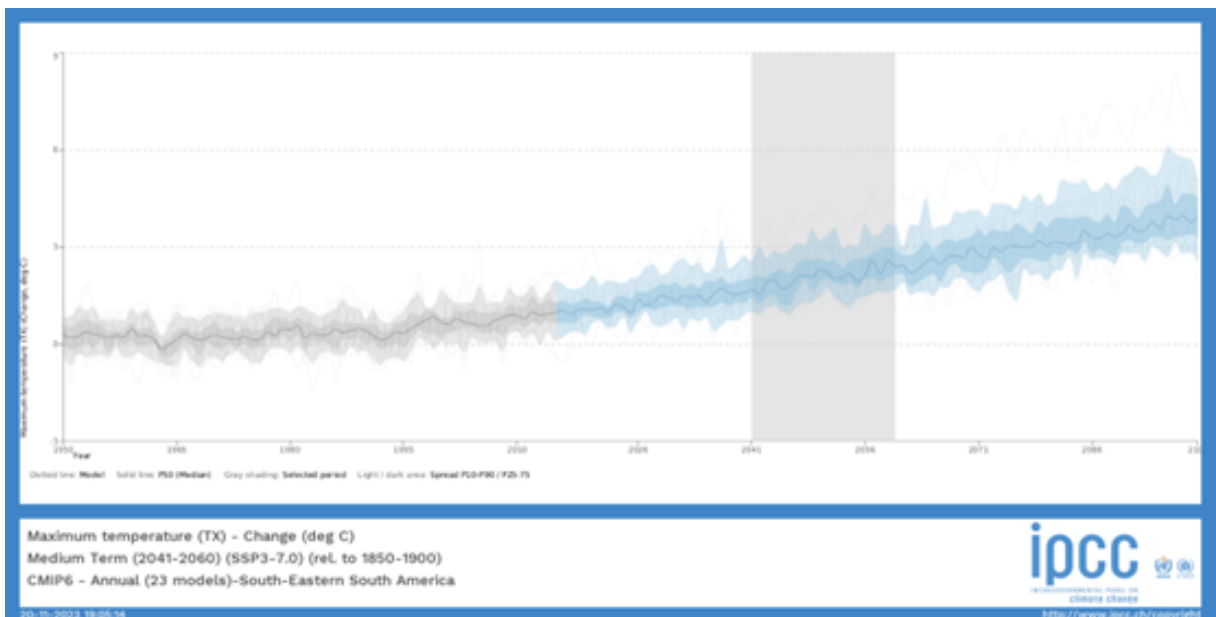


Figura 13: Projeção de temperatura máxima para o cenário SSP3-7.0. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

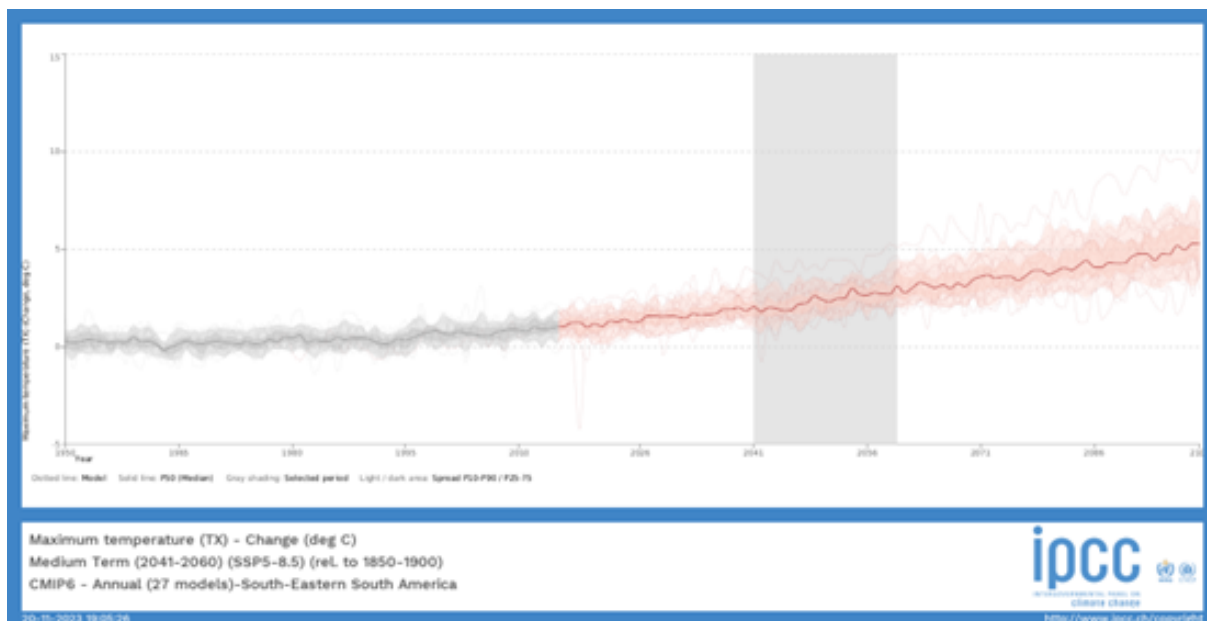


Figura 14: Projeção de temperatura máxima para o cenário SSP5-8.5. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

Os resultados de cada cenário estão de acordo com as previsões do próprio relatório AR6, mostrando que a tendência da região de Campinas é similar à tendência global. A imagem abaixo mostra de forma mais visual a projeção para a região no cenário SSP2-4.5. O valor esperado para o aumento da temperatura máxima nessas condições é de 2,5° C até 2060.

### 3.2 Temperatura mínima

Esta variável representa a média das temperaturas mínimas diárias em um período de um ano. As projeções são mostradas nas imagens abaixo:

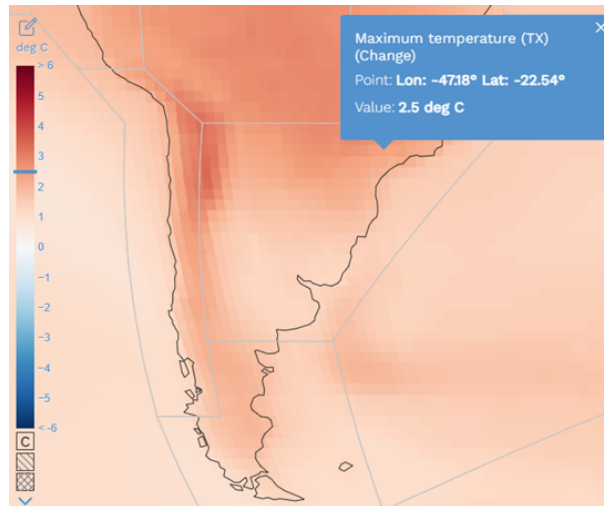


Figura 15: Projeção para a localização geográfica de campinas. Fonte: IPCC WGI Interactive Atlas: Regional information (Advanced) - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

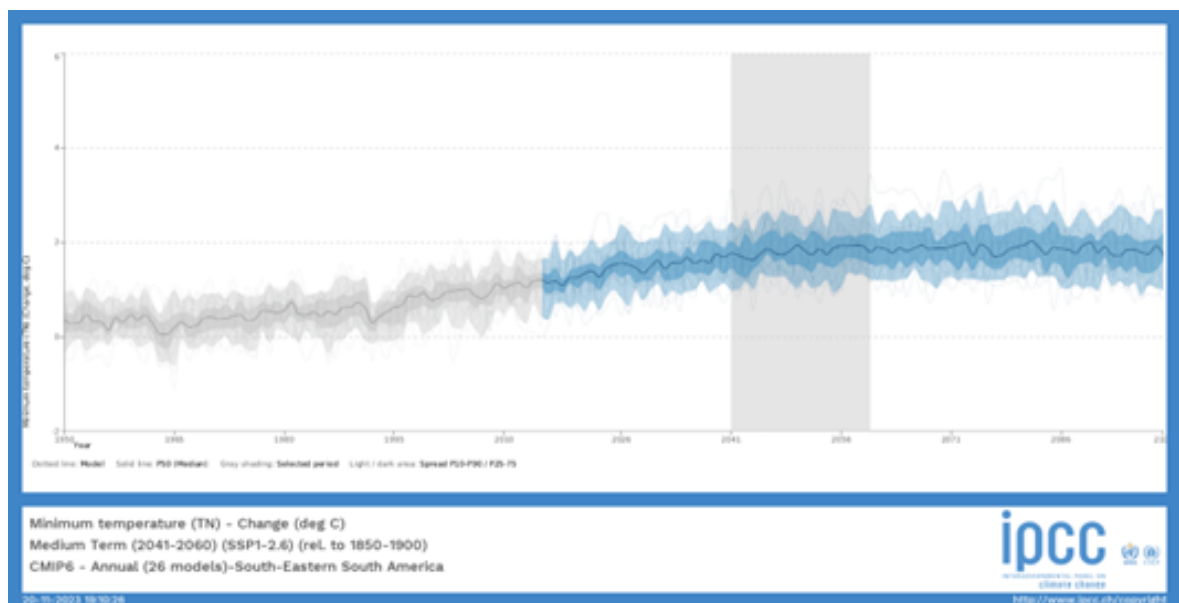


Figura 16: Projeção de temperatura mínima para o cenário SSP1-2.6. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

Similarmente a temperatura máxima, as temperaturas mínimas também seguem o mesmo padrão de tendência, como esperado, porém, com uma variação maior do que a temperatura máxima. A imagem abaixo revela este fato com a legenda de cor.

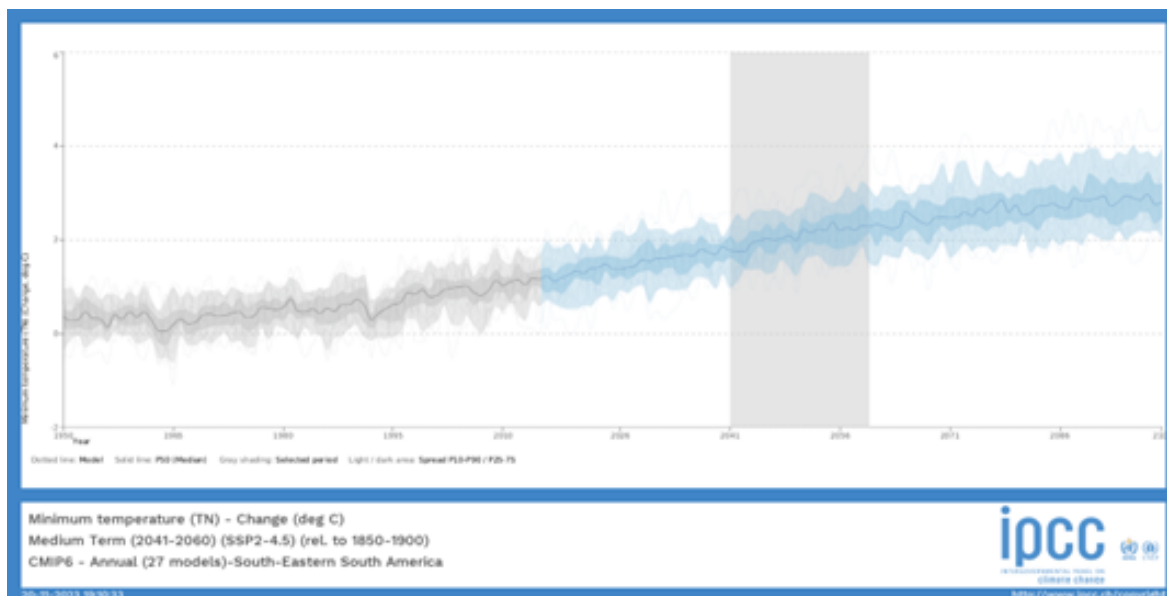


Figura 17: Projeção de temperatura mínima para o cenário SSP2-4.5. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

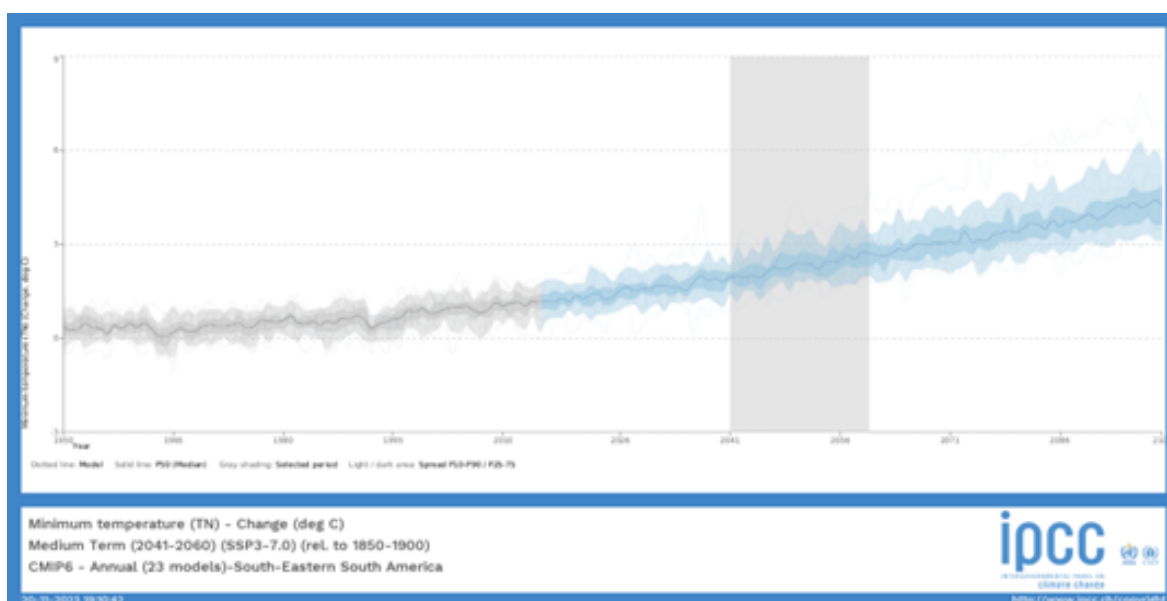


Figura 18: Projeção de temperatura mínima para o cenário SSP3-7.0. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

### 3.3 Precipitação (RX1day)

A variável RX1day diz respeito sobre o dia mais chuvoso do ano (evento extremo) em mm. As projeções são mostradas nas imagens abaixo:

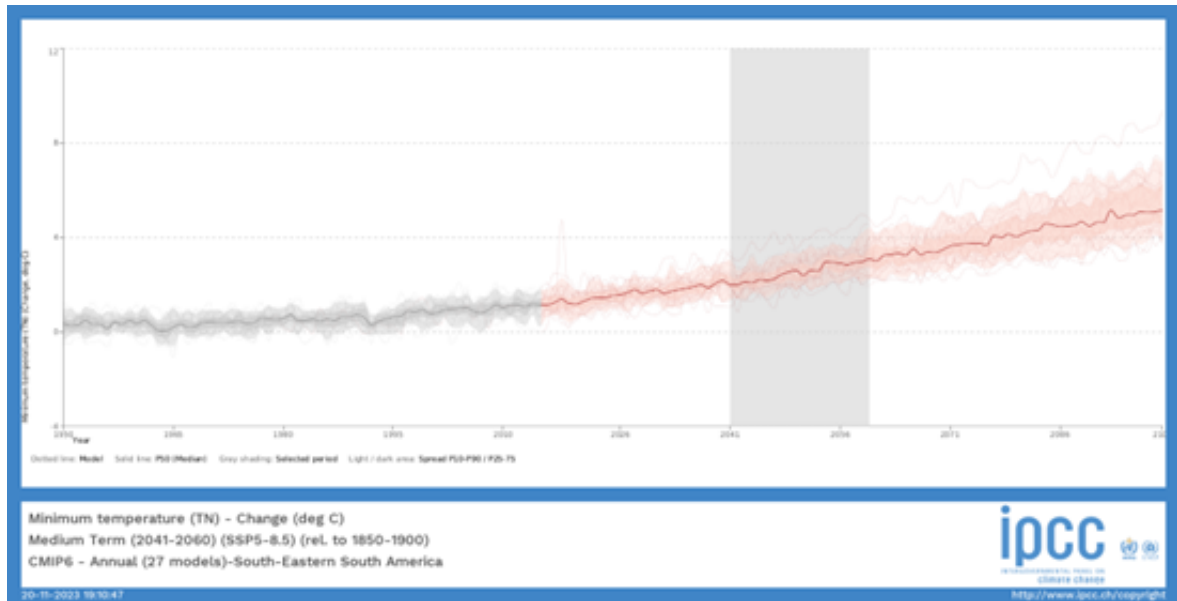


Figura 19: Projeção de temperatura mínima para o cenário SSP5-8.5. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

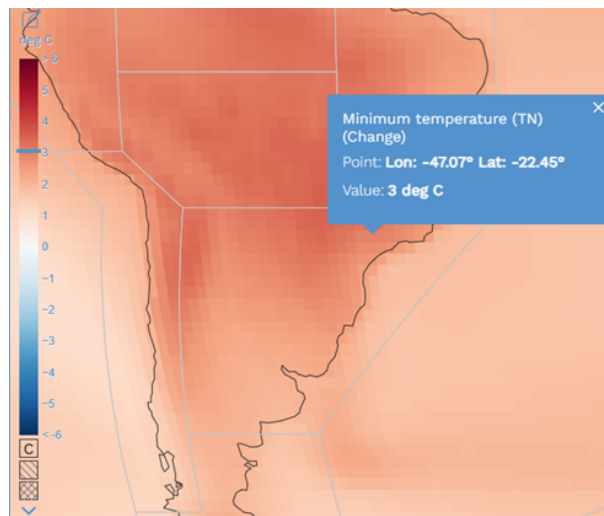


Figura 20: Projeção para a localização geográfica de campinas. Fonte: IPCC WGI Interactive Atlas: Regional information (Advanced) - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

O resultado das projeções está representado em porcentagem de mudança. Os cenários SSP3-7.0 e SSP4-8.5 são os mais preocupantes em relação a essa variável. Chegando ao ano de 2100, a precipitação RX1day chega a ser 30% maior que a base de comparação.

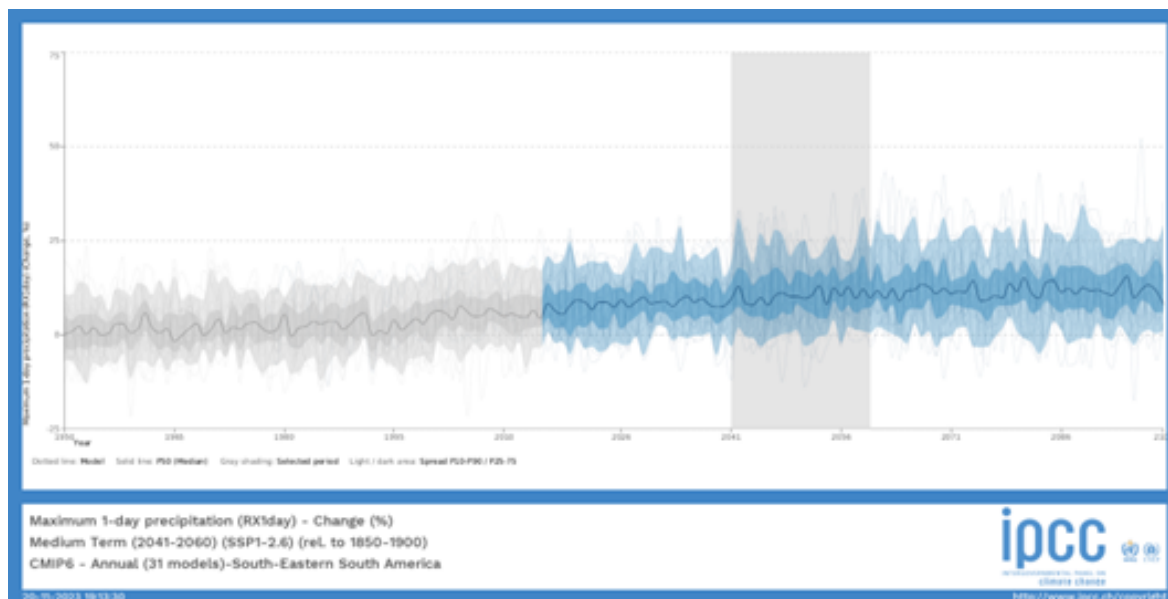


Figura 21: Projeção de mudança na precipitação para o cenário SSP1-2.6. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

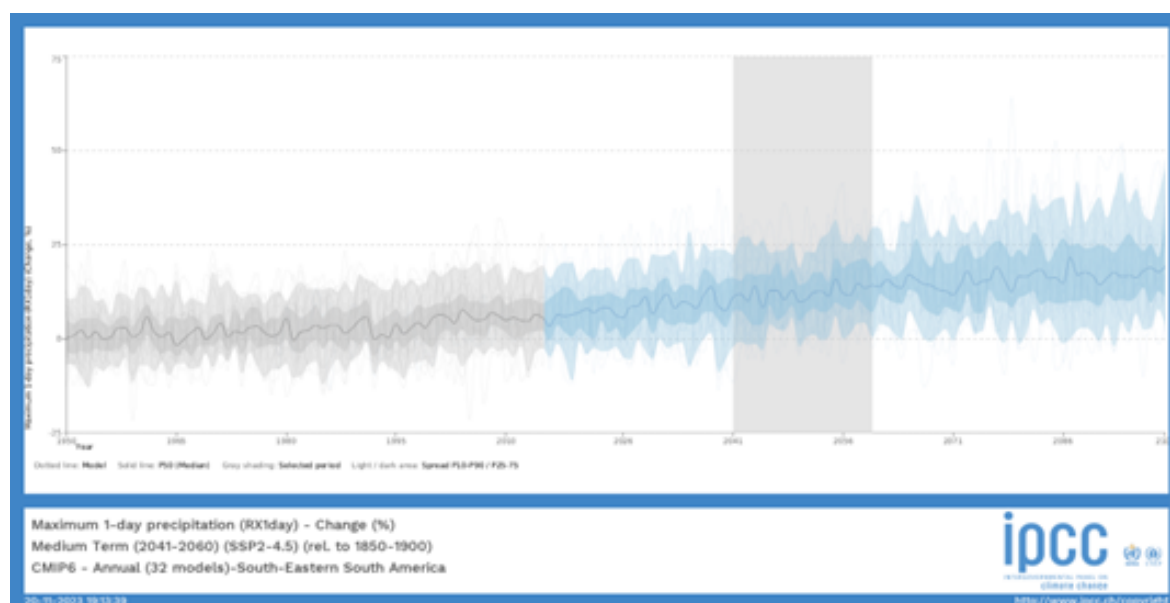


Figura 22: Projeção de de mudança na precipitação para o cenário SSP2-4.5. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

## 4 Comparação com os resultados de MS777

Durante o desenvolvimento do trabalho de MS777 “Análise de eventos extremos e tendências da precipitação e da temperatura por meio de séries históricas, no estado de São



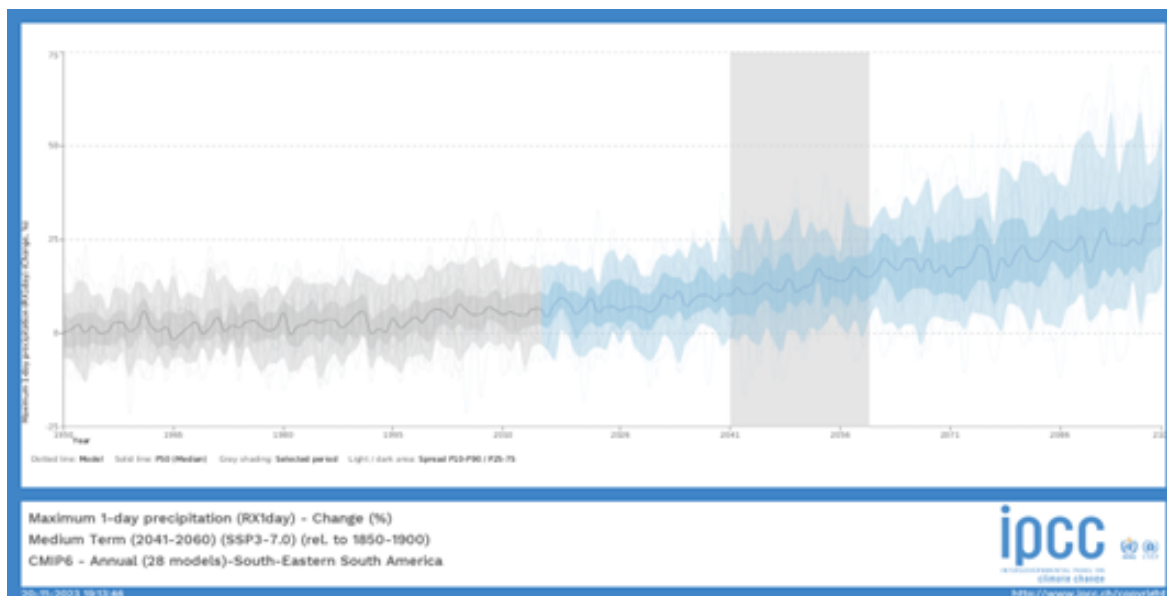


Figura 23: Projeção de mudança na precipitação para o cenário SSP3-7.0. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

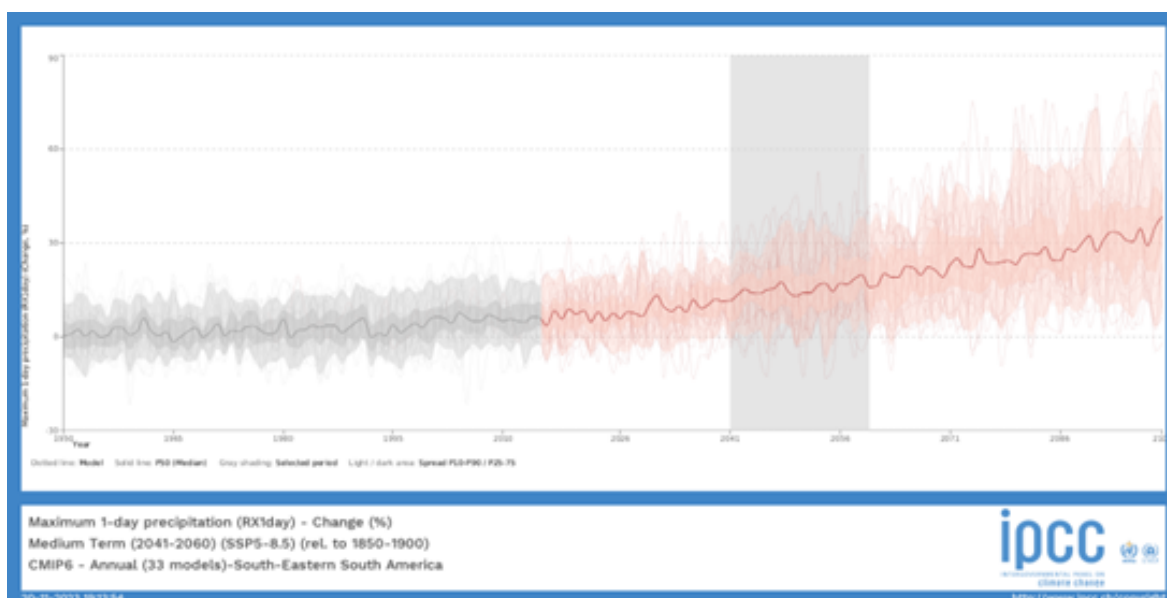


Figura 24: Projeção de mudança na precipitação para o cenário SSP5-8.5. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

Paulo” foi possível analisar os gráficos de evolução de alguns aspectos meteorológicos de acordo com a base de dados de estações nas cidades de Campinas, São Paulo e Piracicaba. O período considerado nessas análises foi de 1940 a 2018.

Para o presente trabalho, a comparação é feita apenas para as variáveis demons-

tradas neste projeto de pesquisa, ou seja, temperaturas máximas e mínimas e precipitação RX1day.

O objetivo deste capítulo 4 é determinar se há relação das tendências observadas no trabalho anterior com os resultados obtidos nas projeções do capítulo 3 deste trabalho.

## 4.1 Precipitação RX1day

O cenário utilizado para a comparação é o SSP3-7.0. Analisando os gráficos abaixo (figuras 26 e 27) é possível observar que ambos possuem uma leve inclinação positiva no mesmo período de 1950 a 2020. De acordo com os dados coletados para o trabalho de MS777, a tendência de aumento já era esperada, seguindo o resultado dos estudos do IPCC.

A partir de 2026 a taxa de aumento na projeção do IPCC fica um pouco maior, revelando que nesse cenário é possível que o gráfico mude quase exponencialmente em certo momento.

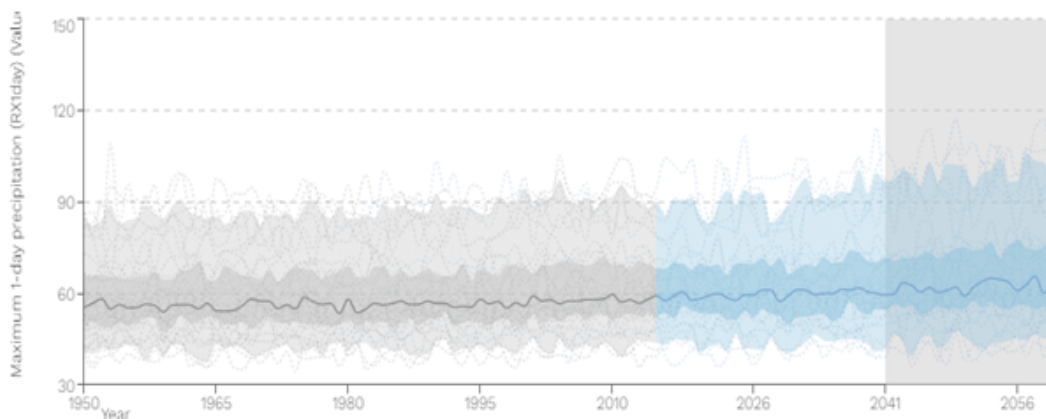


Figura 25: Projeção de mudança na precipitação para o cenário SSP3-7.0. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

## 4.2 Temperatura máxima

Para análise das temperaturas máximas, os aspectos em questão são um pouco diferentes. No trabalho realizado em MS777, os índices calculados foram o TXx e TXn. O primeiro é definido como o valor máximo de temperatura máxima diária em um ano, ele

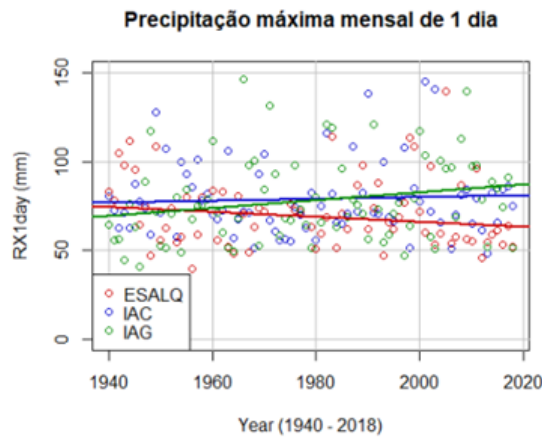


Figura 26: Precipitação RX1day do Trabalho de MS777.

representa a temperatura máxima extrema, ou seja, o valor mais alto registrado durante esse período. O segundo é definido como o valor mínimo de temperatura máxima diária em um ano, ele representa a menor temperatura máxima registrada durante esse período. Já na projeção obtida neste trabalho, o aspecto analisado é a média das temperaturas máximas diárias.

Por mais que os índices não sejam exatamente os mesmos, ainda é possível compará-los, pois estão diretamente relacionados. De fato, o que importa para a análise deste capítulo é a tendência de aumento das temperaturas, uma característica que naturalmente segue os extremos (máximos e mínimos) e a média de um mesmo aspecto.

Ao observar as curvas obtidas, fica claro que a inclinação é positiva. A projeção regional do IPCC mostra um aumento significativo a partir dos anos 2000, atingindo um aumento de até quase  $3^{\circ}\text{C}$  (cenário SSP3-7.0) em relação ao ano base. As curvas do trabalho de MS777 também indicam um aumento em relação aos anos de referência. As tendências regionais seguem as tendências globais no aspecto de temperaturas extremas.

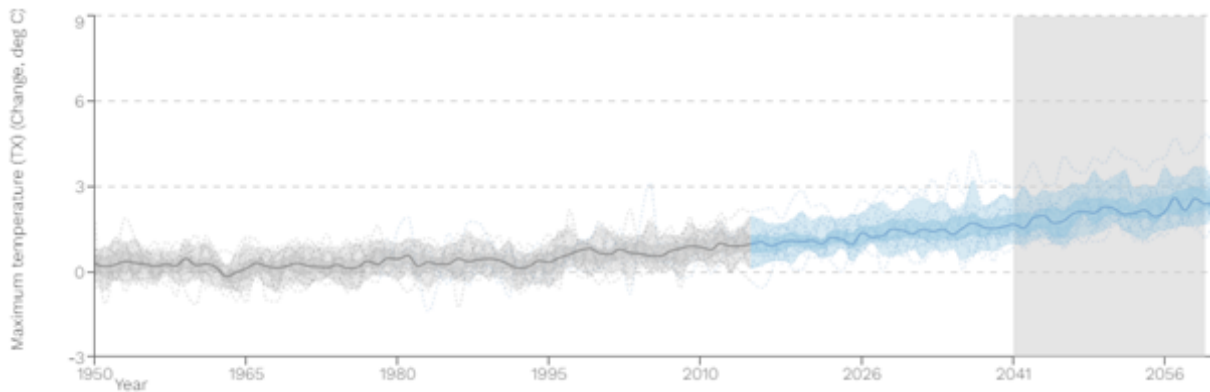


Figura 27: Projeção de temperatura máxima para o cenário SSP3-7.0. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

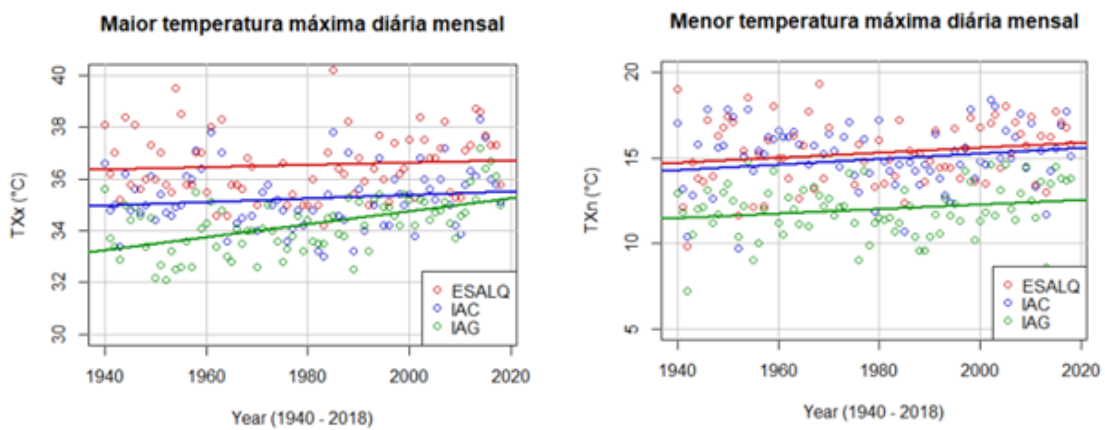


Figura 28: Comparação com o trabalho de MS777

### 4.3 Temperatura mínima

Similarmente, as temperaturas mínimas também são um pouco diferentes, porém é possível compará-las considerando apenas sua tendência.

Os gráficos obtidos evidenciam taxa positiva de crescimento, resultando em um aumento de 3°C até 2060 de acordo com a previsão do IPCC para a região, no cenário SSP3-7.0. Este resultado reforça a ligação das tendências regionais e globais, suportado também pelos resultados das bases meteorológicas do estado de São Paulo, que possui tendência similar.

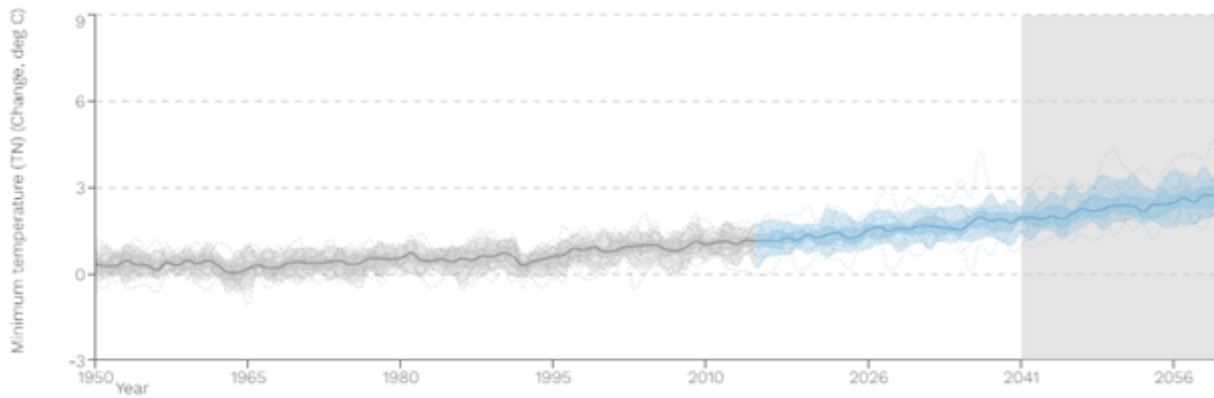


Figura 29: Projeção de temperatura mínima para o cenário SSP3-7.0. Fonte: Synthesis Report AR6 - disponível em: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

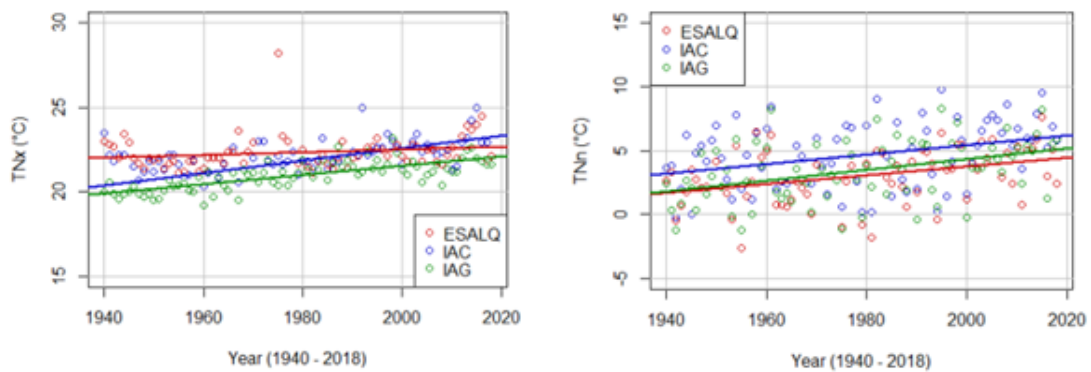


Figura 30: Comparação com o trabalho de MS777

## 5 Conclusão

A análise das projeções climáticas de temperatura e precipitação para a região de Campinas revelou resultados significativos que apontam para tendências similares tanto em escala regional quanto global. Ao comparar os dados obtidos a partir das projeções climáticas com o auxílio da ferramenta do IPCC e observando as informações provenientes das bases meteorológicas locais, evidenciou-se uma coerência notável nas mudanças observadas. A convergência entre as projeções e os dados meteorológicos atuais fortalece a confiabilidade das previsões climáticas para a região.

Os resultados deste estudo destacam a importância de considerar as projeções

climáticas ao planejar estratégias de adaptação e mitigação em nível regional. O alinhamento das tendências climáticas locais com as observadas globalmente reforça a necessidade de ações coordenadas em âmbito internacional para lidar com os desafios impostos pelas mudanças climáticas. Além disso, ressalta a relevância de monitorar continuamente as condições climáticas locais para ajustar as estratégias conforme as mudanças ocorrem.

Este trabalho contribui para a compreensão mais aprofundada das projeções climáticas para a região de Campinas, fornecendo percepções valiosas para cientistas, tomadores de decisão e comunidade em geral. A combinação de análises locais e globais enriquece a visão sobre as implicações das mudanças climáticas, ressaltando a necessidade premente de ações sustentáveis e adaptativas para preservar o equilíbrio ambiental e promover a resiliência em face das transformações climáticas previstas.

## 6 Referências Bibliográficas

Hoegh-Guldberg, O., D. Jacob, M. Taylor, M. Bindi, S. Brown, I. Camilloni, A. Diedhiou, R. Djalante, K.L. Ebi, F. Engelbrecht, J.Guiot, Y. Hijioka, S. Mehrotra, A. Payne, S.I. Seneviratne, A. Thomas, R. Warren, and G. Zhou, 2018: Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 175-312. <https://doi.org/10.1017/9781009157940.005>

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working

Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Iturbide, M., Fernández, J., Gutiérrez, J.M., Bedia, J., Cimadevilla, E., Díez-Sierra, J., Manzanas, R., Casanueva, A., Baño-Medina, J., Milovac, J., Herrera, S., Cofiño, A.S., San Martín, D., García-Díez, M., Hauser, M., Huard, D., Yelekci, Ö. (2021) Repository supporting the implementation of FAIR principles in the IPCC-WG1 Atlas. Zenodo, DOI: 10.5281/zenodo.3691645. Available from: <https://github.com/IPCC-WG1/Atlas>

Planejamento da produção de cana-de-açúcar no contexto das mudanças climáticas globais / organização: Jurandir Zullo Junior, André Tosi Furtado, Claudia Castellanos Pfeiffer. - Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2016