

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FABIO HITOSHI SAKAGUCHI

IMPACTOS DO AQUECIMENTO GLOBAL NA PRODUÇÃO DE MILHO DO  
ESTADO DE SÃO PAULO

CURITIBA

2017

FABIO HITOSHI SAKAGUCHI

IMPACTOS DO AQUECIMENTO GLOBAL NA PRODUÇÃO DE MILHO DO  
ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta

CURITIBA

2017

## **Resumo**

O presente estudo busca discutir as implicações que um aumento da temperatura superficial global ocasionado pelas emissões de gases de efeito estufa poderia promover no desenvolvimento e produtividade do milho em regiões do estado de São Paulo. Dados históricos de clima registrados por mais de 20 anos, em seis municípios paulistas, foram utilizados no software LARS-WG para geração de dados sintéticos de temperaturas mínima e máxima diária para cada um dos quatro cenários de aquecimento global propostos pelo IPCC no seu quinto relatório. Os resultados impactaram todos os municípios em diferentes graus e indicaram que as temperaturas estimadas até o ano de 2.100 não seriam proibitivas para o desenvolvimento do milho, no que tange sua fisiologia. Entretanto as temperaturas mais altas poderiam reduzir a produtividade do milho, mais intensamente nos cenários mais pessimistas, RCP6.0 e RCP8.5, para cinco dos seis municípios analisados.

Palavras-chave: Milho, aquecimento global, zoneamento agroclimático

## **Abstract**

This study discusses the consequences a raise in the global superficial temperature caused by greenhouse emissions could have in the development and yield of maize in areas inside the state of São Paulo. Historical climate data registered over 20 years, in six cities of São Paulo was used to feed LARS-WG software and generate synthetic data for minimum and maximum daily temperatures for each of the four global warming scenarios proposed by IPCC in its fifth report. The results had different levels of impact in all the cities and reported temperatures until the year of 2.100 which would not be prohibitive to the development of the maize, regarding its physiology. Nevertheless, the higher temperatures could reduce its yield, more significantly in the more pessimistic scenarios, RCP6.0 and RCP8.5, for five of the six cities from this study.

Keywords: maize, global warming, agroclimatic zoning

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1. Cenários de mudanças climáticas segundo relatório do IPCC .....	1
1.2. Mudanças climáticas e seus efeitos na agricultura.....	1
1.3. Produção de milho no estado de São Paulo.....	2
1.4. Fisiologia do milho e suas demandas climáticas.....	2
1.5. Modelos estocásticos para obter cenários de mudanças climáticas.....	3
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	5
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	7
<b>4. CONCLUSÃO</b> .....	11
<b>5. REFERÊNCIAS</b> .....	12
<b>ADENDO</b> .....	15

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Cenários de mudanças climáticas segundo relatório do IPCC

O IPCC, sigla em inglês para Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas é formado pela colaboração de dois grupos da Organização das Nações Unidas (ONU): a Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Branco e Sessin-Dilascio, 2015). O IPCC publica relatórios periódicos sobre as mudanças climáticas e fatores envolvidos, tendo até o momento o feito 5 vezes, o último datado de 2014.

No quinto relatório do IPCC são apresentados quatro cenários futuros identificados como RCP, sigla em inglês para Representative Concentration Pathways, traduzido para o português como Caminhos Representativos de Concentração. De acordo com Van Vuuren et al. (2011) cada RCP é representativo de mais de um cenário da literatura e consideram níveis de potência radiativa de 8.5, 6, 4.5 e 2.6 W/m<sup>2</sup> até o final do século, daí o nome de cada RCP, respectivamente, RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 e RCP2.6.

As potências radiativas são calculadas com base nas forças dos gases de efeito estufa combinadas com outros agentes como a radiação solar, aerossóis e albedo (Shine et al., 1990). Elas consideram um cenário com mitigação das emissões, por consequência um nível de radiatividade menor (RCP2.6) dois intermediários e um cenário mais pessimista (RCP8.5) no que se refere as emissões dos gases de efeito estufa (GEEs). Cada um destes cenários apresenta diferentes comportamentos quanto a elevação de temperatura, ciclo da água, qualidade do ar, níveis dos oceanos e criosfera, porém este trabalho dará ênfase ao primeiro. Na TABELA 1 está apresentada a variação da temperatura superficial global para os quatro RCP's, traduzido de Stocker et al. (2015).

TABELA 1 – Aumentos na temperatura superficial global estimados pelo IPCC para 4 cenários diferentes (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5) e considerando dois períodos futuros (2046-2065 e 2081-2100)

		2046-2065		2081-2100	
	Cenário	Média	Provável Amplitude	Média	Provável Amplitude
<b>Mudança de temperatura superficial média global</b>	RCP2.6	1,0	0,4 a 1,6	1,0	0,3 a 1,7
	RCP4.5	1,4	0,9 a 2,0	1,8	1,1 a 2,6
	RCP6.0	1,3	0,8 a 1,8	2,2	1,4 a 3,1
	RCP8.5	2,0	1,4 a 2,6	3,7	2,6 a 4,8

## 1.2. Mudanças climáticas e seus efeitos na agricultura

Os fatores ambientais como temperatura, disponibilidade de água, vento, concentração de dióxido de carbono, umidade relativa, radiação, são alguns exemplos de variáveis que influenciam a sobrevivência e desenvolvimento de uma planta. Não obstante, eles ainda influenciam diretamente a produtividade de determinada cultura, o que é fundamental quando se referido a cultivos comerciais.

O milho na América do Sul, de acordo com Tai, Martin e Heald (2014), é muito sensível a temperatura, podendo sofrer redução de 20 a 50% na sua produção devido a temperaturas mais altas e extremas mais frequentes.

O nível do impacto na produtividade de uma cultura varia de acordo com fatores intrínsecos a ela, bem como da região geográfica analisada. Minuzzi e Lopes (2015) determinaram que para o milho no centro-oeste brasileiro, as mudanças climáticas intermediárias poderiam diminuir o ciclo da primeira safra. Já Streck e Alberto (2006) identificaram no município de Santa Maria no Rio Grande do Sul, que um aumento da temperatura do ar em 3, 6 e 2°C poderiam anular os efeitos benéficos que um aumento na concentração de CO<sub>2</sub> poderia oferecer as culturas de trigo, soja e milho, respectivamente.

Diante destes dados torna-se muito importante a combinação da variedade escolhida com a época de semeadura, que influenciará nas condições climáticas encontradas em cada etapa do ciclo fenológico da cultura.

### **1.3. Produção de milho no estado de São Paulo**

Segundo o décimo segundo levantamento da CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, referente a produção de grãos da safra 2016/17, de setembro de 2017, a produção de milho é separada em primeira e segunda safras (CONAB, 2017). O estado de São Paulo na primeira safra apresentou uma diminuição em área plantada de cerca de 2% em relação à safra anterior, com 376 mil hectares. No entanto a sua produtividade mostrou incremento de 6.164 kg/ha para 6.255 kg/ha devido as boas condições climáticas, amenizando sua perda em produção total para apenas 0,7%, com 2.351,3 mil toneladas na safra 2016/2017. As principais regiões paulistas produtoras de milho primeira safra foram São José do Rio Preto, Ribeirão Preto, Bauru, Campinas e Itapetininga.

Referente ao milho segunda safra, ainda segundo levantamento da CONAB, a área plantada paulista aumentou em 8,3% atingindo 480,1 mil hectares e sua produtividade cresceu em 60%, chegando a 5.274 kg/ha. Com isso sua produção, em relação à safra anterior de 15/16 atingiu 2.532 mil toneladas, representando um crescimento percentual de 73,2%. As regiões paulistas com destaque na produção de milho segunda safra foram Assis e Itapetininga.

### **1.4. Fisiologia do milho e suas demandas climáticas**

O milho (*Zea mays L.*) é uma planta anual pertencente à família Graminae que ao longo de sua seleção natural e antrópica desenvolveu uma estrutura ereta, podendo chegar a quatro metros de altura (Magalhães et al., 2003). Seu metabolismo fotossintético C4 lhe assegura uma boa eficiência de uso da radiação solar, praticamente não apresentando saturação por este fator (Bergamaschi et al., 2004).

Com relação as demandas hídricas da cultura, Bergamaschi et al. (2004) determinaram por experimentos com o milho no estado do Rio Grande do Sul, um período crítico que iria do pendoamento ao início de enchimento dos grãos, interferindo diretamente no número de grãos por espiga e número de espigas por planta.

Segundo Magalhães et al. (2003), as plantas C4 como o milho possuem um ponto de compensação do CO<sub>2</sub> menor que em plantas C3, como o feijão. Isso decorre da sua possibilidade de controlar melhor a perda de água por fechamento de estômatos, o que prejudica a entrada de gás carbônico, mas que no caso delas estaria fixado e concentrado na forma de oxaloacetato e a presença da fotorrespiração em plantas C3.

A deficiência de luz em períodos críticos como no enchimento dos grãos pode ocasionar a queda de produtividade do milho (Magalhães et al., 2003). Ainda, a luz em conjunto com a temperatura tem relação positiva com o rendimento de grãos, se considerado na fase de emergência até o espigamento (Didonet et al., 2002).

A temperatura é outro fator climático importante para o desenvolvimento vegetal, que de maneira geral apresenta uma faixa viável, uma faixa ideal e temperaturas críticas, máxima e mínima, e que podem variar de acordo com o estágio de crescimento da planta.

Temperaturas mais altas tendem a favorecer uma atividade celular maior enquanto que temperaturas mais baixas podem reduzir o seu metabolismo. Segundo Landau, Magalhães e Guimarães (2016) a faixa tolerada pelo milho seria entre 10°C e 30°C abaixo dela o crescimento seria quase nulo e acima perder-se-ia produtividade, principalmente se ocorrido durante a noite, ocasionando consumo de metabólicos. Ainda segundo os autores, para a germinação a faixa ideal ficaria entre 25°C e 30 °C, com críticas de 10°C e 40°C. Da emergência a floração, ideal entre 24°C e 30°C. Temperaturas acima de 33°C durante a polinização reduzem a germinação do grão de pólen.

De acordo com Cruz e Magalhães (2010) as cultivares de milho podem ser classificadas de acordo com as exigências calóricas das fases fenológicas compreendidas entre a emergência e o início da polinização. Segundo esta divisão teríamos cultivares normais (exigem mais do que 890 graus-dia), cultivares precoces (entre 830 e 890 graus-dia) e as superprecoces (abaixo de 830 graus-dia).

### **1.5. Modelos estocásticos para obter cenários de mudanças climáticas**

O estudo dos efeitos de mudanças climáticas na produção agrícola requer uma longa série histórica de dados climáticos diários de uma determinada região. Informações de vários anos de temperatura mínima, temperatura máxima, precipitação e radiação são necessárias para se determinar o padrão comportamental do clima baseado em propriedades estatísticas. Com isso se conseguiria manter este mesmo padrão nos cenários futuros, perturbando-os de acordo com o objetivo do estudo.

Entretanto, como observaram Virgens Filho et al. (2013) apesar de importantes para realização da modelagem, estes dados climáticos históricos nem sempre estão disponíveis ou os períodos são muito curtos. A mesma deficiência na obtenção de dados climáticos foi indicada por Mehan et al. (2017) para estudos de parâmetros hidrológicos. Segundo os autores, o uso de geradores de séries climáticas sintéticas seria uma opção para os casos em que os dados estão apenas parcialmente disponíveis ou possuem lacunas.

De acordo com Ababei et al. (2010) os geradores estocásticos de dados climáticos, por serem capazes de replicar atributos do clima local, podem gerar

dados sintéticos de clima em séries suficientemente longas para serem utilizadas em estudos de risco hidrológico ou agrícola. Atualmente existem diversos geradores de dados climáticos disponíveis para uso, como o WGEN (Richardson, 1981), o CLIGEN (Nicks et al., 1995), o LARS-WG (Semenov e Barrow, 1997) e o PGECLIMA (Virgens Filho et al., 2010).

Virgens Filho et al. (2013) compararam modelos de geradores de dados climáticos para algumas localidades do estado do Paraná, no Brasil, e concluíram que o PGECLIMA\_R e o LARS-WG apresentaram boa concordância na simulação de temperatura máxima diária do ar, para dias úmidos e secos, o que não se observou com o CLIGEN. Este último teria superestimado as temperaturas médias mensais em até 2°C e para dias secos, subestimado em cerca de 1°C.

Mehan et al. (2017) também realizaram um estudo comparativo entre as ferramentas CLIGEN e LARS-WG, com dados históricos de Western Lake Erie Basin. Segundo os autores o CLIGEN e o LARS-WG demonstraram boa capacidade de gerar dados climáticos a longo prazo.

Semenov et al. (1998) compararam o WGEN com o LARS-WG e sua aplicabilidade em diferentes climas usando-se de localidades na Europa, Estados Unidos e Ásia e concluíram que o LARS-WG se aproximou mais dos dados observados do que o WGEN, apesar de que ambos apresentaram limitações em reproduzir certas características com precisão.

Frente a importância da cultura do milho no estado de São Paulo e as iminentes mudanças climáticas que influenciam diretamente na fisiologia vegetal, o presente trabalho busca simular o efeito destas alterações, principalmente do aumento da temperatura, no desenvolvimento e produtividade do milho, baseando-se nos cenários propostos pelo IPCC, para mudanças climáticas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os locais de estudo estão localizados no estado de São Paulo, na região sudeste do Brasil. Foram escolhidos seis municípios deste estado para análise, baseando-se em dois critérios: disponibilidade de dados climáticos históricos observados e representatividade na produção de milho (no próprio município ou por ser o mais próximo das regiões produtoras com dados de clima). Os municípios escolhidos foram Avaré, Catanduva, Votuporanga, Sorocaba, Presidente Prudente e Franca. Os dados de localização e altitude de cada um dos municípios seguem na TABELA 2 (INMET, 2017).

TABELA 2 – Informações de localização e altitude dos municípios analisados

<b>Município</b>	<b>Latitude (graus)</b>	<b>Longitude (graus)</b>	<b>Altitude (metros)</b>
Avaré	- 23.08	-48.91	854.00
Catanduva	-21.11	-48.93	570.00
Votuporanga	-20.41	-49.98	502.50
Sorocaba	-23.48	-47.43	645.00
Presidente Prudente	-22.11	-51.38	435.55
Franca	-20.58	-47.36	1026.20

A FIGURA 1 destaca a localização de cada um dos municípios estudados, referencialmente à divisão política do estado de São Paulo.

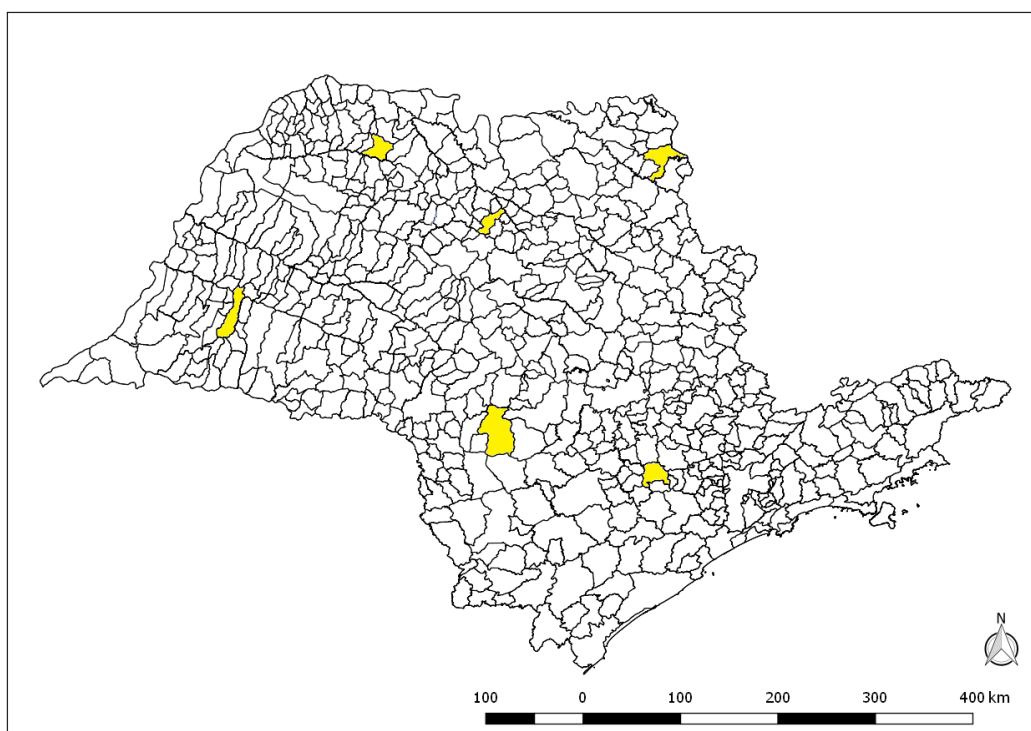


FIGURA 1 – Divisão política do estado de São Paulo, com destaque para os municípios analisados

Os dados climáticos históricos observados nos seis municípios foram adquiridos através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017). O período de dados climáticos foi solicitado em valores diários de pluviosidade, temperatura máxima, temperatura mínima, insolação, umidade relativa e vento, para o período compreendido entre os anos de 1981 e 2014, inclusive.

Para se analisar o efeito da temperatura na safra de uma determinada cultura, os dados diários, máximo e mínimo, precisariam estar completos, o que dificilmente é encontrado na prática. Comumente os dados históricos de clima de determinada localidade, ou apresentam lacunas ou não possuem períodos de registro longos o suficiente para alimentar modelos de cenários de mudanças climáticas. Por esta razão, recorreu-se neste trabalho, ao uso de um software gerador de séries climáticas sintéticas, o LARS-WG.

O *software* LARS-WG é um gerador estocástico de dados climáticos, em tais variáveis quais a precipitação, temperatura máxima e mínima e radiação solar. Destas, a precipitação é tratada como variável primária pois ela classifica cada um dos dias como úmido ou seco, e tal classificação determina a distribuição dos outros três parâmetros (Semenov e Barrow, 1997).

Os dados históricos observados de cada um dos seis municípios foram adaptados ao formato aceito pelo *software* LARS-WG, com os dados diários separados em colunas e identificados por ano, dia do ano, temperatura máxima e mínima, precipitação e insolação (em horas), este que o software devolveria em radiação. As lacunas e valores inválidos foram substituídos pelo valor numérico “ - 99” para que o *software* pudesse compreendê-los.

Com base nos dados históricos fornecidos, o *software* determinou o padrão estatístico das normais climatológicas de cada um dos municípios individualmente, e utilizou este padrão para gerar uma série de dados climáticos sintéticos, que por definição não seria idêntica à série de dados observados, mas que manteria o mesmo padrão estatístico, agora completo, sem lacunas.

Com os dados completos para um ano com mesmo padrão estatístico demonstrado no período de 1981 a 2014, foi possível perturbar a série sintética para simular os cenários propostos pelo quinto relatório do IPCC sobre mudanças do clima. Assim cada um dos seis municípios teve um período simulado de um ano de dados climáticos diários para cada um dos quatro cenários propostos pelo IPCC, considerando as variáveis climáticas de temperatura mínima e máxima.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perturbação dos dados históricos diários resultou em oito cenários climáticos diferentes para cada um dos seis municípios, sendo dois períodos de tempos (2046-2065 e 2081-2100) e quatro cenários propostos pelo relatório do IPCC (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5). Cada série de dados sintéticos constituiu-se de dados diários de temperatura máxima e mínima, para um período de um ano. Os gráficos dos dados sintéticos seguem conforme Adendo.

De acordo com a publicação da CONAB, realizada por Marcelo, Bezerra e Hartmann (2017), o plantio do milho para o estado de São Paulo poderia ser realizado de outubro a dezembro e a colheita seria de março a maio, para a primeira safra. Para a segunda safra, o plantio seria de fevereiro a abril e a colheita de junho a agosto.

O período de cultivo considerado neste trabalho foi escolhido com base nas recomendações apresentadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, através da Portaria nº 73, de 27 de julho de 2017 (Brasil, 2017), para a primeira safra, mais especificamente com o período de semeadura de 21 a 31 de outubro, pois segundo a referida Portaria este período representaria o menor risco agroclimático (20%) para os municípios analisados, independentemente do cultivar ou do tipo de solo. A colheita hipoteticamente ocorreria no dia 04 de março (dia 63 do ano). Para a duração do ciclo da cultura foram utilizados valores de referência de uma fabricante de sementes (Pioneer, 2018) que estima um período de 60 a 65 dias da emergência até a fase R1 ou embonecamento, e cerca de 125 a 130 dias da emergência até a maturidade, ou fase R6.

Os fatores abióticos influenciam direta e diferentemente o desenvolvimento das plantas. De acordo com Bergamaschi e Matzenauer (2014) especificamente para o milho, as condições térmicas teriam maior influência no seu desenvolvimento, em detrimento ao fotoperíodo e fatores como água e nitrogênio.

Em geral as plantas possuem uma faixa de temperatura na qual podem se desenvolver, uma temperatura ideal onde seu desenvolvimento é máximo e temperaturas críticas, inferior e superior, abaixo e acima das quais sua atividade biológica é interrompida. Bergonci e Bergamaschi (2002), citados por Bergamaschi e Matzenauer (2014), determinam os limites inferior e superior desta faixa como temperatura base inferior ou mínima basal e temperatura base superior ou máxima basal, respectivamente. Ainda segundo os autores, a fotossíntese líquida é positiva quando a temperatura do ar se encontra entre estes dois extremos, atingindo seu valor máximo na temperatura ótima. Quando a temperatura está fora deste intervalo, a planta pode ter seu crescimento paralisado ou apresentar perdas por estresse térmico.

Cruz et al. (2006) consideram que temperaturas elevadas aceleram o metabolismo das plantas e as temperaturas mais baixas o diminuem, desde que dentro de limites extremos suportados pelo organismo. Os autores admitem como temperaturas extremas para o milho, 10°C e 30°C para longos períodos, sendo a máxima, para períodos noturnos, que poderia diminuir o rendimento de grãos e senescência precoce das folhas, além de outras temperaturas cardeais como a faixa ideal para as fases da emergência até a floração entre 24°C e 30°C, com temperatura média diária de 21°C.

Landau, Sans e Santana (2008) determinaram que a temperatura ideal do solo para a germinação do milho estaria entre 25°C e 30°C, com limites mínimo e máximo de 10°C e 40°C respectivamente. Temperaturas acima de 35°C durante os 60 dias após germinação podem alterar o rendimento da cultura e a composição proteica dos grãos. Temperaturas médias diárias inferiores a 19°C e noites com menos de 12,8°C não são propícias ao cultivo do milho.

Carvalho et al. (2017), ao simularem o efeito da variação da temperatura ambiente na germinação de variedades de milho, concluíram que a temperatura de 30°C seria ideal para germinação e desenvolvimento de mudas de milho, corroborando com Landau, Sans e Santana (2008). Sbrussi e Zucareli (2014), ao testarem a germinação de sementes de milho em diferentes temperaturas não observaram germinação a 16°C.

Durães (2007) indica uma temperatura mínima crítica entre 0°C e 10°C, uma ótima em cerca de 30°C e uma máxima próxima de 45°C. Temperaturas acima de 35°C a 37°C por mais de 3 horas durante a formação do grão pode reduzir seu rendimento, possivelmente por diminuir a atividade da redutase de nitrato, interferindo no processo de transformação do nitrogênio para a planta. Adicionalmente, assim como observado por Landau, Sans e Santana (2008) temperaturas noturnas maiores que 24°C aumentariam a respiração e o consumo energético de fotoassimilados acumulados durante o dia, diminuindo a produtividade.

Hatfield e Prueger (2017) constataram ao expor uma determinada variedade de milho a extremos de temperaturas (aumento de 5°C) por uma semana, em diferentes estágios da cultura, uma diminuição na produção de grãos de 48% e que temperaturas noturnas mais altas aumentaram a taxa de senescência e diminuíram a produção de grãos. Os mesmos autores encontraram efeitos similares ao manter uma outra cultivar de milho em ambiente 4°C mais quente do que a média para o local, mas desta vez durante todo o ciclo.

Shim, Lee e Lee (2017), ao testarem os efeitos do aumento de temperatura ambiente na fenologia e produção do milho, constataram que o aquecimento até 5°C afeta negativamente a sua produtividade, em diferentes graus de impacto, dependendo do cultivar.

Os resultados obtidos com a modelagem e perturbação das temperaturas foram analisados com base nestas temperaturas cardeais referenciadas, de maneira que temperaturas abaixo de 10°C e acima de 45°C foram consideradas proibitivas ao cultivo do milho, temperaturas abaixo de 16°C na época de semeadura foram consideradas prejudiciais ao processo, a faixa de 24°C a 30°C foi considerada ótima para o desenvolvimento da cultura e temperaturas acima de 35°C foram consideradas prejudiciais ao rendimento da cultura.

Com base nos dados diários de temperatura máxima e mínima obtidos para o município de Avaré, percebeu-se para o período de 2046-2065, temperaturas mínimas abaixo de 16°C na época da semeadura, que poderiam impactar negativamente a emergência das plantas. Durante o desenvolvimento da cultura, foram identificados poucos dias isolados com temperaturas mínimas acima de 24°C (no máximo de 1% dos dias em todos os cenários) e temperaturas máximas acima de 35°C (de 4 a 5% dos dias em todos os cenários, considerando estimativas pessimistas), que de maneira geral poderiam diminuir a produtividade da cultura. Não foram identificadas temperaturas críticas ao desenvolvimento do milho, em nenhum dos quatro cenários RCP.

Ainda sobre Avaré, considerando o período de 2081-2100 a temperatura apresentou um potencial de impacto negativo maior para a produtividade do milho. Apesar de não identificadas temperaturas limitantes ao seu desenvolvimento em nenhum dos quatro cenários RCP, os resultados mostraram uma frequência maior de temperaturas mínimas acima dos 24°C (de 0 a 3% dos dias nos cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0) e máximas acima dos 35°C (de 0 a 7% dos dias nos cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0), principalmente para o cenário RCP8.5 onde estas leituras foram menos isoladas, mantendo-se por sequências de alguns dias. Para este cenário, em sua estimativa mais pessimista, foram encontrados até 25% dos dias com mínimas acima de 24°C e em 34% dos dias a máxima excederia 35°C.

O município de Catanduva apresentou uma situação mais confortável com relação as temperaturas mínimas abaixo de 16°C durante a semeadura do que Avaré. Sua ocorrência foi rara e isolada para todos os cenários. Para o período de 2046-2065, não foram identificadas temperaturas críticas para a cultura do milho, mas foram encontrados dias durante seu ciclo com temperaturas mínimas acima de 24°C (de 0 a 6% dos dias nos cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0) e temperaturas máximas acima de 35°C (de 5 a 16% dos dias nos cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0), que poderiam diminuir sua produtividade. Estas ocorrências foram mais frequentes no cenário RCP8.5 (com 2 a 18% dos dias com mínima acima de 24°C e de 12 a 21% com máxima acima dos 35°C).

Ainda para Catanduva, no período de 2081-2100, novamente não houve preocupação com a temperatura mínima durante a semeadura, mas ocorrências de temperaturas mínimas acima de 24°C (de 0 a 36% dos dias nos cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0) e máximas acima de 35°C (de 5 a 30% dos dias nos cenários RCP2.6, RCP4.5 e RCP6.0) foram mais frequentes. Destaque para o nível mais pessimista do RCP8.5 (com 84% dos dias com mínima acima de 24°C e 60% com máxima acima dos 35°C), o que poderia prejudicar a produtividade do milho de forma significativa, inclusive inviabilizar seu cultivo.

O município de Franca não apresentou diferenças significativas com relação as mudanças de temperaturas propostas pelos cenários do relatório do IPCC, exceto na pior hipótese do cenário RCP8.5 para o período de 2081-2100, pelo qual o município apresentaria de 30% dos dias com mínima acima de 24°C e de 7% com máxima acima dos 35°C). Para todos os outros cenários as porcentagens não ultrapassariam 1% dos dias acima de 35°C e 4% para mínimas acima de 24°C. É possível que haja uma relação entre a altitude do município, que é a maior entre as cidades analisadas e o menor impacto do aquecimento global na fisiologia do milho. Para constatar esta observação, seria necessária uma amostragem maior de municípios, incluindo diferentes valores de altitudes, mas possivelmente devido aos municípios localizados em maiores altitudes atualmente apresentarem temperaturas mais baixas, um incremento de temperatura pode não ser tão prejudicial ao desenvolvimento da cultura.

O município de Presidente Prudente teria potencial de perda de produtividade já a partir do cenário mais pessimista do RCP2.6 no período de 2046-2065 (com 24% dos dias com mínima acima de 24°C e 10% com máxima acima dos 35°C), e aumentando para os outros cenários e para o segundo período considerado, de 2081-2100. O impacto mais significativo foi identificado a partir do cenário mais pessimista do RCP6.0 (com 62% dos dias com mínima acima de 24°C e 29% com máxima acima dos 35°C) até o RCP8.5, para o período de 2081-2100 (com 46 a 91% dos dias com mínima acima de 24°C e de 21 a 59% com máxima

acima dos 35°C), ocasionalmente acima dos 40°C, formando sequências de vários dias com estas condições térmicas.

O município de Sorocaba para o período de 2046-2065 apresentou ocasionalmente temperaturas mínimas abaixo de 16°C na época da semeadura, o que não é recomendado, mas essa ocorrência tornar-se-ia ainda mais rara no período de 2081-2100. Retornando para o período de 2046-2065, Sorocaba não teria problemas com temperaturas noturnas muito altas (máximo de 5% dos dias no RCP8.5), mas as máximas diárias ocasionalmente poderiam ultrapassar os 35°C, principalmente no nível mais pessimista do RCP6.0 (10% dos dias) e no cenário RCP8.5 (17% dos dias), ainda que por pequena diferença (não chegariam próximas dos 40°C). O cenário mais crítico para este município seria com relação as temperaturas noturnas no cenário mais pessimista do RCP8.5 para o período de 2081-2100, onde 55% dos dias ficariam acima dos 24°C e por vários dias consecutivamente.

O município de Votuporanga ensaiou temperaturas máximas diárias acima de 35°C a partir do cenário RCP2.6 (de 6 a 18% dos dias), o que poderia se traduzir em perda de produção. Para o período de 2046-2065 a ocorrência de temperaturas mínimas acima de 24°C no cenário mais pessimista do RCP8.5 também poderiam prejudicar a cultura, quando apresentou 45% dos dias nestas condições. O mesmo comportamento se observou para o período de 2081-2100, porém em maior intensidade. Os cenários mais pessimistas do RCP6.0 com 61% dos dias com mínima acima de 24°C e 44% com máxima acima dos 35°C, e do RCP 8.5 com 93% dos dias com mínima acima de 24°C e 69% com máxima acima dos 35°C mostraram maior potencial de perda para a cultura.

#### **4. CONCLUSÃO**

As mudanças climáticas no que tanger o aumento da temperatura do ar no estado de São Paulo até o ano de 2100 não serão fisiologicamente proibitivas para o cultivo do milho. No entanto o aumento da temperatura estimado para os diferentes cenários propostos pelo Quinto Relatório do IPCC pode impactar na produtividade do milho em algumas cidades paulistas. Das seis cidades analisadas, apenas Franca não demonstrou grande impacto com o aquecimento do ar, possivelmente pela sua maior altitude e atuais temperaturas mais baixas, quando comparada com os outros municípios. Entretanto todas as cidades demonstraram temperaturas que poderiam diminuir a produtividade do milho, possivelmente inviabilizando seu cultivo comercial, principal mas não exclusivamente, para o cenário mais pessimista do relatório, RCP8.5.

## 5. REFERÊNCIAS

ABABAEI, B.; SOHRABI, T.; MIRZAEI, F.; KARIMI, B. Evaluation of a stochastic weather generator in different climates. **Computer and Information Science**, v. 3, n. 3, p. 217, 2010.

CASTELO BRANCO, M.; SESSIN-DILASCIO, K. Sumário para os tomadores de decisão do quinto relatório de avaliação (2014), p. 47, 2015.

CONAB: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira. **Monitoramento agrícola- Safra 2017**, v. 4, n. 1, p. 1–98, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 09 dez. 2017.

VIRGENS FILHO, DAS, J. S.; et al. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA\_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná, v. 33, n. 3, p. 538–547, 2013.

MEHAN, S.; GUO, T.; GITAU, M.; FLANAGAN, D. C. Comparative study of Different stochastic weather generators for long-term climate data simulation. **Climate**, v. 5, n. 2, p. 26, 2017.

MINUZZI, R. B.; LOPES, F. Z.. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 734–740, 2015.

MAGALHÃES, P.O.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N. P.; EDILSON PAIVA. Fisiologia do milho. **Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico**, p. 1–23, 2003.

SEMENOV, M.; BROOKS, R.; BARROW, E.; RICHARDSON, C. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. **Climate Research**, v. 10, p. 95–107, 1998.

SHINE, K. P.; DERWENT, R. G.; WUEBBLES, D. J.; MORCRETTE, J.-J. Radiative forcing of climate. **Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Report prepared for Intergovernmental Panel on Climate Change by Working Group I**, p. 41–68, 1990.

STOCKER; T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. B. AND P. M. M. (EDS. . Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **CEUR Workshop Proceedings**, v. 1542, p. 33–36, 2015.

STRECK, N. A.; ALBERTO, C. M. Estudo numérico do impacto da mudança climática sobre o rendimento de trigo, soja e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 9, p. 1351–1359, 2006.

TAI, A. P. K.; MARTIN, M. V.; HEALD, C. L. Threat to future global food security from climate change and ozone air pollution. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 9, p. 817–821, 2014.

VAN VUUREN, D. P.; EDMONDS, J.; KAINUMA, M.; et al. The representative concentration pathways: An overview. **Climatic Change**, v. 109, n. 1, p. 5–31, 2011.

INMET: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 09/12/2017.

SEMENOV, M. A.; BARROW, E. M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. **Climatic Change**, v. 35, n. 4, p. 397–414, 1997.

MARCELO, F.; BEZERRA, R.; HARTMANN, M. L. Calendário de plantio e colheita de grãos no Brasil, 2017.

BERGAMASCHI, H.; MATZENAUER, R. O milho e o clima. EMATER/RS-Ascar, 2014.

LANDAU, E.C.; MAGALHÃES, P.C.; GUIMARÃES, D.P. Relações com o clima. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_17\\_168200511157.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html)>. Acesso em: 09/12/2017.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I. A.; ALVARENGA, R.C.; GONTIJO NETO, M.M; VIANA, J.H.M; DE OLIVEIRA, M. F.; SANTANA, D.P. Manejo da cultura do milho. Sete Lagoas: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006. Circular Técnica.

LANDAU, E.C.; SANS, L.M.A; SANTANA, D.P. Cultivo do Milho. 4ª Ed. Set. 2008. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho>>. Acesso em 23/05/2011.

Fenologia do Milho. Disponível em <<http://www.pioneersementes.com.br/milho/fenologia-do-milho>>. Acesso em 14/01/2018.

CARVALHO, J.N.S; DA SILVA, J.A.B; REIS, D.S; GUIMARÃES,C.C; SANTOS, I.E.A. Simulação do efeito da variação da temperatura ambiente na germinação de variedades de milho. **Journal of Environmental Analysis and Progress**. v. 02, p 266-273, 2017.

SBRUSSI, C.A.G; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, pp.215-226, 2014.

DURÃES, F.O.M. Limitações fisiológicas do milho nas condições de plantio nas regiões tropicais baixas. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/artigos/2007\\_1/limitemilho/index.htm](http://www.infobibos.com/artigos/2007_1/limitemilho/index.htm)>. Acesso em: 14/01/2018.

BRASIL. Secretaria de Política Agrícola. Aprova o zoneamento agrícola de risco climático para a cultura do milho 1ª safra no estado de São Paulo, ano-safra 2017/2018. Portaria no 73, de 27 de julho de 2017.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes** **10**, 2015.

SHIM, D.; LEE, K; LEE, B. Response of phenology- and yield-related traits of maize to elevated temperature in a temperate region. **The Crop Journal** **5 (2017) 305-316**, 2017.

## ADENDO

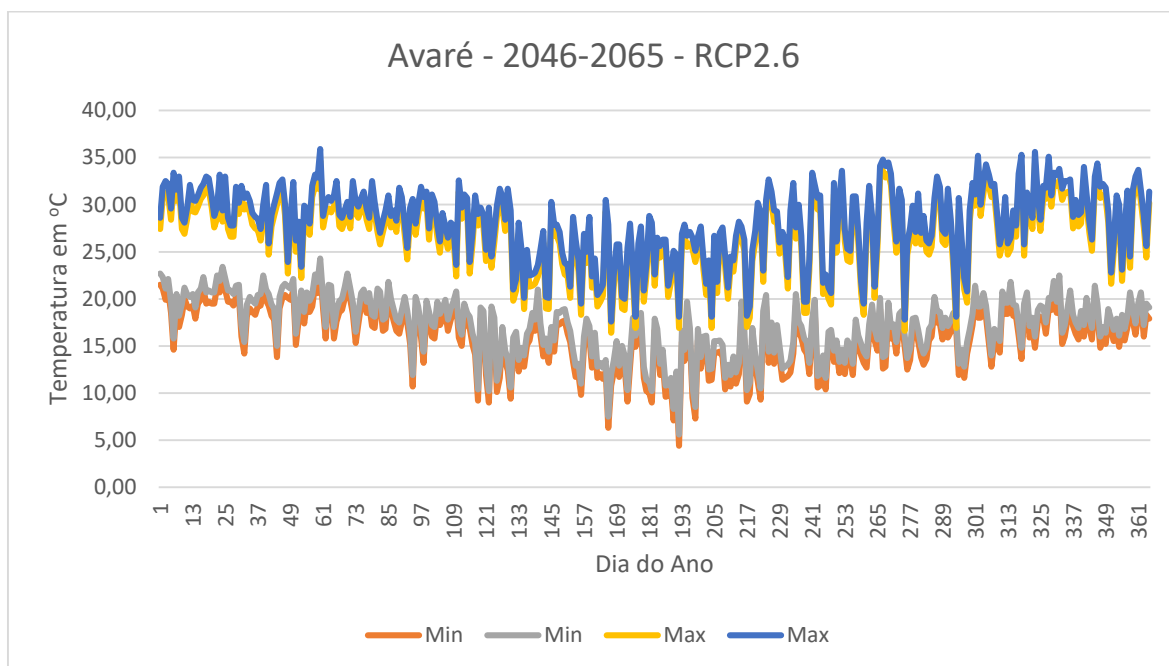


FIGURA 2 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2046-2065) com base no RCP2.6, para um período de um ano

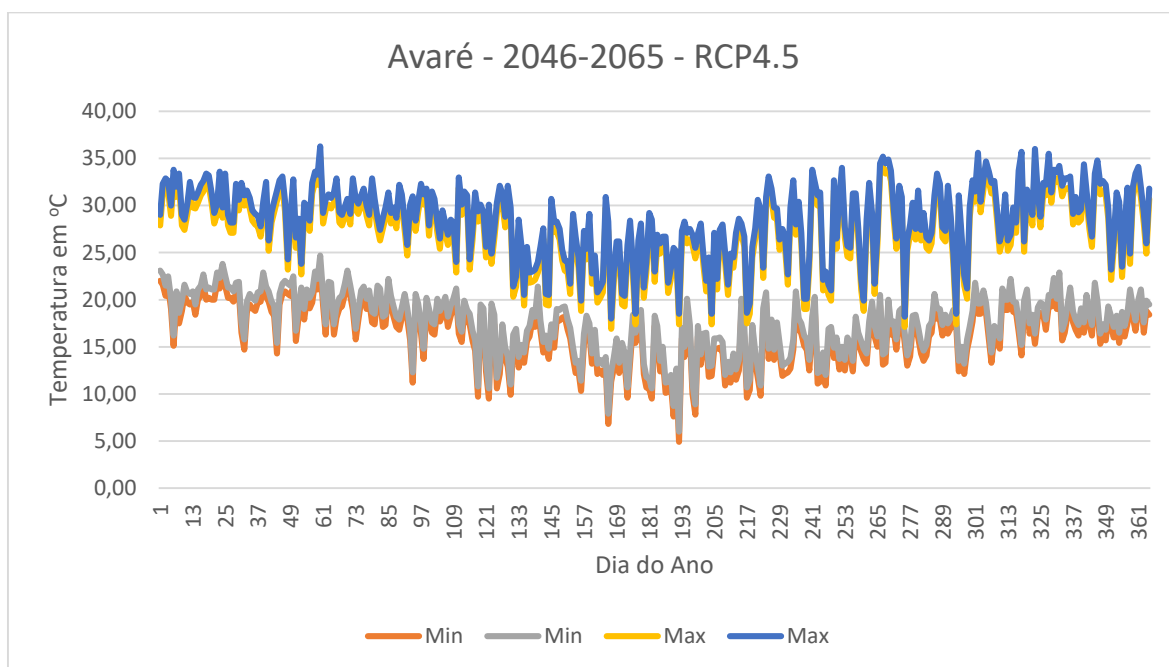


FIGURA 3 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2046-2065) com base no RCP4.5, para um período de um ano

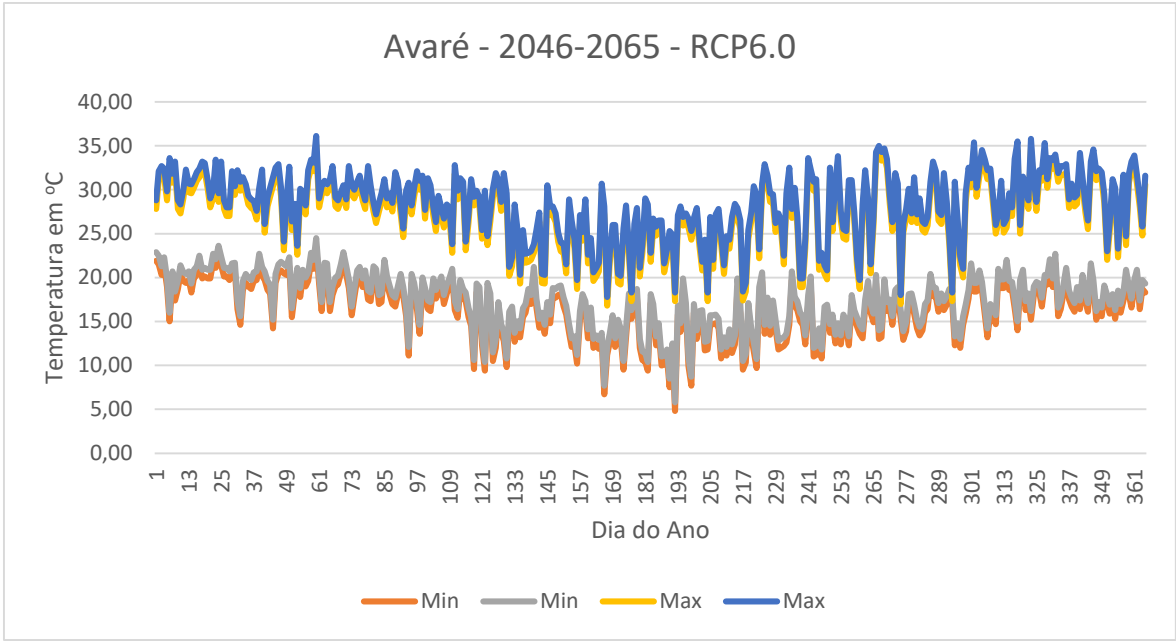


FIGURA 4 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2046-2065) com base no RCP6.0, para um período de um ano

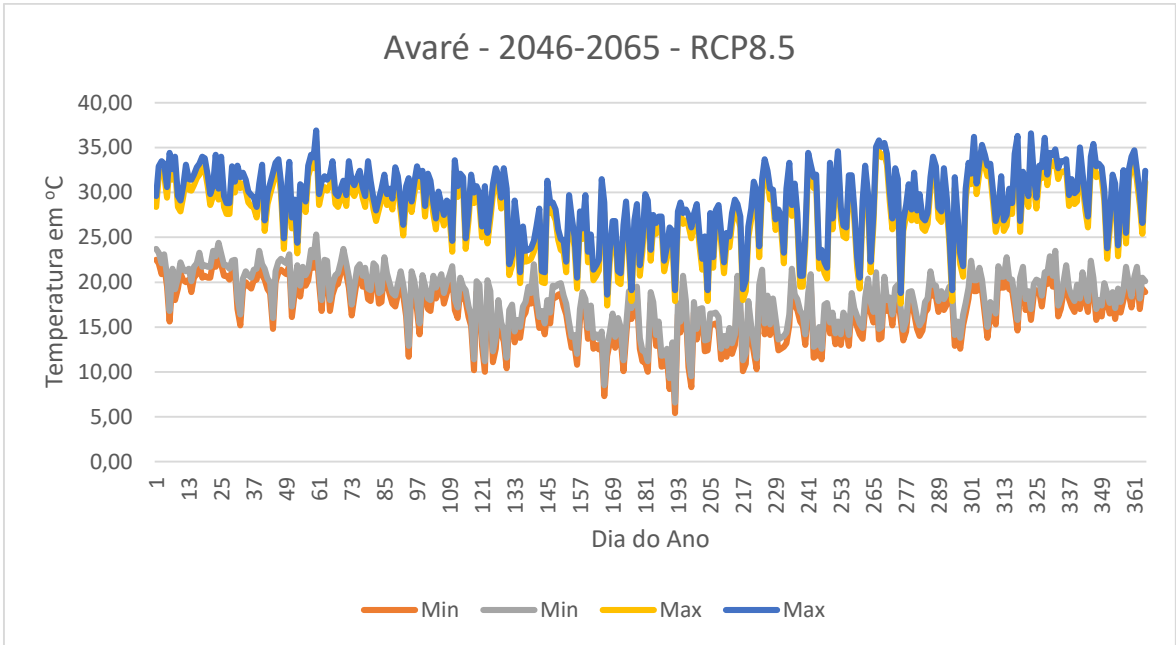


FIGURA 5 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2046-2065) com base no RCP8.5, para um período de um ano

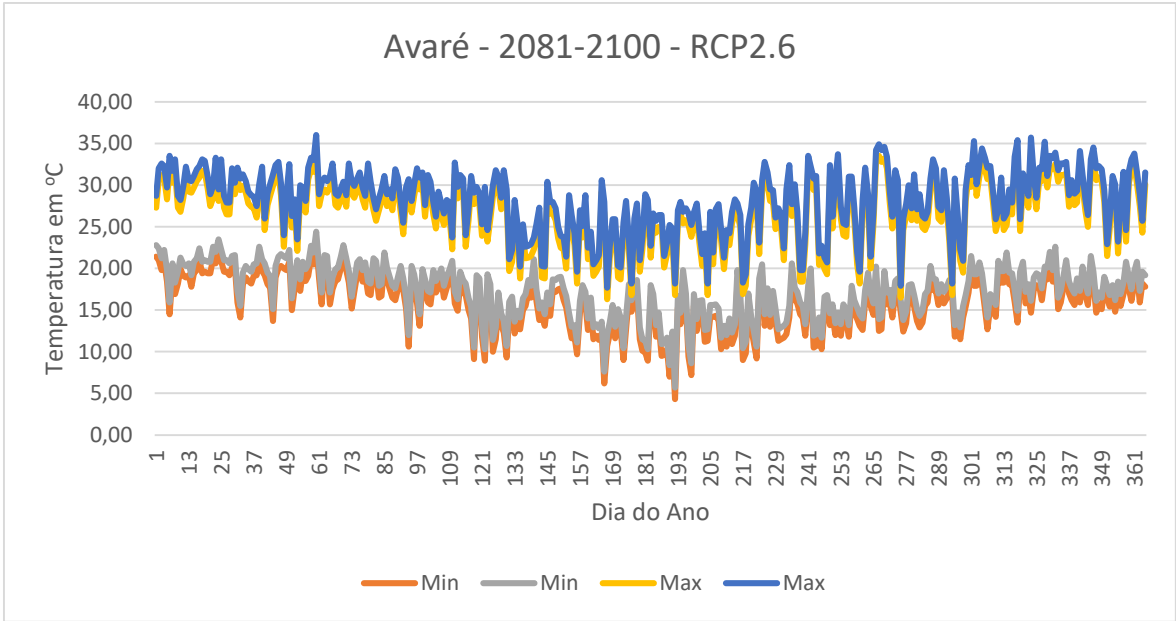


FIGURA 6 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2081-2100) com base no RCP2.6, para um período de um ano

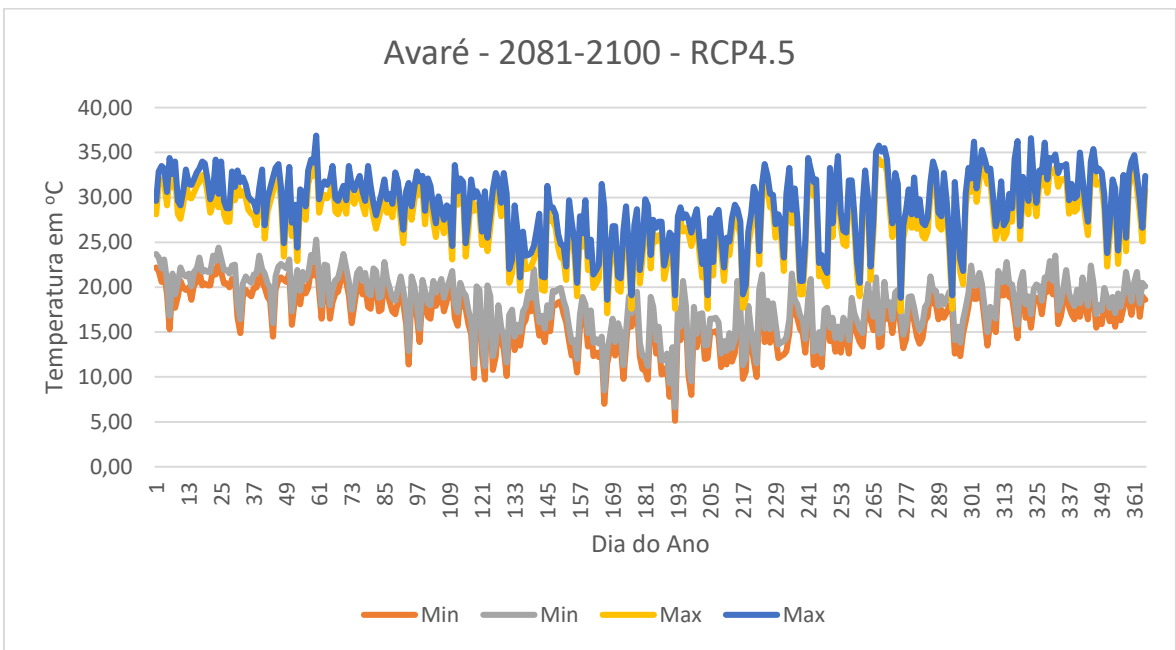


FIGURA 7 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2081-2100) com base no RCP4.5, para um período de um ano

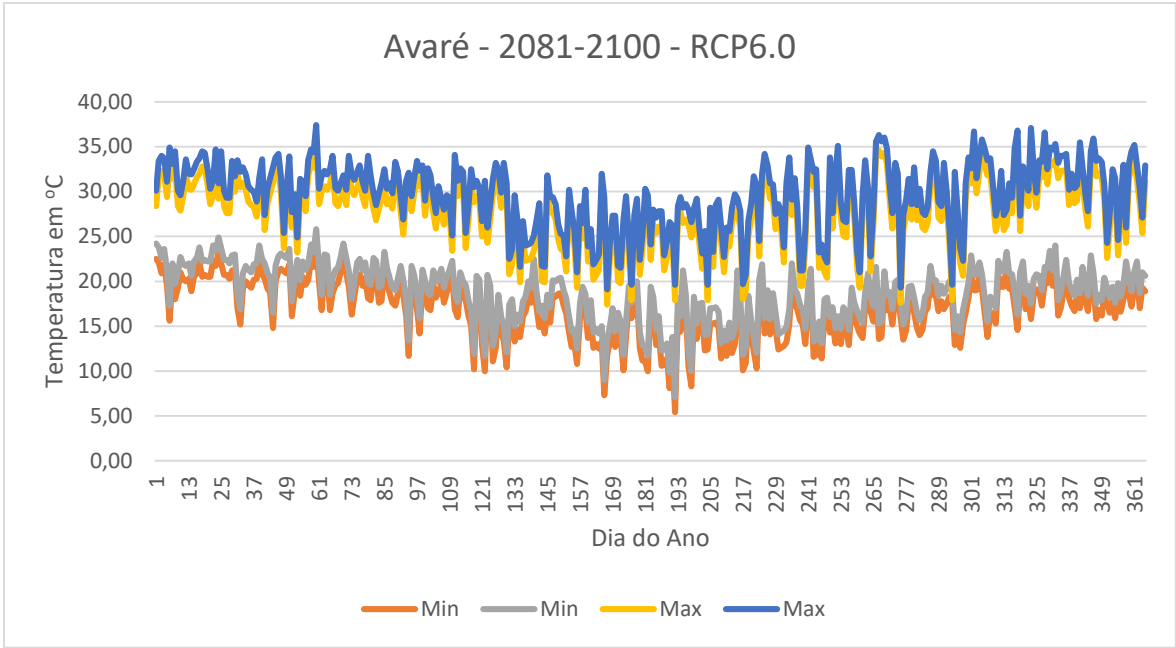


FIGURA 8 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2081-2100) com base no RCP6.0, para um período de um ano

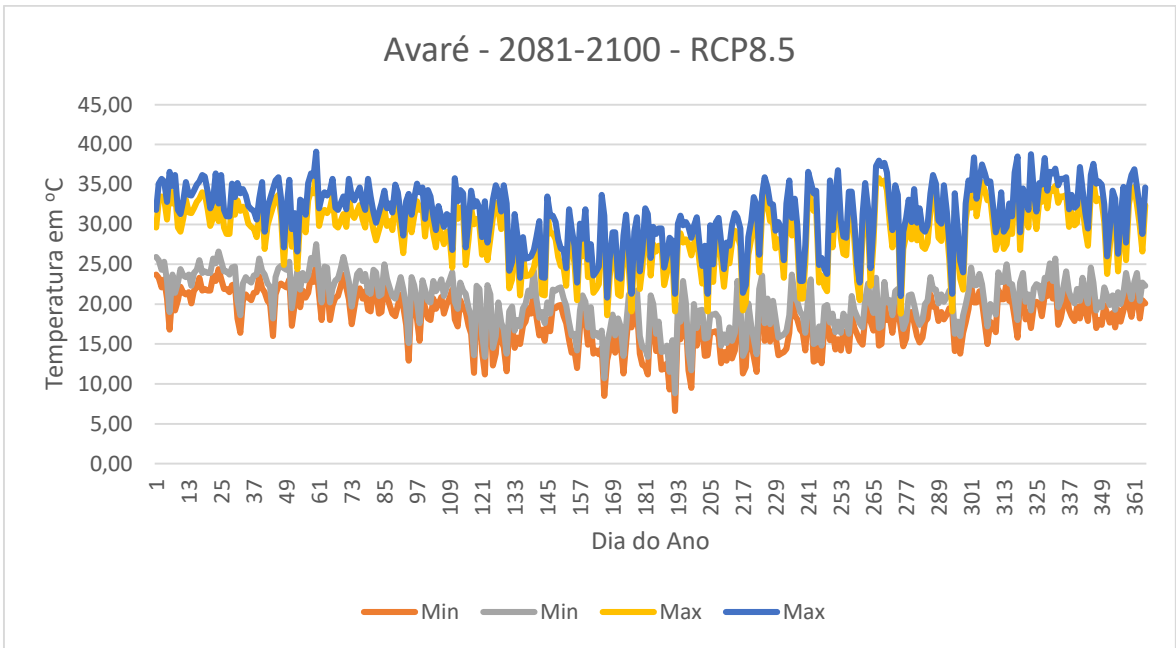


FIGURA 9 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Avaré (2081-2100) com base no RCP8.5, para um período de um ano

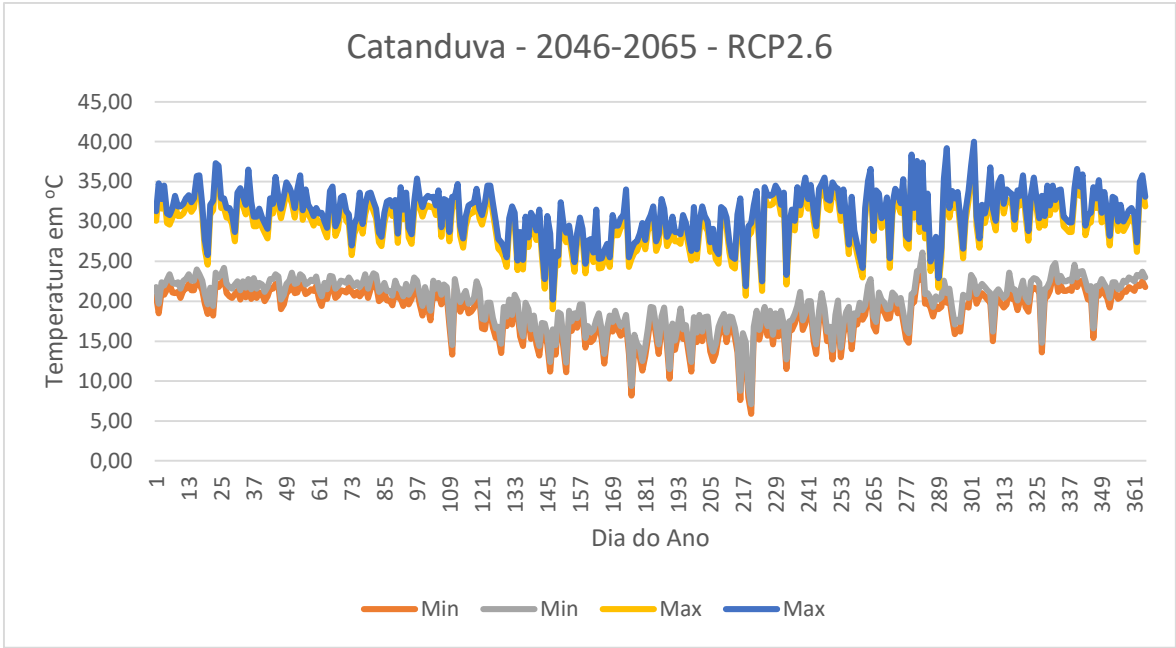


FIGURA 10 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2046-2065) com base no RCP2.6, para um período de um ano

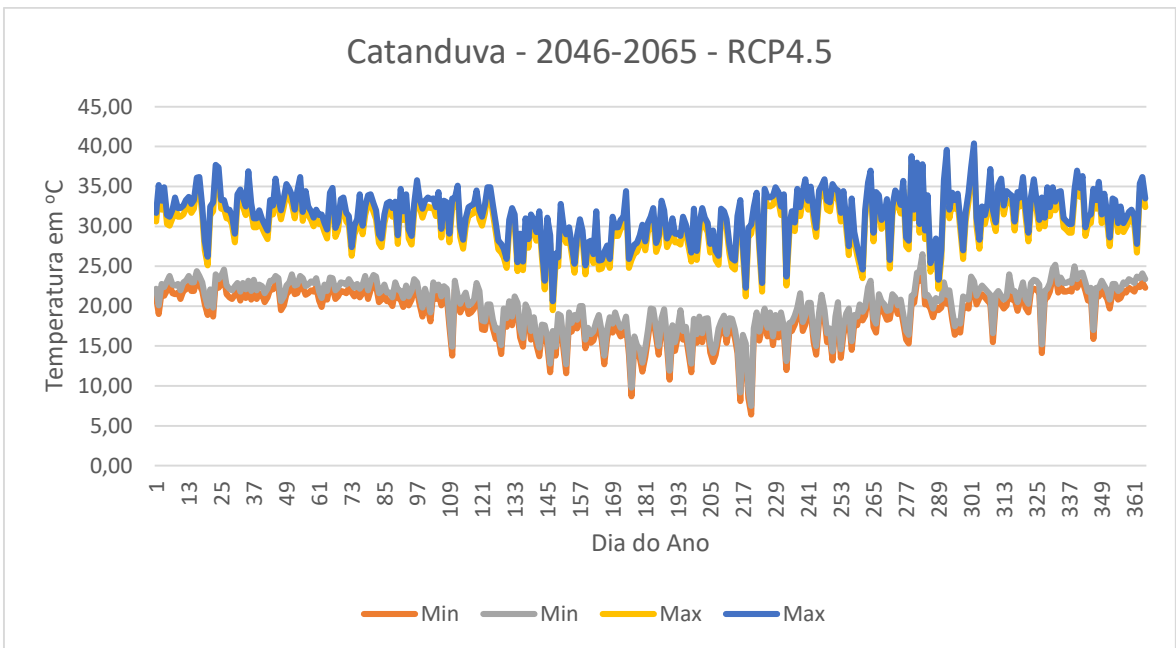


FIGURA 11 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2046-2065) com base no RCP4.5, para um período de um ano

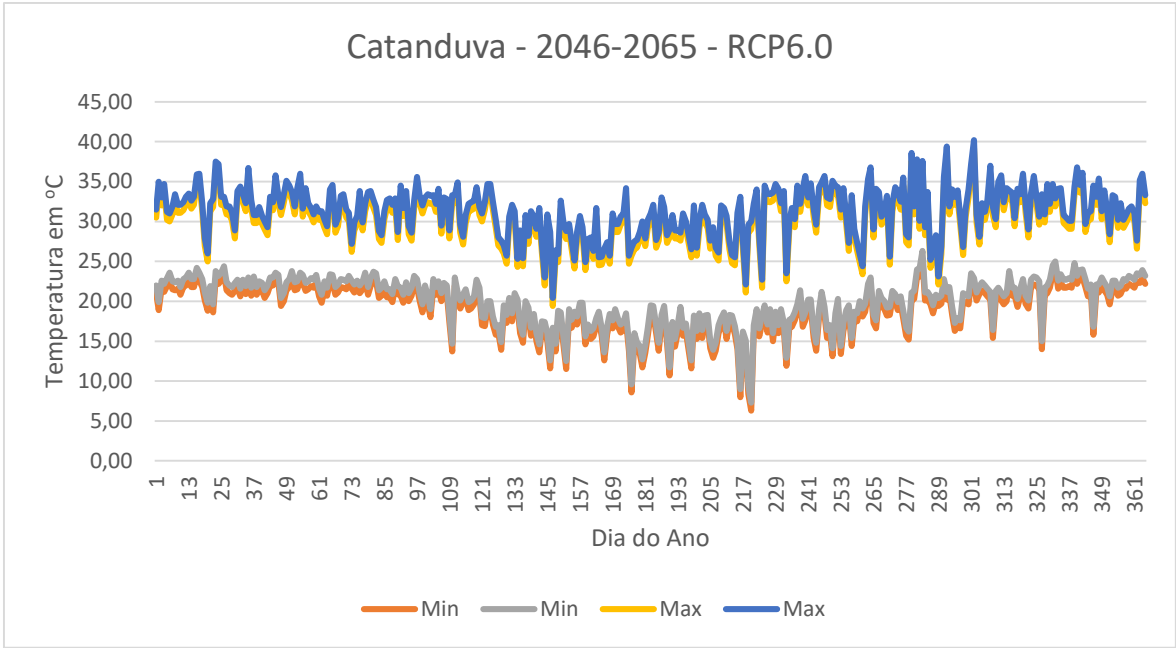


FIGURA 12 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2046-2065) com base no RCP6.0, para um período de um ano

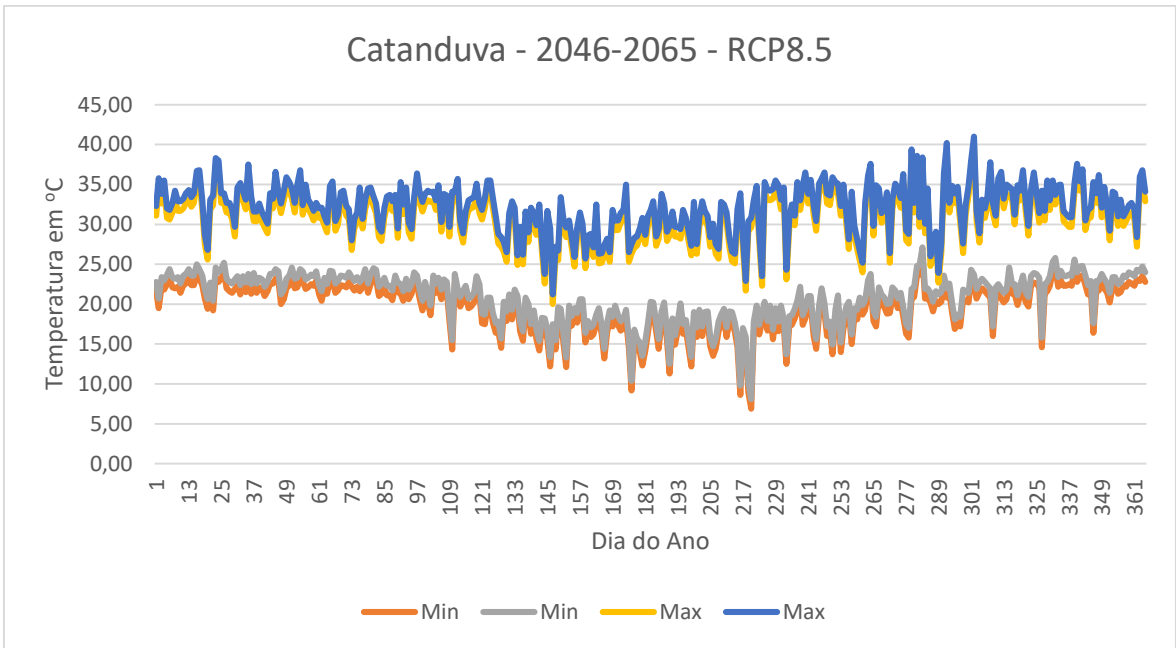


FIGURA 13 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2046-2065) com base no RCP8.5, para um período de um ano

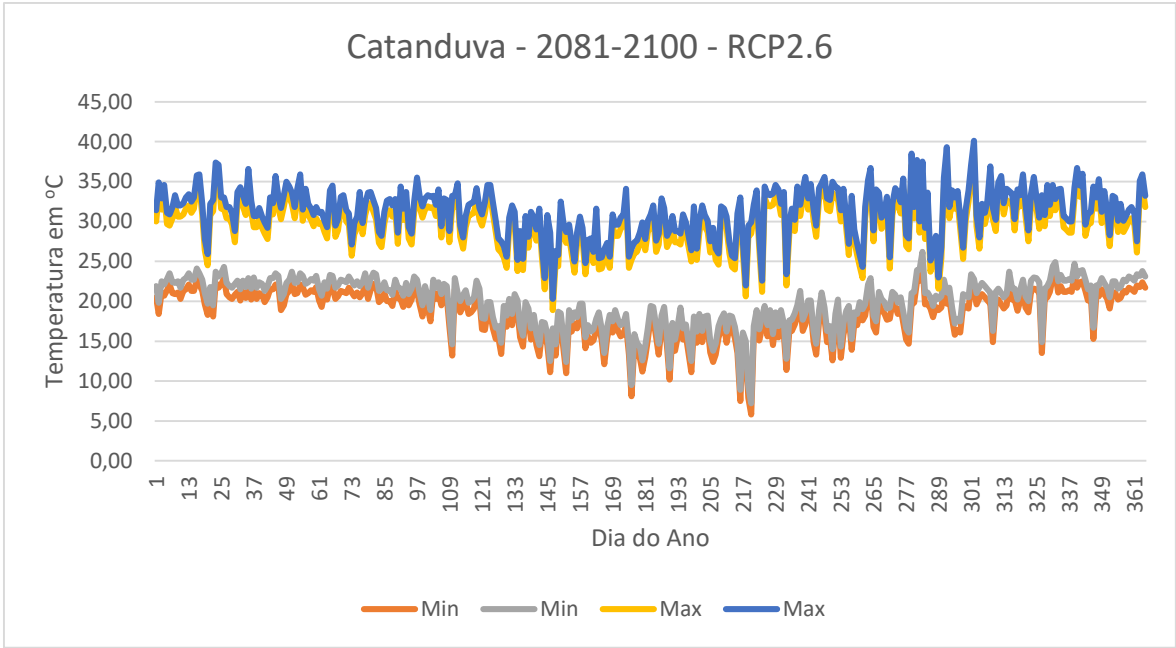


FIGURA 14 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2081-2100) com base no RCP2.6, para um período de um ano

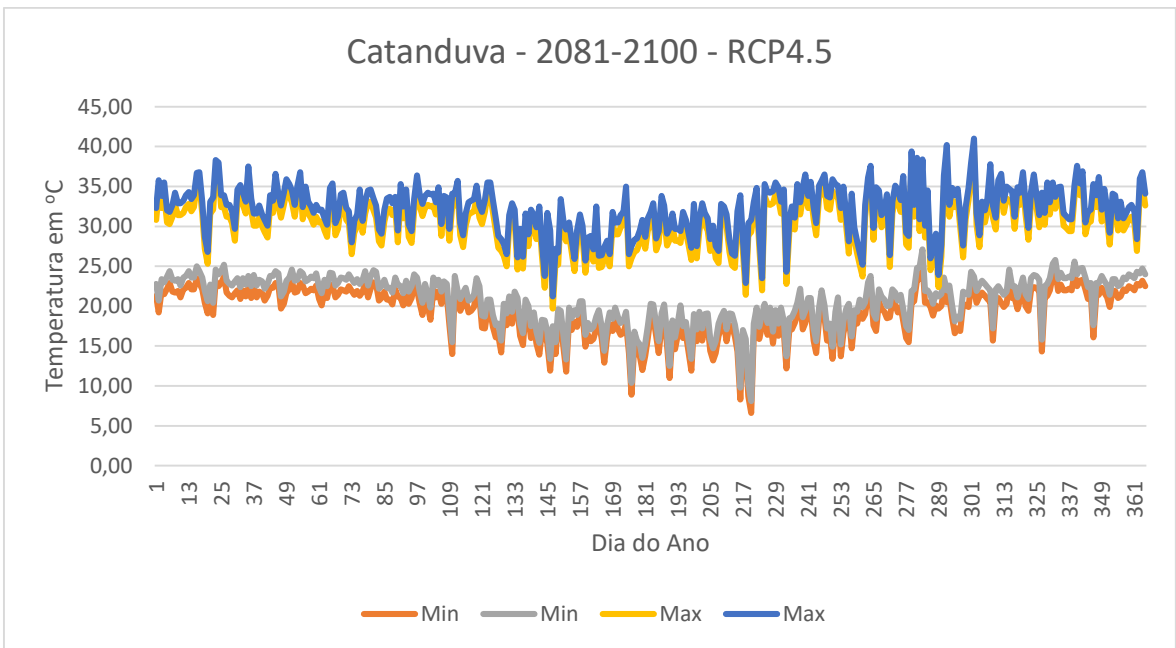


FIGURA 15 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2081-2100) com base no RCP4.5, para um período de um ano

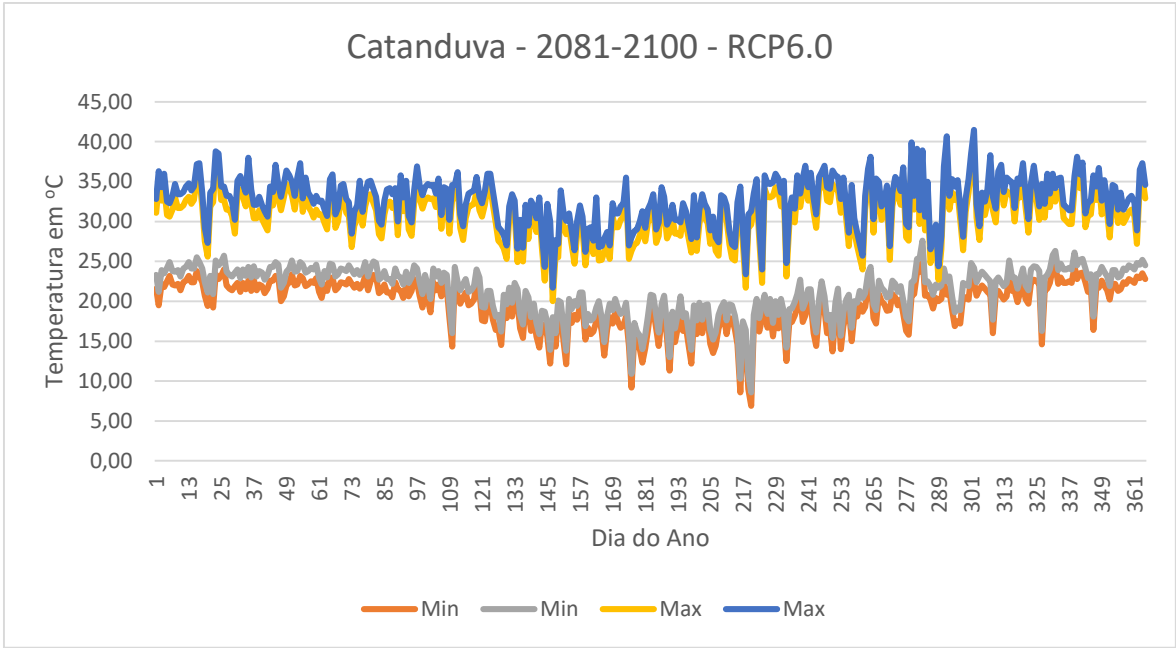


FIGURA 16 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2081-2100) com base no RCP6.0, para um período de um ano

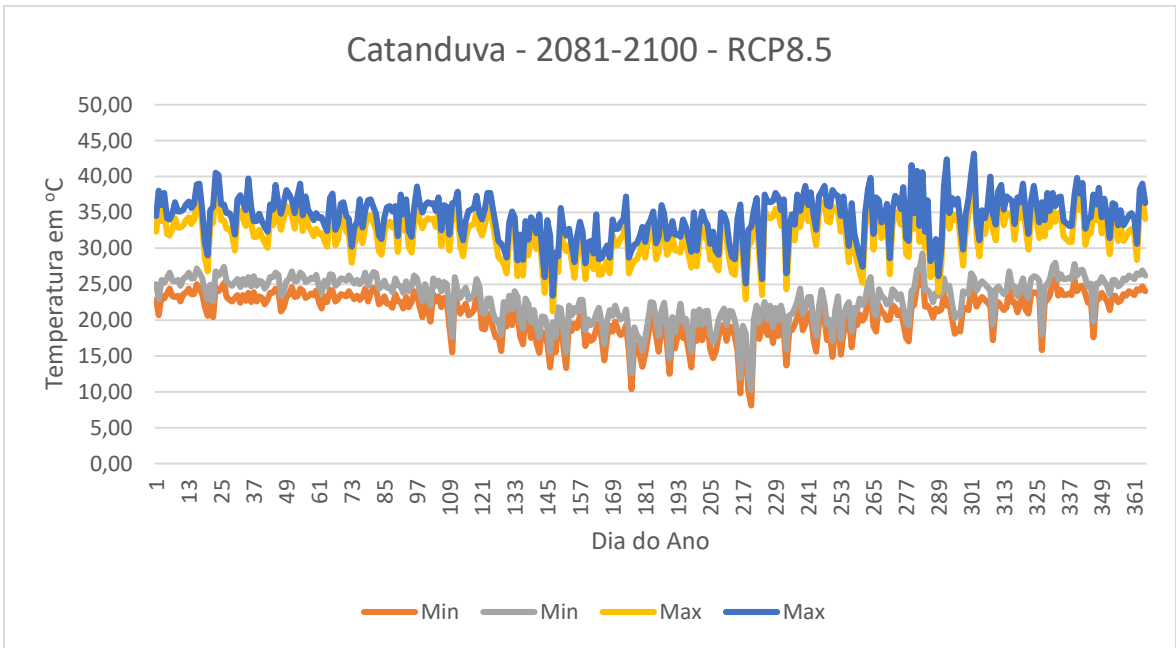


FIGURA 17 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Catanduva (2081-2100) com base no RCP8.5, para um período de um ano

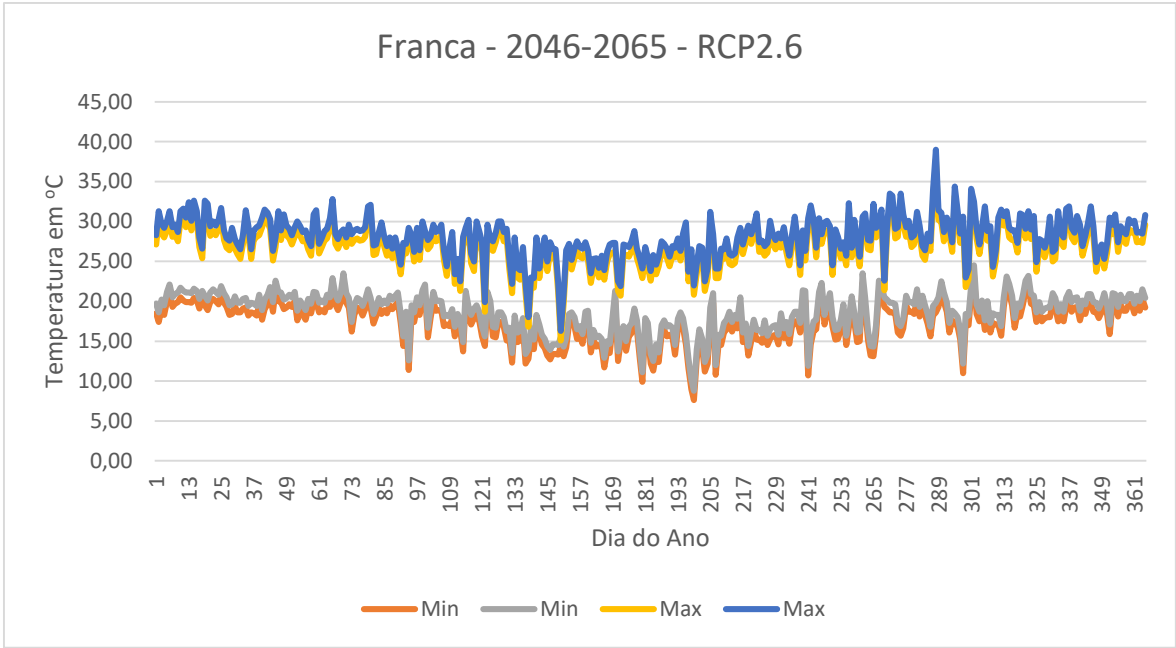


FIGURA 18 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2046-2065) com base no RCP2.6, para um período de um ano

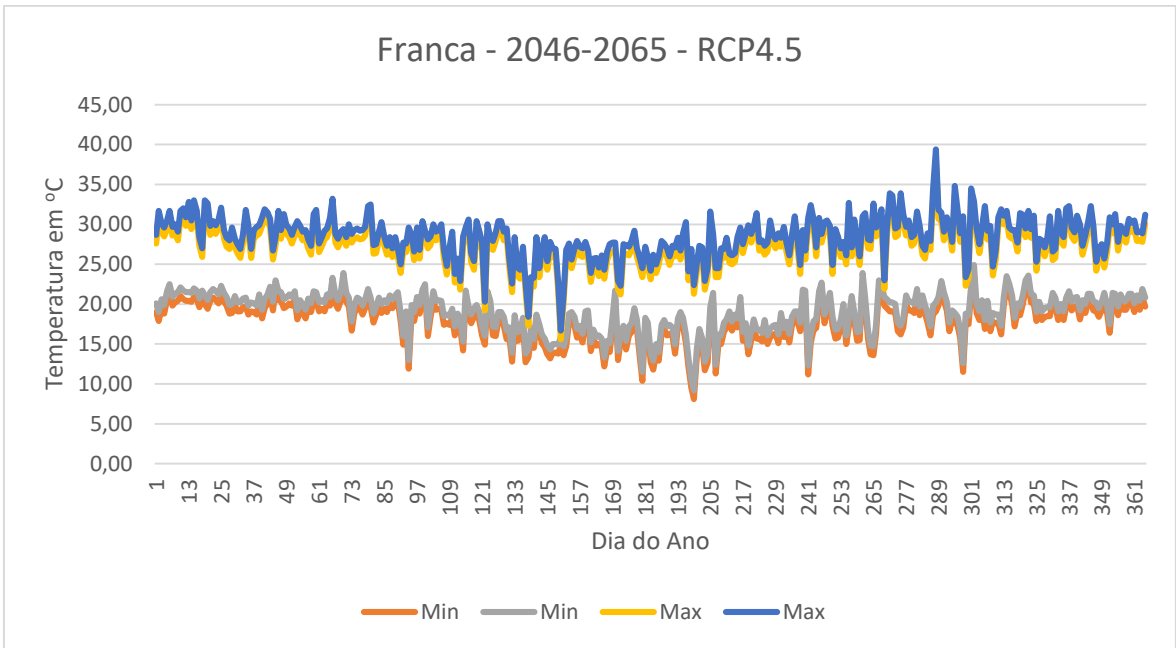


FIGURA 19 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2046-2065) com base no RCP4.5, para um período de um ano

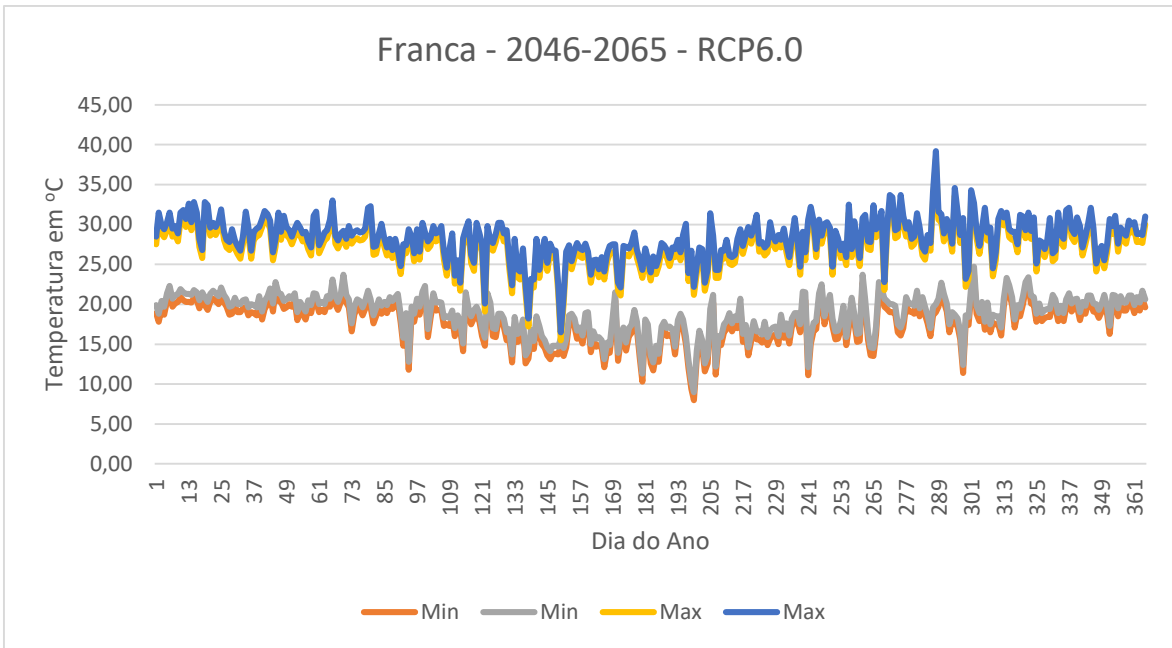


FIGURA 20 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2046-2065) com base no RCP6.0, para um período de um ano

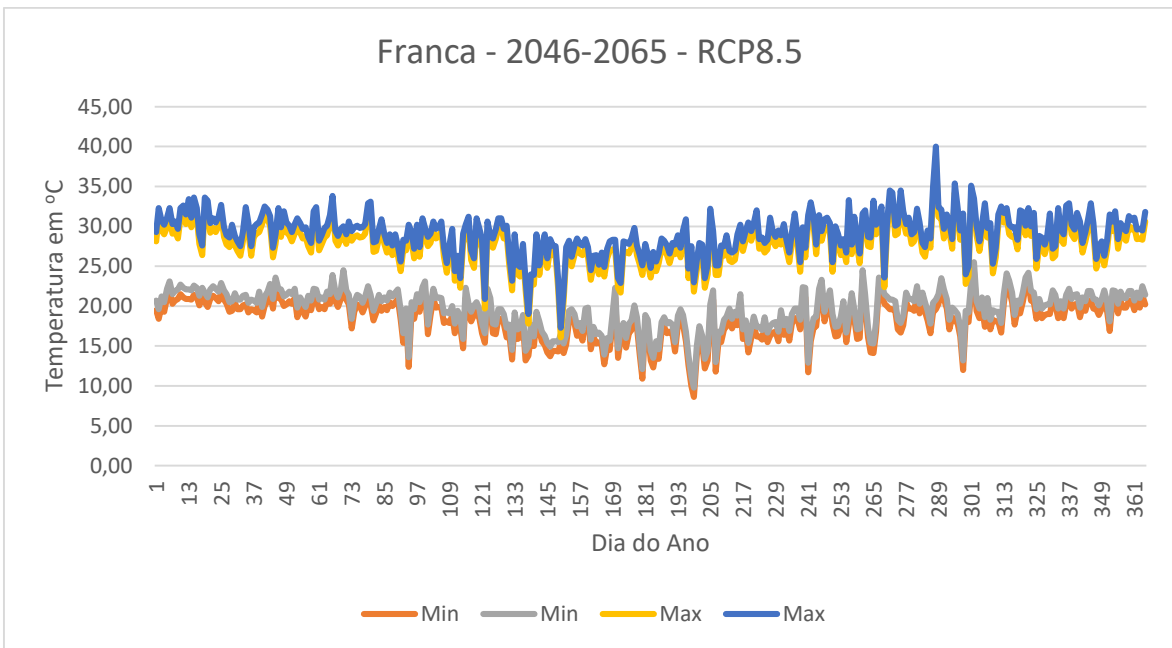


FIGURA 21 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2046-2065) com base no RCP8.5, para um período de um ano

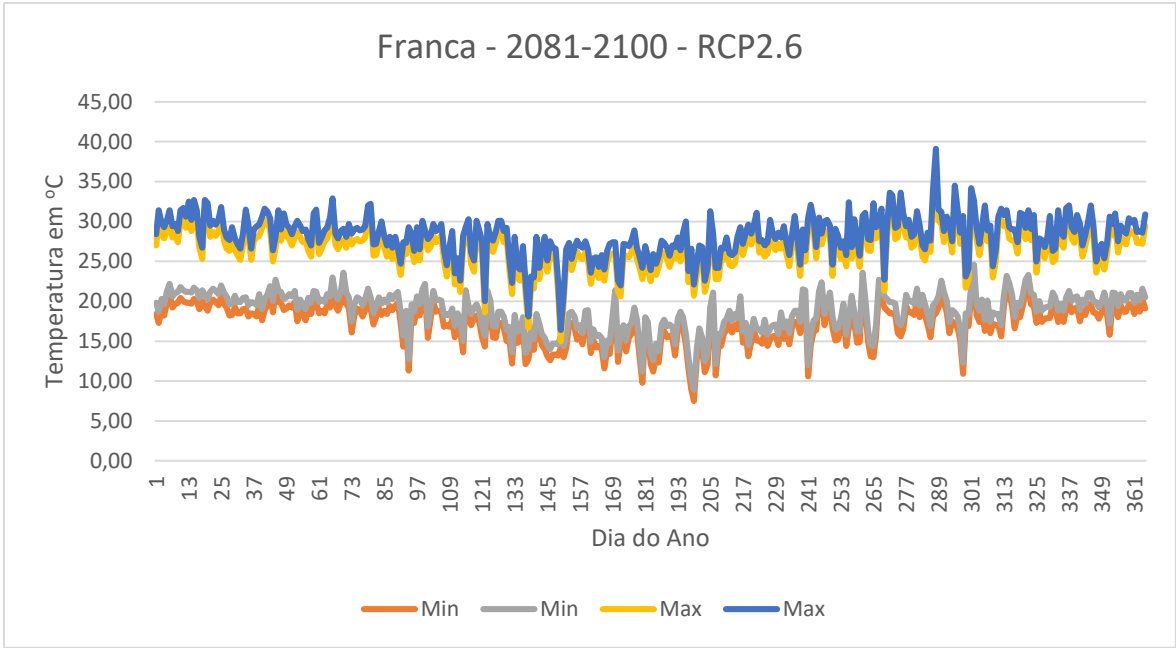


FIGURA 22 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2081-2100) com base no RCP2.6, para um período de um ano

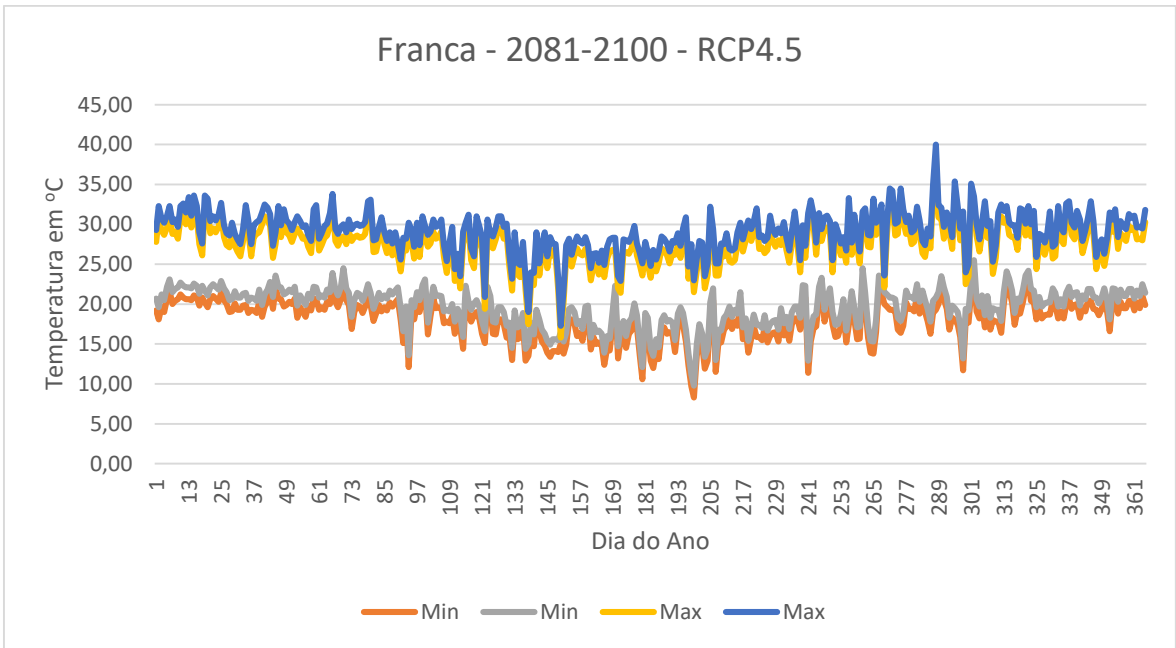


FIGURA 23 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2081-2100) com base no RCP4.5, para um período de um ano

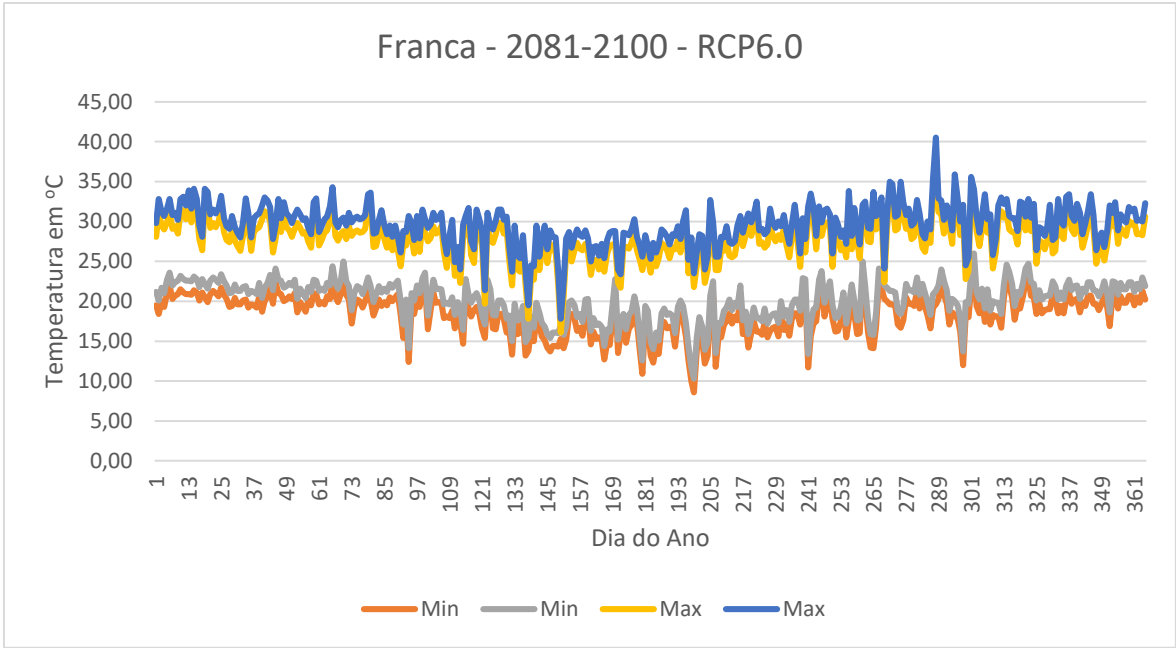


FIGURA 24 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2081-2100) com base no RCP6.0, para um período de um ano

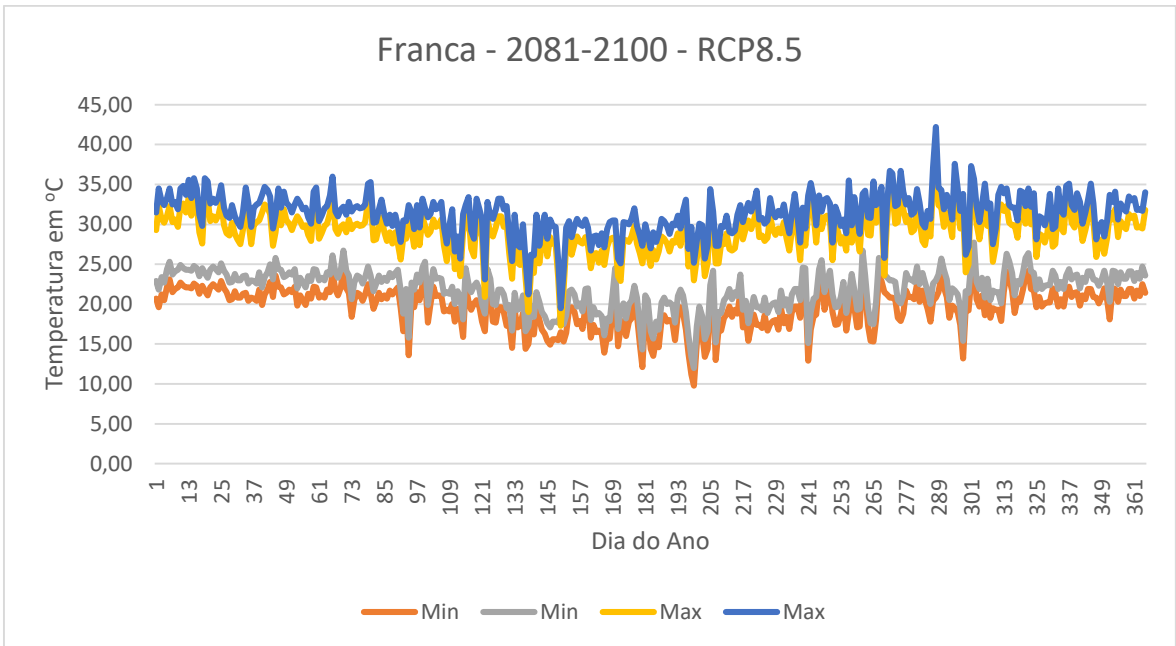


FIGURA 25 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Franca (2081-2100) com base no RCP8.5, para um período de um ano

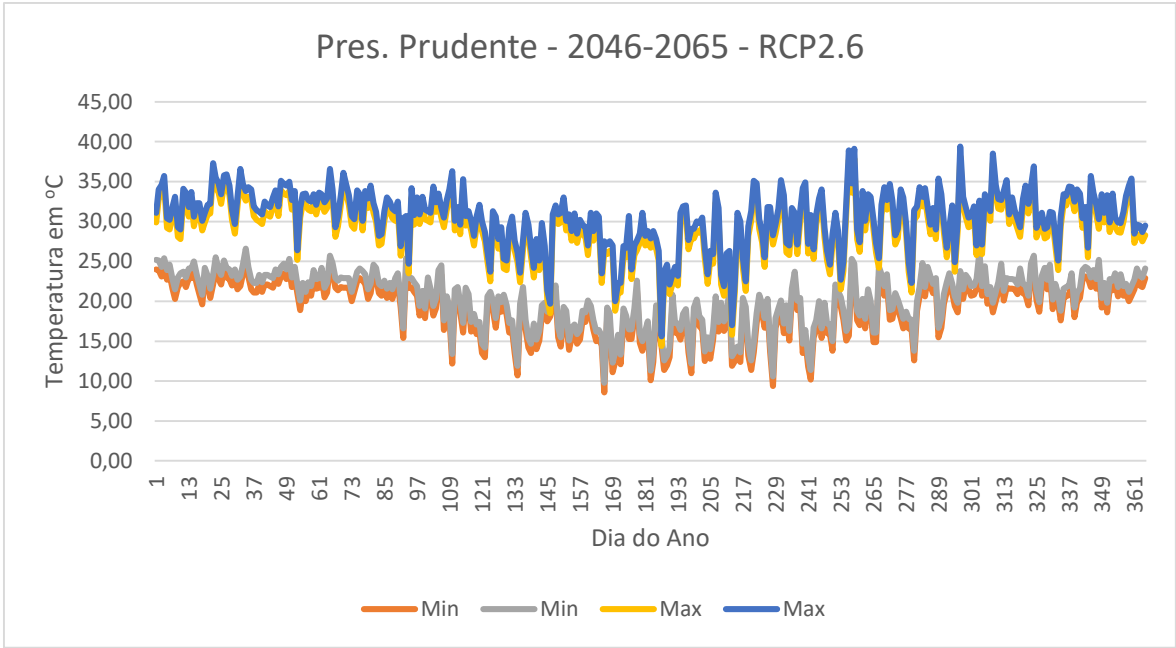


FIGURA 26 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2046-2065) com base no RCP2.6, para um período de um ano

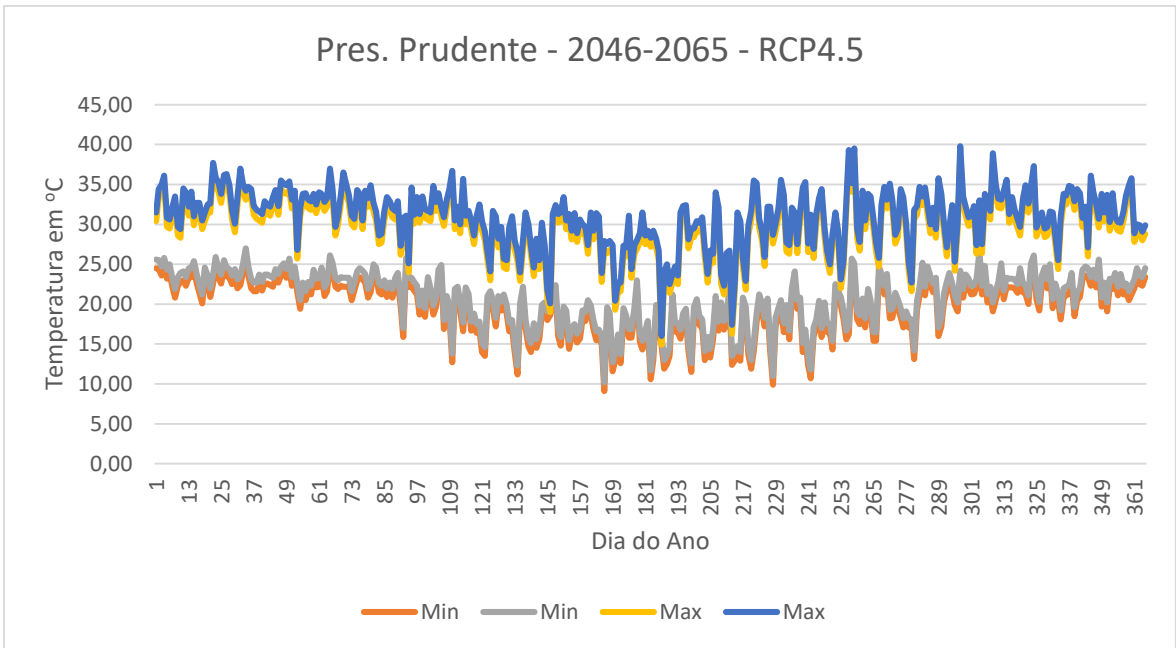


FIGURA 27 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2046-2065) com base no RCP4.5, para um período de um ano

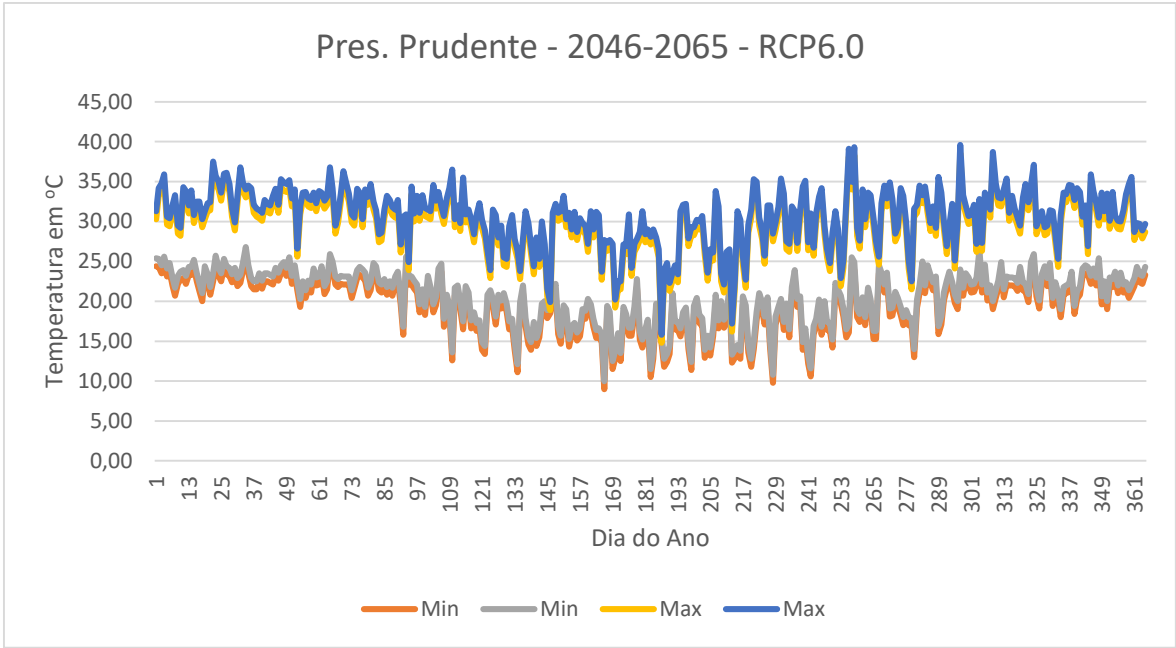


FIGURA 28 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2046-2065) com base no RCP6.0, para um período de um ano

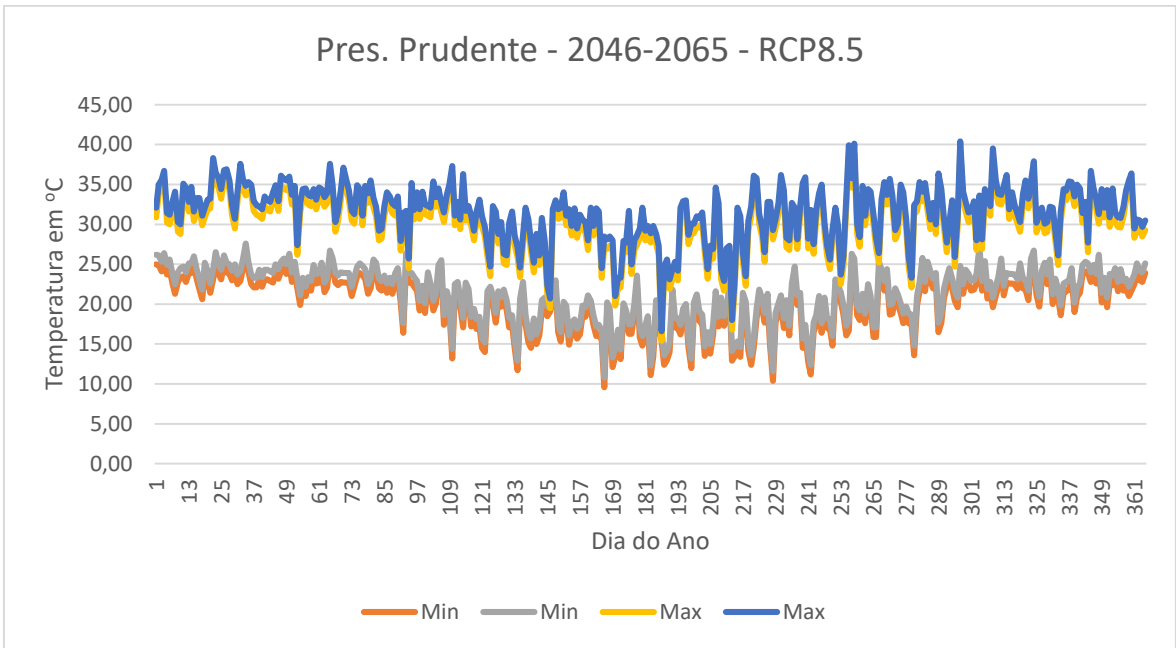


FIGURA 29 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2046-2065) com base no RCP8.5, para um período de um ano

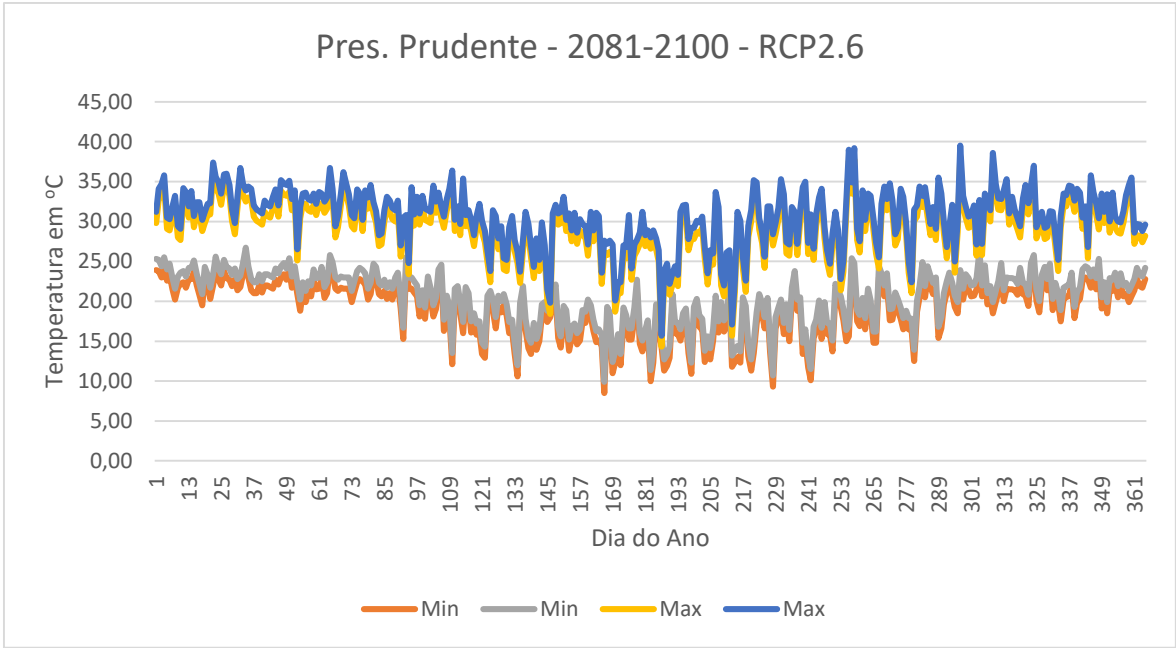


FIGURA 30 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2081-2100) com base no RCP2.6, para um período de um ano

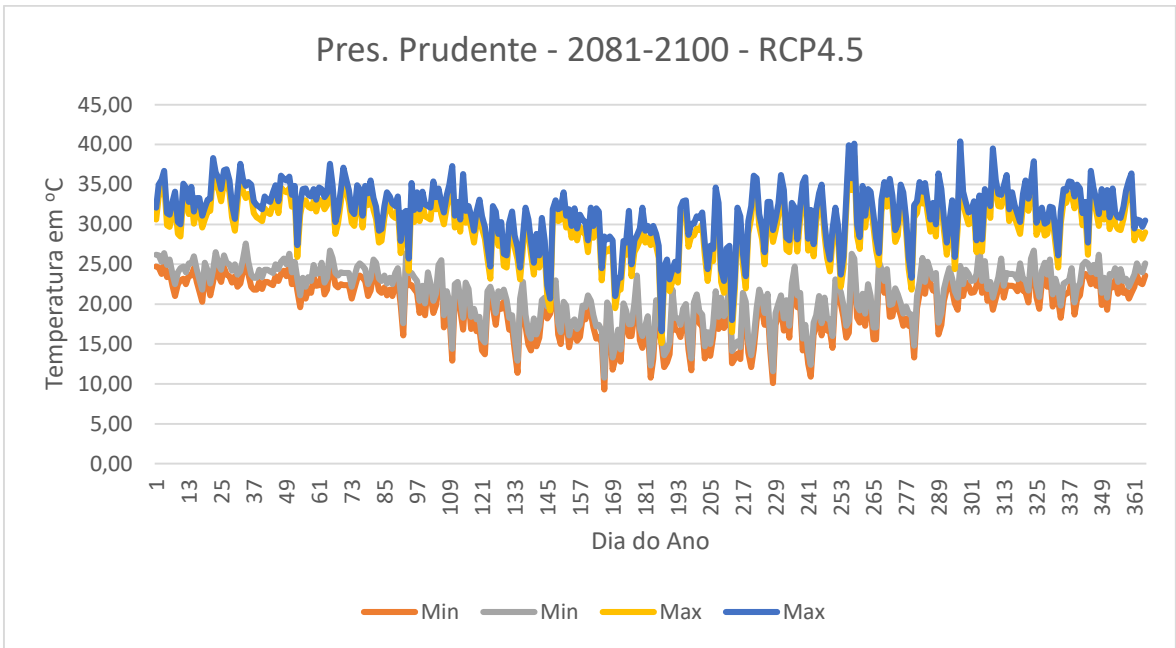


FIGURA 31 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2081-2100) com base no RCP4.5, para um período de um ano

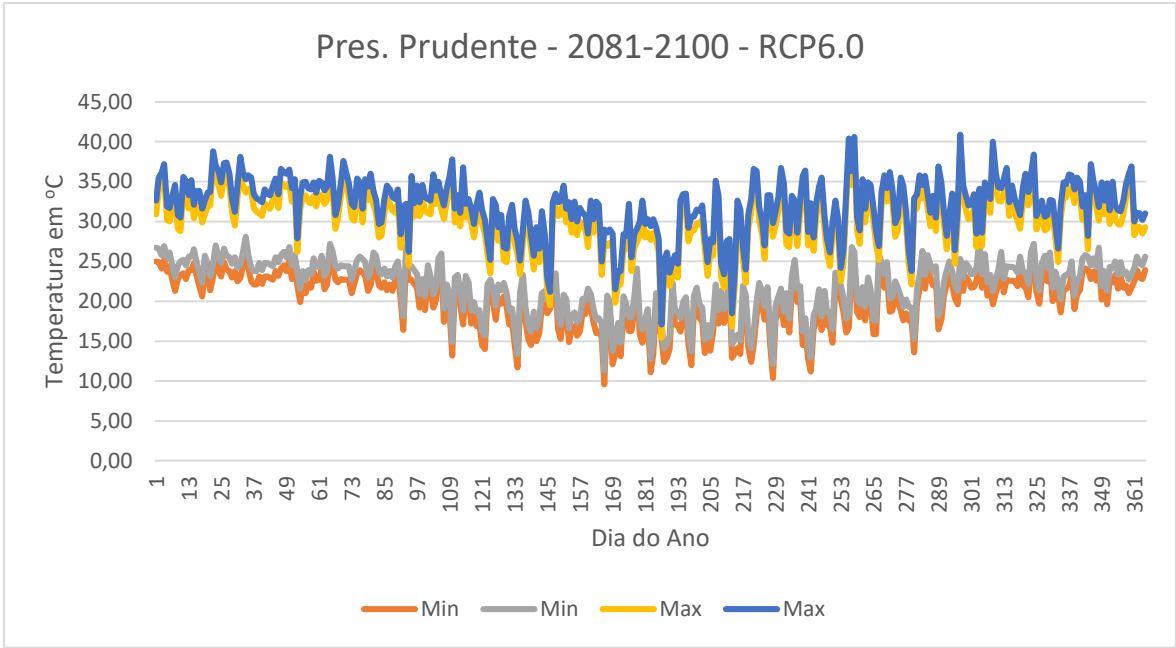


FIGURA 32 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2081-2100) com base no RCP6.0, para um período de um ano

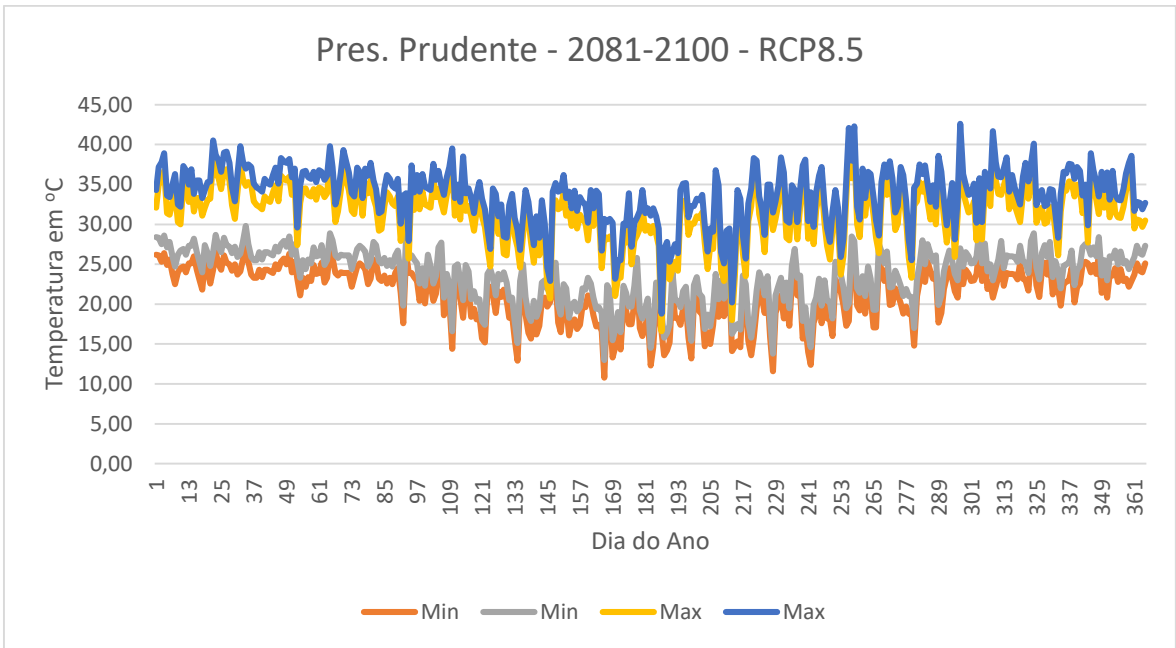


FIGURA 33 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Presidente Prudente (2081-2100) com base no RCP8.5, para um período de um ano

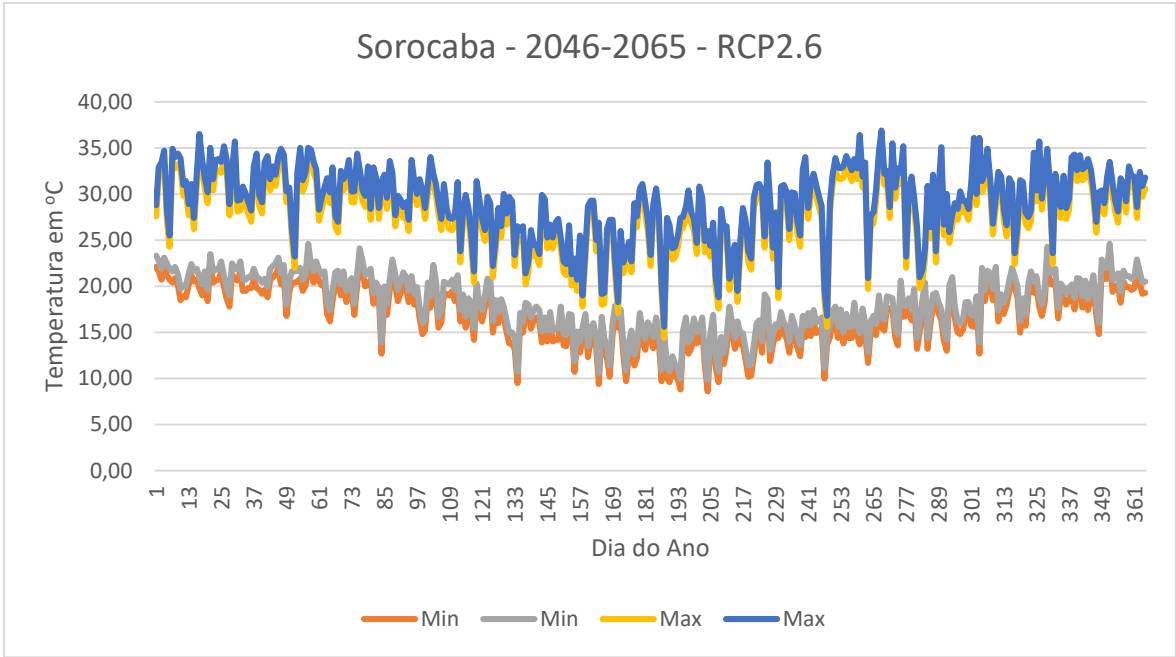


FIGURA 34 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2046-2065) com base no RCP2.6, para um período de um ano

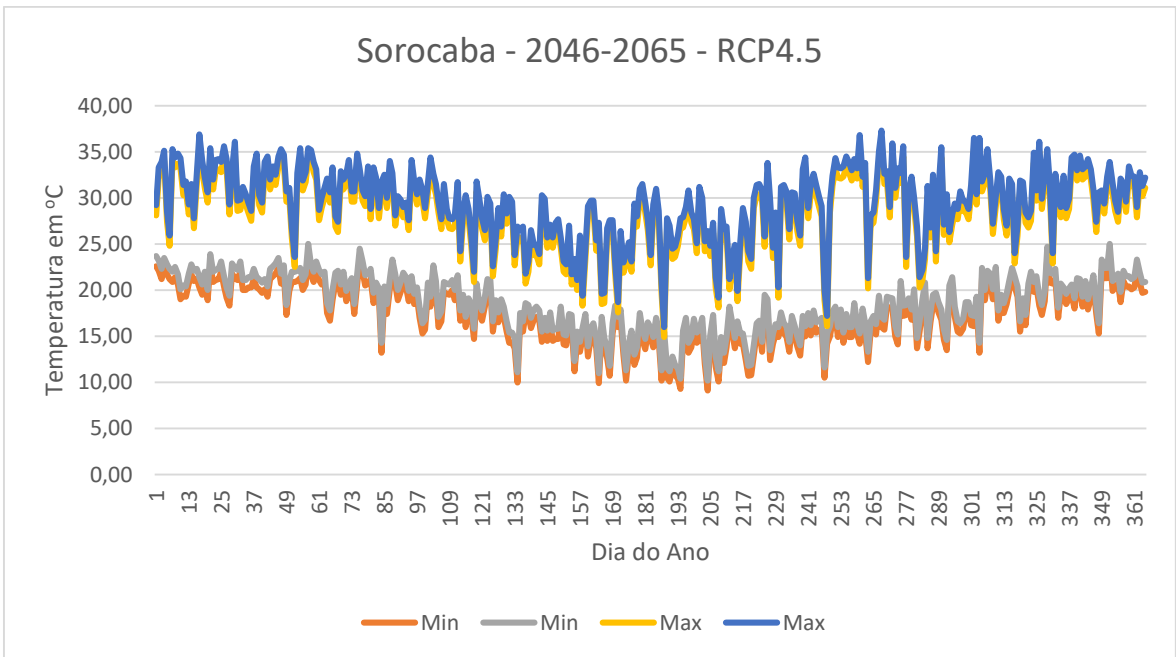


FIGURA 35 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2046-2065) com base no RCP4.5, para um período de um ano

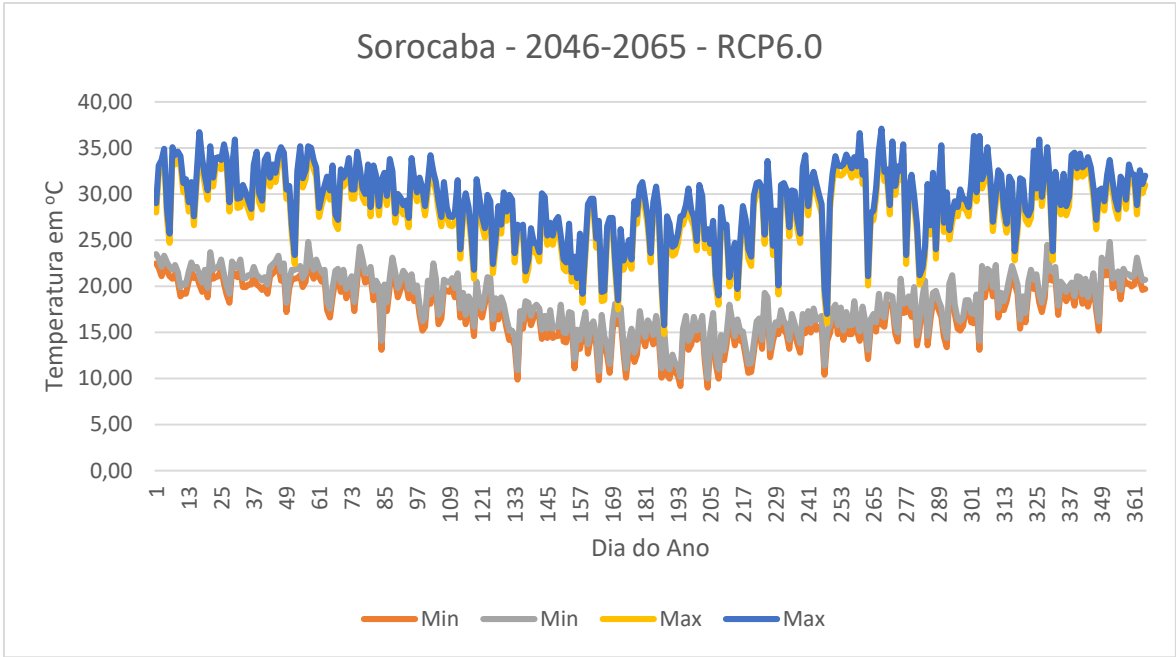


FIGURA 36 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2046-2065) com base no RCP6.0, para um período de um ano

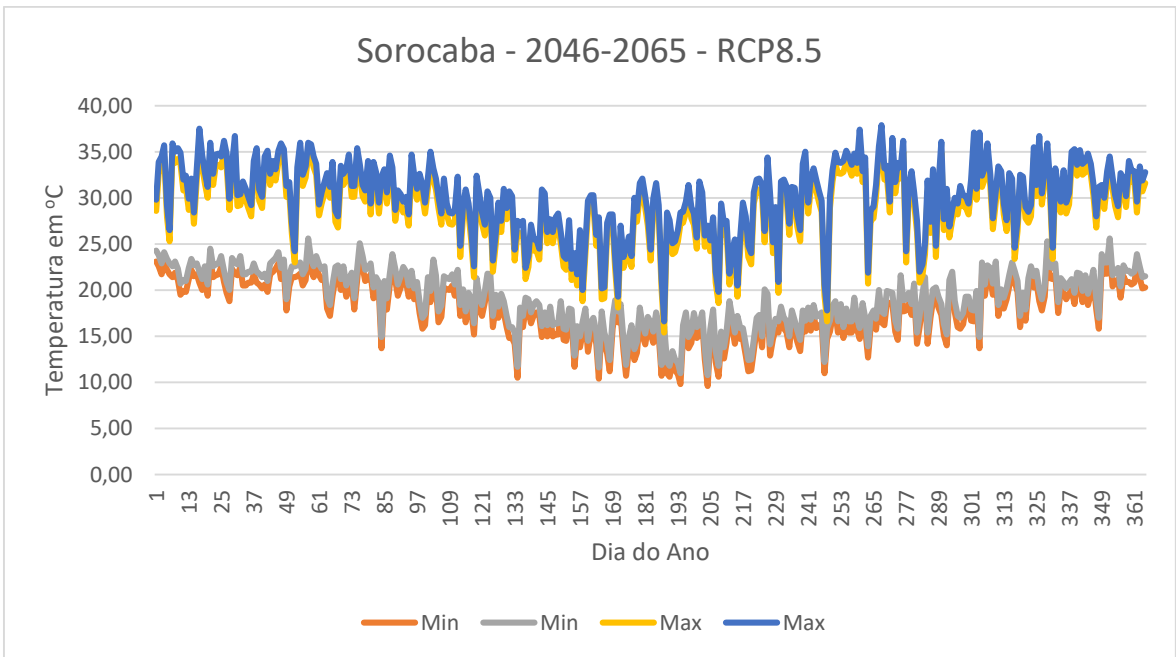


FIGURA 37 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2046-2065) com base no RCP8.5, para um período de um ano

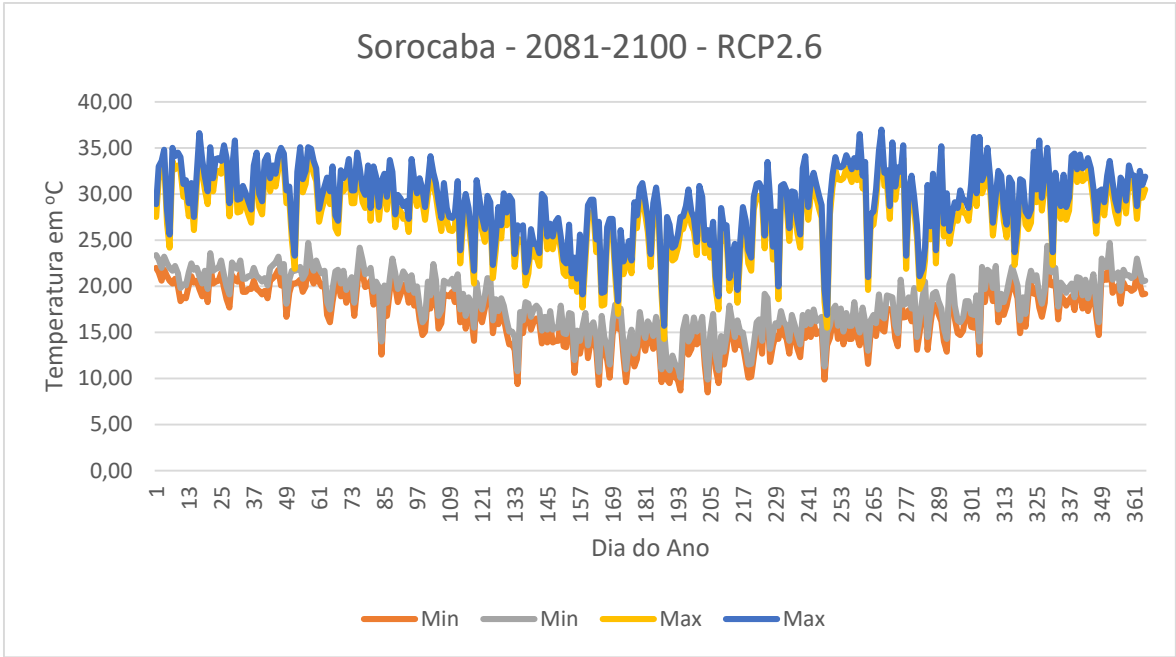


FIGURA 38 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2081-2100) com base no RCP2.6, para um período de um ano

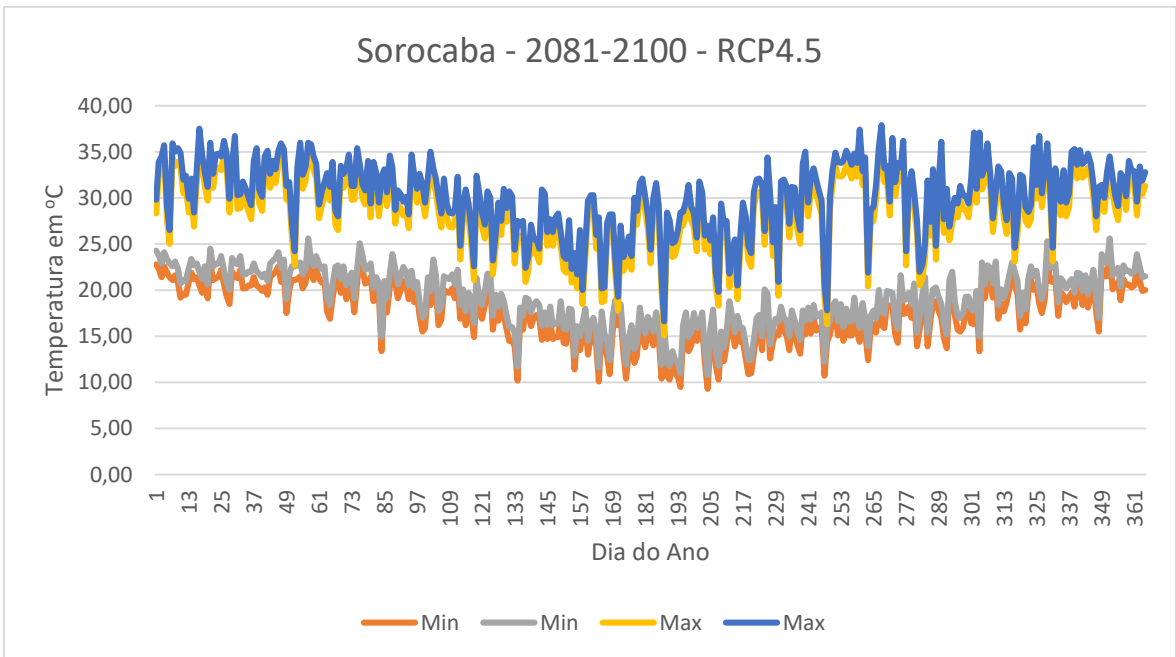


FIGURA 39 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2081-2100) com base no RCP4.5, para um período de um ano

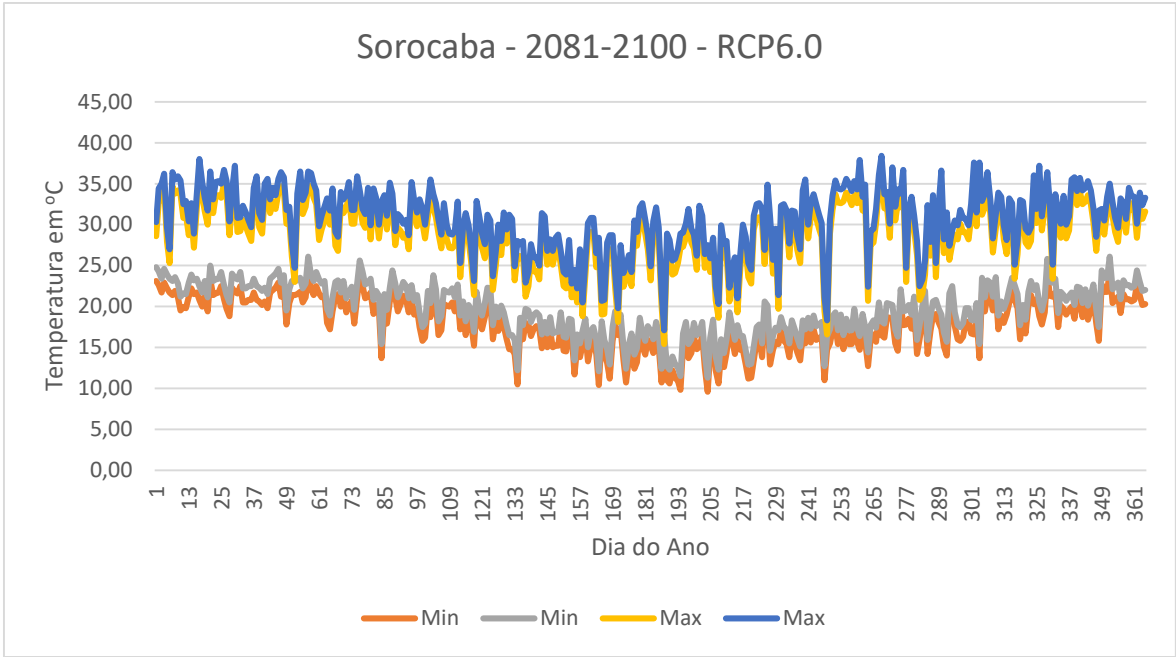


FIGURA 40 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2081-2100) com base no RCP6.0, para um período de um ano

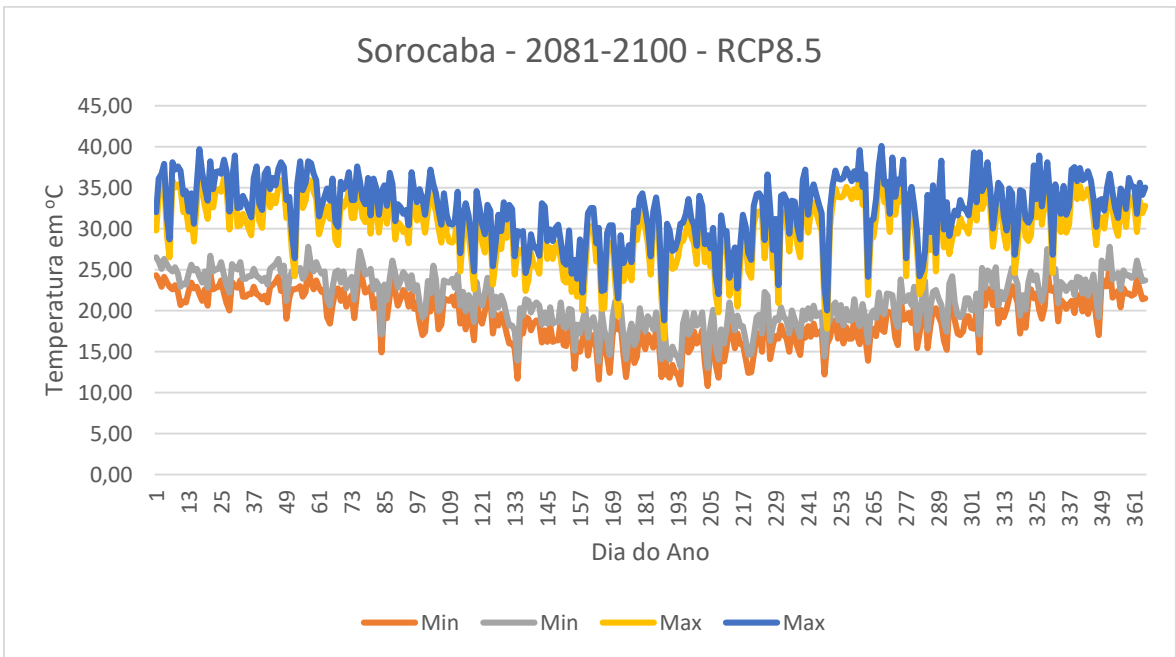


FIGURA 41 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Sorocaba (2081-2100) com base no RCP8.5, para um período de um ano

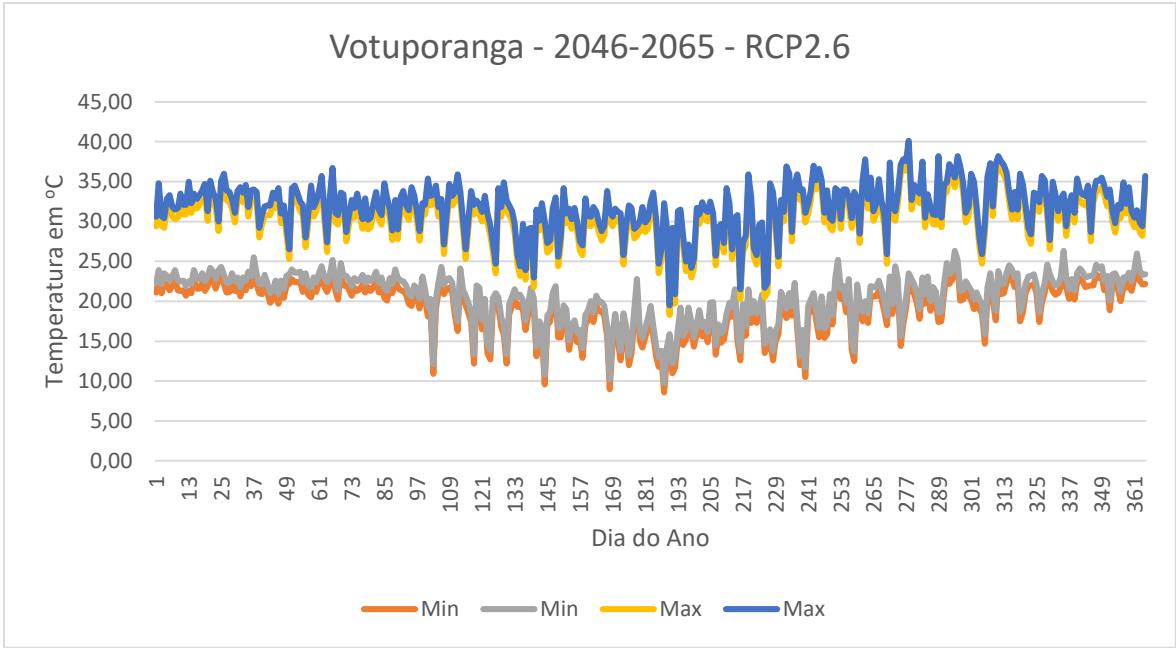


FIGURA 42 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2046-2065) com base no RCP2.6, para um período de um ano

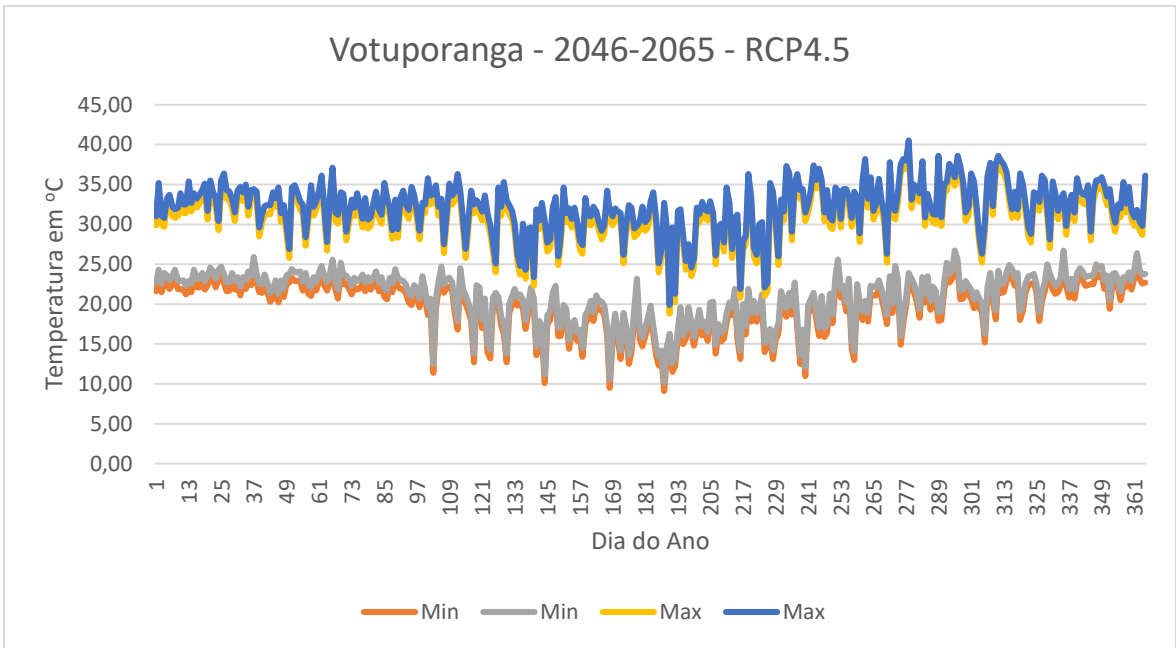


FIGURA 43 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2046-2065) com base no RCP4.5, para um período de um ano

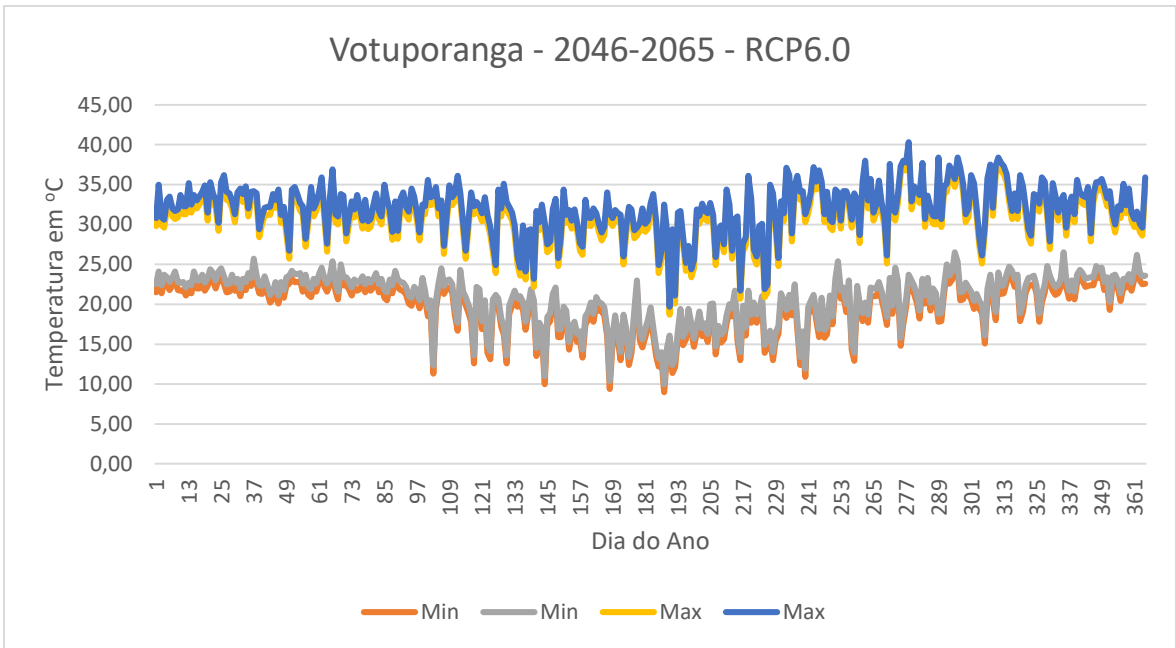


FIGURA 44 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2046-2065) com base no RCP6.0, para um período de um ano

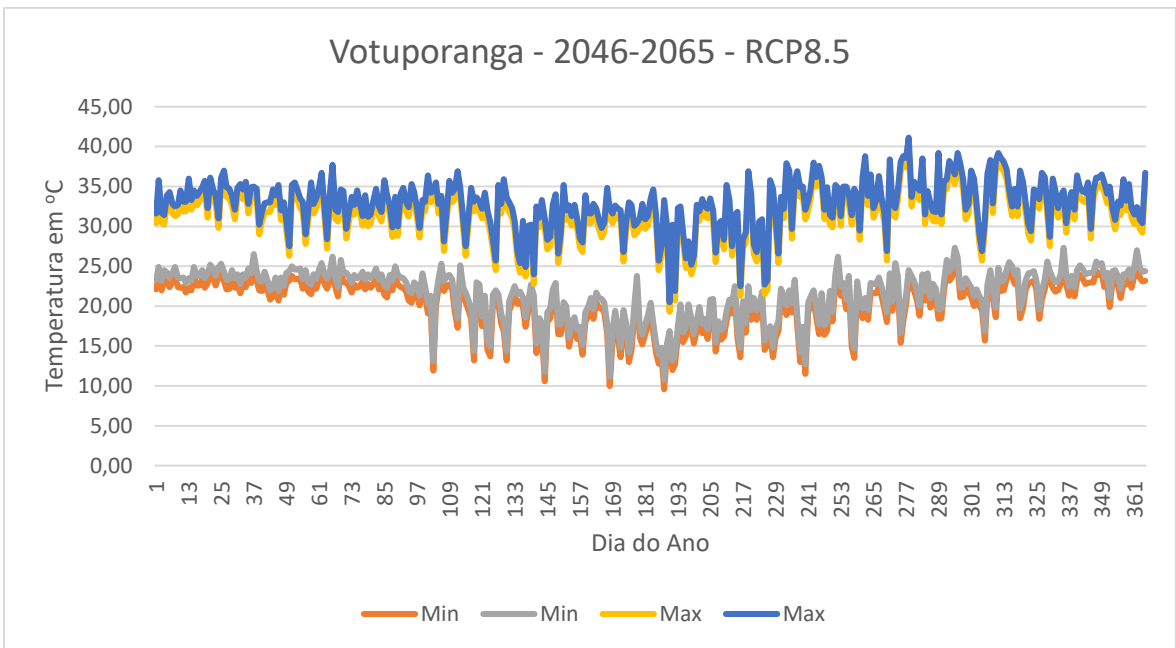


FIGURA 45 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2046-2065) com base no RCP8.5, para um período de um ano

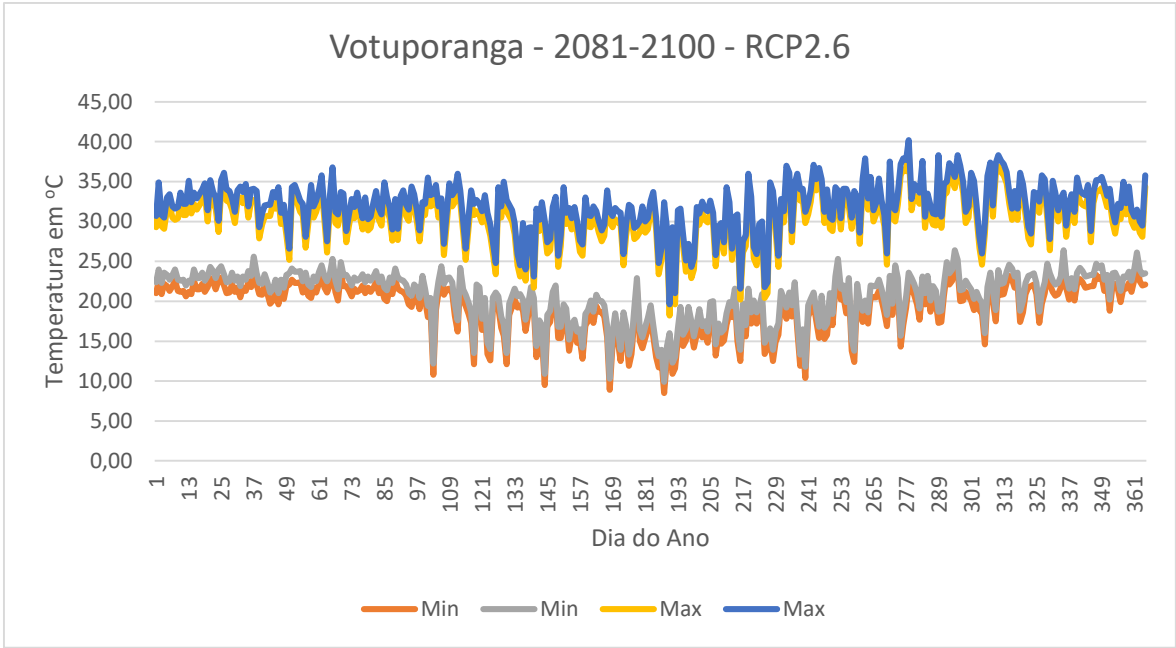


FIGURA 46 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2081-2100) com base no RCP2.6, para um período de um ano

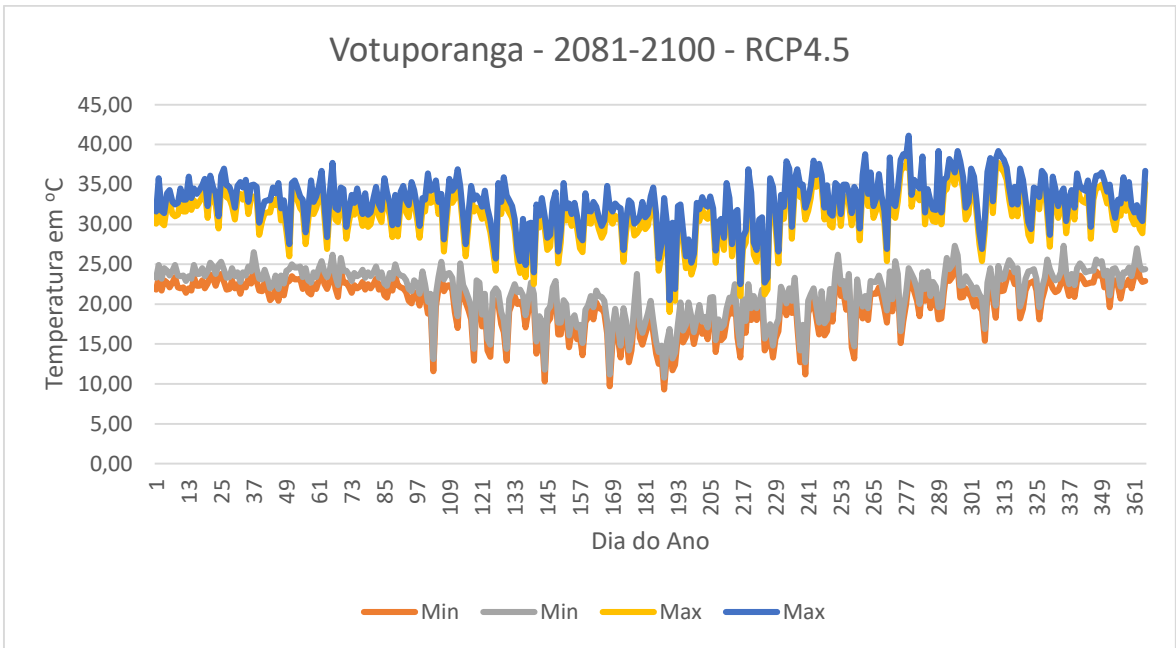


FIGURA 47 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2081-2100) com base no RCP4.5, para um período de um ano

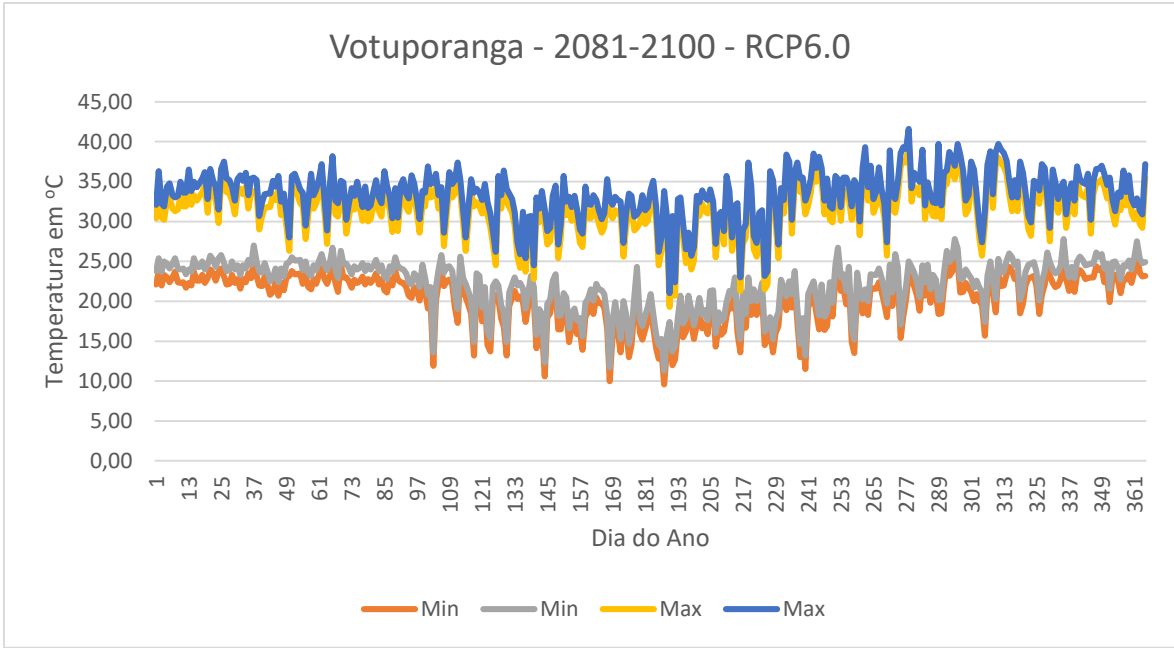


FIGURA 48 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2081-2100) com base no RCP6.0, para um período de um ano

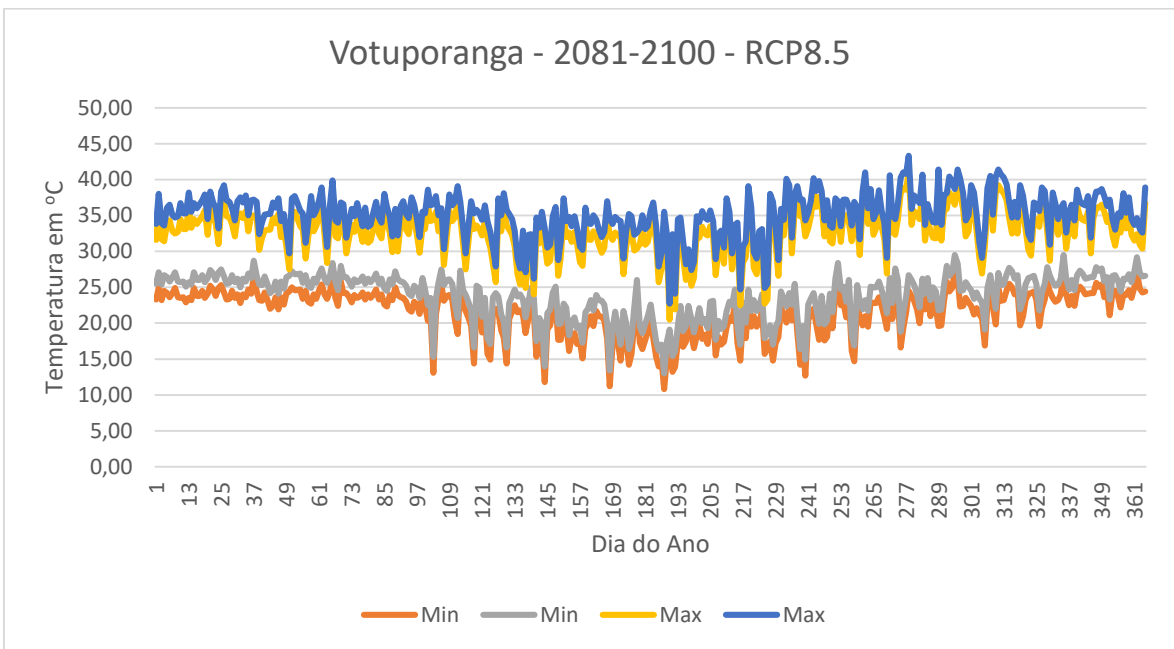


FIGURA 49 – Temperaturas máximas e mínimas estimadas para Votuporanga (2081-2100) com base no RCP8.5, para um período de um ano

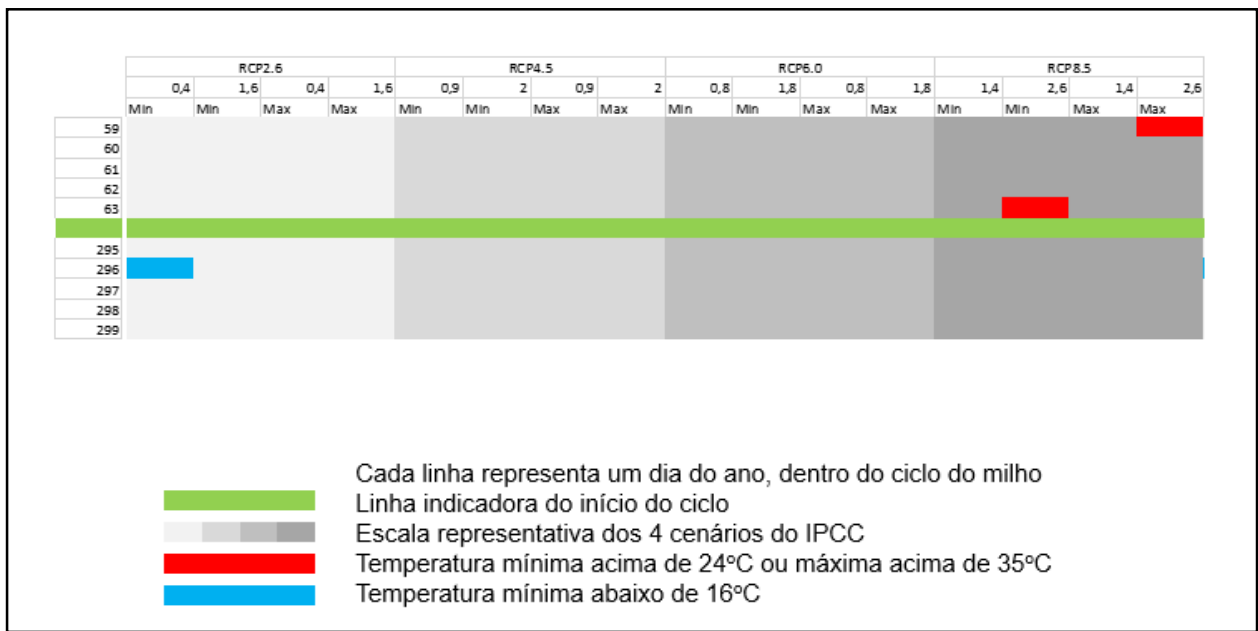


FIGURA 50 – Legenda para interpretação dos dados de temperaturas referenciais exibidos nas figuras 51 a 62

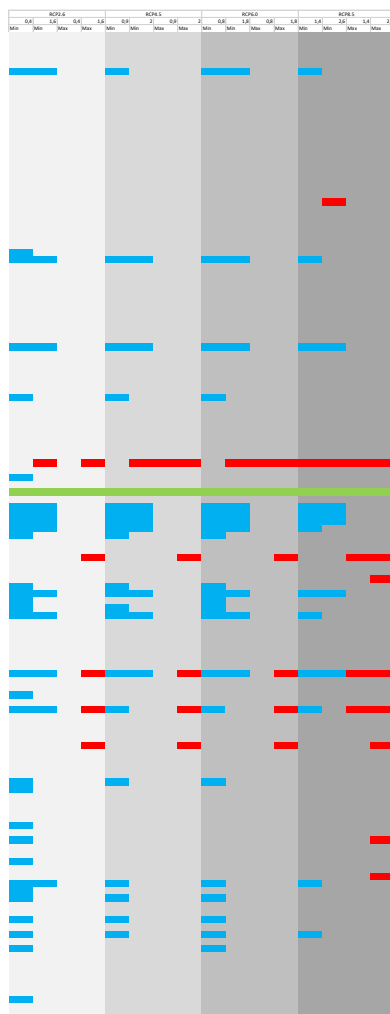


FIGURA 51 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Avaré (2046-2065), considerando os quatro cenários do IPCC

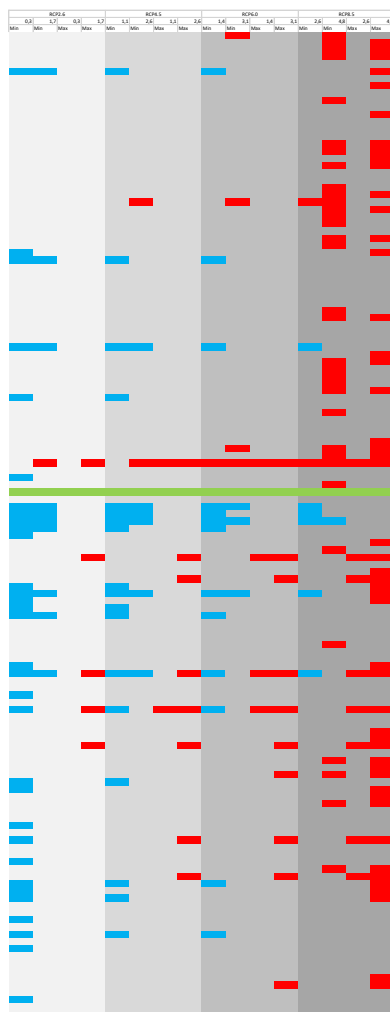


FIGURA 52 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Avaré (2081-2100), considerando os quatro cenários do IPCC

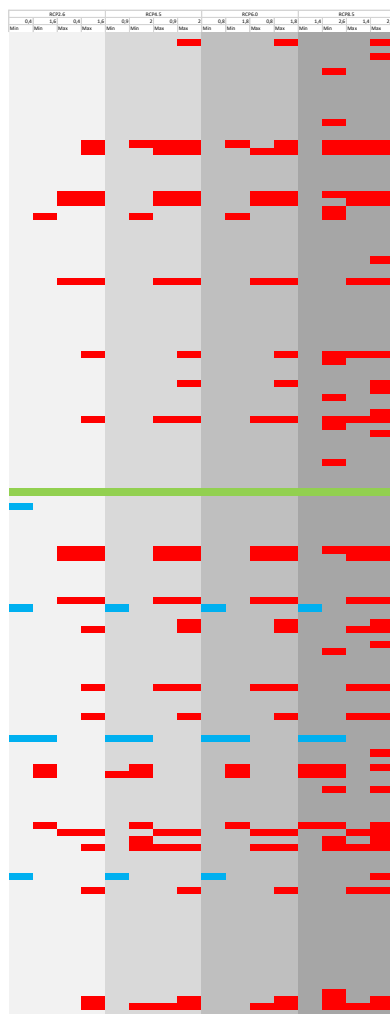


FIGURA 53 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Catanduva (2046-2065), considerando os quatro cenários do IPCC

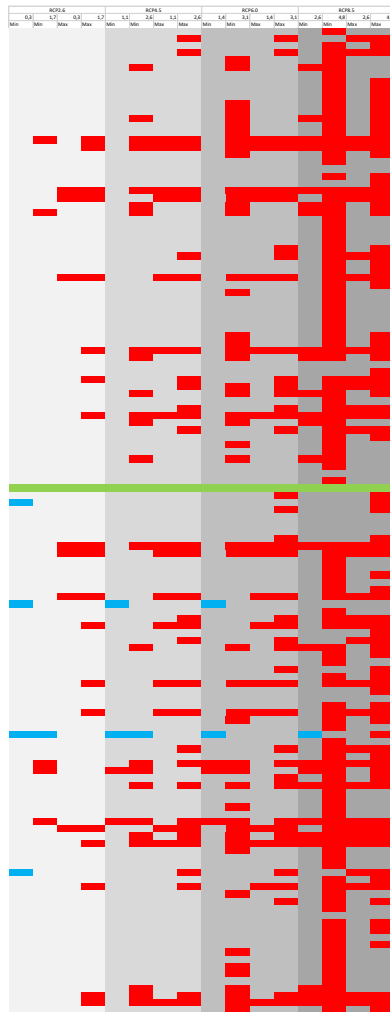


FIGURA 54 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Catanduva (2081-2100), considerando os quatro cenários do IPCC

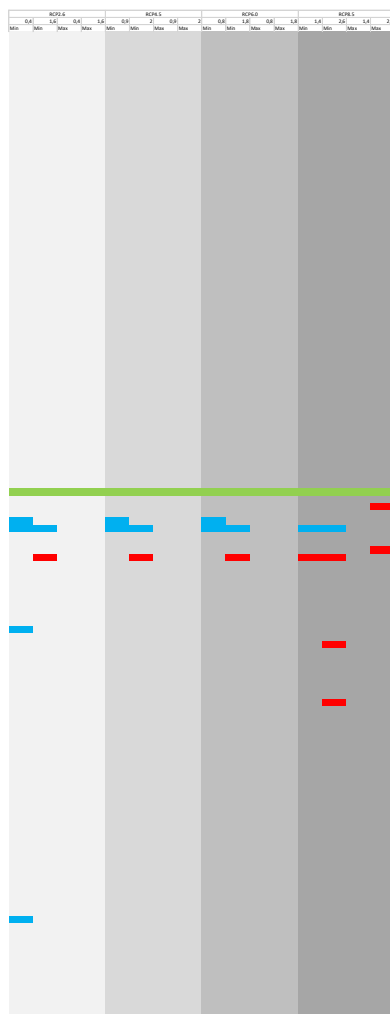


FIGURA 55 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Franca (2046-2065), considerando os quatro cenários do IPCC

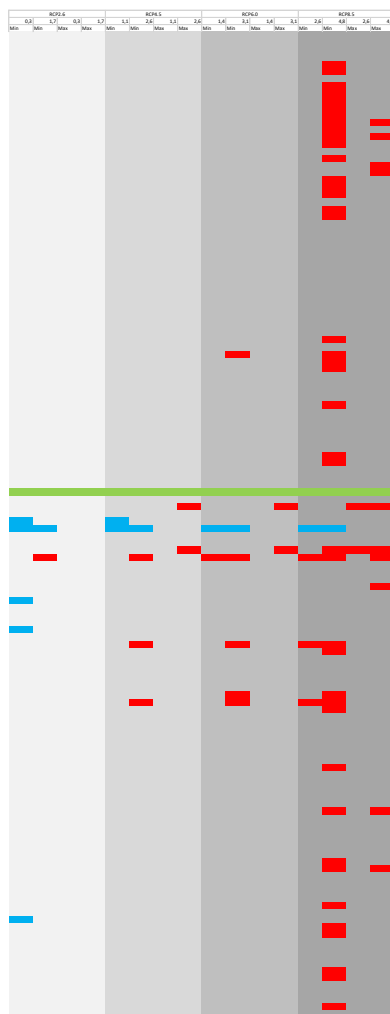


FIGURA 56 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Franca (2081-2100), considerando os quatro cenários do IPCC

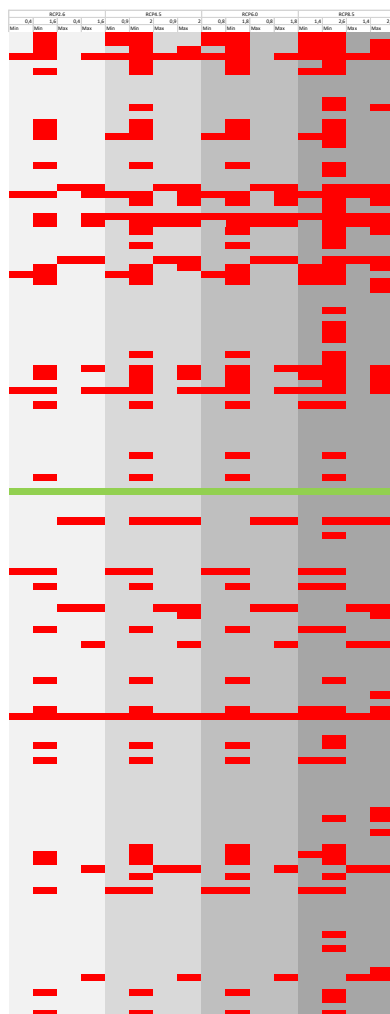


FIGURA 57 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Presidente Prudente (2046-2065), considerando os quatro cenários do IPCC

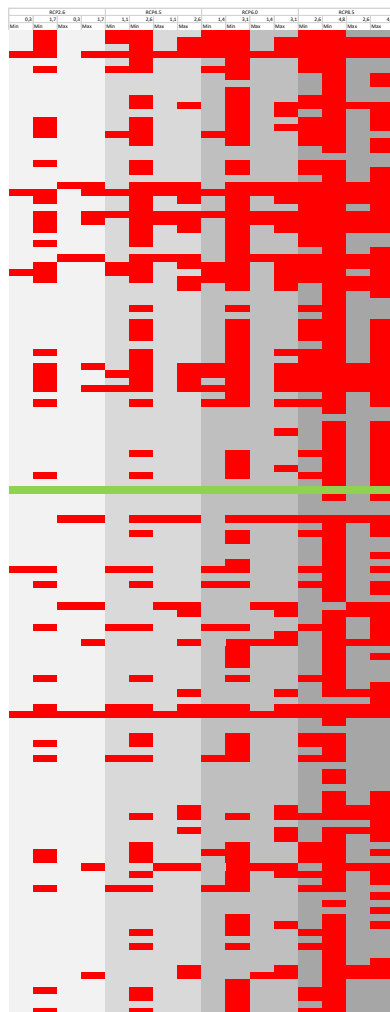


FIGURA 58 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Presidente Prudente (2081-2100), considerando os quatro cenários do IPCC

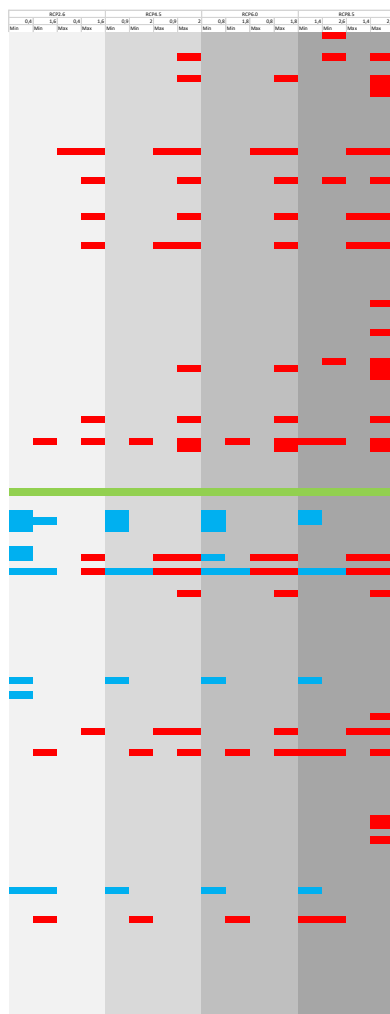


FIGURA 59 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Sorocaba (2046-2065), considerando os quatro cenários do IPCC

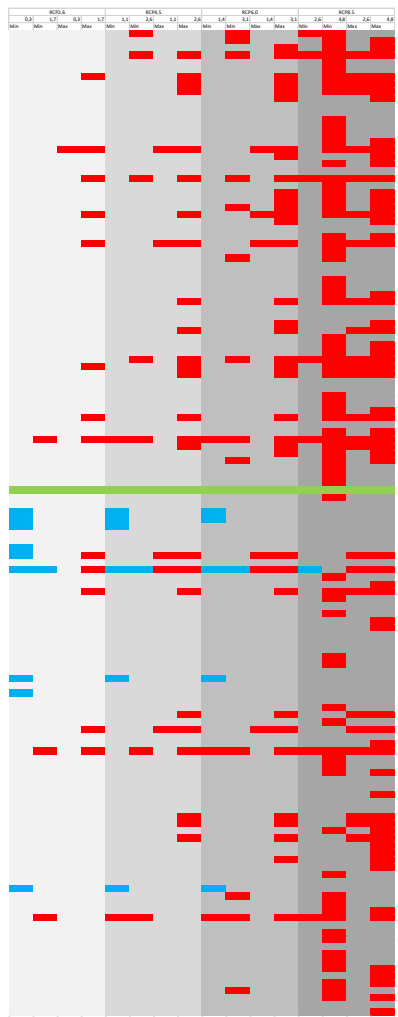


FIGURA 60 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Sorocaba (2081-2100), considerando os quatro cenários do IPCC

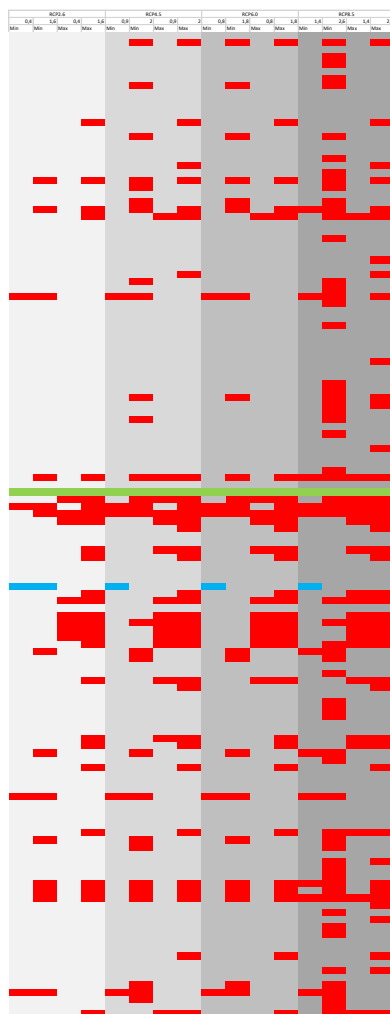


FIGURA 61 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Votuporanga (2046-2065), considerando os quatro cenários do IPCC

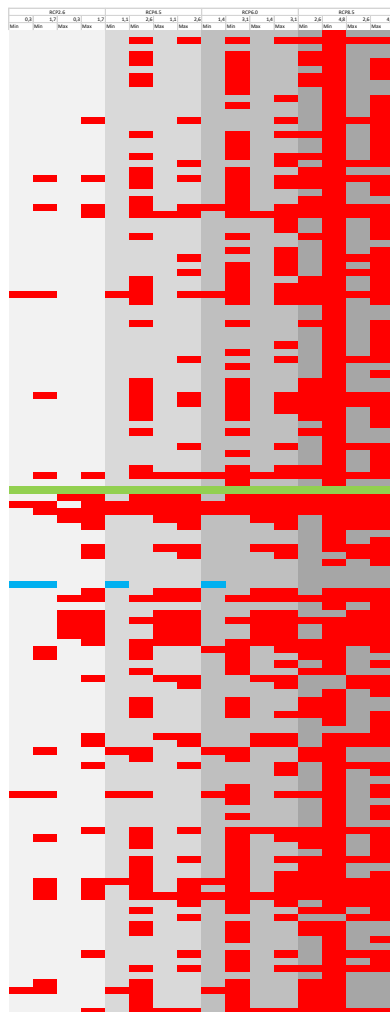


FIGURA 62 – Representação gráfica das temperaturas referenciais para Votuporanga (2081-2100), considerando os quatro cenários do IPCC