



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

KARITHA CAMPOS KOGIMA

**ANOMALIAS DE CALOR ASSOCIADAS À VARIABILIDADE  
TÉRMICA NO ESTADO DO PARANÁ**

KARITHA CAMPOS KOGIMA

**ANOMALIAS DE CALOR ASSOCIADAS À VARIABILIDADE  
TÉRMICA NO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Deise Fabiana Ely

Londrina  
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Kogima, Karitha Campos.

Anomalias de calor associadas à variabilidade térmica no estado do Paraná / Karitha Campos Kogima. - Londrina, 2018.

122 f. : il.

Orientador: Deise Fabiana Ely.

Dissertação (Mestrado em Direito Negocial) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Estudos Sociais Aplicados, Programa de Pós-Graduação em Direito Negocial, 2018.

Inclui bibliografia.

1. Climatologia - Tese. 2. Ondas de calor (Meteorologia) - Tese. 3. Variações climáticas - Tese. 4. Altas temperaturas - Tese. I. Ely, Deise Fabiana. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Estudos Sociais Aplicados. Programa de Pós-Graduação em Direito Negocial. III. Título.

KARITHA CAMPOS KOGIMA

**ANOMALIAS DE CALOR ASSOCIADAS À VARIABILIDADE  
TÉRMICA NO ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Profa. Dra. Deise Fabiana Ely  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Profa. Dra. Gislaine Cristina Luiz  
Universidade Federal de Goiás – UFG

---

Prof. Dr. Gilnei Machado  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 14 de maio de 2018.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Mario Kogima e Aparecida Leonor Patta, por serem batalhadores, por quem tenho admiração, amor e orgulho e estiveram ao meu lado me apoiando para realizar mais esta etapa em minha vida.

Aos meus irmãos Hugo e Leandro que me fazem ver a cada dia como é bom tê-los em minha vida, que torceram por mim e acreditaram nos meus sonhos. Ao meu companheiro Caio por estar sempre presente e por entender minha ausência em cada dia e noite de estudo, me apoiando e me encorajando para o término deste trabalho.

À minha orientadora Profa. Dra. Deise Fabiana Ely por aceitar a orientação neste trabalho, pela disponibilidade, consideração e pela dedicação a me ensinar e me apoiar cada vez mais, me sinto agradecida pela parceria de orientação e pelas longas conversas de apoio e desabafos.

Ao Dr. Paulo Henrique Caramori pela oportunidade que me foi concedida para estagiar na área de Agrometeorologia do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). Agradeço pelo incentivo, por me animar a continuar meus estudos e ter, enfim, concluído minha pós-graduação, pelos ensinamentos, pela amizade e por me fazer acreditar que iria dar certo.

Ao meu amigo, em especial, Nathan Caldana pela amizade, companheirismo e por estar presente nestes últimos 2 anos e acompanhar todas as etapas realizadas no meu trabalho.

Ao IAPAR por disponibilizar os dados meteorológicos para o desenvolvimento da pesquisa.

À Universidade Estadual de Londrina, pela formação.

Muito obrigada!

KOGIMA, Karitha Campos. **Anomalias de calor associadas à variabilidade térmica no Estado do Paraná**. 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2018

## RESUMO

O clima possui uma variabilidade natural, que resulta das interações entre o sistema terra-atmosfera e que culmina, muitas vezes, com a deflagração de eventos extremos que são intensificados pela ação humana, que podem causar grandes impactos negativos à sociedade. O objetivo deste estudo foi produzir uma análise da variabilidade das temperaturas máximas anuais no estado do Paraná no período de 1976 a 2015, visando identificar períodos mais quentes. As análises constantes no trabalho foram feitas por meio da aplicação de diferentes índices: 1– primavera – verão (P–V); 2 – índice diário (ID) e 3 – índices de extremos térmicos propostos pela OMM. Como resultado da análise da variabilidade anual das temperaturas, o Método Gráfico Cronológico de Tratamento de Informação (MGCTI) possibilitou uma análise conjunta dos dados das estações e mostra um aquecimento após a década de 2000. O índice P–V detecta somente os eventos mais extremos que ocorrem com frequência nos meses de novembro a fevereiro. O índice ID identifica os eventos de aquecimento anômalo que ocorrem durante todo o ano e, no Paraná, foi verificado que os maiores registros ocorrem nas estações de outono e inverno. Por meio da análise dos índices dos extremos térmicos da OMM foi possível identificar que as estações localizadas na região norte e oeste do estado, principalmente, aquelas localizadas ao norte do trópico de Capricórnio apresentaram ondas de calor mais significativas, de maior duração e com temperaturas mais elevadas. Por outro lado, as estações situadas no centro-sul do estado demonstram ondas de calor com menor intensidade e duração. Pelo fato de que as ondas de calor são caracterizadas de formas diferentes pelos métodos aplicados, destaca-se que os resultados são dependentes do índice utilizado, sendo assim, a seleção do critério para determinar as ondas de calor depende do propósito do estudo.

**Palavras-Chave:** Ondas de calor. Índices. Extremos térmicos. Tendências.

KOGIMA, Karitha Campos. **Heat anomalies associated with climatic variability in the state of Paraná**. 2018. 122 p. Dissertation (Master's Degree in Geography) – Universidade Estadual de Londrina – Londrina, Londrina, 2018

## **ABSTRACT**

The climate has a natural variability, which results from the interactions between the earth–atmosphere system and culminating, often, with the outbreak of extreme events that are intensified by human action, which can cause great negative impacts to society. The objective of this study was to produce an analysis of the variability of annual maximum temperatures in the state of Paraná from 1976 to 2015, seeking to identify warmer periods. The analyzes in the work were done through the application of different indexes: 1 – spring – summer (P–V); 2 – daily index (ID) and 3 – thermal extremes indices proposed by WMO. As a result of the analysis of the annual variability of temperatures, the chronological graphic method of information processing (MGCTI) allowed a joint analysis of the data of the seasons and shows a warming after the decade of 2000. The P–V index detects only the more extreme events that occur frequently in the months of November to February. The ID index identifies the events of anomalous warming occurring throughout the year, and in Paraná, it was verified that the largest records occur in the autumn and winter seasons. Through the analysis of the thermal extremes indexes of the WMO, it was possible to identify that the stations located in the north and west of the state, mainly those located north of the Tropic of Capricorn, presented more significant heat waves of longer duration and with higher temperatures. On the other hand, the stations located in the center–south of the state show heat waves with less intensity and duration. Because the heat waves are characterized in different ways by the applied methods, it is emphasized that the results are dependent on the index used, so, the selection of the criterion to determine the heat waves depends on the purpose of the study.

**Keywords:** Heat waves. Indices. Thermal extremes. Trends.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	– Domínios Climáticos do Brasil principais subtipos .....	31
<b>Figura 2</b>	– Localização do Estado do Paraná.....	32
<b>Figura 3</b>	– Classificação Climática do Paraná – segundo Koppen.....	34
<b>Figura 4</b>	– Mapa Altimétrico do estado do Paraná e a Divisão dos Planalto .....	35
<b>Figura 5</b>	– Localização das estações meteorológicas utilizadas .....	39
<b>Figura 6</b>	– Demonstração dos critérios limites para identificação dos períodos anômalos de calor aplicado aos dados históricos de Londrina .....	42
<b>Figura 7</b>	– Média das temperaturas no estado do Paraná .....	52
<b>Figura 8</b>	– Dados dos quantis das temperaturas médias das máximas nas estações em análise.....	54
<b>Figura 9</b>	– Dados dos quantis das temperaturas médias das mínimas nas estações em análise .....	55
<b>Figura 10</b>	– Matriz MGCTI aplicada às temperaturas médias máximas anuais para o estado do Paraná no período 1976 a 2015 .....	56
<b>Figura 11</b>	– Matriz MGCTI aplicada às temperaturas médias mínimas anuais para o estado do Paraná no período 1976 a 2015 .....	59
<b>Figura 12</b>	– Número de ondas de calor identificadas por meio dos métodos aplicados às estações localizadas no Paraná para o período de 1976 a 2015.....	61
<b>Figura 13</b>	– Configuração espacial das anomalias de TSM no Pacífico Tropical – Região de manifestação do El Niño e da La Niña, respectivamente à esquerda e à direita .....	70
<b>Figura 14</b>	– Anomalias da temperatura da superfície do mar com base no Oscillation Niño Index (ONI) na região Niño 3.4 do Oceano Pacífico Equatorial, no período de 1977 a 2015 .....	75
<b>Figura 15</b>	– Anomalias de TSM no episódio de La Niña no ano de 1985 .....	77
<b>Figura 16</b>	– Anomalias de TSM no episódio de El Niño no ano de 2014 .....	78
<b>Figura 17</b>	– Anomalias de TSM considerando os anos extremamente quentes (1977, 1978, 1994, 2002, 2006, 2007 e 2015) .....	79

<b>Figura 18</b> – Resultado do cálculo do índice TXx – valor máximo mensal da temperatura máxima diária.....	82
<b>Figura 19</b> – Resultado do índice TR20 – contagem anual das temperaturas mínimas acima de 20°C .....	84
<b>Figura 20</b> – Resultado do cálculo do índice SU30 – número de dias com temperaturas máximas superiores a 30°C .....	86
<b>Figura 21</b> – Resultado do cálculo do índice SU35 – número de dias com temperaturas máximas superiores a 35°C .....	87
<b>Figura 22</b> – Resultado do cálculo do HWN – (Número de ondas de calor) nas estações analisadas no período de 1976 a 2015 .....	92
<b>Figura 23</b> – Resultado do cálculo do índice HWM (magnitude média da temperatura máxima nos dias dos episódios de ondas de calor) .....	94
<b>Figura 24</b> – Resultado do cálculo do índice HWA – a temperatura do dia mais quente em episódio de onda de calor.....	96
<b>Figura 25</b> – Resultado do cálculo do índice HWF – Número de dias (no período de novembro a março de cada ano) que contribuem para as ondas de calor.....	100
<b>Figura 26</b> – Resultado do cálculo do índice HWD – duração das ondas de calor mais longas no período de 1976 a 2015 .....	102
<b>Figura 27</b> – Resultado do cálculo do índice HWN – número de ondas de calor considerando o critério Ctn90pct.....	107
<b>Figura 28</b> – Resultado do cálculo do índice HWM (magnitude média da temperatura mínima nos dias dos episódios de ondas de calor) .....	108

## LISTAS DE QUADROS

<b>Quadro 1</b>	–	Categorias de classificação das temperaturas médias das máximas e médias das mínimas .....	41
<b>Quadro 2</b>	–	Percentis calculados para as temperaturas máximas diárias.....	44
<b>Quadro 3</b>	–	Índices climáticos calculados por meio do RclimPACT .....	46
<b>Quadro 4</b>	–	Registro das temperaturas máximas e mínimas absolutas e temperaturas médias das máximas e das mínimas .....	51
<b>Quadro 5</b>	–	Número de anomalias de calor para o Índice Diário, divididos em dois períodos de análise .....	64
<b>Quadro 6</b>	–	Temperaturas médias e em ondas de calor para os métodos ID e P/V.....	65
<b>Quadro 7</b>	–	Anos com ocorrência de El Niño e La Niña no Período em análise.....	76
<b>Quadro 8</b>	–	Ocorrência anual do fenômeno El Niño para os índices analisados .....	77
<b>Quadro 9</b>	–	Resultado da tendência de Mann–Kendall aplicada aos índices de temperaturas máximas .....	88
<b>Quadro 10</b>	–	Número de ocorrências de ondas de calor segundo o critério Ctx90pct.....	90
<b>Quadro 11</b>	–	Frequência anual no número de dias em ondas de calor e duração da onda mais longa.....	97
<b>Quadro 12</b>	–	Magnitude médias das máximas das ondas de calor mais longas .....	101
<b>Quadro 13</b>	–	Resultado da tendência de Mann–Kendall aplicada aos índices baseados nas temperaturas máximas .....	103
<b>Quadro 14</b>	–	Número de ondas de calor considerando o critério Ctn90pct .....	105
<b>Quadro 15</b>	–	Magnitude média das temperaturas mínimas das calor considerando o critério Ctn90pct.....	106
<b>Quadro 16</b>	–	Resultado do teste de Mann–Kendall aplicado aos índices de ondas de calor com base no critério Ctn90pct .....	109
<b>Quadro 17</b>	–	Tendências das temperaturas médias das máximas calculados por meio do teste de Mann–Kendall.....	110

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Estações com dados faltantes e submetidos aos processos de imputação de dados .....	39
<b>Tabela 2</b> – Temperatura máxima e grau de elevação no período de referência 1970 a 1999 .....	52
<b>Tabela 3</b> – Temperatura máxima e grau de elevação no período de referência 1976 a 2015 .....	52
<b>Tabela 4</b> – Número de ocorrência de ondas de calor no estado do Paraná utilizando os critérios ID e P/V para o período de 1976 a 2015 .....	63
<b>Tabela 5</b> – Número de anomalias de calor no período de referência considerando o método ID .....	64
<b>Tabela 6</b> – Número de anomalias de calor no período de referência considerando o método P/V .....	65

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
1.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VARIABILIDADE .....	15
1.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO BRASIL .....	21
1.3 EVENTOS EXTREMOS E AS ONDAS DE CALOR .....	26
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	30
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	38
3.1 MÉTODO GRÁFICO CRONOLÓGICO DE TRATAMENTO DE INFORMAÇÃO – MATRIZ MGCTI .....	40
3.2 METODOLOGIA ÍNDICE DIÁRIO E PRIMAVERA / VERÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ONDAS DE CALOR .....	42
3.3 MÉTODO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS CALCULADOS POR MEIO DO PROGRAMA CLIMPACT .....	43
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	48
4.1 VARIABILIDADE ANUAL DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO PARANÁ .....	48
4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS ONDAS DE CALOR POR MEIO DO CÁLCULO DOS ÍNDICES PRIMAVERA/ VERÃO E ÍNDICE DIÁRIO .....	60
4.3 ANÁLISE DO ÍNDICE DIÁRIO E PRIMAVERA–VERÃO CORRELACIONADA COM OS RESULTADOS DA VARIABILIDADE TÉRMICA ANUAL .....	67
4.4 VARIABILIDADE TÉRMICA INFLUENCIADA PELA ATUAÇÃO DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA NO PARANÁ .....	69
4.5 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE EXTREMOS TÉRMICOS CALCULADOS POR MEIO DO PROGRAMA RCLIMPACT .....	80
4.6 ANÁLISE DOS ÍNDICES PARA DETECÇÃO DAS ONDAS DE CALOR .....	89
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	112
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	116

## INTRODUÇÃO

Entender a dinâmica da atmosfera da Terra sempre foi um dos objetivos almejados pela humanidade desde os tempos mais remotos, mesmo na Antiguidade quando as técnicas não eram suficientemente desenvolvidas e os conhecimentos escassos.

A partir do aprimoramento das técnicas e do processo de produção de conhecimento, principalmente por meio do conhecimento científico, foi possível aprimorar os estudos sobre a dinâmica atmosférica e, até mesmo, descrever e classificar os estados atmosféricos (MENDONÇA, 2001).

Desvendar a dinâmica dos fenômenos da natureza, dentre eles as diferentes manifestações da atmosfera, foi primordial para que a sociedade superasse a condição de mero sujeito às intempéries naturais e alcançasse, não só a compreensão de seu funcionamento, mas sua manipulação e utilização em algumas escalas.

Conhecer a dinâmica climática é uma forma de explicar os fenômenos naturais que ocorrem em determinada localidade, logo são os elementos atmosféricos que interferem e caracterizam as condições do tempo (temperatura, umidade do ar, chuva, vento, pressão atmosférica, etc.). Os fatores climáticos influenciam e modificam a dinâmica dos elementos atmosféricos, bem como contribuem para a diversidade da paisagem (MENDONÇA, 2007).

Mendonça (2007) caracteriza o estudo do clima como sendo o que “[...] trata dos padrões de comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície do planeta, durante um longo período (MENDONÇA, 2001, p.42). Por meio desta citação, constata-se que existe uma ligação entre a climatologia e a abordagem geográfica do espaço, compondo um campo do conhecimento em que as inter-relações entre a sociedade e o clima se configuram em um pressuposto básico para a compreensão das diferentes paisagens do planeta. Além disso, o estudo do clima constitui uma das peças chave para a compreensão do amplo campo da ciência ambiental e seus desdobramentos, pois quando ocorrem eventos naturais extremos, que caracterizam situações adversas que refletem sobre a qualidade de vida das populações, são exigidos conhecimentos para entendê-los e produzir uma nova relação com o ambiente.

A falta de planejamento governamental e a carência de investimentos em locais onde a sociedade é desprovida de infraestrutura adequada é preocupante, logo, nessas situações, é necessária uma tomada de decisão imediata a fim de prevenir maiores impactos dos fenômenos naturais.

Os impactos causados pelos episódios climáticos extremos estão relacionados à vulnerabilidade de uma parte da sociedade ao fenômeno e a dificuldade na capacidade de previsão de sua ocorrência.

Com o intuito de instrumentalizar a prevenção dos impactos causados pelos eventos climáticos extremos o Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) criou o setor de Agrometeorologia, específico para o monitoramento e o acompanhamento diário das condições do tempo meteorológico e de alguns índices agrometeorológicos, a fim de subsidiar as decisões de manejo agrícola e da pecuária no estado do Paraná.

O presente estudo resulta da experiência desenvolvida durante estágio não obrigatório no Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) na área de análise e tratamento de dados meteorológicos no período de 2012 a 2014, quando teve início o trabalho de mapeamento dos períodos anômalos de calor no Norte e Noroeste do Paraná com o objetivo de testar três índices climáticos para caracterizar os eventos extremos de calor. Este trabalho ainda não havia sido realizado pelos pesquisadores da instituição, sendo um tema original e de extrema importância para a população, para a agricultura e para a criação de animais. A partir do resultado satisfatório obtido com este trabalho, que possibilitou apontar as anomalias térmicas por meio de uma nova metodologia (Índice Diário e Primavera/verão), nos levou a dar continuidade neste estudo ampliando as análises para o recorte do estado do Paraná como um todo e, também, aplicar outros métodos para complementar a pesquisa.

Em virtude da dificuldade para caracterizar as ondas de calor a partir de um único critério, o presente trabalho tem como objetivo identificar e analisar períodos anômalos de calor, eventos extremos e a variabilidade térmica no estado Paraná para o período de referência de 1976 a 2015, tendo como base os dados extraídos na rede de estações do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), que possui dados térmicos para um número maior de estações e para um longo período.

No presente trabalho foram consideradas metodologias distintas que propiciaram comparar os resultados de cada uma delas e discutir suas implicações

com o intuito de averiguar os episódios de calor extremos, possíveis tendências nos índices térmicos estabelecidos pela equipe de especialistas em detecção, monitoramento e índices de mudanças climáticas (ETCCDMI) da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e estabelecer possíveis correlações com os índices que caracterizam o fenômeno ENOS; bem como analisar se tais eventos extremos estão se tornando mais frequentes com o passar dos anos no estado do Paraná.

Para isto, optou-se por apresentar uma estrutura metodológica que consiste em abordar o processo histórico de constituição do conceito de natureza correlacionando-o com o estabelecimento do conceito de clima e de variabilidade. Em um segundo subitem foi abordado o estudo da variabilidade e mudanças climáticas, causas e efeitos sobre a natureza e a sociedade. Posteriormente foi abordado o tema dos eventos extremos e as ondas de calor que provocam prejuízos sociais, naturais e econômicos; foco principal da análise desenvolvida no trabalho.

No segundo capítulo é apresentada a caracterização da área no tocante aos tipos climáticos predominantes no Brasil e no Paraná, sua localização e a configuração geral do relevo que, conforme Danni-Oliveira e Mendonça (2007), é um dos fatores mais importantes na caracterização climática paranaense.

No terceiro capítulo foi descrita a metodologia utilizada, trazendo como inovação o uso do método MGCTI – Método Geográfico Cronológico de Tratamento da Informação (NOUACEUR; LAIGNEL; TURKI, 2014), cuja aplicação permitiu perceber diferentes fases de oscilação da temperatura no Paraná. O segundo método de análise foi baseado no índice diário (ID), que foi estruturado para verificar as anomalias térmicas ao longo dos anos; o terceiro método trabalha com a análise das ondas de calor no período de outubro a março (primavera/verão) e um quarto método, baseado nos estudos de alguns índices climáticos para analisar os eventos térmicos extremos que utiliza o software RclimPACT para seu cálculo.

No capítulo 4 são apresentadas as análises da comparação entre os resultados apresentados na matriz, análise do Índice Diário (ID) e do método que considera o período mais quente do ano – primavera/verão.

Destaca-se que a importância da proposta neste trabalho constitui uma ampliação do conhecimento da dinâmica climática do Paraná, com enfoque na temperatura, que contribui para o aprimoramento de técnicas agrícolas e de planejamento e ganha cada vez mais atenção, uma vez que os prejuízos gerados

por impactos climáticos são elevados, provocados, principalmente, por eventos de secas associadas a ondas de calor, enchentes e geadas.

O desenvolvimento deste estudo também se justifica pelo fato de que o homem está vulnerável às variações climáticas que podem debilitar seu organismo, mas ao conhecer tais variações ele pode se adaptar melhor ao ambiente climático (AYOADE, 2013). Esta adaptação pode estar relacionada ao conforto térmico ou, estritamente, ao equilíbrio térmico do corpo humano. O modo de vida dos seres humanos é influenciado pelo clima, porém o homem sempre busca novas formas de se adaptar ou aclimatar de acordo com as possibilidades do meio.

# 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS E VARIABILIDADE

No decorrer do processo de estruturação da ciência geográfica correram diversas adaptações e mudanças em sua base epistemológica e em seus métodos. Durante o predomínio do determinismo geográfico pensava-se que a natureza determinava as ações humanas. Posteriormente, o possibilismo trouxe consigo uma ruptura desse pensamento naturalista/dicotômico entre aspectos humanos e físicos no pensamento geográfico. A Geografia física, como ramo da ciência geográfica, encontra suas raízes nessa escola de pensamento.

Após os anos 1950, década de reconstrução geral do mundo pós Segunda Guerra Mundial, a humanidade passou por rápidas e constantes transformações em sua organização social que influenciou na relação da sociedade com a natureza. No interior do pensamento geográfico, após a década de 1970 no Brasil, ocorreu uma ampliação da aplicação do materialismo histórico dialético promovendo a constituição da corrente denominada de Geografia Crítica, focada na compreensão dos processos sociais e suas relações com a natureza (MENDONÇA, 1989). Partindo-se deste pensamento, independente da abordagem dada ao estudo (física ou social), a natureza pode ser interpretada como parâmetro natural, artificial e, ou até mesmo, social e está subjacente à maioria das pesquisas em Geografia (SPRINGER, 2010).

A concepção de natureza defendida por Caseti (2014) ressalta sua externalização, que começou a ser pensada em sua concepção mitológica, criada para desvendar mistérios incompreensíveis para a época, na busca de superar os obstáculos impostos por esta natureza. Isso levou o homem a ter o desejo de controlar o mundo natural, razão da ideia de natureza dominada. Sendo assim, com essas transformações no pensamento geográfico, a natureza, diferente dos séculos passados, deve ser pensada na inter-relação com a sociedade e transmitir a totalidade do fato ao se pensar em sua dinâmica sociedade/natureza e em todas as escalas de tempo e espaço. A natureza na geografia é primeiramente espaço, um espaço cada vez menos natural e cada vez mais antropizado (BERTRAND; BERTRAND, 2009).

A Geografia, como mencionado por Mendonça (1989), tem o papel de articular o quadro físico/natural com o social/humano, sendo o seu objetivo enquanto

ciência. Dessa forma, o presente trabalho tem essa prerrogativa de articular o quadro físico/natural englobando o clima/temperatura/ondas de calor e servir como suporte de planejamento no quadro humano/social.

O tema das mudanças climáticas tem sido amplamente discutido pela sociedade e tem sido difundido mundialmente pela imprensa em razão dos seus possíveis efeitos sobre os ecossistemas e agroecossistemas. No entanto, o clima global nem sempre teve as características que hoje conhecemos. Quando se compara o comportamento climático das décadas recentes com as transformações observadas no decorrer da história da Terra, alguns questionamentos vêm à tona: o fator responsável pela variabilidade climática pode ser natural e/ou antropogênico? Quais as regiões que podem ser atingidas? Qual seria a escala temporal apropriada para averiguar a instalação de uma mudança? Ou, ainda, se a presente variabilidade se deve a um ciclo ou se realmente se configura uma mudança do clima (MINUZZI et al., 2010).

Atualmente essas discussões que aprofundam as pesquisas sobre as mudanças climáticas e o debate sobre a temática têm se tornado cada vez mais frequente em função do vasto conhecimento disponível e novas evidências da ocorrência do aquecimento global em virtude da influência humana. A organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) para organizar e sistematizar as informações e elaborar relatórios periódicos abrangendo o estado da arte do conhecimento sobre esta temática (IPCC, 2007).

A variação espacial e a flutuação temporal são características marcantes do tempo e do clima. A flutuação temporal do clima deve ser discutida com maiores detalhes, pois nas mais diferentes escalas cronológicas permite compreender como era o clima terrestre no passado, como é no presente e simular situações do clima futuro. A anomalia climática refere-se a uma flutuação extrema de um ou mais elementos em uma série climatológica, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade (ANGELOCCI; SENTELHAS, 2010).

Para melhor esclarecer as flutuações climáticas é necessário entender os conceitos de variabilidade, de anomalia e de mudança climática. Deve-se lembrar que ao se referir ao clima, este considera escalas de tempo de no mínimo 30 anos,

mas que podem ser prolongadas às escalas tão longas como aquelas das eras geológicas (ANGELOCCI; SENTELHAS, 2010).

A variabilidade é uma característica inerente aos fenômenos climáticos. Estes não existem isoladamente, são resultados de múltiplas interações com o espaço geográfico e intensificados na relação sociedade/natureza. Qualquer modificação nos fenômenos desencadeia modificações nos demais, que repercutem no meio físico e biológico (RIBEIRO, 1996, p. 72).

Para uma melhor compreensão a respeito das mudanças climáticas, Nobre (2008) enfatiza que:

Mudança climática refere-se a qualquer mudança do clima que ocorra ao longo do tempo em decorrência da variabilidade natural ou da atividade humana. Esse uso difere da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, em que “mudança do clima” se refere a uma mudança do clima que possa ser atribuída direta ou indiretamente à atividade humana e que altere a composição da atmosfera global, sendo adicional à variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis de tempo (NOBRE, 2008.p.09).

Nobre (2008) ainda relata que há dois tipos de impactos derivados das mudanças climáticas que, dependendo do nível de adaptação, podem-se distinguir em: Impacto potencial – todos os impactos que podem ocorrer devido às mudanças projetadas, sem considerar a adaptação; Impacto residual – os impactos das mudanças climáticas que podem ocorrer após a adaptação.

Para Marengo (2009, p. 408) o aquecimento é um fator natural intensificado pelas atividades humanas; pois

A terra sempre passou por ciclos naturais de aquecimento e resfriamento, da mesma forma que períodos de intensa atividade geológica lançaram à superfície quantidades colossais de gases que formaram, de tempos em tempos, uma espécie de bolha gasosa sobre o planeta, criando um efeito natural. Atualmente, porém, a atividade industrial afeta o clima terrestre em sua variação natural, o que sugere que a atividade humana é um fator determinante no aquecimento.

Diversas reuniões promovidas por entidades governamentais para debater sobre o aquecimento global e seus resultados publicados nos relatórios do IPCC, divulgados em 2007, 2010 e 2013, afirmam que 90% deste aquecimento atmosférico observado na modernidade é provocado por atividades humanas (MENDOÇA, 2014).

As mudanças climáticas são relacionadas às alterações da cobertura da vegetação. Existem projeções de que os desmatamentos da floresta tropical amazônica levarão a um clima mais quente e seco na região (NOBRE et al., 1991).

Esta interferência climática se dá de forma global, pois o planeta é circundado por uma única massa gasosa denominada atmosfera. No entanto, cada localidade possui características regionais e locais próprias, resultantes da interação entre elas e a superfície do planeta (MENDONÇA, 2006).

Apesar de todas as evidências do aquecimento global, há ainda algumas vozes discordantes no meio científico. Molion (2008) destaca que o próprio IPCC concorda que o primeiro período de aquecimento observado no século XX (de 1920 e 1946) pode ter ocorrido em virtude de causas naturais, possivelmente devido ao aumento da produção de energia solar e a redução do albedo planetário.

Neste sentido, segundo Molion (2008, p.18):

Além do efeito-estufa, outros processos físicos internos ao sistema terra-atmosfera-oceano, de não menor importância, controlam o clima. Variações da circulação atmosférica, associadas às variações da temperatura de superfície do mar (TSM) como, por exemplo, alterações na frequência de ocorrência de eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS), são outra causa de mudanças significativas na temperatura global.

No entanto, Mendonça (2007) também aponta que o principal responsável pelo aquecimento é o homem, que tem produzido um ambiente mais modernizado pelas atividades industriais, mudado a base energética e intensificado o consumo de combustíveis fósseis (carvão mineral e petróleo).

De acordo com o último relatório publicado pelo IPCC (2013), não há mais dúvidas de que o aquecimento global está ocorrendo. Neste relatório destaca-se, dentre outras mudanças, o aumento da ocorrência de dias e noites quentes desde a década de 1950, em associação com as atividades humanas e que é certo que esse aquecimento irá continuar até o final do presente século.

Mudanças climáticas naturais refletem apenas uma pequena parte de grandes e complexas mudanças que se operam no meio ambiente, sendo que as paisagens confirmam manifestações diretas dos câmbios que ocorrem na superfície do planeta no longo tempo da natureza. Grande parte da vegetação, solos, água, clima, etc., resultante do jogo de matéria e energia do universo, na condição natural, foi substituída por sistemas agropecuários e industriais-urbanos cada vez mais produtivos, marcando, de forma intensa, a alteração da superfície pelas distintas sociedades humanas (BORSATO; MENDONÇA, 2014 p. 50).

Para Borsato e Mendonça (2014) a ação humana enquanto agente do processo de mudanças ambientais globais tem se tornado cada vez mais importante para os diferentes grupos que tratam das mudanças do clima na era moderna.

A principal causa do aquecimento global é a queima dos combustíveis fósseis que lança na atmosfera  $\text{CO}_2$  que, em grande quantidade, aumenta a retenção de calor na troposfera (NASA, 2014).

Os clorofluorcarbonos (CFCS) degradam a camada de ozônio ( $\text{O}_3$ ) troposférico–estratosférico, permitindo a passagem de mais raios ultravioletas para a baixa atmosfera e acarretando também na intensificação do aquecimento global (MENDONÇA, 2006).

Outras atividades que interferem nos biomas terrestres são também consideradas causas da intensificação do aquecimento global. Pode-se destacar o desmatamento e queimadas que aumentam a emissão de  $\text{CO}_2$ ; a rizicultura irrigada que produz grandes quantidades de gás metano e a pecuária que contribui para o lançamento de dióxido de carbono e metano na atmosfera (MENDONÇA, 2006; IPCC, 2013).

Os gases de efeito estufa retêm a radiação infravermelha e, assim, impedem a emissão de uma parte do calor de volta para o espaço, exatamente como um telhado de vidro de uma estufa, que deixa a luz passar, mas retém o calor em seu interior.

O efeito estufa natural que ocorre na baixa atmosfera decorrente da retenção de radiação de ondas longas nessa camada do ar é benéfico à vida na Terra, possibilitando as condições ideais para os seres humanos e para o ecossistema, pois sem ele a temperatura média do planeta seria em torno de  $-20^\circ\text{C}$  (CARDOSO, 2006).

Segundo o IPCC, desde 1750 a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumentou em 31%, a de  $\text{CH}_4$  em 151% e a de  $\text{N}_2\text{O}$  em 17%. O aumento destes gases contribuiu para a elevação de  $0,6^\circ\text{C}$  a  $2,0^\circ\text{C}$  na temperatura média do ar na superfície do planeta somente no século XX. O mesmo estudo do IPCC apontou a década de 1990 como sendo a mais quente desde 1861 (*apud* MENDONÇA, 2007, p. 04).

O IPCC afirma que, mesmo que fosse possível zerar totalmente as emissões, o que é inviável, o resultado prático de tal empreitada poderia levar

décadas para manifestar seus efeitos sobre o comportamento da atmosfera e do clima (MENDONÇA, 2014).

Cardoso (2006) ressalta que as altas temperaturas associadas com estas concentrações dos gases que causam o efeito estufa são consideradas normais na natureza; o problema ocorre quando há a interferência do homem nestas concentrações, elevando-as a níveis críticos. O principal gás do efeito estufa – vapor d'água – não tem relação direta com as atividades humanas, pois está presente na atmosfera devido à evaporação na superfície do planeta. Entretanto, com o aquecimento há maior capacidade de reter vapor d'água na atmosfera, intensificando o efeito estufa, logo as consequências não são apenas causadas pelo homem, mas também por fenômenos naturais.

Para Mendonça (2007), as consequências da elevação das médias térmicas corroboram para o aumento da precipitação, que pode intensificar a disseminação dos vetores de doenças como a malária, dengue, cólera entre outras e as ondas de calor podem aumentar a umidade e a poluição, principalmente nos grandes centros urbanos, agravando os problemas respiratórios da população.

Como já exposto, o aumento da concentração de gases como dióxido de carbono, metano e óxido nítrico leva a um maior bloqueio da radiação infravermelha e, conseqüentemente, pode causar uma exacerbação do efeito estufa: aquecimento da atmosfera e aumento da temperatura da superfície terrestre, que podem ocasionar várias consequências, dentre elas as alterações climáticas em todo o planeta, com o aumento das tempestades, de períodos quentes anômalos e alterações nos índices pluviométricos — algumas regiões para mais e outras para menos (IPCC, 2014).

Um estudo mais recente do IPCC (2013) tem apontado uma elevação da temperatura na ordem de 1,5°C (otimista) a 4,5°C (pessimista) nas médias térmicas globais para o século XXI, alguns cenários tem apontado para uma elevação do nível médio dos mares na ordem de 0,09 (otimista) a 2 metros (pessimista) entre 1990 e 2100, decorrente do derretimento de parte das calotas polares e das geleiras continentais e da expansão térmica provocada pela elevação média da temperatura (MENDONÇA, 2014).

Os efeitos do aquecimento global não atingirão de forma igualitária todas as regiões do planeta, pois existem áreas que serão mais afetadas do que outras. Para constatar de que forma as mudanças climáticas estão ocorrendo, se estão se

tornando mais intensas, faz-se necessário o desenvolvimento de estudos que aprofundem as pesquisas e contribuam para este conhecimento, principalmente em nível regional e local.

Pode-se considerar que não necessariamente um verão mais quente ou um desastre mais intenso e impactante constituem evidências do aquecimento global em curto período na mesma localidade, pode ser considerado um evento extremo local, ou uma flutuação climática, uma vez que, o clima possui grande variabilidade, e para se caracterizar a mudança climática, tem que levar em consideração um recorte temporal grande e que evidencie que esse aspecto climático tem se tornado frequente no local estudado e não apenas um fator discrepante da média que ocorreu em um evento extremo.

Algumas consequências do aquecimento global já são possíveis ser observadas, tais como o derretimento de geleiras nos Polos e o aumento de 10 cm no nível do mar em um século. Há tendência de aquecimento em todo o mundo, especialmente nas temperaturas mínimas e temperaturas noturnas em grandes cidades do Brasil que podem estar sendo agravadas pela urbanização (MARENGO, 2009).

As constatações mencionadas, dentre muitas outras, auxiliaram na busca por uma melhoria nos métodos comumente aplicados nos trabalhos que focam a variabilidade da temperatura e eventos climáticos extremos para identificar a sua dinâmica e impactos no espaço. Na presente pesquisa optou-se em analisar as ocorrências de eventos extremos em ondas de calor no estado do Paraná.

## 1.2 VARIABILIDADE CLIMÁTICA NO BRASIL

A variabilidade climática é um “produto tanto do espaço quanto do tempo”, o seu ritmo nunca é igual de um ano para o outro e nem de década para década. As flutuações variam a curto, médio e em longo prazo e, neste caso, o clima é resultado de um processo complexo que envolve a energia solar, atmosfera, oceano, superfícies sólidas, neve, gelo, etc. (CONTI, 2005).

Ambrizzi (1999) produziu um estudo que correlaciona as temperaturas da região Patagônica e o sul do Brasil no período de inverno e constatou a existência de períodos mensais marcados por anomalias significativas de temperatura com sinais opostos entre a região sul do Brasil e a Patagônia. Os períodos identificados

com sinais opostos foram denominados “padrão inverso” e tiveram maior significância nos meses JJA. As regiões onde foram identificadas anomalias negativas de temperatura foram associadas aos ventos anômalos do quadrante sul e as regiões com anomalias positivas foram integradas com a formação de centros de alta pressão anômalos na média e alta Troposfera, em geral com ventos anômalos do quadrante norte. Os resultados demonstraram que a TSM no Atlântico pode exercer algum tipo de controle sobre as anomalias de temperatura das regiões analisadas.

Salviano et al. (2015) estudaram a variabilidade climática articulando a tendência de precipitação e temperatura no Brasil e constataram mudanças significativas em todas as variáveis observadas e em todos os meses analisados, indicando que mudanças climáticas importantes vêm ocorrendo no país em relação à temperatura média.

Almeida et al. (2013) mapearam as tendências das temperaturas na Amazônia Legal brasileira no período de 1973 a 2013 e identificaram que não há mudanças significativas nas tendências das temperaturas máximas diárias, porém observaram o aumento nas temperaturas mínimas diárias e que as noites mais frias estão ficando mais quentes; registrando maior frequência na ocorrência de noites tropicais.

Viana et al. (2005) realizaram uma análise das temperaturas máximas e mínimas no estado do Rio Grande do Sul para o ano de 2005 e identificaram um desvio significativo tanto nas temperaturas máximas quanto nas mínimas, com o aumento de  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Sazonalmente identificaram que o verão apresentou desvio de  $+0,8^{\circ}\text{C}$  para as máximas e de  $-0,3^{\circ}\text{C}$  para as mínimas, sendo a única estação do ano a registrar desvios opostos. No outono o desvio foi de  $+0,6^{\circ}\text{C}$  para a Tmax e de  $+0,8^{\circ}\text{C}$  para a Tmin. O inverno foi a estação com o desvio mais pronunciado, tanto de Tmax ( $+1,6^{\circ}\text{C}$ ) quanto de Tmin ( $+1,8^{\circ}\text{C}$ ). Na primavera os desvios foram negativos para Tmax ( $-0,7^{\circ}\text{C}$ ) e Tmin ( $-0,2^{\circ}\text{C}$ ).

Ainda na Região Sul do Brasil, conforme Ichiba (2006) em sua dissertação referente ao "Estudo das Temperaturas do Ar no Estado do Paraná", foi constatado que a transição entre o clima tropical e o subtropical tem significativa influência nas temperaturas máximas, média e mínimas no estado, uma vez que as maiores temperaturas foram registradas nas regiões Norte, Oeste e Leste, enquanto que existe um decréscimo em direção à região centro-sul. As maiores temperaturas

registradas no período foram em Antonina, no litoral, com 42,4°C e 41,5°C em Paranavaí, no noroeste. Enquanto os menores valores ocorreram em Palmas (6,8°C), seguida pela estação de Guarapuava (-6,0°C). A amplitude das temperaturas máximas extremas aumenta de leste para noroeste com valores de 4,0°C e 7,0°C. Os valores da amplitude para as temperaturas médias apresentaram pouca variabilidade em todo o estado com valores de 1,0 a 2,0°C. Em relação à amplitude das temperaturas mínimas extremas, apresentaram valores maiores de 8,0°C a nordeste do estado e 6,0°C no leste e sul.

Ely e Fortin (2017) identificaram que há um aumento mais significativo das temperaturas máximas no norte do Paraná, enquanto, os índices referentes às temperaturas mínimas demonstraram um aumento modesto e parcial; variando conforme a localidade das estações analisadas.

Guetter (1998) articulou a relação entre a temperatura mínima e a Temperatura da Superfície do Mar – TSM em eventos de El Niño-3 no estado do Paraná e identificou que as associações significativas (95%) entre ENOS e a temperatura mínima contribuem para o prognóstico de geadas na região centro-sul desse estado. Os autores não identificaram associações estatisticamente significativas para a associação La Niña/Temperatura mínima.

Kogima (2015), em seu trabalho de conclusão de curso, utilizou três variáveis (a Média Histórica Simples – OMM, Média Histórica dos Meses de outubro a março – Primavera Verão e o Índice Diário) para identificar as anomalias de calor na região Norte do Estado do Paraná e identificou que episódios de ondas de calor ocorrem com frequência nas mesorregiões Norte e Noroeste e, dependendo do critério utilizado, a quantidade de ondas detectadas varia. Ainda constatou que os valores das temperaturas máximas a partir da década de 90 tiveram aumento, principalmente nas épocas mais quentes do ano, com temperaturas que ultrapassaram os 36°C e atingiram o valor extremo de 41,5°C em Bandeirantes, fato este que corrobora com as preocupações e previsões do IPCC, principalmente no que diz respeito ao comportamento dos eventos extremos, em função deste aquecimento.

Silva et al. (2014) utilizaram dados de temperatura máxima e mínima correlacionados com dados de precipitações de 20 estações meteorológicas do IAPAR, distribuídas pelo estado do Paraná, para o recorte temporal de 1976 a 2010 e identificou que nas regiões sul, sudeste e serrana foram registrados os menores

valores de temperatura máxima e mínima, enquanto os maiores valores foram identificados nas regiões norte, noroeste e litoral. E, também, constataram que os eventos extremos climáticos associados com a temperatura indicam um padrão de aquecimento generalizado, estatisticamente significativo, em grande parte do estado.

Ichiba et al. (2005) pesquisaram a variabilidade da temperatura máxima, média e mínima no estado do Paraná e constataram que os anos com as maiores variações na temperatura média anual, como o ano de 1985 com elevadas temperaturas em todo o estado e 1981 e 2000 como anos com menores médias.

Minuzzi et al. (2010) estudaram as tendências na variabilidade climática com enfoque principal na variação anual das temperaturas máximas e mínimas no estado do Paraná e identificaram mudanças acentuadas na temperatura máxima anual e na estação de outono; majoritariamente após os anos 2000. Já para as temperaturas mínimas as mudanças foram consideradas mais pontuais, com destaque para os anos de 1979 e 1989. Constataram que as temperaturas mínimas estão sendo mais intensas e menos frequentes, enquanto as temperaturas mais elevadas têm ocorrido no período diurno e com maior frequência.

Fritzsons et al. (2008) trabalharam com a relação entre altitude e a temperatura no zoneamento climático do estado do Paraná. Os autores apuraram que a relação entre a altitude e a temperatura média mensal, principalmente no mês janeiro, é mais forte do que para a temperatura média de julho, provavelmente em virtude dos efeitos dos microclimas locais e de condições estacionais que podem tamponar as tendências relativas à altitude e coordenadas geográficas das temperaturas no inverno. Em termos gerais, assim como os demais trabalhos referenciados, identificaram que no Paraná as temperaturas mais elevadas ocorrem no norte / oeste e extremo leste, decrescendo em relação ao centro-sul.

Silva e Guetter (2015) observaram mudanças climáticas regionais no estado do Paraná, identificando um aumento nas temperaturas mínimas e nas máximas observadas no segundo planalto. Regionalmente, os autores constataram que alguns municípios do estado apresentam uma aceleração do ciclo hidrológico desde o início da década de 70, o que pode ser identificado por meio do aumento da frequência de chuvas mais intensas, do aumento de vazões médias e da ocorrência de estiagens com maior duração. Esses fatores podem ser um dos motivos agravantes do aumento das temperaturas.

Em uma escala espacial menor, Vanhoni e Mendonça (2008) estudaram o clima no litoral do Paraná. No que se refere à temperatura média anual, esta é caracterizada pelos valores entre 16° e 18°C. Na planície litorânea foi constatada uma queda da temperatura com o aumento da altitude e nas serras e morros a média anual situa-se entre 11° e 13°C. No verão a média da temperatura fica entre 19° e 21°C na planície e decai para 15° e 16°C nas regiões mais altas. No outono a média situa-se entre 16° e 18°C, apresentando valores mais baixos nas regiões mais elevadas (entre 11° e 13°C). Já para o inverno, os autores constataram que as médias variam entre 12° e 14°C na planície, enquanto nas encostas e regiões montanhosas chega a atingir valores entre 09° e 11°C. Na primavera as médias são semelhantes às médias anuais (entre 16° e 18°C na planície e decai para 11° e 13°C nas regiões mais altas).

Rossi e Krüger (2005) estudaram a variação da temperatura em Curitiba, buscando estabelecer uma articulação com o uso e ocupação do solo. Foi identificada uma significativa influência do uso do solo na variação térmica da cidade e um aumento de 0,6°C na temperatura média no período de 30 anos. Os resultados obtidos pelos autores apontam relações entre os diversos parâmetros do uso do solo com a temperatura local.

Ricce et al. (2009) analisaram a variabilidade e a tendência da temperatura articulada com a precipitação no município de Londrina (PR) e constataram que após 1960, a temperatura média mensal teve aumento significativo, principalmente após a década de 2000. Ainda constataram uma tendência de aumento mais intenso nas temperaturas mínimas.

Lima et al. (2011) analisaram a variabilidade das temperaturas mínimas no município de Cascavel (PR) e concluíram que ao longo dos últimos anos as médias das temperaturas mínimas vêm aumentando em todas as estações do ano. Conforme os resultados das diversas pesquisas enfocando a temperatura do ar para o recorte territorial brasileiro e paranaense, é possível identificar a importância dos estudos envolvendo a Climatologia Geográfica e os impactos dessa, uma vez que, a temperatura e seus extremos tem relação intensa com a saúde humana e o planejamento econômico.

Dessa forma, a presente dissertação objetiva contribuir com o estudo da variabilidade das temperaturas no Paraná, enfocando principalmente a ocorrência das ondas de calor; considerados extremos climáticos.

### 1.3 EVENTOS EXTREMOS E AS ONDAS DE CALOR

Como já exposto anteriormente, atualmente muito se discute sobre o tema relacionado às mudanças climáticas e, associado a essas mudanças também poderá ocorrer um aumento do número de eventos extremos, provocando prejuízos sociais e econômicos. As temperaturas extremas são condições térmicas rigorosas que podem indicar excesso de calor ou frio. São consideradas temperaturas extremas os registros máximos e mínimos verificados diariamente em estações meteorológicas (SANT'ANNA NETO; TOMMASELLI, 2009).

Monteiro e Carvalho (2013) apresentam discussões acerca de índices climáticos que podem ser utilizados em estudos de extremos térmicos que avaliam as ondas de calor e apontam que os índices climáticos procuram compreender a variabilidade, ritmos e excepcionalidade dos eventos. Os índices climáticos absolutos utilizam valores absolutos das variáveis climáticas, enquanto que os índices climáticos relativos utilizam critérios de excepcionalidade baseados nos cálculos dos percentis das séries do período de referência e, por fim, os índices bioclimáticos estudam a relação entre elementos climáticos e saúde e bem-estar dos seres humanos.

Dados discrepantes de um estado climático médio considerado como evento extremo ocorrem em escalas temporais que variam de um período curto (dias) a períodos longos (milênios), embora os mais importantes para as atividades humanas são os extremos de curto prazo (relacionados com o tempo) e os de médio prazo (relacionados com o clima), que são eventos com potencial para impactos expressivos.

Segundo Marengo (2009), a caracterização dos eventos extremos de curto prazo (tempo meteorológico) e longo prazo (clima) aponta, respectivamente, para aqueles relacionados às friagens, ondas de calor e frio, chuvas intensas, inundações, veranicos e os seus impactos variam de acordo com o setor e, sazonalmente, uma estação pode ser chuvosa ou extremamente chuvosa acompanhada por alta nas temperaturas; podendo ter forte impacto sobre a população e em setores econômicos dependendo da disponibilidade de água.

Para o citado autor os eventos extremos têm efeitos importantes na sociedade, estudos sobre as mudanças climáticas na América do Sul apontam que nos últimos 50 anos as temperaturas em superfície aumentaram em 0.75°C, em

contrapartida as temperaturas mínimas têm aumentado em até 1°C. Também é citado um aumento na frequência de ondas de calor e uma diminuição na frequência de noites frias: “Os dias frios, as noites frias e as geadas ficaram menos frequentes; enquanto os dias quentes, as noites quentes e as ondas de calor ficaram mais frequentes” (MARENGO, 2009, p. 2).

Extremos ou eventos raros têm grande importância na climatologia e na hidrologia e suas estimativas de ocorrência são imprescindíveis para o planejamento e desenvolvimento das atividades sujeitas aos seus efeitos adversos, especialmente sobre as estruturas de engenharia civil, a agricultura, saúde, entre outros (SANSIGOLO, 2008).

O quinto relatório do IPCC (2014) aponta os impactos decorrentes de eventos climáticos extremos como, por exemplo, ondas de calor, secas, inundações, ciclones e incêndios florestais que revelam a significativa vulnerabilidade da sociedade atual. Os impactos de tais extremos relacionados ao clima incluem a alteração dos ecossistemas, a interrupção da produção de alimentos e abastecimento de água, danos às infraestruturas e assentamentos, morbidade e mortalidade e consequências para a saúde mental e para o bem-estar humano.

Há impactos relacionados às mudanças climáticas como alterações na biodiversidade, aumento no nível do mar e impactos na saúde, na agricultura e na geração de energia hidrelétrica que já podem estar afetando o Brasil; bem como o restante do planeta. O aquecimento também deve acentuar o problema das ilhas de calor em todas as grandes cidades, uma vez que prédios e asfalto retêm muito mais radiação térmica do que as áreas não-urbanas (MARENGO; VALVERDE, 2009).

Os Impactos dos fenômenos El Niño e La Niña têm sido observados nas diferentes regiões do país, mais intensamente nas regiões Norte, Nordeste (secas durante El Niño) e Sul do Brasil (secas durante La Niña e excesso de chuva e enchentes durante El Niño). Se aumentar a frequência ou a intensidade do El Niño, no futuro o Brasil ficará exposto a secas ou enchentes e ondas de calor mais frequentes. Porém, a incerteza de que estas mudanças aconteçam ainda é grande e alguns extremos do clima podem acontecer independentemente da presença do El Niño ou La Niña (MARENGO, 2006).

Historicamente, a variabilidade climática e os eventos extremos tiveram impactos negativos na população, aumentando a mortalidade e a morbidez nas áreas afetadas. Um dos aspectos que vem sendo estudado com relação aos

possíveis efeitos das mudanças climáticas é a ocorrência mais frequente de eventos extremos de calor, que são identificados como “ondas de calor”. O organismo humano poderá estar mais exposto a períodos de calor intenso, que se prolongam por vários dias consecutivos e constituem uma agressão ao mesmo, podendo conduzir ao agravamento de doenças. Da mesma forma os animais e as plantas possuem uma faixa ideal de conforto, na qual seu metabolismo funciona normalmente, mas quando os limites são ultrapassados ocorre estresse e perda de produtividade.

Os estudos sobre a variabilidade e os extremos climáticos têm ganhado cada vez mais importância, inclusive, no contexto geopolítico. Os riscos climáticos estão mudando ao longo do tempo e suas manifestações no espaço se tornam imprevisíveis, principalmente ao se pensar nos impactos causados, que podem ser devastadores.

Com o intuito de identificar a ocorrência de períodos prolongados de calor, buscou-se entender junto à literatura como é caracterizado o fenômeno das ondas de calor, pois estas produzem impactos na sociedade, tanto de forma econômica ao prejudicar as produções agrícolas considerando que existem cultivos que são sensíveis ao calor extremo e prejudicial à saúde, pois pode intensificar processos inflamatórios e criar condições favoráveis ao desenvolvimento dos transmissores de doenças contagiosas.

São consideradas ondas de calor períodos de dias em que prevalece calor excessivo, com duração equivalente a seis ou mais dias consecutivos. Segundo a OMM uma onda de calor se caracteriza quando, em um intervalo de pelo menos seis dias consecutivos, a temperatura máxima diária é superior em 5°C ao valor médio diário no período de referência.

No entanto, diversas agências ou institutos meteorológicos adequam seus critérios às suas realidades climáticas, aplicando métodos diferenciados para mapear e analisar as ocorrências de ondas de calor em suas regiões de abrangência, conforme a percepção do conforto térmico regional.

No Paraná, Carbonieri et al. (2014) analisaram a ocorrência das ondas de calor utilizando uma adaptação do método da OMM, calculando as médias da temperatura máxima para o período de Outubro a Março.

Em Porto Alegre (RS), Cardia (2012) caracterizou as ondas de calor utilizando os métodos empregados por Araujo (1930), Machado (1950) e Conceição

(1997), ou seja, quando as temperaturas absolutas ultrapassavam valores considerados normais, para mínima e para máxima, durante no mínimo três dias na estação de verão. A autora identificou um aumento no número de eventos de ondas de calor no período analisado.

Conforme evidenciado no levantamento bibliográfico, as condições térmicas e os seus extremos, como as ondas de frio e calor, causam impactos no espaço geográfico, principalmente, ao se pensar no planejamento urbano, no uso e ocupação do solo, no planejamento agrícola e na saúde humana. Dessa forma, trabalhos que abranjam discussões relacionadas à variabilidade térmica são importantes ferramentas de planejamento.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho analisa as ocorrências dos eventos extremos e a variabilidade climática da temperatura máxima no estado do Paraná, mas para que possamos proceder às análises, primeiramente, faz-se necessário caracterizar o clima predominante no estado e os elementos e fatores que o influenciam, tais como o relevo e a vegetação; além da ação antrópica.

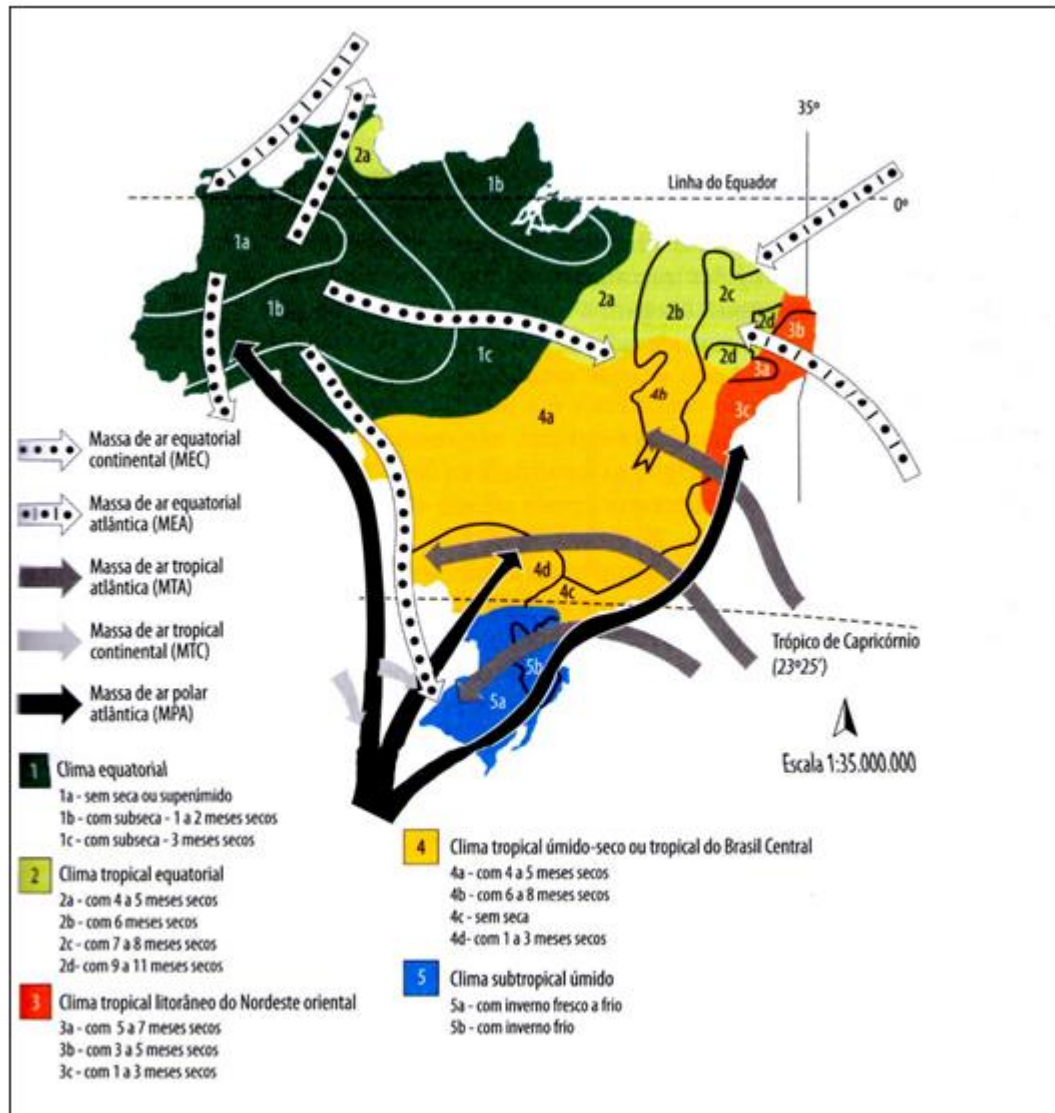
O Brasil é considerado um país de clima essencialmente tropical devido à sua localização geográfica e, portanto, recebe uma considerável irradiância, com altas temperaturas que ocasionam alta pluviosidade. Assim, o clima do Brasil é quente e úmido em grande parte de sua extensão territorial, mas com variações que se refletem na formação de diferentes paisagens naturais (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). É um país de dimensões continentais e a grande extensão territorial permite a atuação de diferentes sistemas atmosféricos ou massas de ar na configuração de seus climas, relacionados aos centros de alta e de baixa pressão atmosférica (BORSATO, 2016).

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007), o Brasil apresenta considerável tipologia climática que reflete a influência dos controles climáticos (maritimidade e continentalidade, altitude e formas do relevo, extensão territorial e dinâmica das massas de ar e frentes) que contribuem para a definição de cinco tipos climáticos principais e suas derivações (figura1).

Os centros de ação que dão origem e controlam a movimentação das massas de ar, ou sistemas atmosféricos, classificadores dos diferentes tipos climáticos são: o anticiclone Migratório Polar, os Anticiclones Semi-fixos do Atlântico e do Pacífico e o Anticiclone dos Açores, além da baixa da Amazônia, da Depressão do Chaco e da Depressão do Mar de Weddel (MENDONÇA,1994).

Com relação às massas de ar apresentadas na Figura 1, as cinco principais massas que atuam nos climas do Brasil estão assim distribuídas e configuradas: na Amazônia a massa de ar equatorial Continental (mEc); ao norte do Nordeste prevalece a atuação da massa de ar Equatorial atlântica (mEa); no leste o domínio é da massa de ar Tropical atlântica (mTa); na porção oeste do centro sul do Brasil manifesta-se com mais frequência a massa de ar Tropical continental (mTc) e a Massa de ar Polar atlântica (mPa).

**Figura 1** – Domínios climáticos do Brasil e principais subtipos.

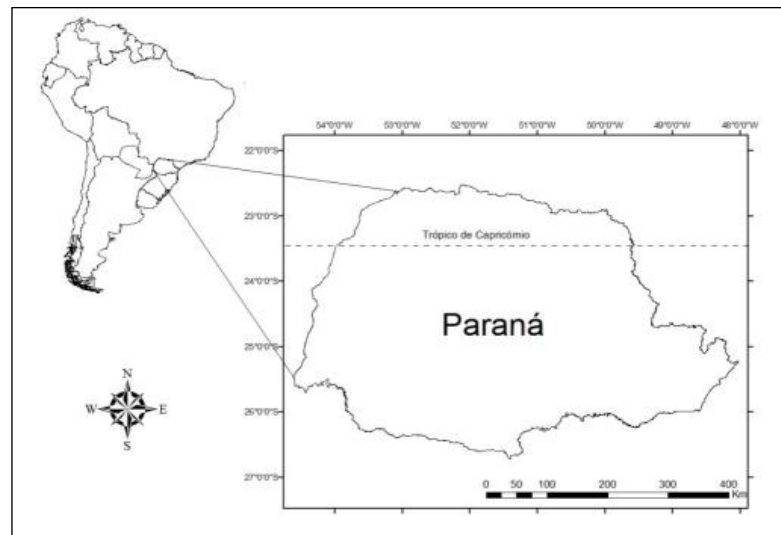


**Fonte:** Danni–Oliveira e Mendonça (2007).

No Brasil, especificamente na região sul, o clima apresenta características peculiares e distintas em relação ao restante do país. O clima desta região é caracterizado como subtropical de caráter mesotérmico, com forte amplitude térmica regional, chuvas anuais e sem ocorrência de períodos secos (NIMER, 1989). Conforme a Figura 01 evidencia, essa região é influenciada pelas massas de ar Tropical atlântica (mTa); Tropical continental (mTc), Polar atlântica (mPa) e a massa Equatorial continental (mEc).

O Paraná está localizado na região sul do Brasil e abrange uma área de 199.709 km<sup>2</sup>, entre 22° e 26° de latitude Sul e 48° e 54° de Longitude Oeste, atravessado pelo trópico de Capricórnio. Encontra-se situado em uma zona de transição do clima subtropical para o tropical (figura 02).

**Figura 2 – Localização do Estado do Paraná**



**Fonte:** Pereira, 2012. p.59

Os estudos voltados mais diretamente ao clima do estado do Paraná foram desenvolvidos após os anos de 1960, porém já existiam trabalhos que levantavam elementos importantes para a compreensão de sua configuração climática.

Em 1981 Maack produziu um estudo detalhado sobre as diferentes paisagens paranaenses, dedicando em sua obra um capítulo inteiro ao clima.

A partir da década de setenta as investigações das condições climáticas do estado passaram a ser desenvolvidas, principalmente, mas não exclusivamente, pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) (MENDONÇA, 1994).

O clima da região sul do Brasil apresenta características particulares e diferenciadas em relação à configuração climática brasileira como um todo. O clima da região sul do Brasil é definido como sendo subtropical, de caráter mesotérmico, com forte amplitude térmica regional, farta distribuição anual das chuvas, sem ocorrência de período seco (NIMER, 1989).

No Paraná, o clima predominante é o Subtropical úmido. Conforme a figura 1, observa-se a influência das massas de ar Tropical atlântica (mTa) originária do Anticiclone Semi-fixo do Atlântico que tem seu centro de ação no Anticiclone do

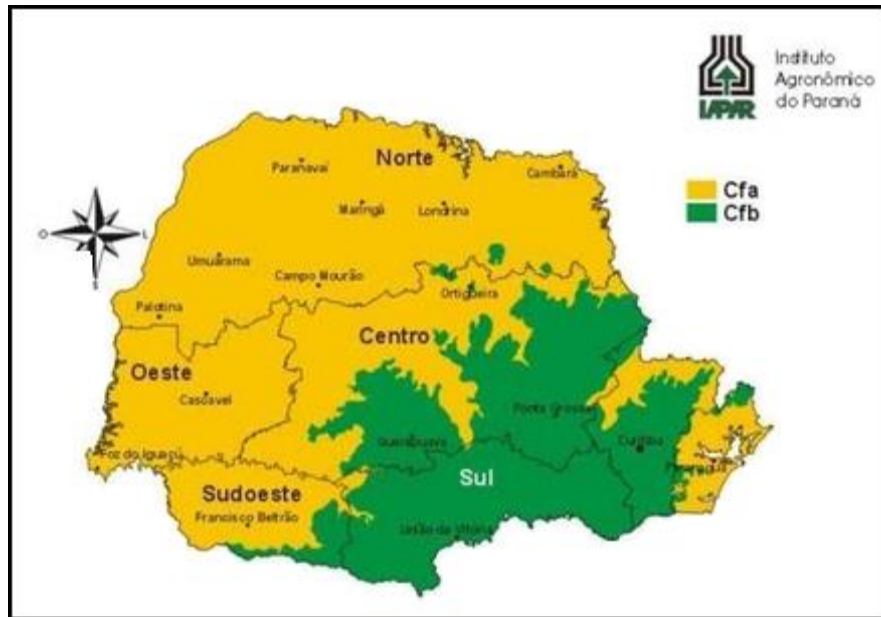
Atlântico Sul, tendo como principal característica alta pressão atmosférica (1013,2hPa); a massa de ar Tropical continental (mTc) é identificada por meio da observação de um centro de baixa pressão que se estabelece na região do Grande Chaco e se amplia para leste; a massa de ar Polar atlântica (mPa) associada ao Anticiclone Migratório Polar é aquela que avança na retaguarda dos “sistemas frontais”. No verão, seu trajeto preferencial é feito pelo litoral e interior do Atlântico; no inverno, frequentemente, essa massa de ar avança pelo interior do continente e a partir do sul do Brasil. Essas massas associadas à massa Equatorial continental (mEc) originária da Amazônia são responsáveis pela circulação atmosférica que controla e interfere nos aspectos climáticos locais. Como esta última não apresenta um centro ciclônico o seu limite sul e ou leste é impreciso (MENDONÇA,1994; BORSATO, 2016).

As massas de ar influenciam na variação térmica anual do Brasil Meridional e, por conseguinte, do Paraná. Os sistemas intertropicais (mTa, mEc, mTc) atuam sobre o seu aquecimento, enquanto que o extra-tropical (mPa) no seu resfriamento. Estes sistemas atuam sobre a região em ondas de calor (os intertropicais) e ondas de frio (o extratropical) (MENDONÇA, 1994).

Wilhelm Koppen (1846–1940) desenvolveu um modelo de classificação climática que se tornou amplamente utilizado pela sua eficiência e simplicidade, pois classifica o clima levando em conta a temperatura e a precipitação simultaneamente; segundo dados do IAPAR (2014).

O Paraná possui dois tipos climáticos predominantes: o Cfa e o Cfb. O primeiro é tropical com verões quentes e úmidos, geadas com pouca frequência, com tendência de chuva no verão e sem estação seca definida (Cfa); o segundo é temperado, com verões frescos e sem estação seca definida (Cfb) (Figura 3).

**Figura 3** – Classificação Climática do Paraná – segundo Koppen.



**Fonte:** IAPAR, 2018.

No entanto, a classificação climática de uma determinada região a partir da classificação de Koppen é bastante artificial e estática. Muitos pesquisadores relatam a importância de atualização e detalhamento da aplicação desta classificação, além da necessidade de utilizar outros métodos em suas análises (NOGAROLI; MENDONÇA, 2014); no entanto até os dias atuais esta é a classificação climática mais popular para caracterizar o clima do Paraná.

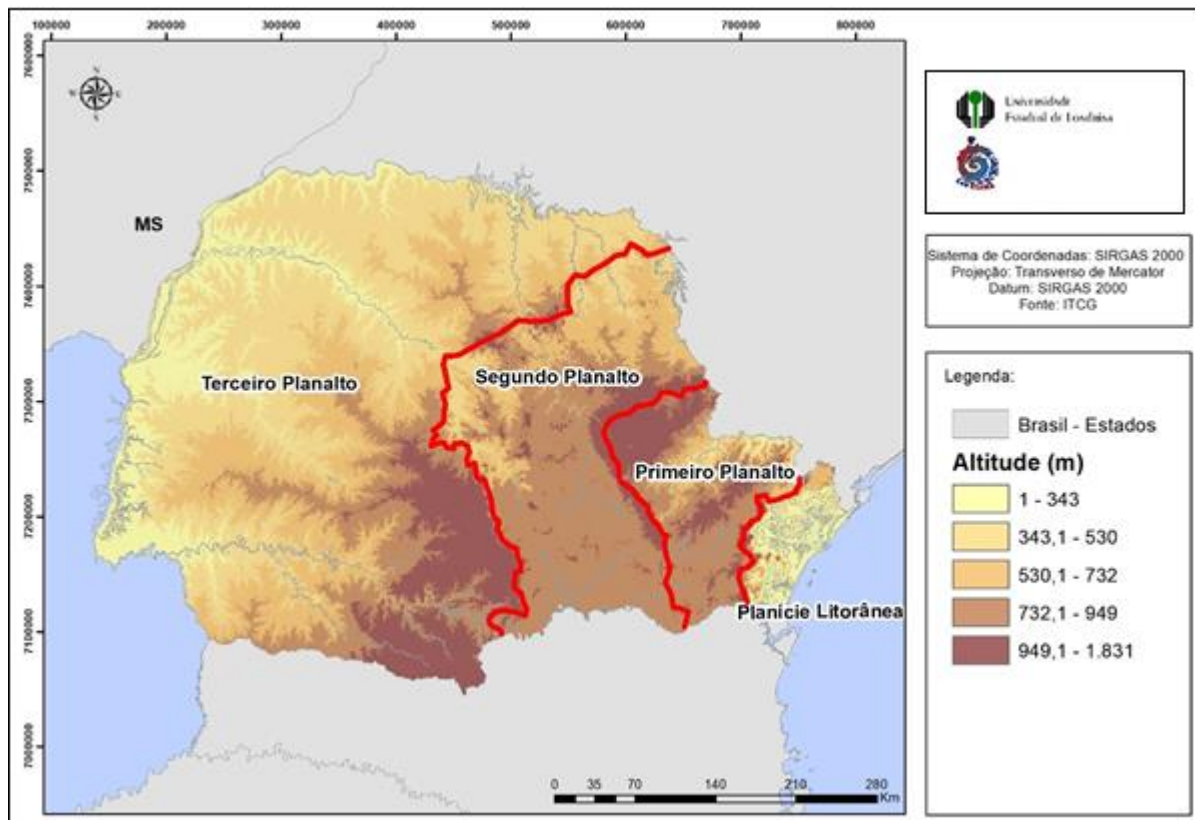
O tipo climático Cfa registra temperatura média no mês mais frio de 18 a  $-3^{\circ}\text{C}$  (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima dos  $22^{\circ}\text{C}$ . Os verões são quentes, geadas pouco frequentes e períodos chuvosos concentrados nos meses de verão. O tipo climático Cfb pode ser definido como temperado propriamente dito, apresentando temperatura média do mês mais frio igual as do tipo climático Cfa (18 e  $-3^{\circ}\text{C}$  – mesotérmico), com verões brandos e com temperatura média do mês mais quente abaixo de  $22^{\circ}\text{C}$  (NOGAROLI; MENDONÇA, 2014).

A temperatura média dos meses mais quentes é de  $22^{\circ}\text{C}$  no Paraná, com poucas ocorrências de geadas e grande concentração de chuvas nos meses de verão e não há estação seca definida. O período mais quente no estado é de dezembro a fevereiro quando as temperaturas máximas podem chegar a  $40^{\circ}\text{C}$ , enquanto que o período mais frio é de junho a agosto com temperaturas mínimas atingindo valores negativos (MENDONÇA, 2004).

É possível afirmar a existência de uma forte correlação entre a vegetação e as características climáticas de um determinado local. O desmatamento altera o clima de forma nítida, modificando o balanço de radiação, reduz a umidade do ar, altera o ciclo hidrológico e eleva a velocidade dos ventos devido à ausência de barreiras. O relevo exerce ação freadora e canalizadora destes ventos (MENDONÇA, 2004).

Sobre a configuração do relevo do Paraná, Maack (2002) apresenta a classificação do estado em cinco regiões com diferentes paisagens naturais, de acordo com critérios geomorfológicos, sendo que a maior parte do estado configura três planaltos que se inclinam suavemente para O, NO e SO. São eles: o primeiro planalto ou Planalto de Curitiba; o segundo planalto ou Planalto de Ponta Grossa e o terceiro planalto ou planalto de trapp do Paraná ou de Guarapuava; além da Serra do Mar e do Litoral (figura 04).

**Figura 4** – Mapa altimétrico do estado do Paraná e a divisão dos planaltos.



**Organizado por:** Villa (2018).

A configuração geral do relevo é um dos fatores mais importantes na caracterização climática do estado paranaense, pois contribui para a existência da

grande variedade de climas e de paisagens devido às diferenças de altitude e da disposição de suas formas.

O Paraná apresenta uma pequena área litorânea, representando cerca de 100 km com uma área de aproximadamente 6.600 quilômetros quadrados. O Litoral Paranaense está localizado entre as latitudes 24°30`S e 26°00`S e longitudes 48°00`W e 49°00`W, correspondendo a Planície Litorânea e parte da Serra do mar, o município estudado nesta área é Morretes. Com relação ao clima, segundo a classificação de Köppen, predomina o tipo Cfa. O mesmo tipo climático ocorre na Serra do Mar até 700 m de altitude, a partir da qual passa ser descrita pelas características do tipo Cfb com precipitações mais frequentes, sendo que a temperatura média do mês mais quente não ultrapassa 22°C (VANHONI; MENDONÇA, 2008).

O clima do litoral é particularmente influenciado pelo oceano, bem como pela interferência da corrente aérea tropical que tem origem no centro de altas pressões do Atlântico, ao sul do trópico. Pelo seu lado ocidental esta massa aérea recebe a influência do fluxo das águas tépidas da Corrente do Brasil, que vem do Norte, onde domina a massa equatorial atlântica. No contato com estas águas, a corrente tropical atlântica aumenta sua instabilidade e o seu teor de umidade (KUNIYOSHI, 1993).

O Primeiro Planalto é o mais alto dos planaltos, com altitudes que vão de 850 a 1.300 m. Nessa região encontramos um pouco da vegetação remanescente de araucárias e Mata Atlântica, que é típica de áreas altas e de clima ameno. A denominação local de Planalto Atlântico no Paraná, também conhecido como Planalto Cristalino Atlântico Paranaense é uma formação do relevo brasileiro, localizada no Paraná. Segundo Maack (1981), este planalto forma a terceira unidade do relevo paranaense, entre a Serra do Mar e o Planalto de Ponta Grossa, fazendo fronteira a leste com a baixada litorânea e a oeste com o Planalto de Ponta Grossa. O clima da região é subtropical Cfb, com verões quentes, invernos frios com temperaturas oscilando em torno de 17°C e inferiores a 20°C e chuvas torrenciais com pluviosidade superior a 1.200mm.

O Segundo Planalto, também conhecido como Planalto de Ponta Grossa, é caracterizado por um relevo ondulado, com altitudes que variam entre 300 a 1.250m e as escarpas triássicas com variação de altitudes entre 750 e 775m, com cortes de vales na entrada da escarpa com 445m de altitude no rio Ivaí, 490m no rio

Tibagi e 735m no rio Iguaçu (MAACK, 2002). Também é conhecido como Campos Gerais, onde predomina a vegetação de campos e a Mata de Araucárias.

O Terceiro planalto abrange cerca de 2/3 do território paranaense e desenvolve-se como um conjunto de relevos planálticos, com inclinação geral para oeste-noroeste e subdivididos pelos principais afluentes do rio Paraná, atingindo altitudes médias de cimeira de 1.100 a 1.250m, na Serra da Esperança, declinando para altitudes entre 220 e 300 metros na calha do rio Paraná. Influenciadas por um clima do quaternário recente, as rochas eruptivas básicas deste planalto se decompõem em solos argilosos vermelho muito coesos, conhecidos como terra roxa. Este planalto representa a região dos grandes derrames de lavas básicas do vulcanismo gondwânico do Pós triássico até o neo-cretáceo. As altitudes variam entre 900 a 1.200m, onde predominava a vegetação original (Floresta Tropical e Mata das Araucárias) que hoje quase não existe mais (MAACK, 2002).

A maioria dos municípios paranaenses tem sua economia ligada à uma agricultura intensiva e vêm registrando, nos últimos anos, um acelerado crescimento urbano que contribuiu, em passado recente, para a redução da mata nativa, tornando essas áreas cada vez mais suscetíveis aos eventos extremos, como o aumento da temperatura acarretando na formação de ilhas de calor urbano e, conseqüentemente, trazendo impactos à saúde da população.

Diante das características climáticas e geomorfológicas apresentadas, pode-se constatar que existem diversas paisagens no estado, desde as naturais e as modificadas pelo homem em sua busca pelo desenvolvimento, influenciando diretamente na composição climática de cada região. Justamente esta diversidade nos instiga a procurar entender a ocorrência dos eventos extremos, focada nas ondas de calor. Mas, para tanto, tivemos que primeiro selecionar os municípios munidos de estações meteorológicas que registram temperaturas e que possuem bancos de dados completos, com um período uniforme que pudesse subsidiar a análise proposta e a comparação dos resultados e suas relações com cada método de estudo; assim passaremos a abordar as metodologias aplicadas.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo foi realizado por meio das seguintes etapas: desenvolvimento do referencial teórico, levantamento e tratamento de dados, análises e discussões dos resultados.

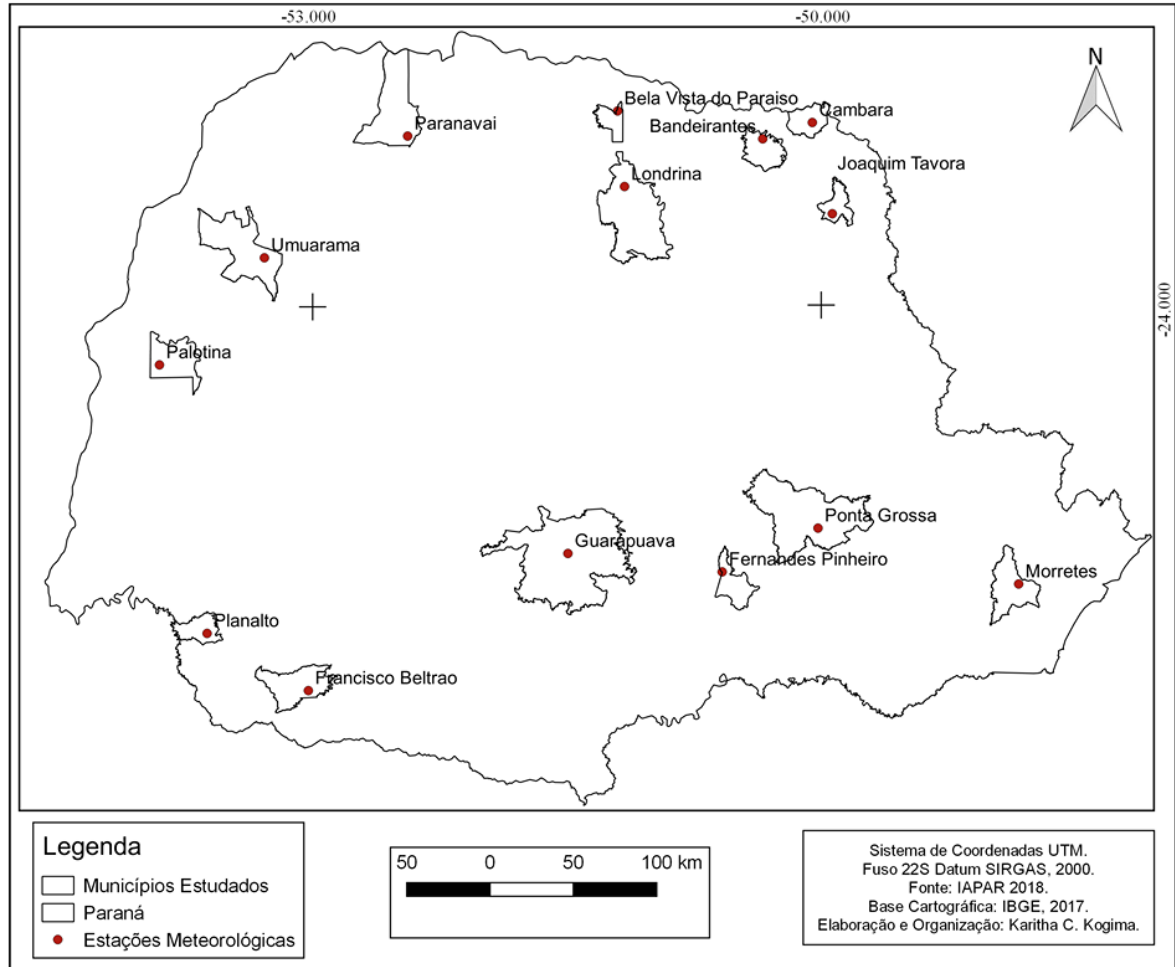
O levantamento bibliográfico sobre a temática das anomalias de calor foi subsidiado em trabalhos que enfocam principalmente a influência do clima na sociedade e que procuram correlacionar os impactos desses períodos consecutivos de temperaturas extremas quentes sobre a saúde da população.

Foram analisadas séries históricas de temperatura máxima do ar de quatorze estações meteorológicas da rede do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), distribuídas em diferentes regiões do estado (figura 5). A figura 5 apresenta a localização de cada município que contam com as estações meteorológicas analisadas, referente ao período de 1976 a 2015, perfazendo 40 anos de dados diários; período que há mais estações com dados completos.

Os dados de temperatura máxima diária foram coletados no banco de dados do IAPAR e transferidos para planilha Excel 2013 que possibilitou a incorporação, elaboração e síntese de tabelas e gráficos.

Algumas estações apresentaram falhas nos dados meteorológicos para o período selecionado neste estudo (1976 – 2015) e para que a sequência de dados fosse completa foi preciso inserir os dados faltantes. A tabela 01 mostra as estações que obtiveram número de dias e o percentual de dados faltantes. Para a imputação dos dados faltantes foi utilizado o método do vizinho mais próximo, ou seja, foram selecionadas duas estações mais próximas e com altitudes semelhantes a da estação a ser completada. Posteriormente, foram organizadas tabelas com os dados de precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima em cada coluna, nesta sequência, para o recorte temporal considerado.

**Figura 5 –** Localização das estações meteorológicas utilizadas.



**Tabela 1 –** Estações com dados faltantes e submetidos aos processos de imputação de dados.

ESTAÇÃO	Nº DIAS	Nº DIAS FALTANTES	%
PALOTINA	14610	4	0.027%
PONTA GROSSA	14610	19	0.130%
BANDEIRANTES	14610	61	0.418%
CAMBARÁ	14610	12	0.082%
JOAQUIM TÁVORA	14610	30	0.205%

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017 – Organizado pela autora.

Para a imputação dos dados faltantes nas estações que apresentaram falhas (tabela 01) foi utilizada uma macro desenvolvida para o Excel denominada Xlstat e aplicados os métodos do vizinho mais próximo, *Nipals* e imputação múltipla (MCMC). Após completar os dados, foi feita a análise para verificar qual dos testes estatísticos apresentou resultado mais adequado. O método *Nipals* foi o selecionado para completar os dados de temperatura máxima e mínima e o método do vizinho

mais próximo para completar os dados de precipitação, pois os dados imputados por meio destes foram os que mais se aproximaram das estações vizinhas, levando em conta sua latitude e altitude.

### 3.1 MÉTODO GRÁFICO CRONOLÓGICO DE TRATAMENTO DE INFORMAÇÃO – MATRIZ MGCTI

Para compor uma primeira análise da variabilidade térmica nas estações meteorológicas consideradas neste estudo foi utilizada a metodologia de Nouaceur; Laignel; Turki (2014), subsidiada na confecção de uma matriz – MGCTI – que possibilita uma análise de conjunto dos dados térmicos anuais; além de considerar os dados estatísticos do desvio padrão, média, mediana, padronização, média móvel e quantis que são aplicados em três etapas sucessivas, organizadas matricialmente com base na Matriz de Bertin e permite verificar a variabilidade das temperaturas na escala regional e temporal mostrando a ocorrência e permanência de períodos quentes e frios ao longo das séries históricas anuais.

A primeira etapa da metodologia é a ordenação dos dados das temperaturas anuais do menor valor para o maior. A partir desta ordenação e usando o método estatístico dos quantis, que consiste na subdivisão da série de dados em partes iguais, a série histórica foi dividida em cinco subconjuntos, os quintis em: q1; q2; q3; q4 e q5 (NOUZCEUR; LAIGNEL; TURKI, 2014). Como a série histórica contempla 40 anos no total, esse valor permite uma divisão exata de oito anos para cada quintil.

Os valores das temperaturas anuais foram substituídos por números de um a cinco, que correspondem às cinco categorias, de acordo com os quintis, que passarão a representar a variabilidade das temperaturas e, ainda, são associadas cores às células de maneira a permitir uma composição (Quadro 01).

**Quadro 1 –** Categorias de classificação das temperaturas médias das máximas e médias das mínimas.

Classificação das temperaturas médias das máximas e mínimas		
Q1	1	Extremamente frio
Q2	2	Frio
Q3	3	Normal
Q4	4	Quente
Q5	5	Extremamente quente

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

A matriz em questão é sempre composta por apenas uma variável, ou seja, apenas temperatura sendo que para as temperaturas máximas classifica-se o Q1 como “extremamente frio” que na análise da temperatura máxima está relacionado com as menores temperaturas das máximas registradas, Q3 está classificado como as “normais” das temperaturas máximas e Q5 temperaturas “extremamente quentes” registradas no período em análise.

Para as temperaturas mínimas, classifica-se o Q1 como “extremamente frio” para temperatura mínima com os menores valores, Q3 está classificado como as “normais” das temperaturas mínimas e Q5 como as temperaturas “extremamente quentes” (maiores valores das médias das mínimas) registradas no período em análise.

Em outra etapa é feita uma classificação por ano relacionada aos valores-limites dos quantis (Q1, Q2, Q3, Q4 e Q5), realizada para todas as estações e para a série temporal considerada – 40 anos (quadro 03); além de se identificar a mediana e, como complemento da matriz, é feito o cálculo do índice padronizado, inserido ao lado da mesma.

O cálculo do índice padronizado foi elaborado para cada estação com base nas categorias de classificação de um a cinco. Para obtenção do índice padronizado, inicialmente somam-se os valores anuais dos quintis de todas as estações. A partir dos valores totais anuais foi calculada a média e o desvio padrão para o período de 1976 a 2015. Feito o cálculo do índice padronizado, os resultados são apresentados em um gráfico que acompanha a matriz e que permite avaliar a flutuação da variabilidade das temperaturas ao longo dos anos da série histórica estudada.

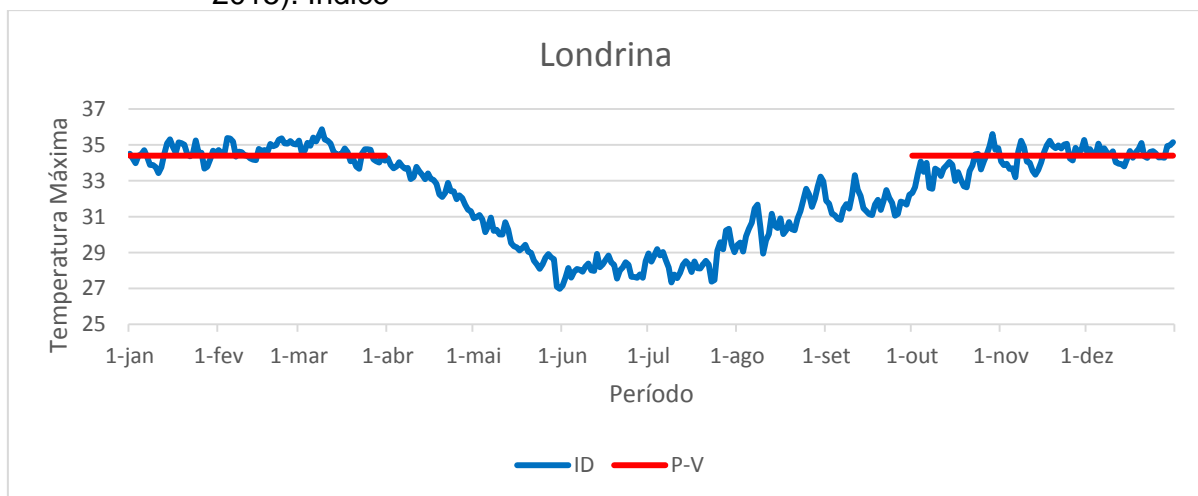
### 3.2 METODOLOGIA DO ÍNDICE DIÁRIO E ÍNDICE PRIMAVERA/ VERÃO PARA IDENTIFICAÇÃO DE ONDAS DE CALOR

Para um desdobramento das análises dos dados das temperaturas máximas diárias que permitisse a identificação das ondas de calor, foram realizadas análises considerando os seguintes critérios:

- 1) MÉDIA HISTÓRICA DOS MESES DE OUTUBRO A MARÇO – estações de primavera e verão (P–V) – para o estabelecimento deste índice foi calculada a média geral das máximas no período histórico (1976 a 2015) somente para os meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março e, posteriormente, foi acrescentado 5°C a essa média e identificadas as ondas de calor que ocorreram neste período;
- 2) ÍNDICE DIÁRIO (ID) – para a obtenção deste índice foram calculadas as médias diárias de cada dia do ano para o período de 1976 a 2015 perfazendo um total de 365 valores. A cada valor médio diário foi acrescentado 5°C e, posteriormente, identificadas as ondas de calor que ocorreram em cada ano do período de referência (1976 – 2015).

A figura 06 ilustra os dois critérios utilizados, tomando como exemplo a estação de Londrina. A média histórica das temperaturas máximas para as estações de primavera e verão foi de 34,4°C, que procede em uma reta uniforme para o período de outubro a março. Já o critério de cálculo das médias diárias das temperaturas máximas acompanha as variações de cada dia ao longo do ano, espelhando a condição extrema de acordo com os valores de temperatura nos dias analisados.

**Figura 6** – Demonstração dos critérios limite para identificação de períodos anômalos de calor aplicados aos dados históricos de Londrina (1976–2015). Índice



Diário (ID) = média histórica diária + 5°C; Primavera/ verão (P–V) = média histórica no período de outubro a março, compreendendo as estações de primavera e verão + 5°C.

Com o critério que considera a primavera – verão (P–V) destacam-se as ondas de calor mais intensas no período quente, pois este não leva em conta os períodos frios do ano.

Com o índice diário (ID) é possível comparar os desvios de temperatura em relação às médias que ocorrem durante todo o ano e, desta forma, espera-se retratar de maneira mais adequada os episódios anômalos com temperaturas mais elevadas. No entanto, nos períodos mais frios os aquecimentos anômalos podem não representar desconforto para a sociedade, animais e cultivos agrícolas.

### 3.3 MÉTODO BASEADO NA UTILIZAÇÃO DOS ÍNDICES CLIMÁTICOS CALCULADOS POR MEIO DO PROGRAMA CLIMPACT.

O desenvolvimento de índices para avaliar temperaturas extremas de vários dias constitui um desafio, já que a ocorrência de tais eventos depende não apenas da distribuição de frequência das temperaturas máximas diárias, mas também da persistência no dia a dia.

A equipe de especialistas em detecção, monitoramento e índices de mudanças climáticas (ETCCDMI) ligada ao IPCC desenvolveu alguns métodos que permitem calcular índices climáticos por meio dos softwares RHtestsV4 e RClmDex, assim como o comitê de climatologia da OMM elaborou o ClimPACT com o objetivo de identificar tendências nas séries temporais de temperaturas e precipitações; inclusive considerando os eventos extremos.

Com o objetivo de produzir uma análise diária das temperaturas máximas, no presente trabalho foram utilizados os recursos dos softwares RHtestsV4 (Feng et Wang, 2013) e RclimPACT.

Os índices ETCCDI disponíveis para a análise das temperaturas quantificam o número de dias consecutivos durante os eventos com seis ou mais dias em que as temperaturas máximas permanecem acima de um valor especificado, descrevem eventos que ocorrem raramente; mas não são bons discriminadores de eventos muito extremos. Além disso, tais índices também permitem mapear a ocorrência de ondas de calor.

Para execução do Rclimdex, os dados diários foram organizados em uma planilha Excel (organizadas de acordo com o ano, mês, dia, Prec., T.max, T.min), cada variável disposta em uma coluna que foram copiados para o bloco de notas e

salvo em txt, acrescentando um dia no começo e no final da série de dados (31/12/1975 e 01/01/2016); completando os dados com -999, -99.9, -99.9. Este procedimento foi necessário pois tanto o RClmDex como o ClimPACT constituem pacotes em linguagem R que não são compatíveis com o formato Excel.

O pacote Rclimdex foi utilizado para, primeiramente, verificar a consistência dos dados e para estabelecer os limiares a ser utilizados para o cálculo dos índices de extremos térmicos estabelecidos pelo ClimPACT. Os limiares estabelecidos foram: precipitação de 200mm e desvio padrão 3. Nestes pacotes são utilizados dados das temperaturas que foram salvos em txt, as latitudes e longitudes de cada estação e os resultados utilizados foram os percentis 10 e 90 para temperatura máxima e mínima (quadro 02) que possibilitam a identificação dos extremos.

Assis et al. (1996) enfatiza que os percentis ou centis são medidas que dividem um conjunto de dados em cem partes iguais P1 = 10 percentil, deixa 1% dos elementos abaixo do seu valor. P2 = 20 percentil, deixa 2% dos elementos abaixo do seu valor. P50 = 50 percentil, abragem 50% dos elementos e coincide com a mediana. P99 = 99 percentil, deixa 99% dos elementos abaixo do seu valor.

A mediana é o percentil de ordem 50, pois é um valor que divide o conjunto de dados em duas partes iguais, ou seja, 50% dos dados ficam abaixo e 50% acima (LANDIM, 2003)<sup>1</sup>.

**Quadro 2** – Percentis calculados para as temperaturas máximas diárias.

	pcmax10	pcmax90	pcmin10	pcmin90
BANDEIRANTES	24.1	32.9	13.5	19.5
BELA VISTA DO PARAÍSO	22.6	31.3	13.6	20.3
CAMBARÁ	24.2	33.2	12.8	19.3
FERNANDES PINHEIRO	19.1	28.7	9.3	16.5
FRANCISCOBELTRÃO	21.1	30.6	9.5	17.8
GUARAPUAVA	19.0	27.6	8.7	16.3
JOAQUIM TÁVORA	23.4	32.2	12.9	19.2
LONDRINA	22.9	31.4	12.8	18.9
MORRETES	21.7	30.8	14.4	20.2
PALOTINA	23.7	33.3	11.0	19.9
PARANAVAÍ	23.7	32.6	14.1	21.0
PLANALTO	22.2	31.9	12.3	20.4
PONTA GROSSA	19.3	28.5	9.8	16.9
UMUARAMA	23.1	32.1	14.0	21.4

**Fonte:** dados do IAPAR (2017) – organizado pela autora.

<sup>1</sup> Observação: lembrando que os quartis e os decis estão inseridos nos percentis. Por exemplo: o 1º. quartil é igual ao 25º. percentil. O 1º. decil é igual ao 10º. Percentil (HORING; SOEIRP; MEDRI, 2014).

Um evento climático extremo é considerado raro dentro de sua distribuição de referência estatística num lugar em particular. As definições para os extremos variam, mas um evento extremo de clima normalmente seria raro ou mais raro do que 10<sup>o</sup> ou 90<sup>o</sup> percentil. Por definição, as características do que é chamado evento extremo de clima podem variar de lugar para lugar; justificando o procedimento realizado por meio do pacote RclimDex.

Os resultados obtidos no quadro 02 foram utilizados para calcular os índices que caracterizam os eventos extremos para cada estação por meio do pacote ClimPACT, sendo que o limiar estabelecido pelo programa para a precipitação diária foi de 25mm e para as temperaturas HDDheat – Grau dia de aquecimento, a temperatura média estabelecida foi de 20°C – média das temperaturas das estações. Os índices calculados e considerados neste trabalho constam no quadro 03 com intuito de caracterizar os eventos extremos no Paraná, bem como aqueles que definem as ondas de calor, pois permitem caracterizar o número das ondas, duração, frequência, amplitude, os dias muito quentes, noites muito quentes, entre outros que derivam dos dados das temperaturas máximas diárias.

**Quadro 3** – Índices climáticos calculados por meio do RclimPACT.

TXx	Temperatura máxima	Valor máximo mensal da TX diária	°C
TR20	Noites tropicais	Contagem anual quando TN > 20°C	Dias
SU35	Dias muito quente	Contagem anual quando TX > = 35°C	Dias
SU30	Dias quentes	Contagem anual quando TX > = 30°C	Dias
HWN (EHF/CTN90pct/ CTX90pct)	Número da onda de calor	O número anual de ondas de calor no verão (Nov-Março) no hemisfério Sul e (Maio-Set) no hemisfério Norte quando as condições definidas por EHF / CTN90pct / CTX90pct persistem por pelo menos 3 dias consecutivos	Número de eventos
HWD (EHF/CTN90pct/ CTX90pct)	Duração da onda de calor	O comprimento da onda de calor mais longa no verão (Nov-Março) no hemisfério Sul e (Maio-Set) no hemisfério Norte quando as condições definidas por EHF / CTN90pct / CTX90pct persistem por pelo menos 3 dias consecutivos	Dias
HWF (EHF/CTN90pct/ CTX90pct)	Frequência do dia da onda de calor	O número total de dias para cada verão (Novembro-Março no HS e Maio-Setembro no HN) que contribui para todas as ondas de calor quando as condições definidas por EHF / CTN90pct / CTX90pct persistem por pelo menos 3 dias consecutivos	Dias
HWA (EHF/CTN90pct/ CTX90pct)	Amplitude da onda de calor	O dia mais quente da onda de calor mais intensa no HS (Nov-Março) e no HN (Maio-Set) quando as condições definidas por EHF / CTN90pct / CTX90pct persistem por pelo menos 3 dias consecutivos	°C ( °C2 EHF)
HWM (EHF/CTN90pct/ CTX90pct)	Magnitude média da onda de calor mais significativa	Magnitude média de todos os dias em ondas de calor (Nov-Março) no HS e (Maio-Set) no HN quando as condições definidas por EHF / CTN90pct / CTX90pct persistem por pelo menos 3 dias consecutivos	°C ( °C2 EHF)

**Fonte:** Lisa,A; Perkins, H.Y. (2013).

Após o cálculo dos índices, também foi estabelecida a tendência dos mesmos por meio do teste de Mann–Kendall ou MK (MANN, 1945; KENDALL, 1975) que é um método robusto sequencial e não paramétrico utilizado para apontar se determinada série de dados apresenta uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. O teste de MK permitiu calcular o  $\tau$  (tau) que varia entre  $-1$  e  $+1$ , sendo que os valores positivos indicam uma tendência ascendente e os valores negativos uma tendência descendente (ALAMEIDA et al., 2016).

Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (ZHANG et al., 2009). No entanto, exige que os dados sejam independentes e aleatórios (NEETI; EASTMAN, 2011).

O teste MK baseia-se em rejeitar ou não a hipótese nula ( $H_0$ ), de que não exista tendência na série de dados, adotando-se um nível de significância, como por exemplo 0,05. O nível de significância pode ser interpretado como a probabilidade de cometer-se o erro de rejeitar a  $H_0$  quando esta for verdadeira.

Segundo Ely e Dubreuil (2017) o teste MK é utilizado para identificar a

variabilidade climáticas no recorte temporal selecionado para pesquisa, na hipótese da estabilidade de uma série temporal, os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma (aleatória simples). Na aplicação do teste estatístico de Mann–Kendall a série de dados é a variável dependente e o tempo é a variável independente. Este teste detecta e avalia as tendências, fornece um indicador de tendência não linear que mede o grau da mesma e que pode ser caracterizada em crescente ou decrescente e o resultado pode variar de  $-1$  a  $1$ . Um valor  $1$  indica uma tendência positiva e nunca diminui. Quando se tem um valor de  $-1$ , indica tendência negativa. Valor  $0$  indica que não há tendência consistente. Quando os valores excedem o limite crítico determinado pelo nível de significância escolhido, que no presente estudo é de  $5\%$ , aceita-se a existência significativa da tendência.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 VARIABILIDADE ANUAL DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS NO PARANÁ.

A temperatura é um dos elementos meteorológicos que mais tem impactos sobre as atividades socioeconômicas. O dióxido de carbono, produzido pela queima de combustíveis fósseis (especificamente petróleo e carvão) e o metano, produzido pela agricultura irrigada, veículos, resíduos orgânicos, etc. intensificam o efeito estufa antropogênico na atmosfera. Ao abordar o tema “aquecimento global”, especialmente tendo como referência os relatórios do IPCC, considera-se em primeira instância a evolução da temperatura média e, em sequência, os demais detalhes do campo térmico e outros (MENDONÇA, 2014).

No Paraná, em virtude de sua posição latitudinal, as temperaturas máximas absolutas são comumente mais elevadas entre os meses de setembro a fevereiro, ou seja, na primavera e verão. Segundo dados do IAPAR, nos municípios analisados neste trabalho, novembro e dezembro foram os meses que registraram com maior frequência as máximas absolutas mais elevadas no período de 1976 a 2015, com exceção apenas de Umuarama; onde o pico máximo ocorreu em março de 2005, com a temperatura máxima absoluta de 39,8°C (tabela 2).

Dentre os fatores climáticos que podem interferir na variabilidade das temperaturas do estado do Paraná destacam-se a altitude, latitude, relevo, vegetação, maritimidade e continentalidade.

A latitude é um fator climático importante ao se pensar na área de estudo, pois retrata a ação de alguns condicionantes astronômicos na quantidade de energia que entra no sistema superfície-atmosfera (SSA). O principal agente que interfere nesse fator climático é a radiação/insolação disponível, uma vez que, associada também ao eixo de inclinação da Terra disponibiliza maior ou menor incidência para diferentes porções do globo. A dimensão latitudinal do estado do Paraná torna os estudos sobre seus aspectos climáticos ainda mais complexos, pois a porção Norte do estado está localizada ao norte do Trópico de Capricórnio e o restante de seu território ao Sul do trópico. Das 14 estações meteorológicas analisadas nesse trabalho, 6 estão localizadas ao Norte do Trópico de Capricórnio; o que influenciará nas análises, pois naturalmente estas estações apresentarão uma variabilidade

térmica com valores mais elevados do que as estações que se encontram ao sul do trópico.

Enquanto que a altitude interfere no ritmo térmico de localidades com a mesma latitude, a estação que estiver em altitudes mais altas terá sua temperatura reduzida em uma razão média de  $0,6^{\circ}\text{C}$  para cada 100m. Danni–Oliveira e Mendonça (2007, p. 47) utilizam exemplos de cidades paranaenses para demonstrar esta influência da altitude sobre as temperaturas. Por exemplo, Curitiba (900m de altitude em média) e Paranaguá (6m de altitude em média) apresentam, respectivamente, temperaturas médias de  $16,5^{\circ}\text{C}$  e  $19,6^{\circ}\text{C}$ , caracterizando um gradiente vertical térmico médio de  $0,3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ .

O relevo tem papel importante na variação das temperaturas no estado do Paraná. Os autores citados indicam que o relevo dispõe de três atributos importantes na definição dos diferentes climas. Primeiramente, a posição do relevo “favorece ou dificulta os fluxos de calor e umidade entre áreas contíguas”.

Outro aspecto é a orientação do relevo que irá definir as vertentes mais aquecidas ou mais secas em relação à disponibilidade de insolação solar. No hemisfério Sul as vertentes mais aquecidas são aquelas voltadas para o Norte (DANNI–OLIVEIRA; MENDONÇA, 2007, p. 47).

Ainda quanto ao relevo, o fator declividade também interfere, uma vez que modifica a relação superfície/radiação, além de depender da forma como a energia entra no SSA (DANNI–OLIVEIRA; MENDONÇA, 2007, p. 47).

Para o Paraná, a cobertura vegetal também ganha notória influência como um dos fatores climáticos que interferem na variabilidade espacial das temperaturas. A vegetação atua como regulador térmico e da umidade. Um exemplo desse fator é que, em áreas florestadas são constatadas temperaturas inferiores às áreas vizinhas, como por exemplo nas cobertas por campo (DANNI–OLIVEIRA; MENDONÇA, 2007, p. 47). Além disso, as extensas áreas produtivas do estado, principalmente localizadas nas regiões Norte, Oeste, Sudoeste e Centro–Norte atuam de forma direta no maior aquecimento das temperaturas (MENDONÇA, 2014).

Ainda há que se destacar os controles geográficos da maritimidade/continentalidade nas análises climáticas do estado. A maritimidade (proximidade com mares e oceanos) atua como reguladora da temperatura e umidade dos climas, além de servir como “principais fornecedores de água para a

Troposfera, controlam a distribuição de energia entre oceanos e continente” (DANNI–OLIVEIRA; MENDONÇA, 2007, p. 48). Exemplo da influência da maritimidade no clima do Paraná é a estação de Morretes, localizada no litoral, com menor variação de temperatura e com uma média de 20,9°C; em uma altitude de 59m (tabela 02).

Enquanto a continentalidade, que é dada pela distância de um lugar em relação aos oceanos e mares, atua principalmente na amplitude térmica, pois na ausência dos oceanos amenizadores térmicos, o aquecimento/resfriamento das superfícies continentais ocorre de forma mais rápida, de forma que, além de serem mais secos, tais locais apresentam amplitudes térmicas diárias mais acentuadas. Um exemplo de estação analisada neste trabalho com esta característica é Palotina, distante aproximadamente 563km em linha reta do oceano Atlântico, apresenta uma média da temperatura máxima de 28,8°C.

Dessa forma, as diferenças recorrentes na variabilidade temporo–espacial da temperatura no estado do Paraná (Tabela 02) podem ser constatadas, principalmente, ao se levar em consideração os fatores climáticos destacados.

Por outro lado, as mínimas absolutas ocorrem entre os meses de abril a agosto, ou seja, no decorrer do outono e do inverno. Os meses de julho e junho foram os que registraram as temperaturas mínimas absolutas mais extremas no período, com exceção de Paranavaí que registrou 0,0°C e Morretes 0,3°C em agosto de 1984 (tabela 02).

Pode–se observar na tabela 2 que 1985 foi o ano com o registro de temperaturas máximas absolutas mais expressivas no período, principalmente, nos meses de novembro e dezembro quando ultrapassaram 40°C nos municípios de Cambará, Paranavaí, Bandeirantes (localizados ao norte do trópico de Capricórnio/fator latitudinal) e Palotina. O período de estudo apresentou médias das temperaturas máximas absolutas mais elevadas entre os meses de outubro a fevereiro.

**Quadro 4** – Registro das temperaturas máximas e mínimas absolutas e temperaturas médias das máximas e das mínimas.

	Temp. Max. Absoluta	Temp. Min. Absoluta	Temp. Méd. da Máxima	Temp. Méd. Mínima	Temp. Média	Altitude	Latitude	Longitude
<b>Bandeirantes</b>	40,9°C 1985 Novembro	-1,9°C 1981 Julho	28,7°C	16,7°C	22,1°C	440 M	23.06 S	50.21 W
<b>Bela Vista</b>	38,6°C 1998 Novembro	-0,1°C 1994 Julho	27,1°C	17,1°C	21,4°C	600 M	22.57 S	51.12 W
<b>Cambará</b>	41,1°C 1985 Novembro	-2,2°C 1981 Julho	28,9°C	16,4°C	21,5°C	450 M	23.00 S	50.02 W
<b>Francisco Beltrão</b>	38,3°C 1985 Novembro	-4,2°C 1978 Junho	26°C	14°C	19,2°C	650 M	25.27 S	50.35 W
<b>Fernandes Pinheiro</b>	36,6°C 1985 Novembro	-4,7°C 2000 Julho	24,1°C	13,2°C	21,4°C	893 M	26.05 S	53.04 W
<b>Guarapuava</b>	36°C 1985 Novembro	-6,8°C 1978 Junho	23,2°C	12,8°C	21,4°C	1058 M	21.21 S	51.30 W
<b>Joaquim Távora</b>	39,2°C 1985 Novembro	-2,8°C 2000 Julho	28°C	16,3°C	21,1°C	512 M	23.30 S	49.57 W
<b>Londrina</b>	39,2°C 1985 Novembro	1,3°C 2000 Julho	27,3°C	16,1°C	21,1°C	585 M	23.22 S	51.10 W
<b>Morretes</b>	41,6°C 2009 Novembro	0,3°C 1984 Agosto	26,3°C	17,5°C	20,9°C	59 M	25.30 S	48.49 W
<b>Paranavai</b>	41,5°C 1985 Dezembro	0,0°C 1984 Agosto	28,4°C	17,8°C	22,2°C	480M	24.18 S	53.55 W
<b>Planalto</b>	39,8°C 1985 Dezembro	-2°C 2000 Julho	27,3°C	16,8°C	21,1°C	400 M	23.05 S	52.26 W
<b>Palotina</b>	41,2°C 1985 Novembro	-4,6°C 2000 Julho	28,8°C	16,1°C	21,4°C	310 M	25.42 S	53.47 W
<b>Ponta Grossa</b>	35,8°C 1985 Novembro	-3,8°C 2000 Julho	24°C	13,7°C	21,4°C	880 M	25.13 S	50.01 W
<b>Umuarama</b>	39,8°C 2005 Março	-0,1°C 2001 Julho	27,9°C	17,9°C	22,2°C	480 M	23.44 S	53.17 W

**Fonte:** Dados IAPAR– 2017. Organizado pela autora.

Neste quadro pode-se constatar que a altitude e a latitude têm papéis fundamentais na análise da identificação e frequência das ondas de calor. A altitude, como já mencionado, influencia o clima sobretudo em virtude da pressão atmosférica. Sabe-se que a pressão do ar é um dos responsáveis pelo aumento das temperaturas. Ely e Dubreuil (2014), ao estudar a vertente sul da bacia hidrográfica do rio Paranapanema, apontam que as temperaturas médias anuais são influenciadas pela latitude e altitude e são os principais fatores que explicam os regimes térmicos nesta área do estado.

Mendonça (2014) enfatiza a importância do estudo das temperaturas mínimas, máximas e médias não somente por meio dos dados das temperaturas médias. Na tabela 03 o autor destaca as médias das três variáveis térmicas aqui analisadas para o estado do Paraná e os respectivos valores, em graus, de sua elevação.

**Tabela 2** – Temperatura máxima e grau de elevação no período de referência de 1970 a 1999.

Temperaturas Médias (°C)	Média Histórica (°C) (1970 – 1999)	Grau de Elevação (°C)
Mínima	15,44	0.278
Média	19,88	0.180
Máxima	26,1	0.039

**Fonte:** Mendonça, 2014.

Por meio da tabela 02, onde consta o grau de elevação das médias no estado do Paraná, pode-se verificar que as temperaturas não aumentaram de forma homogênea na série histórica considerada.

No presente estudo foi feita uma atualização dos dados da tabela 02 considerando o recorte temporal de 1976 a 2015 (Tabela 03).

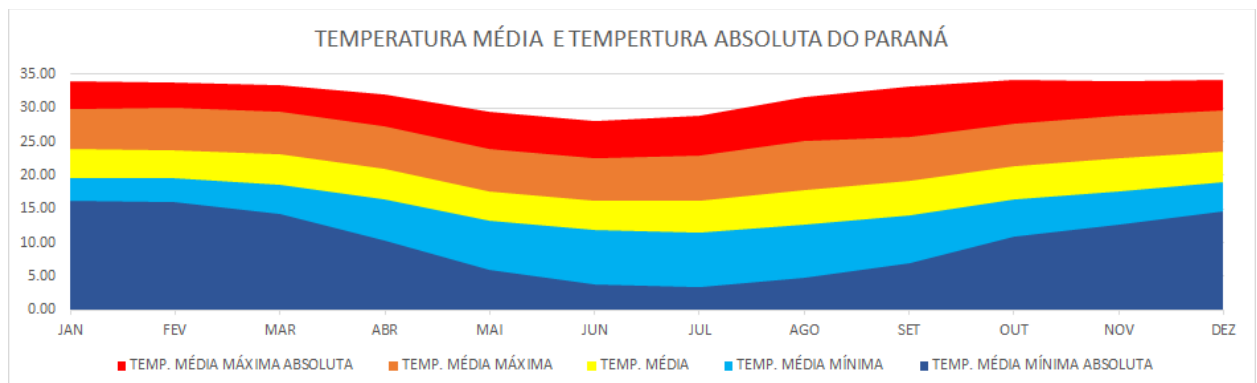
**Tabela 3** – Temperatura máxima e grau de elevação no período de referência de 1976 a 2015.

Temperaturas Médias (°C)	Média Histórica (°C) (1976 – 2015)	Grau de Elevação (°C)
Mínima	15,9	0.145
Média	21,7	0.277
Máxima	26,9	0.108

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017 – Organizado pela autora.

Na tabela 03 observa-se que a temperatura média foi a que apresentou maior alteração positiva em sua evolução. É perceptível que o aumento acentuado nas temperaturas máximas tem relação direta com o aumento nas temperaturas médias.

**Figura 7** – Média das temperaturas no estado do Paraná



**Fonte:** Dados do IAPAR 2017 – Organizado pela autora.

A figura 07, apresenta as médias temperaturas máximas e mínimas e as temperaturas médias das absolutas no estado do Paraná no período de análise do trabalho. As temperaturas médias das mínimas e as mínimas absolutas apresentaram maiores valores nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março, e os menores valores entre os meses de junho a agosto, e a amplitude se destaca entre os meses de maio a setembro. Ao analisar a temperatura média e a temperatura média da máxima, observa-se que as médias também ocorrem entre os meses de dezembro a março e as menores nos meses de junho e julho. As médias das máximas absolutas, são as temperaturas mais quentes e apresentam valores mais elevados nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, com médias entre 34°C a 34,2°C, e as temperaturas mais amenas nos meses de junho e julho. Os meses de agosto, setembro e outubro a amplitude entre as máximas e as máximas absolutas obtiveram mais destaque nesta análise. O valor máximo das temperaturas máximas absolutas ocorreu no mês de dezembro que registrou média de 34,2°C e o valor da mínima absoluta apresentou menor valor no mês de julho com média da temperatura calculada em 3,4°C.

Com relação às temperaturas das estações consideradas neste estudo como um todo, o quadro 04 destaca os municípios que apresentam as temperaturas máximas mais elevadas: Cambará, Bandeirantes, Joaquim Távora, localizados no norte pioneiro e ao norte do trópico de Capricórnio; as maiores médias das temperaturas máximas, no norte central, estão localizadas nas estações de Londrina e Bela vista, porém atenuadas devido à maior altitude comprada aos municípios do norte pioneiro; a região noroeste com Paranavaí, Umuarama e oeste com Palotina são as regiões consideradas as mais quentes do Paraná.

Na região sudoeste, os municípios de Planalto e Francisco Beltrão destacam-se pelas temperaturas elevadas, mas no primeiro elas são mais amenas em virtude de sua altitude.

Na região central (centro sul e centro oriental) em Guarapuava, Fernandes Pinheiro e Ponta Grossa, municípios com elevadas altitudes, as temperaturas máximas são atenuadas de forma considerável. E, por fim, Morretes, com baixa altitude e próximo à região litorânea apresenta temperatura atenuada. As estações que apresentam as maiores médias das máximas estão localizadas no norte do Paraná, municípios fazem divisa com São Paulo – Cambará, Bandeirantes, Paranavaí e Joaquim Távora – Palotina também apresentou destaque nas maiores temperaturas e está localizada a oeste do estado.

**Figura 8 –** Dados dos quantis das temperaturas médias das máximas nas estações em análise.

Bandeirantes		Bela Vista		Cambará		Francisco Beltrão		Fernandes Pinheiro		Guarapuava		Joaquim Távora	
Q1	28.3	Q1	26.7	Q1	28.4	Q1	25.6	Q1	23.5	Q1	23.1	Q1	27.3
Q2	28.5	Q2	26.9	Q2	28.6	Q2	25.9	Q2	23.9	Q2	23.3	Q2	27.8
Q3	28.8	Q3	27.3	Q3	28.9	Q3	26.2	Q3	24.2	Q3	23.6	Q3	28.1
Q4	29.3	Q4	27.6	Q4	29.4	Q4	26.6	Q4	24.6	Q4	24.0	Q4	28.3
Q5	29.9	Q5	28.3	Q5	31.1	Q5	27.2	Q5	25.3	Q5	24.4	Q5	29.4
MEDIANA	28.7	MEDIANA	27.1	MEDIANA	28.8	MEDIANA	26.1	MEDIANA	24.0	MEDIANA	23.4	MEDIANA	28.0
MIN	27.3	MIN	25.6	MIN	27.2	MIN	24.8	MIN	22.8	MIN	22.7	MIN	27.0
MAX	29.9	MAX	28.3	MAX	31.1	MAX	27.2	MAX	25.3	MAX	24.4	MAX	29.4
Londrina		Morretes		Paranavaí		Planalto		Palotina		Ponta Grossa		Umuarama	
Q1	26.8	Q1	25.9	Q1	28.0	Q1	26.6	Q1	28.1	Q1	23.5	Q1	27.3
Q2	27.2	Q2	26.1	Q2	28.2	Q2	27.2	Q2	28.6	Q2	23.9	Q2	27.7
Q3	27.5	Q3	26.4	Q3	28.6	Q3	27.4	Q3	29.0	Q3	24.1	Q3	28.1
Q4	27.9	Q4	26.7	Q4	28.9	Q4	27.7	Q4	29.3	Q4	24.6	Q4	28.6
Q5	28.6	Q5	27.3	Q5	29.6	Q5	28.6	Q5	30.1	Q5	25.2	Q5	29.4
MEDIANA	27.3	MEDIANA	26.3	MEDIANA	28.5	MEDIANA	27.4	MEDIANA	27.3	MEDIANA	24.0	MEDIANA	28.0
MIN	25.7	MIN	25.3	MIN	27.0	MIN	26.3	MIN	27.4	MIN	22.9	MIN	26.3
MAX	28.6	MAX	27.3	MAX	29.6	MAX	28.6	MAX	30.1	MAX	25.2	MAX	29.4

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017.Organizado pela autora.

A divisão dos quantis estipulados para a criação da matriz (figura 08) é calculada conforme os valores de cada estação, por isso a variação de uma para outra. O Q1 variou de 28.4°C (Cambará) à 23.1°C (Guarapuava), sendo as menores médias máximas registradas. O Q2 variou de 28.2°C à 23.3°C. O Q3 variou de 28.6°C à 23.6°C. O Q4 variou de 28.9°C à 25°C. O Q5 31.1°C à 24.0°C, nas estações de Cambará e Guarapuava, respectivamente. Todos os quantis tiveram variação máxima entre 4.9°C e 6°C, sendo que os maiores valores foram da estação de Paranavaí e os menores em Guarapuava.

As temperaturas que limitam cada quantil nas estações em análise mostram que o maior registro das temperaturas médias máximas varia de 24,4°C em Guarapuava e 30,1°C em Palotina e a menor média das máximas nas mesmas localidades (figura 08).

**Figura 9 –** Dados dos quantis das temperaturas médias das mínimas nas estações em análise.

Bandeirantes		Bela Vista		Cambará		Francisco Beltrão		Fernandes Pinheiro		Guarapuava		Joaquim Távora	
Q1	16.4	Q1	16.8	Q1	15.9	Q1	13.5	Q1	12.8	Q1	12.5	Q1	16.0
Q2	16.6	Q2	17.0	Q2	16.3	Q2	13.8	Q2	13.1	Q2	12.7	Q2	16.1
Q3	16.9	Q3	17.3	Q3	16.5	Q3	14.1	Q3	13.3	Q3	12.8	Q3	16.3
Q4	17.1	Q4	17.5	Q4	16.7	Q4	14.4	Q4	13.6	Q4	13.2	Q4	16.7
Q5	17.6	Q5	18.0	Q5	17.2	Q5	15.6	Q5	14.3	Q5	14.2	Q5	17.3
MEDIANA	16.8	MEDIANA	17.2	MEDIANA	16.5	MEDIANA	14.0	MEDIANA	13.2	MEDIANA	12.8	MEDIANA	16.3
MIN	15.5	MIN	16.2	MIN	15.3	MIN	12.8	MIN	12.3	MIN	11.4	MIN	14.9
MAX	17.6	MAX	18.0	MAX	17.2	MAX	15.6	MAX	14.3	MAX	14.2	MAX	17.3
Iondrina		Morretes		Paranavaí		Planalto		Palotina		Ponta Grossa		Umuarama	
Q1	15.8	Q1	17.2	Q1	17.5	Q1	16.2	Q1	15.4	Q1	13.3	Q1	17.6
Q2	15.9	Q2	17.3	Q2	17.7	Q2	16.6	Q2	15.9	Q2	13.6	Q2	17.8
Q3	16.2	Q3	17.5	Q3	17.9	Q3	16.9	Q3	16.3	Q3	13.8	Q3	18.1
Q4	16.4	Q4	17.8	Q4	18.2	Q4	17.2	Q4	16.5	Q4	14.1	Q4	18.3
Q5	17.3	Q5	18.6	Q5	18.8	Q5	17.8	Q5	17.2	Q5	14.7	Q5	18.9
MEDIANA	16.1	MEDIANA	17.4	MEDIANA	17.8	MEDIANA	16.8	MEDIANA	16.1	MEDIANA	13.8	MEDIANA	17.9
MIN	15.0	MIN	16.1	MIN	16.6	MIN	15.7	MIN	15.1	MIN	13.0	MIN	16.5
MAX	17.3	MAX	18.6	MAX	18.8	MAX	17.8	MAX	17.2	MAX	14.7	MAX	18.9

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

A divisão dos quantis estipulados para a criação da matriz foi calculada conforme os valores de cada estação (figura 09). Nesta figura constam os intervalos quantílicos definidos para as temperaturas médias mínimas: o Q1 variou de 17.6°C à 12.5°C; o Q2 de 17.8°C à 12.7°C; o Q3 variou de 18.1°C à 12.8°C; o Q4 de 18.3°C à 13,2°C e o Q5 ficou entre os intervalos de 18.9°C à 14.2°C. Todos os quantis tiveram variação máxima entre 5°C e 6°C, os maiores registros das médias mínimas ocorreram em Umuarama e os menores em Guarapuava.

Posteriormente, procedeu-se à análise da variabilidade anual das temperaturas por meio do método gráfico cronológico de tratamento da informação (MGCTI) para o estado do Paraná (figuras 10 e 11).

A figura 10 nos permite observar de forma integrada a variabilidade das temperaturas máximas para as estações consideradas e identificar os anos mais quentes. O método utilizado contribui para essa compreensão, uma vez que permite a análise dos dados em conjunto propiciando identificar os anos com temperatura máxima extrema e aqueles com temperaturas mais amenas. Nesta figura é possível observar seis períodos distintos (quentes, normais e frios) que são assim caracterizados:



- O primeiro período compreendido pelos anos de 1976 a 1983 é identificado como frio ou menos quente. Os anos de 1976, 1979, 1982 e 1983 possuem índices padronizados inferiores a  $-1$ , caracterizados como muito frios, ou seja, correspondem as menores temperaturas médias máximas, que variam de  $22,7^{\circ}\text{C}$  a  $27,4^{\circ}\text{C}$ . Os anos de 1977 e 1978 apresentaram índices positivos, acima de 1 e são considerados anos quentes e muito quentes.

- O segundo período corresponde aos anos de 1984 a 1986, um curto período caracterizado por anos quentes e com índices padronizados superiores a 1. No ano de 1985 o índice registrado foi de 1,35.

- O terceiro período, de 1987 a 2000, é caracterizado como um período frio (menos quente), com alguns anos com índices padronizados positivos, mas que não interferiram na caracterização do período como menos quente. Os anos de 1987, 1993, 1997, 1999 e 2000 registraram índices padronizados negativos entre 0 e  $-1$ ; 1989, 1990, 1992, 1996 e 1998 possuem índices negativos considerados anos frios e muito frios (com valores  $-1,58$ ;  $-1,17$ ;  $-1,41$ ;  $-1,17$  e  $-1,52$  respectivamente). Neste período foram registrados quatro anos com índices positivos: 1988, 1991, 1994 e 1995; sendo que o ano de 1994 registrou o maior índice (1.05) e identificado como um ano muito quente.

- O quarto período compreende os anos de 2001 a 2007, período com índices padronizados positivos (anos quentes), exceto o ano 2004 que registrou índice de  $-0,64$ . Os anos de 2002, 2006 e 2007 registraram índices de 1,46, 1,46 e 1,41 respectivamente, considerados anos muito quentes.

- O quinto período demarcado pelos anos de 2008 a 2011 se destaca com temperaturas normais a frias, os índices padronizados menos significativos.

- O sexto e último período que corresponde aos anos de 2012 a 2015 foi identificado como um período quente, com anos apresentando índices positivos: 2012 (1,52), 2014 (1.11) e 2015 (1,17).

Ao analisar as temperaturas médias máximas anuais, pode-se observar que 45% dos anos do período analisado registraram temperaturas quentes e extremamente quentes e, a partir de 2001, os índices positivos foram mais evidentes. Os anos com destaque são: 1985, 2002, 2006, 2007 e 2012.

A figura 09 representa a variabilidade das temperaturas médias máximas, logo, a análise dos anos “frios ou menos quentes” são os valores das temperaturas

médias máximas mais amenas. Anos com temperaturas médias mais amenas compreenderam 55% do período de análise; com destaque para os anos com índices padronizados negativos mais significativos, inferiores a  $-1,50$ : 1976, 1983, 1989 e 1998.

A análise da figura 11 permite verificar os períodos definidos em função das temperaturas médias mínimas anuais:

- O primeiro período é compreendido pelos anos de 1976 a 1981, identificado como frio. Os anos de 1976, 1978, 1979 e 1981 possuem índices padronizados inferiores a  $-1$ , caracterizados como muito frios. O ano de 1977 tem um índice positivo (temperatura mínima mais amena);
- O segundo período corresponde aos anos de 1982 a 1986, caracterizado por anos com temperaturas mínimas mais quentes, com índices positivos. Apenas o ano de 1985 registrou um índice negativo;
- O terceiro período de 1987 a 1989 é caracterizado como frio em que prevalecem índices padronizados negativos, com destaque para o ano de 1989 ( $-1,56$ ).
- O quarto período corresponde aos anos de 1990 a 1998, período com a média das mínimas anuais mais quentes pois todos os anos obtiveram índice padronizado entre 0 e 1.
- O quinto período de 1999 a 2004 é caracterizado como frio, com índices padronizados variando de  $-0,81$  (2000 e 2003) a  $-1,33$  (1999 e 2004).
- O sexto período, de 2005 a 2013, compreende a nove anos, caracterizado como misto de anos frios e quentes (menos frios). Os anos com índices positivos 2005, 2006, 2007, 2009 e 2012 e anos com índices negativos 2008, 2010, 2011 e 2013. Dos anos mais quentes destacou-se 2005 e 2009 com índice 1,16 e 1,04; dos períodos mais frios 2008, 2011 e 2013 com índice  $-1,16$ ;  $-0,99$  e  $-0,93$  respectivamente.
- O sétimo e último período da série em análise compreende os anos de 2014 e 2015, caracterizados como quentes (menos frios), com índice padronizado superior a 1.



Ao analisar as temperaturas médias mínimas anuais (figura 11), pode-se observar que metade do período registrou temperaturas quentes e extremamente quentes, ou seja, são as temperaturas mais amenas das médias das mínimas com o registro mais frequente de índices positivos após o ano 2000; com destaque para os anos de 2001, 2002, 2005, 2009, 2012, 2014 e 2015.

A figura 11 foi elaborada com base nas médias das temperaturas mínimas anuais, logo, a análise dos anos “quentes” corresponde aos valores das temperaturas mínimas mais quentes. Anos com médias mínimas mais quentes (período quente e extremamente quente) tiveram ocorrência de 50% do período de análise, ou seja, aqueles que apresentam índice padronizado negativo menor de  $-1,50$  (1976 e 1989, quentes) e anos com índice padronizado positivo maior que  $-1,5$  (2002 e 2015, extremamente quentes). Ainda observa-se que, no decorrer dos anos os registros de índices positivos foram aumentando, a partir do ano 2000 o índice positivo acima de 1 obteve mais registros que os anos anteriores; demonstrando que as médias mínimas anuais estão mais elevadas, influenciado na amplitude térmica.

#### 4.2 IDENTIFICAÇÃO DAS ONDAS DE CALOR POR MEIO DO CÁLCULO DOS ÍNDICES PRIMAVERA/ VERÃO E ÍNDICE DIÁRIO

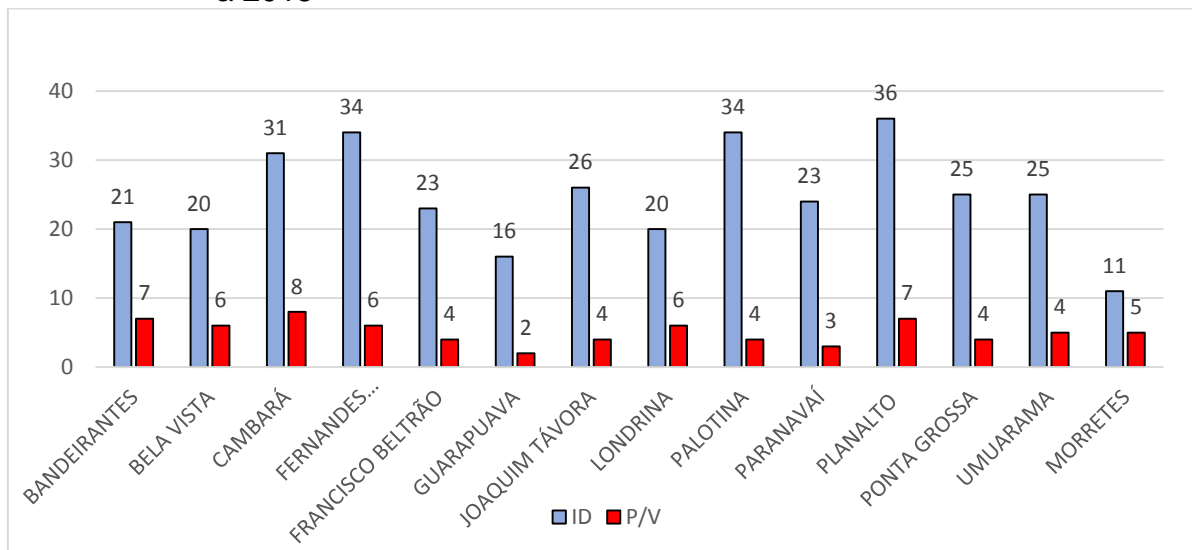
Em um trabalho anterior, Kogima (2015) produziu uma análise sobre as ondas de calor subsidiada no método da OMM (média histórica simples em que se calcula a média diária geral das temperaturas máximas para o período de referência e, posteriormente, acrescenta-se  $5^{\circ}\text{C}$  a essa média. Quando este valor ultrapassa a média por mais de 5 dias consecutivos é identificada uma onda de calor) e concluiu que o cálculo de uma única média para analisar toda a série, incluindo os meses com temperaturas amenas (abril a setembro), faz com que o valor da média diminua, aumentando a quantidade de ondas de calor detectadas em todos os locais analisados.

Para a elaboração da presente dissertação este método foi descartado, pois o intuito do presente estudo é analisar os episódios de ondas de calor que foram marcados por temperaturas mais elevadas. Portanto, optou-se pela aplicação do método Índice Diário (I/D) e o método Primavera-Verão (P/V).

O método do Índice Diário permite caracterizar as anomalias de calor durante todo o ano, no período de 1976 a 2015 (tabela 04). Por meio deste método é

possível observar se houve aumento no número de eventos em todas as estações do ano. O método P/V analisa os episódios mais extremos, entre outubro a março e utiliza apenas uma única média para o período de referência para cada estação (figura 12).

**Figura 12** – Número de ondas de calor identificadas por meio dos métodos aplicados às estações localizadas no Paraná para o período de 1976 a 2015



**Fonte:** Dados do IAPAR 2016. Organizado pela autora.

Por meio da figura 12 é possível verificar o número de anomalias de calor que foram registradas durante o período de análise considerando as temperaturas máximas. A aplicação destes métodos permitiu mapear as ocorrências de anomalias térmicas, sendo que o índice diário detectou o maior número de registros e o índice primavera/verão o menor; pois este último destaca os eventos mais extremos.

A tabela 04 apresenta a ocorrência do número de ondas de calor ao longo de janeiro a dezembro com base no critério Índice Diário (ID). Por meio deste critério pode-se observar que o maior número de ondas ocorre nos meses de julho a setembro. As estações de Fernandes Pinheiro, Palotina, Cambará e Ponta Grossa apresentaram o maior número de episódios de ondas de calor com 20, 19, 18 e 18 respectivamente. Morretes, Londrina, Francisco Beltrão e Guarapuava registraram o menor número de ondas: 4, 12, 13 e 13 episódios no período de abril a setembro, respectivamente. O mês de setembro foi o mês com o maior número de anomalias de calor, registrando 107 eventos para o método de análise que considera o Índice

Diário (ID).

Ao analisar o período frio, foram contabilizadas 275 ondas de calor entre os meses de abril a setembro. Vale apontar que neste período ocorrem os maiores registros das anomalias, correspondendo a 79,5% das ocorrências.

Com a aplicação do método Primavera/Verão (P/V – tabela 04), o mês de fevereiro foi o que registrou uma quantidade maior de ondas de calor (28 ondas, 405 dos registros); novembro registrou 12 ondas; outubro e janeiro 11 ondas respectivamente. Vale enfatizar que este método permitiu identificar 70 ondas de calor no período de análise.

O emprego do índice P/V destaca os eventos de calor mais extremos, considerando apenas as médias do período de outubro a março, mas reduz de forma significativa o número de anomalias térmicas ocorridas no Paraná no período analisado.

Pelo fato da análise da Matriz MGCTI (figuras 09 e 10) mostrar que após os anos 2000 aumentou o número de anos quentes, com índice padronizado superiores a 1, optamos por detalhar o número de ocorrências de ondas de calor neste período (quadro 05). Assim, foram definidos dois períodos para o número de anomalias térmicas: 1) 1976 a 1999 e 2) 2000 a 2015.

Para nove estações foram detectados maiores registros após o ano de 2000, no decorrer dos meses de agosto a outubro: Umuarama com 19 de 25 eventos identificados após o ano 2000; Cambará 19 de 31; Londrina 13 de 20; Bandeirantes 13 de 21; Ponta Grossa 15 de 25; Palotina 19 de 34; Bela Vista 11 de 20 e Fernandes Pinheiro 18 de 34 (quadro 05).

A quadro 05 mostra o número de eventos detectados com a aplicação do método ID e pode-se analisar de forma conjunta se houve aumento dos registros ao longo dos anos. Entre 1976 e 1999 (24 anos, 60% do período) ocorreram 167 eventos acima da média, a partir dos anos 2000 até 2015 (16 anos, 40% do período) foram registrados 178 eventos acima da média. Este fato contribui para demonstrar que houve aumento no número de anomalias térmicas após a década de 2000 no estado do Paraná.

**Tabela 4 –** Número de ocorrência de ondas de calor no estado do Paraná utilizando os critérios ID e P/V para o período de 1976 a 2015.

ESTAÇÕES	ÍNDICES	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	TOTAL
BANDEIRANTES	ID		1			2		2	2	10	3	1		21
	P/V	3	1								1	1	1	7
BELA VISTA DO PARAÍSO	ID	1	1			1		2	3	9	2	1		20
	P/V	1	2								2	1		6
CAMBARÁ	ID	2	1			3	1	3	4	11	4	1	1	31
	P/V	2	2								2	1	1	8
FERNANDES PINHEIRO	ID		2	1	1	4	2	6	4	10	2	2		34
	P/V	1	3	1								1		6
FRANCISCO BELTRÃO	ID		1	1	1	3	2	6	4	3	1	1		23
	P/V		3									1		4
GUARAPUAVA	ID					1		3	4	6	1	1		16
	P/V		1									1		2
JOAQUIM TÁVORA	ID	2	2	1		1	0	5	2	9	3	1		26
	P/V	1	2									1		4
LONDRINA	ID	1	1		1	1	1	1	4	7	2	1		20
	P/V	1	2								2	1		6
MORRETES	ID	1	2			1	2	3		1		1		11
	P/V	1	3										1	5
PALOTINA	ID		1		2	4	5	5	5	9	1	1	1	34
	P/V		1								1	1	1	4
PARANAVAÍ	ID				1	2	1	3	3	9	2	1	1	23
	P/V		1								1	1		3
PLANALTO	ID		1	1		7	6	5	6	6	2	1	1	36
	P/V		3	1							1	1	1	7
PONTA GROSSA	ID		1	1		1	2	4	4	10	2			25
	P/V		1	1							1	1		4
UMUARAMA	ID		1		2	1	2	6	4	7	1	1		25
	P/V	1	3											4
TOTAL ONDAS ID E P/V	ID	7	15	5	9	32	24	54	49	107	26	14	4	346
	P/V	11	28	3	0	0	0	0	0	0	11	12	5	70

(P-V): primavera –verão – (ID): índice diário

Fonte: Dados IAPAR– 2016. Organizado pela autora.

**Quadro 5 –** Número de anomalias de calor para o Índice Diário, divididos em dois períodos de análise

	Período	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total	
Bandeirantes	1976 a 1999	0	0	0	0	1	0	0	0	6	0	1	0	8	21
	2000 a 2015	0	1	0	0	1	0	2	2	4	3	0	0	13	
Bela Vista	1976 a 1999	1	0	0	0	0	0	1	2	4	0	1	0	9	20
	2000 a 2015	0	1	0	0	1	0	1	1	5	2	0	0	11	
Cambará	1976 a 1999	1	0	0	0	1	0	1	1	5	1	1	1	12	31
	2000 a 2015	1	1	0	0	2	1	2	3	6	3	0	0	19	
Fernandes Pinheiro	1976 a 1999	0	0	0	0	1	1	5	2	6	0	1	0	16	34
	2000 a 2015	0	2	1	1	2	0	4	2	3	2	1	0	18	
Francisco Beltrão	1976 a 1999	0	0	0	0	3	2	5	3	1	0	1	0	15	23
	2000 a 2015	0	1	1	1	0	0	0	2	2	1	0	0	8	
Guarapuava	1976 a 1999	0	0	0	0	1	0	2	1	6	0	1	0	11	16
	2000 a 2015	0	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	5	
Joaquim Távora	1976 a 1999	2	1	1	0	0	0	4	1	6	1	1	0	17	26
	2000 a 2015	0	1	0	0	1	0	1	1	3	2	0	0	9	
Londrina	1976 a 1999	1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	1	0	7	20
	2000 a 2015	0	1	0	1	1	1	1	2	4	2	0	0	13	
Morretes	1976 a 1999	1	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0	6	11
	2000 a 2015	0	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	5	
Palotina	1976 a 1999	0	0	0	0	3	1	4	2	3	0	1	1	15	34
	2000 a 2015	0	1	0	2	1	4	1	3	5	2	0	0	19	
Paranavai	1976 a 1999	0	0	0	0	1	0	2	2	4	0	1	1	11	23
	2000 a 2015	0	0	0	1	1	1	1	1	5	2	0	0	12	
Planalto	1976 a 1999	0	0	1	0	6	3	5	4	3	0	1	1	24	36
	2000 a 2015	0	1	0	0	1	2	1	2	3	1	1	0	12	
Ponta Grossa	1976 a 1999	0	0	0	0	1	0	3	2	4	0	0	0	10	25
	2000 a 2015	0	1	1	0	0	2	1	2	6	2	0	0	15	
Umuarama	1976 a 1999	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	1	0	6	25
	2000 a 2015	0	1	0	2	1	2	4	2	6	1	0	0	19	

Fonte: Dados IAPAR– 2016. Organizado pela autora.

**Tabela 5 –** Número de anomalias de calor no período de referência considerando o método ID

ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOTAL	ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOTAL	
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1977	1	0	0	3	0	1	3	0	1	1	0	1	1	0	12	1997	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	5	
1978	0	0	0	2	0	3	0	0	0	1	3	0	0	0	9	1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	1999	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	8	
1980	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2000	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	6		
1981	1	0	1	1	2	1	1	0	0	0	0	3	1	0	11	2001	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	7	
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2002	1	0	2	2	0	1	0	3	0	1	2	0	2	1	15	
1983	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2003	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
1984	1	0	2	1	1	1	0	0	1	2	1	1	0	0	11	2004	2	2	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	1	17	
1985	1	1	1	1	2	1	2	1	0	3	2	4	0	0	19	2005	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	10	
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2006	2	1	2	2	1	2	2	2	0	1	1	2	2	2	22	
1987	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	11	2007	1	1	1	2	2	0	1	1	0	3	1	2	2	2	19	
1988	2	2	2	2	1	2	2	2	0	1	2	1	1	1	21	2008	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	4	
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2009	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	3	
1990	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2010	1	1	1	2	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	11	
1991	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	5	2011	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	6	
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2012	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	2	0	1	2	10	
1993	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	3	
1994	1	1	1	1	3	1	2	1	2	3	1	3	3	2	25	2014	2	1	3	1	2	0	1	2	1	3	1	1	3	2	23	
1995	0	2	1	4	1	2	0	2	0	1	2	2	1	2	20	2015	1	1	4	1	1	0	1	1	1	3	1	2	1	2	20	

1 BANDEIRANTES	5 FRANCISCO BELTRÃO	9 MORRETES
2 BELA VISTA DO PARAÍSO	6 GUARAPUAVA	10 PALOTINA
3 CAMBARÁ	7 JOAQUIM TÁVORA	11 PARANAVAI
4 FERNANDES PINHEIRO	8 LONDRINA	12 PLANALTO
		13 PONTA GROSSA
		14 UMUARAMA

Fonte: Dados IAPAR– 2016. Organizado pela autora.

Com a análise da tabela 06, verifica-se que a ocorrência de ondas de calor obtidas com o índice Primavera/Verão foi de 37,5% do período analisado. Destaca-se os anos de 1985 e 2014 com os maiores registros de anomalias térmicas. As estações com maiores temperaturas em ondas de calor foram Palotina (36,5°C); Cambará (35,8°C); Bandeirantes (35,8°C); Paranaíba (35,7°C) e Joaquim Távora (35,2°C), estações localizadas no norte, noroeste e oeste do estado, ou seja, na região mais quente (quadro 06). Mas outro fator que também pode influenciar no registro destes extremos térmicos é a altitude das estações, que são mais baixas e variam entre 310m a 512m.

**Tabela 6** – Número de anomalias de calor no período de referência considerando o método P/V.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOTAL		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOTAL
1976	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1997	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	6	1998	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1979	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4	1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2000	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
1981	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1982	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2002	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	4
1983	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1984	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1985	1	1	2	1	1	1	1	1	0	2	1	2	1	1	16	2005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3
1986	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2006	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1987	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2007	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
1988	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1989	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1990	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2010	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2011	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	2012	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
1993	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3	2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2014	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	19
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2015	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

1 BANDEIRANTES	5 FRANCISCO BELTRÃO	9 MORRETES
2 BELA VISTA	6 GUARAPUAVA	10 PALOTINA
3 CAMBARÁ	7 JOAQUIM TÁVORA	11 PARANAÍ
4 FERNANDES PINHEIRO	8 LONDRINA	12 PLANALTO
		13 PONTA GROSSA
		14 UMUARAMA

Fonte: Dados IAPAR– 2016. Organizado pela autora.

**Quadro 6** – Temperaturas médias e em ondas de calor para os métodos ID e P/V

ESTAÇÕES	Média ID	+5º C	Média P/V	+5º C	ESTAÇÕES	Média ID	+5º C	Média P/V	+5º C
BANDEIRANTES	28.7	33.7	30.8	35.8	LONDRINA	27.3	32.3	29.4	34.4
BELA VISTA DO PARAÍSO	27.1	32.1	29.2	34.2	MORRETES	26.3	31.3	28.7	33.7
CAMBARÁ	28.8	33.8	30.8	35.8	PALOTINA	28.8	33.8	31.5	36.5
FERNANDES PINHEIRO	24.0	29.0	26.6	31.6	PARANAÍ	28.4	33.4	30.7	35.7
FRANCISCO BELTRÃO	26.0	31.0	29.1	34.1	PLANALTO	27.3	32.3	30.1	35.1
GUARAPUAVA	23.5	28.5	25.9	30.9	PONTA GROSSA	24.0	29.0	26.4	31.4
JOAQUIM TÁVORA	28.0	33.0	30.2	35.2	UMUARAMA	27.9	32.9	30.2	35.2

Fonte: Dados IAPAR– 2016. Organizado pela autora

Neste trabalho podemos identificar nas estações a influência da altitude nos municípios analisados, localidades com maior altitude como Guarapuava

(1058m), Ponta Grossa (880m) e Fernandes Pinheiro (893m) têm as médias das temperaturas máximas menos elevadas (23,2°C, 24°C e 24,1°C respectivamente). Enquanto que aquelas com altitude menos elevada como Morretes (59m), Palotina (310m), Planalto (400m), Bandeirantes (440m) e Cambará (450m) apresentam médias das temperaturas máximas maiores (26,3°C, 28,8°C, 27,3°C, 28,7°C, 28,9°C respectivamente).

Segundo dados do IAPAR utilizados no presente estudo, o pico máximo das máximas absolutas ocorreu no ano de 1985, entre os dias 16 e 17 de novembro para 12 estações; com exceção de Umuarama e Morretes. Neste período a umidade relativa do ar registrada foi de 19,7% em Bela Vista até 43% em Francisco Beltrão, considerando apenas as 12 estações destacadas. Também não houve registro de precipitação.

Em Morretes o pico máximo ocorreu em 19/11/2009 com umidade de 76,4% e sem ocorrência de precipitação. Em Umuarama ocorreu em 11/03/2005 com umidade de 55,8% e um registro de 4,5 mm de precipitação pluvial.

Por meio destas informações adicionais e considerando os picos das temperaturas máximas no estado, mesmo que em algumas estações com período distinto, é possível verificar que durante os eventos térmicos extremos não ocorreu precipitação (exceção Umuarama, porém valores pluviométricos baixos – 4,5mm) e a umidade relativa do ar era inferior ou próxima de 50% (exceção na estação de Morretes em virtude da maritimidade).

As ocorrências de picos extremos de temperatura, conforme observado, ocorreram em dias de céu claro, com nenhuma ou pouca precipitação e umidade relativa baixa. A disponibilidade de água na forma de precipitação reduz a amplitude térmica, segundo Danni–Oliveira e Mendonça (2007), os dias com nebulosidade alta associada à umidade relativa do ar a cima de 80%, com ou sem precipitação, diminuem a amplitude térmica, pois as nuvens impedem que a radiação solar entre de forma direta no SSA dificultando o aumento brusco da temperatura durante o dia e, ainda, funcionam como bloqueio gradual para a perda de energia durante a noite; não permitindo que a temperatura diminua rapidamente. Sendo assim, em dias nublados ou com ocorrência de precipitação as ondas de calor se tornam remotas.

Com a aplicação destes dois métodos de análise são constatados resultados diferentes. O índice P/V desconsidera em seu cálculo as médias do período frio, o que gera um aumento da média calculada e possibilita detectar

episódios de calor extremo, mas não permite identificar ondas de calor no período do inverno.

O método ID (Índice Diário) permite analisar cada dia do ano no período de referência, pois para cada dia do ano é calculada uma média; propiciando assim observar as anomalias que ocorreram durante todo ano.

#### 4.3 ANÁLISE DO ÍNDICE DIÁRIO E PRIMAVERA–VERÃO CORRELACIONADA COM OS RESULTADOS DA VARIABILIDADE TÉRMICA ANUAL

O intuito do presente trabalho foi analisar os períodos anômalos de calor ocorridos no Paraná no período de 1976 a 2015 privilegiando a comparação dos resultados apresentados pela aplicação de três metodologias: uma que considera a variabilidade anual das temperaturas médias máximas e mínimas (Matriz MGCTI) e outras duas que enfocam diretamente os episódios de ondas de calor, tendo como critério a média das temperaturas máximas de Primavera / Verão e o Índice Diário a partir das médias diárias.

Os resultados obtidos mostraram que os episódios de ondas de calor ocorrem com frequência no estado do Paraná e, dependendo do critério utilizado, a forma de análise e a quantidade de anomalias detectadas produzem resultados variados.

A utilização da metodologia desenvolvida por Nouaceur; Laignel; Turki (2014) para o estudo da variabilidade climática na região foi satisfatória, pois contribuiu para uma melhor compreensão e visualização dos anos mais quentes (para temperatura média máxima anual) e frios (para temperatura média mínima anual). Um aspecto importante que vale ser ressaltado é que, por meio da aplicação desta metodologia, é possível analisar o conjunto completo de estações da região, evitando-se conclusões baseadas em valores pontuais que podem não ser representativos e abrangentes; permitindo a identificação de períodos com anos mais quentes e anos mais frios.

Tal análise propiciou apontar que os períodos de temperaturas médias máximas vêm ocorrendo com maior frequência após a década de 2000 e o período com temperaturas médias máximas mais amenas (considerado período frio na

metodologia MGCTI) diminuiu sua intensidade na análise integrada de todas as estações selecionadas para este estudo.

Para a análise das ondas de calor considerando apenas o período primavera-verão, somente os eventos mais extremos serão detectados, pois somente a média do período quente é utilizada; logo a quantidade de períodos anômalos diminui consideravelmente.

Finalmente, com a aplicação do critério ID identifica-se um outro padrão de ocorrência de ondas de calor no Paraná. Como a referência é cada dia do ano, sempre que a temperatura máxima ultrapassa em 5°C o valor médio por 6 dias consecutivos ou mais, caracteriza-se um período anômalo de calor. Assim, com esse critério são detectados períodos anômalos de calor durante todo o ano, os quais nem sempre estão associados com desconforto térmico para a sociedade, animais e vegetais. No entanto, a ocorrência de períodos quentes anormais, tendo como referência a época do ano, é importante pois pode facilitar a proliferação de doenças, insetos vetores ou prejudicar o repouso invernal de espécies frutíferas. E, também, se configura um importante indicador da variabilidade climática associada às mudanças climáticas.

Portanto, destaca-se que este último critério propiciou detectar de forma mais precisa o aquecimento anômalo nos meses mais frios do ano, ou seja, entre abril e setembro. De acordo com as análises apresentadas, cerca de 70% dos períodos anômalos de calor ocorrem no intervalo destes meses em todas as estações analisadas, fator que mostra o aumento das temperaturas máximas, ocasionando invernos mais amenos.

Para complementar esta análise e compreender os fatores que influenciam nas características das temperaturas anuais buscou-se tecer possíveis relações com a variabilidade da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e a ocorrência de episódios de El Niño e La Niña. A necessidade de compreensão de tais elementos é destacada por Silva e Silva (2012, p. 373) que salientam que a temperatura da camada superficial do Oceano Pacífico tem papel importante dentre os elementos climáticos que influenciam o comportamento atmosférico.

As temperaturas noturnas estão se tornando mais elevadas, o que indica que os invernos estão se tornando mais amenos (BORROZZIN et al. 2013). Ricce et al. (2009) mostram que os invernos estão iniciando mais tarde e terminando mais cedo na região de Londrina; análise que será aprofundada mais adiante por meio do

cálculo dos índices propostos pela equipe de especialistas em detecção, monitoramento e índices de mudanças climáticas (ETCCDMI) da OMM (ClimPACT).

#### 4.4 VARIABILIDADE TÉRMICA INFLUENCIADA PELA ATUAÇÃO DOS FENÔMENOS EL NIÑO E LA NIÑA NO PARANÁ.

A variabilidade do clima é uma das incertezas que permanecem como um desafio a ser encarado pela sociedade, mediante os complexos processos de aprendizagem e adaptação aos impactos das mudanças climáticas. Compreender a dinâmica climática e sua variabilidade é um passo fundamental para poder analisar a possibilidade de mudança climática, por ação direta ou indireta do homem. Não é possível falar de mudança climática sem conhecer o clima atual (PINHEIRO, 2016).

A variabilidade climática pode ser estudada como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica ou estado médio da atmosfera. A compreensão da variabilidade temporal e espacial dos elementos meteorológicos depende da consideração de outros fatores naturais resultantes da interação oceano-atmosfera que produzem flutuações interanuais e interdecadais em algumas regiões do globo, como por exemplo o El Niño Oscilação Sul – ENOS (El Niño Southern Oscillation – ENSO) (PINHEIRO, 2016).

No Sistema Superfície Atmosfera (SSA) os oceanos possuem destaque pois cobrem a maior parte da superfície terrestre e, assim, contribuem de forma significativa para o armazenamento e trocas energéticas com a atmosfera. O clima global e suas especificidades em diferentes escalas resultam da transferência de energia entre o oceano e atmosfera e, graças a este mecanismo, muitos fenômenos atmosféricos estão interligados direta ou indiretamente com as oscilações da temperatura da superfície do mar (WELLS, 1998, p. 320; LIMBERGER, 2015, p. 55).

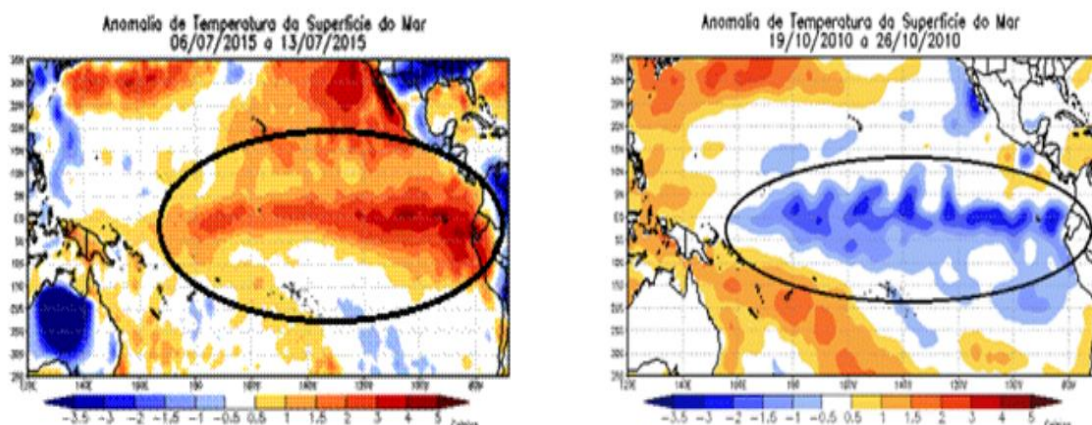
Dessa forma, compreender a interação das anomalias da TSM é peça fundamental para analisar os fenômenos atmosféricos, uma vez que os oceanos são um dos grandes responsáveis pela variabilidade climática da circulação atmosférica. Os reflexos das alterações da TSM se fazem sentir nas interações ar-mar ou nas mudanças sazonais da quantidade de energia e o oceano pode manter o padrão anômalo por um determinado período, normalmente alguns meses. Portanto, a

atmosfera reflete essa transformação inicialmente e o oceano tende a torná-la persistente (WELLS, 1998, p. 326; LIMBERGER, 2015, p. 55).

A temperatura da superfície do mar é usualmente considerada uma variável que caracteriza a camada superficial oceânica, despertando grande atenção e motivação em sua investigação. A associação entre a variabilidade climática da atmosfera e as condições oceânicas é justificada pela alta capacidade térmica da água (oceanos) e pela grande importância dos processos físicos de interação com a atmosfera. As alterações da TSM podem influenciar os eventos atmosféricos em locais distantes da anomalia oceânica original, podendo ainda ter efeitos globais (LIMBERGER, 2015, p. 55).

As oscilações do ENOS têm sido constatadas por meio dos índices de TSM em determinadas regiões (Niño 1+2; Niño 3, Niño 3.4; Niño 4) do Oceano Pacífico Equatorial. A TSM no Oceano Pacífico Equatorial é representada nas fases El Niño (TSM+) e La Niña (TSM-). As oscilações podem ser observadas na figura 13, em que as TSM negativas não habituais (predominância da cor azul) correspondem a configuração do evento La Niña, enquanto as TSM não habituais positivas (predominância vermelho e laranja) indicam a ocorrência de El Niño (PINHEIRO, 2016, p. 61).

**Figura 13** – Configuração espacial das anomalias de TSM no Pacífico Tropical – Região de manifestação do El Niño e da La Niña, respectivamente à esquerda e à direita



Fonte: CPTEC (2015); PINHEIRO (2016, p. 61).

Em condições de El Niño ocorre o enfraquecimento dos ventos alísios que podem, até mesmo, inverter de direção. Com isso diminui tanto o acúmulo de água

quente no Pacífico Oeste, como a ressurgência das águas frias no Pacífico leste. Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera em seus altos e baixos níveis, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade e, portanto, variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Essa oscilação é a principal fonte de variabilidade climática interanual global e, no caso do Brasil, apresenta significativa contribuição para a variação da precipitação em várias regiões, além de representar um importante modulador da variabilidade de mais alta frequência (CPTEC/INPE, 2016; PINHEIRO, 2016, p. 61).

Já no fenômeno La Niña as condições estão associadas à intensificação dos ventos alísios e ao declínio da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Pacífico Equatorial Leste. As águas adjacentes à costa oeste da América do Sul tornam-se ainda mais frias devido à intensificação do movimento de ressurgência, sendo assim caracterizado como o resfriamento anômalo das águas superficiais no Oceano Pacífico Equatorial Central e Oriental. Pode-se assim, dizer que “La Niña” corresponde ao fenômeno oposto ao de “El Niño”, pois as temperaturas habituais da superfície da água do mar nesta região situam-se em torno de 25°C, ao passo que durante o episódio “La Niña” tais temperaturas diminuem para cerca de 23° a 22°C (CPTEC/INPE, 2016; PINHEIRO, 2016, p. 61 e 62).

Segundo Cavalcanti et al. (2009, p. 364) os sistemas de pressão e os ventos de altos níveis produzem alterações nos quadros médios sazonais, denominadas de variações climáticas. Durante episódios de El Niño a temperatura da superfície do mar (TSM) do oceano Pacífico Equatorial Central e Leste permanece mais elevada do que o normal. Nos trópicos, anomalias positivas de TSM aumentam o fluxo de calor e umidade para a atmosfera, diminuindo a pressão da superfície e aumentando a convergência de baixos níveis e, portanto, a convecção.

Com esse aumento da convecção, aumenta a formação de nuvens e liberação de calor latente para a atmosfera, o que produz expansão da coluna atmosférica e divergência em altos níveis. A diminuição da TSM tropical produz anomalias opostas e pode, por meio de diversos mecanismos, perturbar a circulação atmosférica em locais remotos, produzindo variações na precipitação, na temperatura mesmo em TSM's extratropicais. A ocorrência dos fenômenos El Niño,

conforme exposto por Molion (2008, p. 119), tem uma duração média de 6 a 18 meses por fase, totalizando cerca de 3 a 4 anos por ciclo completo.

Os trabalhos que procuram estabelecer a correlação entre a TSM e os elementos climáticos em grande parte do globo aumentaram, principalmente, depois da década de 1980. A região Sul do Brasil é especialmente sensível às alterações produzidas pelos eventos de El Niño e La Niña.

Oliveira e Satyamurty (1998) pesquisaram os impactos do El Niño de 1997/1998 na dinâmica climática do Brasil e identificaram que houve déficit de chuva na estação chuvosa da região Nordeste. Na Região Sul houve, em média, 50mm/mês de chuva a mais que o normal durante outubro/97 e maio/98. Enquanto, na região Sudeste houve aumento de 1 a 4°C no inverno de 1997. Ao considerar a análise variabilidade térmica, há de ponderar que, se em anos mais chuvosos/El Niño, haja maior intensificação na cobertura de nuvens, isto pode influenciar as temperaturas extremas, que atua como um regulador térmico, o papel das nuvens atua como uma barreira natural de radiação e, por mais que estas reflitam radiação, não há radiação direta, causando em condições normais, redução na temperatura. O inverso ocorre em anos de La Niña com menor cobertura de nebulosidade (DANNI-OLIVEIRA; MENDONÇA, 2007)

Menezes et al. (2008) analisaram a relação da TSM com a ocorrência de veranicos<sup>2</sup> no estado da Paraíba e identificaram que em sua porção leste/litorânea a máxima duração dos veranicos está associada à TSM do Atlântico Tropical, enquanto na porção oeste/sertão está correlacionada com as anomalias de TSM no Pacífico Equatorial. E, ainda, constataram um aumento significativo na máxima duração dos veranicos nesse estado brasileiro.

Kuinchtner et al. (2007) estudaram a variabilidade da temperatura do ar no planalto meridional rio-grandense e identificaram correlação de episódios de El Niño/La Niña com a temperatura máxima, média e mínima anual e, ainda, com a amplitude térmica anual na região.

Berlato e Fontana (2001) relacionaram as anomalias da TSM com a produtividade da soja na região Sul do Brasil e identificaram que, em geral, os eventos de El Niño são favoráveis às culturas de verão não irrigadas, como a soja e o milho. Também constataram que alguns eventos de seca e estiagens estão

---

<sup>2</sup> Período de estiagem/seca acompanhado de calor extremo.

correlacionados à La Niña. Ainda identificaram que eventos extremos de chuva ou seca, relacionados ou não à TSM, continuam sendo o fenômeno meteorológico causador dos maiores impactos negativos à produção agrícola do sul do país.

Ferreira et al. (2006) relacionaram a influência da variabilidade da TSM com a produtividade da soja no estado do Paraná e identificaram que as TSM's dos oceanos Pacífico (região do Niño 3) explicam cerca de 62% da produtividade de soja no estado, tanto para aumento ou redução da produção durante o trimestre FMA. Enquanto que a TSM do Atlântico Sul explica 75% do aumento ou redução da produtividade durante o trimestre DJF. Para o Atlântico Sul, a produtividade de soja no Paraná apresentou melhores correlações nos meses que correspondem ao enchimento de grãos (dezembro a abril).

Boa parte das pesquisas que envolvem os elementos climáticos com os episódios de anomalia da TSM aborda a interferência na precipitação. A precipitação tem relação direta com a variação da temperatura de determinada região, geralmente em regiões tropicais e subtropicais em dias normais e chuvosos a amplitude térmica costuma não ser acentuada e a máxima e a mínima dificilmente possuem valores extremos (DANNI-OLIVIERA; MENDONÇA, 2007).

Pinheiro (2016) correlacionou a variabilidade temporo-espacial da pluviosidade na bacia do Alto Iguaçu com a anomalia da TSM e constatou que os períodos mais chuvosos da década de 1980 e 1990 podem estar relacionados aos eventos extremos da TSM no Pacífico Equatorial. Esta autora ainda articulou os resultados dos índices de precipitação com as anomalias de ENOS 3.4 e identificou que há correlação significativa com os eventos de El Niño para a área de estudo, assim com a TSM no Atlântico Sul.

Caldana e Ely (2016) abordaram a relação das anomalias de El Niño e La Niña com a variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Iguaçu, utilizando o método MGCTI e identificaram que os anos com precipitação extrema máxima ou mínima estão articulados com as anomalias de El Niño e La Niña, respectivamente.

Utilizando o mesmo método, Franco e Ely (2016) produziram uma correlação entre as anomalias da TSM no Pacífico Equatorial com as chuvas no estado do Paraná e constataram que ocorre uma estreita relação – salvo algumas poucas estações – entre as oscilações da TSM nesta região do Pacífico com a variação das chuvas neste estado do sul do Brasil.

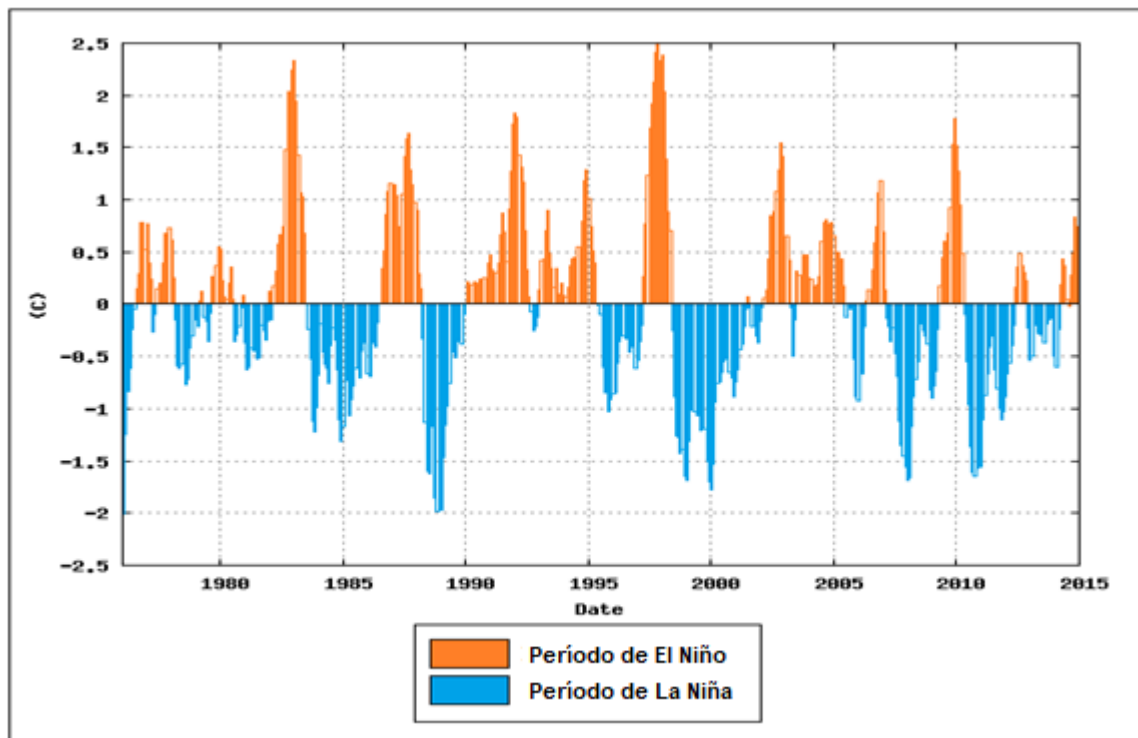
Para a Bacia do Rio Ivaí, também localizada no estado do Paraná, Moura e Ely (2016) identificaram que os períodos chuvosos estão correlacionados com os episódios de El Niño, enquanto os anos mais secos na bacia, em sua maioria, se correlacionam com a La Niña.

Vanhoni e Mendonça (2014) relacionaram o clima do litoral do Paraná com as anomalias de ENOS e identificaram uma correlação significativa com a chuva, principalmente nos anos de maior alternância na TSM, como os anos de 1982–1983 e 1990–1993.

Assim como os trabalhos citados, nesta pesquisa também procuramos averiguar possíveis influências dos fenômenos El Niño e La Niña na definição dos anos extremamente quentes identificados no estado do Paraná. Para tanto, foram utilizados dados do Oceanic Niño Index (ONI), divulgados pelo Climate Prediction Center da National Oceanic Atmosphere Administration (NOAA/CPC). Esse índice representa as médias móveis trimestrais das anomalias da TSM na região do Niño 3.4 no oceano Pacífico Equatorial (TRENBERTH et al., 2016).

Para caracterizar o El Niño, o valor do ONI tem que ser superior a  $0,5^{\circ}\text{C}$  acima da média por pelo menos cinco meses consecutivos. Por outro lado, os eventos de La Niña são estabelecidos quando os valores do ONI permanecem  $0,5^{\circ}\text{C}$  abaixo da média pelo mesmo período de meses. Valores de ONI entre esses dois limites denotam neutralidade do fenômeno. Com o auxílio da figura 14 é possível traçar uma análise sobre possíveis influências do referido fenômeno na variabilidade das temperaturas médias máximas e mínimas no estado do Paraná.

**Figura 14** – Anomalias da temperatura da superfície do mar com base no Oscillation Niño Index (ONI) na região Niño 3.4 do Oceano Pacífico Equatorial, no período de 1977 a 2015



**Fonte:** NOAA/CPC (2017), adaptado por Caldana e Ely (2016).

O efeito do ENOS (positivo ou negativo) sobre a temperatura não é tão marcante quanto sobre a precipitação no sul do Brasil, mas são evidenciados seus mais fortes efeitos no inverno (JJA) em algumas regiões do Paraná. Durante o inverno há significativas anomalias positivas (negativas) de temperatura nos subtropicais da América do Sul, principalmente, no norte da Argentina, mas que se estendem sobre o sul do Brasil (GRIMM, 2009).

Na análise do método MGCTI aplicado aos dados das temperaturas médias máximas para o estado do Paraná os anos caracterizados como quentes e muito quentes (com índices padronizados positivos) foram: 1977, 1978, 1984, 1985, 1994, 2002, 2003, 2006, 2007, 2012, 2014 e 2015.

Os anos extremamente quentes identificados pelo método Primavera/Verão foram 1985 e 2014. E para o método do Índice Diário os anos mais quentes foram: 1977, 1978, 1985, 1988, 1994, 1995, 2002, 2004, 2006, 2007, 2014 e 2015.

Alguns anos com registros de temperatura máxima elevada coincidem com os anos de ENOS, em períodos nos quais a fase quente (El Niño) tem

temporalidade maior, sendo que as temperaturas são diretamente afetadas (Quadro 07).

**Quadro 7** – Anos com ocorrência de El Niño e La Niña no Período em análise

OCORRÊNCIA DE EL NIÑO				OCORRÊNCIA DA LA NIÑA			
1976 - 1977	fraco	1994 - 1995	moderado	1984 - 1985	fraco	2000 - 2001	moderado
1977 - 1978	fraco	1997 - 1998	forte	1988 - 1989	forte	2007 - 2008	forte
1979 - 1980	fraco	2002 - 2003	moderado	1995 - 1996	fraco	2010 - 2011	moderado
1982 - 1983	forte	2004 - 2005	fraco	1998 - 1999	moderado	2011 - 2012	fraco
1986 - 1987	moderado	2006 - 2007	fraco	1999 - 2000	moderado		
1987 - 1988	moderado	2009 - 2010	fraco				
1991 - 1992	moderado	2015 - 2016	forte				

**Fonte:** CPTEC (2017), adaptado pela autora

Os anos que coincidem com as ocorrências de El Niño na análise da matriz MGCTI para as temperaturas máximas com anos que registraram índice padronizado positivo acima de 1 são: 1977, 1978, 1994, 2002, 2006, 2007 e 2015 e aqueles que apresentaram índice entre 0 a 1 são os anos de 1986, 1988, 1991, 1995 e 2005 (Quadro 08).

Para as temperaturas médias mínimas com índice padronizado maior que 1, os anos que coincidiram com eventos El Niño são: 1977, 2002, 2005, 2009 e 2015. E aqueles com índices entre 0 e 1 foram: 1982, 1983, 1986, 1991, 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 2006 e 2007 (Quadro 08).

As análises do Índice Diário que coincidem os anos com episódios de El Niño são: 1977, 1978, 1994, 1995, 2002, 2004, 2006, 2007 e 2015. Para o Índice de Primavera – Verão os anos extremamente quentes 1985 e 2014 não tiveram relação com a ocorrência do citado evento. Ainda há de se destacar que os anos quentes registrados através da aplicação do método P/V, anos que ocorreram entre 3 a 6 ondas de calor que coincidem os anos com episódios El Niño são: 1978, 1979, 2002, 2005 e 2010.

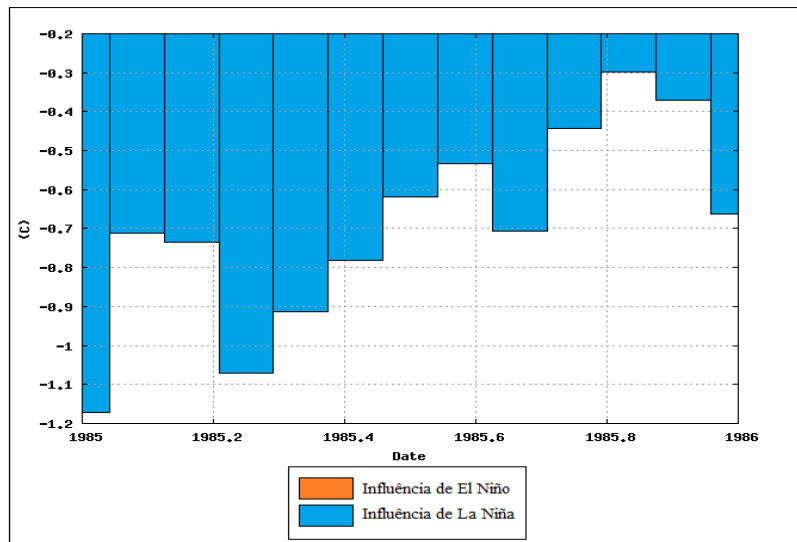
**Quadro 8** – Ocorrência anual do fenômeno El Niño para os índices analisados

ANOS	MGCTI + 1		MGCTI 0 -1		ID	P/V
	MAX	MIN	MAX	MIN		
1977						
1978						
1979						
1982						
1983						
1986						
1988						
1991						
1992						
1993						
1994						
1995						

ANOS	MGCTI + 1		MGCTI 0 -1		ID	P/V
	MAX	MIN	MAX	MIN		
1997						
1998						
2002						
2004						
2005						
2006						
2007						
2009						
2010						
2012						
2015						

Fonte: CPTEC (2017), adaptado pela autora

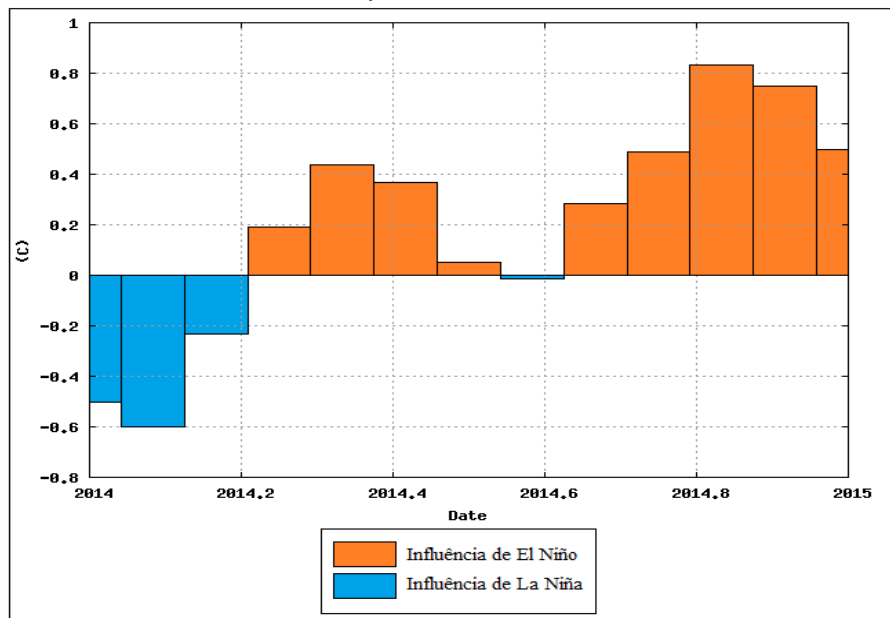
No ano de 1985 ocorreu o maior pico de temperatura máxima absoluta para quase todas as estações, quando também foi detectado um número elevado de ocorrências de ondas de calor por meio do Método Índice Diário (19 ondas). Enquanto que pelo método – Primavera/Verão foram registradas 16 ondas de calor. Ao analisar a figura 15 constata-se que 1985 foi um ano de ocorrência de um La Niña fraco, caracterizado por Caldana e Ely (2016, p. 2129) como extremamente seco na bacia do rio Iguaçu (Paraná).

**Figura 15** – Anomalias de TSM no episódio de La Niña no ano de 1985

Fonte: NOAA/CPC (2017). Organizado pela autora

Ao analisar o ano de 2014, considerado extremamente quente pelos resultados do método MGCTI (com o cálculo do índice padronizado superior a 1 para as temperaturas médias máximas e mínimas), este registrou 23 ondas de calor com a aplicação do índice diário e 19 no índice de primavera-verão. No quadro 08, este não aparece configurado como ano de El Niño, mas quando se desdobra o monitoramento mensal do fenômeno (figura 16) são constatadas anomalias positivas em alguns meses com características semelhantes ao El Niño, mas considerado fraco (entre 0,5 a 0,9).

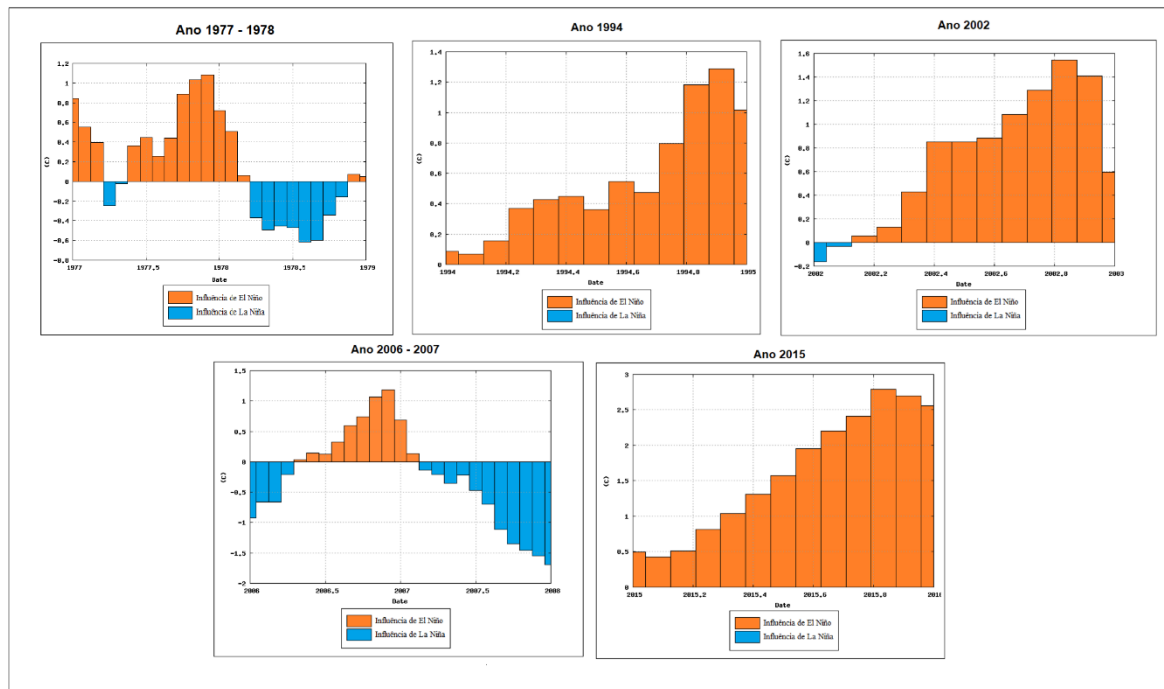
**Figura 16** – Anomalias de TSM no episódio de El Niño no ano de 2014



Fonte: NOAA/CPC (2017). Organizado pela autora

A Figura 17 apresenta as anomalias de TSM para os anos em que ocorreram eventos de El Niño relacionados com o resultado da matriz MGCTI para uma melhor visualização da influência do fenômeno sobre a ocorrência dos anos extremamente quentes no recorte espaço temporal considerado, que abrange os anos de (1977, 1978, 1994, 2002, 2006, 2007 e 2015).

**Figura 17** – Anomalias de TSM considerando os anos extremamente quentes (1977, 1978, 1994, 2002, 2006, 2007 e 2015)



**Fonte:** NOAA/CPC (2017). Organizado pela autora.

Molion (2005) analisou os dados de Oscilação Decadal do Pacífico (ODP ou PDO, sigla em inglês) e do ENOS e constatou uma maior ocorrência de La Niña nas fases negativas – fases frias – da PDO e maior ocorrência de El Niño nas fases positivas – fase quente – da PDO. Pesquisas sugerem aumento das temperaturas médias globais durante os eventos e El Niño (EN) e diminuição nos eventos de La Niña (LN) que, segundo o autor, podem estar correlacionadas com o balanço radiativo da Terra. Na fase do EN há uma diminuição da emissão da radiação de ondas longas para o espaço exterior em virtude da maior concentração de vapor d’água na atmosfera e aumento da cobertura de nuvens, intensificando assim, o efeito estufa e podendo influenciar em temperaturas mais quentes. Na fase positiva (La Niña) ocorre o inverso, mais radiação é emitida para o espaço, fazendo com que o efeito estufa seja reduzido, levando assim, à diminuição da temperatura atmosférica.

Diante das análises apresentadas, as temperaturas médias máximas anuais dos anos de 1985 e 2012, detectados como quentes e extremamente quentes pela Matriz MGCTI, estão correlacionados com o evento de El Niño. Para as médias mínimas anuais apenas o ano de 2001 está relacionado à ocorrência do fenômeno La Niña.

#### 4.5 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE EXTREMOS TÉRMICOS CALCULADOS POR MEIO DO PROGRAMA RCLIMPACT.

A equipe de especialistas em detecção, monitoramento e índices de mudanças climáticas (ETCCDMI) ligada ao IPCC desenvolveu alguns métodos que permitem calcular índices climáticos por meio dos softwares RHtestsV4 e RclimDex. A partir deste último a comissão de climatologia da Organização Meteorológica Mundial (OMM) elaborou o software ClimPACT, com o objetivo de identificar tendências nas séries temporais de temperaturas e precipitações; inclusive considerando os eventos extremos.

O ClimPACT é um pacote em linguagem R e compõe um ambiente para computação estatística e gráficos. Para analisar eventos extremos de calor foram calculados alguns índices (TXx, TR20, SU30, SU35) disponíveis no pacote. O índice TXx representa o valor máximo mensal da temperatura máxima diária. Os extremos de temperatura para diferentes escalas temporais são utilizados em vários estudos sobre agricultura, segurança hídrica e alimentar para expressar a faixa de temperatura extrema (ALEXANDER et al., 2006; TEBALDI et al., 2006), bem como para a projeção de períodos de retorno, de 20 anos por exemplo (DONAT et al., 2013).

O índice TR20 compreende a contagem anual dos dias em que a temperatura mínima foi superior a 20°C, ou seja, indica as noites tropicais. Enquanto que os índices SU30 e SU35, dias quentes e muito quentes, computam a contagem anual dos dias em que a temperatura máxima foi superior a 30°C e 35°C. Estes índices são frequentemente úteis para estudos sobre os impactos do clima na saúde, na segurança alimentar e na engenharia (TERANDO et al., 2012). As noites tropicais geralmente ocorrem em combinação com longos períodos de calor, particularmente em regiões extra-tropicais e sua problemática para a saúde humana foi analisada por Weisskopf et al. (2002) e Patz et al. (2005).

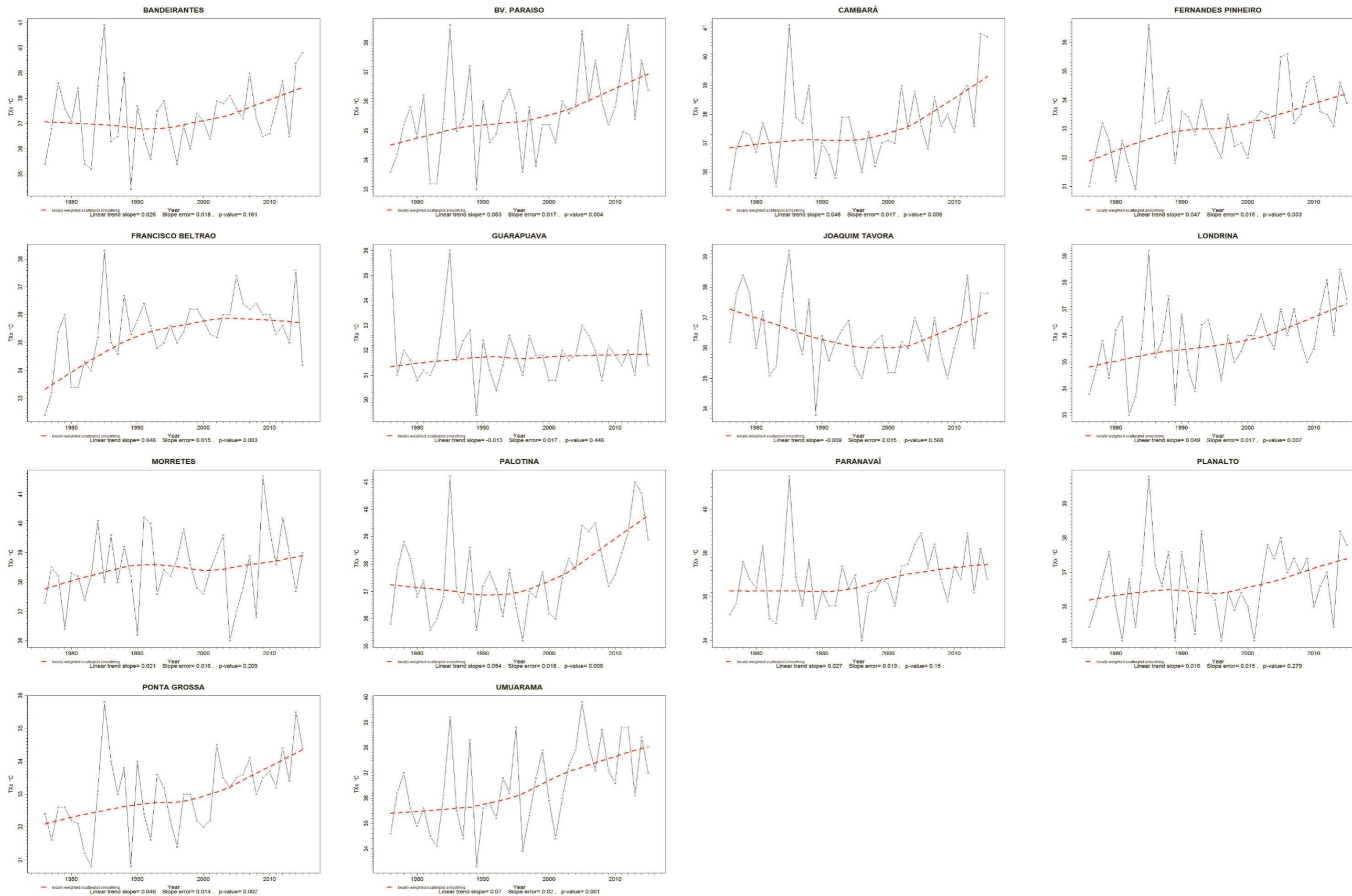
Os índices descritos foram calculados para todas as estações meteorológicas que compõem nosso estudo. Os resultados do cálculo do índice TXx estão expostos na figura 18 e se verifica que em 12 estações a linha de tendência (linha pontilhada vermelha) registra ascendência. Apenas com exceção para as estações de Joaquim Távora (-0,009) e Guarapuava (- 0,013). As tendências

positivas mais significativas ocorreram em Umuarama (0,07), Palotina (0,054) e Bela Vista do Paraíso (0,053); seguidas pelas estações de Londrina (0,049), Cambará (0,048), Fernandes Pinheiro (0,047), Francisco Beltrão e Ponta Grossa (0,046).

Com a análise dos resultados expostos na figura 17 foi verificado que para quase todas as estações as tendências mais elevadas ocorreram a partir do ano de 1996 até 2015, com destaque para as estações de Palotina, Cambará, Umuarama, Bela Vista do Paraíso, Bandeirantes e Ponta Grossa. Em Palotina, ao analisar o período de 1976 a 1989, a amplitude da tendência registrou valores negativos e após o ano de 1996 a tendência aumentou de forma significativa; se destacando das demais estações. Em Joaquim Távora a tendência das temperaturas foi negativa, pois no período de 1976 a 1996 as tendências caíram de 37.3°C a 36°C se estabilizando até 2003, voltando a aumentar após esse período e chegando a 37.1°C.

A estação que se destaca com a tendência positiva mais expressiva foi Umuarama (0,07) que corresponde a temperaturas de 35.4°C a 37.9°C.

Figura 18 Resultado do cálculo do índice TXx - valor máximo mensal da temperatura máxima diária.



Fonte: Dados do IAPAR 2017.Organizado pela autora.

Na figura 19 estão apresentados os resultados do cálculo do índice TR20, que representa o número de dias com temperaturas mínimas superiores a 20°C ou noites tropicais. A análise deste índice indica um aumento na temperatura noturna em seis estações, sendo que o aumento mais importante e estatisticamente significativo se deu nas estações de Londrina (1,073), Umuarama (0,911), Bandeirantes (0,889), Paranavaí (0,792), Morretes (0,726), Bela Vista do Paraíso (0,598) e Cambará (0,461). Enquanto que em Planalto a tendência foi negativa (-0,339).

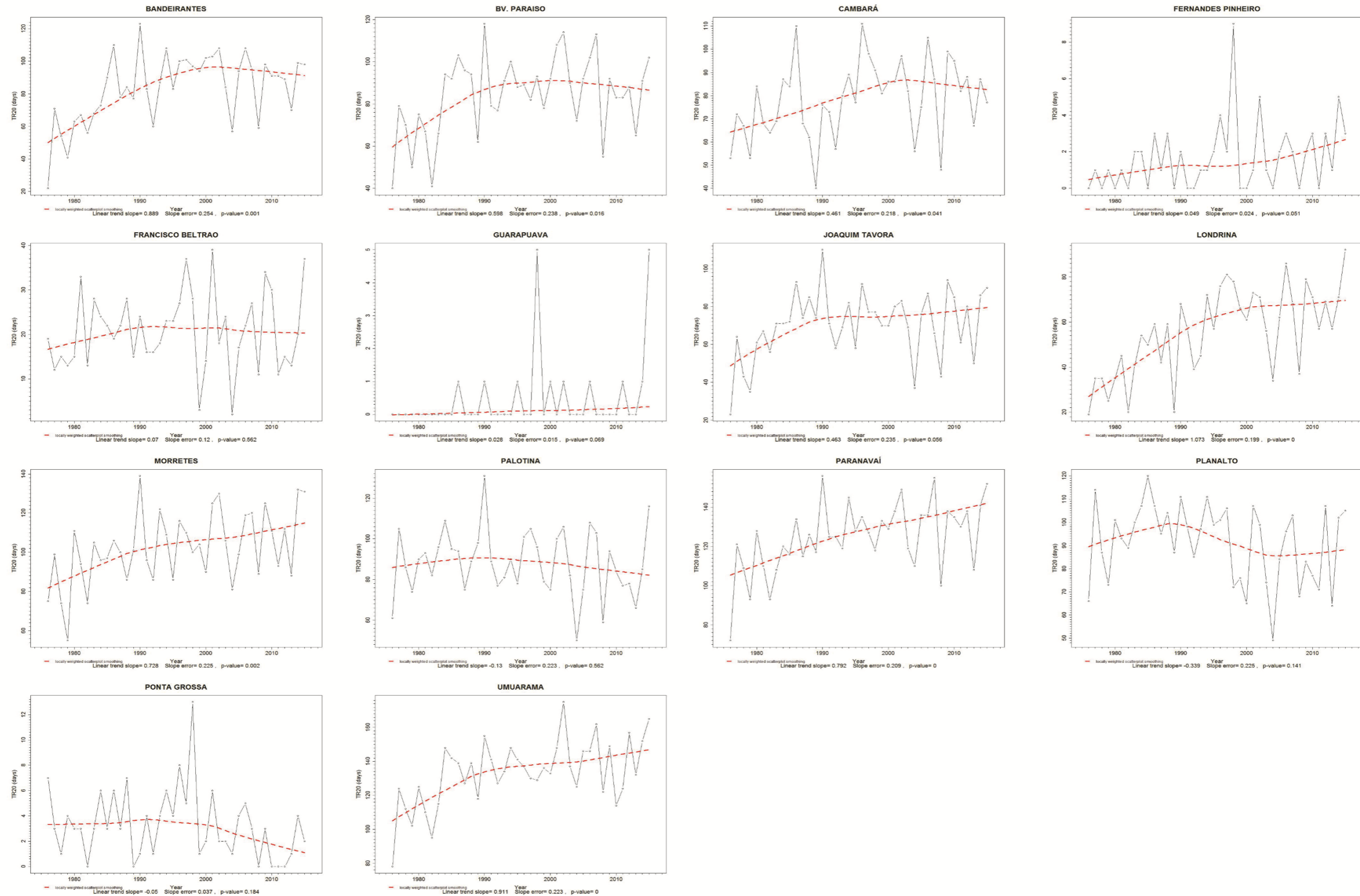
Umuarama apresentou o maior registro do número de noites tropicais (5.339 dias no período de análise que representa 36,5%) 175 registros no ano de 2002 com o maior registro e 1976 foi o ano com o menor registro - 78). Paranavaí também se destaca neste índice com registros de 4.987 dias no período (34,1% do período), 156 noites tropicais em 1990 e, 1976, também foi o ano com menor ocorrência - 72.

Assim como as estações citadas, Londrina também apresentou o ano de 1976 com o menor registro de noites tropicais (19 ocorrências) e em 2015 foram registradas a maior quantidade (92 noites tropicais).

As estações de Guarapuava e Fernandes Pinheiro apresentaram um número menor de noites tropicais. Guarapuava registrou apenas 18 dias (5 ocorrências em 1998 e 2015) e Fernandes Pinheiro registrou 66 dias, (5 ocorrências em 2002 e 2014; 9 em 1999).

Em Planalto o índice apresenta um caráter excepcional, pois a tendência foi significativamente negativa. São verificados diferentes momentos da evolução da tendência: entre os anos de 1976 a 1988 ela foi positiva; entre os anos de 1989 a 2003 torna-se negativa e, posteriormente, após o ano de 2006 a 2015 a tendência volta a aumentar. A estação apresentou 3653 dias com temperaturas mínimas elevadas.

Figura 19 Resultado do índice TR20 - contagem anual das temperaturas mínimas acima de 20°C.



Fonte: Dados do IAPAR 2017.Organizado pela autora.

Os valores anuais do índice SU30 (número de dias com temperaturas máximas diárias superiores a 30°C – figura 20) mostram uma ampla gama de valores para todas as estações, pode-se visualizar que houve um aumento no número de dias quentes quase que para a totalidade das estações.

As estações com tendência positiva significativa para este índice foram: Bandeirantes, Bela Vista do Paraíso, Cambará, Fernandes Pinheiro, Joaquim Távora, Londrina, Palotina e Umuarama, com a maior tendência. Cambará apresentou o maior registro do número de dias em apenas um ano (236 dias no ano de 2011). Em Palotina o número máximo de dias quentes registrados com temperaturas elevadas ocorreu no ano de 2012 (218 dias).

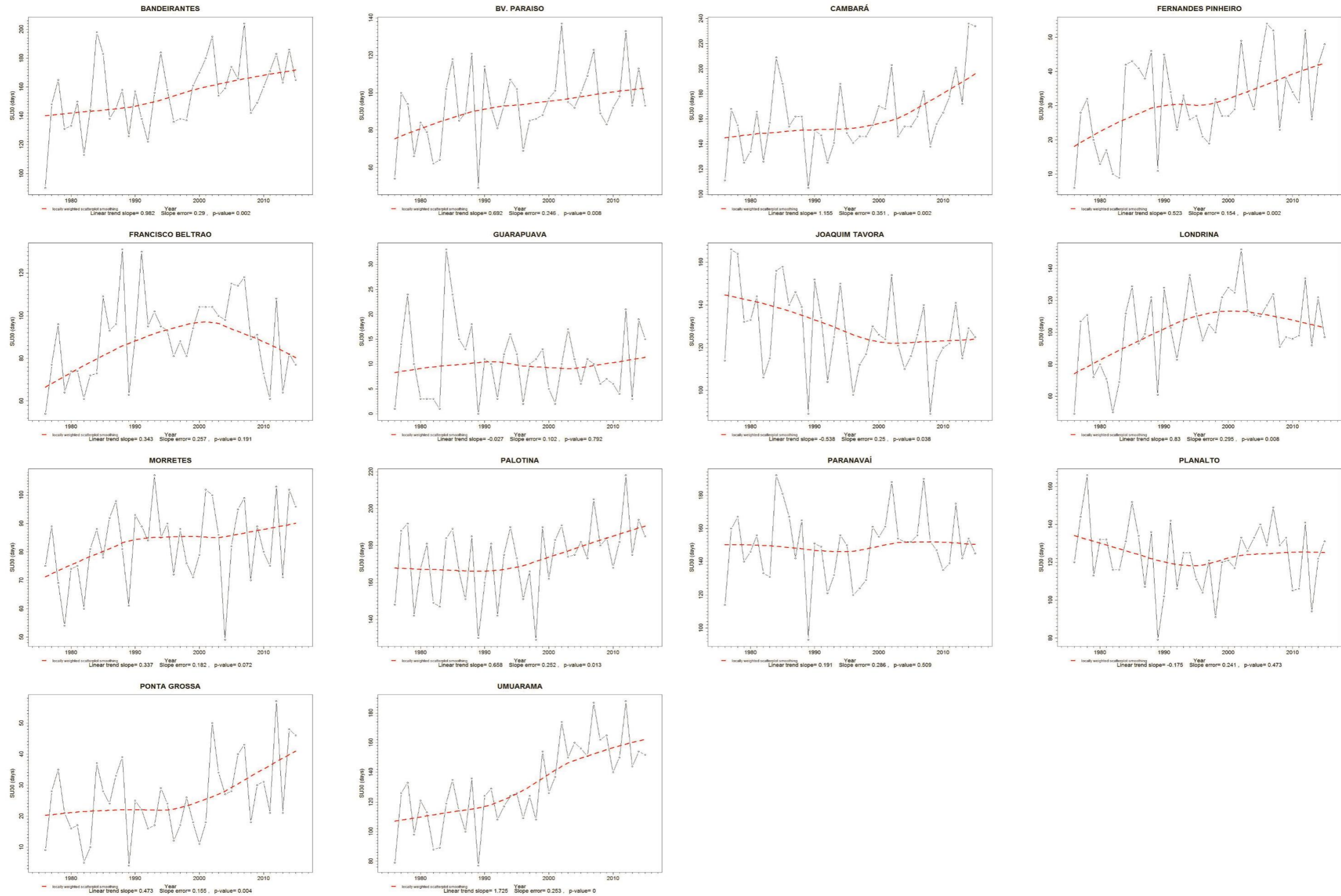
As estações de Palotina, Cambará, Bandeirantes, Paranavaí e Umuarama ao longo do período de análise registraram os maiores números de dias com as temperaturas mais elevadas com 6.907, 6.430, 6.230, 5.977 e 5.247 dias respectivamente, que representa 47.3% a 35.8% do período de análise. E as estações com o menor número de registros foram Guarapuava (415), Ponta Grossa (1035) e Fernandes Pinheiro (1254) (2,8% a 8,6% do período).

Algumas estações apresentam nas décadas de 1995 e 2000 tendências mais elevadas para este índice: Palotina e Umuarama obtiveram aumento significativo a partir de 1995; Ponta Grossa (1997); Bela Vista do Paraíso, Cambará e Fernandes Pinheiro (1999) e Bandeirantes (2000) (figura 20). As estações de Joaquim Távora, Planalto e Guarapuava apresentaram tendências negativas (–0.538, –0.175 e –0.027 respectivamente).

Enquanto que para o índice SU35, que computa a ocorrência de dias extremamente quentes (com temperaturas máximas diárias superiores a 35°C – figura 20), se destacam as estações com tendência linear positiva significativa: Cambará com tendência linear positiva (0.575); Palotina (0.433) e Umuarama (0.420) seguida pelas estações de Bandeirantes, Paranavaí, Morretes, Bela Vista do Paraíso e Londrina.

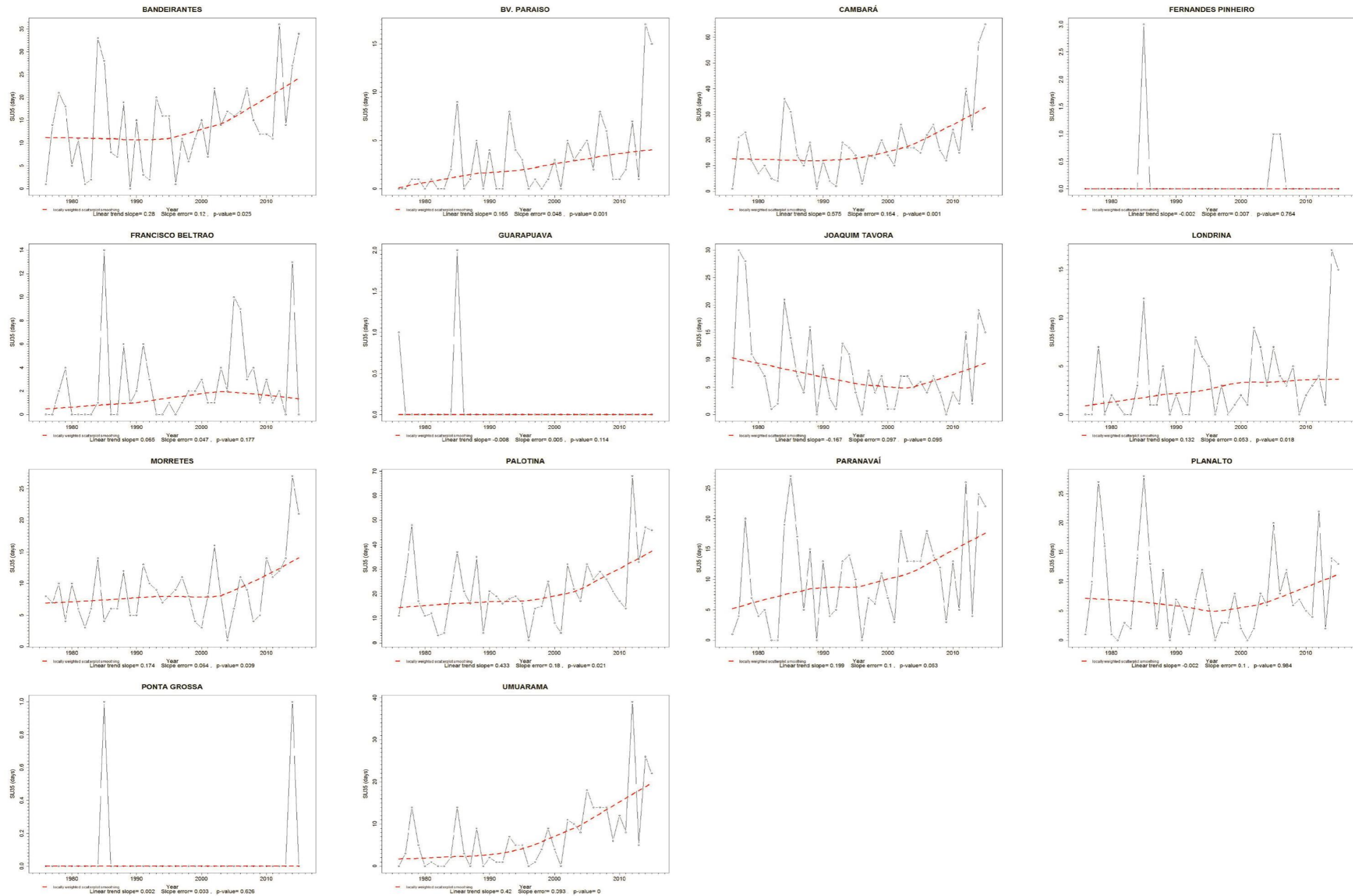
As estações de Palotina, Cambará, Bandeirantes e Paranavaí registraram o maior número de dias com temperaturas acima de 35°C ao longo do período de análise, ocorreram 873, 713, 560 e 415 dias respectivamente, estas ocorrências compreendem de 4 a 6% do período de análise. As estações que registraram poucos dias com temperaturas elevadas foram Ponta grossa, Guarapuava e Fernandes Pinheiro com registros de 02, 03 e 05 respectivamente.

Figura 20: Resultado do cálculo do índice SU30 – número de dias com temperaturas máximas superiores a 30°C.



Fonte: Dados do IAPAR 2017.Organizado pela autora.

Figura 21: Resultado do cálculo do índice SU35 – número de dias com temperaturas máximas superiores a 35°C.



Fonte: Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

Após o cálculo e análise dos índices apresentados anteriormente, foram calculadas as tendências dos mesmos por meio do teste estatístico não paramétrico de Mann–Kendall ou MK (Mann 1945, Kendall 1975) (quadro 09). Os resultados foram avaliados para um nível de significância de  $\alpha = 5\%$ .

O teste MK nos permitiu calcular o  $\tau$  (tau) que varia entre  $-1$  e  $+1$ , onde os valores positivos indicam uma tendência ascendente e valores negativos, uma tendência de queda (ALMEIDA et al., 2016 apud ELY; FORTIN, 2017 p. 1–7).

**Quadro 9** – Resultado da tendência de Mann–Kendall aplicada aos índices de temperaturas máximas

Estação	TXx	TR20	SU35	SU30
Bandeirantes	0.180	<b>0.343</b>	<b>0.228</b>	<b>0.358</b>
Bela V. do Paraíso	<b>0.337</b>	<b>0.209</b>	<b>0.371</b>	<b>0.271</b>
Cambará	<b>0.328</b>	<b>0.255</b>	<b>0.342</b>	<b>0.298</b>
Fernandes Pinheiros	<b>0.363</b>	<b>0.273</b>	0.057	<b>0.305</b>
Francisco Beltrão	<b>0.322</b>	0.079	<b>0.240</b>	0.158
Guarapuava	-0.081	<b>0.262</b>	<b>-0.241</b>	-0.012
Joaquim Távora	-0.056	<b>0.245</b>	-0.167	<b>-0.207</b>
Londrina	<b>0.313</b>	<b>0.472</b>	<b>0.280</b>	<b>0.214</b>
Morretes	0.139	<b>0.310</b>	<b>0.230</b>	<b>0.204</b>
Palotina	<b>0.319</b>	-0.045	<b>0.234</b>	<b>0.245</b>
Paranavaí	<b>0.211</b>	<b>0.412</b>	<b>0.201</b>	0.026
Planalto	0.154	-0.145	0.072	-0.032
Ponta Grossa	<b>0.351</b>	-0.175	0.066	<b>0.290</b>
Umuarama	<b>0.350</b>	<b>0.356</b>	<b>0.451</b>	<b>0.540</b>

Os valores em negrito são significativos ao nível de 0,05.

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

Os resultados das tendências do índice TXx (quadro 09) demonstram que as tendências positivas mais significativas ocorreram em Umuarama, Palotina e Bela Vista do Paraíso, Londrina, Cambará, Fernandes Pinheiro, Francisco Beltrão e Ponta Grossa e tendências negativas em Guarapuava e Joaquim Távora.

Para a análise do índice TR20, o teste estatístico apresenta resultado positivo mais significativo para as estações de Londrina, Paranavaí, Umuarama, Bandeirantes e Morretes, mas tendência negativa para Planalto, Ponta Grossa e Palotina.

Constata-se que para os índices SU30 e SU35 há semelhança nos resultados das tendências lineares com o teste Mann–Kendall, para as temperaturas

acima de 30°C as estações de Umuarama, Bandeirantes e Fernandes Pinheiro apontam as maiores tendências de aumento no número de dias com temperaturas máximas mais quentes; destaca-se também as estações de Cambará, Ponta Grossa, Bela Vista do Paraíso, Palotina, Londrina e Morretes com índices positivos. Enquanto que para as temperaturas máximas diárias superiores a 35°C, que avalia a ocorrência de dias extremamente quentes, as estações com destaque foram Umuarama, Cambará e Bela Vista do Paraíso que apontaram maior elevação, outras estações com índices positivos pode-se destacar Londrina, Francisco Beltrão, Palotina, Morretes, Bandeirantes e Paranavaí.

#### 4.6 – ANÁLISE DOS ÍNDICES PARA DETECÇÃO DAS ONDAS DE CALOR

Além do Índice Diário (ID) e Primavera/Verão (P/V) analisados anteriormente, neste trabalho a análise sobre as ondas de calor no Paraná foi ampliada com o cálculo dos índices ETCCDI, pois as ondas de calor constituem perigos meteorológicos relacionados ao aquecimento global e que impactam a sociedade, a economia e os ecossistemas. Os efeitos das ondas de calor podem ser sentidos na saúde (aumento das taxas de morbidade e mortalidade por meio do desconforto térmico), na agricultura e nos recursos hídricos.

Perkins et al. (2013) aponta algumas variáveis para definir características específicas de uma onda de calor, por exemplo: frequência, duração, magnitude, número de eventos que se refere à onda de calor obtida a partir dos dados. O cálculo dos índices de ondas calor elaborados por meio do RclimPACT abrange estas variáveis e são os seguintes: número de ondas de calor (HWN), duração (HWD), frequência (HWF), amplitude (HWA) e a magnitude (HWM). Neste software são considerados apenas os meses mais quentes (novembro a março) e as ondas de calor são caracterizadas quando as seguintes condições persistirem por pelo menos 3 dias: 1) temperatura máxima diária superior ao 90 percentil (Ctx90pct), 2) temperatura mínima diária superior ao 90 percentil desta variável (Ctn90pct) e onde 3) EHF > 0.

Sendo que  $EHF = \max [1, EHI_{accl}] \times EHI_{sig}$

e  $EHI_{accl} = (T_{Mi} + T_{Mi-1} + T_{Mi-2}) / 3 - (T_{Mi-3} + \dots + T_{Mi-32}) / 30$

e  $EHI_{sig} = (T_{Mi} + T_{Mi-1} + T_{Mi-2}) / 3 - T_{mij}$  (ALEXANDER; YANG; PERKINS, 2013, p. 37)

Em nossas análises iremos enfatizar os resultados obtidos com o cálculo dos índices de ondas de calor considerando a primeira condição, ou seja, quando a temperatura máxima diária superior ao 90 percentil (Ctx90pct) persistir por, pelo menos, 3 dias consecutivos (figuras 22 a 26).

De acordo com o critério citado, a maioria das estações meteorológicas analisadas registrou mais de 60 episódios de ondas de calor no período de estudo, sendo que Morretes registra o menor número de ondas (quadro 10). Na análise do método primavera/verão Morretes também obteve destaque, pois registrou um número menor de ondas de calor, possivelmente este esse menor índice está relacionado ao efeito da maritimidade, uma vez que a presença de um grande corpo hídrico, como o oceano, atua como regulador térmico reduzindo os eventos extremos de temperatura.

**Quadro 10** – Número de ocorrências de ondas de calor segundo o critério Ctx90pct

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOTAL		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	TOTAL
1976	1	1	1	1	0	1	5	2	2	1	1	2	1	1	20	1996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	4	4	4	3	3	5	4	3	2	6	4	4	4	4	54	1997	3	3	3	4	3	3	3	4	2	3	1	2	2	3	39
1978	1	1	1	0	1	1	2	1	0	2	1	2	0	2	15	1998	0	1	2	0	2	1	1	3	1	0	1	0	0	1	13
1979	1	1	1	1	1	2	3	1	1	2	0	1	2	1	18	1999	2	1	2	0	2	1	2	1	0	2	2	2	0	4	21
1980	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	5	2000	1	1	1	1	1	0	0	1	2	0	0	0	1	0	9
1981	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	7	2001	2	2	0	2	2	2	0	2	1	1	2	1	2	2	21
1982	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2002	2	2	2	2	3	2	3	2	1	3	1	2	2	29	
1983	5	4	6	4	2	5	5	4	2	2	4	3	3	0	49	2003	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	2	14
1984	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3	2004	4	3	3	3	3	2	2	3	1	3	2	4	3	6	42
1985	3	4	4	4	5	4	3	3	2	6	5	4	3	4	54	2005	1	2	1	2	3	0	0	2	0	1	1	2	4	1	20
1986	1	2	1	4	2	4	3	2	0	1	3	2	2	1	28	2006	2	5	3	4	3	2	2	3	1	2	4	1	3	6	41
1987	2	2	0	4	4	4	1	1	1	3	2	2	2	1	29	2007	2	1	2	0	1	1	0	1	2	1	1	1	1	1	15
1988	1	2	1	2	3	2	1	1	2	3	1	4	2	2	27	2008	4	3	3	1	2	1	0	2	0	4	2	4	2	5	33
1989	0	1	0	2	2	0	0	0	1	1	2	1	1	1	12	2009	3	5	4	2	2	2	3	3	2	2	3	2	3	4	40
1990	1	1	1	2	4	2	1	1	0	2	0	1	3	1	20	2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1991	0	2	0	2	0	1	0	0	2	0	2	0	1	1	11	2011	2	2	1	3	2	2	2	1	1	5	4	5	3	5	38
1992	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	14	2012	3	2	3	1	1	1	3	1	0	3	0	1	2	4	25
1993	1	1	1	0	0	1	2	2	2	0	2	0	0	0	12	2013	2	2	4	4	1	2	2	3	4	1	2	1	3	2	33
1994	0	1	0	0	1	2	0	1	2	2	2	2	1	2	16	2014	2	2	6	1	0	0	2	2	2	3	3	0	1	2	26
1995	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	3	1	0	21	2015	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3
Total	24	31	26	33	32	38	34	27	21	36	32	33	27	22	416	Total	36	38	42	31	31	24	25	36	22	33	32	28	34	51	463

1 BANDEIRANTES	5 FRANCISCO BELTRÃO	9 MORRETES
2 BELA VISTA	6 GUARAPUAVA	10 PALOTINA
3 CAMBARÁ	7 JOAQUIM TÁVORA	11 PARANAÍ
4 FERNANDES PINHEIRO	8 LONDRINA	12 PLANALTO
		13 PONTA GROSSA
		14 UMUARAMA

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017.Organizado pela autora.

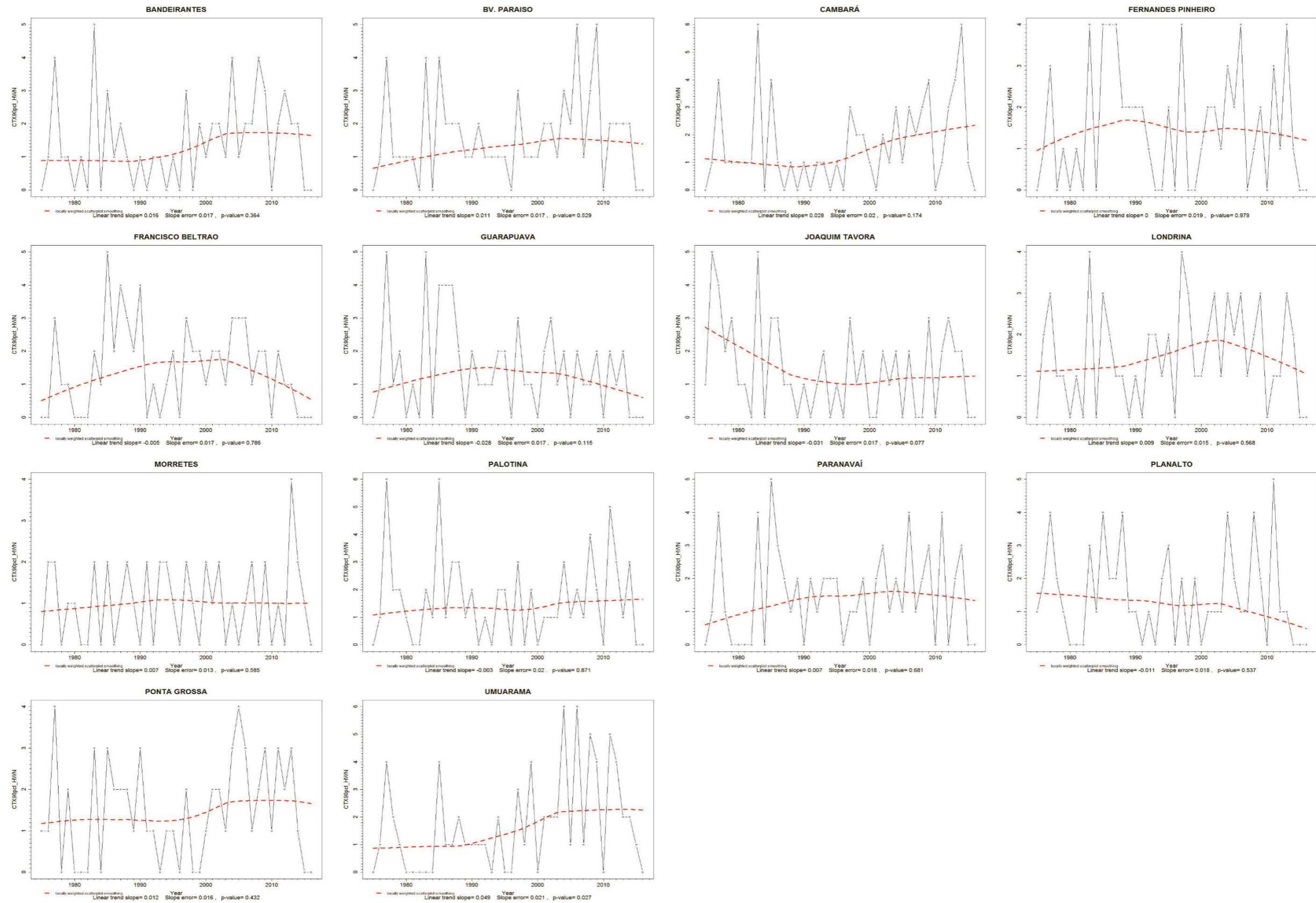
Ao interpretar as figuras 22 e 10 em conjunto foi possível identificar que dos anos com maior ocorrência de ondas de calor (mais de 40 registros), os anos de 1977, 1985 e 2006 são os anos mais quentes, com índice padronizado superior a 1,0. Enquanto os anos de 1983 e 2009 foram caracterizados como anos amenos/menos quentes com índice padronizado negativo, porém, como visto na figura 22, apresentaram grande frequência de ondas de calor.

Por outro lado, os anos de 1982, 1996 e 2010 foram os anos com baixos registros de onda de calor (quadro 10), com nenhuma ou uma ocorrência. Ao correlacionar essas informações com a matriz da figura 10, estes anos possuem índice padronizados negativos, e fica evidente que são anos com temperaturas amenas, mostrando alta correlação entre os dados expostos.

As estações com maior destaque na ocorrência de anomalias de calor para temperaturas máximas foram as estações de Umuarama (73 ondas), Palotina (69), Bela Vista do Paraíso (69) e Cambará (68). E as estações com os menores registros foram Morretes (43), Joaquim Távora (59) e Bandeirantes (60).

Com os índices gerados por meio do Software ClimPACT foi possível detectar um número maior de ondas de calor, comparado os índices de primavera/verão (P/V) e Índice Diário (ID). Este fato pode ser explicado em virtude das distintas metodologias. O método aplicado pelo RclimPACT contabiliza ondas de calor com apenas 3 dias consecutivos, enquanto que os métodos de P/V e ID detectam ondas com pelo menos 6 dias consecutivos. O método P/V assim como o aspecto HWN detectam ondas de calor no período quente, apontando somente as temperaturas mais extremas.

Figura 22: Resultado do cálculo do HWN - (Número de ondas de calor) nas estações analisadas no período de 1976 a 2015.



Fonte: Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

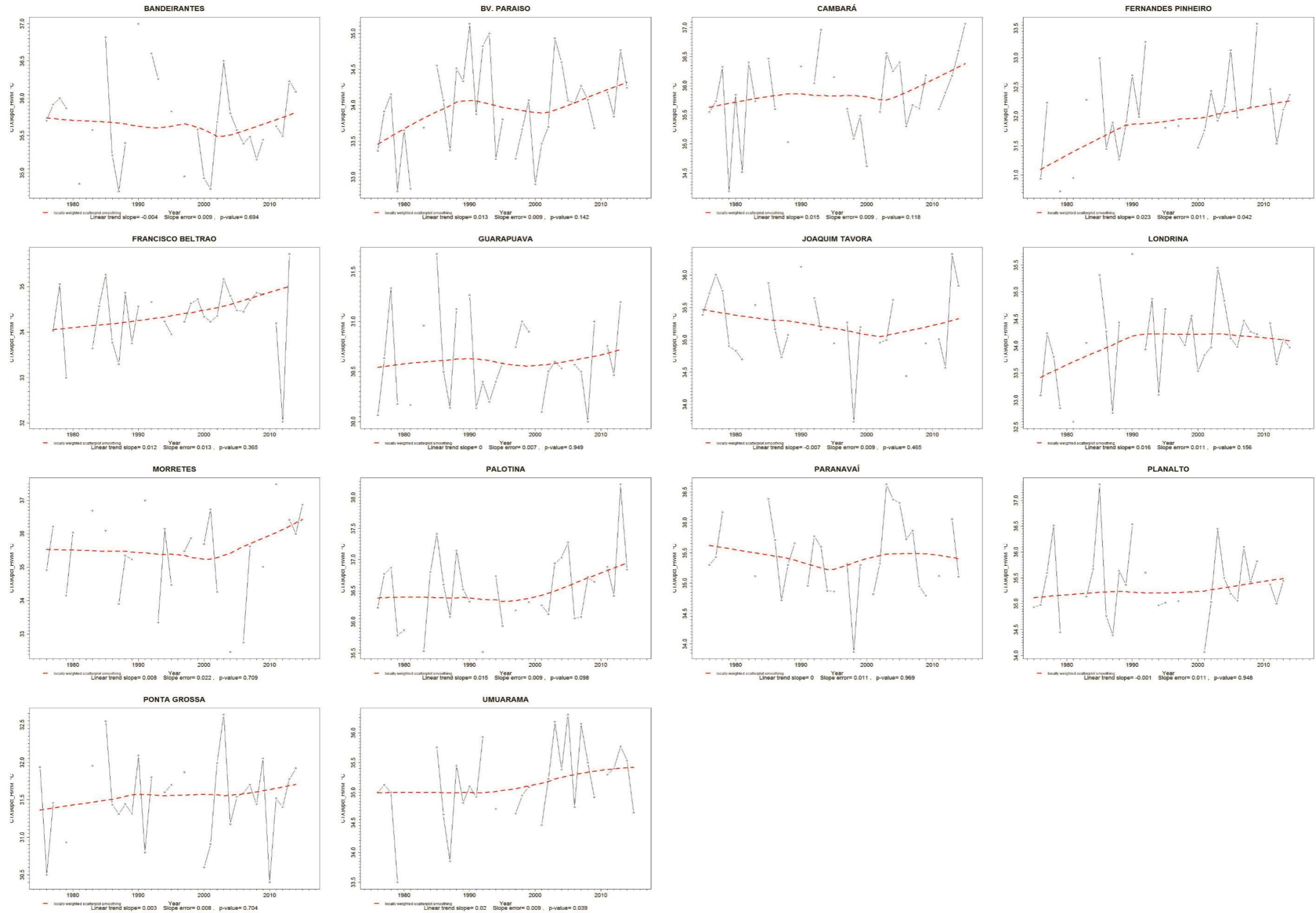
Ao analisar os gráficos dos cálculos do índice HWM (magnitude média da temperatura máxima nos dias dos episódios de ondas de calor), na figura 23, foi possível identificar que as estações com médias das temperaturas em ondas extremamente elevadas registraram 36.6°C e 38.2°C, que ocorreram nos municípios de Paranavaí em 2003 e Palotina em 2013.

As temperaturas em ondas de calor em Guarapuava variaram de 30°C a 31.7°C e em Palotina de 35.5°C a 38.2°C. Em Morretes, Planalto, Cambará e Bandeirantes registraram a magnitude média da temperatura elevada nos dias das ondas de calor em 37.4°C, 37.3°C, 37,1°C e 37°C respectivamente. E em Ponta Grossa e Fernandes Pinheiro com as temperaturas em ondas de calor de 32.6°C e 33.6°C.

Em Paranavaí, dos 40 anos analisados neste trabalho, ocorreram ondas de calor em 29 anos, sendo 75.9% do período em análise que registraram magnitudes médias oscilando de 33.9°C a 36.6°C e, ainda, foram verificados 6 anos com temperatura média das ondas com valores acima de 36°C. Em Palotina ocorreram ondas de calor em 31 anos do período em análise, sendo 77.5% do período, apresentando magnitude média variando de 35.5°C a 38.2°C e foram verificados 26 anos com magnitude média das ondas com temperaturas acima de 36°, ou seja, as duas estações com as maiores magnitudes médias das ondas de calor.

A estação de Guarapuava apresentou as magnitudes médias das temperaturas em ondas de calor variando de 30°C a 31.7°C, sendo a estação com as menores magnitudes dentre as estações analisadas. Enquanto a estação de Ponta Grossa, localizada no centro oriental registrou temperaturas entre 30.4°C a 32.6°C, sendo que dos 30 anos com ocorrências de onda de calor em 23 anos de análise as temperaturas das ondas tiveram uma magnitude entre 31°C a 32.2°C. A estação de Fernandes Pinheiro, situada no sudeste do estado, registrou temperaturas entre 30.7°C a 33.6°C. A magnitude média das temperaturas em ondas de calor ao longo dos anos foram aumentando partindo da temperatura de 30.7°C a 32.5°C, apresentando pequeno crescimento da linha da tendência linear. Sendo estas, as três estações com menores médias das ondas de calor.

Figura 23 Resultado do cálculo do índice HWM (magnitude média da temperatura máxima nos dias dos episódios de ondas de calor).



Fonte: Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

Para os gráficos da Figura 24, com os resultados do cálculo do índice HWA – temperatura do dia mais quente em episódio de onda de calor, foi possível identificar que a estação de Umuarama, na região Norte do estado, apresentou uma amplitude (pico mais quente da onda de calor) mais elevada, no período de análise, foram registradas ondas de calor em 30 anos (75% do período) o com pico máximo atingiu 39.8°C no ano de 2004. Já na estação de Londrina, em 32 anos foram registradas ondas de calor com pico máximo de 39,2°C. Na estação de Bela Vista do Paraíso foram registrados 35 anos com ocorrência de onda de calor com pico máximo de 38.6°C.

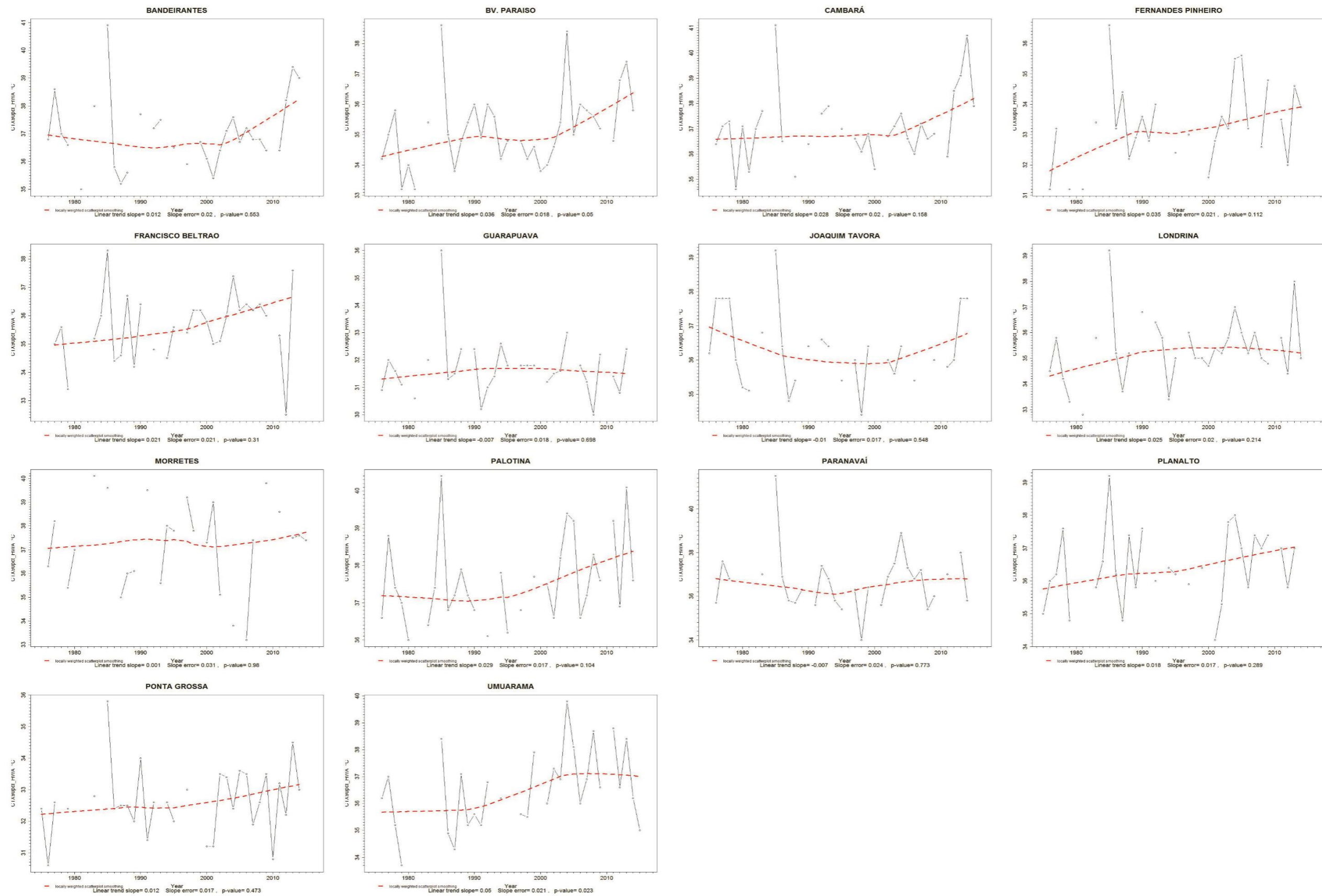
Na estação de Morretes, situada próximo ao litoral com baixa altitude (59m), a média da temperatura máxima foi calculada em 26.3°C, Morretes apresenta verão quente. Ao analisar temperatura máxima absoluta em ondas de calor (HWA) (entre os meses de novembro a março), o pico atingiu 40.1°C em 1983 e a menor temperatura das ondas de calor ocorreu em 2006, com 33.2°C.

No centro-sul paranaense destaca-se a estação de Ponta Grossa com os menores picos máximos de temperatura em onda de calor, com o valor de 35.8°C. Em seguida, a estação de Guarapuava com o pico máximo registrado em onda de calor de 36°C.

No Sudoeste a estação Planalto que registrou um valor alto no pico máximo da temperatura em ondas de calor com registro de 39.2°C no ano de 1985.

Para quase todas as estações obtiveram o pico máximo de temperatura em onda de calor no ano de 1985. Comparando essas evidências com as análises anteriores, esse ano demonstrou um índice padronizado inferior a -1 (Figura 10) e TSM em ano de La Niña.

Figura 24: Resultado do cálculo do índice HWA – a temperatura do dia mais quente em episódio de onda de calor.



Fonte: Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

Para analisar a frequência dos dias em ondas de calor (HWF) (figura 25) e a duração da onda de calor mais longa (HWD) (figura 26) devemos lembrar que, para que seja identificada uma onda, é necessário que as temperaturas máximas acima do 90º percentil se mantenham por pelo menos três dias consecutivos, considerando o período de novembro a março.

No norte do estado, as estações que obtiveram médias das temperaturas em ondas de calor mais elevadas foram Cambará, Bandeirantes e Paranaíba. Ao considerar Cambará, a estação registrou 68 ondas de calor no período analisado, assim para os resultados do HWF, os dias em que contribuem para as ondas de calor, foi calculado uma frequência total de 299 dias. Os anos em destaque foram 1977, 1983, 1985, 2013 e 2014, que registraram mais de 24 dias em ondas de calor.

A estação de Bandeirantes registrou 60 ondas de calor em 273 dias, os anos em destaque foram 1977, 1983, 1985, 2012 e 2013. Já a estação de Paranaíba registrou um total de 64 ondas de calor em 289 dias. A estação de Palotina apontou o maior número de dias em ondas de calor, calculado em 329 dias.

Considerando a onda de calor com duração mais longa (HWD), as estações de Cambará e Bandeirantes registraram 14 dias consecutivos de duração no período de análise, em seguida a estação de Paranaíba teve incidência em 13 dias, todas no ano de 2013 (Quadro 11).

**Quadro 11** – Frequência anual no número de dias em ondas de calor e duração da onda mais longa

CAMBARÁ			BANDEIRANTES			PARANAÍBA		
ANO	HWF	HWD	ANO	HWF	HWD	ANO	HWF	HWD
1977	24	8	1977	24	8	1977	27	8
1983	23	7	1983	23	9	1983	15	5
1985	24	9	1985	20	9	1985	28	8
2013	24	14	2012	16	8	2011	18	6
2014	26	7	2013	17	14	2013	16	13

PONTA GROSSA			GUARAPUAVA			FERNANDES PINHEIRO		
ANO	HWF	HWD	ANO	HWF	HWD	ANO	HWF	HWD
1977	14	4	1977	28	13	1977	15	7
1985	16	7	1983	29	9	1983	15	4
2006	18	8	1985	25	10	1985	18	6
2009	14	6	1987	18	8	1987	18	8
2013	25	17	2002	14	6	2013	27	16

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

As estações que se destacam com as temperaturas menos elevadas em ondas de calor estão localizadas no sul e centro do sul do estado (Guarapuava, Ponta Grossa e Fernandes Pinheiro com temperaturas de 30.6°C, 31.5°C e 32°C, respectivamente).

Em Guarapuava o número de ondas de calor registradas no período foi de 62 ondas e a quantidade de dias que abrange estas ondas foram 283 dias, e os anos que tiveram maior destaque na frequência foram 1977, 1983 e 1985, com registros acima de 20 dias (Quadro 11). Em Ponta Grossa foram observadas 62 ondas de calor, a soma dos dias em ondas de calor, para todas as ondas registradas foram de 261 dias, o ano que apresentou maior destaque na frequência de dias quentes foi em 2013 com 25 dias. A estação de Fernandes Pinheiro registrou 64 eventos em ondas de calor, a frequência de dias quentes que formam as ondas de calor foi calculada em 280 dias, e novamente o ano de 2013 apresentou destaque com 27 dias quentes.

Podemos ainda destacar para estas estações a duração da onda mais longa, para os municípios de Ponta Grossa e Fernandes Pinheiro o ano de 2013 registrou a onda mais longa, em Ponta Grossa neste ano ocorreram 3 ondas de calor e em apenas uma onda foi registrado 17 dias consecutivos. Em Fernandes Pinheiro no ano de 2013 registrou 4 ondas de calor e a onda mais longa obteve registro de 16 dias consecutivos. Em Guarapuava o ano de 1977 registrou 5 ondas, a onda mais longa teve duração de 13 dias consecutivos acima da temperatura média no 90º percentil, que pode ser observado no quadro 11.

A partir dos anos 2000, levando em consideração o aspecto HWF, ocorreram o maior número de dias quentes nas estações de Londrina (128 dias), Paranavaí (128 dias), Bela Vista do Paraíso (135 dias), Fernandes Pinheiro (135 dias), Bandeirantes (137 dias), Cambará (143 dias), Palotina (151 dias), Ponta Grossa (151 dias) e Umuarama (202 dias).

Dentre estas estações, as que registraram maiores magnitudes médias (HWM) em ondas de calor do período, a partir da década de 2000 foram Cambará (36°C) Paranavaí (35.6°C) Bandeirantes (35.6°C) e Umuarama (35.3°C).

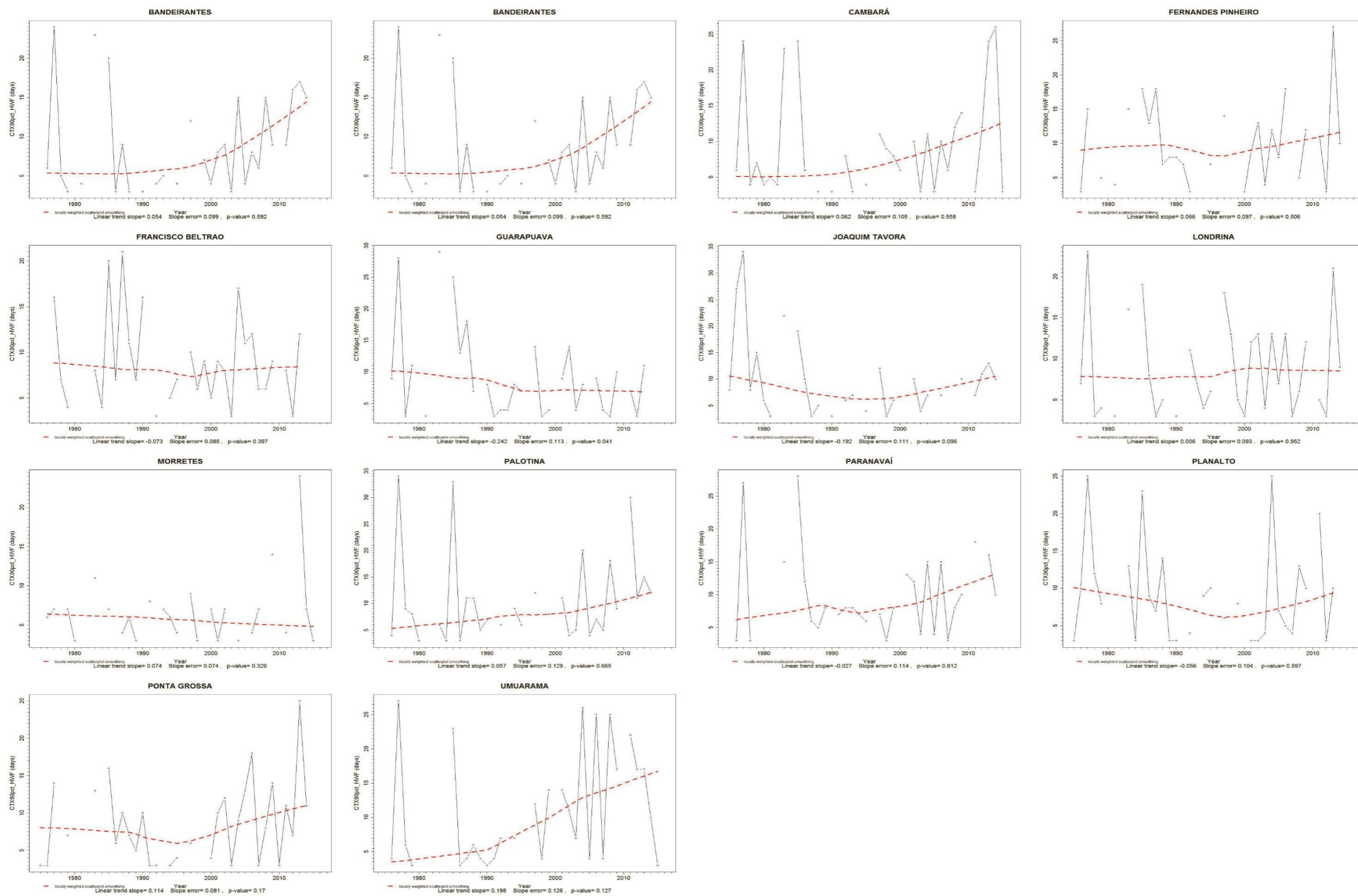
A estação de Umuarama registrou o maior número de dias extremamente quentes após o ano 2000, com 202 dias, que representa 60% do período de análise e a temperatura da magnitude média deste período registrou 35.3°C. E a estação de

Cambará obteve destaque na magnitude média dos dias em ondas de calor com temperatura de 36°C.

As tendências apresentadas na Figura 25, sobre os resultados obtidos de HWF, as estações que apontam crescimento na tendência são: Cambará (0.062), Bandeirantes (0.054), Bela Vista do Paraíso (0.013) Umuarama (0.196) e Ponta Grossa (0.114). Ao observar a figura Paranaíba apresenta tendência negativa (-0.027), porém, ao avaliar o comportamento da linha de tendência, pode-se averiguar que após o ano 2000 a tendência aumentou de forma mais significativa.

Em Paranaíba os anos de 1977 e 1985 registraram o maior número de dias com magnitude média da temperatura calculada em 35,9°C, para estes dois anos foram identificados 55 dias de calor excessivo. Após os anos 2000 foram registrados 128 dias extremamente quentes com média da magnitude máxima calculada em 35.6°C.

Figura 25: Resultado do cálculo do índice HWF - Número de dias (no período de novembro a março de cada ano) que contribuem para as ondas de calor.



Fonte: Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

O quadro 12 aponta a duração da onda de calor mais longa para cada estação (HWD) e a magnitude média dos dias em ondas de calor.

**Quadro 12** – Magnitude médias das máximas das ondas de calor mais longas

2013				
ESTAÇÕES	Nº dias	Temperatura		
Ponta Grossa	17	31.8°C		
Fernandes Pinheiro	16	32.1°C		
Palotina	15	38.2°C		
Londrina	15	34.1°C		
Bela Vista	15	34.7°C		
Umuarama	14	35.8°C		
Morretes	14	36.4°C		
Cambará	14	36.6°C		
Bandeirantes	14	36.3°C		
Paranavaí	13	36.1°C		
Francisco Beltrão	12	35.7°C		

		1977		2013	
ESTAÇÕES	Nº dias	Temperatura	Nº dias	Temperatura	
Planalto	13	35.6°C	8	35.4°C	
Joaquim Távora	11	36°C	10	36.3°C	
Guarapuava	10	30.6°C	9	31.2°C	

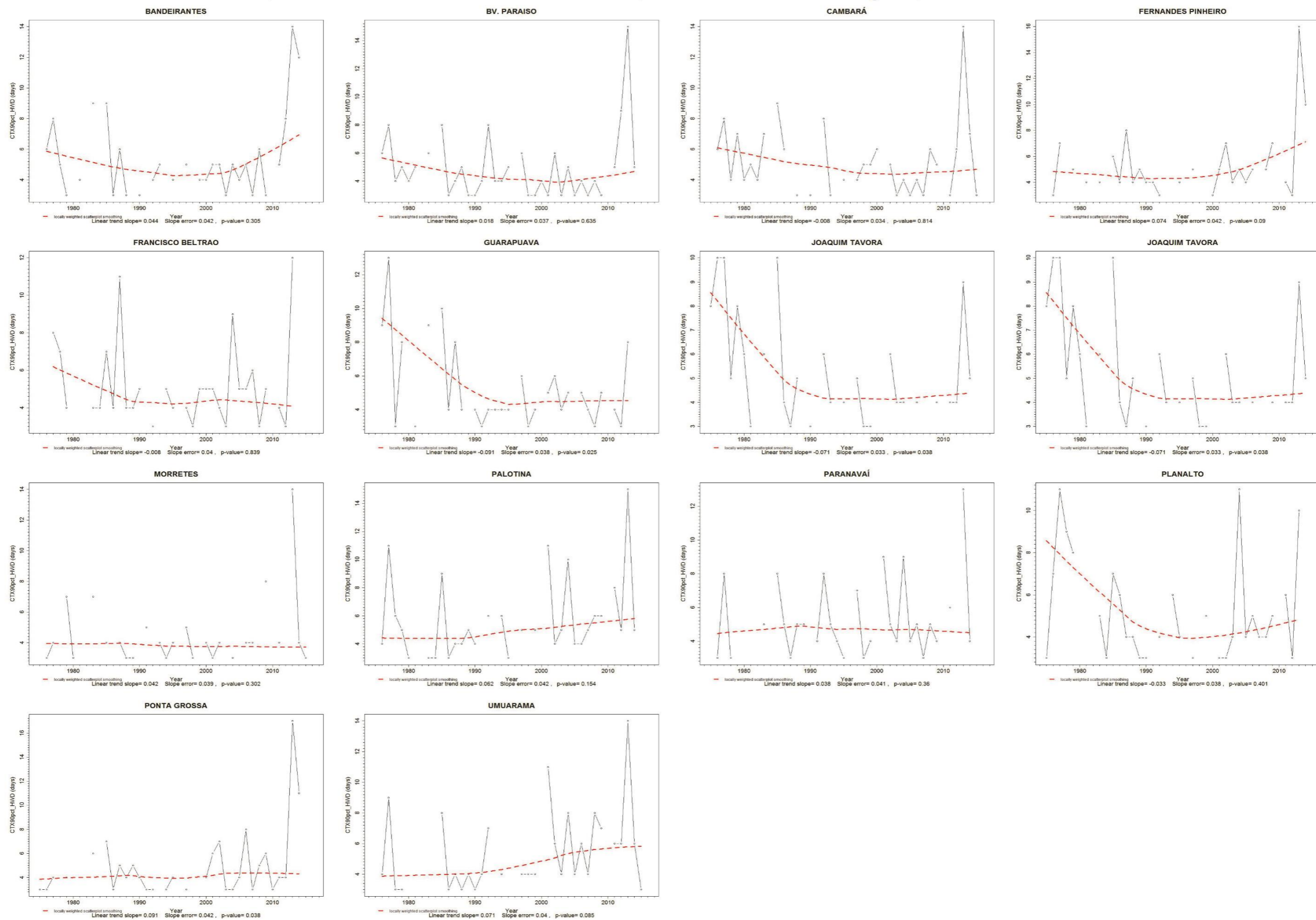
**Fonte:** Dados do IAPAR 2017 – Organizado pela autora.

Através do quadro 12 podemos averiguar que o ano de 2013 registrou as ondas de calor mais longa do período de análise com destaque para quase todas as estações, exceto Planalto, Joaquim Távora e Guarapuava que registraram as maiores ondas no ano de 1977.

Em 2013 as estações em destaque, que apresentam a onda mais longa, ocorreram em Ponta Grossa e Fernandes Pinheiro, porém, ao observar os dados, foi verificado as menores magnitudes médias das ondas de calor. E as estações com as magnitudes mais elevadas, registram a menor duração da onda de calor, resultado que pode ser observado nas estações de Morretes, Bandeirantes, Paranavaí e Francisco Beltrão.

Considerando a análise da matriz MGCTI (figura 10), o ano de 1977 apontou índice padronizado positivo (1.17), sendo caracterizado como um ano extremamente quente, logo, obteve correlação ao correlacionar os dois parâmetros. Ao analisar o ano de 2013, na análise da matriz foi considerado um ano com temperaturas mais amenas, pois, possui índice padronizado negativo (-0.47), não havendo correlação entre os dois métodos.

Figura 26: Resultado do cálculo do índice HWD - duração das ondas de calor mais longa no período de 1976 a 2015.



Fonte: Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

**Quadro 13** – Resultado da tendência de Mann–Kendall aplicada aos índices baseados nas temperaturas máximas.

ESTAÇÕES	CTX90pct				
	HWN	HWM	HWA	HWF	HWD
Bandeirantes	0.177	0.001	0.108	0.180	0.094
Bela V. do Paraíso	0.115	0.118	0.158	0.078	-0.093
Cambará	<b>0.213</b>	0.150	0.141	0.121	-0.043
Fernandes Pinheiros	0.00	0.172	0.142	0.046	0.098
Francisco Beltrão	-0.016	0.162	0.177	0.030	0.021
Guarapuava	-0.152	-0.022	-0.044	-0.148	-0.140
Joaquim Távora	-0.153	-0.161	-0.159	-0.135	<b>-0.219</b>
Londrina	0.086	0.112	0.124	0.072	0.073
Morretes	0.029	0.067	0.023	0.027	0.059
Palotina	0.017	0.084	0.122	0.104	0.130
Paranavaí	0.086	0.040	0.066	0.123	0.096
Planalto	-0.087	0.004	0.034	-0.087	-0.110
Ponta Grossa	0.140	0.197	<b>0.202</b>	0.188	<b>0.221</b>
Umuarama	<b>0.270</b>	<b>0.204</b>	<b>0.293</b>	<b>0.278</b>	<b>0.302</b>

Os valores em negrito são significativos a uma taxa de 0,05.

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

Ao analisar a ocorrência do número de ondas de calor detectados com a estatística representada no quadro 13 podemos constatar que há semelhança nos resultados, pois ambas as análises apontam que as estações de Umuarama e Cambará apresentam as tendências mais significativas sobre as ocorrências das ondas de calor, na sequência as estações em destaque com tendências positivas são Ponta Grossa, Bandeirantes e Bela Vista do Paraíso, e as estações de Joaquim Távora, Guarapuava e Planalto com índices negativos na análise de Mann–Kendall e na análise da linha de tendência linear dos gráficos HWN. Foi constatado que em Fernandes Pinheiro não houve tendências, ou seja, tendência nula (0,00).

Ao correlacionar as análises HWM, Umuarama e Fernandes Pinheiro apresentaram destaque nas duas análises das tendências, Cambará e Francisco Beltrão na sequência apresentaram tendências positivas semelhantes, para as tendências negativas Joaquim Távora e Bandeirantes se destacaram em ambos os resultados.

O comparativo entre as análises das tendências sobre a frequência dos dias em ondas de calor (HWF) é satisfatória, pois, ao considerar os resultados apresentados na figura 25 com as de Mann–Kendall, as estações de Umuarama e Ponta Grossa apresentaram as maiores tendências de crescimento e as estações de

Guarapuava e Joaquim Távora para ambas as análises apresentaram tendências negativa.

A análise da duração da onda mais longa (HWD) vista pelo método ClimPACT aponta que as estações em destaque para tendência linear positiva são Ponta Grossa, Umuarama, Fernandes Pinheiro e Palotina, e as estações com tendências negativas mais significativas para este método destacam-se as estações de Guarapuava, Joaquim Távora e Planalto, este resultado é confirmado pela tendência de Mann-Kandall, para ambos os valores positivos e negativos.

Com o Software ClimPACT também é possível avaliar as ondas de calor por meio de índices baseados nas temperaturas mínimas (Ctn90pct), ou seja, os períodos anômalos de calor com temperaturas mínimas acima do 90 percentil. As temperaturas mínimas são consideradas na configuração das ondas de calor pois suas elevações produzem noites muito quentes.

No resultado do cálculo do índice HWN – número de ondas de calor considerando o critério Ctn90pct (figura 27) avalia a quantidade de ondas registradas por ano. O número máximo de ondas detectadas em um ano foram 6 ondas que ocorreram em Palotina, Cambará, Bandeirantes e Paranaíba.

Ao observar o quadro 14, as estações de Umuarama, Bela Vista do Paraíso e Planalto registraram o maior número de ondas de calor (55, 47, e 46 respectivamente). enquanto aquelas com menor registros de ondas de calor foram Bandeirantes com 32 ondas, Francisco Beltrão, Joaquim Távora e Londrina com 36 ondas de calor cada.

**Quadro 14** – Número de ondas de calor considerando o critério Ctn90pct

<b>Estações</b>	<b>Nº de Ondas</b>	<b>Estações</b>	<b>Nº de Ondas</b>
<b>Bandeirantes</b>	32	<b>Palotina</b>	42
<b>Francisco Beltrão</b>	36	<b>Ponta Grossa</b>	42
<b>Joaquim Távora</b>	36	<b>Guarapuava</b>	43
<b>Londrina</b>	36	<b>Paranavaí</b>	43
<b>Cambará</b>	40	<b>Planalto</b>	46
<b>Fernandes Pinheiro</b>	41	<b>Bela Vista do Paraíso</b>	47
<b>Morretes</b>	42	<b>Umuarama</b>	55

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017 – Organizado pela autora

Pode-se visualizar na figura 26 a ausência de ondas de calor em vários anos para todas as estações. Em Umuarama, por exemplo, as ondas de calor tiveram registros em 27 anos, ou seja, foram detectadas ondas de calor em 67.5% no período analisado e contabilizados 55 episódios dentro do recorte de 1976 a 2015. O ano de 1997 registrou mais ocorrências de temperaturas anômalas com 5 ondas de calor.

Bela Vista do Paraíso registrou 47 ondas em 28 anos (70% do período) e Planalto apresentou 46 ondas de calor, ocorridas em 27 anos (67.5% do período).

A estação de Bandeirantes registrou 32 ondas de calor, essas ondas foram detectadas em 18 anos que correspondem a 45% do período, sendo a menor ocorrência dentre as outras estações analisadas. Em seguida as estações de Francisco Beltrão, Joaquim Távora e Londrina registraram ondas em 19, 20 e 21 anos respectivamente, representando até 52.5% do período de análise.

Pode-se apontar ainda que as ocorrências das ondas aconteceram com maior frequência após o ano 2000 (figura 27), que abrange 40% do período de análise. Destacam-se os municípios de Cambará com 22 ondas, Francisco Beltrão 21 ondas, Guarapuava com 25 ondas, Fernandes Pinheiro 24 e Morretes registrou 23 ondas.

Ao avaliar os resultados do cálculo do índice HWM – magnitude média da temperatura mínima nos dias dos episódios de ondas de calor (figura 28), as análises das médias das temperaturas mínimas são feitas somente nos dias em ondas de calor, fato que explica a ausência de dados em vários anos nos gráficos.

**Quadro 15** – Magnitude média das temperaturas mínimas das calor considerando o critério Ctn90pct.

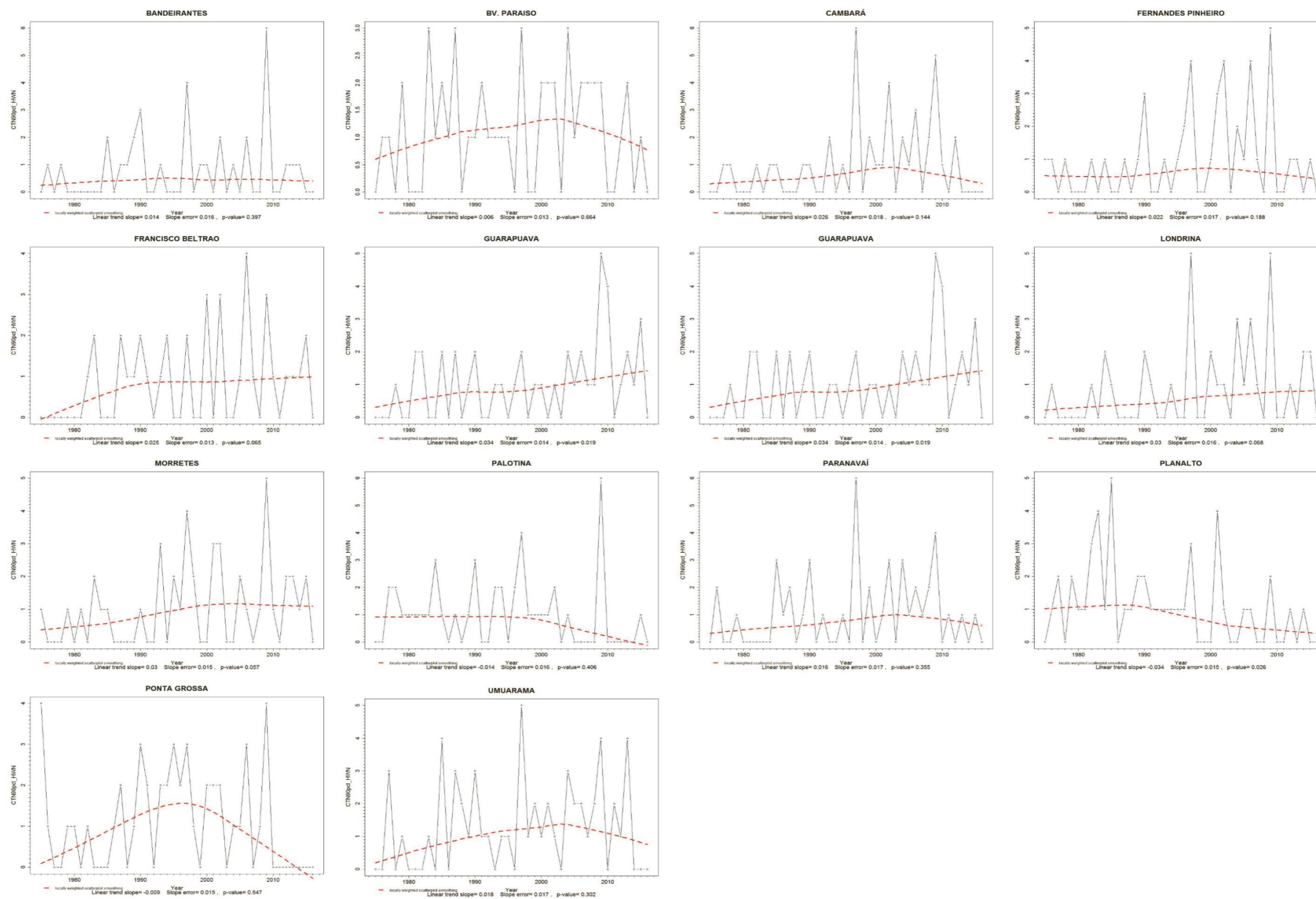
<b>Estações</b>	<b>Temp. Média das mínimas</b>	<b>Estações</b>	<b>Temp. Média das mínimas</b>
<b>Guarapuava</b>	<b>19.1°C</b>	<b>Bandeirantes</b>	<b>22.6°C</b>
<b>Fernandes Pinheiro</b>	<b>19.3°C</b>	<b>Bela Vista do Paraíso</b>	<b>22.9°C</b>
<b>Ponta Grossa</b>	<b>19.7°C</b>	<b>Palotina</b>	<b>22.9°C</b>
<b>Francisco Beltrão</b>	<b>20.9°C</b>	<b>Planalto</b>	<b>23.1°C</b>
<b>Londrina</b>	<b>21.7°C</b>	<b>Morretes</b>	<b>23.5°C</b>
<b>Cambará</b>	<b>22.2°C</b>	<b>Paranavaí</b>	<b>23.6°C</b>
<b>Joaquim Távora</b>	<b>22.3°C</b>	<b>Umuarama</b>	<b>24.1°C</b>

**Fonte:** Dados do IAPAR 2017 – Organizado pela autora.

O quadro 15 apresenta as estações que registraram temperaturas das mínimas mais elevadas, os destaques nessa análise foram Umuarama (24.1°C) e Paranavaí (23.6°C) localizadas ao norte do estado, Morretes (23.5°C) e planalto (23.1°C) localizadas no litoral e sudoeste paranaense, respectivamente.

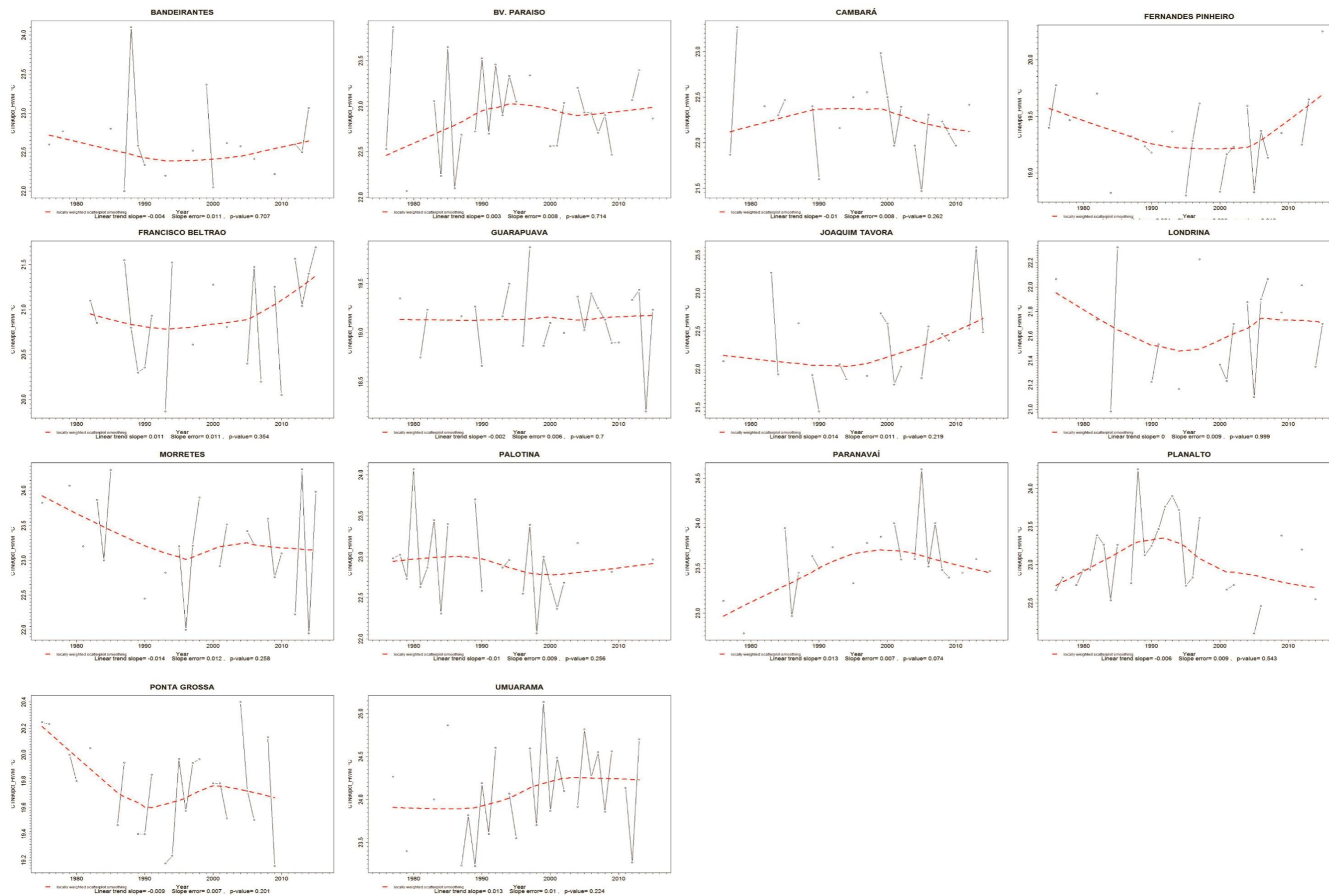
As estações com as menores magnitudes médias em ondas foram Guarapuava (19,1°C), Fernandes Pinheiro (19.3°C) e Ponta Grossa (19.7°C). Estas estações se encontram em elevadas altitudes (1058m, 893m e 880m) respectivamente, esta característica pode justificar o número reduzido de temperaturas elevadas nas análises das temperaturas mínimas.

Figura 27: Resultado do cálculo do índice HWN – número de ondas de calor considerando o critério Ctn90pct.



Fonte: Dados do IAPAR 2017.Organizado pela autora.

Figura 28: Resultado do cálculo do índice HWM (magnitude média da temperatura mínima nos dias dos episódios de ondas de calor).



Fonte: Dados do IAPAR 2017. Organizado pela autora.

Assim como foi feita para a análise das tendências dos índices das ondas de calor subsidiados nas temperaturas máximas extremas, também foram calculadas as tendências para os índices de ondas de calor baseados nas temperaturas mínimas (quadro 16), ou seja, considera as temperaturas mínimas localizadas no 90 percentil para o período estudado (1976 a 2015). As tendências foram calculadas para um nível de significância de  $\alpha = 5\%$ .

**Quadro 16** – Resultado do teste de Mann–Kendall aplicado aos índices de ondas de calor com base no critério Ctn90pct

ESTAÇÕES	CTN90pct				
	HWN	HWD	HWF	HWA	HWM
Bandeirantes	0.084	0.153	0.122	0.077	0.055
Bela V. do Paraíso	0.064	0.136	0.112	0.041	0.039
Cambará	0.166	0.142	0.166	0.073	0.009
Fernandes Pinheiros	0.185	0.237	0.217	0.125	0.119
Francisco Beltrão	0.260	0.292	0.274	0.290	0.280
Guarapuava	0.289	0.255	0.270	0.254	0.249
Joaquim Távora	0.163	0.129	0.153	0.206	0.186
Londrina	0.236	0.223	0.241	0.215	0.192
Morretes	0.273	0.315	0.304	0.224	0.188
Palotina	-0.254	-0.267	-0.254	-0.245	-0.307
Paranavaí	0.146	0.147	0.134	0.193	0.204
Planalto	-0.335	-0.250	-0.285	-0.232	-0.213
Ponta Grossa	0.005	-0.021	0.009	-0.065	-0.106
Umuarama	0.160	0.166	0.142	0.189	0.199

**Fonte:** Dados do IAPAR, 2018. Organizado pela autora

De acordo com este quadro, observa-se que as estações de Bandeirantes, Bela Vista do Paraíso, Cambará e Umuarama registraram tendência positiva em todos os índices; porém são menos significativas. As estações de Francisco Beltrão e Guarapuava se destacam em todos os índices analisados. Londrina e Morretes também apresentaram tendências positivas significativas.

As estações de Palotina e Planalto mostram tendências negativas significativas dos índices de ondas de calor calculados a partir das temperaturas mínimas mais quentes, ou seja, demonstram que as mínimas estão ficando mais extremas; porém indicam que diminui o número de ondas de calor e das noites quentes nestas estações.

Ao analisar a tabela com os resultados dos índices para os números de ondas de calor (Quadro 16) podemos ressaltar que as estações de Morretes, Guarapuava, Londrina e Francisco Beltrão apresentam resultados positivos mais expressivos nas duas análises de tendências. Planalto e Palotina em ambas análises apresentam valores negativos.

O aspecto importante avaliado nesta análise é de que a magnitude dos dias em ondas de calor (HWM) – figura 28 – demonstram que as tendências mais relevantes foram nas estações de Joaquim Távora, Umuarama e Francisco Beltrão, enquanto que na análise da tendência de Mann–kendall foram em Francisco Beltrão, Guarapuava e Paranaíba, todas estas estações apresentam valores de tendências positivas para ambas análises. Ao evidenciar as tendências significativas negativas para ambas as tendências as estações em destaque foram Palotina e Planalto.

Podemos ainda avaliar as tendências das médias das temperaturas máximas através da análise do resultado de Mann–Kendall no quadro 17 e é constatado que as tendências das médias das temperaturas máximas nas estações de Cambará, Umuarama, Bandeirantes e Ponta Grossa são mais relevantes; mostrando que nestes municípios as médias das temperaturas máximas aumentaram ao longo do período de análise. No entanto, as estações de Joaquim Távora, Francisco Beltrão e Planalto apontam tendências negativas, ou seja, as médias das temperaturas máximas reduziram ao longo do período de análise.

**Quadro 17** – Tendências das temperaturas médias das máximas calculados por meio do teste de Mann–Kendall

Estações	Tau (Kendall)	Estações	Tau (Kendall)
Joaquim Távora	-0.182	Palotina	0.263
Francisco Beltrão	-0.023	Bela Vista do Paraíso	0.280
Planalto	-0.003	Londrina	0.289
Guarapuava	0.019	Ponta Grossa	0.314
Paranaíba	0.112	Bandeirantes	0.330
Morretes	0.207	Umuarama	0.491
Fernandes Pinheiro	0.245	Cambará	0.540

**Fonte:** Dados do IAPAR 2018. Organizado pela autora.

Dessa forma, por meio desta análise foi possível ponderar que as estações localizadas na região norte e oeste do estado, principalmente, as ao norte do trópico de Capricórnio apresentaram ondas de calor mais significativas, com maior duração e com temperaturas mais elevadas; enquanto as estações no centro–

sul do estado demonstram a ocorrência de ondas de calor com menor intensidade e duração. Sobre os resultados da tendência na análise das temperaturas máximas, foi observado que a frequência das ocorrências das ondas de calor está aumentando de forma mais significativa nas estações de Bandeirantes, Cambará, Bela Vista do Paraíso e Umuarama e diminuíram em Joaquim Távora, Guarapuava e Planalto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho permitiu identificar e analisar os períodos anômalos de calor, eventos extremos e a variabilidade térmica no estado Paraná. Os materiais e métodos utilizados (MGCTI, tendências, índice diário e primavera-verão (PV) foram satisfatórios que propiciaram alcançar os objetivos propostos.

O método MGCTI aplicado às temperaturas médias máximas e mínimas anuais para o estado do Paraná permitiu a identificação de períodos mais quentes e mais frios e a sua variabilidade. Foi possível avaliar as médias anuais das temperaturas máximas e mínimas das estações de forma conjunta e, assim, verificar os períodos quentes e menos quentes: 1977, 1978, 1984, 1985, 1994, 2002, 2006, 2007, 2012, 2014 e 2015. E os períodos menos frios e amenos: 1977, 2001, 2002, 2005, 2009, 2014 e 2015. Estes resultados podem estar relacionados com o fato de alguns desses anos coincidirem com anos de El Niño, influenciando assim a ocorrências das ondas de calor. Na análise da matriz MGCTI os anos em que ocorreram o fenômeno são: 1977, 1978, 1994, 2002, 2006, 2007 e 2015.

O método do Índice Diário (ID) foi desenvolvido para analisar os períodos anômalos de calor no estado do Paraná para o recorte temporal considerado (1976 a 2015) e possibilitou identificar as anomalias climáticas que ocorreram nos meses de abril a setembro (frio). Este fato indica que as temperaturas mínimas estão aumentando e tornando o inverno menos rigoroso no estado.

As ondas de calor mais expressivas identificadas por meio do método ID foram observadas nos municípios de Planalto, Palotina, Fernandes Pinheiro e Cambará. Este método foi apropriado para analisar as anomalias de calor que ocorreram no período frio (outono/inverno). Das 346 ondas de calor registradas no período de análise, 275 ocorreram entre os meses de abril a setembro; sendo que este último mês se destaca com um total de 107 ondas.

O método P/V permite a identificação das ondas mais quentes, pois utiliza somente os dados de primavera e verão. Com este método foi constatado que as estações que registraram o maior número de ondas de calor foram: Cambará, Bandeirantes, Planalto, Bela Vista e Londrina. E o mês com os maiores registros foi fevereiro com 28 ondas, ou seja, 28% das ondas de calor ocorreram em 1 mês.

Os resultados obtidos com o cálculo dos índices por meio do ClimPACT foram satisfatórios, pois permitiram a análise das anomalias térmicas (temperaturas máximas e mínimas) e a verificação da ocorrência de ondas de calor considerado a permanência dos extremos térmicos por, pelo menos, três dias; além da duração da onda mais longa, frequência dos dias quentes, amplitude das temperaturas e a média das temperaturas dos dias em ondas de calor.

Neste estudo podemos confirmar que as estações localizadas no norte e noroeste do Paraná são as mais quentes do estado, com tendência a ficarem ainda mais quente, pois demonstram tendência à elevação das temperaturas máximas e das mínimas. Os resultados das análises das temperaturas máximas anuais, conforme o índice TXx, apontam que as estações de Palotina, Cambará, Umuarama, Bela Vista do Paraíso, Bandeirantes e Ponta Grossa obtiveram maior evolução na tendência linear. Os resultados do índice TR20, que computa o número de dias em que as temperaturas mínimas ficaram acima de 20°C, ou seja, as temperaturas noturnas ou noites tropicais indicou que as estações de Londrina, Umuarama, Bandeirantes, Paranaíba e Morretes obtiveram as tendências lineares positivas mais significativas.

Após a década de 2000 algumas estações obtiveram destaque no aumento do número de dias com temperaturas acima de 30°C, este resultado foi observado para as estações de Cambará, Umuarama, Palotina, Bandeirantes e Ponta Grossa. E o número de dias com temperaturas máximas acima de 35°C apresentou destaque em Cambará, Palotina e Umuarama.

Os resultados da análise das temperaturas em ondas de calor por meio do cálculo dos índices no ClimPACT apontam que as maiores médias das temperaturas máximas dos dias em ondas de calor, acima do 90º percentil (HWM) ocorreram nas estações de Palotina, Bandeirantes e Cambará e as menores médias das temperaturas dos dias em ondas de calor foram em Guarapuava e Ponta Grossa.

Na análise que leva em consideração as temperaturas médias das mínimas das anomalias climáticas acima do 90º percentil (HWM), foi verificado que houve destaque com valores positivos as estações de Umuarama, Paranaíba, Morretes e Planalto, localizadas em altitudes mais baixas.

E para confirmar os resultados das análises que avaliam as tendências de aumento das temperaturas máximas e mínimas acima do 90º percentil, o método

aplicado de Mann–Kandall, trouxe resultados satisfatórios, pois, aponta semelhanças nos resultados apresentados pelo programa do ClimPACT, para os índices TXx, TR20, SU30 e SU35 e na análise das ondas de calor que avalia os aspectos HWN, HWM, HWA, HWF e HWD.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento deste estudo mostraram que episódios de ondas de calor ocorrem com frequência no estado do Paraná e, dependendo do critério utilizado, a quantidade de ondas detectadas varia. A seleção do critério para determinar as ondas de calor depende do propósito do estudo.

Quando se considera apenas o período primavera–verão, somente os eventos mais extremos serão detectados, pois se utiliza somente a média do período quente, logo a quantidade de períodos anômalos diminui consideravelmente.

Considerando as médias históricas diárias são detectados períodos quentes anômalos durante todo o ano. No entanto, esse critério mostra que os invernos estão se tornando mais amenos em algumas das estações analisadas, o norte do estado se caracterizou como o mais quente em virtude de suas temperaturas mais elevadas, o que vem de encontro com as evidências detectadas em outros estudos acerca do aquecimento global e das mudanças climáticas.

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível verificar que os valores das temperaturas máximas a partir da década de 2000 tiveram aumento principalmente nas épocas mais quentes do ano, com temperaturas que ultrapassaram os 36°C e atingiram o valor extremo de 41,6°C em Morretes, fato este que corrobora com as preocupações e previsões do IPCC, principalmente no que diz respeito ao aumento da frequência de ocorrência dos eventos térmicos extremos.

Os resultados deste trabalho para a série temporal analisada (1976 a 2015) demonstram que o clima do Paraná acompanha tendências de aquecimento ao avaliar as médias das temperaturas máximas, as localidades que apresentam tendência à elevação das médias térmicas são Cambará, Umuarama, Bandeirantes e Ponta Grossa. Planalto apresenta tendência considerada nula, pois o resultado é próximo de 0. Mas em outras localidades foi identificada redução, pois apresentaram tendências negativas: Joaquim Távora, Francisco Beltrão e Planalto.

Concluimos esta pesquisa olhando para o futuro, sugerindo a necessidade de providenciar análises em escalas espaciais menores que considerem os aspectos locais da orientação do relevo, uso e ocupação do solo,

dinâmica dos ventos e influência das massas de ar que podem ter influenciado a ocorrência dos episódios de ondas de calor identificados; além de estudos que possam produzir os cenários dos impactos de um clima mais quente sobre a saúde da população, a incidência de doenças em seres humanos e nas espécies vegetais, dentre outras atividades socioeconômicas desenvolvidas no estado.

## REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, L. V. et al. **Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation**. J. Geophys. Res. 2006, 111, D05109.
- ALMEIDA, C. T. et al. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 4, p. 2013–2026, 2017.
- AMBRIZZI, A. B. P. E. T. Um estudo das flutuações de temperatura para o período de inverno na América do Sul, correlacionando a Patagônia com o Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n. 1, p. 23–34, 1999.
- ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática**. 2010. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/variabilidade.pdf>> Acesso 24/10/2015
- ASSIS, F.N. et al. **Aplicações de estatística a climatologia: teoria – pratica**. [S.l: s.n], 1996.
- AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia para os trópicos**. 17 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.
- BACK, À, J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira (1997. Impressa)**. Brasília, v.36, n.5, p. 717 – 716, 2001.
- BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El niño e a agricultura da região Sul do Brasil**. v. 6, 2001.
- BERTRAND, G. BERTRAND, C. **Uma Geografia Transversal E De Travessias: O Meio Ambiente Através Dos Territórios E Das Temporalidades**. Maringá: Massoni, 2009.
- BORSATO, V.; MENDONÇA, F. A Dinâmica Atmosférica no Centro–Sul do Brasil e as Mudanças Climáticas. In MENDONÇA F. (org.) **Climas do Sul: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais**. Jundiaí, Paco Editorial, 2014. p.47–88.
- BORSATO, V. **A Dinâmica Climática do Brasil e Massas de Ares**. Curitiba, 2016, Editora CRV, 2016.
- CALDANA, N. F. S.; ELY, D. F.; **Variabilidade das chuvas anuais na Bacia Hidrográfica do Rio Iguaçu (PR)**. Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – XII SBCG, Goiânia, 2016
- CARDIA, V. C. **Climatologia das Ondas de Calor em Porto Alegre – RS: 1961 a 2010**. Bacharel em Geografia. 2010/2.
- CASSETI, V. A natureza do espaço geográfico. In: MENDONÇA, F. de A.; KOZEL, S. (org.) **Elemento da epistemologia geográfica contemporânea**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2014. p.145–163.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. **Tempo e Clima no Brasil. (Org).** Cavalcanti, et al., São Paulo: Oficina de Textos; 2009.

**CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.** Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br./>>. Acesso em 07 ago. 2016.

CUNHA, G. R. El Niño e oscilação Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, V.7. n. 2, Jul – Dez, 1999. p. 277–284.

ELY, D. F. **Aquecimento global e mudanças climáticas na mídia impressa: um debate científico?** In: KATUTA, Ângela Massumi (Org.); ELY, Deise Fabiana (Org.); PAULINO, Eliane Tomiasi (Org.); CUNHA, Fabio Cesar Alves da (Org.); ANTONELLO, Ideni Terezinha (Org.). (Org.). Geografia e mídia impressa. 1ed.Londrina: Moriá, 2009, v. 1, p. 354–146.

ELY, D. F; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.21, n.13, p 553–569, jul/dez. 2017

ELY, D. F., FORTIN, G. **Variabilité et Tendances des Extrêmes Thermiques Dans L'état du Paraná, Brésil (1970–2015)**, XXXème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Sfax 03–06 juillet, 2017.

FERREIRA, D. B. et al. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil.** São José dos Campos:(INPE–13599–TDI/1038), p. 123, 2005.

FERREIRA, D. B. et al. **Análise da influência da variabilidade da temperatura da superfície do mar sobre a produtividade de soja no estado do Paraná utilizando o “Climate Predictability Tool”.** XIV CBMET. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia–Florianópolis–SC. 2006.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; DE AGUIAR, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 49–64, 2008.

FRANCO, R. M.; ELY, D. F. **Análise da Variabilidade Pluviométrica Anual no Estado do Paraná Com Base na Utilização da Metodologia MGCTI.** Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – XII SBCG, Goiânia, 2016.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J. da; DIAS, M. A. F. da S. **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 259 – 374.

GRIMM, A. M., FERRAZ, S. E. T. **Variabilidade Sazonal e Interanual da Precipitação no Estado do Paraná: Efeitos de El Niño e La Niña.** XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16 a 20 de novembro 1997, Vitória, Espírito Santo.

GUETTER, A. K. **Associação entre a temperatura mínima no Paraná e o Niño–3.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia. 1998.

HORING, C. F. et al. **Estatística Aplicada a Geografia**. Londrina. 2014.

ICHIBA, S. H. K. et al. **Variabilidade da temperatura máxima, média e mínima para o estado do Paraná**. XI SBG Física e Aplicada, 2005.

ICHIBA, S. H. K. **Estudo das Temperaturas do Ar no Estado do Paraná**. Dissertação de Mestrado. UEM, Maringá, 2006.

IPCC, 2007: **Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático** [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2013, the Physical Science Basis**. 2013. Disponível em: < [http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI\\_AR5\\_SPM\\_brochure.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf) > Acesso em: 18 jan. 2017

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change 2014. **Synthesis Report. Summary for Policymakers**. 2014. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)>. Acesso em: 17 ago. 2017.

Instituto Agrônômico do Paraná. Disponível em: < <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=863> > Acesso em: 8 abril 2014.

KOGIMA, K. C. **Análise de índices para a identificação de anomalias de calor em séries de dados meteorológicos**. 2015. (62 páginas). Trabalho de Conclusão de curso em Geografia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2015.

KUNIYOSHI, Y. S. **Aspectos morfo-anatômicos do caule, raiz e folha de tabebuia cassinoides (lam.) Dc (bignoniaceae) em diferentes fases sucessionais no litoral do Paraná**. Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba 1993.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2<sup>o</sup> Ed. São Paulo: UNESP, 2003.

LIMBERGER, L. **Variabilidade da vazão de regiões homogêneas da bacia hidrográfica amazônica brasileira: teleconexões com a temperatura da superfície do mar (TSM) de 1976–2010**. 2015. 486f. Tese (Doutorado). Geografia Física – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, p. 169–288, 2001.

\_\_\_\_\_. **Geografia física do Estado do Paraná**. José Olympio. Rio de Janeiro, 1981.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e Seus Efeitos Sobre a Biodiversidade**: Caracterização do Clima Atual e Definição das alterações Climáticas para o território Brasileiro ao Longo do Século XXI. Brasília. 2006. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/\\_arquivos/livro%20completo.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/_arquivos/livro%20completo.pdf)> Acesso em: 14 de Abr. 2017

MARENGO, J; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC–AR4 in **Revista Multiciência. Campinas, Revista Multiciência**, Edição no. 8, p. 5–28, maio 2009. Acesso em: set. 2017.

MARENGO, J. A. Impactos de extremos relacionados com o tempo e o clima – Impactos sociais e econômicos. **Boletim do Grupo de Pesquisa em Mudanças Climáticas –GPMC**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE. Centro de Ciências do Sistema Terrestre –CCST Número 8 – Maio de 2009 – Edição Especial.

MENDONÇA, F. A. Aspectos da interação clima–ambiente–saúde humana: Da relação sociedade–natureza à (in)sustentabilidade ambiental. **RA EGA (UFPR)**, Curitiba/PR, v. 1, p. 85–100, 2001.

\_\_\_\_\_. Clima, tropicalidade e saúde: Uma perspectiva a partir da intensificação do aquecimento global. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 97–110, 2006.

\_\_\_\_\_. **Geografia física: ciência humana?**. Contexto, 1989.

\_\_\_\_\_. Aquecimento Global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da região Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, 2007.

\_\_\_\_\_. **Os Climas do Sul: em Tempos de Mudanças Climáticas Globais**. Curitiba: Editora Paco Editorial, 2014

\_\_\_\_\_. **O Clima e o Planejamento Urbano de Cidades de Porte Médio e Pequeno**. Proposição Metodológica para Estudo e sua Aplicação à Cidade de Londrina/Pr. 1994. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. São Paulo.

MENDONÇA, F; DANNI–OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENEZES, H. E. A. et al. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 2, p. 152–161, 2008.

MINUZZI, et al. Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná. **Bragantia, Campinas**, v. 70, n. 2, p.471–479, 2011

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, el niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do pacífico. In: **Revista climanalise**. Agosto, 2005.

\_\_\_\_\_. Aquecimento global: uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.3. 2008a.

\_\_\_\_\_. Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 3, p. 117–128, 2008b.

MONTEIRO, A. CARVALHO, V. **Uma abordagem metodológica para avaliação de eventos climáticos extremos**. IN: TRINDADE et al. (ORG) *Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso*. 1ª edição. São Paulo: Outras expressões–Geografia em Movimento, p. 117–142, 2013.

MORAIS, E. B. de. Evolução epistemológica do conceito de natureza. **Boletim goiano de Geografia**. Goiânia: n. 19, v.2, jan/dez, 1999.

MOURA, D. A. V.; Ely, D. F. **Variabilidade Pluviométrica Anual Na Bacia Hidrográfica Do Rio Ivaí (1976–2014)**. Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica – XII SBCG, Goiânia, 2016.

NASA. **Climate Change: How Do We Know?** Disponível em: < <http://climate.nasa.gov/evidence/> >. Acesso em 07/12/2016

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1989.

NOBRE, C. A. **Mudanças Climáticas e o Brasil – Contextualização. Parcerias Estratégicas**. Brasília /DF. n.27. dezembro. 2008.

NOGAROLI, M.; MENDONÇA, F. Mudanças Climáticas Globais e Variabilidade Climática no Estado do Paraná. In MENDONÇA F. (org.) **Climas do Sul: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais**. Jundiaí, Paco Editorial, 2014. p.141–173.

NOUACEUR, Z.; LAIGNEL, B.; TURKI, I. **Changement climatique em Afrique du Nord: vers des conditions plus chaudes et plus humides dans le moyen atlas marocain et ses marges**. Anais...2014. XXVLL e Colloque de l'Association Internationale de Climatologie. Dijon (France), 2014. P.378–393.

OLIVEIRA, G. S.; SATYAMURTY, P. **O El Niño de 1997/98: evolução e impactos no Brasil**. 1998.

PATZ, J. A., D. et al. Impact of regional climate change on human health, **Nat. Rev.**, 438, 310–317. (2005).

PEREIRA, L. **Ocorrência de ventos fortes no Paraná: gênese e impactos**. 2012 161 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Dinâmica espacial e Ambiental) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

PINHEIRO, Gabriela Marques. Variabilidade temporo–espacial da pluviosidade na Bacia do Alto Iguaçu. 2016. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

PORTO-GONÇALVES, C. W. **Os (des) caminhos do meio ambiente**. 14 ed. São Paulo: Contexto, 2006

RICCE, W. da S. et al. **Análise de tendências na temperatura e precipitação em Londrina, estado do Paraná**. In: XV Congresso Brasileiro De Agrometeorologia. 2009.

ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. **Raega – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 10, 2005.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de **Precipitação e Temperatura no Brasil**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, p. 64–73, 2016.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de Extremos de Precipitação Diária, Temperatura Máxima e Mínima e Velocidade do Vento em Piracicaba, Sp (1917–2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, 341–346, 2008.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, p. 3–12, 2007.

SILVA, W. L. et al. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 181–194, 2015.

SILVA, M. E. S.; GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra Livre**, v. 1, n. 20, p. 111–126, 2015.

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. Variabilidade Climática – processos físicos e dinâmicos nos oceanos e atmosfera. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume Especial 30 anos. São Paulo, SP, 2012. p. 372–406.

SOUZA, M. B., MARIANO, Z. F. **Geografia física e a questão ambiental no Brasil**. GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, nº 23, pp. 77 – 98, 2008.

SPINGER, K. S. A concepção de natureza na geografia. **Mercator (Fortaleza. Online)**, v. 09, p. 159–170, 2010.

TEBALDI, C., K. et al. Going to extremes. An intercomparison of model-simulated historical and future changes in extreme events, **Clim. Chang.**, 79, 185–211 (2006)

TERANDO, A., K. et al. **Probabilistic projections of agro-climate indices in North America**, *J. Geophys. Res.*, 117, 2012

TRENBERTH, K.; NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds). Última alteração em 02 fev 2016. "**The Climate Data Guide: Niño SST Indices (Niño 1+2, 3, 3.4, 4; ONI and TNI)**." Disponível em:< <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/Niño-sst-indices-Niño-12-3-34-4-oni-and-tni>>. Acesso em 03/01/2017.

VANHONI, F; MENDONÇA, F. O clima do litoral do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, 2008.

VIANA, D. R. et al. **Análise das temperaturas máximas e mínimas no Estado do Rio Grande do Sul em 2005**. UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 2005.

Wang XL, Feng Y (2013) **RHtestsV4: User Manual**. Climate Research Division, Atmospheric Science and Technology Directorate, Science and Technology Branch, Environment Canada. Downsview, Ontario, Canadá

WEISSKOPF, M. G. et al. **Heat wave morbidity and mortality, Milwaukee, Wis, 1999 vs 1995: An improved response?**, Am. J. Public Health, 92, 830–833.

WELLS, N. C. **The atmosphere and ocean: a physical introduction**. John Wiley & Sons, 1998.