

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
METEOROLOGIA**



**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**THAYS PAES DE OLIVEIRA**

**DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE ONDAS DE CALOR E DE  
FRIO EM MINAS GERAIS**

Campina Grande, Agosto de 2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA



## **DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE ONDAS DE CALOR E DE FRIO EM MINAS GERAIS**

**THAYS PAES DE OLIVEIRA**

Campina Grande – PB, Agosto de 2019

**THAYS PAES DE OLIVEIRA**

**DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE ONDAS DE CALOR E DE FRIO EM MINAS  
GERAIS**

Dissertação, em nível de Mestrado, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

**Área de Concentração:** Meteorologia de Meso e Grande Escalas

**Sub-área:** Climatologia

**Orientador:** José Ivaldo Barbosa de Brito

Campina Grande – PB


Agosto de 2019

THAYS PAES DE OLIVEIRA

DIAGNÓSTICO E ANÁLISE DE ONDAS DE CALOR E DE FRIO EM MINAS  
GERAIS

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/08/2019

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Dra. CARMEM TEREZINHA BECKER  
Agência Executiva de Gestão das Águas  
Estado da Paraíba

O48d

Oliveira, Thays Paes de.

Diagnóstico e análise de ondas de calor e de frio em Minas Gerais /  
Thays Paes de Oliveira. – Campina Grande, 2019.

73 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof. Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito".

Referências.

1. Extremos Climáticos – Minas Gerais. 2. Temperatura Máxima e  
Mínima – Minas Gerais. 3. ENOS. 4. Meteorologia de Meso e Grande  
Escala. I. Brito, José Ivaldo Barbosa de. II. Título.

CDU 551.524.36(815.1)(043)

*Aos meus pais Humberto de Oliveira e Luciete Luzia  
Paes de Oliveira ao meu irmão Alberto Tamerson  
Paes de Oliveira. E ao meu orientador Jose Ivaldo  
Barbosa de Brito.*

**Dedico**

## AGRADECIMENTO

Primeiramente ao meu bom Deus por toda paciência, sabedoria, por todo o alívio nos momentos de angústia, principalmente agradeço pela família a mim dada. Agradeço ao Senhor também por ter dado a mim meus anjinhos e companheiros pois são minhas campainhas de todos os dias são neles que encontro a calma meus pets Pretinho e Esmeralda.

Aos meus amados pais Humberto e Luciete por todo amor, toda paciência, por todos os ensinamentos diários da minha vida e por todo apoio sem vocês talvez não tenha chegado até aqui. Vocês são minha base meu alicerce toda minha estrutura. Ao meu irmão Alberto por todos os anos de amizade, por todo o amor de irmão e por ser minha metade única no mundo. As minhas tias, tios e primos por serem a família mais louca mais a melhor família que alguém pode ter, sempre mim incentivando e apoiando por todos esses longos anos. Aos meus eternos e amados avós que já se foram, mas permanecem em amor no meu coração.

Ao meu Orientador JoséIVALDO por toda a bondade, toda a gentileza, toda paciência, todo carinho, pelo acolhimento de ter aberto as portas do laboratório para mim, pelos ensinamentos. Por ter sido acima de orientador a melhor pessoa levarei o senhor sempre comigo.

Ao professor Fabricio por toda ajuda nesses últimos meses, por toda paciência de todos os dias quando estava na UFAL e o senhor se dispões a ajudar, pela disponibilidade dos dados, por todos os ensinamentos com Software R e Surfer. Sua contribuição foi de grande importância para a conclusão do trabalho. A professor Celia por aceita mais uma vez fazer parte da minha banca e contribuir com a finalização da pesquisa.

Ao meu grande amigo e eterno irmão de laboratório da UFAL Rodrigo Lins por toda bondade e disponibilidade que teve em me ajudar com o Software R, paciência, conversas de como será o futuro e por todos os momentos que sempre se dispões além de ser um grande pesquisador um dos meus melhores amigos. Aos meus outros grandes e indispensáveis amigos da UFAL para vida, da UFCG para vida. Sâmara, Elisson, Tatiana, Jeová, Ismael, Hugo Carvalho, Tatiana Vanessa, Jessica Sousa, Thallyson, Anderson Mateus, Jessica e Thomas. Lady, Waléria, Nicolai, Leticia, Eduardo, Menezes e Silvinha. Vocês contribuíram para o meu crescimento e desenvolvimento quanto profissional e emocional. Cada um de vocês tem um espacinho muito especial no meu coração saibam que amo todos da forma que são.

Aos professores do departamento por todo o conhecimento passado durante todo meu período de Mestrado.

Aos professores da UFAL por todo conhecimento a mim passado e todo o carinho que sempre demonstraram.

A Arilene e Danilo (secretaria de pós-graduação) por toda a disponibilidade que tiveram em sempre me ajudar ao longo desses anos.

A moça da limpeza por todo carinho que sempre teve comigo durante todo esse período a senhora é um amor de pessoa.

A Universidade Federal de Campina Grande por ter contribuído pelo meu crescimento.

## RESUMO

As mudanças climáticas registradas nas últimas décadas estão associadas aos episódios extremos de temperatura ou precipitação. A investigação da ocorrência de fenômenos extremos de temperatura, como as ondas calor e frio para fins climáticos e hidrológicos é de grande importância, visto que, algumas regiões do país como sul e sudeste sofrem diversos impactos devido às altas e baixas temperaturas. Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo diagnosticar e analisar o número de dias com ondas de calor e de frio no estado de Minas Gerais no período compreendido entre de 1961- 2015, usando diferentes métodos de estimativas como: IOMM, IS e o WSDI e CSDI (Rclimdex), a partir dos dados de temperaturas máxima e mínimas diárias (Tmax e Tmin) da série histórica (1961-2015) de 55 estações convencionais meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para a investigação e classificação das ondas de calor e frio tomando como base os períodos de cinco ou mais dias consecutivos de anomalias positivas e negativas de temperaturas máximas e mínimas. Além disso, foram aplicados os métodos para as análises de tendências sazonais e anuais, a partir dos testes de Mann Kendall e Student. A partir dos resultados obtidos verificou-se que o método IOMM foi o que detectou o maior número de dias com ondas de calor e de frio em Minas Gerais, principalmente nos meses de primavera e verão. O IS subestima o número de dias com ondas de calor no verão e os com ondas de frio no inverno levando a uma subestimativa do número de dias com ondas de calor e de frio no Estado. Ao usar os índices WSDI e CSDI detectaram-se quantidades semelhantes aos outros índices (IOMM e IS) de ondas de calor e de frio em escala anual. Com relação às configurações espaciais das médias climatológicas dos números de dias de ondas calor e frio observou-se aumento de ondas de calor e diminuição de ondas de frio. As tendências calculadas apresentaram significância estatística de 95%, apresentando tendência positiva para o aumento de ondas de calor e tendência negativa para as ondas de frio. Quanto à associação da influência dos eventos El Niño e La Niña observou-se que, em média, ocorrem um maior número de dias com ondas de calor nos anos de El Niño e de dias com ondas de frio nos anos de La Niña.

**Palavras-chave:** Extremos Climáticos, Minas Gerais, temperatura máxima, temperatura mínima, ENOS.



## ABSTRACT

Climate change recorded in recent decades is associated with episodes of extreme temperature or precipitation. In the Brasil the biggest concern related to climate change are in health, agriculture, tourism and economy. Investigating the occurrence of extreme temperature such as warm and cold waves for climate and hydrological purposes is of great importance, as some regions of the Brasil, such as the South and Southeast, suffer several impacts due to high and low temperatures. This study aims to diagnose and analyze the number of days with warm and cold waves in the state of Minas Gerais in the period of 1961- 2015, using different methods of estimates as WMOI, SI and WSDI and CSDI (RClimdex). We used maximum and minimum temperature (Tmax) of the series of daily data (1961-2015) of 55 weather stations from the National Institute of Meteorology (INMET), for research and classification of cold and warm waves with basis of the five or more consecutive days of positive and negative anomaly maximum and minimum temperatures. In addition, methods for the analysis of seasonal and annual trends were applied from the Mann Kendall and Student's *t* test. When comparing the methods, the WMOI detected the largest number of days with waves warm and cold, in Minas Gerais, especially in the months of spring and summer. The SI method did not detect many warm waves in the summer and cold waves in the winter. The SI smooths the number of days with warm and cold waves in both seasonal and annual scale. With the use of the indexes WSDI and CSDI was detected amount similar to other indexes (WMOI and SI) heat waves and cold in annual scale. With result to spatial configurations of climatological means of the number of days of warm and cold waves. It observed increase of warm waves and reduction of cold waves. Trends calculated statistically significant 95%, which showed positive trends to an increase in heat waves and negative trends for the cold waves. As for the association of the influence of El Niño and La Niña it was observed that, on average, there are a greater number of days with warm waves in El Niño years and days with cold waves in La Niña years.

**Keywords:** Climate Extremes, Minas Gerais, maximum temperature, minimum temperature, ENSO.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de caracterização do relevo do Estado de Minas Gerais e distribuição dos municípios em estudo do Estado de Minas Gerais. (Fonte: <i>Embrapa 2019</i> , adaptação autor) .....	25
Figura 2 – Distribuição geográfica das 52 estações meteorológicas convencionais do INMET do Estado de Minas Gerais (Fonte: Autor) .....	26
Figura 3 – Esquematização das principais etapas da imputação múltipla. Adaptação autor....	30
Figura 4 - Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor no verão pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.....	38
Figura 5 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor no outono pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.....	38
Figura 6 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor no inverno pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015. ....	39
Figura 7 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor na primavera pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período correspondente de 1961 a 2015. ....	40
Figura 8 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor interanual, pelos métodos (a) IOMM, (b) IS e (c) WSDI no período de 1961 a 2015. ....	41
Figura 9 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio no verão, pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015 .....	42
Figura 10 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio no outono, pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.....	42
Figura 11 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio no inverno pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.....	43
Figura 12 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio na primavera pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.....	44
Figura 13 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio anual pelos métodos (a) IOMM, (b) IS e (c) CSDI no período de 1961 a 2015.....	45
Figura 14 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrência de eventos de onda de calor no Estado de Minas Gerais, utilizando teste de Mann-Kendall e para o índice da OMM para o período 1961 – 2015 no verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d).....	47

Figura 15 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrência de eventos de onda de calor no Estado de Minas Gerais pelo teste de Mann-Kendall para o período de 1961 – 2015 para ondas de calor pelos métodos (a) IOMM e (b) WSDI (RClimdex).....	48
Figura 16 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrência de eventos de onda de frio no Estado de Minas Gerais, utilizando teste de Mann-Kendall para o período de 1961 – 2015 no de verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d). .....	49
Figura 17 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrência de eventos de onda de frio no Estado de Minas Gerais pelo teste de Mann-Kendall para o período de 1961 – 2015 para ondas de frio pelos métodos (a) IOMM e (b) CSDI (Rclimdex). .....	50
Figura 18 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais no Verão período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	52
Figura 19 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais no Outono período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	53
Figura 20 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais no Inverno período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	54
Figura 21 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais na Primavera período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	55
Figura 22 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais em escala Interanual, período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM, linhas pontilhadas em laranja índice IS e linhas pontilhadas em verde índice WSDI.....	57
Figura 23 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais no Verão período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	59
Figura 24 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais no Outono período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	60
Figura 25 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais no Inverno período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	61

Figura 26 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais na Primavera período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.....	62
Figura 27 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais em escala Interanual período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM, linhas em laranja índice IS e linhas pontilhadas em verde índice CSDI. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Localização das Estações Meteorológicas convencionais do INMET, localizada no Estado de Minas Gerais .....	27
Tabela 2 – Resumo das principais funções da biblioteca MICE .....	30
Tabela 3 – Ilustração de dados de temperatura mínima a serem imputados, representados por NA, referentes à estação de Belo Horizonte (código OMM: 83587) (a), dados com as falhas preenchidas (b), dados originais (coluna Orig.) estão ao lado das séries gradeadas mais próximas, ou conjunto de preditores (Grup-01; Grup -02; Grup -03 e Grup -04). As falhas preenchidas aparecem destacadas em vermelho.....	31
Tabela 4 – Definição dos índices de eventos extremos climáticos baseados em dados de temperatura do ar.....	33

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<b>ENOS</b>	El Niño Oscilação Sul
<b>CSDI</b>	Cold Spell Duration Indicator
<b>INMET</b>	Instituto Nacional de Meteorologia
<b>IOMM</b>	Índice da Organização Mundial de Meteorologia
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>IS</b>	Índice Sazonal
<b>MICE</b>	Multivariate Imputation by Chained Equations
<b>OC</b>	Ondas de Calor
<b>OF</b>	Ondas de Frio
<b>OMM</b>	Organização Mundial de Meteorologia
<b>TSM</b>	Temperatura da Superfície do Mar
<b>WSDI</b>	Warm Spell Duration Indicator

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1. Objetivos .....	16
1.1.1. Objetivo Geral .....	16
1.1.2. Objetivo Específico .....	16
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
2.1. Climatologia de Minas Gerais .....	17
2.2. Variabilidade Climática .....	18
2.3. Sistemas Frontais .....	19
2.4. Ondas de Calor e Frio .....	20
2.5. El Niño oscilação sul .....	22
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
3.1. Área de Estudo .....	24
3.2. Dados .....	25
3.3. Metodologia .....	28
3.3.1. Preenchimento de Falhas .....	28
3.3.2. Índices Climáticos .....	32
3.3.3. Rclimindex .....	32
3.3.4. Teste de Significância Estatística para o Coeficiente de Regressão .....	33
3.3.5. Teste de Mann Kendall .....	34
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
4.1. Média Climatológica do Número de Dias com Ondas de Calor.....	37
4.2. Média Climatológica do Número de dias com Ondas de Frio.....	41
4.3. Análise de Tendência pelo Teste de Mann-Kendall para Ondas de Calor no Estado de Minas Gerais .....	45
4.4. Análise de tendência pelo teste de Mann-Kendall para ondas de Frio no Estado de Minas Gerais .....	48

4.5. Análise do Número Médio de Dias por Ano de Ondas de Calor no Estado de Minas Gerais e Tendências pelo Teste <b>t</b> de Student.....	50
4.6. Análise do Número Médio de Dias por Ano de Ondas de Frio no Estado de Minas Gerais e Tendências pelo Teste <b>t</b> de Student.....	58
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>



## 1. INTRODUÇÃO

As ondas de calor e frio são fenômenos climáticos que causam sérios impactos econômicos e sociais. As mudanças extremas de temperatura podem causar impactos nas áreas agrícolas, pecuária, turismo e na saúde pública. Em algumas regiões do mundo é observado que esses fenômenos estão provocando o aumento da mortalidade ocasionados pelas altas taxas de temperatura (HESS et al., 2014; TASIEN et al., 2014).

Segundo o Manual de Desastre naturais as ondas de calor ocorrida no verão de 1995, nas cidades de Chicago, Nova Iorque, Filadélfia e em cidades dos Estados da Geórgia e do Kansas provocou a morte de mais de 700 pessoas (Ministério da Integração Nacional de Brasília, 2003).

O estudo climatológico das ondas de calor e de frio pode revelar uma associação com os sistemas determinantes da circulação geral da atmosfera, auxiliando no melhor entendimento do clima da região sul e sudeste, que parte da economia da região é baseada na agricultura, pecuária e turismo que dependem das condições climáticas favoráveis para o seu desenvolvimento (FIRPO et al., 2012).

As regiões sul e sudeste do Brasil, por apresentarem afastadas do equador, possuem características diferenciadas de outras regiões do Brasil. Essas regiões estão sujeitas as invasões de massas de ar polares e com isso sofrem grandes mudanças de temperatura durante todo o ano.

Em extensão territorial, Minas Gerais é o maior Estado da região Sudeste. Além disso, o Estado tem característica climática marcante, com áreas semiáridas no Norte e temperadas úmida no Sul, conforme a classificação climática de Köppen-Gegier (Alvares et al., 2013). Um dos objetivos que tem motivado pesquisas realizadas até o presente, no âmbito sobre mudanças climáticas, é o aumento de ocorrências dos números de dias com ondas de calor e frio mundialmente. O diagnóstico e a avaliação sobre a ocorrências desses fenômenos é de grande importância, visto que causa enormes impactos a vários aspectos econômicos. Além do mais, o aumento de ocorrência de ondas de frio e calor causam sérios impactos a saúde pública.

Uma das características para observação de mudanças climáticas é a mudança do ciclo sazonal do aumento temperatura do ar e mudanças do ciclo sazonal de precipitação em algumas regiões do Brasil.

Na última década várias pesquisas foram desenvolvidas para analisar e investigar ocorrência de ondas de calor e de frio em muitas partes do Globo, como por exemplo, Ramos et al. (2011) Portugal, Peterson et al. (2013) e Mutiibwa et al. (2015) Estados Unidos da América, Parak et al. (2015) Iran, Zhang et al. (2017) China, Forti et al. (2017) Canada e Melo e Brito (2018) Rio Grande do Sul.

Por este motivo, o presente trabalho propõe elaborar uma climatologia de números de ondas de calor e de frio no estado de Minas Gerais, usando três diferentes metodologias. Além de a estudar se a ocorrência ou não de tendências de aumento ou redução das ondas de calor e ondas de frio em Minas Gerais.

## 1.1. OBJETIVOS

### ***1.1.1. Objetivo Geral***

Diagnosticar e analisar o número de dias com ondas de calor e de frio no estado de Minas Gerais no período compreendido entre de 1961- 2015, usando diferentes métodos de estimativas de ondas de calor e frio.

### ***1.1.2. Objetivo Específico***

- Elaborar as climatologias do número de dias com ocorrência de ondas calor e frio para os métodos da IOMM (anual e sazonal), IS (anual e sazonal) e WSDI e CSDI (anual);
- Quantificar a variabilidade interanual do número de dias com ondas de calor e de frio em Minas Gerais no período de 1961 a 2015;
- Verificar tendência ao longo da série temporal do número de dias com ondas de calor e de frio;
- Investigar a relação de ondas de calor e frio com a variabilidade interanual, como o El Niño-Oscilação Sul.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. CLIMATOLOGIA DE MINAS GERAIS

O Estado de Minas Gerais apresenta um clima bastante diversificado devido às condições topográficas, continentalidade, altitudes dominantes, latitude e longitude (COSTA et al., 1998). Além disso, por sua localização geográfica o Estado de Minas Gerais sofre bastante influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais caracterizando em um clima de transição. O estado está localizado na Região Sudeste do Brasil possuindo uma grande variabilidade climática.

O estado possui extensas cadeias de montanhas espalhadas por seu território e a influência orográfica nas diferentes condições climáticas (Mello et al. (2007). Sua posição, vegetação e topografia, oferecem condições climáticas diversificadas e excelente potencial hídrico. Segundo Reboita et. al (2015) o estado de Minas Gerais está inserido num clima de monção. O termo monção indica uma reversão sazonal na circulação atmosférica devido ao aquecimento diferencial entre os continentes e os oceanos (RAMAGE, 1971; ZHOU; LAU, 1998; GRIMM; VERA; MECHOSO, 2005; VERA et al., 2006) e, com isso, pode ocorrer mudanças na precipitação. Numa região de monção mais de 50% da precipitação ocorre na estação chuvosa (MARENGO et al., 2012).

Segundo Abreu (1998) as frentes frias que atingem a região Sudeste do Brasil muitas vezes tem sua origem no Pacífico Sul, as frentes frias oriundas do oceano pacífico atravessam a região dos Andes no sul da América do Sul, atingindo regiões tropicais tais como Rio de Janeiro até o litoral leste do Nordeste, segundo o autor esse deslocamento é decorrente ao efeito rotacional do planeta e presença de Cordilheiras.

Segundo Lima et al. (2010) os eventos de precipitação intensa no verão, na região sudeste do Brasil, estão associados na maioria dos casos a dois tipos de perturbações atmosféricas: Frente Fria (53%) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (47%). A importância de distinguir características sinóticas de um evento de precipitação intensa e de um evento de precipitação normal também foi abordada por Lima et al. (2010).

Segundo Vianell & Maia (1986) em seu estudo preliminar da climatologia dinâmica de Minas Gerais, os sistemas meteorológicos predominantes no estado são as Linhas de Instabilidade (LI), os quais estão diretamente relacionados com a influência da topografia

local. Segundo Nimer (1989), as Linhas de Instabilidade são observadas como depressões à superfície e identificadas nas cartas sinóticas, como ondulações nos centros de alta pressão em superfície, na estação chuvosa. Segundo os autores, no período do verão, a frequência de frentes que atingem o interior do Estado é bem rara. Entretanto, no inverno, a ocorrência de sistemas frontais aumenta, provocando chuvas fracas e queda de temperatura.

A região sudeste do Brasil é influenciada pela atuação de sistemas tropicais como de latitudes médias, com estação seca bem definida no inverno com temperaturas mais amenas e estação chuvosa de verão com chuvas convectivas e temperaturas elevadas (NIMER, 1979; SANT'ANNA NETO, 2005; NUNES et al., 2009).

## 2.2. VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Historicamente, o clima do planeta Terra vem passando por mudanças climáticas desde o último período glacial que teve seu pico por volta de 18 mil anos atrás. Os fatores mais comuns que estão envolvidos nas mudanças climáticas são variações no sistema solar, efeitos astronômicos sobre a excentricidade da órbita da terra, inclinação do eixo de rotação da terra, precessão dos equinócios e atividades vulcânicas e como fatores internos tem-se a variabilidade natural do clima e a interação atmosfera-oceano superfície continental da terra (PINTO et al., 2003).

Mudança climática é um assunto amplamente estudado, visto que as mudanças do clima nas últimas décadas refletem diretamente na economia, saúde pública e etc. Nos últimos anos foram observados em várias regiões do globo terrestre um crescente aumento de temperatura do ar, segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC* (2014), foi observado que desde 1880 a 2012 a temperatura do globo terrestre aumentou cerca de 0,85°C, para essa análise, o IPCC utilizou dados combinados de temperatura da superfície terrestre e oceânica.

Angelocci (2007) descreve que a variabilidade climática é uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica. Para descrever a variabilidade e a mudança do clima global Braganza et al. (2004) expõem que alguns estudos utilizam índices simples de padrões da temperatura de superfície, entre eles: o contraste de temperatura entre o oceano e a superfície, o gradiente térmico meridional, o contraste inter-hemisférico e a magnitude do ciclo anual, tais índices estão relacionados com elementos dinâmicos dos quais determinam questões da ampla circulação atmosféricas.

A principal causa da variabilidade climática em diversas regiões do Globo segundo Berlatto e Fontana (2003) é o El Niño Oscilação Sul (ENOS), é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, que ocorre no Oceano Pacífico tropical, do qual apresenta duas fases extremas: uma fase quente denominada El Niño e uma fase fria denominada La Niña.

De acordo com Pinto et al. (1989) a variabilidade climática ao longo do tempo no Brasil depende da região analisada, podendo ocorrer constantes transformações ou ciclos bem definidos dos elementos meteorológicos, como a temperatura e a precipitação.

Apesar da grande ressalva que se faz atualmente, quanto a inclusão do fator antropogênico na variabilidade temporal e espacial de elementos meteorológicos, há os fatores naturais resultantes da interação oceano-atmosfera como o El Niño Oscilação Sul (El Niño Southern Oscillation - ENSO), a Oscilação Decadal do Pacífico (Pacific Decadal Oscillation - PDO) e a Oscilação do Atlântico Norte (North Atlantic Oscillation - NAO), além de outras oscilações climáticas naturais, que resultam em flutuações interanuais e decadais em algumas regiões do globo.

### 2.3. SISTEMAS FRONTAIS

Escobar (2007), em seu estudo sobre padrões sinóticos associados a ondas de frio na cidade de São Paulo, comenta que os acentuados declínios de temperatura associados às incursões de ar frio nas regiões Sul e Sudeste do Brasil têm grande impacto social, devido aos vários prejuízos principalmente no setor agrícola. Além disso, o autor descreve que durante o inverno, tipicamente a região subtropical da América do Sul, é afetada por fortes e bruscos declínios de temperatura, provocados pela passagem de sistemas frontais vindos do extremo sul do continente.

Marengo et al. (1997) mostraram que no inverno, as massas de ar frio penetram sobre o continente na retaguarda das frentes frias, podendo causar geadas fortes ao sul de 30°S e moderada nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul, São Paulo e sul de Minas Gerais, às vezes, com prejuízos para a agricultura. Entretanto, na estação de verão, a entrada de ar frio não provoca quedas tão bruscas na temperatura, mas em geral as temperaturas do ar ficam abaixo dos valores climatológicos (GARREAUD, 2000).

Segundo Andrade (2004) no período de 16 a 19 de abril de 1999 uma frente fria avançou para o norte da Argentina, Uruguai, Paraguai e centro-sul do Brasil. A massa de ar frio associada a este sistema causou grande impacto sobre o Brasil, tendo sido documentadas

quedas bruscas de temperaturas em vários estados brasileiros, incluindo Minas Gerais, e neve nas partes mais altas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SATYAMURTY et al., 2002).

As ondas de frio estão diretamente relacionadas a persistências das massas de frias, que estão na retaguarda de sistemas frontais. Esses sistemas tendem a permanecer em um mesmo lugar por vários dias consecutivos dando origem as ondas. Como os sistemas frontais estão quase sempre acompanhados por anticiclones, que estão associados a céu claro contribuindo para perda de calor noturno e resfriamento radioativo, que é um dos mecanismos para a formação de geadas. É visto também que, a ocorrência de geada na região Sul e algumas localidades da região Sudeste ocasionada pela persistência do ar frio por vários dias principalmente nos meses de maio a setembro, em geral, obedece a este mecanismo (MARENGO et al. 1997, VERA E VIGLIAROLO 2000, LUPO et al. 2001, SATYAMURTY et al., 2002, ESCOBAR, 2007), onde produzem vários impactos na sociedade e também no setor produtivo do país.

O modelo padrão mais típico associado à ocorrência de geadas em São Paulo mostrou a presença de um ciclone extratropical no oceano na altura da costa do Brasil, associado a um sistema frontal, como principal mecanismo dinâmico, esses eventos atingiram São Paulo nos últimos 100 anos (PEZZA e AMBRIZZI 2005).

Escobar (2007) concluiu, em seu estudo, que a variabilidade dos campos de circulação em superfície e altitude associada com ondas de frio na cidade de São Paulo mostrou que existem diferentes padrões de circulação que podem produzir declínios significativos de temperatura. O autor encontrou três diferentes padrões que apresentaram cerca de 70% dos casos com ondas de frio. Desses setenta por cento, 50% estão associados a passagens dos sistemas frontais frios. O Autor ainda concluiu que os demais casos estão associados a processos ciclogênicos no oceano Atlântico, na altura das regiões sul e sudeste do Brasil.

#### 2.4. ONDAS DE CALOR E FRIO

Um dos aspectos a ser observado ao âmbito das pesquisas de climatologia são as ondas de temperatura, atribuídas a ocorrência de extremos de temperatura do ar, por vários dias consecutivos e em um limiar superior ou inferior das normais climatológicas do período de referência, que são identificados como “ondas de calor” e “ondas de frio”.

Por definição, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) considera uma onda como sendo o período de pelo menos seis dias consecutivos em que a temperatura do ar

máxima é 5°C superior (ondas de calor) ou em que a temperatura do ar mínima é inferior a 5°C (ondas de frio) ao valor médio das temperaturas do ar do período de referência (DE OLIVEIRA et., al 2018).

Outra definição diz que, uma onda é uma sequência diária de anomalias de temperatura com mesmo sinal. De tal modo, são considerados três parâmetros para definição do evento: comprimento ou persistência (números de dias contínuos da anomalia, ou seja, com o mesmo sinal), o valor máximo (anomalia positiva) ou mínimo (anomalia negativa) da onda e a intensidade (media de anomalia da onda), (RUSTICUCCI e VARGAS, 2001).

Mendonça e Romero (2013) ao estudarem os impactos socioambientais das ondas de frio, associadas aos índices de oscilação das variabilidades de baixa frequência na América do Sul, constataram que as ondas de frio possuem uma certa regularidade em sua ocorrência durante as últimas décadas e devem ser consideradas parte do sistema de variabilidade climática e dos sistemas de mitigação e adaptação social às mudanças ambientais.

O Sul e o Sudeste do Brasil são as regiões que mais sofrem com os impactos das ondas de frio devido as mudanças de temperaturas ocasionados ou associados as incursões de ar frio nessas regiões. O setor que mais sofre com os prejuízos é o agrícola, pois durante o inverno as ondas de frio são mais persistentes podendo ocasionar geadas nas regiões de cultivo. O sul de Minas Gerais é caracterizado por geadas frequentes na estação de inverno em que a temperatura do ar próximo à superfície cai abaixo de 0°C (ALVES, 2016). A complexidade da região do Sul de Minas Gerais por ter bastantes superfície montanhosas contribui para baixas temperatura do ar.

A onda de calor é um fenômeno que pode surgir em qualquer época do ano, mas, especificadamente na estação de verão, que é o período do ano onde observa-se temperaturas do ar (máximas e mínimas) mais elevadas (FREITAS et al., 2011). São fenômenos caracterizados principalmente pelo o bloqueio de frentes frias, produzindo bolsões de ar quente aquecidos durante vários dias. Autores como Barry e Chorley, 2013 constataram que a permanência e atuação desses sistemas de alta pressão contribuem para que as temperaturas máximas e mínimas do ar venham a ser mais acentuados que o habitual, aumentando o calor próximo a superfície de atuação.

Pezza et al. (2012), em seu estudo sobre ondas de calor severas no Sul da Austrália, concluíram que as ondas de calor que ocorrem em Melbourne cidade que se localiza no Sudeste da Austrália, podem estar associados a um período de monções mais acentuados na

região tropical do País. Verificaram, também, que sua persistência está relacionada ao aumento do gradiente da temperatura da superfície do mar no Oceano Índico.

Em 2003, parte da Europa foi afetada pela passagem de uma onda de calor que afetou grande parte de região Europeia. BENISTON (2004) estudou a ocorrência dessa onda de calor. O autor utilizou dados climatológicos da Suíça e de modelo numéricos. O autor descreveu que os processos físicos que caracterizaram a onda de calor de 2003 foram o esgotamento da umidade do solo, a realimentação positiva nas temperaturas na estação de verão e a falta de chuvas convectivas em muitas partes do continente, que geralmente ocorrem entre junho e setembro.

Em julho de 2010 a Rússia registrou um dos eventos de ondas de calor mais intensos desde o ano de 1880 onde foi registrado recorde de temperatura máxima em grande parte do País. Dole et al. (2011), estudaram a possibilidade de prever a ocorrência da onda de calor na Rússia e constataram que o evento pode estar relacionado com os processos dinâmicos atmosféricos internos que produziram e mantiveram um evento de bloqueio intenso e de longa duração. Os autores concluíram que os eventos de onda de calor têm grande probabilidade de aumentar sua ocorrência devido à influência do aumento da concentração de gases de efeito estufa. Segundo o IPCC (2007), as ondas de calor tendem a aumentar a sua frequência e intensidade. O impacto do calor extremo no verão tende a ser acentuado pela maior umidade, devido às chuvas mais intensas.

FIRPO et al (2012), em seu estudo sobre ondas de calor e frio no estado de Rio Grande do Sul observaram que variabilidade sazonal das ondas de frio é diferente da observada para as ondas de calor no Estado. Os autores observaram que a ocorrência de ondas de frio apresentaram um comportamento senoidal, assim como observado no ciclo anual da temperatura ocorrendo mais ondas de frio nos meses com as temperaturas mínimas mais baixas. Já para as ondas de calor, eles constataram um comportamento heterogêneo, onde o maior número de ondas de calor também ocorre no período mais frio do ano, quando a atmosfera está mais instável e sujeita a mudanças de temperatura. Observaram que o mês de julho é aquele com o maior número de ondas de calor, e nesse mesmo mês notaram uma diminuição de ondas de frio.

## 2.5. EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL

Os ENOS são os fenômenos mais estudados atualmente, são eventos climáticos que afetam de forma direta a circulação geral da atmosfera. Por serem fenômenos de larga escala



produzem mudanças na circulação atmosférica, causando mudança de tempo e mudanças climáticas de forma global. A principal característica dos ENOS são as alterações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre a região do Pacífico Equatorial próximo a Costa Oeste da América do Sul, o fenômeno está ligado a dois mecanismos com vínculo existente entre o oceano-atmosfera (NOBRE E MOLION, 1988).

O ENOS é denominado como anomalias de fase positivas ou negativas, essas duas fases são conhecidas por serem bastantes extremas, sendo descritas como a fase quente ou positiva definida como El Niño e a fase fria ou negativa definida como La Niña (GRIMM et al., 1998, MOLION, 2007). Esse mecanismo induz processos oceânicos que auxiliam uma elevação (período de El Niño) ou submersão (período de La Niña) da termoclina, o que coopera para que a região do Pacífico equatorial leste se torne mais quente (fria), intensificada o El Niño (a La Niña existente (CORREA, 2016).

Segundo Firpo (2008) como o El Niño e a La Niña modificam a estrutura da circulação atmosférica, geram condições anômalas que influenciam o clima de diversas regiões do mundo, estes eventos também podem modifiquem a temperatura superficial.

Segundo Pittock (1980) há uma correlação negativa significativa entre a temperatura anual da superfície e o índice de oscilação sul sobre a parte central do Chile e costa Sul. Esta oscilação é reconhecida por irregularidades da temperatura da superfície de águas do Oceano Pacífico, que induzem a circulação atmosférica e alteram as precipitação e temperatura em diversos lugares do mundo. O aquecimento e o resfriamento num episódio típico de ENOS pode durar em torno de 12 a 18 meses, este fenômeno comumente tem consequências de grande magnitude se produzem em intervalos aleatórios (OLIVEIRA & SATYAMURTY, 1998).

O El Niño e La Niña são responsáveis por provocarem alterações significativas nos totais de precipitação, mensais e sazonais no Brasil. Além disso, são responsáveis por produzirem perturbações no campo de temperatura na superfície, habitualmente as perturbações sazonais no campo da temperatura do ar da superfície ocorrem durante a atuação dos eventos de ENOS, com registro de temperatura acima do normal em períodos de atuação do El Niño e La Niña com registro de temperatura a baixo do normal, principalmente nos meses de inverno, de junho a agosto (GRIMM, TOGATLIAN, 2002; CPTEC/INPE, 2018).

Alguns estudos indicam que o semiárido do nordeste, norte e leste da Amazônia, sul do Brasil e vizinhanças são afetados de forma pronunciada pelo ENOS, especificamente na

região sul incide um acréscimo significativo da precipitação, principalmente no decorrer da primavera, outono e inverno (BARCELOS ET AL., 2009).

Bidegain e Renom (2002) verificaram que o ENOS influencia nitidamente as localidades uruguaias mais quentes e continentais, e que durante a La Niña as temperaturas mínimas são menores que as normais e as máximas são maiores que o esperado, isto é, há uma maior amplitude térmica, enquanto na fase do El Niño a amplitude térmica diária é menor.

Cupollilo e Abreu (1999) os ENOS afetam a região sudeste e conseqüentemente o estado de Minas Gerais através do processo de teleconexões, um processo de geração de ondas. A consequência desse fenômeno sobre o estado possivelmente, seja invernos quentes. Isso ocorre através da intensa advecção do ar quente continental devido ao bloqueio dos sistemas frontais no sul do país.

Grimm e Togatlian (2002) ao investigar a relação entre os eventos El Niño e La Niña e os extremos de frio e calor no Sul da América do Sul, verificaram um aumento da regularidade de eventos frios durante eventos de La Niña, bem como o aumento da frequência de eventos quentes durante os eventos de El Niño, isto é, tais eventos cooperam para um aumento da variabilidade da temperatura diária.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDO

Como descrito na introdução, Minas Gerais possui um clima semiárido quente de baixas altitudes e latitudes até o úmido temperado quente com inverno seco e verão frio (ALVARES et al., 2013). Estas características são decorrentes da distribuição da precipitação ao longo dos meses do ano, do total anual e das temperaturas do ar médias mensais e anual. Minuzzi et al., (2010) trabalhando com séries de temperatura mínima e máxima do ar entre os períodos de 1960 e 2004 no estado de Minas Gerais, verificaram acréscimos variando entre 1,3 e 3,9 °C, tanto nas temperaturas mínimas, quanto nas máximas. Predominando os maiores acréscimos nos meses de setembro e dezembro. **A Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a distribuição das estações meteorológicas convencionais do INMET do Estado de Minas Gerais elevação do relevo do estado.

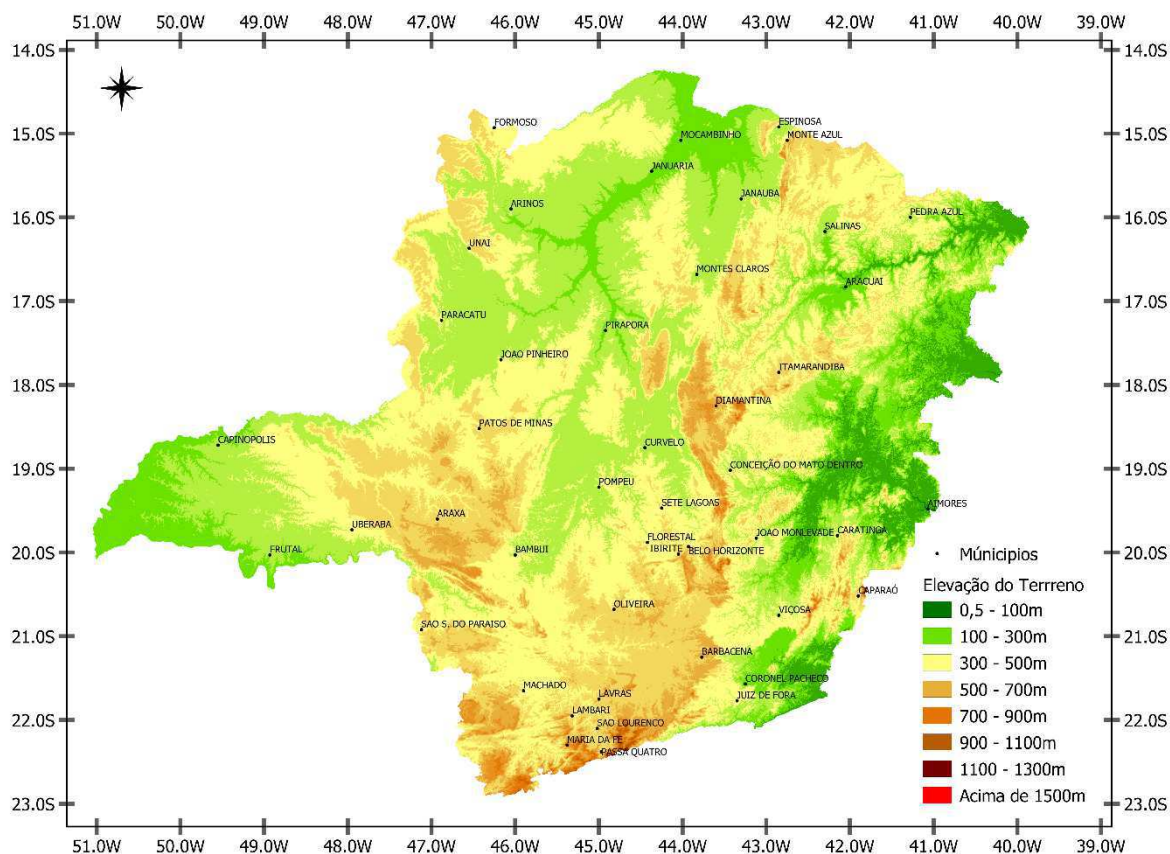


Figura 1 – Mapa de caracterização do relevo do Estado de Minas Gerais e distribuição dos municípios em estudo do Estado de Minas Gerais. (Fonte: *Embrapa 2019*, adaptação autor)

Ávila et al. (2014) em seu estudo com séries de temperatura mínima e máxima do ar também para o estado de Minas Gerais, obtiveram resultados semelhantes, tendências significativas de aumento das temperaturas mínimas e, em menor escala, das máximas. Os autores observaram que no mês de julho ocorreram aumentos de até 1,5°C e tendências significativas de aumento de maneira generalizada na maior parte do Estado, nos meses de outubro e janeiro, e também na escala anual, concluindo que os maiores aumentos da temperatura mínima e máxima ocorreram no mês de outubro.

### 3.2. DADOS

Os dados de temperatura máxima e mínima foram coletados a partir de observações realizadas nas estações meteorológicas convencionais de Minas Gerais, no período de dezembro de 1961 a novembro de 2015 (53 anos). São registros diários, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), com acesso através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). As estações meteorológicas de Minas Gerais estão distribuídas, conforme a Figura 2.

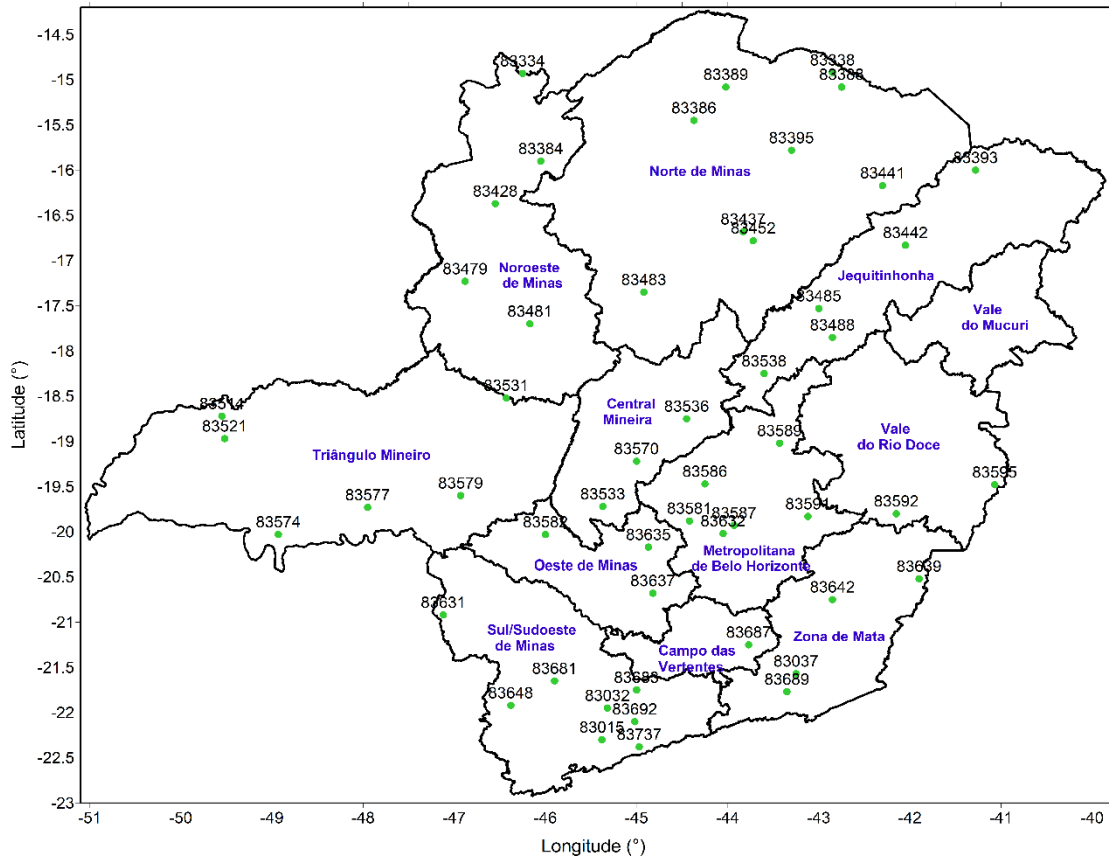


Figura 2 – Distribuição geográfica das 52 estações meteorológicas convencionais do INMET do Estado de Minas Gerais (Fonte: Autor)

Na Tabela 1 encontra-se informações das estações meteorológicas convencionais do INMET localizadas no estado de Minas Gerais, como: latitude, longitude e altitude de cada estação, atualmente o Estado de Minas Gerais possui, cerca de, 52 estações meteorológicas convencionais do INMET. O período inicial estipulado para início de cada série foi 01 de janeiro de 1961, até 31 de dezembro de 2015. Para este período de estudo, os dados passaram pelo procedimento de preenchimento de falhas de dados.

Tabela 1-Localização das Estações Meteorológicas convencionais do INMET, localizada no Estado de Minas Gerais

<b>Municípios/MG</b>	<b>Código OMM</b>	<b>Latitude (°)</b>	<b>Longitude (°)</b>	<b>Altitude(m)</b>
Maria da Fé	83015	-22,3	-45,38	1276,33
Lambari	83032	-21,95	-45,32	878,45
Coronel Pacheco	83037	-21,57	-43,25	435
Formoso	83334	-14,93	-46,25	840
Espinosa	83338	-14,92	-42,85	569,64
Arinos	83384	-15,9	-46,05	519
Januária	83386	-15,45	-44,37	473,71
Monte Azul	83388	-15,08	-42,75	603,63
Mocambinho	83389	-15,08	-44,02	452
Pedra Azul	83393	-16	-41,28	648,91
Janauba	83395	-15,78	-43,3	516
Unai	83428	-16,37	-46,55	460
Montes Claros	83437	-16,68	-43,83	646,29
Salinas	83441	-16,17	-42,3	471,32
Aracuai	83442	-16,83	-42,05	289
Juramento	83452	-16,78	-43,72	650
Paracatu	83479	-17,23	-46,88	712
João Pinheiro	83481	-17,7	-46,17	760,36
Pirapora	83483	-17,35	-44,92	505,24
Carbonita	83485	-17,53	-43	736,38
Itamarandiba	83488	-17,85	-42,85	1097
Capinópolis	83514	-18,72	-49,55	620,6
Ituiutaba	83521	-18,97	-49,52	560
Patos de Minas	83531	-18,52	-46,43	940,28
Bom Espacho	83533	-19,72	-45,37	695
Curvelo	83536	-18,75	-44,45	672
Diamantina	83538	-18,25	-43,6	1296,12
Pompeu	83570	-19,22	-45	690,91
Frutal	83574	-20,03	-48,93	543,67
Uberaba	83577	-19,73	-47,95	737
Araxá	83579	-19,6	-46,93	1023,61
Florestal	83581	-19,88	-44,42	753
Bambuí	83582	-20,03	-46	661,27

Municípios/MG	Código OMM	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude(m)
<b>Continua...</b>				
Sete Lagoas	83586	-19,47	-44,25	732
Belo Horizonte	83587	-19,93	-43,93	915
Conceição do Mato Dentro	83589	-19,02	-43,43	652
João Monlevade	83591	-19,83	-43,12	859,84
Caratinga	83592	-19,8	-42,15	609,65
Aimores	83595	-19,48	-41,07	82,74
São Sebastião do Paraíso	83631	-20,92	-47,12	820
Ibirite	83632	-20,02	-44,05	814,54
Divinópolis	83635	-20,17	-44,87	788,35
Oliveira	83637	-20,68	-44,82	966,5
Capara	83639	-20,52	-41,9	843,18
Viçosa	83642	-20,75	-42,85	689,73
Caldas	83648	-20,32	-40,32	36,2
Machado	83681	-21,92	-46,38	1150
Lavras	83683	-21,65	-45,9	873,35
Barbacena	83687	-21,75	-45	918,84
Juiz de Fora	83689	-21,25	-43,77	1126
São Lourenço	83692	-21,77	-43,35	939,96
Passa Quatro	83737	-22,38	-44,97	920

Fonte: INMET

### 3.3.

### METODOLOGIA

#### 3.3.1. *Preenchimento de Falhas*

Para a melhoria da consistência dos dados e dos resultados obtidos no estudo utilizou-se a metodologia de preenchimento de falhas nas series de dados de temperatura máximas e mínimas. Dentre os vários métodos de imputação de dados, optou-se pelo método de imputação variada, utilizando a técnica de *Multivariate Imputation by Chained Equations* (MICE). No algoritmo MICE, as distribuições condicionais estão sob o controle direto do usuário, assim, a distribuição conjunta só é implicitamente conhecida, o que parece indesejável do ponto de vista teórico (já que não sabemos a distribuição conjunta para que o algoritmo converja), mas na prática, não parece prejudicar as aplicações uteis do método (BUUREN, 2012).

Implementado no software R o pacote MICE, o usuário pode especificar um método de imputação para cada coluna de dados incompletos. O método de imputação leva um conjunto de preditores completos, e retorna uma única imputação para cada entrada em falta na coluna incompleta. Várias imputações são criadas por chamadas repetidas para a função (BUUREN; OUDSHOORN, 2000). Uma vantagem da abordagem variável por variável é que, para cada uma das variáveis, um modelo de imputação diferente pode ser utilizado que tem como objetivo corrigir falhas de dados utilizando método da imputação variada padrão de dados das estações vizinhas. O modelo de imputação deve levar em conta o processo que produziu a falta de dados, deve preservar as relações entre as variáveis e a incerteza sobre essas relações, segundo Van Buuren & Groothuis-Oudshoer (2011).

O método de imputação múltipla se resume a três etapas principais, imputação, análise e agrupamento. Um esquema resumido destas etapas é apresentado na Figura (3).

- i. A análise começa com dados observados e dados incompletos. A imputação múltipla cria  $m > 1$  versões completas dos dados, substituindo os valores em falta por valores de dados plausíveis. Estes valores plausíveis são extraídos de uma distribuição modelada especificamente para cada entrada de dados faltantes. Os conjuntos de dados imputados são idênticos para as entradas de dados observados, mas diferem nos valores imputados. A magnitude destas diferenças reflete nossa incerteza sobre o valor a imputar.
- ii. O segundo passo é estimar os parâmetros de interesse de cada conjunto de dados imputados, por meio da aplicação de métodos de análises padrão para dados completos. Os resultados serão diferentes porque os seus dados de entrada são diferentes, o que é apenas resultado da incerteza sobre o valor a imputar.
- iii. No último passo os  $m$  resultados são agrupados em uma estimativa pontual final acrescidos do desvio padrão, por regras de agrupamento simples, conhecidas como “Regras de Rubin” (RUBIN, 1987).

O primeiro passo é a parte fundamental da Imputação Múltipla (*IM*), pois as técnicas de imputação utilizadas têm que preservar a relação das observações faltantes e presentes e ainda levar em conta o mecanismo de ausência e o padrão dos dados faltantes.

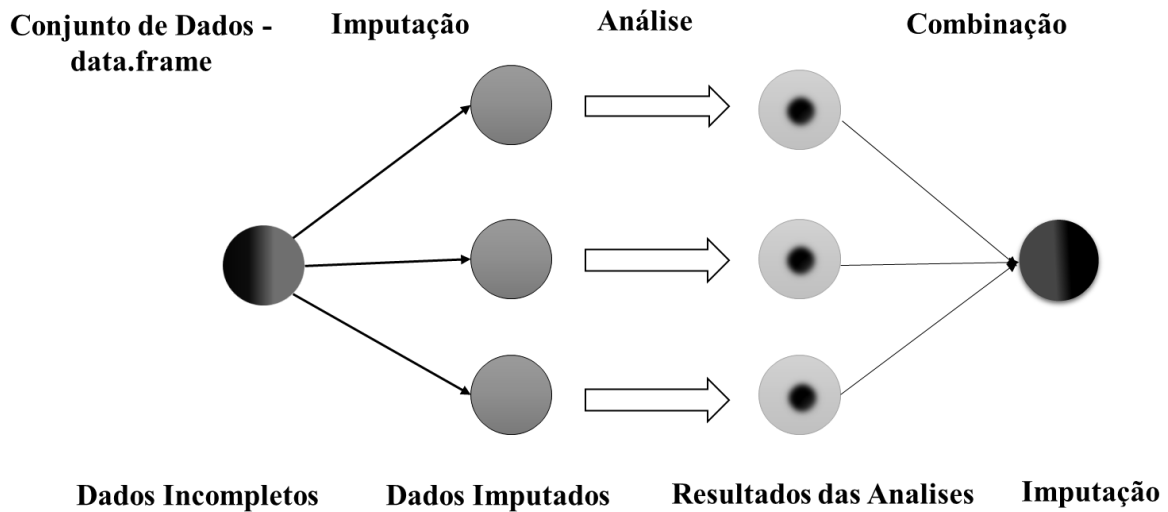


Figura 3 – Esquematização das principais etapas da imputação múltipla. Adaptação autor.

A Tabela 2 mostra uma breve descrição das principais funções do pacote MICE e como é feito o processor de preenchimento de dados.

Tabela 2 – Resumo das principais funções da biblioteca MICE

Função	Entrada	Saída	Descrição
md.patern	data.frame	matrix	resume o padrão dos dados faltantes
MICE	data.frame	mids	cria conjunto de dados da imputação múltipla
Complete	Mids	data.frame	converte mids em dados completos
lm.mids	Mids	mira	regressão linear para os dados imputados
glm.mids	Mids	mira	modelo linear generalizado para dados imputados
Pool	Mira	mipo	agrupamento das análises repetidas

Seja  $Y_j$  com  $(j=1, \dots, p)$ , um conjunto de  $p$  variáveis incompletas, onde  $Y=(Y_1, \dots, Y_p)$ . As porções observadas e faltantes de  $Y_j$  são denotadas por  $Y_j^{obs}$  e  $Y_j^{falhas}$ , respectivamente, então  $Y^{obs}=(Y_1^{obs}, \dots, Y_p^{obs})$  e  $Y^{falhas}=(Y_1^{falhas}, \dots, Y_p^{falhas})$ , representam os dados observados e em falta de  $Y$ . O número de imputações deve ser sempre igual a  $m \geq 1$ . O conjunto de dados imputados  $h_{th}$  é dado por  $Y^{(h)}$  onde  $h=1, \dots, m$ . Seja agora  $Y_{-j}=(Y_1, \dots, Y_{j-1}, Y_{j+1}, \dots, Y_p)$  a coleção de variáveis  $p-1$  em  $Y$  com exceção de  $Y_j$ . Seja  $Q$  a quantidade de dados faltantes a modelar. Na prática  $Q$  é frequentemente um vetor multivariado representando qualquer modelo a ser gerado para a modelagem dos dados faltantes (BUUREN, S. Van; GROOTHUIS-OUDSHOORN, 2010; Silva, S.F. D, 2014).



A Tabela 3 mostra os dados que foram imputados, utilizando o pacote MICE, inicialmente como mostra a Tabela 3 (a) os dados faltosos estão representados por “NA”, o pacote MICE imputou os dados incompletos variável por variável.

Tabela 3 – Ilustração de dados de temperatura mínima a serem imputados, representados por NA, referentes à estação de Belo Horizonte (código OMM: 83587) (a), dados com as falhas preenchidas (b), dados originais (coluna Orig.) estão ao lado das séries gradeadas mais próximas, ou conjunto de preditores (Grup-01; Grup -02; Grup -03 e Grup -04). As falhas preenchidas aparecem destacadas em vermelho.

(a)								(b)							
Ano	Mês	Dia	Orig	Grup-01	Grup-02	Grup-03	Grup-04	Ano	Mês	Dia	Orig	Grup-01	Grup-02	Grup-03	Grup-04
1979	11	16	16,5	15,0	16,8	18,4	21,0	1979	11	16	16,5	15,0	16,8	18,4	21,0
1979	11	17	15,6	16,7	17,6	18,6	21,2	1979	11	17	15,6	16,7	17,6	18,6	21,2
1979	11	18	15,7	17,2	17,0	18,5	21,0	1979	11	18	15,7	17,2	17,0	18,5	21,0
1979	11	19	17,3	15,4	17,8	16,3	21,0	1979	11	19	17,3	15,4	17,8	16,3	21,0
1979	11	20	17,8	19,2	17,8	19,2	23,0	1979	11	20	17,8	19,2	17,8	19,2	23,0
1979	11	21	NA	19,2	17,0	18,7	23,0	1979	11	21	17,3	19,2	17,0	18,7	23,0
1979	11	22	15,0	19,6	17,8	18,5	21,0	1979	11	22	15,0	19,6	17,8	18,5	21,0
1979	11	23	21,0	20,1	18,6	19,6	24,0	1979	11	23	21,0	20,1	18,6	19,6	24,0
1979	11	24	NA	14,3	18,0	18,8	22,0	1979	11	24	17,7	14,3	18,0	18,8	22,0
1979	11	25	NA	19,2	17,8	19,5	24,0	1979	11	25	20,2	19,2	17,8	19,5	24,0

Uma iteração consiste de um ciclo passando por todo  $Y_j$ . O número de iterações  $t$  frequentemente é baixo, 5 ou 10. O algoritmo MICE gera várias imputações executando o processo a seguir  $M$  vezes paralelas. As imputações são geradas de acordo com o método padrão, conhecido como o método PMM - *Predictive Mean Matching*.

Os métodos de imputação podem ser avaliados em termos de qualidade da imputação quanto a sua acurácia, concordância e dispersão. Após a realização do preenchimento do dados faltosos, foram geradas novas falhas nos dados medidos originais, para isso foi identificado nas séries originais pelo menos 04 anos com dados medidos, e então falhas foram geradas artificialmente para estes anos e o método foi novamente empregado, a fim de comparar dados realmente observados com a imputação gerada, para avaliar a habilidade do método.

### 3.3.2. Índices Climáticos

Como já foi dito anteriormente, para calcular as ondas de calor utilizando o Índice da Organização Mundial de Meteorologia é necessário primeiramente fazer uma média climatológica do todo o conjunto de dados a partir daí adicionar a média climatológica  $5^{\circ}\text{C}$ . A OMM diz que para o estudo de ondas de calor é necessário no mínimo 6 dias consecutivos em que a temperatura do ar diária esteja igual ou superior ao valor da média  $+ 5^{\circ}\text{C}$ , e para ondas frias o valor médio  $- 5^{\circ}\text{C}$ .

Para melhor descrever o comportamento dos sistemas transientes no Sul e Sudeste Cavalcanti e Kousky (2009) descreveram que os sistemas frontais ou transientes que atuam e causam impactos muitas vezes severos nas regiões sul e sudeste do Brasil persistem por cerca de cinco dias consecutivos. Firpo et al. (2012), em seu estudo sobre ondas de calor e frio no Rio Grande do Sul utilizaram o critério adaptado por Cavalcanti e Kousky para eventos com período com no mínimo cinco dias consecutivos, determinando que os números de dias com ondas frio ou calor que maior ou igual que 5 dias consecutivos.

De Oliveira et al., (2018) em sua pesquisa sobre os efeitos das ondas de frio e de calor nas atividades agrícolas em Minas Gerais, consideram episódios com mais de 5 dias consecutivos com registro de temperatura do ar máxima maior ou igual a média da temperatura máxima acrescida e temperatura do ar mínima menor ou igual a média da temperatura do ar mínima acrescida. Portanto, seguindo adaptação para estabelecer dias com ondas de calor ou de frio, usou-se no estudo episódios iguais ou superiores a 5 dias consecutivos para determinação dos eventos de ondas de calor e frio.

Para os cálculos do índice sazonal de temperatura máximas e mínimas, foi separado cada período por estações do ano como: dezembro, janeiro e fevereiro (verão); março, abril e maio (outono), junho, julho e agosto (inverno) e setembro, outubro e novembro (primavera), obtendo-se medias mensais para cada período e utilizando a mesma metodologia da análise anterior.

### 3.3.3. *Rclimdex*

Um dos principais mecanismos utilizados junto à interpretação de dados climatológicos é a análise estatística que, por sua vez, permite observar um sistema climático a partir de inúmeras informações (variáveis climáticas) e, dessa forma, permite a observação

de pressupostos quanto a mudanças no sistema climático (ZWIERS; VON STORCH, 2004, p. 674).

O software RClindex foi desenvolvido por Zhang e Yang (2004) pelo Serviço Meteorológico Canadense para interpretação dos índices climáticos extremos. O RClindex fornece 27 índices climáticos sendo 12 para precipitação e 15 para temperatura (KARL et al., 1999 e PETERSON, et al., 1998-2001). No entanto, para a referida pesquisa foram utilizados apenas 2 índices climáticos, as quais utilizam dados de temperatura do ar máximas e mínimas, os índices WSDI e CSDI foram utilizados para determinar os dias em que a temperatura máxima e mínima foi maior ou menor que os percentis de 90 para o número de dias quentes e o percentil 10 para os dias frio, respectivamente.

Tabela 4 – Definição dos índices de eventos extremos climáticos baseados em dados de temperatura do ar.

ID	Nome do Índice	Definição	Unidade observada
WSDI	Indicador de duração de dias quentes	Número de dias onde, nos últimos 6 dias consecutivos a temperatura máxima > 90th percentil	Dias
CSDI	Indicador de duração de dias frios	Número de dias onde, nos últimos 6 dias consecutivos a temperatura mínima > 10th percentil	Dias

Adaptado de Zhang e Yang (2004)

Como dados de saída do RClindex é possível obter dados estatísticos: tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e erro padrão de estimativa; assim como, os gráficos das séries anuais.

### 3.3.4. Teste de Significância Estatística para o Coeficiente de Regressão

No software RClindex as tendências calculadas são submetidas ao teste de significância estatística tendo com parâmetro de saída o p\_valor, obtido a partir do teste F. Entretanto, como na presente pesquisa tem-se resultados de variabilidades e tendências dos números de dias com ondas de calor e de frio oriundos de estimativas com índice da OMM e Sazonal se faz necessário aplicar um teste de hipótese para verificar a significância estatística. Para tanto, será realizado um teste  $t$  de Student para coeficiente de Regressão, dado por:

$$jt_{cal} = \frac{b-B}{s_b} \quad (1)$$

em que  $b$  é o coeficiente de regressão,  $B$  é um parâmetro de teste da regressão, tomado igual a zero, ou seja, testa a hipótese nula, sem regressão  $B = 0$ .  $S_b$  é o erro padrão do coeficiente angular, dado por:

$$S_b = \frac{S_{y.x}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} X^2 - n\bar{X}^2}} \quad (2)$$

sendo que  $S_{x,y}$  é o erro padrão de estimativa estimado por:

$$S_{x,y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (Y_{obs} - Y_{est})^2}{n-2}} \quad (3)$$

$y_{est}$  é o valor estimado da variável analisada  $Y$  e  $y_{obs}$  é o valor observado,  $b$  é o coeficiente de regressão ( $y_{est} = a + bX$ ),  $X$  é a variável independente, no caso em estudo o ano, 1961, 1962, ..., 2014, 2015 e  $\bar{X}$  é média da variável  $X$ .

Como tem-se 55 pares de dados ( $X, Y$ ) o número de grau de liberdade é 53. Portanto, se o  $t_{cal}$  for superior a 2,704 a tendência indicada por  $b$  tem significância estatística de 99% ( $p\_valor \leq 0,01$ ), para  $t_{cal}$  superior a 2,021 e inferior ou igual a 2,704 significância estatística de 95% ( $0,01 < p\_valor \leq 0,05$ ).

### 3.3.5. *Teste de Mann Kendall*

O teste de Mann-Kendall é um método robusto que consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial não paramétrico determinando se a série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa (Mann, 1945; Kendall, 1975). Por tratar-se de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados (Yue et al., 2002). Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (Zhang et al., 2009).

Considere-se a série temporal de  $N$  valores anuais (um valor por ano) com termo genérico  $Y_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ . De acordo com o teste de Mann-Kendall, cada valor  $Y_i$ ,  $i = 1, \dots, N - 1$  é comparado com todos os valores que se lhe seguem  $Y_j$ ,  $j = i + 1, i + 2, \dots, N$ , gerando-se uma nova série  $Z_i$  que contém um indicado do valor relativo da diferença entre termos da série  $Y_i$ , de acordo com:

$$Z_i = \text{sgn}(Y_i - Y_j) = \begin{cases} 1 & \text{se } Y_i > Y_j \\ 0 & \text{Se } Y_i = Y_j \\ -1 & \text{Se } Y_i < Y_j \end{cases} \quad (4)$$

A estatística de teste de é obtida através da soma da série  $Z_i$ , da seguinte forma:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(Y_i - Y_j) \quad (5)$$

MANN, 1945, e KENDALL (1975), demonstraram que, para amostras com grande dimensão em que a estatística do teste ocorre sem a presença de valores nulos de  $Z_i$ , e considerando a hipótese nula,  $H_0$ , de ausência de tendência, a estatística  $S$  segue aproximadamente uma distribuição normal com média nula, ou seja:

$$E(S) = 0 \quad (6)$$

e variância definida por:

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18} \quad (7)$$

em que  $N$  é a dimensão da amostra. A significância de  $S$  para a hipótese nula pode ser testada com recurso a um teste bilateral, sendo que pode ser rejeitada para grandes valores da estatística  $Z(t)$  definida de acordo com:

$$Z(t) = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

A presença de tendência estatisticamente significativa na série é avaliada pelo o valor de  $Z$ . Essa estatística é usada para testar a hipótese nula que nenhuma tendência existe. Para testar tendência constante, crescente ou decrescente para um nível significativo  $p$ , rejeita-se a hipótese nula comparando-se o valor absoluto de  $Z$  com o valor  $Z_{1-p/2}$ , obtido na tabela da

distribuição normal. A planilha do teste trabalha com dois níveis de significância  $p = 0,01$  e  $0,05$ .

Se  $|Z| > Z_{1-p/2}$ , então se diz que a série mostra tendência significativa ao nível  $p$ . Isto significa que existe uma probabilidade de que uma tendência seja falsamente identificada. Introduzindo a variância esperada de  $S$  na determinação de  $Z$ , o teste de Mann-Kendall é capaz de rejeitar o que pode parecer ser tendência em pequenos períodos de tempo. Por exemplo, se um período de tempo de três anos mostrar um consistente aumento da variável  $X$ , a variância esperada de  $S$  é pequena o bastante para que o teste provavelmente seja rejeitado. Isso ocorre porque a presença de tendência nesse curto período de três anos não é estatisticamente significativa para o fenômeno observado.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados os resultados e discussões, os quais foram divididos em três partes: apresentando as análises de distribuição espacial da média de dias com ondas de calor e frio sazonais e interanual, das tendências anuais para ondas de Calor e Frio utilizando os métodos dos IOMM, IS e RCLimindex anual e da distribuição espacial das tendência pontuais, para o período correspondente de 01/01/1961 a 31/12/2015.

##### 4.1. MÉDIA CLIMATOLÓGICA DO NÚMERO DE DIAS COM ONDAS DE CALOR

A distribuição espacial da média climatológica (1961-2015) de dias com ondas de calor no verão apresentada na Figura 4, observa-se que o IOMM Figura 4 (a) apresentou maior número dias com ondas de calor no verão que ao Índice Sazonal (IS) Figura 4 (b). No Estado as regiões que registraram o maior número de dias com ondas de calor, na estação de verão, foram o Sudeste e o Triângulo Mineiro. E as que apresentaram o menor número de ondas de calor, no verão, foram as do Centro-Oeste e Nordeste, com alguns casos de ocorrência na região mais ao norte do estado, como mostra a Figura 4 (a). O IS Figura 4 (b) não detectou tantas ondas de calor no verão como o índice da OMM. Isto ocorreu porque a metodologia da estimativa do IS suavizado o número de dias com onda de calor no verão, a suavização nos resultados obtidos para estação de verão com o IS é devido a forma dos cálculos de média no período sazonal. O valor médio máximo de dias de duração do evento de ondas de calor na estação de verão para o IOMM foi de 8,2 e mínima de 0 dias, enquanto o IS obteve máxima de 1,9 e mínima de 0 dias de duração de eventos quentes em todo o estado de Minas Gerais, respectivamente.

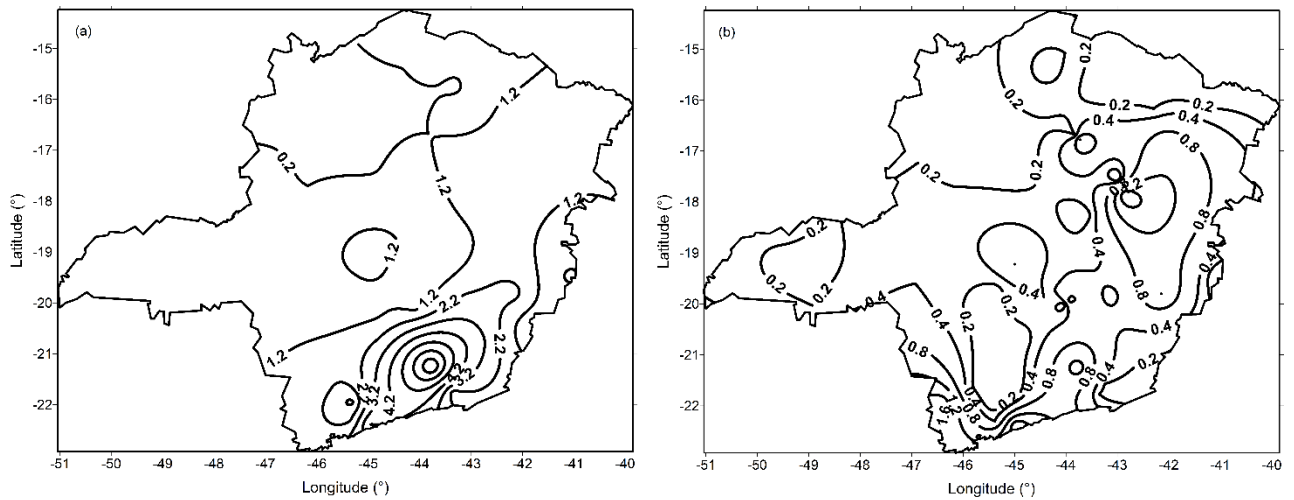


Figura 4 - Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor no verão pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.

A Figura 5 (a) e (b) mostram a distribuição de ondas de calor no outono (março, abril e maio), média climatológica (1961-2015), para os Índices da OMM e Sazonal, pode-se observar que o número de ondas de calor teve uma diminuição no período do outono no estado em relação ao período do verão, principalmente no computo do índice da OMM, os dois índices mostraram um mesmo comportamento espacial. Os poucos casos dos eventos ocorreram em algumas regiões do estado como nordeste, sudeste e sul de Minas Gerais.

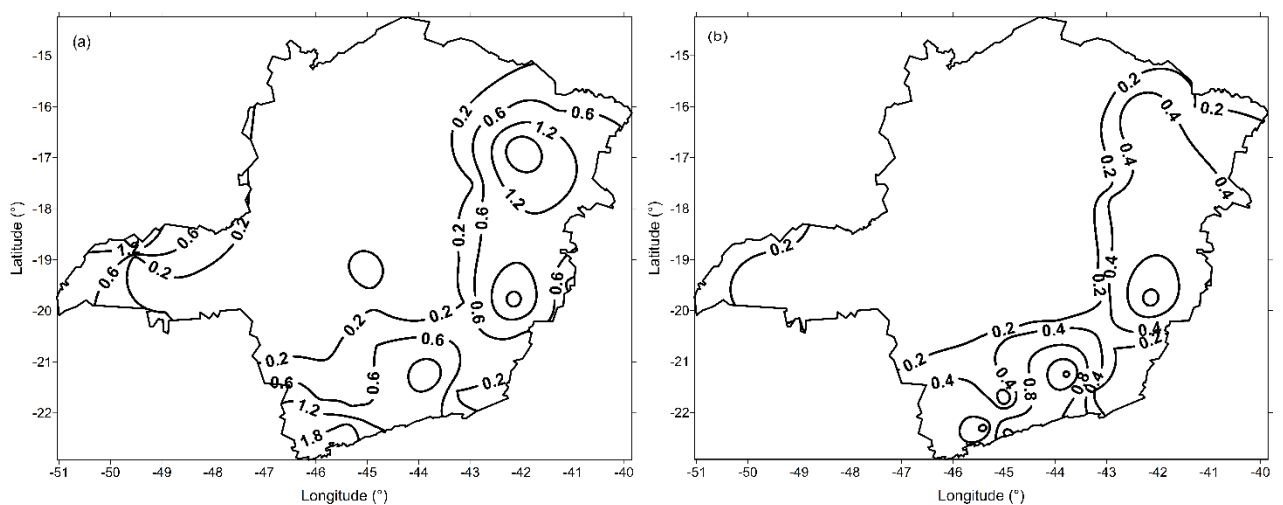


Figura 5 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor no outono pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.



A distribuição espacial do número de dias, média climatológica (1961-2015), de ondas de calor no inverno (junho, julho e agosto) Figura 6. Comparando os IOMM (a) e IS (b) observaram que com exceção do noroeste do Estado, as magnitudes de dias com onda de calor no inverno são semelhantes para ambos os índices. De um modo geral, há um decaimento no número de dias com ondas de calor no inverno quando comparado com outono. Além destas características gerais, também é possível observar nas Figura 6 (a) e (b) um comportamento diferente dos índices, enquanto o IOMM não conseguiu identificar quase ou nenhuma onda de calor em toda parte central do Estado na diagonal sudoeste – nordeste Figura 6 (a). Já no método IS foi observado a ausência na região central e nordeste Figura 6 (b).

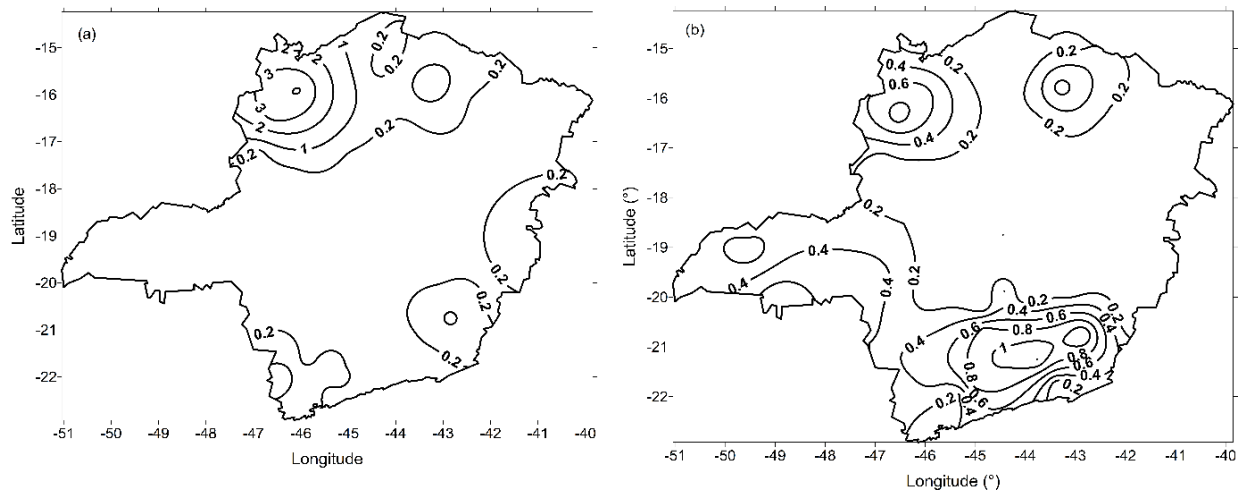


Figura 6 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor no inverno pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015.

Na Figura 7 é mostrada a distribuição espacial do número de dias de ondas de calor na primavera (setembro, outubro e novembro), média climatológica (1961- 2015). Observou que dois índices apresentaram um comportamento espacial relativamente semelhante contrariando o que foi verificado para as estações de inverno, outono e verão. Para o índice da Organização Mundial de meteorologia a Figura 7 (a) o valor máximo médio de duração de ondas de calor na primavera é de 3,6 dias de ocorrência do evento, é visto o que há maior duração de ondas de calor está registrada na região sudoeste e norte do estado sazonal Figura 7 (b) o valor médio de ondas de calor é de aproximadamente cerca de 3,2 dias de ocorrência do evento de calor no estado de Minas Gerais, observou-se núcleos com maiores valores na região sudoeste, centro-oeste e Sudeste do Estado. Segundo Bittencourt et al. (2016) as regiões sul e sudeste apresenta condições de tempo que são dominadas por sistemas meteorológicos transientes e as estações do ano são bem definidas em termos de temperatura na primavera

concentre-se as maiores frequências de onda de calor em relação às outras estações de um ano.

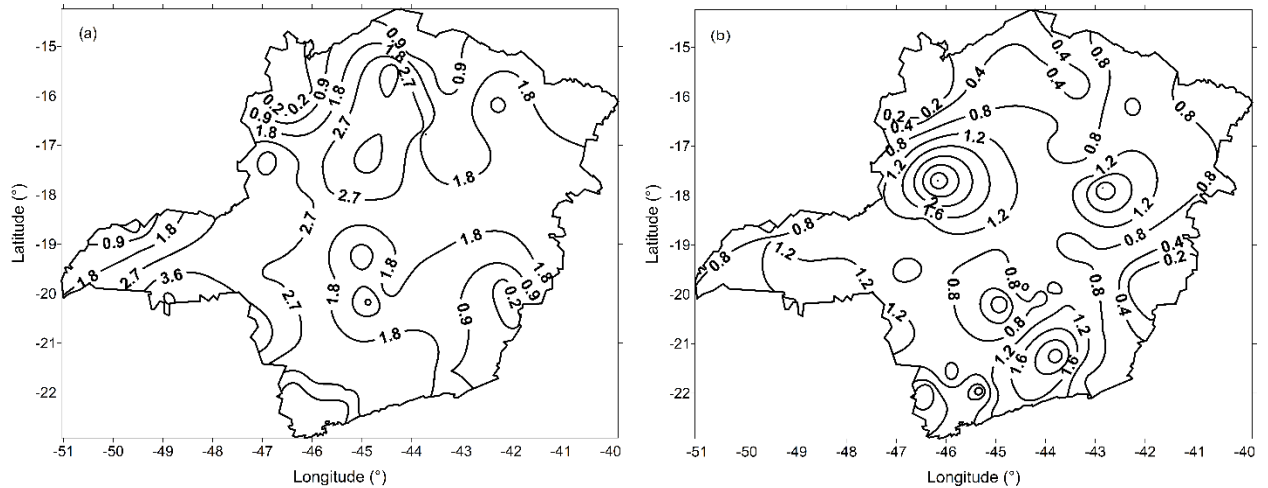


Figura 7 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor na primavera pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período correspondente de 1961 a 2015.

A Figura 8 mostra a comparação da média interanual do número médio de dias com ondas de calor, média climatológica (1961-2015) no estado de Minas Gerais para os três índices empregados, IOMM Figura 8 (a), Figura 8 (b) e o WSDI (Rclimdex) Figura 8 (c). Analisando os episódios de duração do evento de ondas de calor anualmente para observa que os índices tem uma semelhança de comportamento entre si. Porém, os índices da IOMM e o WSDI Figura 8 (a) e (c) conseguiram registra número de dias com maiores duração de ondas de calor. O índice WSDI Figura 8 (c) conseguiu identificar maiores quantidades de dias com ondas de calor nas regiões de noroeste e norte, triangulo mineiro, sul e sudeste e partes do centro-oeste e nordeste do estado. Enquanto, os índices da IOMM Figura 8 (a) e IS Figura 8 (b) identificaram maiores quantidades de dias com ondas de calor nas regiões de nordeste, sudoeste, sul do estado e em pequenas partes da região do triangulo e mineiro e centro-oeste. O índice IS é o que registra os menores valores de número de dias com ondas de calor em um ano, pois a sua metodologia suaviza os registros de onda de calor no verão.

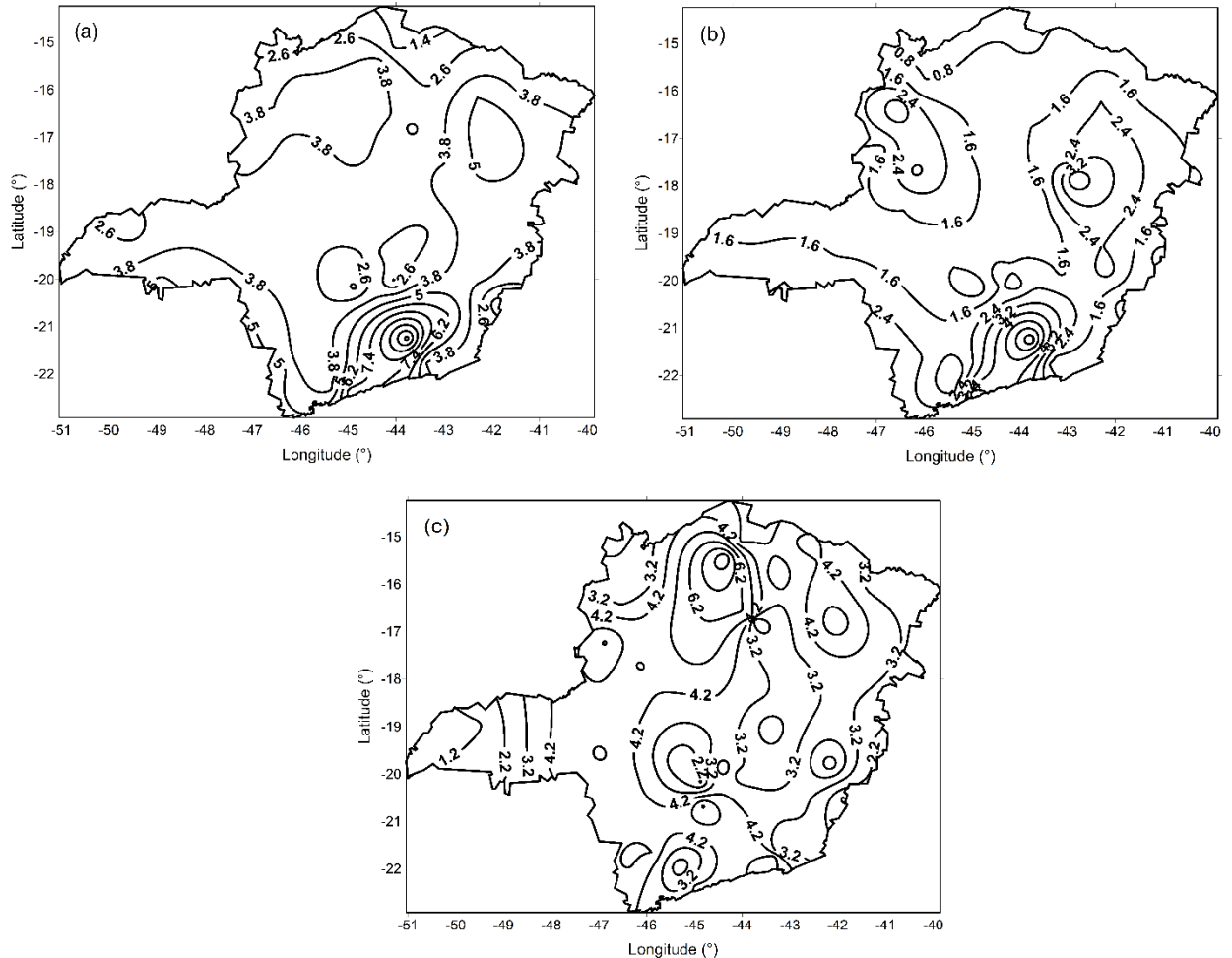


Figura 8 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de calor interanual, pelos métodos (a) IOMM, (b) IS e (c) WSDI no período de 1961 a 2015.

#### 4.2. MÉDIA CLIMATOLÓGICA DO NÚMERO DE DIAS COM ONDAS DE FRIO

Na análise da distribuição espacial do número médio climatológico (1961-2015) de dias de ondas de frio no estado de Minas Gerais utilizando os índices IOMM e IS observou-se comportamento diferente entre os índices. Verificou-se que no verão ambos os Índices Figura 9 (a) e (b) não registraram quase nenhuma ocorrência de ondas de frio para o período de 1961 a 2015, ou seja, aproximadamente semelhante aos eventos de ondas de calor na estação de inverno. De um modo geral, nota-se que na região sul os índices IOMM Figura 9 (a) e IS Figura 9 (b) exibiram pequenas quantidades de dias com ondas de frio. A razão por haver pequenas ocorrências de ondas de frio na região é devido ao aumento de temperatura no período do verão, já que é uma época do ano que tende a ter temperaturas mais altas em relação aos outros períodos do ano.

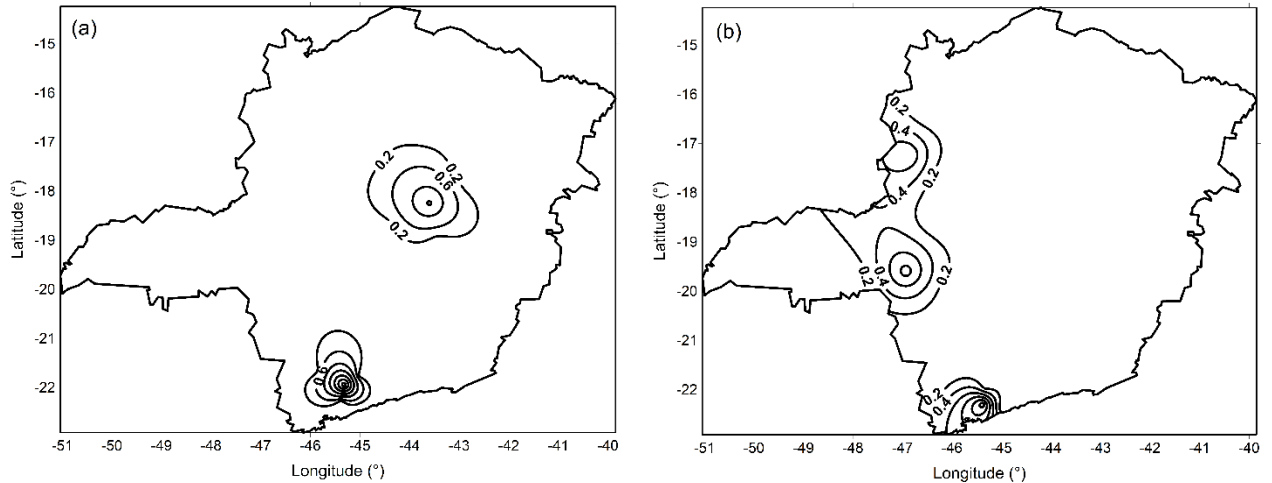


Figura 9 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio no verão, pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015

Para a estação de outono Figura 10, observa-se um comportamento um pouco homogêneo entre os índices, apresentados na Figura 10 (a) e (b). Nota-se, que é um período dos anos com aumento de número de ondas de frio, fenômeno quase não observado no verão. As regiões com maiores quantidade de eventos frios são sul, sudeste, centro-oeste e partes do triângulo mineiro. O Índice Sazonal Figura 10 (b) exibiu maiores quantidades de dias com ondas de frio do que o Índice da OMM.

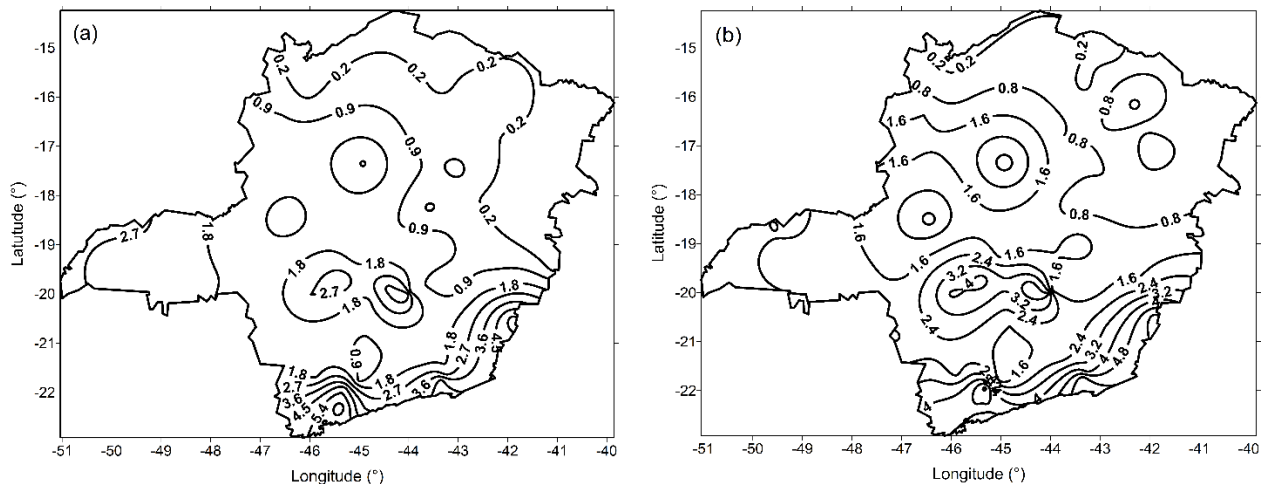


Figura 10 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio no outono, pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015

Ao analisar o número de dias com onda de frio médio climatológico (1961-2015) para o inverno Figura 11, observa-se uma enorme diferença entre os índices da OMM e sazonal. O Índice da OMM apresentado na Figura 11 (a), identificou maior quantidade de dias com temperatura a baixo da média com o decréscimo de 5°C, sendo que as maiores durações de

dias do evento de frio encontra-se nas regiões mais ao sul como região sudeste e centro-oeste, observou-se que os eventos de frio a região norte de Minas Gerais apresentou diminuição dos eventos e uma diminuição na parte mais ao norte, entretanto, o IOMM para conseguiu registra um número elevado de quantidade de dias com ondas de frio. Já o Índice Sazonal Figura 11 (b), mostrou ausência de ondas de frio em Minas Gerais. Levando em consideração aos dois índices, o IOMM permitiu uma melhor visualização e uma maior identificação da quantidade de dias de duração de ondas de frio no estado de Minas Gerais. Ressalta-se que a metodologia utilizada no IS para a análise de número de dias com ondas de frio suaviza o número destes eventos no inverno.

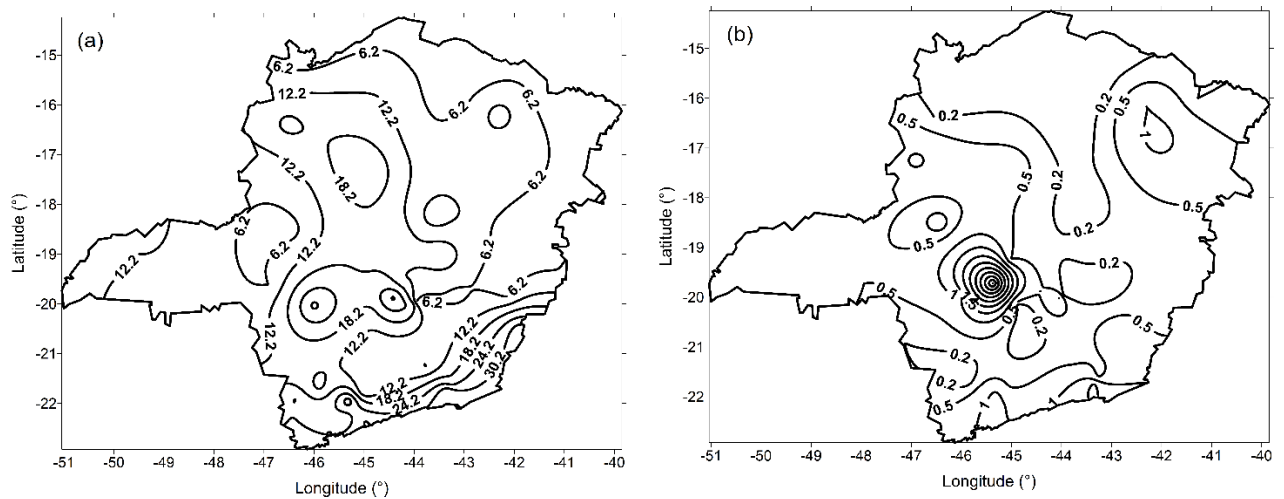


Figura 11 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio no inverno pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015

Durante a primavera Figura 12, nota-se que os índices se comportaram de forma diferente entre si. Para o inverno IOMM identificou maiores quantidades de dias com ondas de frio, já na primavera foi o índice sazonal como pode ser visto na Figura 12 (b). Sendo que a região centro-oeste com maiores quantidades de dias frios, e no sudeste e sul com menores quantidades de dias frios no estado.

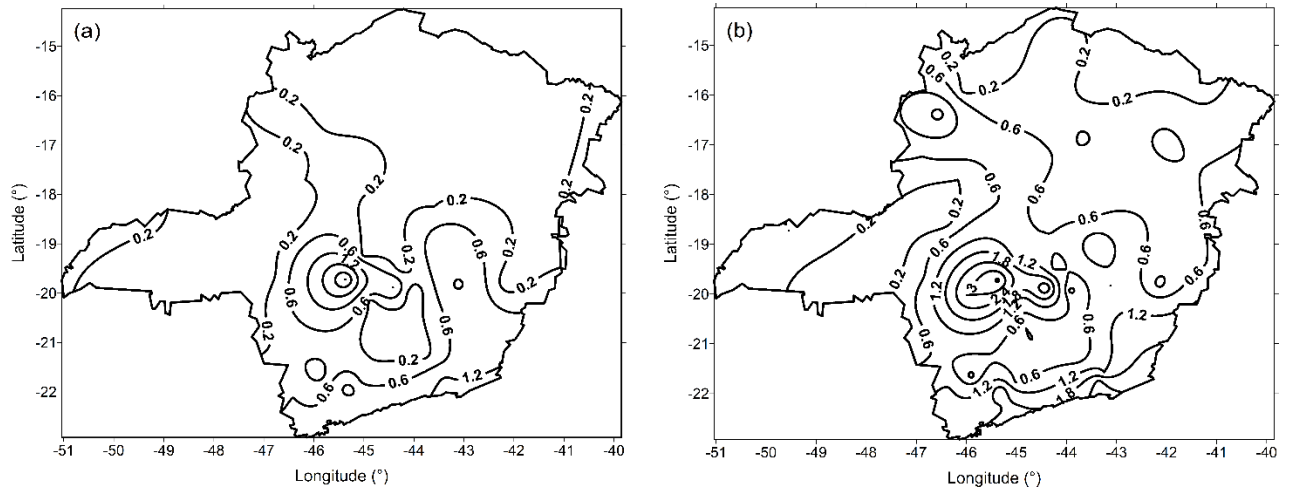


Figura 12 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio na primavera pelos métodos (a) IOMM e (b) IS no período de 1961 a 2015

Na Figura 13 tem-se a distribuição espacial da média climatológica anual do número de dias em que ocorreram ondas de frio no estado de Minas Gerais contabilizados usando os Índices da OMM, Sazonal e o CSDI, respectivamente, Figura 13 (a), (b), (c). Observa-se na Figura 13 (a), os maiores valores de números de dias com ondas de frio, quando comparado aos demais índices em todo o estado de Minas Gerais. As Figura 13 (b) e (c), apresentaram um comportamento semelhantes e valores com número de dias de eventos bem próximos. Para a identificação de ondas de frio no estado de Minas Gerais o Índice da OMM foi mais representativo. Embora em algumas estações do ano o índice sazonal conseguiu identificar um número maior de ondas de frio no estado quando separado por estação do ano (verão, outono, inverno e primavera). Sendo mais representativo na estação da primavera.

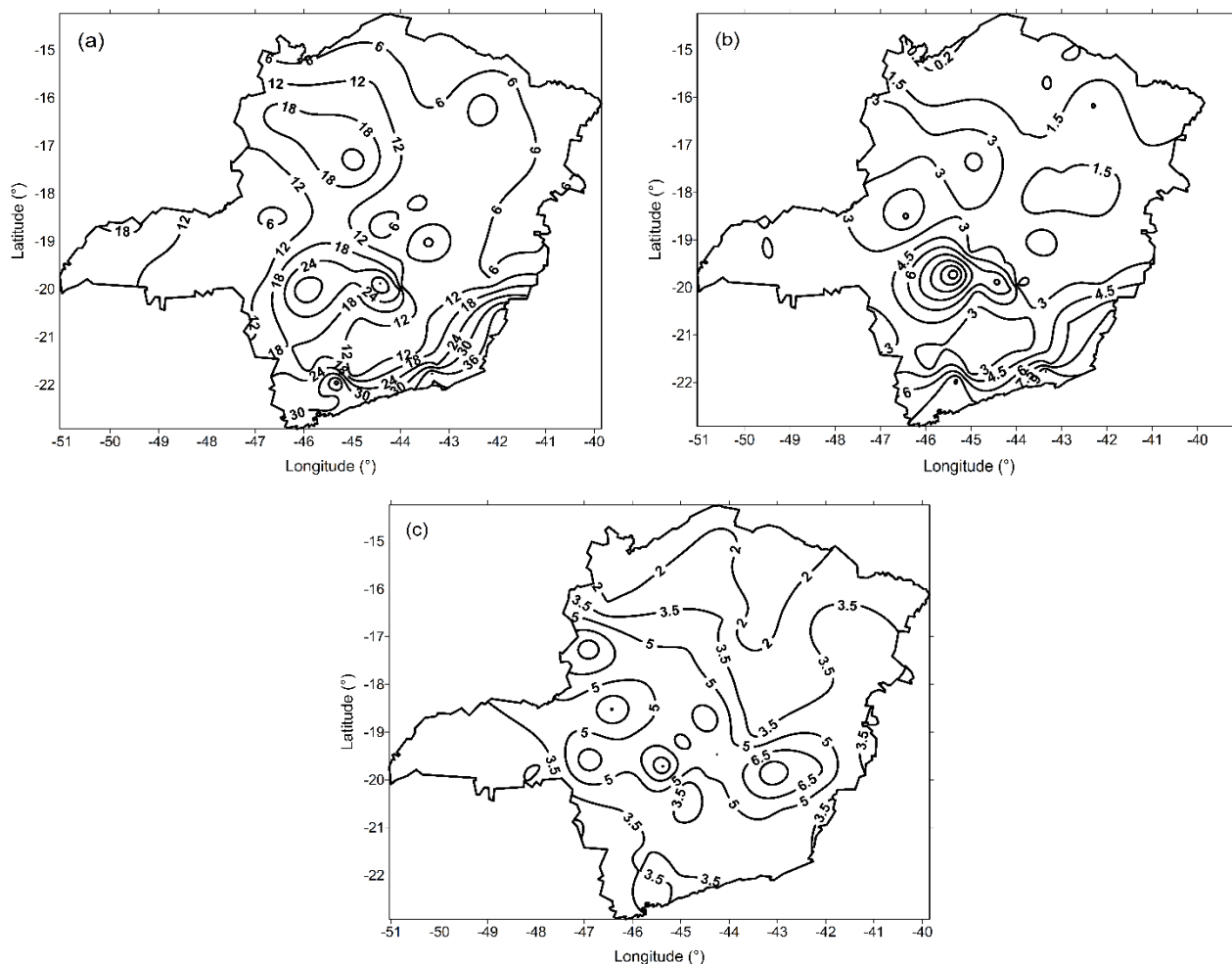


Figura 13 – Distribuição espacial das médias climatológicas do número de dias com ondas de frio anual pelos métodos (a) IOMM, (b) IS e (c) CSDI no período de 1961 a 2015

#### 4.3. ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELO TESTE DE MANN-KENDALL PARA ONDAS DE CALOR NO ESTADO DE MINAS GERAIS

O teste de Mann-Kendall foi aplicado para verificar tendências positivas e negativas na ocorrência do evento de ondas de calor no estado de Minas Gerais, considerando um nível de significância de 5%.

Nas Figura 14 (a), (b), (c) e (d) são apresentadas as configurações espaciais da tendência do número de dias com ondas de calor nas estações de verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. Na Figura 14(a) é possível observar que das 46 localidades utilizadas para análise de tendência apenas (6) mostraram significância estatística com nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ). Das cinco (6), localidades 5 apresentaram tendência de aumento no número de dias com ondas de calor no verão, e uma estação localizada do triângulo mineiro apresentou uma tendência de significância estatística negativa. As referidas localidades que apresentaram tendências estatisticamente positiva para os eventos de dias com

onda de calor foram Araçuaí, Araxá, Florestal, Januária e Machado. E a localidade que apresentou tendência negativa para o aumento de ondas de calor no verão foi Frutal localizada na região do triângulo mineiro. As demais localidades não apresentaram tendências significativas para o aumento ou diminuição dos eventos no período do verão.

Na Figura 14 (b) observa-se que no outono das 46 localidades apenas 1 mostrou tendência estatisticamente significativa, Barbacena, localizada na região sudeste de Minas Gerais, com nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ), as demais localidades apresentaram nenhuma tendências do evento de número de dias com ondas de calor no outono. Na Figura 14 (c) observa-se duas localidades, Florestal e Uberaba, que apresentaram tendência de aumento de número de dias com ondas de calor, no estado de Minas Gerais na estação de inverno.

A Figura 14 (d) mostra distribuição de tendências do número de dias com ondas de calor na primavera. Observa-se que das localidades estudadas 17 apresentaram significância estatística de aumento de ondas de calor no estado o nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ). Estas localidades estão situadas nas regiões norte (Januária e Montes Claros), nordeste (Araçuaí e Pedra azul), Centro Oeste (Diamantina, Sete Lagoas, Florestal, João Monlevade e Oliveira), sudeste (Barbacena e Caratinga), sul (São Sebastião do Paraíso), triângulo mineiro (Uberaba), oeste (João Pinheiro, Pirapora, Paracatu e Patos de Minas). Para determinação de aumento de ondas de calor no estado de Minas Gerais a estação da primavera (setembro, outubro e novembro) para o período de 1961 a 2015 obtiveram tendências positivas mostrando o aumento de número de ocorrência do evento de calor em todo o estado. As estações analisadas todas apresentaram tendências de aumento de ocorrências de dias com ondas de calor, relacionando as tendências de elevação da temperatura, isto foi também observado pela elevação da temperaturas máximas, segundo Minuzzi et al. (2010), trabalhando com séries de temperatura mínima e máxima da temperatura do ar no estado de Minas Gerais nos períodos de 1960 a 2004. Alguns autores identificaram ocorrência de ondas de calor nas regiões do Centro-oeste, sudeste e sul do Brasil. Segundo Bitencourt et al. (2016), observaram 31 casos de ondas de calor encontradas nas regiões sul, sudeste e centro oeste do País entre os meses de setembro e fevereiro, aproximadamente 40% dos casos de ondas de calor para essas regiões ocorreram no mês de outubro, concluindo que a maioria das ocorrências de ondas de calor estão na estação de primavera.



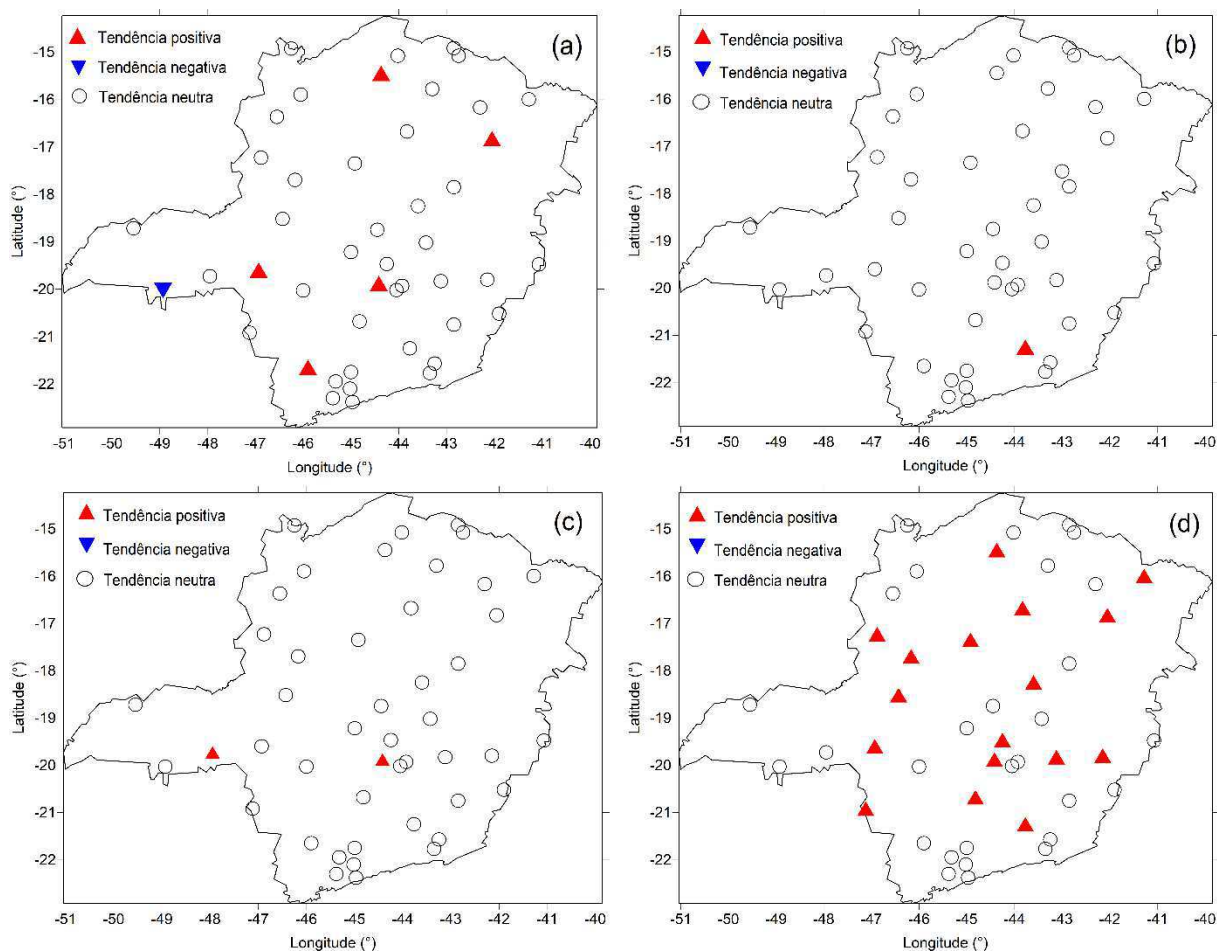


Figura 14 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrências de eventos de onda de calor no Estado de Minas Gerais, utilizando teste de Mann-Kendall e para o índice da OMM para o período 1961 – 2015 no verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d)

A Figura 15 mostra as distribuições espaciais de tendência para ocorrência do número de dias com ondas de calor anual pelos métodos IOMM (Figura 15(a)) e WSDI (Figura 15(b)). Na Figura 15 (a) é possível observar que em praticamente todo o Estado, verificou-se tendências estatisticamente positivas, ou seja, aumento no número de dias com ondas de calor no estado de Minas Gerais. Na Figura 15 (b) verificou-se as tendências do WSDI, que mostra o aumento no número de dias consecutivos em que TMax excedeu o percentil 90, observa-se um comportamento semelhante ao da Figura 15(a), pois, observou-se tendências positivas, ou seja, aumento no número de dias com ondas de calor, exceto em duas localidades ocorreram tendência negativa para os eventos de calor no estado Figura 15 (b). As localidades que apresentaram tendências estatisticamente negativas foram Mocimbinho e Juiz de Fora. Ainda sobre a Figura 15 (b) pode se observar menores quantidades de locais com tendências positivas, visualizando maiores quantidades de localidades com tendências neutras. É

observado também que em escala anual as tendências de dias com aumento de ocorrências de ondas de calor foi maior que em relação a escala zonal para estações de verão, outono e inverno, exceto na estação de primavera que foram identificadas maiores quantidades de localidade com tendências do aumento de dias com ondas de calor, autores como De Oliveira et al. (2018), também identificaram que na escala anual, o número de municípios com tendência de aumento, tanto nas temperaturas mínimas como nas máximas, foi maior do que o observado na escala sazonal.

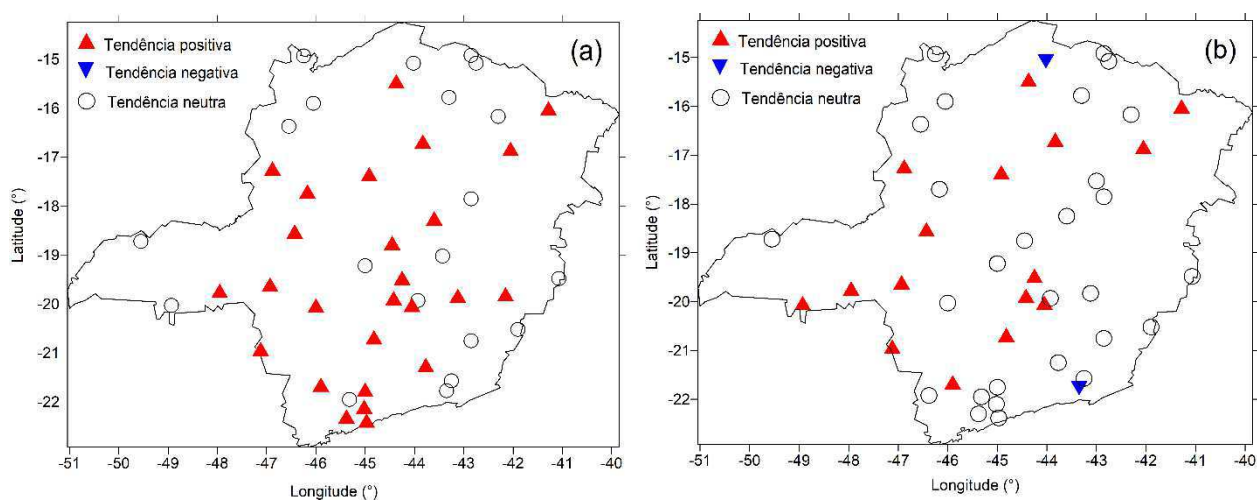


Figura 15 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrência de eventos de onda de calor no Estado de Minas Gerais pelo teste de Mann-Kendall para o período de 1961 – 2015 para ondas de calor pelos métodos (a) IOMM e (b) WSDI (Rclimdex).

#### 4.4. ANÁLISE DE TENDÊNCIA PELO TESTE DE MANN-KENDALL PARA ONDAS DE FRIO NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Também se utilizou o teste de Mann-Kendall para as análises de tendências positivas e negativas nas ocorrências do evento de ondas de frio no estado de Minas Gerais, considerando o mesmo nível de significância de 5%.

Nas Figura 16 (a), (b), (c) e (d) são apresentadas as análises da distribuição espacial das tendências de ocorrência do número de dias com ondas de frio, no estado de Minas Gerais, no verão, outono, inverno e primavera, respectivamente. De um modo geral, observa-se que quase todas as localidades apresentaram tendência estatisticamente significativa, excerto a primavera que mostrou aumento no número de dias com ondas de frio. Na Figura 16 (a), observou-se que apenas três estações apresentaram tendências negativas de a ocorrência de ondas de frio para as regiões sul e sudeste do Estado, apresentando três pontos de

tendências ao sul (Lambari, Machado e Maria da Fé) e outro negativa na região mais a sudeste (Araxá), e nenhuma tendência positiva para o verão nos meses (dezembro, janeiro e fevereiro). Na Figura 16 (b), observou-se o comportamento de distribuição de tendências negativas maior, no outono num total de 27 distribuídas nas regiões centro-oeste, sul, triângulo mineiro, oeste e na região nordeste do Estado. As outras localidades do estado apresentaram tendências com neutralidade.

Na Figura 16 (c), para a estação de inverno apresentou comportamento parecido com a estação de outono e verão com tendências negativas em poucas localidades do Estado com menores quantidades em relação a outono. A Figura 16 (d), mostrou poucas estações com significâncias estatística na primavera, apenas um ponto tem significância estatística de aumento de ondas de frio na localidade de Bambuí parte mais sudoeste do estado.

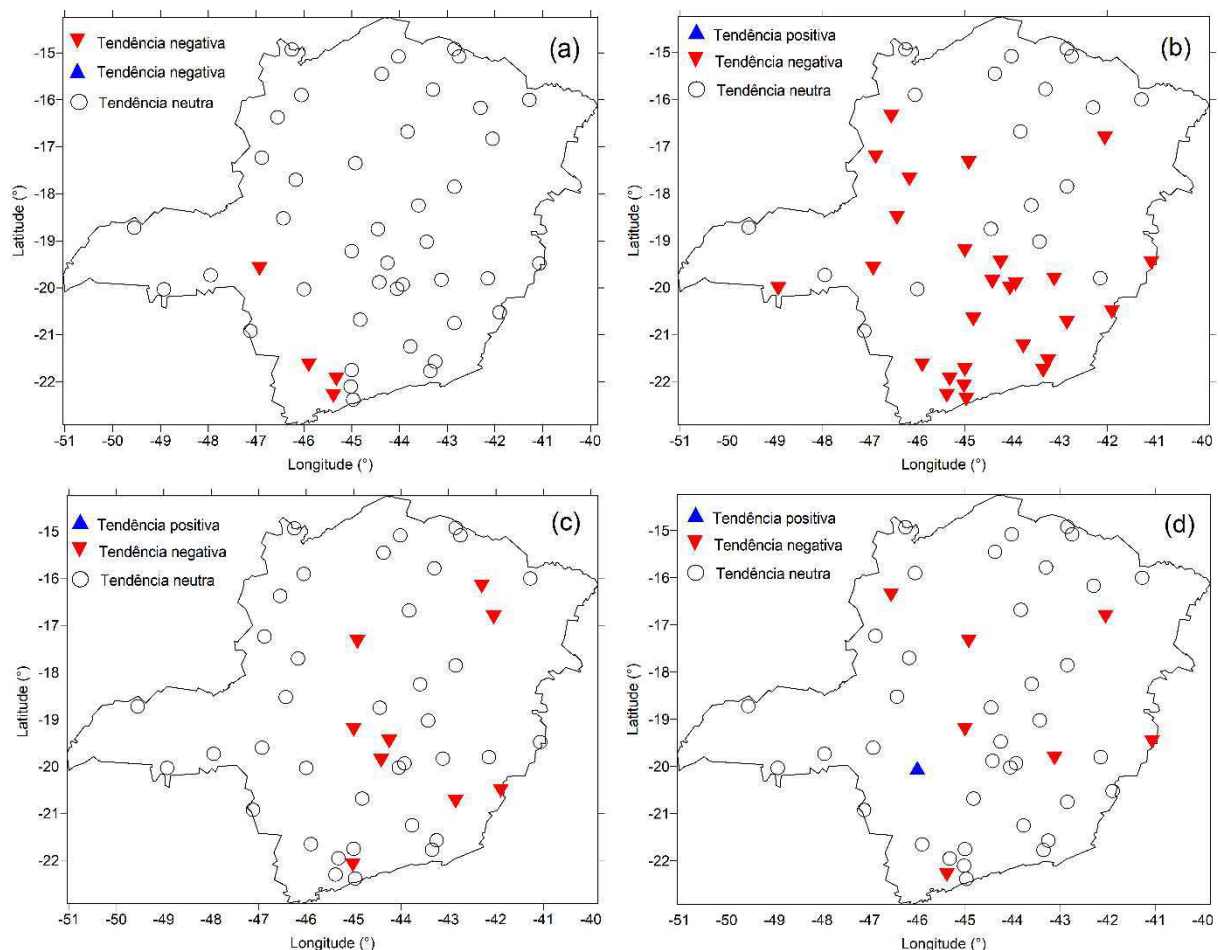


Figura 16 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrência de eventos de onda de frio no Estado de Minas Gerais, utilizando teste de Mann-Kendall para o período de 1961 – 2015 no de verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d).

A distribuição espacial da tendência para ocorrência de número de dias com ondas de frio durante o ano, pelos métodos IOMM (Figura 17a) e CSDI (Figura 7b), mostraram diminuição do número de dias com ondas de calor em todo estado de Minas Gerais no período de 1961 a 2015. Com isso pode-se observar que as localidades que apresentaram tendência com significância estatística mostraram uma diminuição de ondas de frio no Estado para o nível de significância maior de 5% ( $p > 0,05$ ). A Figura 15 (b), relativa ao CSDI, apresentou tendência predominante de diminuição de dias consecutivos com TMin abaixo do 10 percentil, tem um comportamento semelhante ao da Figura 15 (a), com tendências negativas para ondas de frio em quase todo o estado de Minas Gerais durante todo o período correspondente 1961 a 2015.

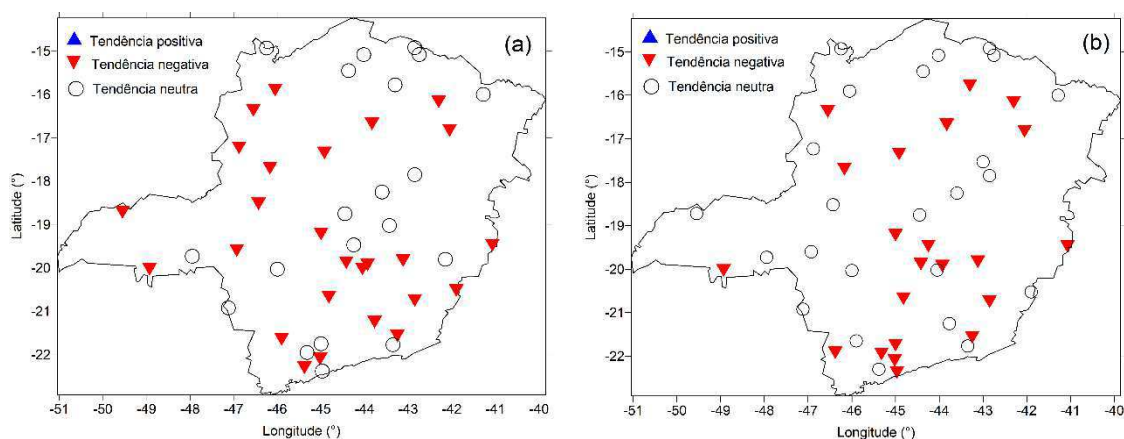


Figura 17 – Análise da distribuição espacial de tendência das ocorrências de eventos de onda de frio no Estado de Minas Gerais pelo teste de Mann-Kendall para o período de 1961 – 2015 para ondas de frio pelos métodos (a) IOMM e (b) CSDI (Rclimdex).

#### 4.5. ANÁLISE DO NÚMERO MÉDIO DE DIAS POR ANO DE ONDAS DE CALOR NO ESTADO DE MINAS GERAIS E TENDÊNCIAS PELO TESTE T DE STUDENT

A Figura 18 ilustra a variabilidade interanual do número de ondas de calor, no verão, para o estado de Minas Gerais, no período de 1961 a 2015, obtidos pelos índices IOMM e IS. Observa-se que o índice sazonal suavizou muito a ocorrência do evento de calor durante a estação de verão. É notório a visualização do aumento de ondas de calor durante o período de 1961 a 2015. A relação do aumento de ondas de calor no estado de Minas Gerais pode estar ligada também ao aumento de urbanização, pois as estações meteorológicas estão localizadas em áreas urbanas dos municípios, além do efeito de bloqueio da massa de ar quente na região. Nos anos de 1974 a 1983 houve uma pequena diminuição dos eventos de dias quentes, e a partir de 1984 notou-se o aumento de ondas de calor. Ao calcular-se a tendência pelo teste  $t$

para todo o estado de Minas Gerais no verão verificou-se que ambos os índices possuem tendências positivas para o aumento de ondas de calor, entretanto, a nível de significância estatística não foram satisfatório com IOMM  $t = 1,7293$  e IS de  $t = 1,5128$ , respectivamente.

Na Figura 19 mostra a variabilidade interanual do número de ondas de calor, no outono, para o estado de Minas Gerais, no período de 1961 a 2015, usando os índices IOMM e IS. Observa-se que os índices da OMM e IS apresentaram o mesmo comportamento de aumento de frequência de ondas de calor nos últimos 20 anos seguindo um padrão anual semelhante, embora o índice sazonal suavizando o efeito de ocorrência de eventos quentes no estado de Minas Gerais. Com relação as análises de tendências, os índices apresentaram tendências de aumento de ondas de calor, enquanto o IOMM apresentou tendências significativas para o aumento de ondas de calor, o IS suavizou muito a frequência dos eventos não apresentando tendências estatisticamente significativas.

A Figura 20 apresenta a variabilidade interanual do número de ondas de calor, no inverno, para o estado de Minas Gerais, no período de 1961 a 2015, usando os índices IOMM e IS. De um modo geral, verifica-se o mesmo comportamento dos Índices das análises anteriores (outono), enquanto, o IOMM identificou maiores quantidades de ondas de calor durante todo o período de estudo na estação de inverno o IS continuou suavizando a ocorrências dos eventos quentes. Em referência à análise de significância estatística embora mostrando o aumento de eventos quentes no Estado no inverno, não apresentou significância estatística.

A variabilidade interanual do número de dias ondas de calor na primavera é apresentada na Figura 21, comparando as estações outono, inverno e primavera observa-se que ocorreu um aumento significativo de eventos quentes no período de 1961- 2015, com maior número de ondas detectadas a partir dos anos 90, onde pode-se comprovar um comportamento crescente dos episódios. O IOMM foi o índice que conseguiu visualizar maiores quantidades de eventos em todas as estações do ano para o Estado.

Ao comparar as análises anteriores de tendências pontuais e o número médio de dias por estação observou-se um comportamento igual para a identificação de ondas calor na estação da primavera. As estações de verão e primavera registraram o maior número de ondas de calor.

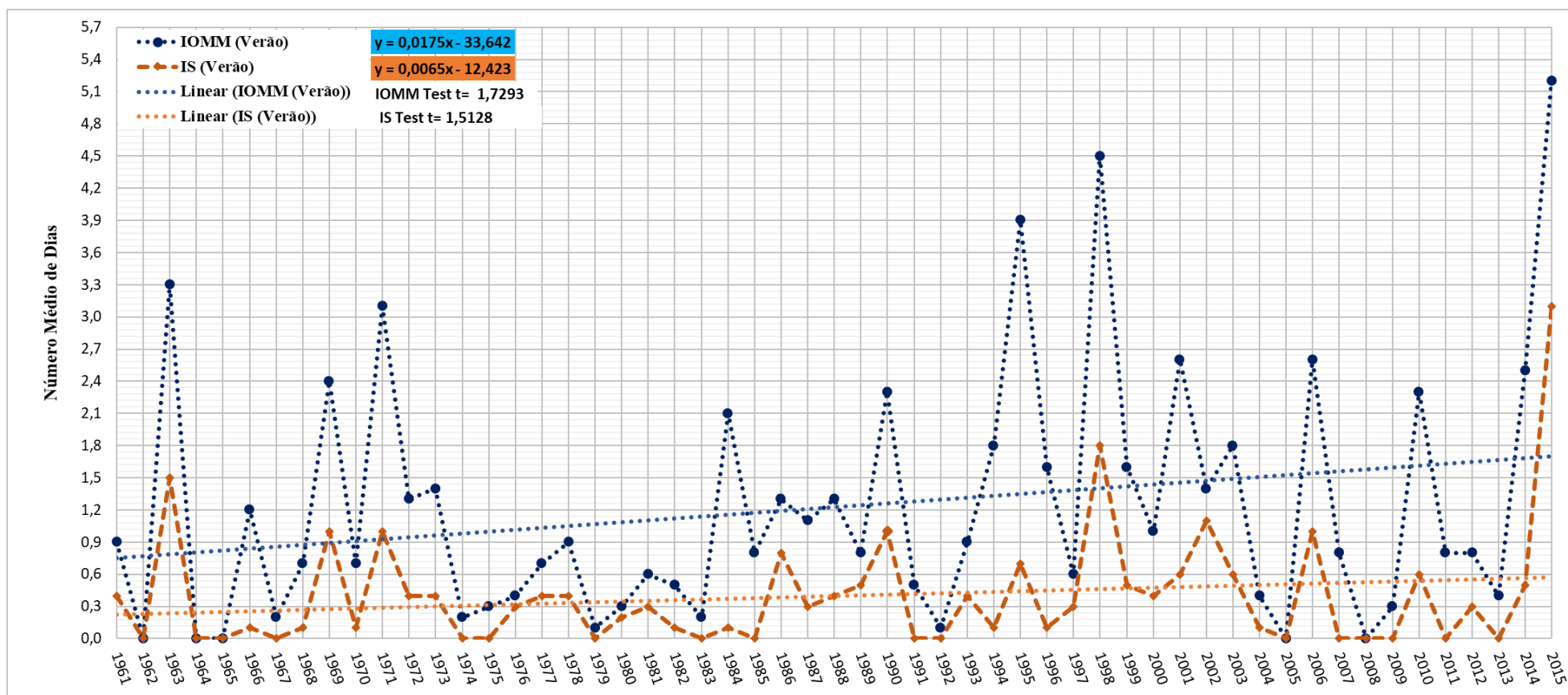


Figura 18 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais no Verão período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.

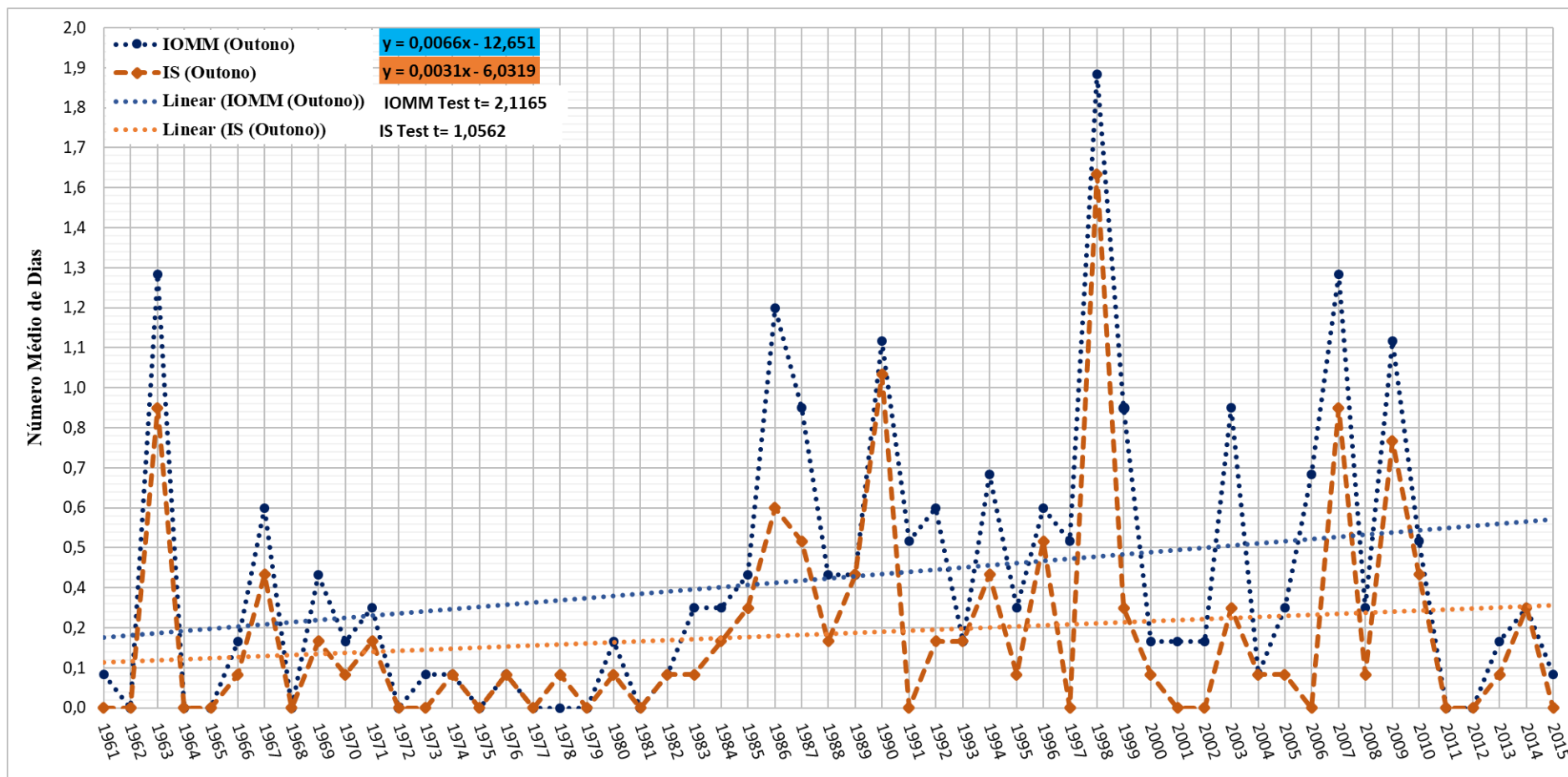


Figura 19 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais no Outono período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.

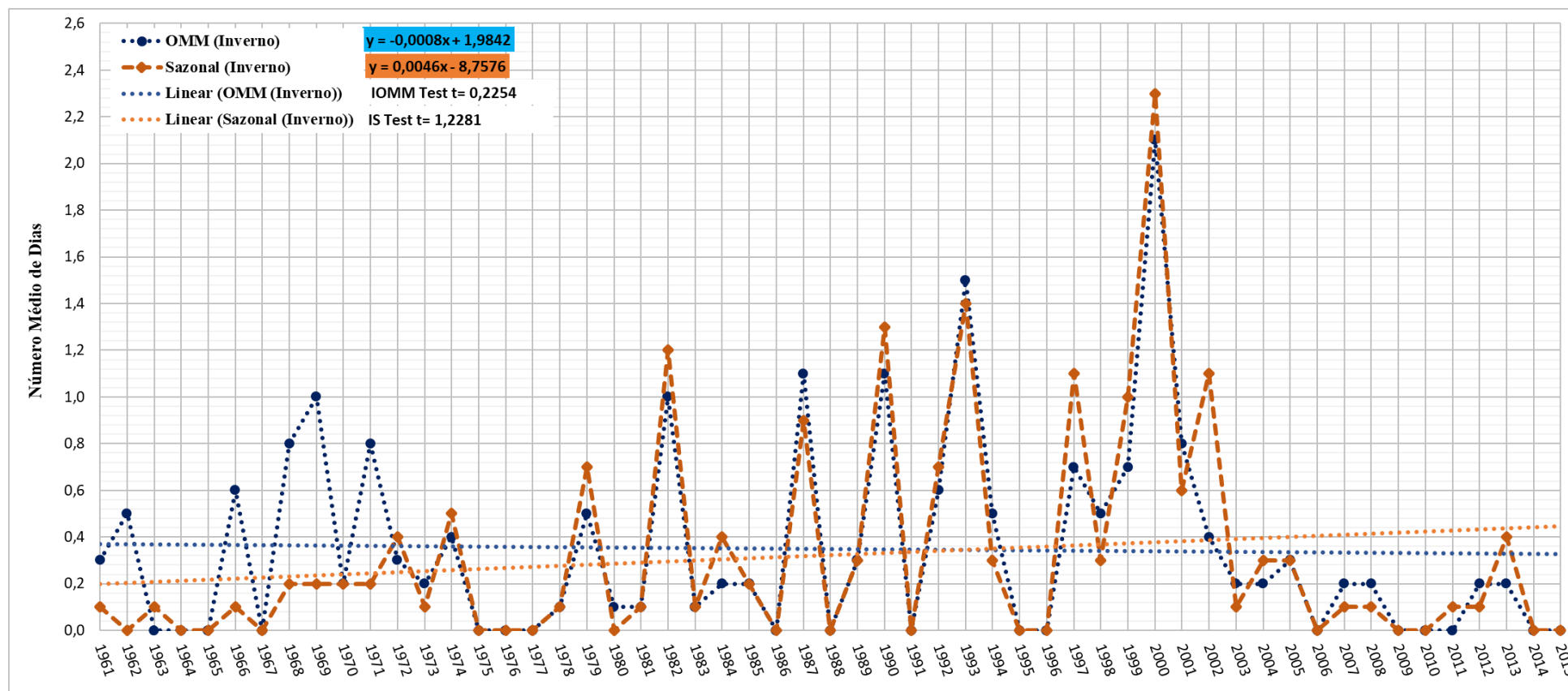


Figura 20 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais no Inverno período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.



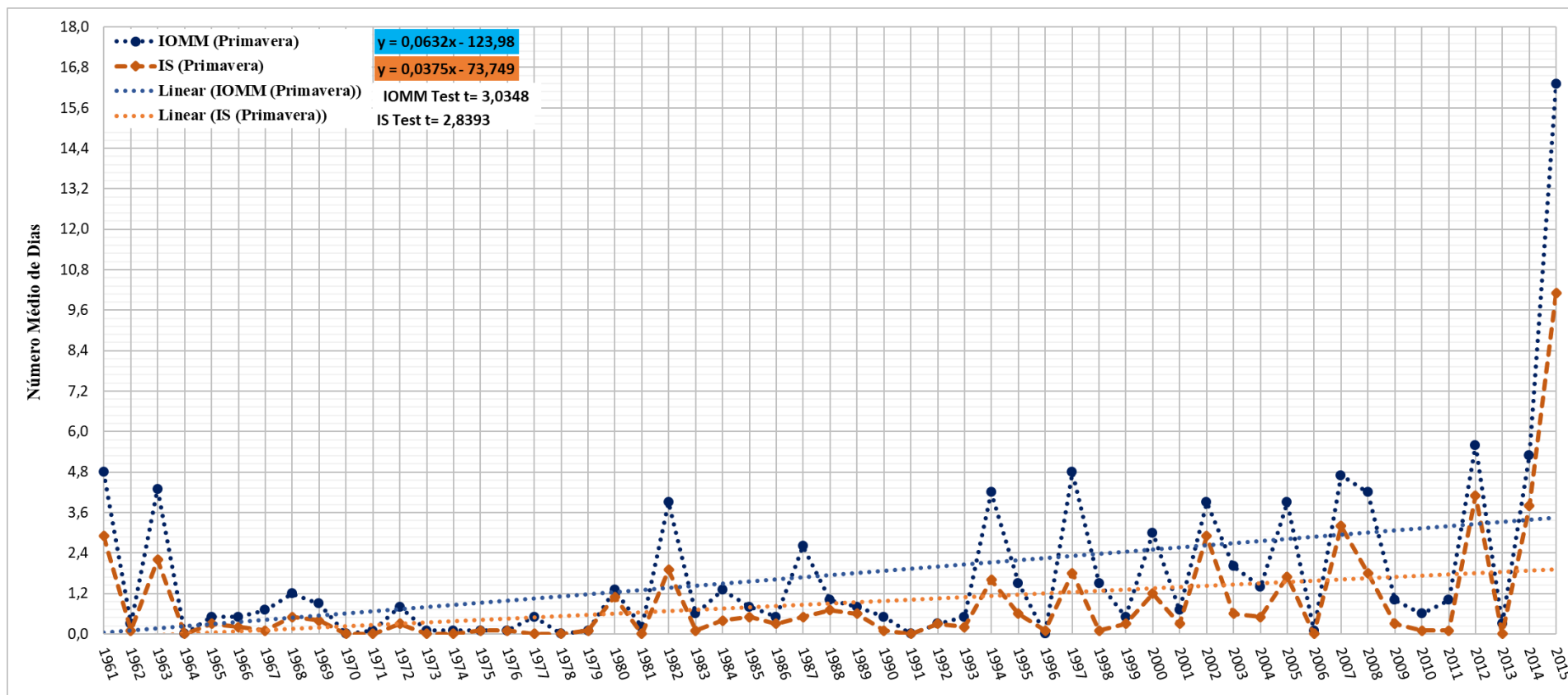


Figura 21 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais na Primavera período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.

A Figura 22 mostra a variabilidade interanual do número de ondas de calor, no período de 1961 a 2015, usando os índices IOMM, IS e WSDI. Observou-se que o número de dias com ondas de calor obtido pelos Índices IOMM, IS e WSDI, se comportaram de forma semelhante durante toda série, apresentando aumento de ondas de calor no Estado. O IOMM e WSDI foram os índices que mais detectaram ondas de calor no estado. Embora, o IS tenha aumento de ondas de calor, a escala sazonal, suavizou os eventos durante o verão, o que refletindo nos valores anuais. Com relação as tendências em escala anual observamos que as médias para os três índices apresentaram significância estatística, os métodos usados para o nível de significância de 95%, o  $t$  calculado obteve resultados superior a 2,021. Para os três índices calculados os valores de  $t = 2,8949, 3,4346$  e  $3,098$ , respectivamente. Ressalta-se que além da urbanização, os eventos de calor podem também estão relacionados com os episódios ENOS. Isso foi observado quando se analisou os dados referentes aos episódios com El Nino e La Nina, registrados na NOAA para a região do Niño 3.4, pode-se verificar que os anos que tiveram maior ocorrência de número de dias com ondas de calor foram anos de El Nino os de 1998 e 2015. Outro pico da ocorrência de ondas de calor foi observado na primavera de 1982, ano de evento de El Niño bastante intenso. Bitencourt et al. (2016) observou em seus estudos que para o Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País ocorreram 15 casos de ondas de calor no em período de El Niño, 6 com La Niña e 10 de ondas de calor em situação de neutralidade. Outros autores como Firpo et al. (2012) também constataram que para o estado do Rio Grande do Sul que em anos de El Niño ocorre um número maior de ondas de calor.

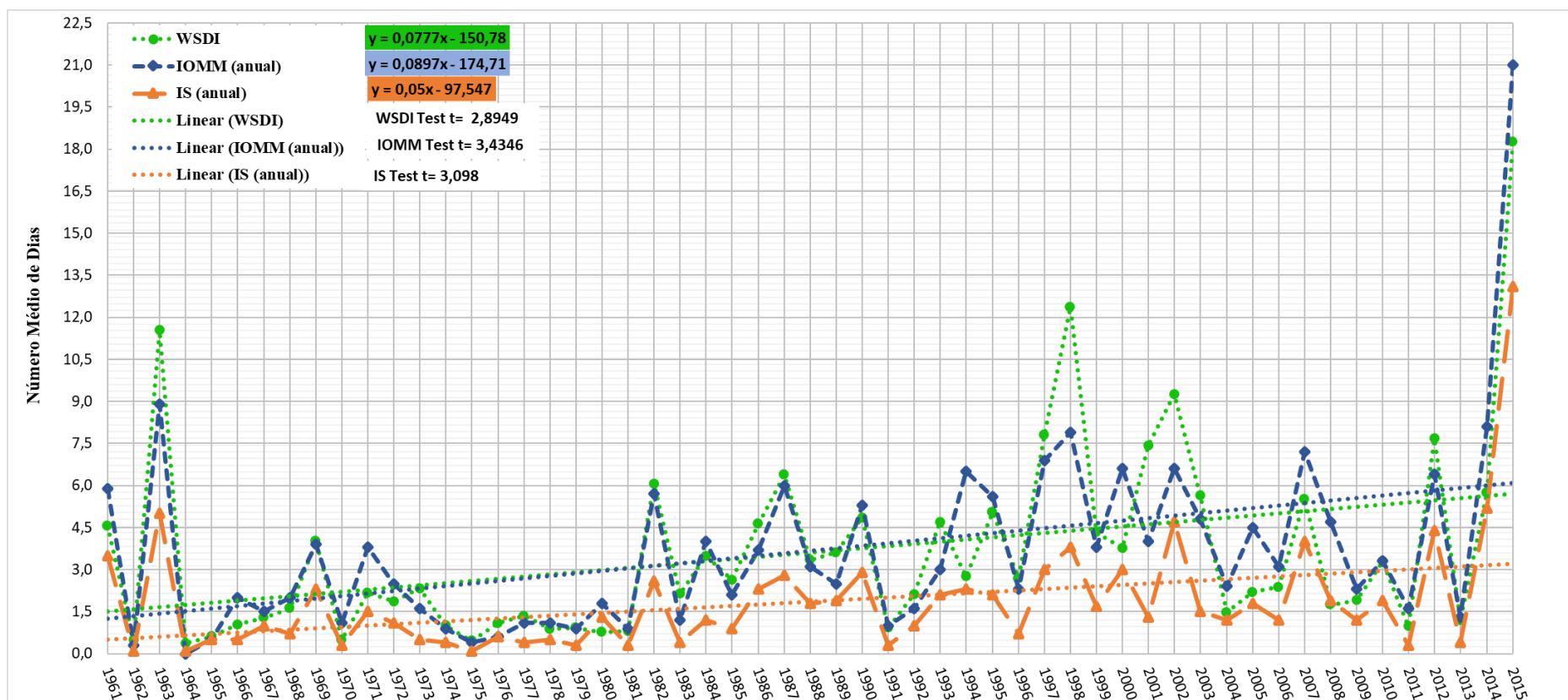


Figura 22 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de calor no estado de Minas Gerais em escala Interanual, período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM, linhas pontilhadas em laranja índice IS e linhas pontilhadas em verde índice WSDI.

#### 4.6. ANÁLISE DO NÚMERO MÉDIO DE DIAS POR ANO DE ONDAS DE FRIO NO ESTADO DE MINAS GERAIS E TENDÊNCIAS PELO TESTE T DE STUDENT

A figura 23 mostra a variabilidade interanual número de dias de ondas de frio na estação de verão, para o estado de Minas Gerais para o período de estudo utilizando os índices IOMM e IS. Comparando os métodos, observa-se que os mesmos não registraram ondas de frio nos meses referentes de verão. As ocorrências dos eventos frios observados foram bem pequenas, razão da qual quase não ocorre ondas de frio no verão é devido ao fato das temperaturas altas na estação. As análises das tendências em escala sazonal para os índices IOMM e IS com nível de significância 95% apresentaram,  $t$  6,805 e 3,0414 respectivamente.

Analisando a variabilidade interanual do número de ondas de frio, na estação de outono, Figura 24, observar-se que os índices IOMM e IS tiveram um comportamento semelhante durante todo período, seguindo mesmo perfil para determinação de dias com ondas de frio. As tendências dos índices para significância estatística de 95% apresentaram decréscimo na quantidade de dias com ondas de frio, o  $t$  Student calculado foi superior a 2,021, ou seja, de 3,4132 e 3,2429, respectivamente.

A análise da variabilidade interanual do número de ondas de frio, na estação de inverno, obtidas pelo o índice IOMM e IS podem ser vistos na Figura 25. Observa-se que o IS praticamente não detectou dias com ondas de frio no inverno. Portanto, para a estação de inverno é feita análise apenas para IOMM. A propósito, foi durante o inverno que o IOMM detectou o maior número de dias com ondas de frio, em geral, os anos com invernos em que se observaram os maiores número de dias com onda de frio foram nos anos de La Niña e em anos neutros. Ao analisar as tendências verifica-se diminuição, estatisticamente significativas, do número de dias com ondas de frio no inverno, apresentando  $t$  do teste de Student de 3,6745 e 1,7093.

A Figura 26 mostra a variabilidade interanual do número de ondas de frio na primavera, obtidos pelos índices IOMM e IS. Observou-se que que o índice IOMM na primavera detectou uma quantidade de dias com ondas de frio é inferior ao IS. Observa-se também um leve decaimento de número de ondas de frio na primavera. Embora tenham apresentado decaimento no número médio de dias com ondas de frio as tendências para os dois índices não apresentaram significâncias estatística, apresentando resultados de, 0,0019 e 0,8679, respectivamente. De Oliveira et al, (2018) constataram que as ondas de frios em algumas localidades de Minas Gerais ocorrem nos meses de abril, julho, agosto e outubro.

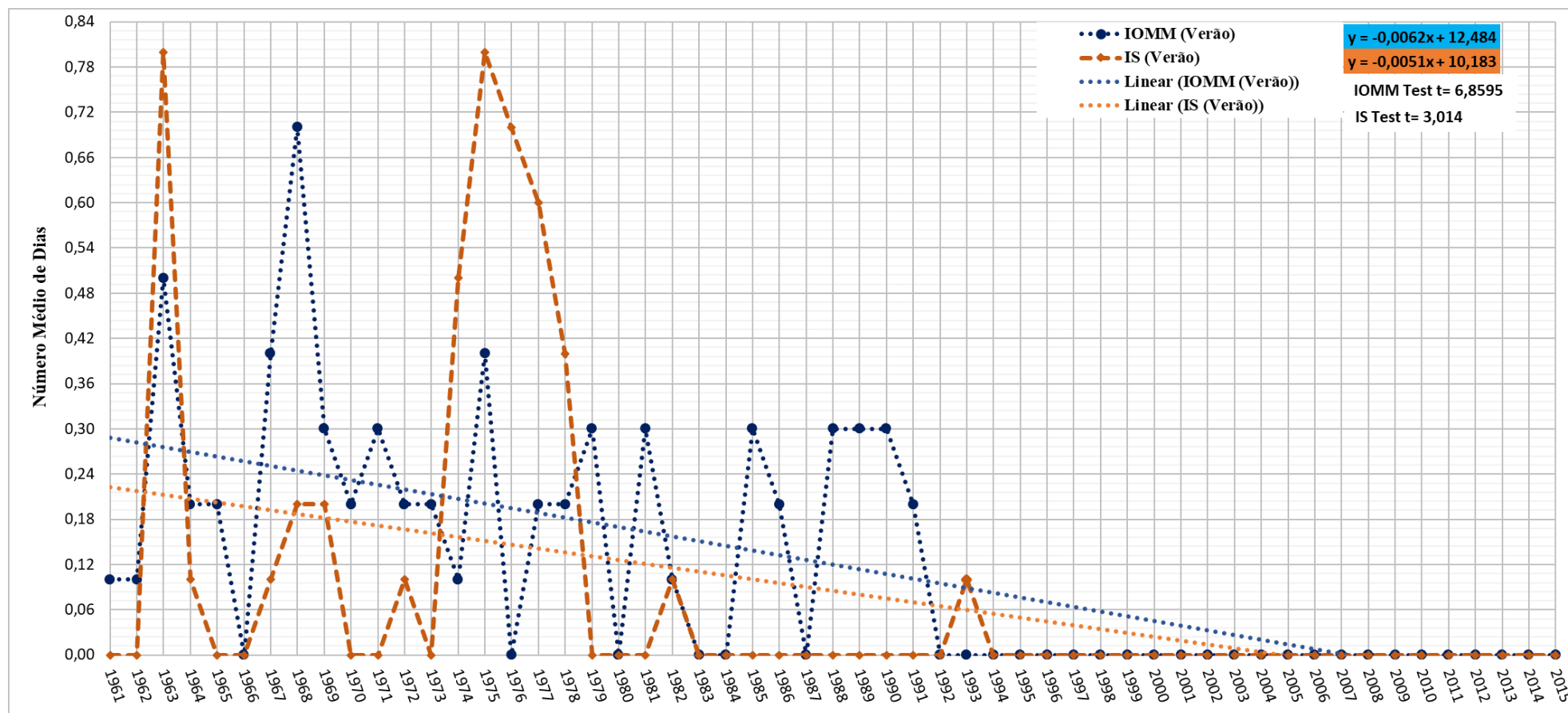


Figura 23 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais no Verão período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.

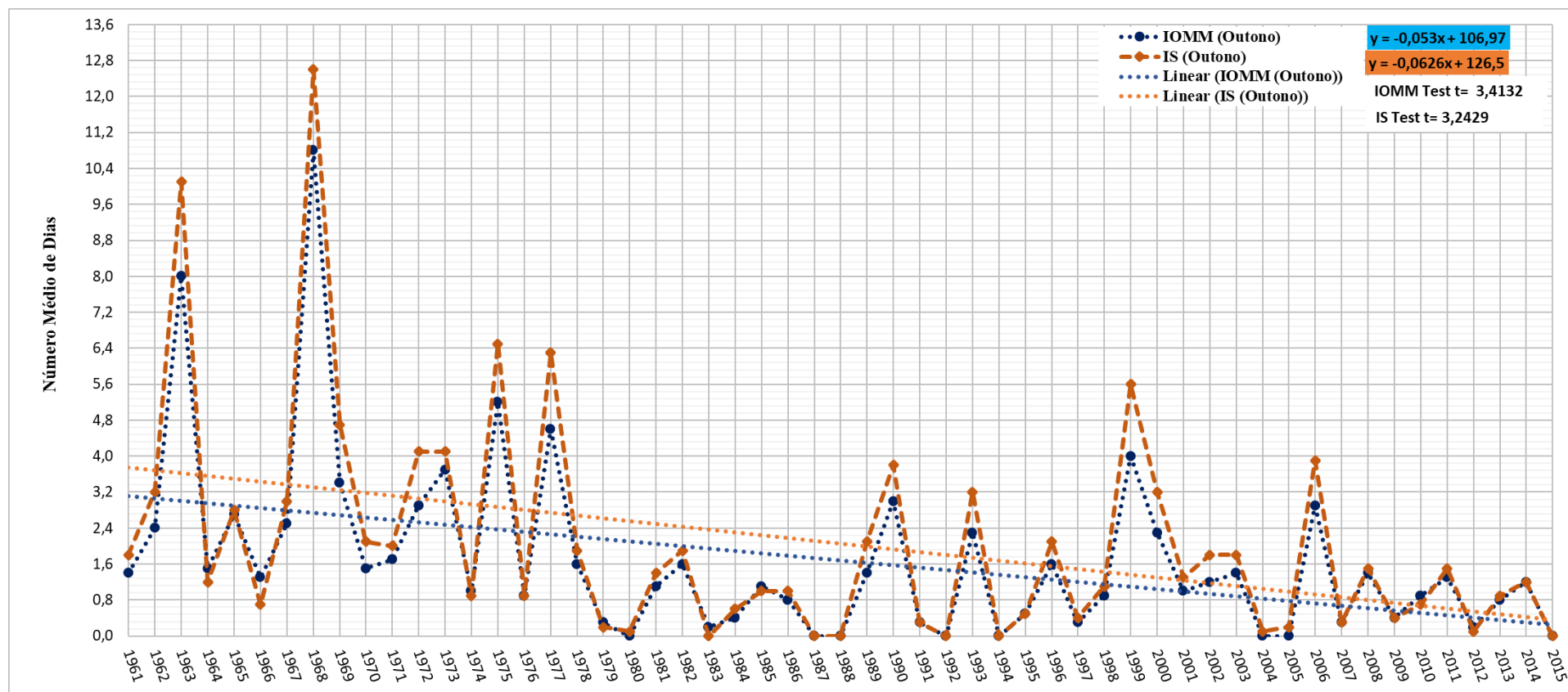


Figura 24 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais no Outono período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.

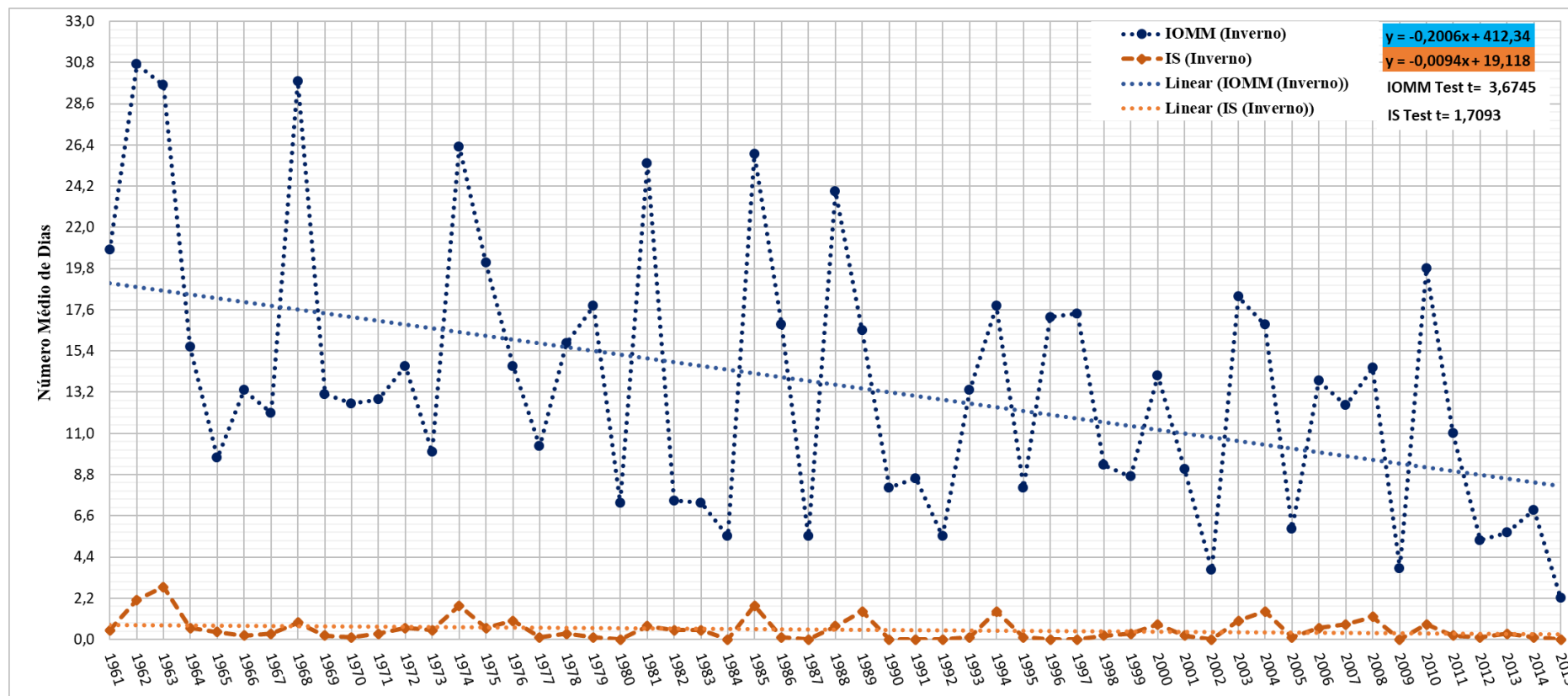


Figura 25 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais no Inverno período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.

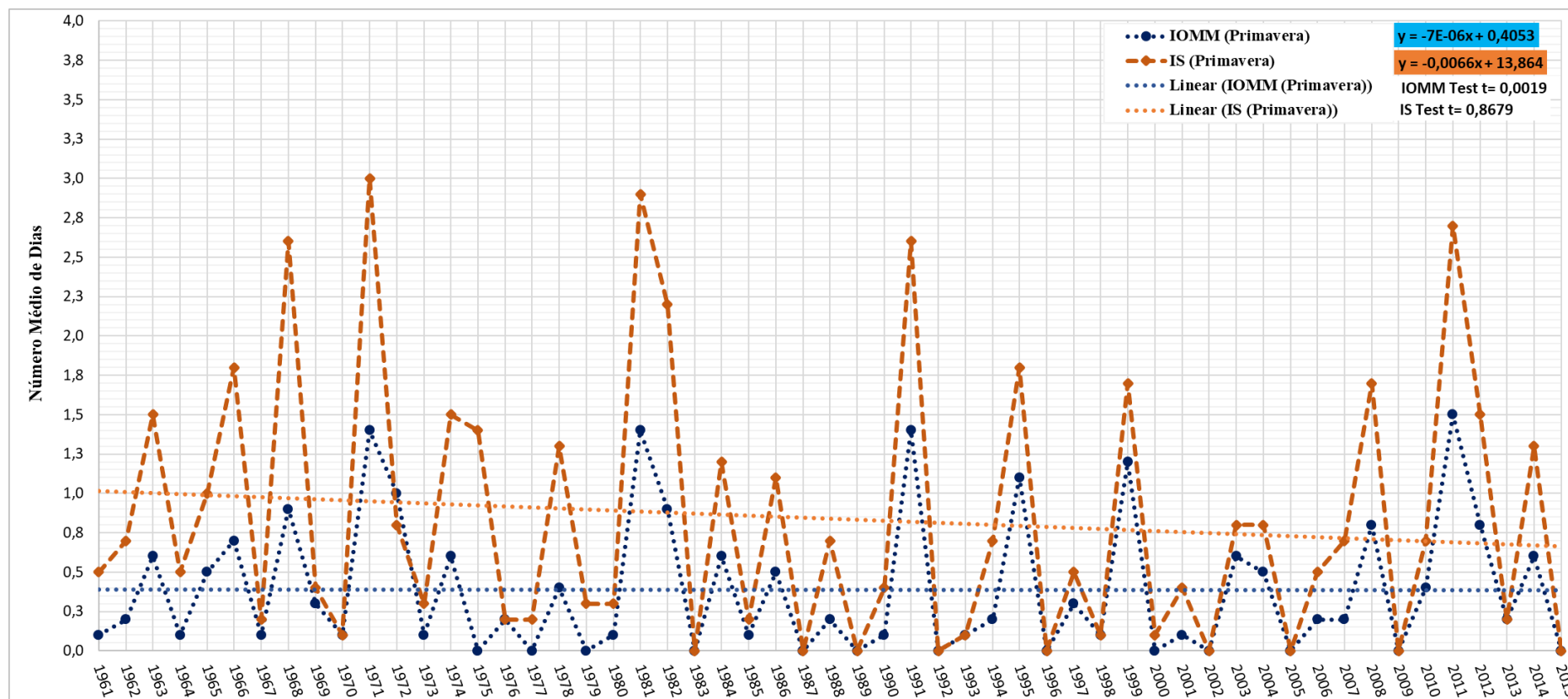


Figura 26 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais na Primavera período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM e linhas pontilhadas em laranja índice IS.



A Figura 27 mostra a variabilidade interanual do número de ondas de frio, obtidos a partir dos índices IOMM, IS e CSDI. A comparação efetuada para os três métodos pode-se observar que os índices tiveram comportamento divergentes ao longo da série para a quantidade de dias com ondas de frio, porém os índices mostraram um comportamento de diminuição ao longo dos anos. Observar-se que o índice da OMM determinou maiores quantidade do número médio de dias com ondas de frio acima dos demais índices. Já o IS e o CSDI apresentaram uma leve semelhança na determinação da quantidade de dias com ondas de frio, porém na maior parte da série de dados apresentaram variabilidade interanual diferente. Marengo (2001) observou que a quantidade de ondas de frio diminuía com o tempo e que as temperaturas médias de inverno mostram tendência de elevação. As tendências dos índices aplicados no estudo da variabilidade interanual apresentaram significância estatística de 95%, ou seja, 5,4717 para o CSDI 4,3461 e para IOMM de 3,3836 para o IS.

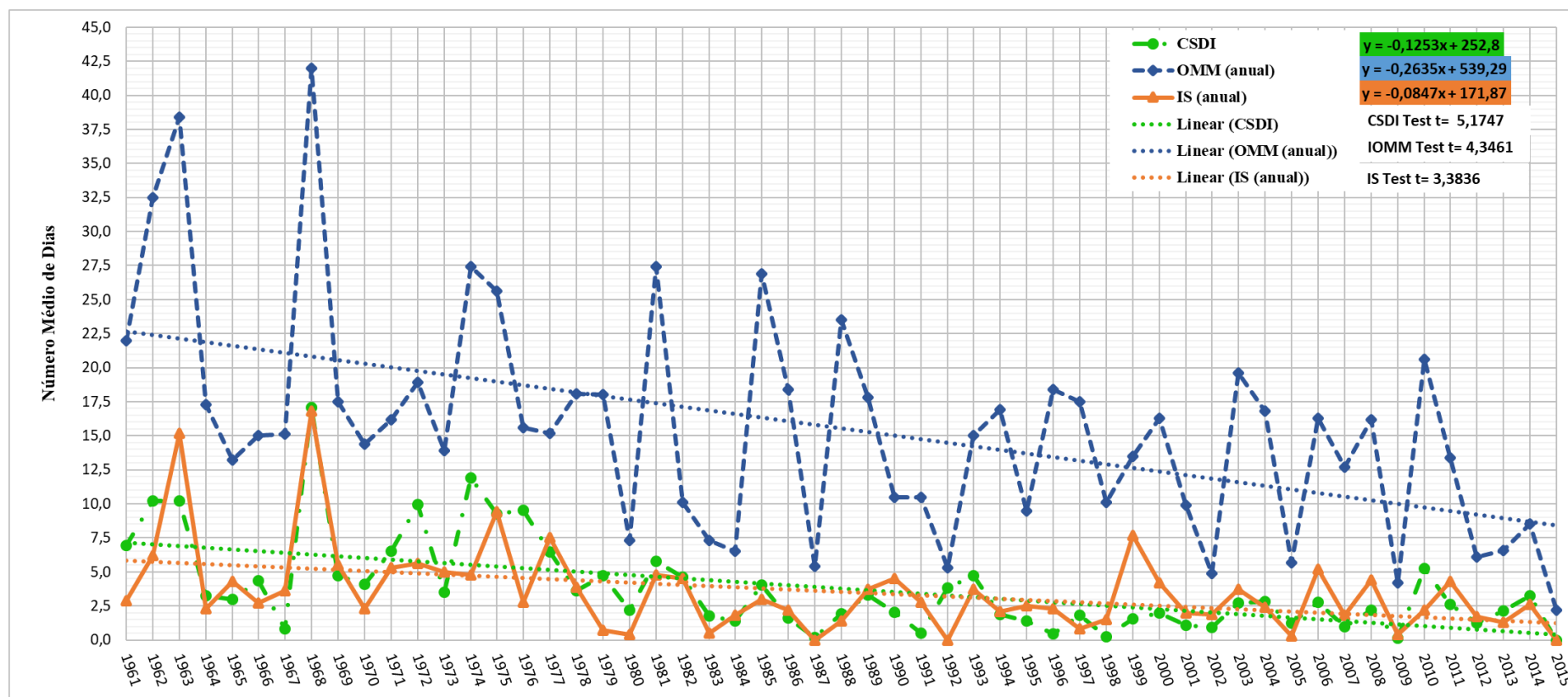


Figura 27 – Análise do número médio de dias por ano de ondas de frio no estado de Minas Gerais em escala Interanual período: 1961-2015. Linhas pontilhadas em azul índice IOMM, linhas em laranja índice IS e linhas pontilhadas em verde índice CSDI.

## 5. CONCLUSÕES

A partir da análise efetuada dos índices IOMM, IS, WSDI e CSDI resultante da aplicação dos dados de temperatura máxima e mínima no estado de Minas Gerais, conclui-se que o método IS subestima o número de dias com ondas de calor no verão e os com ondas de frio no inverno levando a uma subestimativa do número de dias com ondas de calor e de frio no estado.

A distribuição espacial do número médio climatológico do número de dias com ondas de calor, utilizando os índices IOMM e IS, revelou que os maiores valores são encontrados nas regiões sudeste-centro-nordeste do estado de Minas Gerais. O índice WSDI apresentou uma distribuição heterogênea sobre todo Estado. Portanto, pode-se concluir que as ondas de calor em Minas Gerais são decorrentes da atuação de sistemas de escala sinótica, tipo bloqueios atmosféricos com duração superior a cinco dias. O mesmo ocorre para ondas de frio que são decorrentes da atuação de sistemas frontais com duração superior a cinco dias.

A variabilidade interanual das ondas de calor (IOMM, IS e WSDI) e de frio (IOMM, IS e CSDI) em Minas Gerais, em geral, são dependentes da atuação de evento El Niño e La Niña, respectivamente. As análises de tendências ambos com índices apresentaram significância estatística para o aumento de número de ondas, embora as outras estações apresentem aumento de ondas de calor, as mesmas não apresentaram significâncias e mesmo o IS mostrou um comportamento de suavização para a estação de primavera ele foi estatisticamente significativo.

Na média climatológica, atualmente em Minas Gerais, observa-se um maior número de dias com ondas de frio que com ondas de calor. Entretanto, independente do índice utilizado (IOMM, IS, WSDI e CSDI) verificou-se uma diminuição, estatisticamente significativa, no número de dias com ondas de frio e um aumento do número de dias com ondas de calor. Portanto, pode-se conjecturar que nas próximas décadas o número de dias com ondas de calor será superior ao de número de dias com ondas de frio.

Finalmente analisando os dados da NOAA referente aos períodos com episódios de El Niño, Neutro, La Niña para a região do Niño 3.4<sup>1</sup>, verificou-se que os períodos anuais com o maior número de dias com ondas de frio ocorreram em anos de La Niña ou Neutro, enquanto, os anos com menores número de dias com ondas de frio são anos de El Niño ou Neutro, ou

---

<sup>1</sup> [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)

seja, anos de El Niño produz diminuição de dias com ondas de frio, enquanto, anos de La Niña colabora para um aumento do número de dias com ondas de frio em Minas Gerais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, MAGDA LUZIMAR. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Revista Geonomos*, v. 6, n. 2, 1998.

ALVARES, C.A., STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.

ALVES, M. P. A. *Ondas de frio inverniais em Santa Catarina e suas Relações com as Variabilidades Climáticas de Baixa Frequência*. Dissertação (Mestrado em Geografia). Florianópolis, 2016.

ANDRADE, K. M., & CAVALCANTI, I. F. Climatologia dos Sistemas Frontais e Padrões de Comportamento para o Verão na América do Sul. In Congresso Brasileiro de Meteorologia, v. 13, 2004.

ANGELOCCI, L. R., & SENTELHAS P. C. "Variabilidade, Anomalia e Mudança Climática." Material didático, 2007.

ASPIAZÚ, C.; G. A. RIBEIRO; R. L. VIANELLO; J. C. RIBEIRO; O. F. VALENTE & F. PAULA NETO. 1990. Análise dos componentes principais aplicados na classificação climática do Estado de Minas Gerais. Teste metodológico. *Revista Árvore* 14: 1-15.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; YANAGI, S. N. M.; NETO, O. B. S. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no estado de Minas Gerais. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, n. 4, p. 247-256, 2014.

BARCELLOS, C.; MONTEIRO, A. M. V.; CORVALÁN, C.; CARVALHO, M. S.; ARTAXO, P.; HACON, S.; RAGONI, V. Mudanças Climáticas e Ambientais e as Doenças Infecciosas: Cenários e Incertezas para o Brasil. *Epidemiologia Serviços de Saúde*, Brasília, v. 18(3): 285-304, jul-set 2009.

BARRY, ROGER G.; CHORLEY, RICHARD J. Atmosfera, Tempo e Clima. Tradução: COSTA, Ronaldo Cataldo. 9. ed. Porto Alegre: Bookman. 512 p, 2013.

BENISTON, M. The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, v. 31, n. 2, 2004.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003. 110p.

BIDEGAIN, M.; RENOM, M. Temperaturas Extremas y Amplitudes Diárias em Uruguay Condicionadas Segun el Fenomeno ENSO. Anais. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 12, 2002. , Foz do Iguacu. 2002, CD-Rom.

BITENCOURT, D. P., FUENTES, M. V., MAIA, P. A., & AMORIM, F. T. (2016). Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(4).

BOTELHO, J.; CATARINO, J.; CARREIRA, M.; CALADO, R.; NOGUEIRA, P.; PAIXÃO, E.; FALCÃO, J. Onda de calor de agosto de 2003: os seus efeitos sobre a mortalidade da população portuguesa. Relatório. Direção Geral da Saúde, Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge. 2004, 36p.

BRAGANZA, Karl; KAROLY, David J.; ARBLASTER, Julie M. Diurnal Temperature Range as an Index of Global Climate Change During the Twentieth Century. *Geophysical Research Letters*, v. 31, n. 13, 2004.

BUUREN, S. V. Flexible Imputation of Missing Data. [S.L.]: Crc Press. P. 17, 18, 20, 21, 27 e 31, 2012.

BUUREN, S. van; GROOTHUIS-OUDSHOORN, Karin. MICE: Multivariate imputation by chained equations in R. *Journal of Statistical Software*, p. 1-68, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. Frentes Frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, J.F.; JUSTI DA SILVA, M.G.A; SILVA DIAS, M.A.F. Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Texto, Cap.9, p. 135-147, 2009.

COSTA, M.R.C., HERMANN, G., MARTINS, C.M., LINS, L.V. Biodiversidade em Minas Gerais: um Atlas para sua Conservação. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, 1998.

CPTEC/INPE – Centro de Previsão e Estudos Climáticos. Disponível em:<<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 23 novembro 2018.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. O El Niño e o Clima em Minas Gerais. *Revista de Ciências*, Centro de Pesquisa e Extensão, Ed. 1. Fundação Educacional de Caratinga – FUNEC. Caratinga, MG. 1-9 p, 1999.

DE OLIVEIRA, A. S., PEREIRA, G. A., RODRIGUES, A. F., & NETO, J. D. O. M. Tendências em índices extremos de precipitação e temperatura do ar na cidade de Uberaba, MG. *Sustentare*, 2(1), 118-134, 2018.

DE OLIVEIRA, DAIANE EVANGELISTA; DE ASSIS, DÉBORA COUTO; FERREIRA, CASSIA DE CASTRO MARTINS. A Dinâmica Climática Regional em Municípios da Zona da Mata, Campos das Vertentes e Sul Sudoeste de Minas Gerais: Efeitos das Ondas de Frio e de Calor nas Atividades Agrícolas. *Revista Brasileira de Climatologia*, v 1, 2018.

DE SOUSA, E. P., COSTA, A., BRAGA, C., BRITO, J. I., SILVA, M. Padrões Climáticos da Razão de Mistura do Ar em Minas Gerais/Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 6, p. 1661-1672, 2015.

DOLE, RANDALL, et al. "Was There a Basis for Anticipating the 2010 Russian Heat Wave?" *Geophysical Research Letters*, v. 38, n. 6, 2011.

ESCOBAR, G. C. J. Padrões Sinóticos Associados a Ondas de Frio na Cidade de São Paulo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 22, p. 241-254, 2007.

FIRPO, M. Â. F., SANSIGOLO, C. A. & ASSIS, S. V. "Climatologia e Variabilidade Sazonal do Número de Ondas de Calor e de Frio no Rio Grande do Sul Associadas ao ENOS." *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 27, n. 1, 2012.

FIRPO, Mária Ândrea Feldman. *Ondas de frio e de calor para o Rio Grande do Sul e sua relação com El Niño e La Niña*. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas.

FORTI, G.; ACQUAOTTA, F.; FRATIANNI, S. The evolution of temperature extremes in the Gaspé Peninsula, Quebec, Canada (1974–2013). *Theoretical and Applied Climatology*, v. 130, n. 1-2, p. 163-172, 2017.

FREITAS, F. *Ondas de Calor em Portugal: Impacto Humano e Regimes de Regulação de Risco*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2011, 135p.

FREITAS, F. P. S. Ondas de calor em Portugal: Impacto Humano e Regimes de Regulação de Risco. MS thesis. FEUC, 2011.

GANDOLFI, Marina. Imputação múltipla via algoritmo MICE e método IMLD. 2016.

GARREAUD, R. D. Cold Air Incursions over Subtropical South America: Mean Structure and Dynamics. *Monthly Weather Review*, v. 128, p. 2544-2559, 2000.

GRIMM, A. M.; VERA, C.; MECHOSO, R. The South American Monsoon System. In: *The Global Monsoon System: Research and Forecast*. CHANG, C.-P.; WANG, B.; LAU, N. C.-G. (eds) WMO/TD 1266 – TMRP: pp. 542, 2005.

GRIMM, A.M, et al. Anomalias de precipitações no sul do Brasil em eventos El Nino. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1996, Campos do Jordão, SP.Anais.. Campos do Jordão: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1996, v.2, p. 1098-1102.*

GRIMM, A.M.; TOGATLIAN, I.M. Relação entre eventos El Nino /La Nina e frequência de extremos frios e quentes de temperatura no Cone Sul da América do Sul. In: *CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. Anais do... Foz do Iguaçu: SBMET, 2002. CD-ROM*

GRIMM, A.M.; TOGATLIAN, I.M. Relação entre eventos El Niño /La Niña e frequência de extremos frios e quentes de temperatura no Cone Sul da América do Sul. *Anais. Congresso Brasileiro De Meteorologia, 12, 2002, Foz do Iguaçu. 2002. CD-ROM.*

HESS, J.J.; SAHA, S.; LUBER, G. Summertime acute heat illness in U.S. emergency departments from 2006 through 2010: analysis of a nationally representative sample. *Environmental Health Perspectives*, v. 122, n. 11, p. 1209-1215, doi: 10.1289/ehp.1306796, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Summary for policymakers: contribution of working group I to the fourth assessment report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change. This Summary for Policymakers was formally approved at the 10th Session of Working Group I of the IPCC, Paris, February, 996 p., 2007.

IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [CORE WRITING TEAM, R.K. PACHAURI AND L.A. MEYER (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

KARL, T. R.; NICHOLLS, N.; GHAZI, A. Clivar/Gcos/Wmo Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes: Workshop Summary. *Climatic Change*, V.42, P.3-7, 1999.

KENDALL, M.G.. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London. 1975

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale Atmospheric Conditions Associated with Heavy Rainfall Episodes in Southeast Brasil. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 101, n. 1- 2, p. 121-135, 2010.

LUPO, A. R.; NOCERA, J. J.; BOSART, L. F. South American cold surges: types, composites, and cases studies. *Monthly Weather Review*, v. 129, n. 5, p. 1021-1041, 2001.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259. 1945.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 16, p 1-18, 2001a.

MARENGO, J.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. A.; SEA, W.. Cold surges in tropical and extratropical South America: The strong event in june 1994. *Monthly Weather Review*, v. 125, n.11, p. 2759-2786, 1997.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.4, p.537-545, 2007

MELO, J. S.; BRITO, J. I. B. Análise de ondas de calor e de frio em Passo Fundo/RS por quatro diferentes métodos. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão*, v. 3, p. 1-18, 2018.

MENDONÇA, M.; ROMERO, H. Ondas de frio, índices de oscilação e impactos socioambientais das variabilidades climáticas de baixa frequência na América do Sul. Edição Especial - "Climatologia Geográfica", *Revista Acta Geográfica (UFRR)*, v.2, p.185 - 185, 2012.

MINAS GERAIS (Estado). Portal do Governo de Minas Gerais. Disponível: [http://www.mg.gov.br/governomg/portal/c/gov\\_ernomg/conheca-minas](http://www.mg.gov.br/governomg/portal/c/gov_ernomg/conheca-minas). Acesso: 11 fev. 2018.

MINUZZI, R. B.; VIANELLO, R. L.; SEDIYAMA, G. C. Oscilações climáticas em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.2, 227 - 236, 2010.



MINUZZI, ROSANDRO BOLIGON, RUBENS LEITE VIANELLO, and GILBERTO CHOYAKU SEDIYAMA. "Oscilações Climáticas em Minas Gerais." *Revista Brasileira de Meteorologia* 25.2 (2010): 227-236.

MOLION, L.C.B. Variabilidade e Alterações Climáticas. Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 2007.

MUTIIBWA, D.; VAVRUS, S. J.; MCAFEE, S. A.; ALBRIGHT, T. P. Recent spatiotemporal patterns in temperature extremes across conterminous United States. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015. Doi: 10.1002/2015JD023598.

NIMER, E. Clima da Região Sudeste. In: Geografia do Brasil. Rio de Janeiro/IBGE, 1971  
Climatologia do Brasil. IBGE Rio de Janeiro: 1979.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, 1989. 421 p.

NOAA. National Weather Service - NOAA Center for Weather and Climate Prediction - Climate Prediction Center. Disponível em: <[http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)> Acesso em 15 de Setembro de 2018.

NOGUEIRA, P. e PAIXÃO, E. "Models for mortality associated with heatwaves: update of the Portuguese heat health warning system." *International Journal of Climatology*, v. 28, .p. 545-562, 2008.

NUNES, L.; VICENTE, A.K, CANDIDO, D.H.: Clima da região sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.de A. et al. (org.). Tempo e clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

OLIVIERA, G.S.; SATYAMURTY, P. O El Niño de 1997/98: Evolução e Impactos no Brasil. In: Anais X Congresso Brasileiro de Meteorologia. CD-ROM X Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1998.

PARAK, F.; ROSHANI, A.; JAMALI, J. B. Trends and Anomalies in Daily Climate Extremes over Iran during 1961–2010. *Journal of Environmental and Agricultural Sciences*, v.2, n. 11, 2015.

PETERSON, T., FOLLAND, C., GRUZA, G., HOGG, W., MOKSSIT, A., & PLUMMER, N. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs. Geneva: World Meteorological Organization, 2001.

PETERSON, T. C.; HOERLING, M. P.; STOTT, P. A.; HERRING, S. Monitoring and understanding changes in heat waves, cold waves, floods, and droughts in the United States: State of knowledge. *Bulletin American Meteorological Society*, v. 94, p. 821-834, 2013.

PEZZA, A. B., VAN RENSCH, P., & CAI, W. Severe Heat Waves in Southern Australia: Synoptic Climatology and Large Scale Connections. *Climate Dynamics*, v. 38, n. 1-2, p. 209-224, 2012.

PEZZA, A.B. & AMBRIZZI, T. Cold waves in South America and freezing temperatures in São Paulo: Historical background (1888-2003) and case studies of cyclone and anticyclone tracks. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2005, v. 20: 141-158.

PINTO, H. S., ASSAD, E. D., ZULLO JÚNIOR, J., & ÁVILA, A. D. (2003). Variabilidade climática. Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

PINTO, H. S.; ZULLO JR., J.; ZULLO, S. A. Oscilações pluviométricas temporais no E. S. Paulo. In: congresso brasileiro de agrometeorologia, 6., 1989, Maceió. Anais... Maceió: Soc. Bras. Agrometeorologia, 1989, p. 29-33.

PITTOCK, A. B. Patterns of climate variation in Argentina and Chile-II. Temperature. *Monthly Weather Review*, v. 108, n. 9, p. 1362-1369, 1980.

PLANO DIRETOR DE MOBILIDADE URBANA DE BELO HORIZONTE PLANMOB-BH 2030. Relatório Síntese relatório de Belo Horizonte, 2017. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estruturadegoverno/bhtrans/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%202017.08.24.pdf>>. Acesso em 05 de setembro de 2018.

RAMAGE, C. S. Monsoon Meteorology. Academic Press, New York and London, 296 p., 1971.

RAMOS, A. M.; TRIGO, R. M.; SANTO, F. E. Evolution of extreme temperatures over Portugal: recent changes and future scenarios. *Climate Research*, CR 48:177-192, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3354/cr00934>.

REBOITA, M. S., RODRIGUES, M., SILVA, L. F., & Alves, M. A. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais (CLIMATE ASPECTS IN MINAS GERAIS STATE). *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015.

RUBIN, D. B. Multiple Imputation for Nonresponse in Surveys. [S.L.]: John Wiley & Sons. 1987, P. 18, 22, 27, 28, 29, 30

RUSTICUCCI, M.M.; VARGAS, W.M. Interannual variability of temperature spells over Argentina. *Atmósfera*, v.14, p. 75-86, 2001.

SANT'ANNA NETO, J.L. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. In: *Revista Brasileira de Climatologia*, V.1, Nº1. Dezembro de 2005.

SATYAMURTY, P.; FONSECA, J.F.B.; BOTTINO, M.J.; SELUCHI, M.E.; LOURENÇO, M.C.M.; GONÇALVES, L.G. An early freeze in southern Brazil in April 1999 and its NWP guidance. *Meteorological Applications*, v.9, n.1, p.113-128, Mar. 2002.

SILVA, FABRICIO DOS SANTOS. *Cenários Climáticos atuais e Futuros da Produtividade do Algodão Herbáceo no Nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado, 2014.

TASIAN, G.E.; PULIDO, J.E.; GASPARRINI, A.; SAIGAL, C.S.; HORTON, B.P.; LANDIS, J.R.; MADISON, R.; KEREN, R. Daily mean temperature and clinical kidney stone

presentation in five U.S. metropolitan areas: A time-series analysis. *Environmental Health Perspectives*, v. 122, n. 10, p. 1081-1087, 2014.

VAN BUUREN, S. GROOTHUIS-OUDSHOOR, K. MICE: Multivariate Imputation by Chained Equations in R. *Journal of Statistical Software*, v. 45, 3, p.1-67, 2011.

VERA, C. S.; VIGLIAROLO, P. K. A Diagnostic Study of Cold – Air Outbreaks over South America. *Monthly Weather Review*, v. 128, p. 3 – 24, 2000.

VERA, C., HIGGINS, W., AMADOR, J., AMBRIZZI, T., GARREAUD, R., GOCHIS, D., ... & NOGUES-PAEGLE, J. Toward a unified view of the American monsoon systems. *Journal of Climate*, 19(20), 4977-5000., 2006.

VIANELLO, RUBENS LEITE; MAIA, LUIZ FRANCISCO PIRES GUIMARÃES. Estudo Preliminar da Climatologia Dinâmica do Estado de Minas Gerais. 1986.

YUE, S; PILON, P; CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology* 259:254-271. 2002.

ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change* 69:35-47. 2009.

ZHANG, Y.; GAO, Z.; PAN, Z.; LI, D.; HUANG, X. Spatiotemporal variability of extreme temperature frequency and amplitude in China. *Atmospheric Research*, v. 185, p. 131-141, 2017.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exists over South America? *Journal of Climate*, 1998. V. 11, p. 1020–1040.

ZWIERS, F. W., VON STORCH, H. (2004). On the role of statistics in climate research. *International Journal of Climatology*, 24(6), 665–680, 2004.