

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

MAYTHE FERNANDA ERNST

**IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE TEMPERATURA NO SUL DO
BRASIL**

**Porto Alegre
2022**

MAYTHE FERNANDA ERNST

**IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE TEMPERATURA NO SUL DO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Orientador: Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino

Porto Alegre

2022

MAYTHE FERNANDA ERNST

**IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE TEMPERATURA NO SUL DO
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

Orientador: Prof. Dr. Francisco Eliseu Aquino

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Venisse Schossler
INCT/Criosfera

Prof. Dr. Nelson Luiz Sambaqui Gruber
UFRGS

Prof. Dr. Fabio de Oliveira Sanches
UFJF

CIP - Catalogação na Publicação

Ernst, Maythe Fernanda
IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES HOMOGÊNEAS DE TEMPERATURA
NO SUL DO BRASIL / Maythe Fernanda Ernst. -- 2022.
55 f.
Orientador: Francisco Eliseu Aquino.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS,
2022.

1. análise de agrupamento. 2. regiões homogêneas.
3. climatologia. 4. temperatura. I. Eliseu Aquino,
Francisco, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), sob o Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pelo seu ensino público de qualidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Ao meu orientador, Dr. Francisco Eliseu Aquino, por todo o auxílio e incentivo. Obrigada por toda a ajuda.

Ao Denilson Ribeiro Viana por toda a ajuda e paciência nos últimos anos.

À Marla Ernst, que me apoiou e acreditou em mim durante toda a vida, dando-me a base para esta conquista. Obrigada por cada momento.

Ao Eduardo Ernst por sempre estar ao meu lado.

Ao Vyctor Ernst pela tolerância.

Ao Cauê Steques, por todo o apoio, paciência e companheirismo ao longo dos anos.

Às amigas que fiz na UFRGS e que se tornaram parte da minha vida: Dayara Boiani e Jorge Kalicheski.

À Saionara Pires, que sempre acreditou e me ajudou.

À Karina Lima, que me auxiliou nesse novo mundo.

À Heloisa Casagrande, pelas palavras de conforto em meio ao caos.

À Mariana Araújo, que sempre esteve presente.

À Gorda e à Adri, que me deixaram durante essa jornada, mas que serão sempre amadas.

Ao Mauzi e ao Alemão, que trouxeram alegria novamente à família.

A todos aqueles que me auxiliaram, direta ou indiretamente, ao longo dessa caminhada.

RESUMO

O presente estudo objetiva determinar Regiões Homogêneas (RH) de temperatura média na Região Sul do Brasil. Neste estudo, foram utilizados os dados meteorológicos de temperatura média de 229 pontos do *Climatic Research Unit/British Atmospheric Data Centre* (CRU/BADC), com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ no período de 1991 a 2020. Foram calculadas as anomalias de temperatura média de cada ponto do CRU/BADC para a identificação das regiões homogêneas, as quais foram definidas por meio de uma análise de agrupamento hierárquico, gerando 228 estágios. Os últimos 50 estágios foram utilizados para a identificação das distâncias reescaladas para percentual. O *Ward's method of sum-of-squares* foi o método de agrupamento utilizado. Foram identificadas quatro regiões homogêneas de temperatura na Região Sul do Brasil, todas apresentando tendências positivas anuais e sazonais de temperatura. Em três das quatro regiões, as maiores tendências ocorreram na primavera, e as menores, no inverno. O Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (PRAN), do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), e o Sexto Relatório de Avaliação (AR6), do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), foram utilizados para avaliar se as regiões homogêneas estavam apresentando o comportamento esperado pelos estudos. As regiões localizadas dentro do bioma Pampa apresentaram tendências inferiores às regiões localizadas no bioma Mata Atlântica. As quatro RH apresentam aumentos inferiores aos projetados pelo AR6 para o ano de 2040, três RH apresentam tendências dentro do esperado para 2100 e duas apresentam tendências dentro do esperado para 2060.

Palavras-chave: análise de agrupamento; regiões homogêneas; climatologia; temperatura.

ABSTRACT

The present study aims to determine Homogeneous Regions (RH) of average temperature ($T_{\text{méd}}$) in the Southern Region of Brazil (RSB). In this study, meteorological data of average temperature of 229 points from the Climatic Research Unit/British Atmospheric Data Center (CRU/BADC) with a spatial resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ in the period from 1991 to 2020. The $T_{\text{méd}}$ anomalies of each CRU/BADC point for the identification of RH were calculated. RH were defined using Hierarchical Cluster Analysis (AAH). The AAH generated 228 stages, the last 50 stages were used to identify the rescaled distances to percentage. The Ward's method of sum-of-squares (Ward) was the grouping method used. Four temperature RHs were identified in the RSB, all showing positive annual and seasonal temperature trends. In three of the four regions the highest trends occurred in spring and the lowest in winter. The First National Assessment Report (PRAN), from the Brazilian Panel on Climate Change (PBMC), and the Sixth Assessment Report (AR6), from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), were used to assess whether RH were presenting the behavior expected by the studies. The regions located within the Pampa biome showed lower trends than the regions located in the Atlantic Forest biome. The four RH present lower increases than those projected by the AR6 for the year 2040, three RH present trends within expectations for 2100 and two present trends within expectations for 2060.

Keywords: Cluster Analysis, Homogeneous Regions, Climatology, Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da Região Sul do Brasil.....	15
Figura 2 - Anticiclones atuantes na América do Sul	21
Figura 3 - Massas de ar da América do Sul no verão	22
Figura 4 – Representação do avanço de uma frente fria	23
Figura 5 - Regiões homogêneas de temperatura de Viana.....	26
Figura 6 - Pontos de grade para a Região Sul do Brasil	27
Figura 7 – Distâncias reescaladas para percentual.....	31
Figura 8 - Dendrograma da Região Sul do Brasil.....	32
Figura 9 - Regiões homogêneas de temperatura média	32
Figura 10 - Mapa de localização da Região Homogênea 1.....	33
Figura 11 - Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 1.....	34
Figura 12 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 1.....	35
Figura 13 - Mapa de localização da Região Homogênea 2.....	37
Figura 14 – Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 2.....	38
Figura 15 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 2.....	39
Figura 16 - Mapa de localização da Região Homogênea 3.....	41
Figura 17 - Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 3.....	42
Figura 18 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 3.....	43
Figura 19 - Mapa de localização da Região Homogênea 4.....	45
Figura 20 - Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 4.....	46
Figura 21 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 4.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Sul do Brasil.....	31
Tabela 2 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 1.	34
Tabela 3 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 1.	36
Tabela 4 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 1. ...	36
Tabela 5 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 2.	38
Tabela 6 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 2.	40
Tabela 7- Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 2.	40
Tabela 8 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 3.	42
Tabela 9 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 3.	44
Tabela 10 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 3. .	44
Tabela 11 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 4.	46
Tabela 12 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 4.	48
Tabela 13 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 4. .	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAH	Análise de agrupamento hierárquico
AS	América do Sul
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
AR6	Sexto Relatório de Avaliação
CRU/BADC	<i>Climatic Research Unit/British Atmospheric Data Centre</i>
EN	<i>El Niño</i>
ENOS	<i>El Niño</i> – Oscilação Sul
GEE	Gases de efeito estufa
HS	Hemisfério Sul
IOS	Índice de oscilação sul
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
LN	<i>La Niña</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OS	Oscilação Sul
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PRAN	Primeiro Relatório de Avaliação Nacional
RH	Regiões homogêneas
RSB	Região Sul do Brasil
SAM	Modo anular do Hemisfério Sul
SAS	Sudeste da América do Sul
TGTS	Temperatura global da superfície terrestre
T _{máx}	Temperatura máxima
T _{méd}	Temperatura média
T _{mín}	Temperatura mínima
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa	13
1.2 Área de estudo	14
1.3 Objetivos	15
1.3.1 Objetivos específicos	15
2 CLIMA DA REGIÃO SUL	16
2.1 Conceitos de climatologia	17
2.1.1 Anomalia de temperatura	17
2.1.2 Variabilidade climática.....	17
2.1.3 Mudanças climáticas	18
2.2 Fatores do clima na Região Sul	19
2.2.1 Centros de alta e baixa pressão.....	20
2.2.2 Massas de ar e sistemas frontais	22
2.3 Biomas da Região Sul	23
2.3.1 Bioma Mata Atlântica	24
2.3.2 Bioma Pampa.....	24
3 Análise de agrupamento hierárquico	25
3.1 Regiões homogêneas de temperatura	25
4 DADOS E METODOLOGIA	27
4.1 Conjunto de dados	27
4.2 Métodos	28
4.2.1 Métodos de agrupamento	28
4.2.2 Definição de grupos	29
5 RESULTADOS	31
5.1 Região Homogênea 1	33
5.2 Região Homogênea 2	36
5.3 Região Homogênea 3	41
5.4 Região Homogênea 4	44
6 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

Conhecer o clima regional é importante para diversos setores da nossa sociedade, sendo essencial que os tomadores de decisões conheçam não só o clima, mas também as peculiaridades e tendências de cada região, para que haja investimentos públicos bem empregados. Estudos sobre a climatologia de uma determinada região normalmente caracterizam o estado médio do tempo meteorológico em um determinado espaço de tempo cronológico.

O Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) deixa claro que a influência humana aqueceu a atmosfera, o oceano e a terra.

Já o *Bulletin of the American Meteorological Society* emitiu o Relatório do Estado do Clima de 2020, de acordo com o qual o ano de 2020 ficou entre os três anos mais quentes desde o início dos registros, no século XIX, sendo o mais quente já registrado sem a presença de *El Niño* (EN). De encontro a isso, as projeções apresentadas pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) indicam um aumento de temperatura na Região Sul do Brasil (RSB). (PBMC, 2014; BLUNDEN; BOYER, 2021)

Estudando as temperaturas máximas e mínimas no Sul do Brasil no período de 1960 a 2002, foram identificadas tendências positivas em temperaturas mínimas e máximas anuais e sazonais. As projeções, nacionais e internacionais, apontam que a temperatura média já subiu e continuará a aumentar nos próximos anos. (MARENGO; CAMARGO, 2008; IPCC, 2021).

Os efeitos das mudanças climáticas são visíveis em todos os aspectos de nossa sociedade e os impactos em diferentes setores estão interligados. A seca pode afetar a saúde humana e a produção de alimentos. As inundações podem elevar a propagação de doenças e causar danos à infraestrutura e ao ecossistema. A propagação de doenças, por sua vez, pode aumentar a mortalidade e afetar a produtividade e a disponibilidade de alimentos (IPCC, 2022a).

Os fenômenos climáticos influenciam direta e indiretamente na saúde humana. Segundo Confalonieri (2005a, 2005b), no Brasil existem diversas doenças endêmicas que são sensíveis às variações do clima, principalmente as de transmissão vetorial e as de veiculação hídrica. Há evidências em estudos epidemiológicos de que a exposição a poluentes presentes na atmosfera aumente o risco de doenças

respiratórias e cardiovasculares. Alguns efeitos dessa exposição são potencializados com a ocorrência de alterações climáticas, como a inversão térmica, capaz de agravar quadros de asma, alergias, infecções broncopulmonares e infecções das vias aéreas superiores, por exemplo. Esses efeitos são sentidos principalmente em grupos vulneráveis, como crianças menores de 5 anos e adultos acima de 65 anos. (BARCELLOS *et al.*, 2009). Segundo Cardona (2001), populações mais pobres, ao não terem as suas necessidades básicas atendidas, estão mais vulneráveis às alterações climáticas, em especial crianças e idosos.

Segundo o PBMC (2014), é esperado, para um futuro próximo, cenários de climas mais extremos, com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes. Os efeitos das mudanças climáticas podem ser diretos ou indiretos. Dentre os efeitos diretos estão os furacões, as tempestades e as inundações, capazes de ocasionar mortes, principalmente em zonas urbanas. Dentre os efeitos indiretos estão as perdas de produção agrícola, que causam impacto nutricional, sendo determinantes no fenômeno demográfico. (THOMPSON; CAIRNCROSS, 2002; BARCELLOS *et al.*, 2009).

Para Assad (2021), o aumento da temperatura causa importantes impactos na agropecuária. Somente no ano de 2020, no Rio Grande do Sul, ocorreram 40% de perdas na produção de soja e 30% na produção de milho em decorrência da seca. Segundo o autor, os riscos para a segurança alimentar e nutricional são acentuados com a maior frequência e intensidade de eventos extremos e desastres relacionados à mudança climática.

As projeções do PBMC para atividade rural mostram que em algumas décadas a Região Sul terá uma nova conformação geográfica da agricultura e da pecuária. Poderá ser necessária uma adequação de cultivos restritos ao frio para os adaptados ao clima temperado. Técnicas alternativas como o plantio direto (PD) e a integração da pecuária com a floresta podem mitigar os riscos climáticos. (PBMC, 2013)

Utilizando a análise de agrupamento hierárquico (AAH), é possível identificar as regiões homogêneas (RH) e aprofundar o estudo do clima e as tendências de cada região. A AAH auxilia no agrupamento de dados com características semelhantes e que compartilhem características relevantes. Esse método tem sido utilizado para a definição de regiões climáticas homogêneas.

Viana (2015) identificou três RH de temperatura para o Centro-Sul do Brasil, possibilitando uma análise mais aprofundada de cada região, com dados sobre a

variabilidade climatológica, o aumento de temperatura e a tendência de aumento da quantidade de eventos extremos.

Araújo (2005) utilizou a AAH para identificação de RH de precipitação e temperatura no Rio Grande do Sul. Segundo a autora, o resultado do método foi satisfatório no procedimento de identificação e separação das RH. As RH reproduziram as condições fisiográficas e climatológicas do estado, tornando viável o conhecimento da estrutura térmica das RH e possibilitando pesquisas mais direcionadas a setores específicos do estado.

Freitas (2009) identificou o método de Ward (Ward's method of sum-of-squares) como o que melhor representou a natureza dos dados. Segundo o autor, a técnica hierárquica de agrupamentos foi uma importante ferramenta na identificação de RH de índices climáticos no Estado da Paraíba.

O conhecimento meteorológico da temperatura é necessário para a elaboração de metas e ações, auxiliando as decisões de planejamento e gestão pública. O presente estudo objetiva a identificação de RH de temperatura, visando contribuir para a análise do clima da Região Sul do Brasil (RSB).

1.1 Justificativa

As projeções climáticas do AR6 para o Sudeste da América do Sul (SAS), onde se localiza a RSB, preveem um aumento de 1,4°C a 1,6°C no período de 2021 a 2040; para o período de 2041 a 2060, a previsão é de um aumento de 1,7°C a 2,4°C; e para o intervalo de 2081 a 2100, a previsão é de um aumento de 1,8°C a 4,5°C. O AR6 também indica um aumento de eventos de extremos quentes para o SAS.

O PBMC emitiu, em 2014, o Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (PRAN), documento que apresenta uma projeção de aumento de temperatura para os biomas Mata Atlântica e Pampa. (PBMC, 2014).

De acordo com o PRAN, o aumento de temperatura para a Mata Atlântica será de 0,5°C a 1°C até o ano de 2040 e de 2,5°C a 3°C para o período de 2071 a 2100. O Pampa deverá ter um aumento de até 1°C até o ano de 2040 e de 2,5°C a 3°C entre 2071 e 2100. (PBMC, 2014).

Cordeiro (2016), mostra que as tendências climáticas observadas nas escalas global e regional são constatadas no estado do Rio Grande do Sul entre os anos de 1950 e 2009.

Minuzzi (2010) Identificou mudanças no comportamento da temperatura no estado de Santa Catarina. Segundo o autor não houve um período definido de mudança no comportamento temporal da temperatura média e sim um leve sinal de aumento na tendência.

Minuzzi, Caramori e Borrozino (2011) identificaram mudanças na variabilidade climática da temperatura máxima e mínima. Segundo os autores, as temperaturas mínimas estão se tornando mais intensas e menos frequentes. Durante o período diurno, principalmente na primavera, as temperaturas estão mais elevadas e mais frequentes. A tendência climática de aumento da temperatura mínima, superior ao aumento da temperatura máxima, sugere que a amplitude térmica no Paraná está diminuindo.

As projeções climáticas globais mostram que a temperatura irá aumentar a uma determinada taxa, mas também apresentam projeções distintas para cada região do planeta, sendo necessários – além de estudos globais – estudos locais. Com a identificação das RH na RSB, será possível analisar e entender melhor cada região e suas peculiaridades.

1.2 Área de estudo

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), a RSB é a menor região do país, com área demarcada de 576.409,569 km², abrangendo os estados do Paraná (PR), do Rio Grande do Sul (RS) e de Santa Catarina (SC). Os limites da Região Sul ficam entre as latitudes 22°30'57" e 33°45'04" S e entre as longitudes 48°01'23" e 57°38'36" W (Figura 1), fazendo fronteira com os estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul ao norte, com as repúblicas da Argentina e do Paraguai ao oeste, com a república do Uruguai ao sul e com o Oceano Atlântico ao leste.

Figura 1 - Mapa da Região Sul do Brasil



Fonte: Elaborado pela autora.

1.3 Objetivos

O objetivo principal do presente estudo é identificar RH de temperatura na RSB.

1.3.1 Objetivos específicos

- Obter e analisar a série temporal das anomalias de temperatura mensal e sazonal;
- Identificar as RH de temperatura utilizando a AAH;
- Calcular as tendências de temperatura de cada RH;
- Projetar o aumento de temperatura anual e sazonal para cada RH até o ano de 2100;
- Comparar os resultados obtidos com as projeções do AR6 e do PRAN.

2 CLIMA DA REGIÃO SUL

Wallace e Hobbs (2006) apontam que o sistema climático é determinado pela emissão de radiação solar, pelas características de órbita e rotação da Terra, pela composição da atmosfera e pela interação entre a atmosfera e os outros elementos encontrados no planeta, como continentes e oceanos. Portanto, o clima é o estado médio da atmosfera e dos componentes terrestres que se relacionam, incluindo as variações diurnas e sazonais do tempo meteorológico.

Segundo a *World Meteorological Organization* (WMO, 2022), o clima é uma descrição estatística, sendo a média das condições do tempo meteorológico em um longo período de tempo cronológico. O período definido pela WMO para o cálculo da média climatológica é de 30 anos de dados meteorológicos de uma determinada localidade ou região.

A RSB apresenta uma variação térmica bem marcada, principalmente entre as estações de inverno e verão. O clima da RSB apresenta grandes contrastes de temperatura, o que é explicado pela posição geográfica da região, que se localiza na transição entre os trópicos e as latitudes médias. (GRIMM, 2009).

Com base nos estudos de Köppen e Geiger (1928), o clima da RSB pode ser classificado como Cfa (subtropical), com pelo menos um mês com temperatura média superior a 22°C, abrangendo a maior parte da região em estudo, e Cfb (temperado), com média do mês mais quente não ultrapassando os 22°C, sendo predominante em regiões de maior altitude (acima dos 800 m).

Conforme a classificação climática de Nimer (1989), o clima da RSB é descrito como subquente e mesotérmico brando e médio. O clima subquente representa 15,27% da região, apresentando verões brandos e invernos amenos. Na RSB, a diferença do clima subquente se dá nas áreas litorâneas, onde não há registro de secas. No norte do estado do Paraná, o clima é caracterizado por um ou dois meses de seca no inverno. O clima mesotérmico não apresenta estação de secas, registrando no mínimo um mês com temperatura média abaixo dos 15°C. Nesse clima, é comum o registro de altas temperaturas durante o verão. O mesotérmico brando está presente em 81,69% da RSB, sendo caracterizado por médias de temperatura de 10°C a 15°C. E o clima mesotérmico médio, presente em 3,04% da região, é caracterizado por médias de temperatura inferiores a 10°C, sendo encontrado em pequenas faixas no interior dos três estados.

Cavalcanti e Ambrizzi (2009) analisam o ciclo anual de temperaturas na RSB e descrevem que as maiores amplitudes térmicas foram registradas no sul da região em estudo, com cerca de 11°C entre os meses de janeiro e julho. As menores amplitudes foram registradas no norte da região: cerca de 7°C. A diferença de amplitude térmica se deve à maior diferença entre a radiação solar recebida no verão e no inverno em latitudes mais altas ou mais baixas.

2.1 Conceitos de climatologia

2.1.1 Anomalia de temperatura

A anomalia de temperatura se dá quando há diferença entre a temperatura média e a climatologia. Uma anomalia positiva ou negativa é identificada quando a temperatura observada é superior ou inferior à climatologia. (NOAA, 2022).

As anomalias de temperatura são utilizadas no monitoramento das mudanças climáticas e na elaboração de relatórios de monitoramento. (WMO, 2022).

Segundo a NOAA (2022), a localização (áreas urbanas tendem a ter uma temperatura superior que a de áreas rurais) ou a elevação (elevações mais altas tendem a apresentar temperaturas inferiores a de elevações mais baixas) da estação terão um efeito nos dados absolutos. Ao observarmos as anomalias, os fatores de localidade e elevação se tornam menos críticos. As anomalias permitem uma comparação mais significativa entre locais e cálculos mais precisos das tendências de temperatura, bem como descrevem com mais exatidão a variabilidade climática em áreas maiores.

2.1.2 Variabilidade climática

O clima da Terra muda constantemente devido às variações que ocorrem nas forças externas e internas ao longo do tempo. As variações podem ser classificadas como regionais de curta duração e globais de longa duração, como as eras do gelo do Pleistoceno. (GROTZINGER; JORDAN, 2013).

A variabilidade climática se dá em escalas temporais e espaciais, podendo ser associada a processos internos naturais ou a fatores antropogênicos. (BARRY;

CHORLEY, 2013). O termo é bastante utilizado para indicar desvios do clima durante um determinado período de tempo. (WMO, 2022).

Segundo Grotzinger e Jordan (2013), os climas locais e regionais são mais variáveis que o clima global. As variações regionais predominantes são resultado de interações entre a circulação atmosférica e as superfícies continentais e oceânicas. Essas variações possuem sincronia e amplitude irregulares decorrentes de padrões geográficos distintos, como, por exemplo, o *El Niño* – Oscilação Sul (ENOS).

As mudanças nos modos de variabilidade são importantes para o clima de grande escala em períodos de tempo interanuais ou mais longos. Os modos são avaliados e classificados com base em variáveis físicas, mas é importante reconhecer que a distribuição e função de vários componentes da biosfera terrestre e marinha são modificadas em resposta a eles. (IPCC, 2022b).

A variabilidade climática do Centro-Sul do Brasil é condicionada por fatores que atuam em diferentes escalas temporais, os quais afetam a frequência e a intensidade dos fenômenos associados aos principais sistemas atmosféricos que atuam na região, como os sistemas frontais, os ciclones extratropicais e os complexos convectivos de mesoescala. (VIANA, 2015).

2.1.3 Mudanças climáticas

Mudanças climáticas podem ocorrer de processos naturais ou antrópicos e são caracterizadas por uma variação no estado médio do clima no qual as anomalias persistem por um longo período. Quando a anomalia é esporádica, denomina-se o fenômeno de variabilidade climática.

Trata-se de uma perturbação no clima que afeta significativamente as atividades humanas. As mudanças climáticas ocasionadas pela ação antrópica estão associadas à emissão de gases de efeito estufa, a queimadas, ao desmatamento, entre outros. (INPE, 2019).

Segundo o IPCC (2021), é inequívoco que a influência humana aquece o planeta e que atividades antrópicas contribuem para o aquecimento global desde o período pré-industrial, o que tem causado impactos em continentes e oceanos e afetado o clima global e regional. Além disso, as mudanças climáticas em escala regional podem influenciar a intensidade, frequência e duração de eventos extremos.

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) diz que as mudanças do clima são atribuídas diretamente ou indiretamente à atividade humana, alterando a composição da atmosfera global. Essas alterações somam à variabilidade climática natural observada em períodos de tempo comparáveis.

Para o IPCC, mudança climática é variação estatisticamente significativa em um parâmetro climático médio e que persistem por um período extenso de tempo, décadas.

2.2 Fatores do clima na Região Sul

Para Cavalcanti e Ambrizzi (2009), a topografia é o fator que determina as regiões mais frias e nas quais ocorre precipitação em forma de neve, sendo responsável também pelo componente zonal do gradiente de temperatura das estações do ano. Quanto à Região Sul do país, um fator importante para o clima é a advecção de ar quente vindo do norte quase o ano inteiro. As temperaturas do litoral norte da Região Sul são influenciadas pela corrente marítima quente do Brasil, que transporta calor e umidade dos trópicos para o sul, diminuindo, assim, a amplitude térmica anual da região.

Durante o verão, o gradiente de temperatura zonal torna-se bem definido, ocorrendo um aquecimento desproporcional entre o continente e o oceano. As estações de transição possuem comportamento mais semelhante ao gradiente de temperatura. No inverno, o gradiente de temperatura fica mais próximo à direção meridional, devido à baixa incidência de radiação solar. A topografia da região contribui para as baixas temperaturas no inverno. Ainda, durante a estação, o efeito da altitude é mais marcante, provocando geadas e precipitação em forma de neve. (GRIMM, 2009).

O ENOS se caracteriza por anomalias de temperatura de superfície do mar na região do Pacífico Equatorial, afetando o tempo e o clima em diversos locais. (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998). O fenômeno é caracterizado por duas fases: uma quente ou positiva (*El Niño*) e outra fria ou negativa (*La Niña*).

Segundo Grimm e Togatlian (2002), o ENOS gera alterações na precipitação e na temperatura na superfície. O *El Niño* (EL) e a *La Niña* (LN) geram alterações na precipitação mensal e sazonal no Sul do Brasil. (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998).

As maiores perturbações sazonais do EN e LN ocorrem durante o inverno. As temperaturas no Cone Sul ficam acima da média durante o EN e abaixo durante a LN. (GRIMM; TOGATLIAN, 2002).

Registros do ENOS mostram que há uma acentuação aos condicionantes e as adversidades do clima sobre a produção agrícola, ocasionando assim recordes de produção ou perdas. Os registros de aumento da temperatura do ar em vários municípios do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, durante o ENOS, não influenciam somente a agricultura e a segurança alimentar, mas também as condições ambientais como a saúde da população. (PBMC, 2013).

O modo anular do Hemisfério Sul (SAM) é o principal modo de variabilidade da circulação atmosférica nas altas e médias latitudes. O SAM possui grande influência no clima do Oceano Austral e dos continentes do Hemisfério Sul e pode sofrer mudanças por decorrência da variabilidade da dinâmica atmosférica. (TURNER; MARSHALL, 2011). É um dos modos dominantes de variabilidade na porção sul do globo, mostrando sinais opostos entre as regiões polares e as latitudes médias. (CAVALCANTI; AMBRIZZI, 2009).

O SAM possui grande influência na temperatura média mensal e sazonal na RSB, assim como na Península Antártica. Extremos positivos e negativos na temperatura média na RSB são influenciados por variações da circulação atmosférica na região da Península Antártica, principalmente no Mar de Weddell. (AQUINO, 2012).

2.2.1 Centros de alta e baixa pressão

Atuando sobre a RSB há o ASAS, responsável por introduzir massas de ar marítimas tropicais para o continente, geralmente com temperaturas elevadas. O anticiclone móvel polar marítimo do Atlântico Sul é responsável por trazer massas de ar polar à RSB, as quais são estáveis e frias, mas chegam ao continente com certa umidade.

Os centros de alta pressão (anticlones semipermanentes) do Atlântico e do Pacífico Sul (Figura 2) influenciam diretamente o clima da RSB. Porém, maior atenção se dá ao ASAS, que avança frequentemente no interior do continente, enquanto o anticiclone do Pacífico acaba sendo barrado pela Cordilheira dos Andes. (NIMER, 1977).

Figura 2 - Anticiclones atuantes na América do Sul



Fonte: Christina & Nogueira (2014)

As altas pressões estão presentes sobre os oceanos durante o ano, com maior ou menor intensidade, conforme a estação. A alta do Pacífico Sul se intensifica no verão e a alta do Atlântico Sul se intensifica no inverno. Independentemente da estação, as altas subtropicais são atuantes e induzem a permanência de uma baixa pressão sobre o continente sul-americano. Essa baixa pressão é influenciada pela continentalidade e fica mais baixa (1.011 hPa) durante o verão. (SATYAMURTY; NOBRE; DIAS, 1998).

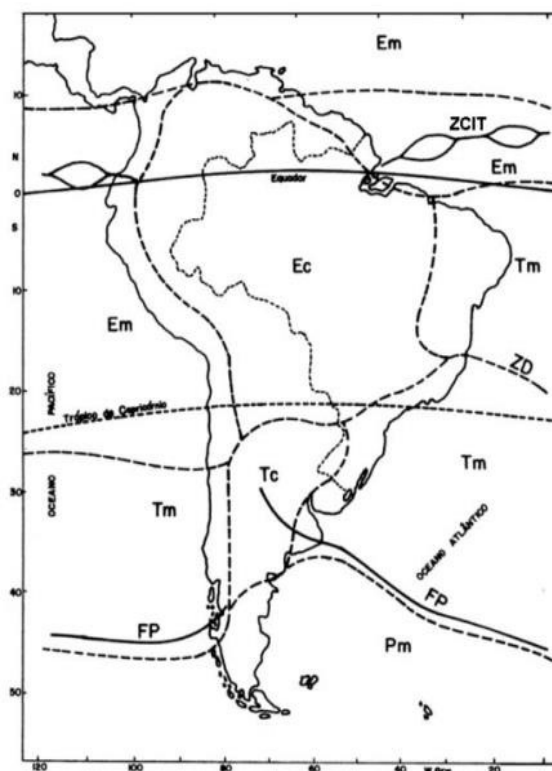
Com as temperaturas mais baixas sobre o continente, o centro de alta pressão se aproxima do continente e inibe a formação de outros sistemas atmosféricos. Durante o verão, a alta pressão se mantém sobre o oceano, induzindo a entrada de ar úmido em direção ao continente. (BASTOS; FERREIRA, 2000).

2.2.2 Massas de ar e sistemas frontais

Massas de ar podem ser definidas como um volume de ar possuindo características da superfície onde são geradas. Possuem temperatura e umidade uniformes e são caracterizadas por um gradiente de temperatura e por um valor de umidade específico. (STRAHLER; STRAHLER, 1989).

A RSB tem influência das massas de ar das regiões tropical e subpolar (Figura 3), continentais e marítimas. As principais massas atuantes na região são a marítima polar, a marítima tropical e a continental (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980),

Figura 3 - Massas de ar da América do Sul no verão



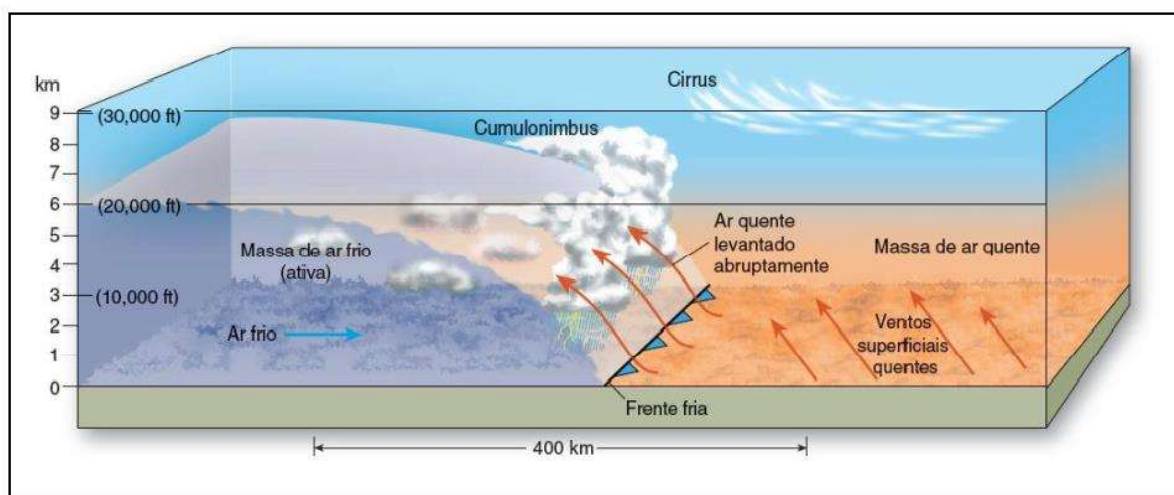
Fonte: Adaptado de Tubelis e Nascimento (1980).

ZCIT: zona de convergência intertropical; Em: equatorial marítima; Tm: tropical marítima; Ec: equatorial continental; Tc: tropical continental; Pm: polar marítima; FP: frente polar; ZD: zona de descontinuidade.

Segundo Christopherson e Birkeland (2018), uma frente é uma zona de descontinuidade atmosférica, sendo uma zona estreita apresentada em forma de uma linha de conflito entre duas massas de ar de diferentes temperaturas, pressão, umidade, direção e velocidade do vento e desenvolvimento de nuvens.

Na frente fria, o ar frio faz com que a massa de ar quente sofra uma ascensão, originando nuvens de grande desenvolvimento vertical. As frentes frias são eventos muito comuns para a RSB nos meses de abril a setembro. (CHRISTOPHERSON; BIRKELAND, 2018). O ar quente e úmido, ao se chocar com a massa de ar frio, ascende abruptamente e resfria rapidamente, formando nuvens (Figura 4).

Figura 4 – Representação do avanço de uma frente fria



Fonte: Christopherson e Birkeland (2018).

A ciclogênese é o processo de formação de uma onda frontal de pequena amplitude, apresentando uma baixa pressão, uma frente fria e uma frente quente (Figura 5). O desenvolvimento da ciclogênese tem como mecanismo a instabilidade baroclínica, devido ao gradiente horizontal de temperatura em superfície. (INPE, 2019).

Um ciclone extratropical possui padrão isobárico mais ou menos circular, de 1.500 km a 3.000 km de diâmetro, com duração de quatro a sete dias. Ocorre em latitudes médias e pode estar associado à convergência de massa de ar contrastante, como fria, quente, estacionária ou oclusa. (BARRY; CHORLEY, 2013).

2.3 Biomas da Região Sul

Segundo o IBGE, estão presentes na RSB ambos os biomas. A Mata Atlântica abrange a totalidade do estado de Santa Catarina, 98% do território do Paraná e 37%

do Rio Grande do Sul. Já o Pampa abrange 63% do território do Rio Grande do Sul. (IBGE, 2004).

2.3.1 Bioma Mata Atlântica

Segundo o IBGE o bioma Mata Atlântica se localiza na região litorânea, onde ocorreram as ocupações mais antigas e intensas do território brasileiro, abrigando 49,3% das áreas urbanas em 2018. O bioma se estende desde o sul até o nordeste do país, sendo o bioma mais ameaçado. Com sua extensão o bioma abrange diversas classificações climatológicas.

O bioma estoca carbono e nitrogênio no solo, estocando em maior quantidade conforme a elevação da altitude. Com os aumentos de temperatura previstos, haverá um aumento no processo de respiração e decomposição, aumentando a perda de carbono e nitrogênio para atmosfera. (PBMC, 2013)

Com a extensa área do bioma Mata Atlântica, as projeções para são distintas. Para o Nordeste a projeção indica um aumento de 0,5 a 1°C até 2040, de 2 a 3°C até 2070 e de 3 a 4°C até 2100. Para o Sul e Sudeste a projeção indica um aumento de 0,5 a 1°C até 2040, de 1,5 a 2°C até 2070 e de 2,5 a 3°C até 2100. (PBMC, 2013)

2.3.2 Bioma Pampa

O bioma Pampa possui uma área aproximada de 2% do território nacional e abrange metade do estado do Rio Grande do Sul. O território do bioma sofreu redução de 15.607 km² entre os anos de 2000 e 2018. (IBGE, 2022).

Segundo o IBGE, o bioma é caracterizado por clima chuvoso, sem períodos de seca e com temperaturas negativas no inverno. Segundo a Embrapa, o clima do bioma é classificado como clima temperado, com temperaturas médias entre 13 °C e 17 °C, possuindo características únicas.

Nos campos do Pampa, assim como na Mata Atlântica, o solo possui um estoque de carbono. Com o aumento da temperatura haverá um aumento de emissões de CO₂ para atmosfera. A previsão até 2040 é de um aumento de até 1°C, mantendo a tendência de aumento da temperatura entre 1° e 1,5°C entre 2041 e 2070. Entre os anos 2071 e 2100 as projeções são mais agravantes com aumento de temperatura de 2,5° a 3°C.

3 Análise de agrupamento hierárquico

A AAH pode ser entendida como um processo de localização de entidades em classes inicialmente indefinidas. Em uma classe definida pelas variáveis consideradas, as amostras serão similares entre si. (EVERITT, 1974).

Para Rogerson (2012), a análise de agrupamentos tem como objetivo agrupar observações semelhantes. Para Jain e Dubes (1988), o agrupamento tem como objetivo encontrar uma estrutura de grupos nos dados, fazendo com que os objetos de cada grupo compartilhem características relevantes. Para Wilks (2006), o grau de semelhança e/ou diferença entre as observações é utilizado na definição do número de grupos e na atribuição dos seus membros.

Faceli *et al.* (2011) consideram que um *cluster* (grupo) pode ser visto como uma coleção de objetos próximos ou que satisfazem alguma relação. Cada definição de grupos gera um critério de agrupamento, que é uma forma de criar um modelo para representar os grupos de um determinado conjunto de dados. (ESTIVILL-CASTRO, 2002). É esperado que os objetos de um mesmo grupo sejam similares entre si em relação a um determinado atributo, enquanto os elementos em diferentes grupos sejam heterogêneos. (MINGOTI, 2005).

3.1 Regiões homogêneas de temperatura

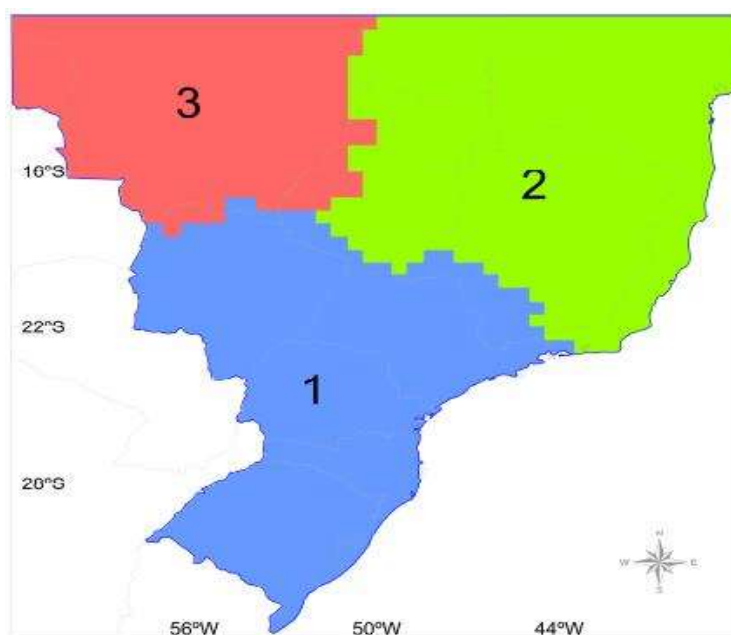
Para a regionalização climática, as variáveis são classificadas em diferentes grupos, revelando a estrutura subentendida nos dados. Assim, investigações adicionais podem ser realizadas. (GONG; RICHMAN, 1995). A análise de *cluster* é uma das várias técnicas utilizadas para tais classificações, sendo feita a identificação de um conjunto de variáveis tabuladas para cada membro de um conjunto de dados. (FOVELL; FOVELL, 1993).

Araújo (2005) utilizou a AAH para identificação de RH de precipitação e temperatura no Rio Grande do Sul. Segundo a autora, o resultado do método foi satisfatório no procedimento de identificação e separação das RH. As RH reproduziram as condições fisiográficas e climatológicas do estado, tornando viável o conhecimento da estrutura térmica das RH e possibilitando pesquisas mais direcionadas a setores específicos do estado.

Freitas (2009) identificou o método de Ward (Ward's method of sum-of-squares) como o que melhor representou a natureza dos dados. Segundo o autor, a técnica hierárquica de agrupamentos foi uma importante ferramenta na identificação de RH de índices climáticos no Estado da Paraíba.

Viana (2015) identificou RH no Centro-Sul do Brasil. A RH 1, identificada pelo autor, engloba os estados do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina, do Paraná, de São Paulo, do Mato Grosso do Sul e o sul de Minas Gerais (Figura 5).

Figura 5 - Regiões homogêneas de temperatura de Viana



Fonte: Viana (2015).

Houve inversão no comportamento dos extremos da RH 1, onde até a década de 1980 havia maior registro de valores negativos, os quais, após essa década, passaram a ser positivos. Dos extremos de temperatura observados por Viana (2015) para a região, 29% ocorreram entre 2001 e 2010, todos positivos.

4 DADOS E METODOLOGIA

A seguir são listados o conjunto de dados, os métodos e as técnicas utilizados nesta pesquisa.

Os mapas temáticos foram desenvolvidos a partir do software QGIS Versão 3.16.11.

4.1 Conjunto de dados

A *Climatic Research Unit/British Atmospheric Data Centre (CRU/BADC)*, da *University of East Anglia*, é amplamente conhecida pelos seus estudos sobre mudanças climáticas naturais e antropogênicas. A base de dados da CRU/BADC possui diversas variáveis climatológicas. Para a identificação das RH, foi utilizada a variável da temperatura média ($T_{\text{méd}}$), coletando dados mensais do período de 1991 a 2020. Para melhor analisar as RH, foram calculadas as climatologias da RSB e das RH, utilizando os dados de $T_{\text{méd}}$, temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e temperatura mínima ($T_{\text{mín}}$). A versão CRU/BADC utilizada foi a TS4.05, com resolução espacial de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$, sendo selecionados 229 pontos de grade (Figura 6).

Figura 6 - Pontos de grade para a Região Sul do Brasil



Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 Métodos

Para a identificação das RH, foram observadas as anomalias de temperatura. Segundo a NOAA (2022) ao calcular uma média utilizando as temperaturas absolutas, os dados sofrerão os efeitos da localização ou elevação da estação. A utilização de anomalias de temperatura ameniza os fatores que afetam os dados brutos.

Foram selecionados os dados de $T_{\text{méd}}$ pertencentes à área de estudo. Após a seleção dos dados, foram calculados os desvios padrões e as anomalias mensais padronizadas, dadas por:

$$a_i = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$$

Em que a_i é a anomalia, x o valor observado, \bar{x} a média mensal do período de 30 anos e σ o desvio padrão. Também foram calculadas as anomalias sazonais das estações de verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON).

Os cálculos foram realizados utilizando o software Excel Versão Professional Plus 2016. As tendências foram calculadas utilizando a equação de regressão.

4.2.1 Métodos de agrupamento

Existem alguns métodos comumente utilizados. O método de ligação simples, também chamado de vizinho mais próximo, é definido pela distância entre os grupos como sendo a menor distância entre todos os pares. O método da ligação completa, também chamado de vizinho mais distante, é definido pela distância entre os grupos como sendo a maior distância entre todos os pares. (ROGERSON, 2012).

O método de Ward (*Ward's method of sum-of-squares*), diferentemente de outros métodos, utiliza a variabilidade existente em cada grupo, não empregando a matriz de distância. No algoritmo de agrupamento, é calculada a soma dos quadrados da distância euclidiana dentro de cada *cluster* em todos os passos. A soma dos quadrados corresponde ao elemento amostral que pertence ao *cluster*, relacionado ao vetor da média do grupo. Nesse método, os agrupamentos são formados pela determinação de pares de casos; quando formados em grupos, apresentam menor acréscimo de variabilidade. (LANDIM, 2010). As RH possuem uma elevada

similaridade interna dos elementos meteorológicos e uma dissimilaridade externa entre elas. Os softwares Past4 e Minitab foram utilizados para o método Ward.

As RH foram definidas por meio da AAH, utilizando as anomalias de temperatura. O método de agrupamento escolhido foi o Ward, por agrupar as regiões de acordo com a menor variabilidade na região e a maior variabilidade entre as regiões. Alguns autores demonstraram se tratar do método mais adequado para a utilização de variáveis climáticas. (VIANA, 2015; GONG; RICHMAN, 1995; BRAGA; MELO; MELO, 1998; UNAL; KINDAP; KARACA, 2003).

4.2.2 Definição de grupos

A determinação do número final de grupos para uma base de dados é uma tarefa delicada no processamento do agrupamento. O número de grupos pode ser estabelecido *a priori*, utilizando os conhecimentos prévios sobre os dados, pela simples conveniência do pesquisador, pela simplicidade; ou pode ser estabelecido posteriormente, por meio dos resultados da análise. (BARROSO; ARTES, 2003).

Para Mingoti (2005), é necessário especificar previamente a medida de similaridade adotada para o agrupamento, pois há diversos tipos de medidas de similaridade e cada um resulta em um tipo de agrupamento.

O número ideal de grupos em que os dados devem ser catalogados normalmente não é conhecido, sendo utilizado o grau de semelhança e/ou diferença entre um determinado número de observações individuais para definir o número de grupos. (WILKS, 2006).

Os métodos de análise de grupos costumam requerer uma medida de similaridade, como uma função de distância ou métrica.

Conforme avançamos nos passos do algoritmo, de k para $k+1$, a distância aumenta e a similaridade diminui. (MINGOTI, 2005). Com isso é possível criar um gráfico utilizando as etapas e o nível de distância do agrupamento, de modo a apresentar de forma visível as distâncias entre os pontos e os demais valores. O chamado “salto” dos pontos indica o número ideal de grupos.

Segundo Viana (2015), em estudos com um número de observações elevadas – acima de 100 –, pode não ser recomendado o uso das análises sugeridas por Mingoti (2005), pois a magnitude nos últimos passos tende a ser mais elevada em comparação aos estágios precedentes.

Um gráfico representando as distâncias relativas (em percentual) em relação ao estágio anterior pode ser utilizado, já que representa a variação do estágio k para $k-1$. (VIANA, 2015). Outro método para a visualização dos pontos de salto das distâncias é a utilização de um dendrograma.

5 RESULTADOS

A climatologia da $T_{\text{méd}}$, à $T_{\text{máx}}$ e à $T_{\text{mín}}$ para a RSB entre os anos de 1991 e 2020 é apresentada na Tabela 1.

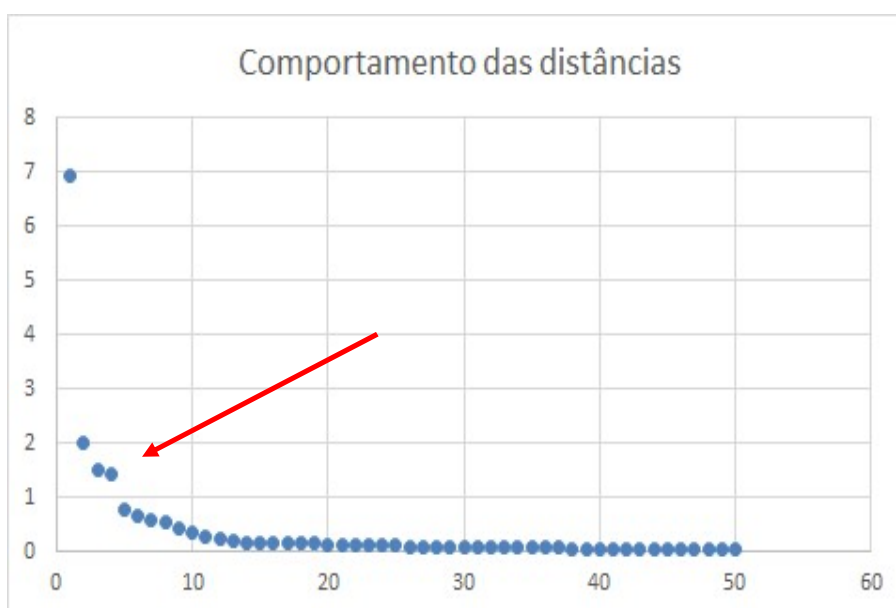
Tabela 1 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Sul do Brasil.

T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{\text{méd}}$	24,2	24,1	22,9	20,4	16,9	15,1	14,6	16,2	17,7	20,0	21,5	23,3
$T_{\text{máx}}$	29,4	29,1	28,0	25,4	21,6	19,8	19,7	21,6	22,8	24,9	26,8	28,5
$T_{\text{mín}}$	19,1	19,2	17,8	15,4	12,3	10,5	9,6	10,9	12,7	15,1	16,2	18,1

Fonte: Elaborado pela autora.

A AAH gerou um total de 228 estágios, dos quais foram escolhidos os últimos 50 para identificar as distâncias reescaladas para percentual. Na Figura 7, podemos observar que houve um salto entre os grupos 4 (1,44%) e 5 (0,77%). O gráfico do comportamento das distâncias apresenta a distância no eixo y e o número de grupos no eixo x. A partir do quinto grupo, as distâncias apresentam a mesma ordem de grandeza. Esse salto, indicado por uma seta vermelha, mostra a divisão em quatro grupos.

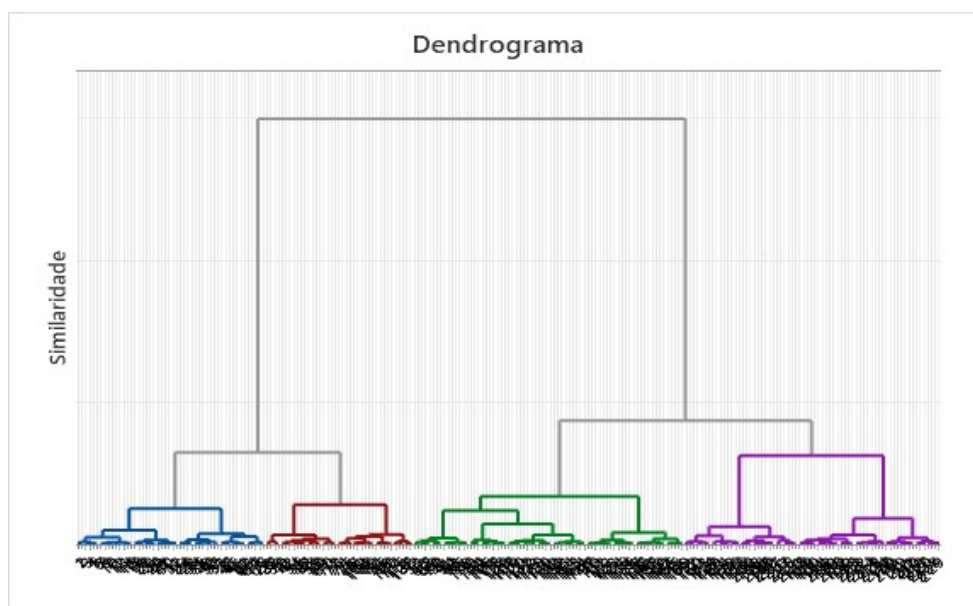
Figura 7 – Distâncias reescaladas para percentual.



Fonte: Elaborado pela autora.

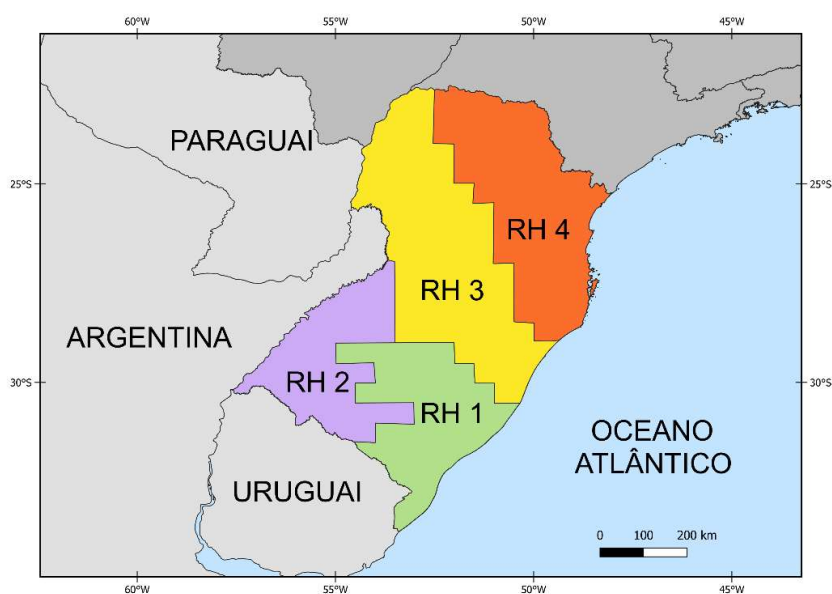
O dendrograma é outro método que nos auxilia na identificação do número de regiões. Conforme demonstrado na Figura 8, são identificadas quatro RH, representadas pelas cores azul, vermelha, verde e roxa. E seguindo os resultados apresentados pelo dendrograma (Figura 8) e pelo gráfico das distâncias (Figura 7), a RSB foi dividida em quatro regiões (Figura 9).

Figura 8 - Dendrograma da Região Sul do Brasil



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 9 - Regiões homogêneas de temperatura média

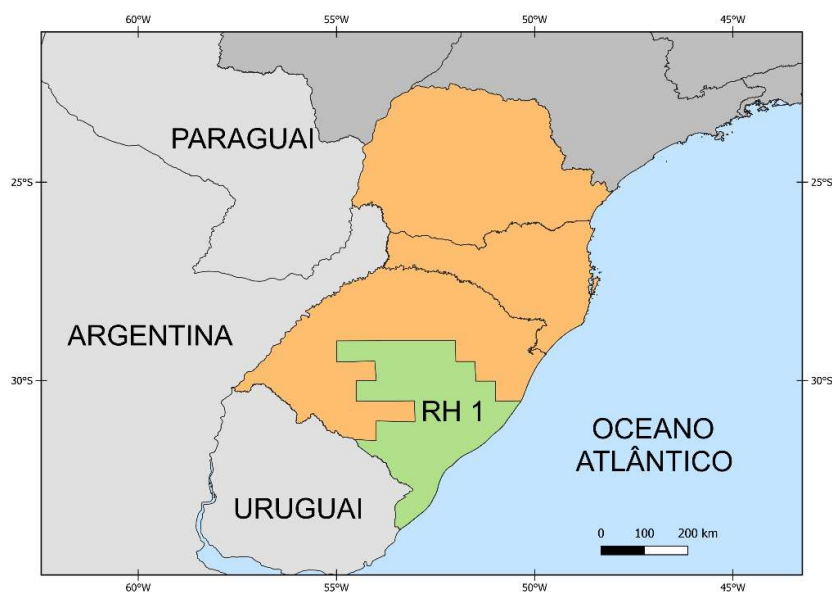


Fonte: Elaborado pela autora.

5.1 Região Homogênea 1

A RH 1 (Figura 10) está localizada no sudeste do estado do Rio Grande do Sul, fazendo fronteira com o Uruguai. A RH tem 83,05% da sua área dentro do bioma Pampa e 16,95% no bioma Mata Atlântica.

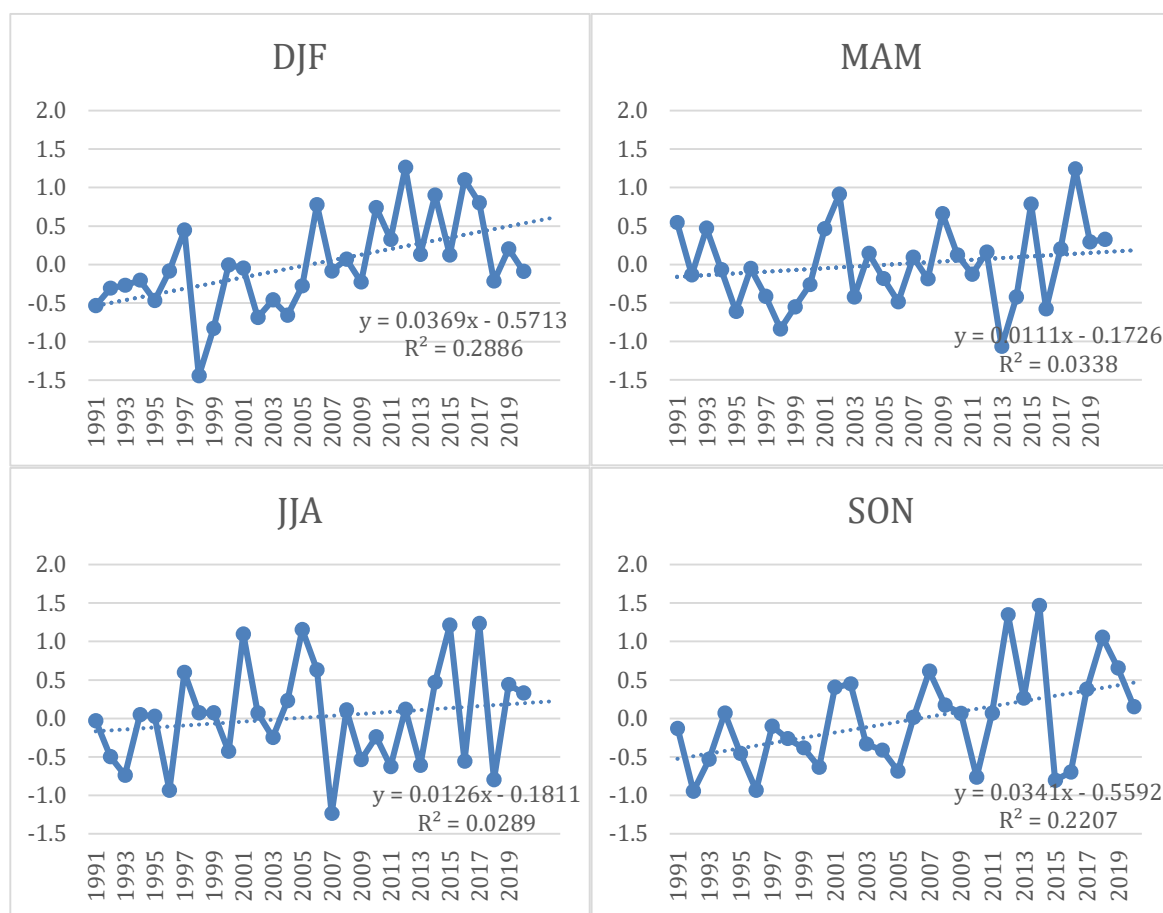
Figura 10 - Mapa de localização da Região Homogênea 1.



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise da temperatura média sazonal da RH 1 (Figura 11 e Tabela 2) permite identificar que há tendência positiva em todas as estações. O verão registrou um aumento de $0,54^{\circ}\text{C}$ ($0,0369^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o outono registrou um aumento de $0,16^{\circ}\text{C}$ ($0,0111^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o inverno, um aumento de $0,20^{\circ}\text{C}$ ($0,0126^{\circ}\text{C a}^{-1}$); e a primavera, um aumento de $0,46^{\circ}\text{C}$ ($0,0341^{\circ}\text{C a}^{-1}$). A estação que apresentou o maior aumento de anomalias de temperatura foi o verão e o menor aumento se deu no outono. Essa região destaca-se por apresentar um maior aumento da temperatura no verão, enquanto nas outras RH o maior aumento ocorreu na primavera. O outono foi a estação que apresentou menor aumento, se diferenciando novamente das outras regiões, em que o menor aumento ocorreu no inverno.

Figura 11 - Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 1.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 2 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 1.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
DJF	0.54	0.90	1.27	1.64	2.01	2.38	2.75	3.12	3.49
MAM	0.16	0.27	0.38	0.49	0.60	0.72	0.83	0.94	1.05
JJA	0.20	0.32	0.45	0.57	0.70	0.83	0.95	1.08	1.20
SON	0.46	0.80	1.15	1.49	1.83	2.17	2.51	2.85	3.19

Fonte: Elaborado pela autora.

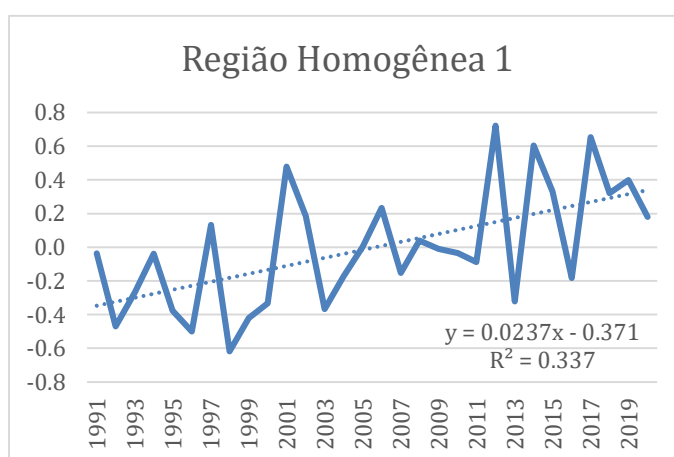
Seguindo a tendência calculada para cada estação, pode-se esperar para 2050 um aumento de 1,64°C para o verão, de 0,49°C para o outono, de 0,57°C para o inverno e de 1,49°C para a primavera. Para as projeções apresentadas na Tabela 2

foram utilizadas as equações $y = 0.0369x - 0.5713$ para DJF, $y = 0.0111x - 0.1726$ para MAM, $y = 0.0126x - 0.1811$ para JJA e $y = 0.0341x - 0.5592$ para SON.

No verão, a anomalia positiva que mais se destaca ocorreu no ano de 2012 e a negativa, no ano de 1998. No outono, a maior anomalia positiva ocorreu em 2018 e a negativa, em 2013. No inverno, as anomalias positivas que mais se destacam ocorreram nos anos de 2001, 2005, 2015 e 2017 e a anomalia negativa mais significativa ocorreu em 2007. Na primavera, as anomalias positivas que mais se destacam ocorreram nos anos de 2012 e 2014 e as anomalias negativas, nos anos de 1992 e 1996.

A Figura 12 apresenta anomalias anuais para a RH 1 e sua tendência. As projeções apresentadas na Tabela 3 foram calculadas a partir da equação $y = 0.0237x - 0.371$. Conforme o observado na Tabela 3, pode-se esperar um aumento de $0,81^{\circ}\text{C}$ para 2040, de $1,29^{\circ}\text{C}$ para 2060 e de $2,24^{\circ}\text{C}$ para 2100. Comparando as tendências da RH 1 com as projeções climáticas do AR6 para o SAS, nota-se que nos anos de 2040 e 2060 o aumento fica abaixo do calculado pelo AR6, e que o ano de 2100 encontra-se dentro do esperado. Comparando as tendências com a projeção do PRAN para o bioma Pampa, predominante na região, nota-se que a tendência se apresenta abaixo do esperado para os anos de 2040 e 2100.

Figura 12 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 1.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 3 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 1.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
RH1	0.34	0.58	0.81	1.05	1.29	1.53	1.76	2.00	2.24

Fonte: Elaborado pela autora.

A climatologia para a RH 1 (Tabela 4) mostra que a $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{méd}}$ e $T_{\text{mín}}$ durante o mês de janeiro é superior quando comparamos com a climatologia da RSB. As $T_{\text{méd}}$ e $T_{\text{mín}}$ de fevereiro também apresentam valores superiores à climatologia da região. As estações de inverno e primavera, assim como o mês de dezembro, apresentam temperaturas inferiores à climatologia da região. No outono, nota-se que a $T_{\text{máx}}$ de março e $T_{\text{mín}}$ de maio são superiores às do restante da RSB.

Tabela 1 – Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Sul do Brasil.

T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{\text{méd}}$	24,2	24,1	22,9	20,4	16,9	15,1	14,6	16,2	17,7	20,0	21,5	23,3
$T_{\text{máx}}$	29,4	29,1	28,0	25,4	21,6	19,8	19,7	21,6	22,8	24,9	26,8	28,5
$T_{\text{mín}}$	19,1	19,2	17,8	15,4	12,3	10,5	9,6	10,9	12,7	15,1	16,2	18,1

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 1.

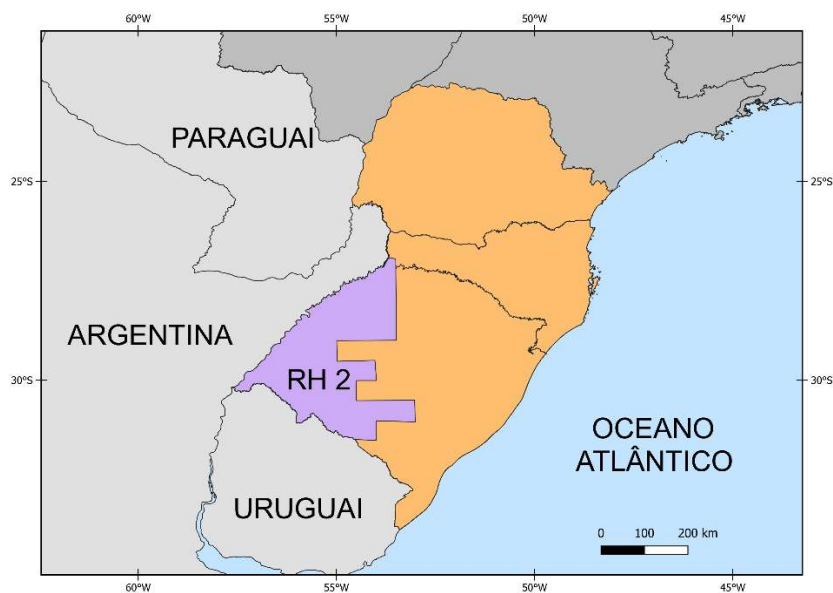
T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{\text{méd}}$	24,5	24,3	22,7	20,0	16,8	14,1	13,5	15,0	16,4	18,8	21,1	23,1
$T_{\text{máx}}$	29,5	29,0	27,7	24,6	20,7	18,1	17,8	19,6	20,8	23,5	26,2	28,4
$T_{\text{mín}}$	19,5	19,6	17,8	15,3	12,8	9,9	9,1	10,5	12,0	14,2	16,0	17,9

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 Região Homogênea 2

A RH 2 (Figura 13) está localizada no oeste do estado do Rio Grande do Sul, fazendo fronteira com o Uruguai, a Argentina e com o estado de Santa Catarina. A RH 2 possui 79,16% da sua área dentro do bioma Pampa e 20,84% no bioma Mata Atlântica.

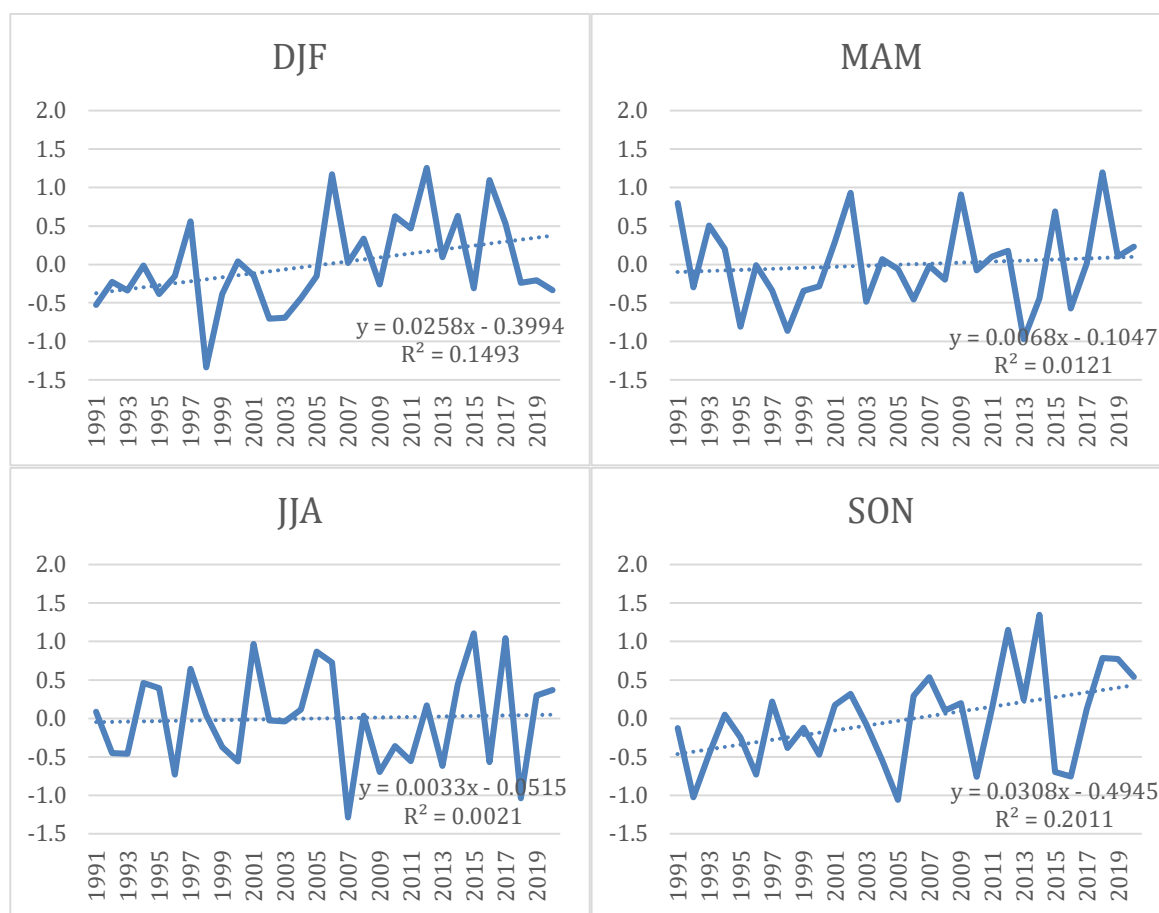
Figura 13 - Mapa de localização da Região Homogênea 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise da temperatura média sazonal da RH 2 (Figura 14 e Tabela 5) permite identificar uma tendência positiva em todas as estações. O verão registrou um aumento de $0,37^{\circ}\text{C}$ ($0,0258^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o outono registrou um aumento de $0,1^{\circ}\text{C}$ ($0,0068^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o inverno, um aumento de $0,05^{\circ}\text{C}$ ($0,0033^{\circ}\text{C a}^{-1}$); e a primavera, um aumento de $0,43^{\circ}\text{C}$ ($0,0308^{\circ}\text{C a}^{-1}$). A estação que apresentou o maior aumento de anomalias de temperatura foi a primavera, sendo que o menor aumento se deu no inverno. Essa região destaca-se por apresentar o menor aumento da temperatura em todas as estações do ano.

Figura 14 – Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 2.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
DJF	0.37	0.63	0.89	1.15	1.41	1.66	1.92	2.18	2.44
MAM	0.10	0.17	0.24	0.30	0.37	0.44	0.51	0.58	0.64
JJA	0.05	0.08	0.11	0.15	0.18	0.21	0.25	0.28	0.31
SON	0.43	0.74	1.05	1.35	1.66	1.97	2.28	2.59	2.89

Fonte: Elaborado pela autora.

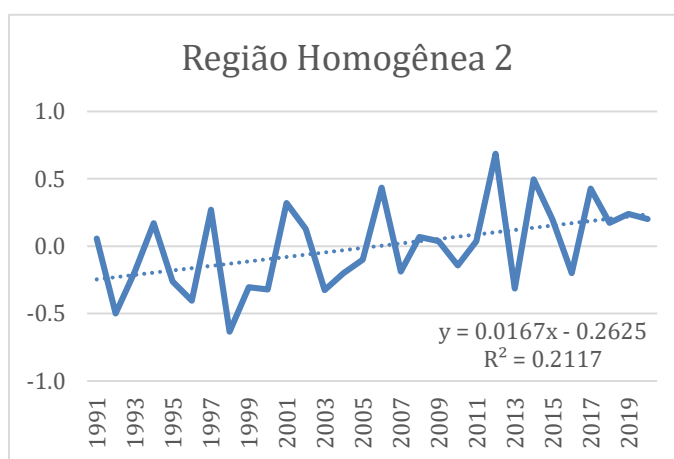
Seguindo a tendência calculada para cada estação, pode-se esperar para 2050 um aumento de 1,15°C para o verão, de 0,30°C para o outono, de 0,15°C para o inverno e de 1,35°C para a primavera. Para as projeções apresentadas na Tabela 5

foram utilizadas as equações $y = 0.0258x - 0.3994$ para DJF, $y = 0.068x - 0.1047$ para MAM, $y = 0.0033x - 0.0515$ para JJA e $y = 0.0308x - 0.4945$ para SON.

No verão, as anomalias positivas que mais se destacam ocorreram nos anos de 2006, 2012 e 2016 e a negativa, no ano de 1998. No outono, a maior anomalia positiva ocorreu em 2018 e a negativa, em 2013. No inverno, ocorreram três anomalias positivas com valores próximos nos anos de 2001, 2015 e 2017, e a anomalia negativa mais significativa ocorreu em 2007. Na primavera, ocorreram duas anomalias positivas com valores próximos nos anos de 2012 e 2014 e duas anomalias negativas, também com valores próximos, nos anos de 1992 e 2005.

A Figura 15 apresenta anomalias anuais para a RH 2 e sua tendência. As projeções apresentadas na Tabela 6 foram calculadas a partir da equação $y = 0.0167x - 0.2625$. Conforme o observado na Tabela 6, pode-se esperar um aumento de $0,57^{\circ}\text{C}$ para 2040, de $0,91^{\circ}\text{C}$ para 2060 e de $1,57^{\circ}\text{C}$ para 2100. Comparando as tendências da RH 2 com as projeções climáticas do AR6 para o SAS, nota-se que nos anos de 2040, 2060 e 2100 o aumento fica abaixo do calculado pelo AR6. Comparando as tendências com a projeção do PRAN para o bioma Pampa, predominante na região, nota-se uma tendência abaixo do esperado para os anos de 2040 e 2100.

Figura 15 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 2.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 2.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
RH2	0.24	0.41	0.57	0.74	0.91	1.07	1.24	1.41	1.57

Fonte: Elaborado pela autora.

A climatologia para a RH 2 (Tabela 7) mostra que a $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{méd}}$ e $T_{\text{mín}}$ durante os meses de outubro a janeiro é superior quando comparamos com a climatologia da RSB. Os meses de julho e agosto apresentam temperaturas mais baixas do que a climatologia da região. A $T_{\text{méd}}$ e $T_{\text{mín}}$ de maio e setembro e a $T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$ do mês de junho também se apresentam mais baixas em comparação à climatologia da região. A $T_{\text{méd}}$ e $T_{\text{máx}}$ do mês de abril, a $T_{\text{méd}}$ de junho e a $T_{\text{máx}}$ de setembro se apresentam superiores à climatologia da RSB.

Tabela 1 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Sul do Brasil.

T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{\text{méd}}$	24,2	24,1	22,9	20,4	16,9	15,1	14,6	16,2	17,7	20,0	21,5	23,3
$T_{\text{máx}}$	29,4	29,1	28,0	25,4	21,6	19,8	19,7	21,6	22,8	24,9	26,8	28,5
$T_{\text{mín}}$	19,1	19,2	17,8	15,4	12,3	10,5	9,6	10,9	12,7	15,1	16,2	18,1

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7- Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 2.

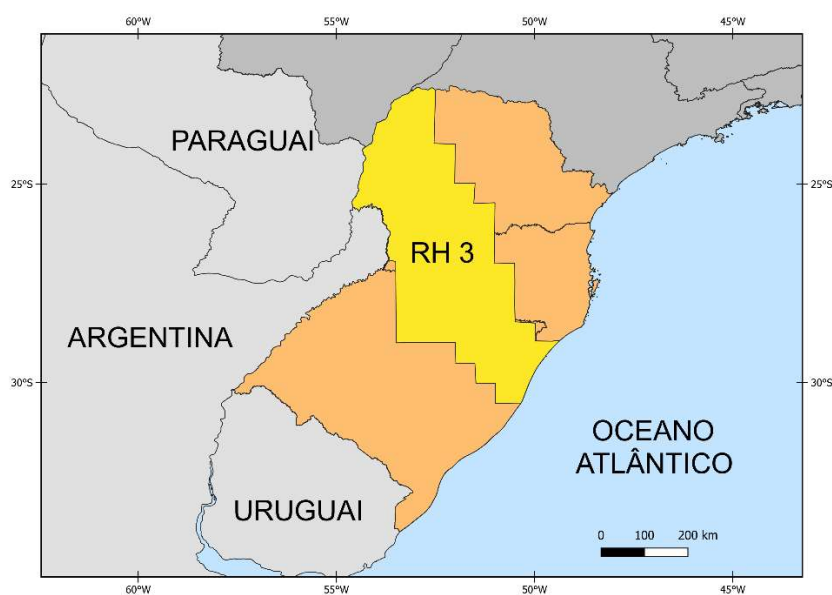
T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{\text{méd}}$	25,6	25,0	23,6	20,5	16,6	14,7	13,9	16,1	17,5	20,4	22,5	24,5
$T_{\text{máx}}$	31,3	30,4	29,1	25,7	21,6	19,6	19,1	21,5	23,1	25,5	28,4	30,4
$T_{\text{mín}}$	19,9	19,7	18,1	15,4	11,7	9,9	8,7	10,8	12,0	15,2	16,7	18,6

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 Região Homogênea 3

A RH 3 (Figura 16) está localizada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul e oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná. A região faz fronteira com o Paraguai e Argentina, assim como com os estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo. A RH 3 possui 96,45% da sua área dentro do bioma Mata Atlântica e 3,55% no bioma Pampa.

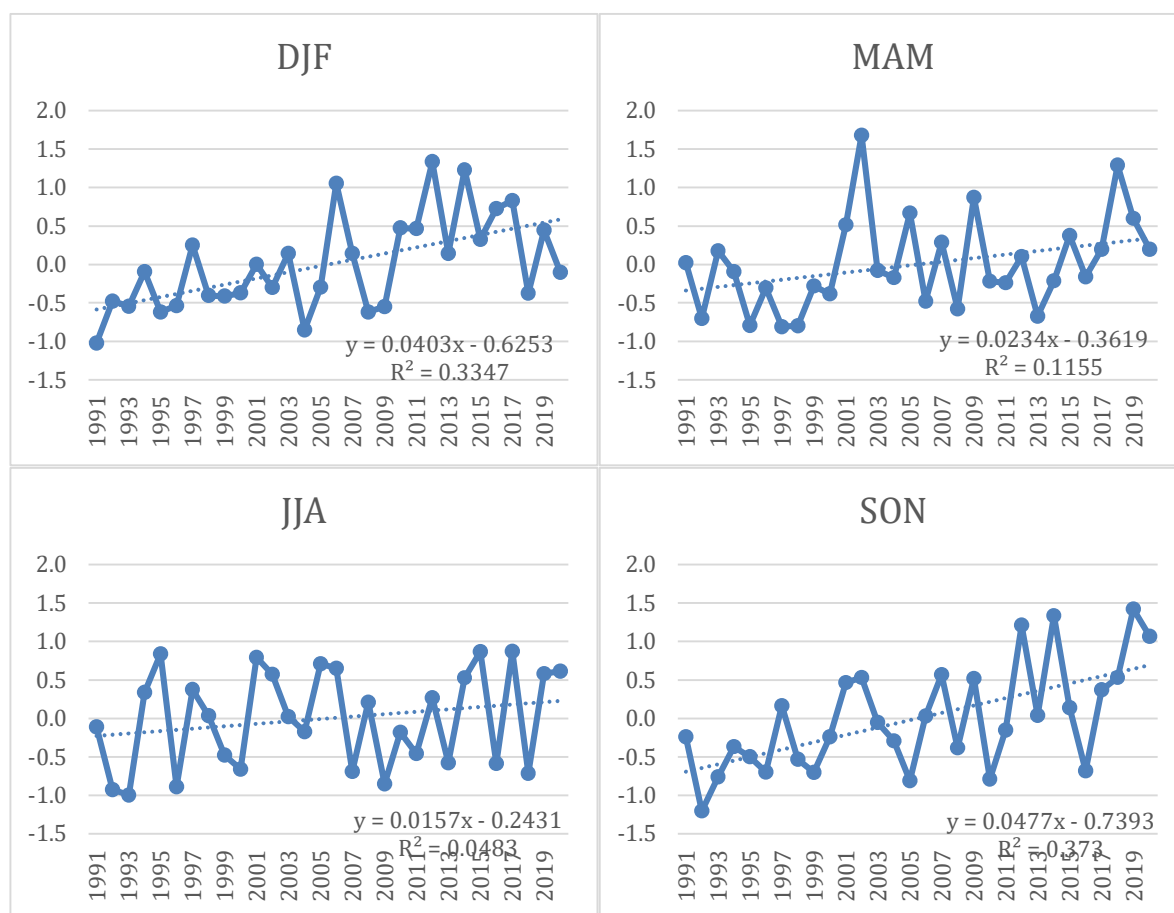
Figura 16 - Mapa de localização da Região Homogênea 3.



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise da temperatura média sazonal da RH 3 (Figura 17 e Tabela 8) permite identificar uma tendência positiva em todas as estações. O verão registrou um aumento de $0,58^{\circ}\text{C}$ ($0,0403^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o outono registrou um aumento de $0,34^{\circ}\text{C}$ ($0,0234^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o inverno, um aumento de $0,23^{\circ}\text{C}$ ($0,0157^{\circ}\text{C a}^{-1}$); e a primavera, um aumento de $0,69^{\circ}\text{C}$ ($0,0477^{\circ}\text{C a}^{-1}$). A estação que apresentou o maior aumento de anomalias de temperatura foi a primavera e o menor aumento se deu no inverno. Essa região destaca-se por ser a segunda com o maior aumento da temperatura em todas as estações do ano.

Figura 17 - Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 3.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 3.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
DJF	0.58	0.99	1.39	1.79	2.20	2.60	3.00	3.40	3.81
MAM	0.34	0.57	0.81	1.04	1.28	1.51	1.74	1.98	2.21
JJA	0.23	0.38	0.54	0.70	0.86	1.01	1.17	1.33	1.48
SON	0.69	1.17	1.65	2.12	2.60	3.08	3.55	4.03	4.51

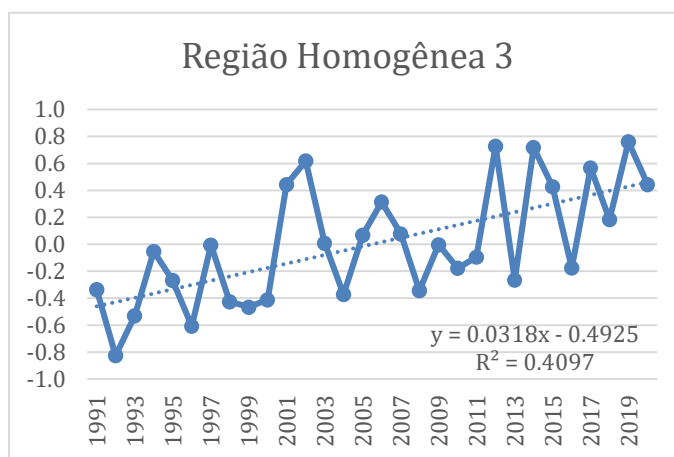
Fonte: Elaborado pela autora.

Seguindo a tendência calculada para cada estação, pode-se esperar para 2050 um aumento de 1,79°C para o verão, de 1,04°C para o outono, de 0,70°C para o inverno e de 2,12°C para a primavera. Para as projeções apresentadas na Tabela 8 foram utilizadas as equações $y = 0.0403x - 0.6253$ para DJF, $y = 0.0234x - 0.3619$ para MAM, $y = 0.0157x - 0.2431$ para JJA e $y = 0.0477x - 0.7393$ para SON.

No verão, a anomalia positiva que mais se destaca ocorreu no ano de 2012, seguida pelos anos de 2014 e 2006, e a negativa de mais destaque se deu no ano de 1991. No outono, a anomalia positiva que mais se destaca ocorreu em 2002, e houve anomalias negativas significativas nos anos de 1995, 1997 e 1998. No inverno, as anomalias positivas que mais se destacam ocorreram nos anos de 1995, 2001, 2015 e 2017, e as anomalias negativas mais relevantes se deram em 1992, 1993 e 1996. Na primavera, as anomalias positivas que mais se destacam ocorreram em 2019 e 2014, e a negativa, em 1992.

A Figura 18 apresenta anomalias anuais para a RH 3 e sua tendência. As projeções apresentadas na Tabela 9 foram calculadas a partir da equação $y = 0.0318x - 0.4925$. De acordo com o observado na Tabela 9, pode-se esperar um aumento de 1,10°C para 2040, de 1,73°C para 2060 e de 3,01°C para 2100. Comparando as tendências da RH 3 com as projeções climáticas do AR6 para o SAS, nota-se que a RH3 fica dentro do esperado nas projeções para os anos de 2060 e 2100. Para o ano de 2040 a RH está abaixo do esperado pela projeção. Comparando as tendências com a projeção do PRAN para o bioma Mata Atlântica, observou-se que a tendência da RH 3 é superior a essa projeção.

Figura 18 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 3.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 9 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 3.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
RH3	0.46	0.78	1.10	1.42	1.73	2.05	2.37	2.69	3.01

Fonte: Elaborado pela autora.

A climatologia para a RH 3 (Tabela 10) mostra que a $T_{máx}$, $T_{méd}$ e $T_{mín}$ durante os meses de junho e julho e de setembro a dezembro são superiores quando comparamos com a climatologia da RSB. O mês de janeiro apresenta temperaturas mais baixas do que a climatologia da região. Os meses de fevereiro a maio apresentam algumas anomalias, mas se mantêm próximos à climatologia.

Tabela 1 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Sul do Brasil.

T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{méd}$	24,2	24,1	22,9	20,4	16,9	15,1	14,6	16,2	17,7	20,0	21,5	23,3
$T_{máx}$	29,4	29,1	28,0	25,4	21,6	19,8	19,7	21,6	22,8	24,9	26,8	28,5
$T_{mín}$	19,1	19,2	17,8	15,4	12,3	10,5	9,6	10,9	12,7	15,1	16,2	18,1

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 10 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 3.

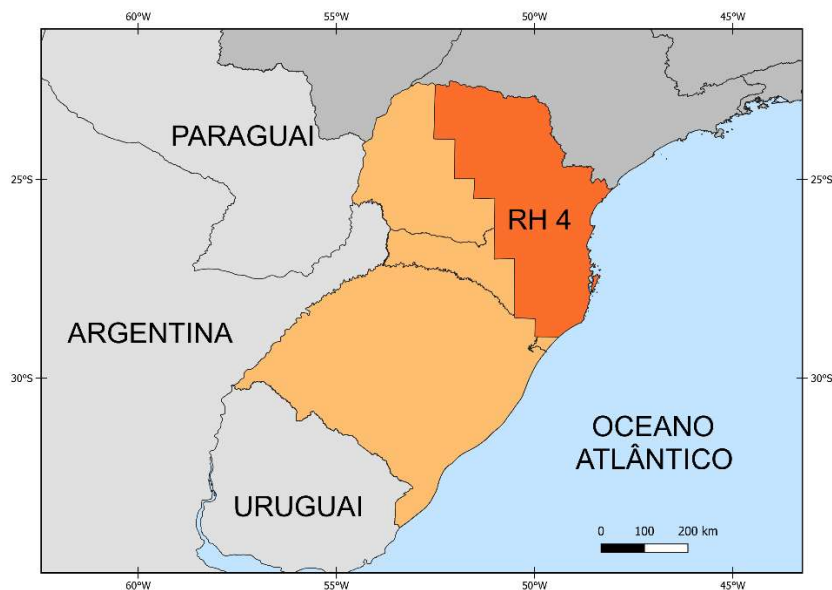
T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{méd}$	24,1	24,1	22,9	20,4	16,9	15,4	15,0	16,6	18,3	20,5	21,7	23,4
$T_{máx}$	29,2	29,1	28,0	25,6	21,6	20,1	20,3	22,1	23,5	25,6	27,2	28,6
$T_{mín}$	19,0	19,0	17,9	15,3	12,2	10,8	9,6	11,0	13,2	15,4	16,2	18,3

Fonte: Elaborado pela autora.

5.4 Região Homogênea 4

A RH 4 (Figura 19) está localizada no leste dos estados de Santa Catarina e Paraná, fazendo fronteira com o estado de São Paulo. A RH 4 está localizada no bioma Mata Atlântica.

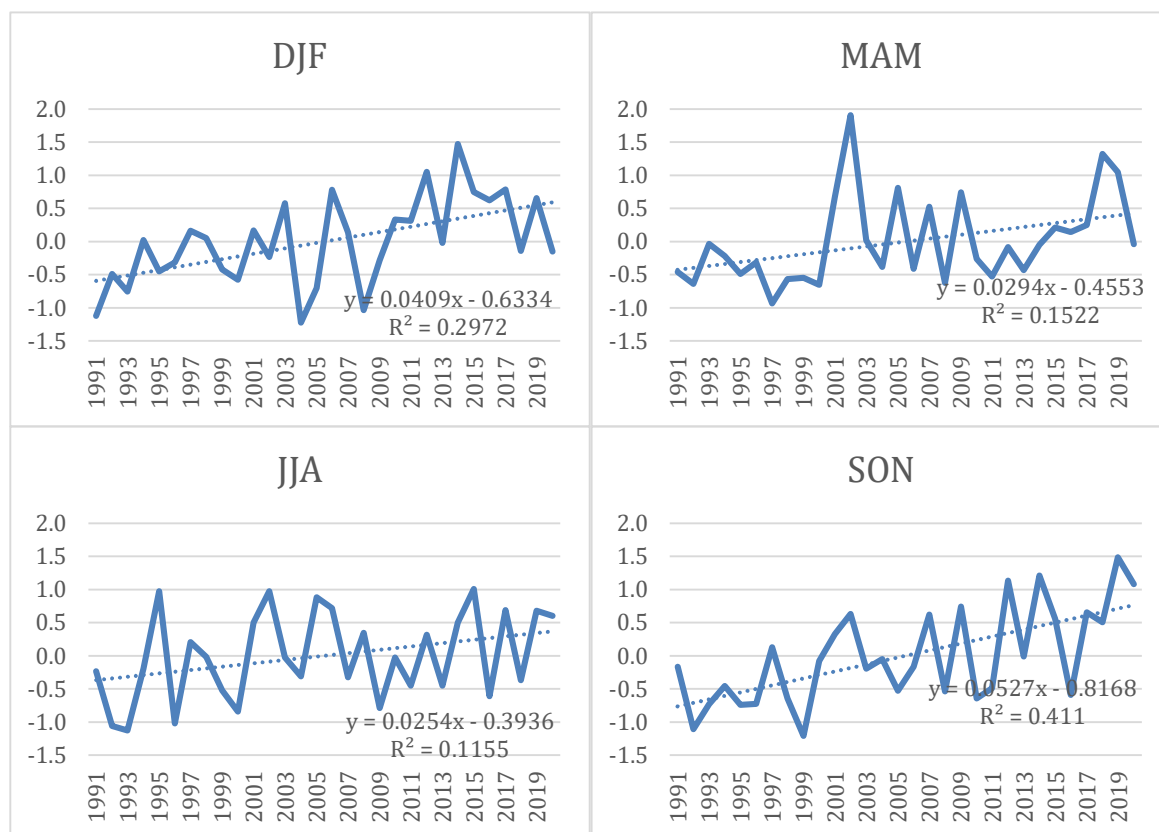
Figura 19 - Mapa de localização da Região Homogênea 4.



Fonte: Elaborado pela autora.

A análise da temperatura média sazonal da RH 4 (Figura 20 e Tabela 11) permite identificar uma tendência positiva em todas as estações. O verão registrou um aumento de $0,59^{\circ}\text{C}$ ($0,0409^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o outono registrou um aumento de $0,88^{\circ}\text{C}$ ($0,0294^{\circ}\text{C a}^{-1}$); o inverno, um aumento de $0,37^{\circ}\text{C}$ ($0,0254^{\circ}\text{C a}^{-1}$); e a primavera, um aumento de $0,76^{\circ}\text{C}$ ($0,0527^{\circ}\text{C a}^{-1}$). A estação que apresentou o maior aumento de anomalias de temperatura foi a primavera, e o menor aumento se deu no inverno. Essa região destaca-se por apresentar o maior aumento da temperatura em todas as estações do ano.

Figura 20 - Anomalias de temperatura média sazonal (1991 a 2020) para a Região Homogênea 4.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11 - Projeções de aumento de temperatura sazonal para Região Homogênea 4.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
DJF	0.59	1.00	1.41	1.82	2.23	2.64	3.05	3.46	3.87
MAM	0.43	0.72	1.01	1.31	1.60	1.90	2.19	2.48	2.78
JJA	0.37	0.62	0.88	1.13	1.38	1.64	1.89	2.15	2.40
SON	0.76	1.29	1.82	2.35	2.87	3.40	3.93	4.45	4.98

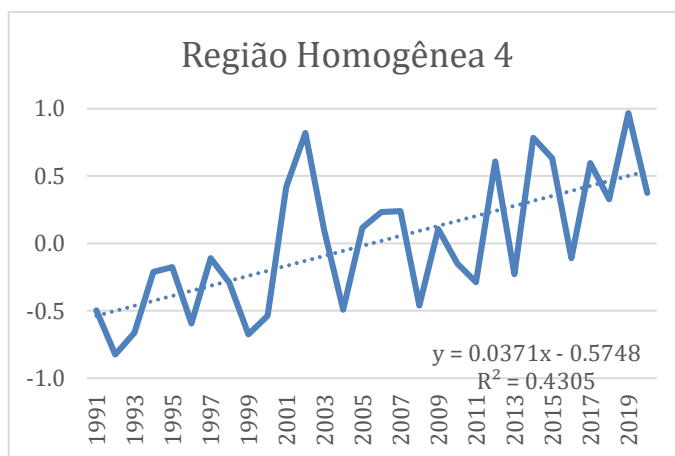
Fonte: Elaborado pela autora.

Seguindo a tendência calculada para cada estação, pode-se esperar para 2050 um aumento de 1,82°C para o verão, de 1,31°C para o outono, de 1,13°C para o inverno e de 2,35°C para a primavera. Para as projeções apresentadas na Tabela 2 foram utilizadas as equações $y = 0.0409x - 0.6334$ para DJF, $y = 0.0294x - 0.4553$ para MAM, $y = 0.0254x - 0.3936$ para JJA e $y = 0.0527x - 0.8168$ para SON.

No verão, a anomalia positiva que mais se destaca ocorreu no ano de 2014 e a negativa, no ano de 1997. No outono, a anomalia positiva que mais se destaca ocorreu em 2002 e a negativa, em 2013. No inverno, as anomalias positivas mais significativas ocorreram nos anos de 1995, 2002, 2005 e 2015 e as anomalias negativas mais relevantes, em 1992, 1993 e 1996. Na primavera, a anomalia positiva que mais se destaca ocorreu em 2019 e a negativa, em 1999.

A Figura 21 e a Tabela 12 apresentam as anomalias anuais para a RH 4 e sua tendência. As projeções apresentadas na Tabela 12 foram calculadas a partir da equação $y = 0.0371x - 0.5748$. De acordo com o observado, pode-se esperar um aumento de 1,28°C para 2040, de 2,02°C para 2060 e de 3,51°C para 2100. Comparando as tendências da RH 4 com as projeções climáticas do AR6 para o SAS, para o ano de 2040 a RH está abaixo do esperado. Nota-se que a RH fica dentro do esperado nas projeções para os anos de 2060 e 2100. Comparando as tendências com a projeção do PRAN para o bioma Mata Atlântica, a RH 4 possui uma tendência superior a projeção.

Figura 21 - Anomalias de temperatura média (1991 a 2020) para a Região Homogênea 4.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 12 - Projeções de aumento de temperatura para Região Homogênea 4.

	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100
RH4	0.54	0.91	1.28	1.65	2.02	2.39	2.76	3.14	3.51

Fonte: Elaborado pela autora.

A climatologia para a RH 4 (Tabela 13) mostra que a $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{méd}}$ e $T_{\text{mín}}$ durante os meses de abril a setembro é superior quando comparamos com a climatologia da RSB. Os meses de novembro a março apresentam temperaturas mais baixas do que a climatologia da região.

Tabela 1 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Sul do Brasil.

T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{\text{méd}}$	24,2	24,1	22,9	20,4	16,9	15,1	14,6	16,2	17,7	20,0	21,5	23,3
$T_{\text{máx}}$	29,4	29,1	28,0	25,4	21,6	19,8	19,7	21,6	22,8	24,9	26,8	28,5
$T_{\text{mín}}$	19,1	19,2	17,8	15,4	12,3	10,5	9,6	10,9	12,7	15,1	16,2	18,1

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 13 - Climatologia de temperatura (1991 a 2020) da Região Homogênea 4.

T(°C)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
$T_{\text{méd}}$	23,2	23,5	22,5	20,5	17,3	15,8	15,4	16,7	18,1	20,0	20,8	22,4
$T_{\text{máx}}$	28,0	28,3	27,4	25,5	22,1	20,8	20,8	22,3	23,1	24,8	25,7	27,0
$T_{\text{mín}}$	18,5	18,6	17,7	15,6	12,4	10,8	10,2	11,1	13,1	15,2	15,8	17,8

Fonte: Elaborado pela autora.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo a identificação de Regiões Homogêneas de temperaturas na Região Sul do Brasil.

Com base nas anomalias mensais de $T_{\text{méd}}$, foram identificadas quatro RH de temperatura: a RH 1 está localizada no sudeste do estado do Rio Grande do Sul, com 83,05% da sua área no bioma Pampa; a RH 2 está localizada no oeste do estado, com 79,16% da sua área no bioma Pampa; a RH 3 se localiza no nordeste do estado do Rio Grande do Sul e no oeste dos estados de Santa Catarina e Paraná, com 96,45% do seu território no bioma Mata Atlântica; e a RH 4 está localizada no leste dos estados de Santa Catarina e Paraná, dentro do bioma Mata Atlântica.

Com relação às características climatológicas, foi observada uma tendência consistente de aumento de temperatura nas quatro RH. A RH 4 foi a que apresentou as maiores tendências positivas, com $0,0371^{\circ}\text{C a}^{-1}$. A RH apresenta tendência superior a todas as projeções do PRAN. Segundo os dados apresentados, a primavera é a estação que apresenta as maiores tendências positivas, com $0,0527^{\circ}\text{C a}^{-1}$. As tendências da RH indicam um aumento de $3,51^{\circ}\text{C}$ para o período até o ano de 2100.

A RH 3 é a segunda região com as maiores tendências positivas. Essa RH se mantém dentro das projeções do AR6 para os anos de 2060 e 2100, mas abaixo para o ano de 2040. A RH apresenta aumentos acima das projeções do PRAN. A estação que apresenta a maior tendência é a primavera, com $0,0477^{\circ}\text{C a}^{-1}$. As tendências da RH indicam um aumento de $3,01^{\circ}\text{C}$ para o ano de 2100.

A RH 1 é a terceira com as maiores tendências positivas. Com $0,0237^{\circ}\text{C a}^{-1}$, essa região fica abaixo das projeções para os anos de 2040 e 2060 do AR6, mas dentro das projeções do AR6 para 2100. A RH também apresenta aumento abaixo do esperado nas projeções do PRAN. A estação com maior tendência positiva é o verão, com $0,0369^{\circ}\text{C a}^{-1}$. As tendências da RH indicam um aumento de $2,24^{\circ}\text{C}$ na estação para o ano de 2100.

A RH 2 foi a que apresentou as menores tendências positivas. A tendência anual de $0,0167^{\circ}\text{C a}^{-1}$ aponta que a região é a única que permanece abaixo das projeções do PRAN e do AR6 para anos de 2040, 2060 e 2100. A estação que apresentou as maiores tendências foi a primavera, com $0,0308^{\circ}\text{C a}^{-1}$. As tendências da RH indicam um aumento de $1,57^{\circ}\text{C}$ para a estação em 2100.

As RH 1 e 2 apresentam predomínio do bioma Pampa. A RH 1 apresenta um aumento de 0,81°C para 2040 e de 2,24°C para 2100. A RH 2 apresenta um aumento de 0,57°C para o ano de 2040 e de 1,57°C para 2100. O PRAN estima que o aumento para o bioma seja de até 1°C para 2040 e entre 2,5°C e 3°C para 2100. As duas regiões presentes no bioma encontram-se abaixo das projeções.

As RH 3 e 4, com predomínio do bioma Mata Atlântica, apresentam estimativas superiores às das projetadas pelo PRAN. A RH 3 apresenta um aumento de 1,10°C para 2040 e de 3,01°C para 2100. A RH 4 apresenta um aumento de 1,28°C para 2040 e de 3,51°C para 2100. As projeções do PRAN para o bioma Mata Atlântica são de 0,5°C a 1°C para 2040 e de 2,5°C a 3°C até 2100.

As RH 1 e 2 mostraram tendências inferiores às projeções do AR6 para os anos de 2040 e 2060. A RH 1 fica dentro das projeções para 2100, enquanto a RH 2 apresenta aumentos inferiores a projeção. A RH 3 ficou dentro das projeções do relatório para os anos de 2060 e 2100, ficando abaixo apenas para o ano de 2040. A RH 4 apresentou aumento inferior para 2040 e dentro das projeções para os anos de 2060 e 2100.

Com a AAH e a identificação das RH, foi possível verificar que as regiões com predomínio do bioma Pampa possuem tendências inferiores às regiões com predomínio do bioma Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, Francisco Eliseu. **Conexão climática entre o modo anular do Hemisfério Sul com a Península Antártica e o sul do Brasil**. 2012. 121 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- ARAÚJO, SILVIA MARIA. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias do ar no Rio Grande do Sul**. 2005. 54 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.
- ASSAD, Eduardo Delgado. Sistemas agrícolas adaptados às mudanças climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 73, n. 1, p. 35-40, 2021. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252021000100007&script=sci_arttext
- BARCELLOS, Christovam *et al.* Mudanças climáticas e ambientais e as doenças infecciosas: cenários e incertezas para o Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 18, n. 3, p. 285-304, 2009. Disponível em: <http://scielo.iec.gov.br/pdf/ess/v18n3/v18n3a11.pdf>
- BARROSO, Lúcia Pereira; ARTES, Rinaldo. **Análise de multivariada**. Lavras: UFLA, 2003. 157 p.
- BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosfera, tempo e clima**. Tradução de Ronaldo Cataldo Costa. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 528 p.
- BASTOS, Camilla C.; FERREIRA, Nelson J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 2000. Disponível em: http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/03.15.19.20/doc/Bastos_Analise%20climatologica.pdf
- BERNARDES, L. M. C. Clima. *In*: Atlas do Brasil. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Geografia, IBGE, 1960. p. 497-509.
- BOYER, Tim; BLUNDEN, Jessica; DUNN, Robert J. H. Introduction. *In*: BLUNDEN, Jessica; BOYER, Tim. (Ed.). State of the climate in 2020. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 102, n. 8. Disponível em: https://ametsoc.net/sotc2020/State_of_the_Climate_in_2020_LowRes96.pdf
- BRAGA, Célia Campos; MELO, Maria Luciene Dias de; MELO, Ewerton Cleudson Sousa. Análise de agrupamento aplicada à distribuição da precipitação no estado da Bahia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: SBMET, 1998. Disponível em: https://www.academia.edu/1063172/An%C3%A1lise_de_agrupamento_aplicada_a_distribui%C3%A7%C3%A3o_da_precipita%C3%A7%C3%A3o_no_Estado_da_Bahia

CARDONA, Omar Dario. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. *In*: INTERNATIONAL WORK-CONFERENCE ON VULNERABILITY IN DISASTER THEORY AND PRACTICE, 2001, Wageningen. **Anais...** Wageningen: Wageningen University and Research Centre, 2001. Disponível em: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19852/VulnerabilidadRiesgoHolistico%28Cardona_2002%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; AMBRIZZI, Tércio. Teleconexões e suas influências no Brasil. *In*: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque *et al.* (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CHRISTOPHERSON, Robert W.; BIRKELAND, Ginger H. **Geossistemas**: uma introdução à geografia física. Tradução de Théo Amon. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2018.

CONFALONIERI, Ulisses Eugenio Cavalcanti. Mudanças climáticas e saúde humana. *In*: POPPE, Marcelo Khaled; ROVERE, Emilio Lèbre la. (Coord.). **Mudança do clima**. Mercado de carbono. Brasília: Cadernos NAE, SECOM/PR, 2005a. p. 166-71.

CONFALONIERI, Ulisses Eugenio Cavalcanti. Variabilidade climática, vulnerabilidade social e saúde no Brasil. **Terra Livre**, v. 19-I, n. 20, p. 193-204, 2005b. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/index.php/terralivre/article/download/185/169/338>

CORDEIRO, Ana Paula Assumpção; BERLATO, Moacir Antonio; FONTANA, Denise Cybis; ALVES, Rita de Cássia Marques. **Tendências climáticas das temperaturas do ar no estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física (RBGF), [s. l], v. 09, p. 868-880, jul. 2016.

Christina, I.; Nogueira, M. **CARACTERIZAÇÃO DO CLIMA DE ONDAS NA BACIA DO ESPÍRITO SANTO ATRAVÉS DE MODELAGEM NUMÉRICA**. UFRJ/COPPE 128 (2014).

ESTIVILL-CASTRO, Vladimir. Why so many clustering algorithms: a position paper. **ACM SIGKDD Explorations Newsletter**, v. 4, n.1, p. 65-75, 2002. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/568574.568575>

EVERITT, Brian S. **Cluster analysis**. London: Heinemann Books, 1974. 135 p.

FACELI, Katti *et al.* **Inteligência artificial**: uma abordagem de aprendizado de máquina. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2011.

FOVELL, Robert G.; FOVELL, Mei-Ying C. Climatic zones of the conterminous United States defined using cluster analysis. **Journal of Climate**, v. 6, n. 11, p. 2103-35, 1993.

FREITAS, J. C. de. **Análise de agrupamentos na identificação de regiões homogêneas de índices climáticos no Estado da Paraíba-PB**. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro

de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2009.

GONG, Xiaofeng; RICHMAN, Michael B. On the application of cluster analysis to growing season precipitation data in North America east of the Rockies. **Journal of Climate**, v. 8, n. 4, p. 897-931, 1995. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26199911>

GRIMM, Alice Marlene. Variabilidade interanual do clima no Brasil. *In*: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque *et al.* (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

GRIMM, Alice Marlene; FERRAZ, Simone E. T.; GOMES, Júlio. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.11, p. 2863-80, 1998. Disponível em: <https://icess.eri.ucsb.edu/gem/Grimm.et.al.harmonic.dials.J.climate.pdf>

GRIMM, Alice Marlene; TOGATLIAN, Isabela de Mattos. Relação entre eventos El Niño/La Niña e frequência de ocorrência de extremos frios e quentes de temperatura no cone sul da América do Sul. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu. **Anais...** Foz de Iguaçu: SBMET, 2002. Disponível em: <https://docs.ufpr.br/~feltrim/GB805%20-%20Climatologia/Aula%2012%20-%20Variabilidade%20e%20Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas/Textos%20de%20apoio/GRIMM-02.pdf>

GROTZINGER, John; JORDAN, Tom. **Para entender a Terra**. Tradução de Iuri Duquia Abreu e Rualdo Menegat. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 764 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Anuário estatístico do Brasil. **IBGE**, v. 67, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Território. **IBGE**, 2004. Disponível em: <https://brasilemsintese.ibge.gov.br/territorio.html>

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **IBGE**. Síntese Descrição Biomas. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/documentos/Sintese_Descricao_Biomas.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Grupo de Previsão do Tempo (GPT). **Meteorologia sinótica prática**: ciclogêneses na América do Sul. São Paulo: INPE/CPTEC, 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Sixth Assessment Report**. AR6 Climate change 2021: the physical science basis. **IPCC**, mai. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Sixth Assessment Report**. AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. **IPCC**, fev. 2022a. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Sixth Assessment Report**. AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. **IPCC**, abr. 2022b. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>

JAIN, Anil K.; DUBES, Richard C. **Algorithms for clustering data**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988.

KÖPPEN, Wladimir; GEIGER, Rudolf. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2010. 229 p. Texto didático 15.

MINGOTI, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MINUZZI, Rosandro Boligon; CARAMORI, Paulo Henrique; BORROZINO, Edmirson. **Tendências na variabilidade climática sazonal e anual das temperaturas máxima e mínima do ar no Estado do Paraná**. *Bragantia*, [S.L.], v. 70, n. 2, p. 471-479, 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0006-87052011000200031>.

MINUZZI, Rosandro B.. **Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, [S.L.], v. 14, n. 12, p. 1288-1293, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662010001200006>.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). National Centers for Environmental Information. Anomalies vs. temperature. **NOAA**, 2022. Disponível em: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/dyk/anomalies-vs-temperature>

NIMER, Edmon. Clima. *In: Geografia do Brasil: Região Sul*. Rio de Janeiro: IBGE/SERGRAF, 1977. v. 5. p. 35-79.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: PBMC, 2014. 414 p.

PBMC, 2013: Executive Summary: **Impacts, Vulnerability and Adaptation to Climate Change**. Contribution from Grupo de Trabalho 2 (GT2 – acronym for the Working Group 2) to the Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudança Climáticas (RAN1) of the Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC). [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 28 pp.

PBMC, 2013: **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário

Executivo GT1.PBMC, Rio de Janeiro, Brasil. 24 p. ISBN: 978-85-285-0208-4
Contribuição do Grupo de Trabalho 1

ROGERSON, Peter A. **Métodos estatísticos para geografia**: um guia para o estudante. Tradução de Paulo Fernando Braga Carvalho e José Irineu Rangel Rigotti. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

SATYAMURTY, Prakki; NOBRE, Carlos A.; DIAS, Pedro L. Silva. South America. In: KAROLY, David J.; VINCENT, Dayton G. (Ed.). **Meteorology of the Southern Hemisphere**. Boston, MA: American Meteorological Society, 1998.
https://doi.org/10.1007/978-1-935704-10-2_5

STRAHLER, Arthur Newell; STRAHLER, Alan H. 1989. **Geografía física**. Barcelona: Omega, 1989.

THOMPSON, J.; CAIRNCROSS, C. Drawers of water: assessing domestic water use in Africa. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 80, n. 1, p. 61-62, 2002.
Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/268625>

TUBELIS, Antonio; NASCIMENTO, Fernando José Lino do. **Meteorologia descritiva**. Fundamentos e aplicações brasileiras. São Paulo: Nobel, 1980. 374 p.

TURNER, John; MARSHALL, Gareth J. **Climate change in the polar regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

UNAL, Yurdanur.; KINDAP, Tayfun; KARACA, Mehmet. Redefining the climate zones of Turkey using cluster analysis. **International Journal of Climatology**, v. 23, n. 9, p. 1045-55, 2003. Disponível em:
<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.472.7795&rep=rep1&type=pdf>

University Of East Anglia. Climatic Research Unit: high-resolution gridded datasets (and derived products). High-resolution gridded datasets (and derived products). Disponível em: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>. Acesso em: 14 jul. 2020.

VIANA, Denilson Ribeiro. **Sistema de reconhecimento de padrões estatísticos aplicado à previsão climática mensal e sazonal de temperatura e precipitação no Centro-Sul do Brasil**. 2015. 248 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Curso de Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

WALLACE, John M.; HOBBS, Peter V. **Atmospheric science**: an introductory survey. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2006. 504 p.

WILKS, Daniel S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2. ed. San Diego: Elsevier, 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Climate. **WMO**, 2022. Disponível em: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate#:~:text=WMO%20supports%20climate%20policy%2Dmaking,international%20data%20centres%20and%20agencies>