

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇO
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CLIMA E AMBIENTE**

CAIO GUERRA DE OLIVEIRA

REGIONALIZAÇÃO DO CLIMA EM SANTA CATARINA



FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE SAÚDE E SERVIÇO
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM CLIMA E AMBIENTE**

CAIO GUERRA DE OLIVEIRA

REGIONALIZAÇÃO DO CLIMA EM SANTA CATARINA

Dissertação submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre Profissional em Clima e Ambiente.

Orientador:
Prof. Mário Francisco Leal de Quadro, Dr.

FLORIANÓPOLIS, 2023.

CDD 551.6
O48r

Oliveira, Caio Guerra de
Regionalização do clima em Santa Catarina [DIS] / Caio Guerra de Oliveira;
orientação de Mário Francisco Leal de Quadro – Florianópolis, 2023.

1 v.: il.

Dissertação de Mestrado (Clima e Ambiente) – Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Inclui referências.

1. Climatologia. 2. Mesoclima. 3. Clusterização. 4. Ciclo diurno. 5. Santa
Catarina. I. Quadro. Mário Francisco Leal de. II. Título.

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Ana Paula F. Rodrigues - CRB 14/1117

Aluno (a): **CAIO GUERRA DE OLIVEIRA**

Título:	REGIONALIZAÇÃO DO CLIMA EM SANTA CATARINA
----------------	---

**Aprovado (a) pela Banca Examinadora em
cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de Mestre em Clima e Ambiente**

Dr(a). MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO



Documento assinado digitalmente
MARIO FRANCISCO LEAL DE QUADRO
Data: 03/11/2023 17:41:26-0300
CPF: 539.913.030-00
Verifique as assinaturas em <https://v.ifsc.edu.br>

Orientador(a) / Presidente / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: (X) Presencial () Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Dr(a). ADRIANO VITOR



Documento assinado digitalmente
ADRIANO VITOR
Data: 08/11/2023 02:49:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: (X) Presencial () Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Dr(a). DIRCEU LUIS HERDIES

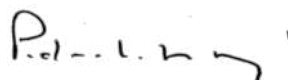


Documento assinado digitalmente
DIRCEU LUIS HERDIES
Data: 03/11/2023 18:05:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Avaliador(a) Interno / IFSC / Florianópolis - SC

Participação: (X) Presencial () Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Dr(a). PEDRO LEITE DA SILVA DIAS



Avaliador(a) Externo / USP / São Paulo - SP

Participação: () Presencial (X) Videoconferência
(X) Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

- () maioria simples
(X) unanimidade

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, um obrigado especial para o Prof. Mario, não poderia pedir um orientador melhor neste processo. O Mario sabe exigir quando precisa, e também sabe ser leve quando precisa.

Ao Professor Adriano, pelo seu tempo e boa vontade para discutir os métodos de agrupamento. Em um momento de grande indecisão do trabalho, as suas conversas abriram os caminhos para o que construí nesta dissertação.

Aos Professores, colegas e ex-colegas do PCAM, valeu por tudo! Cada um de vocês, nos momentos de trabalho e nas pausas para o café, fez parte da minha trajetória. Em especial, agradeço a Roseli, por me ajudar com os mapas neste trabalho e, acima de tudo, por me receber em sua casa quando não conhecia quase ninguém em Florianópolis.

Agradeço à Amanda, bolsista do departamento, por todo o trabalho de design na elaboração do Atlas Meteorológico. Mesmo mal nos conhecendo, você foi muito atenciosa e cuidadosa com meu trabalho. Valeu!

Um grande abraço para a equipe de Meteorologia da Defesa Civil de SC. Aos que já passaram e aos que continuam, vocês não só me ensinaram muito, mas também se tornaram amigos para a vida. Agradeço também a Francine, por perder seu tempo de folga para conversar sobre as regiões de Santa Catarina, sempre com o entusiasmo que só apaixonados pela meteorologia tem.

A Associação Catarinense de Meteorologia, que me deu a oportunidade de colaborar e evoluir junto com os demais membros. Me mostrou como é possível irmos longe com a organização dos profissionais.

Aos meus pais, Darli e Romualdo, por entender minha ausência nestes últimos anos. Vocês me prepararam para a vida, e nunca chegaria aqui sem o seu apoio. Ao meu irmão, minhas irmãs e minha sobrinha, por todas as conversas, devaneios e risadas. Família, amo vocês.

E a minha companheira, Ana Elisa, por me ouvir tantas vezes dizer "Não me deixe fazer doutorado!". Agradeço pelo apoio incondicional e sua presença sempre afetuosa, mesmo nos momentos mais difíceis. Você me faz melhor todos os dias.

"Eu sou a continuação de um sonho
Da minha mãe, do meu pai
De todos que vieram antes de mim

Eu sou a continuação de um sonho
Da minha vó, do meu vô
Quem sangrou pra gente poder sorrir"

(Abebe Bikila)

RESUMO

A complexidade geográfica do Estado de Santa Catarina (SC) e a interação de diversos sistemas meteorológicos conduzem a uma multiplicidade de variações climáticas. Utilizando dados horários das estações meteorológicas automáticas (EMAs) da rede do INMET entre 2000 e 2022, este estudo elaborou climatologias espacializadas para as variáveis de precipitação e temperatura, cujos resultados são consistentes com as literaturas anteriores. A comparação dos dados das EMAs com as normais climatológicas do INMET validou sua representatividade para a Região Sul do Brasil (RSB). Adicionalmente, climatologias horárias espacializadas foram geradas para estas variáveis, proporcionando uma perspectiva mais detalhada do ciclo diurno. Em uma etapa subsequente, com a finalidade de identificar padrões climáticos regionais, dois métodos de clusterização, o agrupamento hierárquico e o k-means, foram aplicados às variáveis de precipitação, temperatura, velocidade dos ventos e umidade relativa do ar. Apesar de ambos os métodos terem sido utilizados, o agrupamento hierárquico demonstrou uma maior facilidade de uso e consistência, apresentando resultados únicos e estáveis. Por outro lado, o k-means ofereceu diferentes soluções de agrupamento. Como resultado dessa análise, seis mesorregiões distintas foram encontradas em SC. Para cada uma dessas mesorregiões, foram geradas climatologias, considerando as variações das estações do ano nos ciclos diurnos para precipitação, temperatura e umidade relativa. Adicionalmente, o ciclo diurno dos ventos foi detalhado, permitindo a identificação de comportamentos característicos, como circulação de brisa. Esses gráficos e análises oferecem uma visão mais profunda das características climáticas de cada mesorregião.

Palavras-chave: Climatologia. Mesoclima. Clusterização. Ciclo Diurno. Santa Catarina.

ABSTRACT

Santa Catarina state (SC) has a complex topography. This, coupled with the interaction of various meteorological systems, leads to a wide range of climatic variations. This study used hourly data from INMET's automated meteorological stations (EMAs) between 2000 and 2022 to develop spatialized climatologies for precipitation and temperature. The findings align with prior literature. When comparing EMA data with INMET's climatological norms, the data was found to be representative of the Southern Region of Brazil (RSB). The study also produced spatialized hourly climatologies, giving insight into the diurnal cycle. In a phase focused on identifying regional climatic patterns, the study employed two clustering methods: hierarchical aggregation and k-means. These methods were applied to variables like precipitation, temperature, wind speed, and relative humidity. Hierarchical clustering was easier to use and more consistent, offering stable and unique results. On the other hand, k-means produced various clustering outcomes. This analysis identified six distinct mesoregions in SC. For each mesoregion, climatologies were crafted considering diurnal cycles across seasons for precipitation, temperature, and relative humidity. The study also detailed the diurnal wind cycle, highlighting behaviors like breeze circulation. This in-depth examination provides a clearer understanding of the climate features in each mesoregion.

Keywords: Climatology. Mesoclimate. Clustering. Diurnal Cycle. Santa Catarina.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produto GeoColor, desenvolvido pelo Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA), resultado de uma combinação de variados canais do satélite GOES-16, por volta das 11h do dia 16/06/2023.	23
Figura 2 – Ciclo de vida dos ciclones extratropicais. a) frente polar semiestacionária; b) perturbação inicial; (c) e (d) formação das frentes e intensificação; (e) e (f) oclusão; (g) e (h) decaimento do sistema. . .	24
Figura 3 – Modelo conceitual de uma ciclogênese, sobrepondo o escoamento em altos e médios níveis com a formação da baixa pressão em superfície. À esquerda, as figuras mostram a variação do escoamento em 500 hPa na passagem no tempo entre o primeiro e o quarto dia, representados de (a) à (d), respectivamente. A direita, o escoamento em 300 hPa entre o segundo e o quarto dia, de (b) à (d).	25
Figura 4 – Climatologia dos ciclones no HS, entre 1991-2020, a partir da reanálise ERA5 do ECMWF e com o algoritmo de Murray e Simmonds, gerado pelo GrEC da USP, para as variáveis densidade de trajetória (a) e profundidade (b).	28
Figura 5 – Modelo conceitual das trajetórias das FFs sobre o sul da AS	31
Figura 6 – Climatologia mensal de altura geopotencial escalada de 850-hPa (gpm) de 1979–2015, ajustada com a remoção da média anual da altura geopotencial sobre a região do Atlântico Sul.	33
Figura 7 – Padrões de bloqueio no Hemisfério Sul: (a) dipolo, (b) omega, (c) crista estacionária.	35
Figura 8 – Variabilidade das posições do JST (a) e JP (b) de acordo com as estações do ano, para valores médios e extremos.	37
Figura 9 – Regiões onde os jatos de baixos níveis ocorrem com frequência (pintado) e regiões onde sistemas convectivos de mesoescala ocorrem frequentemente durante o verão (caixa).	39
Figura 10 – Modelo conceitual do JBNAS a leste dos andes.	40
Figura 11 – Número médio de dias com JBNs de (a) norte e (b) sul, no período de 1996-2010, com os dados NCEP-CFSR, obtidos através do critério ONK18.	42
Figura 12 – Mosaico ilustrativo das diferentes formas que um SCM se apresenta: SCM alongado, 12/09/23 às 00h10 UTC; (b) Complexo Convectivo de Mesoescala, 12/11/18 às 10 UTC; Linhas de Instabilidade (c) 04/09/23 às 17 UTC e (d) 20/06/20 às 21 UTC.	45

Figura 13 – Climatologia de precipitação média, dos dados do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), calculada através da identificação de precipitação, como quaisquer um dos itens i) Núcleo Convectivo Profundo ii) Núcleo Convectivo Amplo; e iii) Região Estratiforme Ampla, dos dados TRMM, entre 1998 para 2012; para (a) primavera austral e (b) verão austral.	46
Figura 14 – Diagrama Hovmöller da porcentagem de tempo com precipitação na faixa latitudinal de -35° à -20°, de 2002 a 2008, para (a) inverno, (b) primavera, (c) verão e (d) outono. A longitude de SC está destacada nas caixas vermelhas.	47
Figura 15 – Diagrama da formação da brisa marítima (a) e brisa terrestre (b). . .	51
Figura 16 – Classificação climática de Köppen para a RSB.	54
Figura 17 – Regimes de precipitação (a) e temperatura (b) na região sul do país (1960-2000), segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA).	55
Figura 18 – Métodos de agrupamento aplicados à precipitação na RSB, baseado no (a) pico da estação chuvosa, com letras indicando os três meses consecutivos mais chuvosos, e (b) agrupamento hierárquico aglomerativo, destacando as cinco regiões homogêneas identificadas.	59
Figura 19 – Análise de agrupamento para o estado de SC, com as linhas e cores indicando as regiões homogêneas encontradas nos trabalhos de (a) de Andrade, 1999, (b) Baldo, 2000; (c) Ichiba, 2002; (d) Baptista, 2018	60
Figura 20 – Análise de agrupamento das regiões de acordo com as médias mensais das estações pluviométricas.	62
Figura 21 – Carta Hipsométrica de SC e distribuição da rede de estações automáticas do INMET nos três Estados da Região Sul do Brasil.	63
Figura 22 – Fluxograma da rotina realizada no python para o cálculo das climatologias para cada mesorregião	67
Figura 23 – Climatologia anual de Precipitação Média Acumulada (mm.ano-1) (a e b) e Temperatura Média Anual (c e d) para a Região Sul do Brasil, a partir dos dados disponíveis de EMAs, entre os anos de 2000 e 2022 e a NCII do INMET. Círculos indicam a localização das estações meteorológicas.	74
Figura 24 – Climatologia sazonal de Precipitação Média Acumulada (mm) para a Região Sul do Brasil, a partir dos dados disponíveis de EMAs (a, b, c e d), entre os anos de 2000 e 2022 e a NCII (e, f, g e h) de 1991 a 2020 do INMET. Círculos indicam a localização das EMAs.	76
Figura 25 – Como na figura 23 para a climatologia sazonal de Temperatura média sazonal (C).	77

Figura 26 – Comparativo da precipitação mensal média (mm) das normais climatológicas NCI e NCII do INMET, para as capitais da Região Sul do Brasil.	79
Figura 27 – Comparativo da temperatura mensal média (°C) das normais climatológicas NCI e NCII do INMET, para as capitais da Região Sul do Brasil.	81
Figura 28 – Climatologia mensal de precipitação (mm), a partir dos dados disponíveis de EMAs, entre os anos de 2000 e 2022.	83
Figura 29 – Climatologia horária de Precipitação Média Acumulada (mm) para a Região Sul do Brasil, a partir dos dados disponíveis de EMAs do INMET, entre os anos de 2000 e 2022. Mapas são apresentados no horário UTC.	84
Figura 30 – Como na figura 27, para a climatologia mensal de temperatura média (C).	85
Figura 31 – Com na figura 28, para a climatologia horária de temperatura (C).	86
Figura 32 – Dendrograma resultante do agrupamento hierárquico aplicado nos fatores meteorológicos precipitação, temperatura, umidade e ventos das EMAs. As cores indicam os diferentes grupos encontrados.	87
Figura 33 – Regionalização climática em SC, resultado do agrupamento hierárquico aplicado nos fatores meteorológicos precipitação, temperatura, UR e ventos das EMAs. As cores indicam os diferentes grupos encontrados.	88
Figura 34 – Como na figura 31, para o agrupamento hierárquico aplicado na precipitação (mm) acumulada horária das EMAs.	90
Figura 35 – Como na figura 31, para o agrupamento hierárquico aplicado na temperatura (C) média horária das EMAs.	91
Figura 36 – Como na figura 31, para o agrupamento hierárquico aplicado na Umidade Relativa do ar (%) das EMAs.	92
Figura 37 – Como na figura 31, para o dendrograma agrupamento hierárquico aplicado na velocidade média horária do vento (m/s).	93
Figura 38 – Regionalização do clima de SC, resultado do algoritmo k-means, aplicado nos fatores meteorológicos precipitação, temperatura, UR e vento horizontal das EMAs. As cores indicam os diferentes grupos encontrados.	94
Figura 39 – Regionalização dos mesoclimas de SC, avaliado a partir dos métodos de clusterização hierárquico e k-means.	96
Figura 40 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região Extremo Oeste e Oeste de Santa Catarina.	99

Figura 41 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação da Região Oeste de Santa Catarina, calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816.	100
Figura 42 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b) calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816.	102
Figura 43 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias na Região Oeste de Santa Catarina, calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.	103
Figura 44 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816.	105
Figura 45 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A484, A858, A857, A816.	107
Figura 46 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A484, A858, A857, A816	107
Figura 47 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região Meio Oeste de Santa Catarina.	108
Figura 48 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865.	109
Figura 49 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b) calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865.	110
Figura 50 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.	113
Figura 51 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865.	115
Figura 52 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A841, A859, A860, A865.	116

Figura 53 – Ciclo diurno médio (barras) da componente zonal (a) e meridional (b) do vento para a Região Meio Oeste, calculado a partir das estações A841, A859, A860, A865.	117
Figura 54 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região do Planalto Norte de Santa Catarina.	118
Figura 55 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863.	119
Figura 56 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863.	120
Figura 57 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.	122
Figura 58 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863.	123
Figura 59 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A862, A864, A861, A863.	124
Figura 60 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A862, A864, A861, A863.	125
Figura 61 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região da Serra do Planalto Sul de Santa Catarina.	126
Figura 62 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A815 e A845.	127
Figura 63 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A815 e A845.	128
Figura 64 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A815 e A845. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.	130
Figura 65 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das calculada a partir das estações A815 e A845.	131

Figura 66 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A815 e A845.	133
Figura 67 – Ciclo diurno médio (barras) da componente zonal (a) e meridional (b) do vento para a Região Serra e Planalto Sul, calculado a partir das estações A815 e A845.	133
Figura 68 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região do Litoral Norte de Santa Catarina.	134
Figura 69 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.	135
Figura 70 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.	137
Figura 71 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.	138
Figura 72 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.	140
Figura 73 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.	141
Figura 74 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.	142
Figura 75 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região do Litoral Sul de Santa Catarina.	143
Figura 76 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A866, A814, A867.	144
Figura 77 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A866, A814, A867.	145
Figura 78 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A866, A814, A867. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas .	146

Figura 79 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das calculada a partir das estações A866, A814, A867.	148
Figura 80 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A866, A814, A867. . .	149
Figura 81 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A866, A814, A867.	150
Figura 82 – Regionalização realizada a partir dos diferentes modos climáticos encontrados no estado de SC, obtidos através de uma combinação dos resultados dos métodos agrupamento hierárquico e k-means. As cores indicam cada uma das seis mesorregiões obtidas	156
Figura 83 – Comparação da distribuição média mensal (mm) entre as mesorregiões.	176
Figura 84 – Comparação da porcentagem em relação ao total anual da precipitação entre as mesorregiões.	176
Figura 85 – Comparação da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, entre as mesorregiões.	177
Figura 86 – Comparação do ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) entre as mesorregiões.	177
Figura 87 – Comparação dos diagramas de boxplots de temperaturas horárias. .	178
Figura 88 – Comparação dos ciclos diurnos médios (barras) e sazonal (linhas) da temperatura.	178
Figura 89 – Comparação dos diagramas de boxplots da umidade relativa horária.	179
Figura 90 – Comparação dos ciclos diurnos médios (barras) e sazonal (linhas) da umidade relativa.	179
Figura 91 – Comparação das frequências horárias de registro de temperatura máxima.	180
Figura 92 – Comparação das frequências horárias de registro de temperatura mínima.	180
Figura 93 – Comparação do ciclo diurno médio do vento zonal.	181
Figura 94 – Comparação do ciclo diurno médio do vento meridional.	181

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Síntese dos sistemas meteorológicos e sua atuação na RSB.	64
Tabela 2 – Comparativo de precipitação acumulada mensal (mm) das normais climatológicas NCI e NCII, com as EMAs* para as capitais da região sul.	79
Tabela 3 – Comparativo de temperatura média mensal (mm) das normais climatológicas NCI e NCII, com as EMAs* para as capitais da região sul.	80
Tabela 4 – Rede de estações automáticas do INMET no estado de Santa Catarina	172
Tabela 5 – Rede de estações automáticas do INMET no estado do Rio Grande do Sul	173
Tabela 6 – Rede de estações automáticas do INMET no estado do Paraná . .	174
Tabela 7 – Lista dos municípios de cada mesorregião	175

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AS	América do Sul
ASAS	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
ASPS	Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
CLP	Camada Limite Planetária
EMAs	Estações Meteorológicas Automáticas
EPAGRI/CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FF	Frente Fria
HN	Hemisfério Norte
HS	Hemisfério Sul
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
JAN	Jatos de Altos Níveis
JBN	Jatos de Baixos Níveis
JBNAS	Jato de Baixos Níveis da América do Sul
JP	Jato Polar
JST	Jato Subtropical
LI	Linha de Instabilidade
PNMM	Pressão ao Nível Médio do Mar
PTT	Produto Técnico e Tecnológico
RSB	Região Sul do Brasil
SC	Santa Catarina
SCMs	Sistemas Convectivos de Mesoescala

SMAS	Monção da América do Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Hipótese e Justificativa	19
1.2	Objetivos	20
1.3	Estrutura da Dissertação	20
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1	Sistemas Sinóticos do Sul do Brasil	22
2.1.1	Ciclones	22
2.1.2	Frentes Frias	27
2.1.3	Anticiclones Subtropicais	30
2.1.4	Jatos de Altos Níveis	36
2.1.5	Jatos de Baixos Níveis	37
2.1.6	Monções da América do Sul e Zona de Convergência do Atlântico Sul	41
2.2	Sistemas de Mesoescala	43
2.2.1	Tempestades	43
2.2.2	Sistemas Convectivos de Mesoescala	44
2.2.3	Efeito de Brisa	50
2.3	Climatologia	53
2.3.1	Variabilidade Climática	56
2.4	Homogeneização das Mesorregiões no Sul do Brasil	58
2.5	Impacto da Variabilidade Climática no Ambiente	61
3	METODOLOGIA	63
3.1	Área de Estudo	63
3.2	Materiais e Ferramentas Computacionais	65
3.3	Clusterização	68
3.3.1	Agrupamento Hierárquico	69
3.3.2	K-Means	71
4	RESULTADOS	73
4.1	Comparação com as Normais Climatológicas	73
4.1.1	Análise Espacial	73
4.1.2	Análise Local	75
4.2	Climatologia mensal e horária de Precipitação e Temperatura da Região Sul do Brasil	80
4.3	Regionalização do clima	82
4.3.1	Agrupamento Hierárquico	86
4.3.2	K-means	91
4.3.3	Definições das mesorregiões	95
4.4	Análise das Mesorregiões	98
4.4.1	Extremo Oeste/Oeste	98
4.4.2	Meio Oeste	108
4.4.3	Planalto Norte	117
4.4.4	Serra do Planalto Sul	125
4.4.5	Litoral Norte	134
4.4.6	Litoral Sul	142
4.5	Comparativo Mesorregiões	150
5	PRODUTOS TÉCNICO E TECNOLÓGICOS	154

6	CONCLUSÃO	155
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	158
	REFERÊNCIAS	160
	APÊNDICES	171
	APÊNDICE A – LISTA EMAS	172
	APÊNDICE B – LISTA MUNICIPIOS	175
	APÊNDICE C – COMPARATIVOS DAS MESORREGIÕES	176

1 INTRODUÇÃO

A Região Sul do Brasil (RSB) e, em particular, o Estado de Santa Catarina (SC), devido a sua complexidade geográfica e diversidade de sistemas meteorológicos, apresentam variações climáticas localizadas que podem apresentar riscos à população, à agricultura e à indústria. Segundo levantamento do Ceped (2013) no Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, foram registradas quase 5000 ocorrências relacionadas a desastres naturais no estado entre 1991 e 2012. Estes eventos estavam associados tanto ao excesso ou intensidade da precipitação, como enxurradas, alagamentos, inundações, movimentos de massa, granizo, vendaval e tornado, quanto à falta da mesma, como estiagem, secas e incêndios.

Conforme a nota de orientação da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2017), há uma tendência de transição de estações meteorológicas convencionais para automáticas em escala global, englobando países desenvolvidos e em desenvolvimento. Estações automáticas transmitem dados em tempo real com alta resolução temporal e podem ser instaladas em lugares remotos ou desabitados. Por conta disso, em alguns países em desenvolvimento, a introdução de estações automáticas tem sido utilizada para apoiar uma expansão significativa de redes anteriormente escassas. No entanto, essa evolução traz desafios, incluindo a necessidade de manutenção especializada e possíveis discrepâncias entre observações manuais e automáticas, pois mudanças podem introduzir inconsistências nos registros climáticos, necessitando de avaliações rigorosas.

A rede de estações meteorológicas em SC apresenta hoje uma ampla cobertura espacial com registros horários. Algumas destas estações têm operado por volta de duas décadas, refletindo um esforço contínuo na coleta e monitoramento dos dados climáticos.

Segundo o Guia de Práticas para Climatologia da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2018), há uma dificuldade na determinação do mínimo de anos necessário para representar a variabilidade do clima. Para a maioria das variáveis meteorológicas, são necessários pelo menos 10 anos de dados para um resultado estatístico significativo, e até 30 anos no caso da precipitação. A série temporal de SC ainda não atinge esse ideal, porém, o volume de dados já é expressivo e permite a iniciativa de interpretação.

Diferentes abordagens foram aplicadas para estudar o clima na RSB, de

início, os trabalhos abordavam de maneira mais ampla a variabilidade climática no sudeste da América do Sul (AS) e a variabilidade influenciadas por eventos de El Niño e La Niña (BARROS *et al.*, 2002; GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998). Uma outra abordagem foi realizada por Grimm (2009), que discute os sistemas meteorológicos que influenciam a RSB, descrevendo-a como uma zona de transição entre os trópicos e as latitudes médias, isto é, caracterizada pelo contraste entre os regimes de monção e os regimes de chuva uniforme. Especificamente para SC, o "Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina" de Pandolfo *et al.* (2002) proporcionou representações gráficas das variáveis meteorológicas mensais do estado. Mais recente, o atlas elaborado por Wrege *et al.* (2012), traz um maior detalhamento nas variáveis climáticas para toda a RSB, servindo como uma fonte de consulta para os estudiosos da área. Ainda assim, a partir de uma análise mais detalhada dos dados disponíveis, há uma grande oportunidade para aprofundar os conhecimentos de maneira mais regionalizada, para além dos valores absolutos registrados, relacionando a interação dos sistemas de maior escala e seus efeitos nos diferentes mesoclimas de SC.

A Classificação Climática de Köppen-Geiger (KOPPEN, 1936), estabelecida no início do século XX, foi e continua sendo uma das classificações climáticas mais utilizadas devido à sua simplicidade e facilidade de uso. Embora seja verdade que a classificação de Köppen-Geiger fornece uma ferramenta útil para a caracterização geral do clima de uma região, a mesma pode não ser suficiente para uma compreensão do clima, especialmente quando se trata de regiões geograficamente complexas e variadas. O uso de médias mensais e anuais neste método pode, em alguns casos, agrupar áreas com padrões climáticos diferentes sob a mesma categoria climática.

1.1 Hipótese e Justificativa

O Estado de SC é marcado por um clima diverso, e sua variabilidade tanto espacial quanto temporal exige uma análise detalhada. Acredita-se que uma análise mais profunda das variações climáticas em distintas escalas temporais e espaciais pode revelar particularidades importantes. Ao entender como as diferentes regiões do estado estão sujeitas às variações climáticas, pode-se investigar os possíveis impactos em diversos setores e, possivelmente, das necessidades de recursos para abordá-las.

Diante da complexidade climática da RSB, a hipótese deste trabalho é que uma investigação detalhada dos dados provenientes da rede existente de monitoramento meteorológico proporcionará uma caracterização espaço-temporal mais refinada da região. Acredita-se que é possível realizar uma descrição mesoclimática capaz de

capturar a multiplicidade dos modos climáticos que integram a climatologia da RSB.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é realizar uma regionalização do clima em SC, a partir do melhor entendimento de como os sistemas meteorológicos e os fatores climáticos influenciam nas distintas regiões do Estado. Para tal, pretende-se aperfeiçoar a análise de padrões mesoclimáticos da série temporal da densa rede de estações meteorológicas de SC a partir de métodos estatísticos e análise objetiva, assim como entender como as variáveis meteorológicas respondem aos sistemas meteorológicos e aos efeitos topográficos de forma regionalizada. Especificamente, o trabalho propõe:

- Determinar, a partir de dados de estações meteorológicas automáticas (EMAs), a variabilidade espacial e temporal dos elementos meteorológicos na RSB;
- Avaliar os resultados obtidos com as normais climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- Determinar, a partir de diferentes métodos de agrupamento, a caracterização do clima de forma regionalizada em SC;
- Identificar possíveis efeitos de menor escala temporal e relacionar com os principais sistemas meteorológicos responsáveis por estes padrões climatológicos regionalizados.

1.3 Estrutura da Dissertação

As próximas seções desta dissertação estão apresentadas em capítulos. No segundo capítulo está descrita uma revisão bibliográfica dos principais sistemas meteorológicos de escala sinótica e mesoescala responsáveis pela caracterização climática na RSB. Neste capítulo consta também a revisão dos regimes climáticos de precipitação e temperatura e suas classificações, métodos de homogeneização das mesorregiões e o impacto da Variabilidade Climática no Ambiente. O terceiro capítulo aborda a metodologia, onde é definida a área de estudo os dados utilizados. Também são descritos os métodos de clusterização adotados no trabalho. O capítulo quatro apresenta os resultados obtidos, mostrando comparações espaciais e temporais com as normais climatológicas. Neste mesmo capítulo, são detalhadas as análises climáticas das regiões identificadas e o desfecho das técnicas de agrupamento. No quinto capítulo é apresentado o Atlas Climatológico como Produto Técnico e Tecnológico (PTT) da Dissertação. O Atlas contém as informações coletadas ao longo da pesquisa, organizadas para consulta. O sexto capítulo traz as conclusões, onde são

resumidos os principais pontos abordados ao longo da dissertação, considerações sobre os resultados e sugestões para futuras pesquisas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A compreensão das características do clima de forma regionalizada requer o entendimento dos principais agentes meteorológicos presentes no local de estudo, desde os sistemas em larga escala até os sistemas regionais, juntamente com a topografia. Para tal, nesta seção da dissertação realiza-se uma breve revisão dos principais sistemas meteorológicos atuantes na RSB e são apresentadas publicações a respeito da climatologia na região.

2.1 Sistemas Sinóticos do Sul do Brasil

Os sistemas sinóticos são definidos como fenômenos meteorológicos de grande escala, medindo centenas a milhares de quilômetros, com duração de dias a até semanas (ORLANSKI, 1975). Tipicamente, seu monitoramento e análise é feito através das cartas sinóticas, imagens de satélite e padrões observados nas estações meteorológicas. Os efeitos desta categoria de sistemas são diversos, a depender da região de estudo e época do ano, sendo necessário um detalhamento dos sistemas relevantes à área de estudo, discutido em cada uma das sub-seções abaixo.

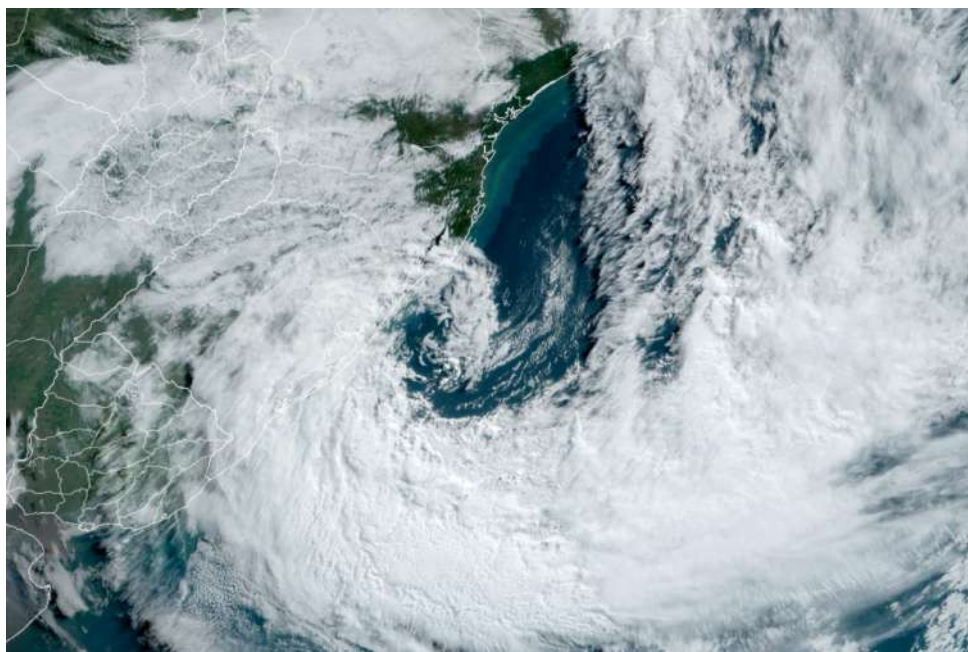
2.1.1 Ciclones

Os ciclones são um dos sistemas meteorológicos que mais geram interesse na população da RSB, porém costumam acompanhar muita desinformação. De forma rotineira são utilizados em manchetes de previsão do tempo sem a prudência necessária, podendo provocar sentimentos como medo e ansiedade no público o qual foi comunicado. Tanto em notícias e reportagens, quanto em comentários nas redes sociais, não é incomum a utilização dos termos “ciclone”, “furacão”, “tempestades”, entre outros, de forma intercambiável, ou seja, sem uma distinção que permitiria o correto entendimento do evento. Em relatos de pessoas que sofreram impactos de temporais, com chuvas intensas e ou ventos fortes, frequentemente se encontram menções a ciclone, mesmo quando o fenômeno não foi classificado como tal.

A associação entre ciclones e tempestades severas é uma percepção rotineira no público leigo, entretanto esta relação não é teoricamente correta. A primeira diferença está na escala que estes fenômenos ocupam. Os temporais pertencem à mesoescala, medindo apenas alguns quilômetros e duram de minutos a horas. Em comparação, um ciclone costuma medir no eixo horizontal na ordem de 500 km a 2500 km. Para ilustrar, a Figura 1 apresenta uma imagem do satélite GOES-16 durante a atuação de um intenso ciclone extratropical no dia 16 de Junho de 2023. A profundidade de um ciclone típico pode abranger toda a troposfera, isto é, na casa dos 10 km de

altura, e possui duração de aproximadamente 3 dias (HAKIM, 2003), assim, está categorizado na escala sinótica. Conforme Messmer e Simmonds (2021), é reconhecido que o ambiente atmosférico produzido pelos ciclones pode favorecer a ocorrência de temporais, com ventos e chuva intensa, sendo este o possível motivo desta associação ser comum. No entanto, a atuação de um ciclone não reflete necessariamente em risco e em impactos materiais na região afetada, pois em cada caso de ciclone é fundamental uma análise de sua intensidade e posicionamento, assim como o ambiente atmosférico em que o mesmo atua para a avaliação dos seus possíveis impactos.

Figura 1 – Produto GeoColor, desenvolvido pelo Cooperative Institute for Research in the Atmosphere (CIRA), resultado de uma combinação de variados canais do satélite GOES-16, por volta das 11h do dia 16/06/2023.



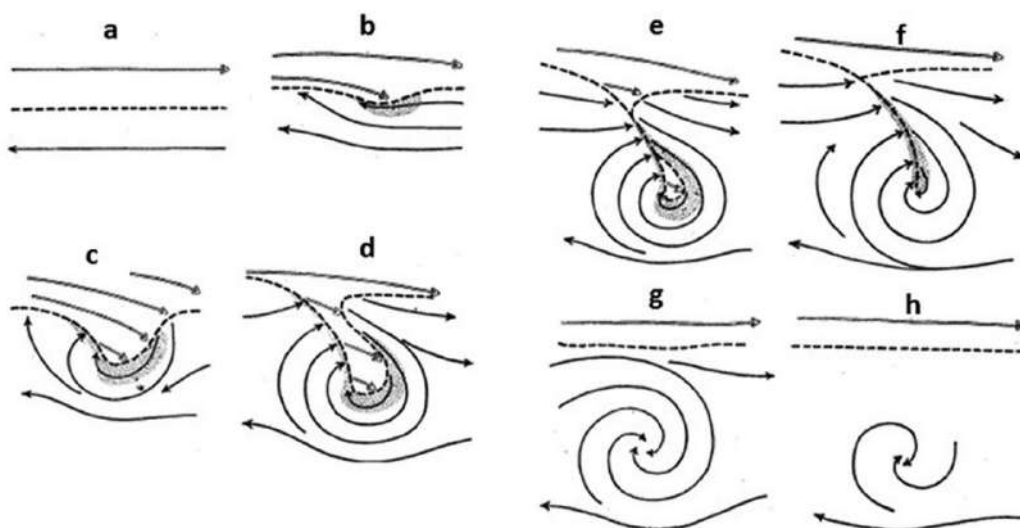
Fonte: <https://rammb-slider.cira.colostate.edu>

Para definir um ciclone, se compara as variáveis meteorológicas em relação a uma atmosfera não-perturbada (média). Entende-se o ciclone como uma região mais quente e úmida, apresentando movimento vertical do vento e com giro horário (anti-horário) no Hemisfério Sul (Norte). Além disso, o sistema apresenta altos valores de vorticidade, vorticidade potencial e energia cinética, derivadas das variáveis da pressão, temperatura e velocidade dos ventos (HAKIM, 2003).

Proposto por Bjerknes (1919) e Bjerknes e Solberg (1922), o primeiro modelo conceitual de ciclones extratropicais já data de mais de um século, mas continua aceito até hoje. Das principais contribuições deste modelo, destaca-se a definição das chamadas frentes frias e frentes quentes, assim como a descrição de um ciclo de vida

bem definido (Figura 2). Segundo os autores, a origem do ciclone se daria a partir de uma frente polar semiestacionária (2a), que sofre perturbação de uma onda curta (2b), dando origem a duas regiões de convergência de massa (2c). A frente fria (quente) é a região onde a massa de ar polar (tropical), avança sobre uma região menos densa (mais densa). A intensificação desta perturbação continua até o ciclone atingir seu estado maduro (2d), e começa a decair quando a frente fria se encontra com a frente quente (2e), entrando na fase de oclusão e consequentemente decaimento.

Figura 2 – Ciclo de vida dos ciclones extratropicais. a) frente polar semiestacionária; b) perturbação inicial; (c) e (d) formação das frentes e intensificação; (e) e (f) oclusão; (g) e (h) decaimento do sistema.

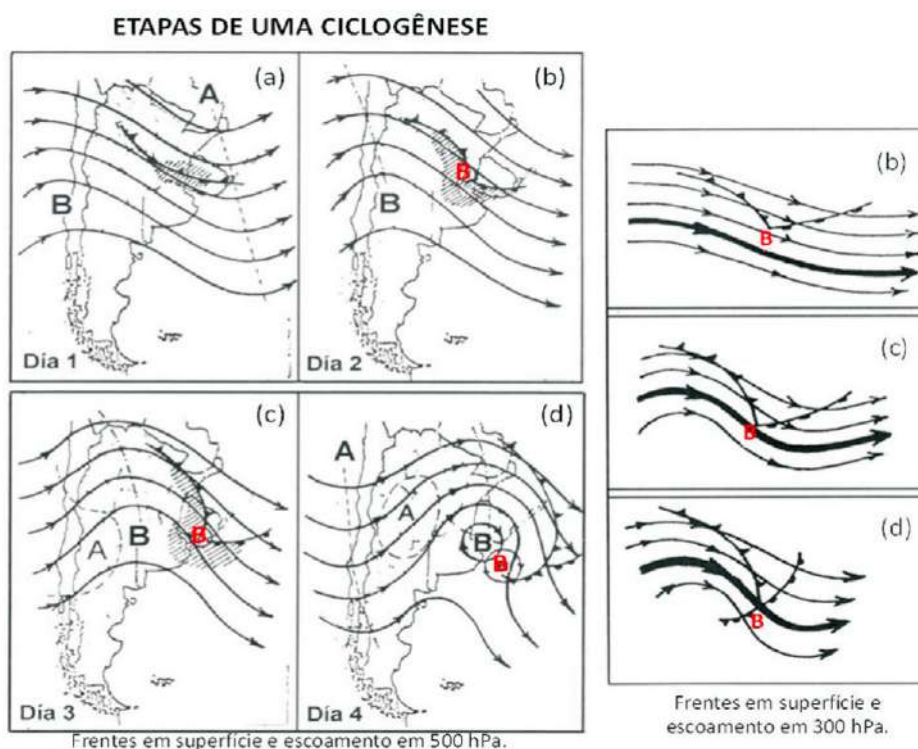


Fonte: Reboita et al. (2017), adaptado de Bjerknes e Solberg (1922)

Muitos avanços foram feitos posteriormente a proposição deste modelo, em especial, o entendimento da estrutura tridimensional dos ciclones e a função do acoplamento entre altos e baixos níveis da atmosfera em sua gênese (REBOITA et al., 2017). No modelo conceitual apresentado na Figura 3, são feitas as associações do ciclone ao escoamento de oeste em 500 hPa, ao jato de altos níveis e às frentes em superfície. O estado inicial é apresentado em (a) com uma frente estacionária em superfície. Em (b), após a interação do cavado em 500 hPa ocorre a formação das frentes fria e quente. Em (c) é possível observar o aprofundamento do cavado e o deslocamento do ciclone em superfície. É importante destacar que o centro do ciclone não está em fase com o cavado em níveis médios, possuindo um deslocamento para leste. Até este instante, os processos iniciais e a baroclinia do sistema favorecem o seu desenvolvimento. Em (d) se dá início ao processo de oclusão, com a união da frente fria com a frente quente. O centro dos sistemas em superfície e em níveis médios praticamente entram em fase, começando a influenciar o decaimento do ciclone e

eventualmente sua dissipação.

Figura 3 – Modelo conceitual de uma ciclogênese, sobrepondo o escoamento em altos e médios níveis com a formação da baixa pressão em superfície. À esquerda, as figuras mostram a variação do escoamento em 500 hPa na passagem no tempo entre o primeiro e o quarto dia, representados de (a) à (d), respectivamente. A direita, o escoamento em 300 hPa entre o segundo e o quarto dia, de (b) à (d).



Fonte: Reboita *et al.* (2017), adaptado de Celemín (1984)

Esta perturbação em níveis médios e altos, visto nas Figuras (3b) a (3d), resulta em escoamentos que aceleram os ventos na atmosfera e contribuem para a remoção de massa em uma coluna de ar, por consequência, uma região de divergência se forma a leste da área perturbada. Como compensação, ocorre a convergência de massa em baixos níveis (baixa pressão), dando origem a um processo de ciclogênese. Portanto, é possível entender esta interação, a qual os níveis médios e altos dão origem a um processo de ciclogênese, como uma dinâmica de compensação de massas entre regiões de divergência e convergência.

Existem ciclones com diferentes estruturas que não são explicadas pelos modelos apresentados, são chamados de Ciclones Tropicais (CT) e os Ciclones Subtropicais. Os ciclones tropicais, como o nome indica, são formados nas regiões equatoriais do globo, possuem uma estrutura barotrópica, com um núcleo quente e profundo. Alguns dos principais ingredientes para a formação de um CT citados por Gray (1968) são a temperatura da superfície do mar (TSM) acima de 26.5°C, uma atmosfera úmida

em níveis médios, baixo cisalhamento vertical dos ventos e por volta de 5° a 6° de distancia do equador. Eles também são chamados de furacões ou tufões, a depender da região de ocorrência ao redor do globo.

Os ciclones subtropicais possuem características de CT, com o núcleo quente, mas também se assemelha ao ciclone extratropical, podendo ser frio em altos níveis. A sua energética é mais parecida com o ciclone tropical, visto que a liberação de calor latente tem um papel fundamental. Por apresentar semelhanças com as outras categorias também é conhecido como sistema híbrido. O trabalho de Gozzo *et al.* (2014) e de Evans e Braun (2012) diferem na quantidade de eventos que ocorrem por ano, devido ao uso de diferentes metodologias, entretanto, os trabalhos corroboram uma região de máximo deste tipo de sistema na região oceânica na costa sul/sudeste do Brasil.

A partir destas definições, a RSB seria afetada por ciclones extratropicais e subtropicais, dada a distância geográfica. Entretanto, em 2004, a costa da RSB foi afetada pelo que ficou conhecido como furacão Catarina, um ciclone de origem subtropical, que no seu ciclo de vida atingiu o nível 1 na escala de furacões Saffir-Simpson. Apesar de apresentar um núcleo quente em altos níveis, em baixa e média atmosfera estava fria, não sendo de origem tropical (DIAS *et al.*, 2004). Este sistema teve ao longo do seu ciclo de vida mudanças na sua estrutura, mostrando que a classificação dos ciclones não se resume ao discreto, um sistema pode migrar entre as classificações a depender das condições atmosféricas e marítimas.

Dada esta complexidade, saindo do discreto para o contínuo, o trabalho de Hart (2003) propôs um método, a partir da utilização de um diagrama de fase, que possibilita acompanhar o ciclo de vida de um ciclone, assim como as mudanças graduais em sua estrutura. Esta análise objetiva é possível através do vento térmico troposférico e da assimetria do sistema. O vento térmico permite diferenciar os núcleos quentes e frios, enquanto a assimetria indica a barotropia (simétrico e não frontal) ou baroclinia (assimétrico e frontal). Como uma ferramenta para realização de análises, o diagrama de fase permite um melhor entendimento na evolução da estrutura dos ciclones em seu ciclo de vida, adicionando nuances que uma caracterização discreta não permitiria.

É importante ressaltar que, independente da categoria do ciclone, estes sistemas são imprescindíveis nas trocas de calor, umidade e momento entre os trópicos e os pólos. O sol provoca aquecimento diferencial entre o equador e as latitudes mais

altas, assim, as diferenças de temperatura no planeta seriam ainda mais acentuadas sem a participação dos ciclones no equilíbrio térmico.

Trabalhos sobre a climatologia da ciclogênese na AS existem a algumas décadas, como os trabalhos de Gan e Rao (1991) e Sinclair (1996), que encontraram regiões ciclogenéticas nas proximidades do Uruguai e no RS, assim como na costa sul da Argentina. Posteriormente, outros trabalhos reforçam também uma região ciclogenética na costa sudeste do Brasil, além das outras regiões de máximos já conhecidas (HOSKINS; HODGES, 2005; REBOITA *et al.*, 2010; REBOITA *et al.*, 2012; GOZZO *et al.*, 2014).

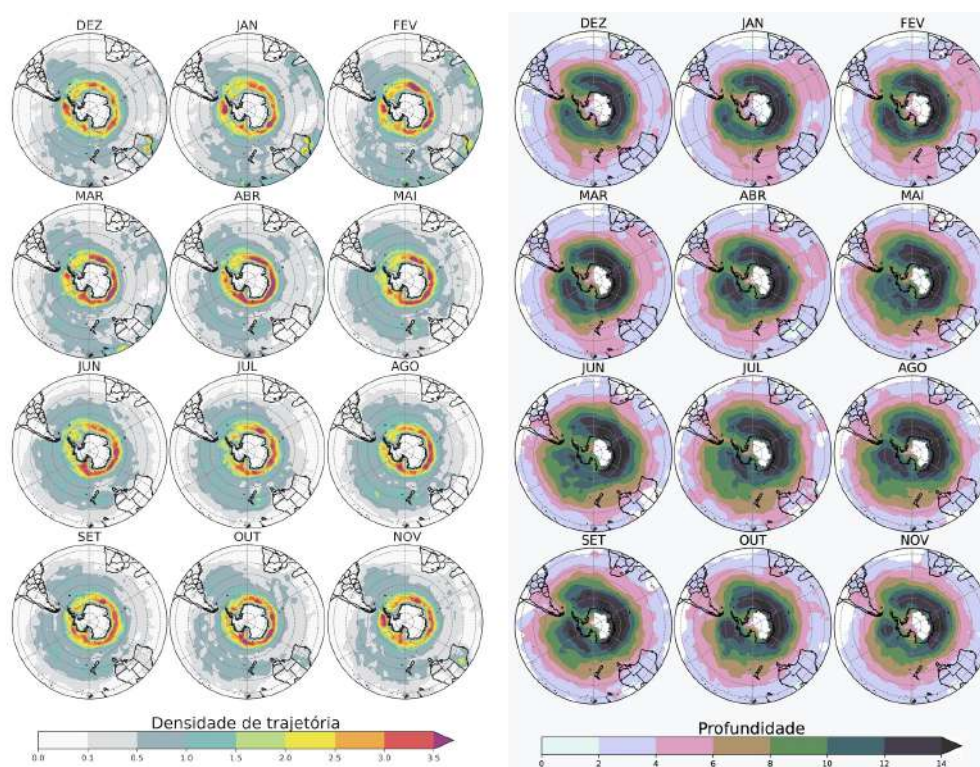
Uma climatologia recente de ciclones extratropicais para o Hemisfério Sul (HS) foi produzida pelo Grupo de Estudos Climáticos (GrEC) da Universidade de São Paulo (USP), uma instituição que se dedica ao monitoramento mensal dos ciclones no HS, utilizando dados de pressão ao nível médio do mar (PNMM) de 1991 a 2020. Esta climatologia foi construída com base na reanálise ERA5 do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) e com o algoritmo de Murray e Simmonds, desenvolvido na Universidade de Melbourne, Austrália, que tem mostrado eficácia na identificação de ciclones extratropicais (REBOITA; MARRAFON, 2021).

Segundo a climatologia gerada pelos autores, para o HS os ciclones extratropicais são mais frequentes no inverno, entretanto, ao se tratar da região oceânica ao longo da costa sul-sudeste do Brasil, a frequência é maior nos meses de verão. Quanto às profundidades dos ciclones, uma medida adequada para definir a intensidade, tem seu mínimo no verão e máximo no inverno. Pode-se concluir então que, apesar da maior frequência de ciclones no verão, os mais intensos ocorrem durante os meses de inverno, como mostra a Figura 4.

2.1.2 Frentes Frias

A definição de uma frente fria (FF) parte da teoria da frente polar, formulada por Bjerknes (1919) e Bjerknes e Solberg (1922), para proposição de um modelo conceitual dos ciclones, como discutido no tópico anterior. As frentes são entendidas como uma região de convergência, especificamente, uma estreita faixa de transição entre duas massas de ar adjacentes com características distintas. Nesta faixa se localiza o maior contraste de temperatura (PALMÉN; NEWTON *et al.*, 1969). Os efeitos associados à atuação das frentes frias tipicamente são as mudanças de temperatura, pressão e ventos, assim como atuam na formação de nebulosidade e precipitação. As frentes frias são fenômenos transientes, com atuação de horas até alguns dias,

Figura 4 – Climatologia dos ciclones no HS, entre 1991-2020, a partir da reanálise ERA5 do ECMWF e com o algoritmo de Murray e Simmonds, gerado pelo GrEC da USP, para as variáveis densidade de trajetória (a) e profundidade (b).



Fonte: (REBOITA; MARRAFON, 2021)

uma escala de tempo relativamente curta em relação a padrões climatológicos de longo prazo. Por conta disso, Satyamurty e Mattos (1989) discutem que o efeito das frentes frias nem sempre aparecem proeminentemente nos gráficos climatológicos. Entretanto, eles apontam a região centro-sul da AS como fortemente frontogenética, sendo esperado que estes sistemas compunham parte do modo climático mensal e até mesmo anual nestas áreas.

Com a possibilidade de identificar tais sistemas a partir de uma banda de nebulosidade, uma climatologia para as frentes frias foi feita através das imagens do satélite GOES-EAST, já na década de 90, por Oliveira e Nobre (1986). No período entre janeiro de 1975 e dezembro de 1984, verificou-se a atuação de frentes frias ao longo de todo ano na costa atlântica entre 35°S e 20°S, que abrange as áreas costeiras da RSB. Os autores encontraram para esta região que, apesar das frentes frias ocorrerem ligeiramente mais frequentes nos meses entre o inverno e a primavera, este sistema apresenta convecção com características tropicais prioritariamente entre a primavera e o verão.

Além da metodologia visual, um critério objetivo para identificação de frentes

frias utiliza da variação de PNMM, variação de temperatura em 925 hPa e força e sentido do vento em 925 hPa (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009). Verifica-se nos pontos de grade 1) diminuição da temperatura em 2 °C ou mais; 2) aumento da pressão em 2 hPa ou mais; 3) ventos de sul de 2 m/s ou mais.

O trabalho realizado por (ANDRADE, 2005) avaliou o período entre 1980 e 2002, a partir dos dados de reanálise do National Centers for Environment Prediction e National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR), e outras informações disponibilizados pelo NCEP. Segundo a autora, corroborando com o obtido por (OLIVEIRA; NOBRE, 1986), as frentes frias conseguem avançar para as áreas centrais do país com maior frequência no inverno, enquanto no verão os sistemas comumente se deslocam para o oceano, indicando que as frentes tem uma dificuldade maior para chegar em latitudes baixas neste período.

O estudo feito por Rodrigues, Franco e Sugahara (2004) apresentou uma climatologia de frentes frias especificamente para o litoral de SC. A partir dos dados de reanálise NCEP-NCAR, no período de 1990 a 1999, foi encontrado uma média de 3 a 4 frentes frias por mês, com um intervalo médio de 8 dias entre elas. Por vezes, o intervalo alcançou de 25 a 32 dias sem frente fria, indicando a presença de um possível bloqueio atmosférico.

Os resultados da autora corroboram com os demais estudos citados, mostrando que as frentes atuam no decorrer de todo o ano, porém com uma frequência ligeiramente maior na primavera na década estudada. A variabilidade de eventos foi a menor durante a primavera, indicando que neste período teve atuação frequente de frentes frias, enquanto o verão observou uma grande variabilidade, com anos onde as frentes não avançam com tanta frequência no estado. Além disso, os efeitos das frentes frias diferem a depender da estação do ano. Durante o inverno, após a passagem da frente fria, predomina um intenso vento de sudoeste. Enquanto isso no verão, os ventos de sudeste são comuns no litoral catarinense numa condição pós-frontal (RODRIGUES; FRANCO; SUGAHARA, 2004).

A análise realizada por Cardozo *et al.* (2015) mostra uma variação da frequência destes sistemas a depender da latitude. No período entre 2007 e 2013 para a RSB, a média sazonal da passagem de frentes frias foi maior nas cidades de latitudes mais altas. As maiores diferenças foram encontradas no verão, com uma frequência baixa de frentes frias que atingiam o litoral do Paraná (PR) em relação à região costeira do Rio Grande do Sul (RS). Comparando os municípios de Porto

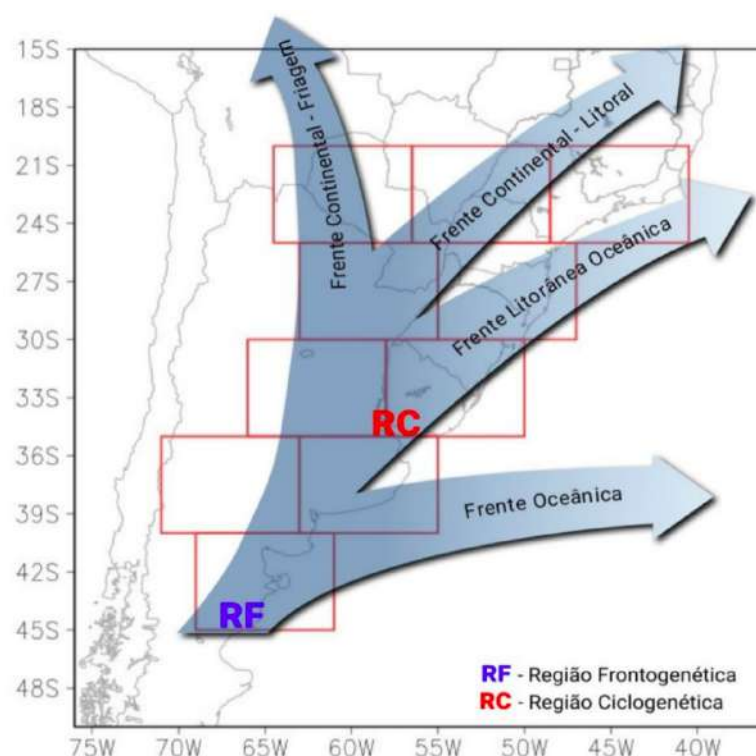
Alegre (RS) e Paranaguá (PR), em média, ocorriam por ano 44 e 28 frentes frias, respectivamente. Enquanto esta diferença era de 14 para 11 no inverno, no verão foi de 8 para 3, aproximadamente. (CARDOZO *et al.*, 2015). O resultado é próximo do obtido por Pampuch e Ambrizzi (2015), com cerca de 40 a 45 sistemas anuais no litoral do estado do RS e entre 30 e 35 nos estados do PR e SC.

No estudo recente conduzido por Oliveira (2023), através de um algoritmo de detecção de frentes frias desenvolvido pela autora, foi realizada uma climatologia das frentes frias no sul e centro-sul da AS, para um período extenso de 30 anos (1991-2020). A pesquisa mostrou que o algoritmo foi eficaz na detecção e contagem de frentes frias, proporcionando resultados coerentes quando comparados com outros métodos. De modo geral, a autora encontrou que a passagem das FFs varia entre 50 e 80 por ano na região estudada, com a média mais alta observada no inverno. Especificamente para a região que compreende o estado de SC, os resultados mostraram que o inverno e a primavera são as estações com maior ocorrência de FFs, com uma média máxima de 13 sistemas registrados no inverno. A média mensal de FFs é de 4 sistemas, com seu pico em julho e mínimo em janeiro. Apesar da distribuição ao longo do ano apresentar diferenças, o estudo mostrou que as FFs possuem intensidade consistentemente moderada em todas as estações

Continuando a abordagem Oliveira (2023), a autora explica que a RSB tem influência tanto de frentes frias do tipo Litorânea Oceânica quanto da Continental Oceânica (Figura 5). As frentes litorâneas oceânicas se originam e se deslocam sobre áreas costeiras e oceânicas, com sua formação intensificada em regiões como o centro-leste da Argentina e Uruguai. Em contrapartida, as continentais oceânicas tem trajetória inicialmente continental, passando em parte das Regiões Sul e Sudeste do Brasil.

2.1.3 Anticiclones Subtropicais

Os anticiclones subtropicais são sistemas meteorológicos, com centro de alta pressão, que se formam sobre os oceanos por volta de 30° de latitude em ambos os hemisférios. Estes sistemas resultam da circulação geral da atmosfera, especificamente o ramo subsidente das células de Hadley e Ferrel. Em resumo, as regiões equatoriais têm excesso de energia comparativamente às demais áreas do globo, isto ocorre pois nesta região os raios solares incidem perpendicularmente em relação à superfície. Conforme se caminha em direção aos polos, a quantidade de radiação absorvida pela a superfície é menor, visto que aumenta a inclinação dos raios solares que incidem sobre a superfície terrestre. Este gradiente na distribuição de energia solar entre o equador e os polos é um dos principais impulsionadores da circulação atmosférica,

Figura 5 – Modelo conceitual das trajetórias das FFs sobre o sul da AS

Fonte: (OLIVEIRA, 2023)

levando à formação de fenômenos como os anticiclones subtropicais.

Para a área deste estudo, são de interesse os Anticiclones Subtropicais do Atlântico Sul (ASAS) e Pacífico Sul (ASPS). A ASAS, especificamente, tem um papel muito importante na determinação das variações regionais do clima, visto que é o sistema mais influente no padrão de circulação atmosférico da AS. É importante ressaltar que estes ciclones tem caráter semi-permanente, atuando na maior parte do ano, sendo importante não confundi-los com os anticiclones transientes, que por vezes atuam na AS mas possuem um ciclo de vida de poucos dias.

A partir de dados de análise no período entre 1881 e 1989, Mächel, Kapala e Flohn (1998) estudaram os sistemas atuantes no oceano atlântico e, ao analisar o padrão de comportamento da ASAS, encontrou uma sazonalidade caracterizada por uma dupla oscilação no seu deslocamento zonal, alcançando seu máximo à leste nos meses de outubro e abril, e máximos à oeste durante Julho-Agosto e Janeiro-Março. Além disso, o autor encontrou que o sistema intensifica-se conforme se desloca para sul e vice-versa.

O trabalho de Ito e Ambrizzi (2000) aplicou um algoritmo de detecção de

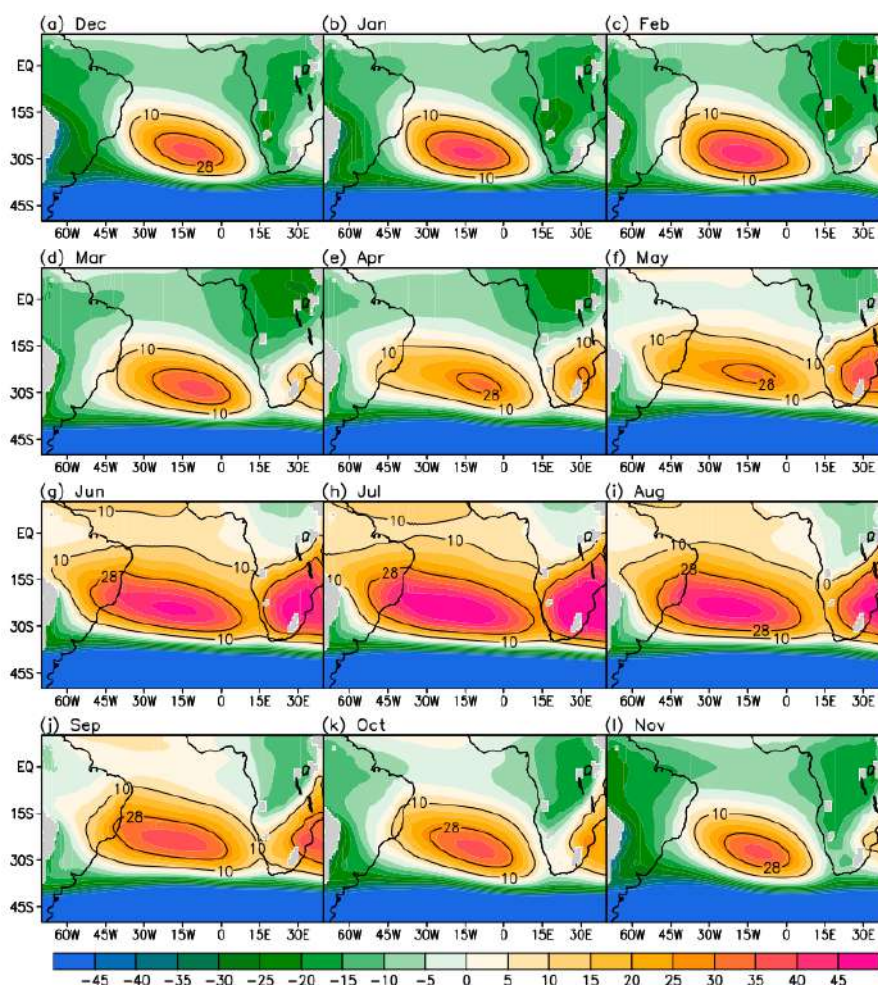
centros de alta pressão, no conjunto de dados de reanálise do NCEP, num período de 15 anos (1982-1996), nos meses de inverno austral (JJA). Os autores encontraram o centro com posicionamento máximo à oeste (10°W) nos meses de Julho, ficando mais próximo do continente sul americano neste período. Outro resultado foi que a ASAS apresenta pouca variação latitudinal mensal, enquanto possui oscilações longitudinais com regularidade alta.

Estudos mais recentes apresentam um maior detalhamento sobre a climatologia da ASAS (Figura 6). Sun, Cook e Vizy (2017), utilizando os dados de reanálise do ERA-Interim e JRA-55, mostraram que o sistema possui dois picos anuais distintos de intensidade e tamanho, que ocorrem nos meses de inverno e verão. Segundo o autor, durante o verão austral, a ASAS está confinada no Atlântico Sul. No outono, ela enfraquece e se expande em direção aos continentes próximos. Em maio e junho, a ASAS fortalece-se novamente, mantendo-se forte no inverno, mas enfraquece e se contrai na primavera austral. Outro resultado obtido foi que, apesar da variabilidade zonal ser maior entre os anos, a intensidade do sistema tem alta significância estatística com a variação meridional, sendo mais fraca nos anos em que se posiciona à norte, concordando com o resultado de Mächel, Kapala e Flohn (1998).

Devido à variabilidade sazonal da ASAS, no inverno, esse sistema tem uma maior extensão zonal e seu setor ocidental se estende pelo leste do Brasil. Isso dificulta a atividade convectiva, mantém o tempo mais seco e provoca ventos mais intensos neste período (REBOITA *et al.*, 2012; SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019). No verão, a ASAS têm uma menor extensão zonal e se localiza mais distante da costa brasileira. Durante essa estação, a circulação da ASAS transporta umidade do Oceano Atlântico para o continente e favorece a penetração dos ventos em baixos níveis na costa, o que incentiva a precipitação orográfica na Serra do Mar (GRIMM, 2009).

Por vezes, tanto nas regiões do Pacífico como nas do Atlântico, os anticiclones são persistentes e estáveis, funcionando como um obstáculo para o deslocamento de sistemas meteorológicos, como frentes frias e ciclones, podendo manter o tempo firme por semanas. Nesta configuração, é comum se utilizar o termo “bloqueio atmosférico” para descrever os sistemas que impedem variações das condições de tempo até a sua dissipação. Uma das bases para a compreensão dos bloqueios partiu de Willett (1949), que identificou dois padrões predominantes na circulação atmosférica em latitudes médias: um caracterizado pelo escoamento zonal e outro onde o escoamento meridional intenso atua como obstrução aos deslocamentos dos transientes.

Figura 6 – Climatologia mensal de altura geopotencial escalada de 850-hPa (gpm) de 1979–2015, ajustada com a remoção da média anual da altura geopotencial sobre a região do Atlântico Sul.



Fonte: (SUN; COOK; VIZY, 2017)

A definição de bloqueios varia, pois não existe uma única interpretação objetiva. Para Nascimento e Ambrizzi (1998), em termos sinóticos, entende-se o bloqueio como uma anomalia persistente de alta pressão em altos níveis e latitudes mais elevadas que o normal. Assim, é importante notar que o bloqueio é causado por uma crista bem desenvolvida que se estende por quase toda a troposfera, neste contexto, o anticiclone em superfície seria apenas a manifestação do escoamento em altitude.

Diferentes métodos foram propostos para identificá-los, com o intuito de minimizar a subjetividade na análise do sistema. Entre esses métodos, alguns autores, como Wright (1974) e Casarin (1983), usaram critérios como a divisão do fluxo em ramos distintos, a posição do sistema em relação ao cinturão de alta pressão normal e a duração do sistema. Outras metodologias foram propostas para tornar os critérios mais objetivos e facilitar a sua aplicação em algoritmos. Por exemplo, Dole (1978) se

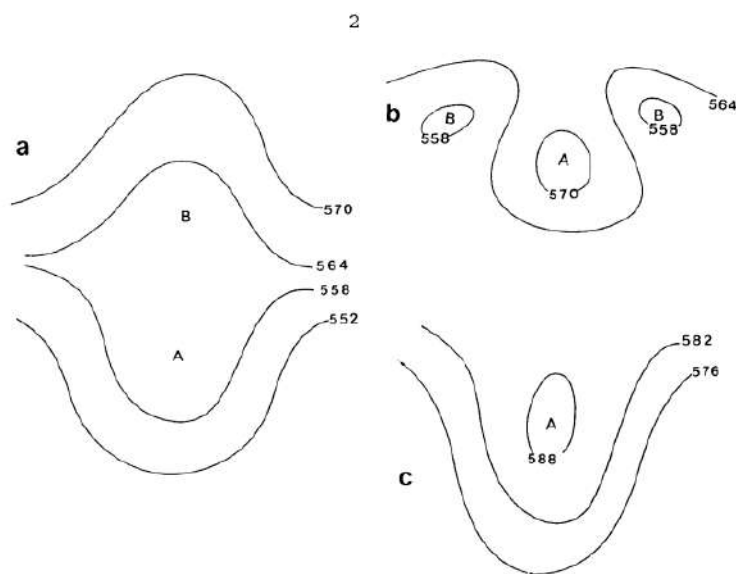
concentrou na anomalia do campo de altura geopotencial. No entanto, não há um consenso sobre qual deve ser a duração mínima do sistema para que seja reconhecido como um bloqueio.

Em sua tese, Marques e RAO (1996) descreve as três formas distintas que os bloqueios podem se apresentar (Figura 7). O primeiro caracteriza o bloqueio do tipo dipolo (7a), onde um anticiclone de grande amplitude que acompanha um ciclone no lado equatorial. O tipo ômega (7b), que se apresenta de forma invertida em relação ao Hemisfério Norte (HN), é um anticiclone entre dois ciclones. Por fim, um bloqueio formado de uma crista estacionária de grande amplitude (7c).

Analisando o comportamento dos bloqueios que influenciam a AS, Marques e RAO (1996) encontrou uma dependência sazonal na frequência de ocorrência de bloqueios, com máximo nos meses de inverno e primavera e baixos no verão. Entretanto, o resultado também indicou uma grande variabilidade interanual, com uma distribuição muito irregular no período de 1980-1993.

MENDES *et al.* (2005) obteve o mesmo padrão sazonal sobre o Oceano Pacífico Sudeste, com maior frequência dos bloqueios durante o inverno, trabalhando com um período maior, entre 1960 e 2000. Foram identificados 120 bloqueios, com uma taxa de 2,9 por ano. Dentre estes, apenas 18% dos bloqueios duraram 10 dias ou mais, com a duração mediana geralmente entre 6 e 7 dias. A variabilidade interanual dos bloqueios foi analisada em relação aos eventos de El Niño e La Niña. A autora encontrou mais bloqueios durante os anos de El Niño do que durante os anos de La Niña. Além disso, uma tendência linear sugere um aumento gradual nos eventos de bloqueio no Pacífico Sudeste.

Embora a princípio possa parecer contraditório, os bloqueios também estão associados a episódios de chuvas persistentes no leste de SC. Um exemplo desta relação ocorreu no mês de novembro de 2008, quando o estado foi impactado por chuvas intensas e persistentes que resultaram em inundações e danos significativos, principalmente no vale do rio Itajaí-Açu. Os acumulados de precipitação neste evento ficaram em torno de 1000 mm em pontos do Vale do Itajaí e Litoral Norte. Segundo Silva Dias (2009), nesta ocasião, o posicionamento do anticiclone no oceano Atlântico, por volta de 40° de latitude, contribuiu para o fortalecimento dos ventos de leste ao longo da costa da Região Sul, especialmente sobre o litoral de SC, fenômeno conhecido como “lestada”. Em virtude da orientação geográfica da costa, de Norte a Sul, os ventos úmidos vindos do oceano foram direcionados para o interior do continente, encontrando

Figura 7 – Padrões de bloqueio no Hemisfério Sul: (a) dipolo, (b) omega, (c) crista estacionária.

Fonte: (MARQUES; RAO, 1996)

a serra em um ângulo perpendicular, que favoreceu a ascensão desses ventos úmidos e conseqüentemente do desenvolvimento de nuvens quentes. Além disso, um vórtice ciclônico de altos níveis intensificou as precipitações, resultando em chuvas intensas na região afetada.

Trabalhos anteriores a este já discutiam a relação entre os ventos úmidos do oceano, organizados por uma região de alta pressão, com a ocorrência de chuvas persistentes e intensas no leste de SC. Conforme relatado por Haas (2002), diversos eventos de enchentes de grande magnitude tais como a enchente de Tubarão em março de 1974, a inundação na Grande Florianópolis em dezembro de 1995, e a inundação em 2008 que afetou o litoral Norte e Baixo Vale do Itajaí, foram todos consequência de ventos úmidos provenientes do quadrante leste. Conforme o autor menciona, a geografia da área tem um papel crucial na intensidade das chuvas associadas aos ventos que vêm do mar. Quando esses ventos úmidos encontram grandes montanhas, como a Serra Geral, são forçados a subir, o que resulta na formação de nuvens. Estas, que costumam ser quentes e rasas, podem persistir por um longo período. A intensidade da chuva que ocorre pode variar, desde precipitações leves até chuvas intensas. Isso depende do estado da circulação do ar sobre o mar e da presença de outros sistemas atmosféricos atuantes no mesmo período. Tais condições meteorológicas podem durar de algumas horas até uma semana, com uma duração média de dois a três dias.

Esta configuração também foi o objeto de estudo de Rodrigues, Ynoue e Alves (2011), o trabalho analisou casos de acumulados de precipitação acima de 200

mm em 3 dias consecutivos em Florianópolis, SC, entre 1979 e 2010. Observou-se um vento persistente de leste na costa catarinense, em conjunto com uma alta pressão no Atlântico Sul. Além disso, a presença de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) contribuiu para a intensificação da chuva em alguns casos, com acumulado diário superior a 100 mm. Em nível de superfície, a configuração mostrava um fluxo persistente de ventos de leste associado a uma alta pressão no Atlântico Sul. A autora afirma que em alguns casos, o anticiclone se move lentamente na região costeira no período pós-frontal; em outros, ele permanece no oceano por um período prolongado, resultando em chuva no litoral com um padrão seco no interior do estado.

2.1.4 Jatos de Altos Níveis

Os Jatos de Altos Níveis (JANs) são correntes intensas de vento com velocidades acima de 140 km/h, podendo superar os 300 km/h, que ocorrem em altitudes elevadas da atmosfera terrestre, de forma geral próxima a tropopausa, entre 9.000 m e 13.000 m. Essas correntes são estreitas e quase horizontais, com seu eixo definido pela linha de velocidade máxima e intenso cisalhamento horizontal e vertical (WMO, 1992).

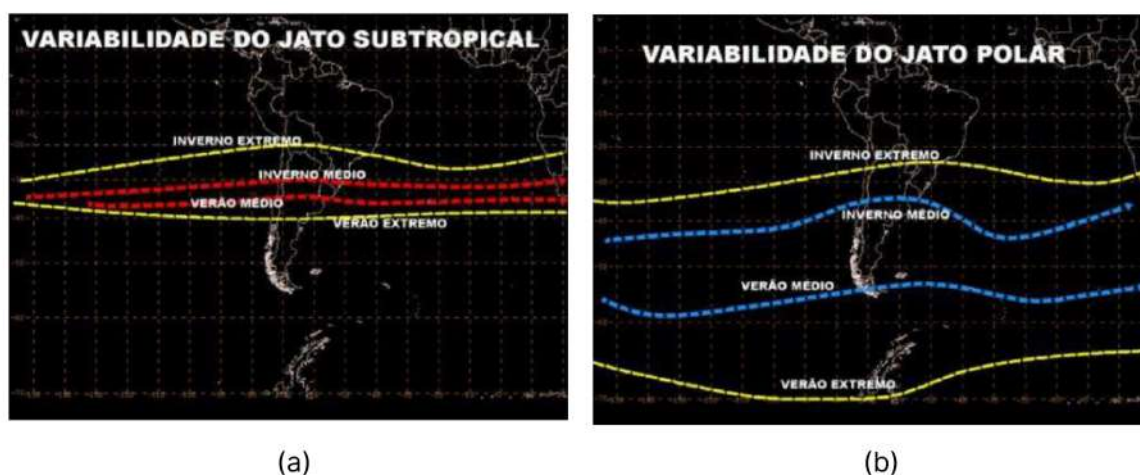
As observações meteorológicas tinham indícios de ventos intensos em alta troposfera há séculos com a observação do comportamento das nuvens cirrus, entretanto, foi a partir do advento das sondagens meteorológicas, na década de 40, que foi possível iniciar os estudos do comportamento do vento e calcular sua intensidade em altos níveis. Uma importante contribuição para a descoberta foram os pilotos dos aviões de bombardeio, ao perceberem que eles atingiam velocidades significativamente maiores na direção leste do que na direção oeste, indicando a presença de um forte jato de vento em altitude, que por vezes atingia a velocidade dos próprios aviões. Um dos primeiros trabalhos que revisou e discutiu os Jatos de Altos Níveis foi publicado por Riehl (1961), apresentando as categorizações dos diferentes tipos de Jatos, em sua estrutura vertical e termodinâmica, os quais ainda são utilizados até hoje.

Os jatos se dividem em duas categorias: 1) Jato Subtropical (JST) e 2) o Jato Polar (JP). O Jato subtropical está associado à célula de Hadley, se posicionando no limite sul da mesma. O JST apresenta um comportamento regular, com um ciclo anual bem definido, tanto em posição quanto em intensidade. Segundo o trabalho de Antico e Berri (2004), JST se intensifica à medida que move para o norte, atingindo seu máximo no decorrer do inverno e primavera, em contrapartida, o jato enfraquece conforme se movimenta para sul, com o mínimo observado no verão e outono. Esta condição tem apenas uma exceção, de um segundo máximo no mês de outubro, o qual o autor supõe estar relacionado com os sistemas convectivos de mesoescala, pois a variação

de intensidade não condiz com o deslocamento sazonal do mesmo. Além disso, os autores encontraram que no inverno o máximo do JST ocorre no oceano, enquanto que os máximos do JST no verão acontecem no continente, sugerindo diferentes mecanismos para formação do jato na região. No inverno, o JST na AS atua a partir de uma extensão do ramo leste do jato no Pacífico, enquanto no verão a posição do jato resulta da confluência da circulação anticiclônica da Alta da Bolívia.

A Figura 8a ilustra o posicionamento médio da JST, localizado entre 30°S e 35°S, enfatizado pelas linhas vermelhas. Os extremos dessa corrente são indicados pelas linhas amarelas, representando o deslocamento máximo que o jato pode alcançar em situações atípicas. O JP, por outro lado, apresenta maior variabilidade em comparação ao JST, conforme destacado na Figura 8b, este sistema associa-se principalmente aos sistemas transientes e processos de ciclogênese. Frequentemente, a corrente de jato se alinha com as fronteiras entre massas de ar frio e quente, o que indica a posição de frentes, além disso, as ondulações na corrente de jato muitas vezes sinalizam o desenvolvimento de sistemas de baixa pressão. Nos meses de inverno, quando frentes frias avançam para as regiões centrais do Brasil, o JP acompanha esses sistemas, deslocando-se para latitudes mais baixas. Durante esses movimentos, o JST também se move mais ao norte, estando geralmente acoplado ao JP. No verão, porém, o JP permanece mais restrito às áreas de altas latitudes (ESCOBAR, 2009).

Figura 8 – Variabilidade das posições do JST (a) e JP (b) de acordo com as estações do ano, para valores médios e extremos.



Fonte: (ESCOBAR, 2009)

2.1.5 Jatos de Baixos Níveis

Os Jatos de Baixos Níveis (JBNs) são intensas correntes de vento meridional na baixa troposfera. Sua identificação ocorre a partir de um máximo de velocidade do

vento apresentado no seu perfil vertical. Esse fenômeno ocorre em diversas regiões do globo e tem diferentes mecanismos possíveis para sua formação, Oliveira, Nascimento e Kannenberg (2018) destacam dois destes mecanismos principais. O primeiro está intrinsecamente ligado ao ciclo diurno, durante o dia, o aquecimento solar provoca turbulência na camada de superfície, resultando em seu acoplamento com a camada limite superior. À noite, esse processo se inverte, e o esfriamento leva a um desacoplamento, como resultado desta oscilação, é observado um pico ou máximo na intensidade do vento dentro da camada limite planetária (CLP). Além disso, a variação diurna dos gradientes de temperatura provocados por terrenos inclinados podem contribuir com este processo. O segundo mecanismo principal, segundo o autor, pertence a escala sinótica, sendo modulado por intensos gradientes horizontais de pressão associados a sistemas transientes, e por circulações ageostróficas induzidas pelos JAN.

Estas considerações concordam com o descrito por Rife *et al.* (2010), que cita os processos na baixa troposfera resultantes da variação do aquecimento solar e variações no gradiente horizontal de temperatura devido à diferença de terrenos como os principais agentes. O autor reforça que apesar da característica local, os movimentos atmosféricos em maior escala em combinação a estes efeitos podem intensificar ou suprimir consideravelmente a intensidade dos JBNs nestas áreas.

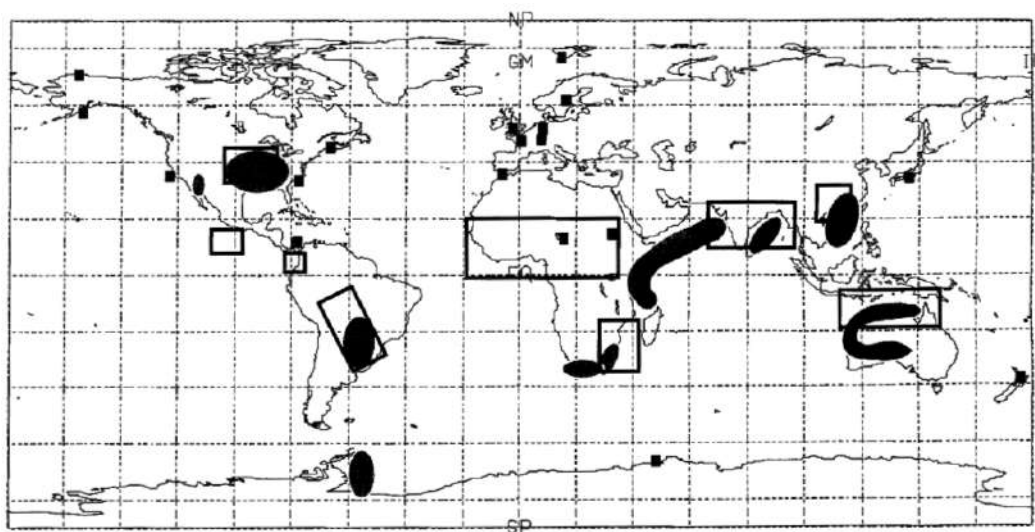
Uma característica determinante dos JBNs é sua distinta variação diurna, atuando predominantemente nos períodos noturno e matutino, esse comportamento aparece desde os primeiros experimentos os quais realizaram mais de uma amostragem por dia. No trabalho de Bonner (1968), com informações de radiossonda de 2 a 4 vezes ao dia, em diversos pontos dos Estados Unidos, foi encontrado um máximo de frequência de ocorrência dos JBNs na região das Grandes Planícies, a leste das Montanhas Rochosas. O autor descreve que os jatos são observados em todos os horários, porém apresentam maior frequência e intensidade nas medições próximas à meia noite e no início da manhã. Além disso, seus resultados indicaram que estes ocorriam mais nas estações quentes do ano.

Utilizando informações de 8 radiossondas por dia, Whiteman, Bian e Zhong (1997) complementa os resultados da climatologia do JBN nos EUA obtidos previamente, um avanço considerável em relação aos antigos trabalhos em escala temporal e espacial. Nesta região, a intensidade máxima do JBN aparece entre 300m e 600m, além disso, ao contrário de Bonner (1968), o autor não encontrou diferenças significativas de ocorrência dos JBNs entre as estações quentes e úmidas. Os resultados também indicaram um máximo de intensidade dos ventos na madrugada, reforçando o caráter

noturno do sistema.

No trabalho de Stensrud (1996) são apresentados os principais JBNs observados pelo globo (Figura 9), na AS se observa um padrão de JBN que praticamente espelha o da América do Norte. Neste caso, um intenso vento meridional costeia o leste da Cordilheira dos Andes, normalmente referido como South American low-level jet, ou Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS). O autor também discute a relação entre a atuação do JBNAS com a ocorrência dos sistemas convectivos de mesoescala (SCMs) durante o verão. Como é possível ver na Figura, a região de atuação destes dois fenômenos coincidem, sendo assim, Stensrud sugere que o JBNAS têm uma contribuição significativa no clima regional, visto que os sistemas convectivos são responsáveis por parte da precipitação no decorrer das estações quentes.

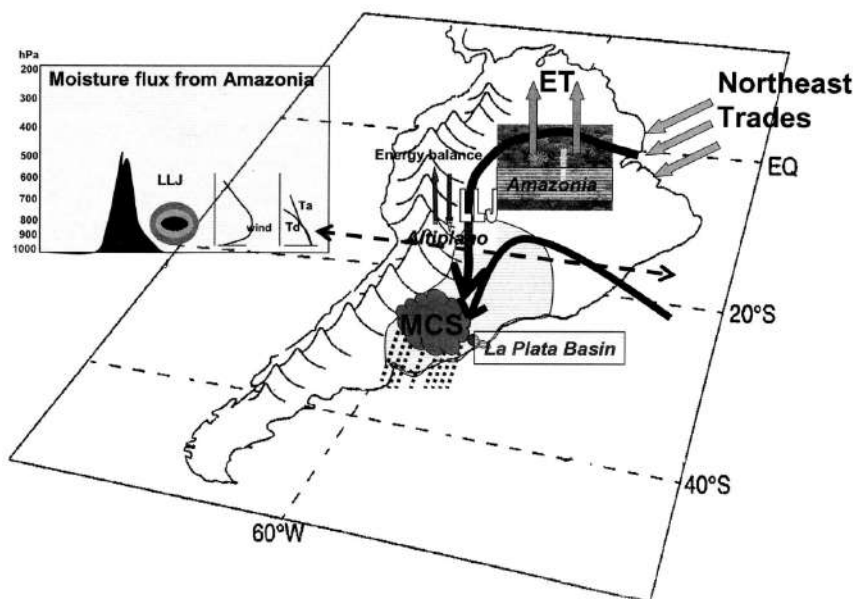
Figura 9 – Regiões onde os jatos de baixos níveis ocorrem com frequência (pintado) e regiões onde sistemas convectivos de mesoescala ocorrem frequentemente durante o verão (caixa).



Fonte: (STENSRUD, 1996)

Apesar das similaridades com o JBN observado na América do Norte, na posição a leste de cordilheiras montanhosas e predominância nos horários noturnos, existem características diferentes no sistema na AS. A Figura 10 mostra um modelo conceitual do fenômeno.

O sistema possui seu máximo de intensidade a leste da Cordilheira dos Andes, nos primeiros 2 km de altitude, e ocupa relativamente uma pequena extensão horizontal. O modelo conceitual mostra dois mecanismos que participam da formação do JBNAS, sendo os ventos alísios e a ASAS. Os ventos alísios, em níveis próximos à

Figura 10 – Modelo conceitual do JBNAS a leste dos andes.

Fonte: (MARENGO *et al.*, 2004)

superfície, são modulados de nordeste para sudeste quando encontram a cordilheira, além disso, a umidade é incrementada pelo processo de evapotranspiração da Amazônia. Mais ao sul, a ASAS atua como uma fonte de calor e umidade ao organizar o ar quente e úmido do oceano atlântico. O JBNAS atuam como um dos principais mecanismos de transporte de calor e umidade das regiões tropicais às latitudes mais altas, em especial para a Bacia do Rio da Prata, onde provocam desenvolvimento de atividade convectiva e chuva na saída do jato (MARENGO *et al.*, 2004). Segundo a climatologia obtida pelo o autor, na AS são observados JBNAS ao longo de todo o ano, entretanto, os resultados apontaram diferentes características a depender da estação, no inverno a ASAS atua como principal mecanismo de formação, enquanto nas estações quentes, os ventos alísios e a floresta amazônica tem uma maior contribuição no processo.

Os estudos até aqui apresentados (BONNER, 1968; WHITEMAN; BIAN; ZHONG, 1997; MARENGO *et al.*, 2004) utilizam o Critério de Bonner (BC1) em seus algoritmos de detecção para identificar máximos de vento em baixos níveis da atmosfera, entretanto, trabalhos mais recentes como o de Oliveira, Nascimento e Kannenberg (2018), mostram o que este critério não consegue identificar todos os casos de JBNs, especialmente em situações onde o máximo ocorre em níveis mais altos da atmosfera, entre 1500 m e 3000 m, e também nas situações com fortes componentes zonais. Para acrescentar estes casos, o autor utiliza o critério [Oliveira-Nascimento-Kannenberg (ONK18)], que detecta uma maior diversidade de JBNs do que os algoritmos mais tradicionais (KANNENBERG *et al.*, 2019), com os seguintes parâmetros para identificar

os JBNs: (1) ventos apresentam um máximo local de velocidade acima de 12 m/s nos primeiros 3000 metros acima da superfície. (2) a velocidade máxima decai ao menos 6m/s em comparação ao primeiro ponto de mínimo encontrado acima do jato, ou em relação a velocidade em 4000m de altitude.

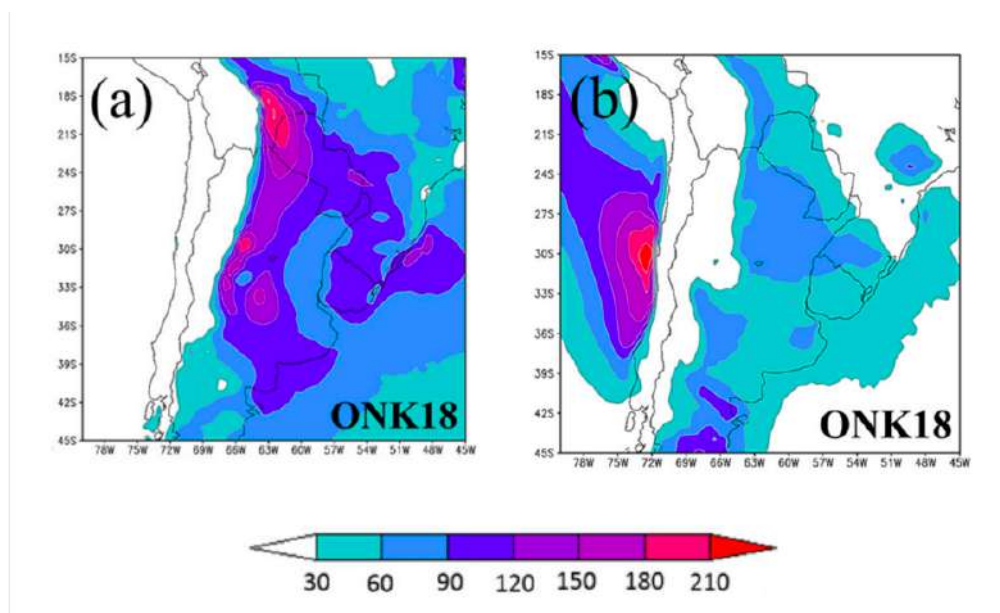
Na Figura 11a são apresentados a quantidade média de dias que foram observados JBNs do quadrante norte na AS, no período entre 1996-2010, obtidos por Oliveira, Nascimento e Kannenberg (2018). Nota-se que por este método, além dos máximos observados a leste da Cordilheira dos Andes, associados ao JBNAS, que afetam o oeste da RSB entre 90 a 120 dias por ano, também se destaca outro máximo, de até 150 dias, na região costeira entre o litoral sul de SC e nordeste do RS, um padrão de ventos possivelmente associado ao ramo oeste da ASAS. Popularmente, os ventos intensos e persistentes nessa região são conhecidos como “nordestão”. Quanto à sazonalidade, os JBNs foram observados ao longo de todo ano, porém com maior abrangência e frequência nos meses de inverno e primavera. A análise do ciclo diurno corroborou com análises anteriores, apontando os máximos às 06 UTC, mas também bastante ativos às 00 UTC e 12 UTC, indicando uma atividade predominantemente noturna e matutina. Outro destaque fica para os JBNs do quadrante sul (Figura 11b) observados, com um núcleo de 30 a 60 dias na costa litorânea catarinense, com máximos entre 60 e 90 dias sobre o oceano. Estes ventos possivelmente estão associados com a passagem de frentes frias e ciclones extratropicais, que aceleram os ventos de sul. Na região, a população costuma se referir a episódios de intensos ventos de quadrante sul como “vento sul”, e comumente é associado com a queda das temperaturas e mudança no tempo.

2.1.6 Monções da América do Sul e Zona de Convergência do Atlântico Sul

A Monção da América do Sul (SMAS) desempenha um papel crucial na dinâmica climática do continente. Embora sua identificação não seja tão direta quanto na clássica monção asiática, a SMAS se caracteriza por uma inversão sazonal do vento nos baixos níveis da troposfera. Essa inversão é uma resposta ao contraste térmico entre as regiões continentais e oceânicas (ZHOU; LAU, 1998).

Segundo Nogués-Paegle *et al.* (2002), este sistema tem início na primavera e sua dissipação no início do outono, estando associado diretamente à migração da convecção para a região central da Amazônia, que eventualmente retorna ao extremo norte da América do Sul. O máximo de precipitação durante o verão caracteriza o período de maior intensidade do sistema. Durante este período do ano, comumente ocorrem episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS é caracterizada

Figura 11 – Número médio de dias com JBNs de (a) norte e (b) sul, no período de 1996-2010, com os dados NCEP-CFSR, obtidos através do critério ONK18.



Fonte: (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018)

por uma persistente banda de precipitação e nebulosidade que se estende em uma direção noroeste-sudeste, partindo do sul e leste da Amazônia e alcançando o sudoeste do Oceano Atlântico Sul (QUADRO, 1994; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004), sendo este o principal responsável pelo regime de chuvas sobre as Regiões Sudeste e parte norte do Sul do Brasil durante os meses de primavera e verão, período onde é observada uma forte convergência de umidade. Ainda, os episódios mais fortes da ZCAS estão ligados aos ventos de oeste, que marcam a fase ativa do SMAS (JONES; CARVALHO, 2002).

Silva e Dias (2009) defende que o SMAS é fundamental nas definições das estações de seca e chuva na região que se estende do Equador até a latitude 25S, na América do Sul tropical, controlando assim o padrão sazonal de precipitação. Estes trabalhos sugerem uma interação crucial do SMAS com a ZCAS na configuração do clima sul-americano.

É importante mencionar que ZCAS ocorre predominantemente em uma faixa que se estende do noroeste ao sudeste, desde a Amazônia até o sudoeste do Atlântico Sul. Por vezes, a depender da orientação do sistema, áreas ao norte da Região Sul podem ter parte da chuva atribuída a episódios de ZCAS, mas o sistema tem pouco efeito direto sobre a Região Sul. De maior importância, apesar de a ZCAS exercer,

climatologicamente, um impacto predominante sobre a região sudeste do Brasil, ela pode também induzir movimentos de ar subsidentes na RSB (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997).

2.2 Sistemas de Mesoescala

Os sistemas de mesoescala, como definidos por Orlanski (1975), são sistemas meteorológicos cuja escala varia aproximadamente entre 2 a 200 km, que podem durar por algumas horas ou até dias. Esses sistemas incluem fenômenos como tempestades individuais, Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM - que são, em essência, agrupamentos de tempestades), os efeitos das brisas marítimas e terrestres, entre outros. Vale ressaltar que estes sistemas não funcionam de forma isolada, eles não só influenciam as condições locais de tempo e clima, mas também possuem uma interação com os sistemas de maior escala.

Dada a importância desses sistemas de mesoescala para a compreensão do clima e das condições meteorológicas locais, nesta seção, nos aprofundaremos em uma descrição dos principais sistemas de mesoescala, examinando suas características, como se formam e suas influências.

2.2.1 Tempestades

As tempestades são fenômenos meteorológicos complexos, caracterizados por intensas precipitações, que podem ser acompanhadas de raios e ventos fortes. Estes eventos são resultados de processos atmosféricos que envolvem o rápido movimento ascendente de ar úmido e quente, que esfria e condensa ao subir, formando nuvens densas e profundas. As tempestades convectivas severas, especificamente, são aquelas capazes de gerar granizo grande, rajadas de vento com força destrutiva, tornados, entre outros.

A região sudoeste do Brasil é conhecida por ser favorável à ocorrência de tempo severo a algumas décadas, com até ocorrências de tornados. O trabalho de DYER (1986) identificou através de rastros de destruição a ocorrência de tornados na região da Bacia da Prata, alguns com até dezenas de quilômetros de extensão.

As pesquisas de Brooks, Lee e Craven (2003) e Brooks *et al.* (2007), desenvolveram uma climatologia global para identificar os ambientes atmosféricos propícios ao desenvolvimento de tempo severo. De acordo com esses pesquisadores, tanto a região central da América do Norte quanto a região centro-norte da Argentina, Paraguai e sul do Brasil apresentam condições favoráveis a tais eventos climáticos.

NASCIMENTO (2005) discute a ocorrência de tempestades severas na região de latitudes médias e subtropicais da América do Sul, a leste dos Andes, identificando a Argentina, o Paraguai e o sul do Brasil como áreas suscetíveis a condições que favorecem a sua formação. O autor dá destaque à contribuição do (JBN) na formação desses eventos extremos, argumentando que o sistema favorece a ocorrência de convecção profunda e potencialmente severa, transportando umidade da Amazônia para latitudes mais altas. Esta dinâmica aumenta a disponibilidade de umidade na camada limite planetária e favorece a desestabilização da atmosfera, fatores essenciais para a formação de tempestades.

A interação entre os diferentes níveis da atmosfera podem intensificar o mecanismo dinâmico para o desenvolvimento de tempestades severas. Conforme demonstrado por NASCIMENTO (2005) e Nascimento e Foss (2009), além da atuação do JBN e seu acoplamento com o escoamento do JAN, muitos eventos de tempestade ocorrem a leste de um cavado em níveis médios, associados a uma área de baixa pressão em superfície, condições frequentemente acompanhadas por divergência em altos níveis e intenso movimento ascendente de ar na média troposfera. Além disso, outra condição importante para a formação das tempestades é o cisalhamento vertical do vento, onde há uma diferença na magnitude do vento entre diferentes níveis da atmosfera, o que permite que a tempestade se mantenha organizada e continue por um período prolongado, entre outras contribuições.

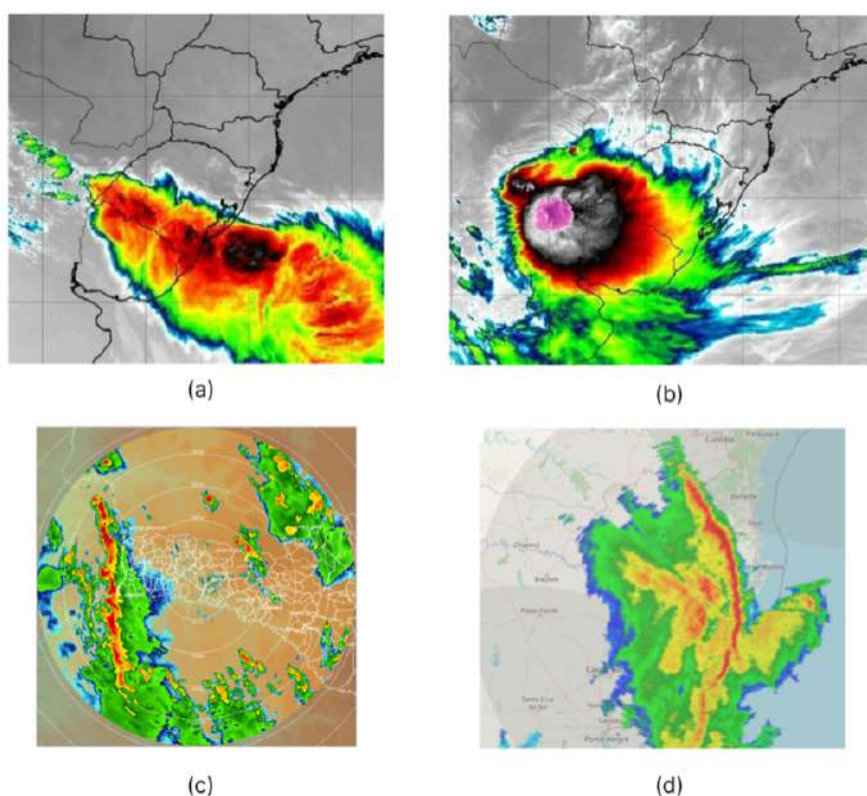
2.2.2 Sistemas Convectivos de Mesoescala

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs), como o nome sugere, são fenômenos meteorológicos precipitantes, que se enquadram aos parâmetros da mesoescala, de variados tamanhos e tempos de duração (Figura 12). Os SCMs são compostos, essencialmente, de um aglomerado de nuvens convectivas que apresentam áreas contínuas de precipitação ao longo do sistema. Na dianteira do sistema observa-se uma primeira região convectiva, com sistemas alongados, enquanto na retaguarda se observa uma grande área com chuva estratiforme, de intensidade significativamente menor em relação a da dianteira (HOUZE; SMULL; DODGE, 1990; MACHADO; ROSSOW, 1993).

Na América do Sul, particularmente, os SCMs exercem um papel fundamental na precipitação total, especialmente na RSB. Campos e Eichholz (2011) conduziram um estudo baseado em imagens do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), no qual foi observado que a maioria dos SCMs se formou nos

trimestres mais quentes do ano (primavera e verão) e apresentou tempo de vida entre 6 e 12 horas, com as áreas preferenciais de ocorrência no sudoeste do PR, Oeste e meio Oeste de SC, e noroeste do RS. Entretanto, os SCMs possuem algumas variações sazonais.

Figura 12 – Mosaico ilustrativo das diferentes formas que um SCM se apresenta: (a) SCM alongado, 12/09/23 às 00h10 UTC; (b) Complexo Convectivo de Mesoescala, 12/11/18 às 10 UTC; Linhas de Instabilidade (c) 04/09/23 às 17 UTC e (d) 20/06/20 às 21 UTC.

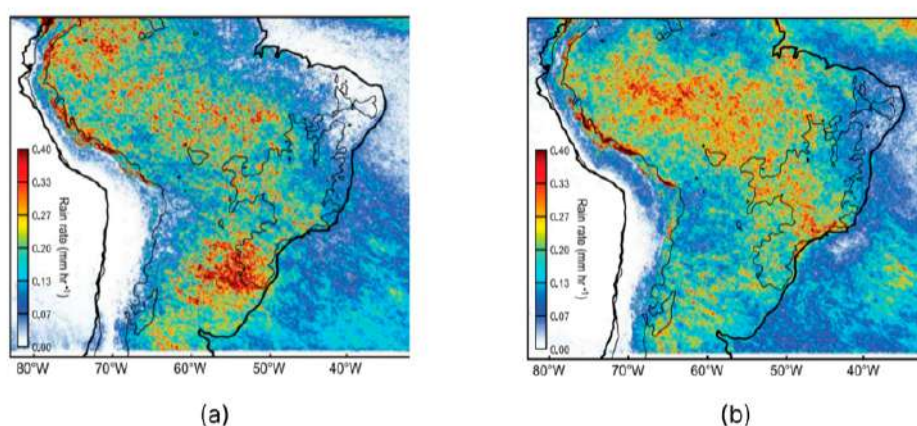


Fonte: (a) e (b) CPTEC-INPE; (c) Defesa Civil de SC; (d) REDEMET.

(RASMUSSEN *et al.*, 2016) analisaram a contribuição de tempestades convectivas extremas para a precipitação na América do Sul utilizando 15 anos de dados de alta resolução do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission). Durante a primavera austral, uma quantidade significativa de precipitação foi observada na RSB e nordeste da Argentina, o que o autor sugeriu estar relacionado com a alta frequência de SCMs na região. No verão austral, o autor destacou que as tempestades convectivas contribuíram com cerca de 95% da precipitação total durante o verão, influenciado pela iniciação convectiva ao longo das encostas dos Andes e desenvolvimento dos SCMs, que propagam para o leste. Notou-se também nos resultados uma taxa de precipitação entre 0,3 mm/h e 0,4 mm/h no oeste da RSB na primavera austral (Figura 13a), e nas áreas do nordeste da RSB no verão austral (Figura 13b).

No estudo sobre chuvas convectivas na região da Bacia do Prata, Filho (2014) identificou a atuação dos SCMs no ciclo diurno da precipitação durante a primavera austral. Os resultados mostram que a precipitação se intensifica por volta das 08 UTC na fronteira oeste de SC e na divisa com o RS. A chuva se estende, tornando-se mais presente nas áreas centrais e planaltos às 11 UTC e 14 UTC. Após esses horários, a precipitação abrange todas as regiões de SC às 17 UTC e 20 UTC, diminuindo durante a madrugada. Estes resultados indicam que a chuva relacionada aos SCMs começa nas áreas do Grande Oeste de SC pela manhã, alcança as áreas centrais no final da manhã e, posteriormente, se distribui por todo o estado.

Figura 13 – Climatologia de precipitação média, dos dados do TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), calculada através da identificação de precipitação, como quaisquer um dos itens i) Núcleo Convectivo Profundo ii) Núcleo Convectivo Amplo; e iii) Região Estratiforme Ampla, dos dados TRMM, entre 1998 para 2012; para (a) primavera austral e (b) verão austral.

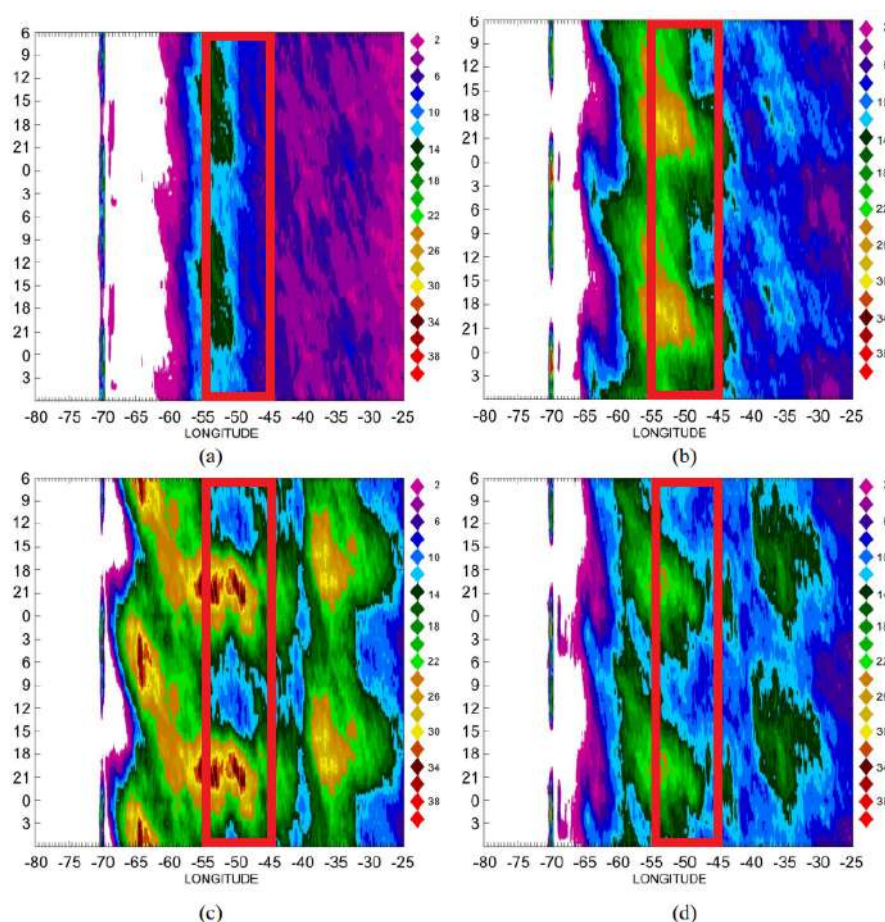


Fonte: (RASMUSSEN *et al.*, 2016)

Adicionalmente, o autor descreve o ciclo diurno mais comumente observado, onde a convecção começa perto da Cordilheira dos Andes por volta das 00:00 UTC e se desloca para leste em cerca de um dia. Há menos chuva próximo à Cordilheira, mas conforme a convecção se move para leste, a precipitação aumenta, sobretudo na região do Chaco durante a tarde, e enfraquece enquanto se distancia, devido às mudanças na topografia e atmosfera. O diagrama na Figura 14 apresenta a porcentagem de tempo com precipitação na região da Bacia do Prata em cada estação do ano. Nesta figura nota-se um padrão bem definido no ciclo diurno durante o verão (Fig. 14c), onde as chuvas são mais frequentes a partir das 15h, tem seu máximo entre às 18 UTC e 00 UTC, diminuindo a frequência na madrugada. Nas regiões mais a leste, nota-se uma frequência ligeiramente maior em horários noturnos em relação às áreas a oeste, o que poderia indicar que neste horário a chuva é mais frequente nas áreas dos planaltos ao leste de SC. No outono (Fig. 14d) a precipitação é melhor distribuída, ficando

mais frequente a partir das 12 UTC, atingindo um pico menor no período da tarde, e diminuindo gradualmente até o final da noite. Na primavera (Fig. 14b) um primeiro pico é observado no período da manhã, as 09 UTC, nas longitudes mais próximas do extremo oeste, avançando gradualmente para as demais regiões. Ainda, um segundo máximo é observado no período da tarde. No inverno (Fig. 14a), a frequência de precipitação é menor em relação às demais estações, apresentando um valor quase constante ao longo do dia, com exceção de um ligeiro enfraquecimento entre as 00 e 06 UTC.

Figura 14 – Diagrama Hovmöller da porcentagem de tempo com precipitação na faixa latitudinal de -35° à -20°, de 2002 a 2008, para (a) inverno, (b) primavera, (c) verão e (d) outono. A longitude de SC está destacada nas caixas vermelhas.



Fonte: (FILHO *et al.*, 2014)

Uma categoria específica desses sistemas, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), foi definida por Maddox (1980, 1983) como um subconjunto dos SCMs, destacando-se por seu grande tamanho, longa duração e a produção de nuvens quase circulares observáveis por imagens de satélite (Figura 12b). Ferreira e Anabor (2015) encontraram em seu trabalho, num curto período de 2005-2006, que 75% dos SCMs alongados e 85% dos CCMs ocorreram durante a estação mais quente (de

outubro a março), com os SCMs tendo uma duração média de 44 horas e os CCMs de 26 horas.

Os CCMs são fortemente influenciados por sistemas de escala sinótica, como o JBNAS, JANs e a aproximação de frentes frias (BROWNING, 1986; SALIO; NICOLINI; ZIPSER, 2007). A Cordilheira dos Andes, por exemplo, desempenha um papel crucial na gênese e manutenção destes sistemas, particularmente na primavera e no início do outono, quando as trajetórias preferenciais dos CCMs tendem a ser mais zonais. Além disso, sua formação ocorre durante a noite, com um ciclo de vida entre 10 e 20h, sendo que as primeiras células que antecedem a classificação do evento como CCM podem aparecer já no início da tarde. Sua máxima extensão acontece durante a madrugada e a dissipação por volta das 12h (meio-dia) do dia seguinte (VELASCO; FRITSCH, 1987).

A contribuição de precipitação dos CCMs apresenta uma variabilidade interanual e espacial. Segundo Durkee, Mote e Shepherd (2009), nas estações quentes avaliadas em seu estudo (1998–2007), os CCMs contribuíram com 11 a 20% da precipitação em grande parte da AS, mas não foi incomum encontrar contribuições de 40 a 50% em partes do norte da Argentina, Paraguai e fronteira oeste do Sul do Brasil. Ainda, (DURKEE; MOTE, 2010) mostram que na RSB ocorre a formação de CCMs em toda a estação quente (Out-Abr), entretanto, os meses de dezembro e janeiro apresentam a maior frequência de formação, enquanto março e abril têm as menores.

Outro tipo particular de SCMs são as Linhas de Instabilidade (LI). Pode-se definir como LI todos os SCMs os quais a região convectiva do sistema se organiza linearmente (Figura 12c), com extensão horizontal maior que 100 km (Houze Jr, 2004), sendo que seu principal impacto são intensos ventos em superfície, que ocorrem em linha reta. As LIs são facilmente identificadas nas imagens de radares meteorológicos, apresentando um intenso gradiente da refletividade medida entre a região convectiva e a estratiforme. Em grande parte das LIs a região convectiva se posiciona na vanguarda do sistema, entretanto, também são observados eventos em que a área estratiforme aparece na frente, ou paralela a linha convectiva. (PARKER; JOHNSON, 2000).

Segundo Ribeiro (2018), as LIs na RSB são mais comuns nos meses de primavera e verão, com a frequência mais alta ocorrendo em outubro e a mais baixa em junho. Um pico secundário na frequência de LIs é observado em abril. Durante a primavera, mais de 70% das LIs são classificadas como severas. O autor também aponta para uma grande variabilidade interanual no número de LIs. Por exemplo, 2009

registrou três vezes mais LIs do que 2011. Fatores sinóticos ajudam a explicar essas diferenças, com 2009 apresentando condições gerais mais favoráveis para a convecção na RSB. No que diz respeito ao ciclo diurno, a maioria das LIs ocorre entre a madrugada e a manhã, mas a maior porcentagem de LIs severas é observada no final da tarde e início da noite. A velocidade média das LIs severas é cerca de 10 km/h maior que a das LIs não severas.

Uma intensa linha de instabilidade amplamente reconhecida ocorreu no dia 30 de junho de 2020 em SC (Figura 12d), que foi denominada popularmente e de maneira imprecisa como “ciclone bomba”. Em menos de 6 horas, a LI teve sua formação na região Oeste do Estado e avançou para as regiões litorâneas, neste período, foram confirmadas 14 mortes associadas ao fenômeno, ao menos 230 cidades reportaram algum tipo de dano, representando 78% do território catarinense, com mais da metade das unidades totais do estado sem luz (FARIA *et al.*, 2023; Defesa Civil SC, 2021).

Dentre as LIs, existem algumas estruturas particulares, uma delas é conhecida como eco de arco, ou bow echo em inglês. O bow echo, é uma assinatura característica frequentemente associada a ventos fortes na superfície (WEISMAN, 1992). Portanto, a presença dessas estruturas sugere mudanças importantes na dinâmica do vento, apresentando um alto potencial para impactos na região de atuação. Os bow echos, possuem comprimentos variados, geralmente entre 20 e 200 km, segundo os estudos de Wakimoto *et al.* (2006) e Wakimoto, Stauffer e Lee (2015). Nesta extensão, são possíveis de detecção por imagens de radares meteorológicos, sendo um recurso importante para os meteorologistas no monitoramento de tempo severo.

De acordo com Weisman e Trapp (2003), os mesovórtices são particularmente importantes no processo de formação dos eco de arco, sendo o resultado da aceleração de parte da LI, favorecida quando há um mesovórtice anticiclônico e um ciclônico próximos.

Quando as linhas de instabilidade e os eco de arco possuem uma longa extensão territorial, estes são capazes de produzir grupos de rajadas descendentes (downbursts), com alto potencial destrutivo, podendo ser caracterizado como um “derecho”. Alguns autores propuseram definições para caracterizar um derecho, como Johns e Hirt (1987) e, uma revisão mais atualizada, por Corfidi *et al.* (2016). Em suma, os autores definem o derecho como um aglomerado de rajadas descendentes com alto potencial destrutivo, associado a um sistema convectivo de mesoescala. Os danos provocados por este evento devem ser contínuos, com rajadas maiores que 26 m/s.

Os autores diferenciam na extensão dos danos. Para Johns e Hirt (1987), o sistema precisaria atuar por 400 km, já para Corfidi *et al.* (2016), a restrição é maior, precisaria ter ao menos 600 km de extensão e 100 km de largura.

Ao que se trata da RSB, Figueiredo, Nascimento e Oliveira (2019) analisou dois episódios de ecos de arco de longa duração que produziram ventos destrutivos, mais especificamente, na porção leste da Bacia do Prata. O primeiro evento ocorreu em 29 de maio de 2013 (final do outono austral) e o segundo ocorreu de 18 a 19 de outubro de 2014 (meio da primavera austral). Ambos os eventos apresentavam características associadas a ecos de arco, como ventos intensos na baixa troposfera e vórtices de mesoescala de longa duração. Apesar de as trajetórias de dano associadas aos ecos de arco estudados pelo autor não terem atingido o comprimento contínuo mínimo de 650 km, com base em suas características e longevidade, (FIGUEIREDO; NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2019) concluiu que esses eventos provavelmente caracterizavam a manifestação de derechos.

2.2.3 Efeito de Brisa

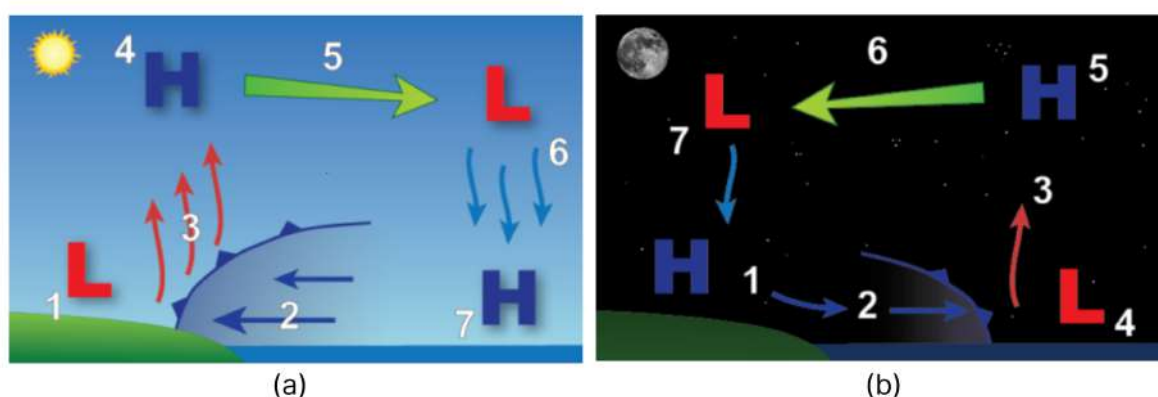
A circulação de brisa surge do aquecimento diferenciado entre duas superfícies adjacentes, que geram diferentes fluxos de energia para a atmosfera e resulta em gradientes de pressão em diferentes níveis acima da superfície (ATKINSON, 1981).

Entre os tipos mais conhecidos de brisas estão a brisa marítima/terrestre e a brisa vale/montanha. A brisa marítima ocorre durante o dia, quando o ar em contato com a superfície terrestre se aquece mais rapidamente do que o ar sobre o oceano (Figura 15a). O ar aquecido sobre a terra tende a ascender por ser menos denso, gerando uma diminuição da pressão atmosférica na área. Isso resulta em um gradiente de pressão que impulsiona o ar mais frio e denso sobre o oceano para se deslocar em direção ao continente, formando a brisa marítima. Durante a noite, a situação se inverte e a brisa terrestre se estabelece (Figura 15b). Similarmente, o padrão de brisa vale/montanha também é orientado pelo aquecimento e resfriamento diferenciados, mas ocorre em regiões de vales circundados por topografias elevadas. Durante o dia, o ar sobre as faces das montanhas voltadas para o sol se aquece mais rapidamente do que o ar sobre o vale, resultando em um gradiente de pressão que direciona o escoamento do vale para a montanha. Esse movimento é chamado de brisa de vale, ou ventos anabáticos. À noite, o processo se inverte, pois o ar da montanha se resfria mais rapidamente do que o ar sobre o vale. Isso gera a brisa de montanha, ou ventos catabáticos, onde o escoamento se direciona da montanha para o vale (ATKINSON, 1981).

Em um trabalho realizado por entrevistas com os moradores da Baixada Santista, Santos e Azevedo (1965) relatam que o termo 'viração' era amplamente utilizado para se referir a entrada da brisa marítima, visto pelos moradores como um fator de conforto térmico. Ainda, era relatado que a brisa marítima ao se deparar com a serra do mar, resultava em chuva considerável.

Diversos trabalhos como Jorgetti, Camargo e Januário (2002), (FREITAS, 2003), Freitas e Dias (2004) e Freitas, Dias e Freitas (2004) enfatizaram a importância da brisa marítima em aspectos como o transporte de umidade, dispersão de poluentes e precipitação.

Figura 15 – Diagrama da formação da brisa marítima (a) e brisa terrestre (b).



Fonte: NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

Neste tema, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é amplamente documentada. Em São Paulo, algumas análises antigas mostram a chegada da brisa por volta das 16h no verão e às 15h no inverno, variando conforme o padrão de circulação da brisa e a situação sinótica (JORGETTI; CAMARGO; JANUÁRIO, 2002). Trabalhos como o de (RODRIGUEZ; ROCHA; BOMBARDI, 2010) identificaram o padrão de brisa como um dos principais fatores da circulação média no município, por vezes atuando como uma forte zona de convergência que se move de leste para oeste entre as 12 h e às 18 h. Já o trabalho de Vemado (2012), mostra que a interação da brisa com a ilha de calor em São Paulo favorece a ocorrência de tempestades, com a entrada do sistema por volta das 15 h e 16 h.

No Norte e Nordeste do Brasil, Kousky (1980) mostrou que a penetração da brisa marítima, em conjunto com as circulações de vale e montanha, determina os horários preferenciais de precipitação. A alternância entre a brisa marítima durante o dia e a brisa terrestre durante a noite é responsável por máximos de precipitação

ao longo da costa leste dessas regiões. Santos *et al.* (2012), com trabalho focado em Belém-PA, observou-se que a precipitação é geralmente mais homogênea na estação chuvosa em comparação com a estação menos chuvosa, e que o pico de precipitação ocorre quando há uma mudança na direção do vento, evidenciando a relação direta da brisa marítima com a precipitação.

Estudos pontuais para a RSB, como o de Leite (2013), também identificaram a influência da brisa no clima do RS. O autor verificou interações complexas entre a brisa marítima e a brisa lacustre no estado, inclusive, com períodos onde a brisa lacustre se opõe ao avanço da brisa marítima. A brisa lacustre é relevante para o RS devido a grande extensão das Lagoas Mirins, dos Patos e Mangueira. Ao remover os ventos sinóticos na simulação, o autor encontrou que a região do estudo tornou-se mais quente e menos úmida, com maior variação de temperatura e maior aquecimento dos corpos d'água, mostrando o efeito das circulações locais no clima do RS.

Outros estudos acerca da brisa lacustre mostraram que a formação de grandes corpos d'água, como o Lago de Itaipu e a Represa de Sobradinho, influenciam significativamente a circulação local (STIVARI; OLIVEIRA, 1999; CORREIA; DIAS, 2001). Ainda, (FREITAS; DIAS, 2004) exploraram os efeitos de brisa lacustre em corpos d'água menores, como as represas de Guarapiranga e Billings, na região metropolitana de São Paulo, e identificaram impactos potencialmente significativos sobre a qualidade do ar.

Especificamente em SC, alguns estudos analisaram o comportamento dos ventos e a circulação da brisa. Truccolo (2011) analisou as estações de Navegantes e Praia Grande, localizadas na costa norte do estado. Segundo a autora, as estações apresentam semelhanças gerais em termos de frequência de dias de ventos que sopram na direção norte-sul, originados por sistemas meteorológicos sinóticos. No entanto, notou-se diferenças significativas nos ventos locais que têm padrões diários, como as brisas terrestres e marítimas. Ela mostra que a estação de Praia Grande exibe um regime de ventos similar ao regime regional de ventos do sul-sudeste do Brasil, com predominância de ventos vindos do norte e do sul durante a propagação dos sistemas frontais. Já em Navegantes, mesmo quando os ventos do sul se tornam mais intensos, são as brisas marítimas e terrestres que predominam e têm o maior impacto na intensidade dos ventos.

Prudêncio, Franco e Nery (2017) analisaram os padrões de vento no litoral de SC, especialmente nas estações de Florianópolis e São Francisco do Sul. O autor

observou que as velocidades de vento mais altas, de 2,0 m/s a 5,5 m/s, ocorreram em Florianópolis, enquanto em São Francisco do Sul as velocidades ficaram entre 1,0 m/s e 4,5 m/s, possivelmente devido às distintas localizações geográficas das estações. Além disso, os autores identificaram que ventos de SW e S predominam no período matutino em ambas as estações. À tarde, Florianópolis apresenta ventos de SE, enquanto São Francisco do Sul tem ventos de E-SE. O autor associou esses padrões à influência das brisas terrestres e marítimas. Destacou que a entrada da brisa marinha ocorre entre 11h00 e 13h00 em Florianópolis e entre 11h00 e 12h00 em São Francisco do Sul, enquanto a brisa terrestre acontece entre 20h e 23h em Florianópolis, e entre 20h00 e 00h00 em São Francisco do Sul.

2.3 Climatologia

O estado de SC se localiza no centro geográfico da RSB, caracterizado pela transição entre os trópicos e as latitudes médias, relevo diversificado e extensa continentalidade. Estes aspectos resultam na heterogeneidade climática da região, com diferentes regimes de precipitação e grande contraste térmico.

A classificação climática de Köppen-Geiger foi desenvolvida pelo alemão Wladimir Köppen em 1900 e posteriormente aprimorada com a colaboração de Rudolf Geiger (KOPPEN, 1936). Köppen reconheceu que, globalmente, regiões com climas semelhantes frequentemente apresentam tipos de vegetação comparáveis. Apesar da classificação usar temperaturas e padrões de precipitação como seus critérios primários, ela foi concebida sob a premissa de que a vegetação de uma região é, em grande parte, um reflexo direto de seu clima. Por exemplo, os autores escolheram o limiar de 18 °C baseando-se na observação de padrões de vegetação. Ele notou que em regiões onde a temperatura média do mês mais frio é superior a 18 °C, a vegetação é consistentemente tropical.

Esta classificação de clima segue sendo a mais reconhecida e amplamente utilizada internacionalmente. Trabalhos mais recentes como o Atlas realizado por Wrege *et al.* (2012), reproduziu o modelo clássico e, para a classificação de Köppen tradicional (Figura 16), encontrou dois tipos climáticos predominantes: Cfa (subtropical úmido) e Cfb (Clima Temperado Oceânico ou Marítimo). Entretanto, em uma área menor, o tipo climático Af (Tropical Úmido) também aparece no litoral entre SC e o PR.

Dentro da classificação climática de Köppen-Geiger, os climas são identificados por letras que designam suas características principais. Os tipos principais são denotados pela primeira letra. A inicial 'C' se refere a climas temperados, e 'A', indica climas tropicais com temperaturas médias mensais sempre acima de 18 °C. Comple-

mentando essa classificação principal, temos letras que detalham características de temperatura e precipitação: 'f' mostra que a chuva é bem distribuída ao longo do ano, 'a' indica uma temperatura média no mês mais quente superior a 22 °C e 'b' aponta para uma temperatura média do mês mais quente abaixo de 22 °C, mas acima de 10 °C.

Com essa estrutura, podemos compreender melhor os climas específicos. Por exemplo, o clima Cfa, é encontrado em áreas com verões quentes e úmidos, predominando em estados brasileiros como SC e PR. Já o Cfb, é caracterizado por verões amenos e invernos frescos, sendo comum em áreas costeiras e nas regiões serranas do Sul e Sudeste do Brasil. Por fim, o clima Af, é típico de regiões com temperaturas elevadas e chuvas constantes ao longo do ano, como a Amazônia brasileira.

Figura 16 – Classificação climática de Koppen para a RSB.

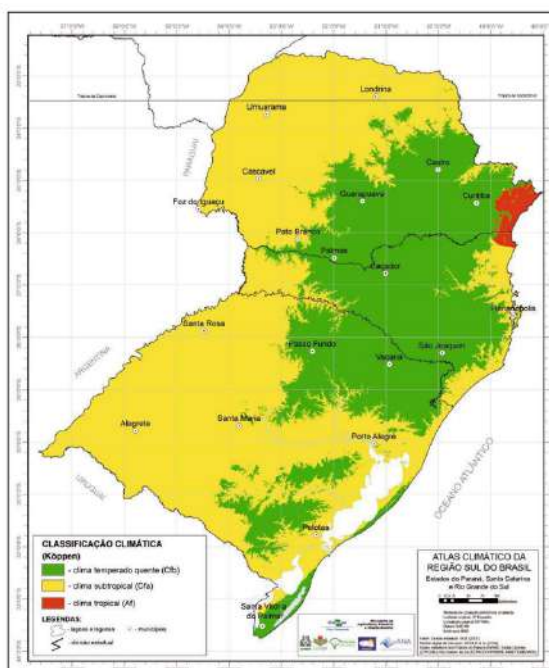


Figura 233. Classificação climática de Koppen para a região Sul do Brasil.

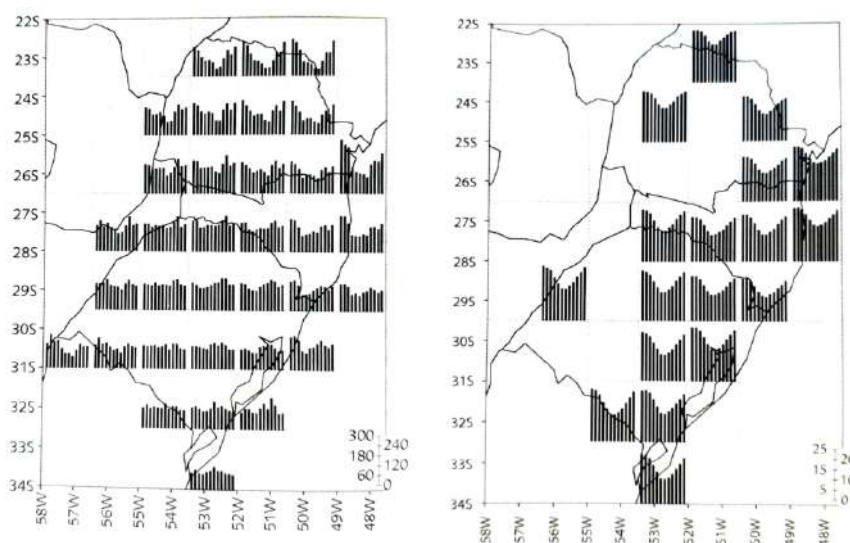
Fonte: (WREGE *et al.*, 2012)

Embora seja amplamente aceita, esta classificação tem suas limitações e nem sempre representam os modos climáticos de determinadas áreas. Nota-se que ao avaliar apenas os valores absolutos de temperatura e precipitação, climas predominantemente tropicais como o norte do país podem estar agrupados no mesmo tipo que o litoral da RSB, onde de um ponto de vista da circulação geral da atmosfera e dos sistemas que ali atuam, apresentam diferenças claras. Ainda, algumas variações foram propostas (BRAGA; GHELLRE, 1999; MALUF, 2000) e elaboradas no atlas de Wrege *et al.* (2012). Estas modificações adicionaram algumas nuances, dividindo o Cfa em subtropical e subtemperado (MALUF, 2000), ou ampliando a avaliação da temperatura,

resultando nas classificações subquente, mesotérmico médio e mesotérmico branco 1, 2 e 3 (BRAGA; GHELLRE, 1999). Apesar dessas variações, esta classificação não descreve com detalhes os regimes de precipitação e temperatura nas regiões, nem contempla os sistemas meteorológicos e padrões de circulação atmosféricas.

O regime de chuva na RSB é atribuído a uma série de sistemas meteorológicos, sendo a precipitação bem distribuída ao longo do ano, com variações no volume e também na qualidade da chuva entre os meses de verão e inverno. Quanto às temperaturas, a sazonalidade tem um papel marcante, apresentando um contraste térmico expressivo entre o verão e o inverno (Figura 17). Nesta figura também destacam-se as áreas elevadas do estado, nos planaltos e serras, que garantem um forte gradiente espacial de temperatura em relação às regiões mais baixas (GRIMM, 2009).

Figura 17 – Regimes de precipitação (a) e temperatura (b) na região sul do país (1960-2000), segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA).



Fonte: (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998)

Em uma abordagem utilizando o regime de precipitação ao longo do ano, o trabalho realizado por Reboita *et al.* (2012) aglomera as regiões similares e descreve os principais sistemas meteorológicos que atuam na região. A RSB compõe a região R4, delineada pela autora, junto com o sul do Paraguai e Uruguai. Uma de suas características marcantes é a precipitação, que se apresenta bem distribuída durante todo o ano, alcançando elevados totais pluviométricos, especialmente na fronteira oeste do sul do Brasil com o Paraguai. Diversos sistemas meteorológicos influenciam significativamente o clima no sul do Brasil. Entre eles, descritos nos itens 2.1 e 2.2, temos os sistemas frontais, atuação e formação dos ciclones em baixos e médios níveis, SCMs, bloqueios atmosféricos, circulação de brisa e, por fim, de forma indireta temos

a atuação da ZCAS. Segundo a autora, a combinação e interação destes sistemas meteorológicos determinam o clima variado e dinâmico da RSB.

Além destes, para descrever a climatologia da região, destaca-se a importância dos bloqueios atmosféricos em eventos de seca, visto que o sistema atua de forma a impedir que os sistemas frontais avancem para as áreas mais centrais do país. A análise de Rodrigues, Franco e Sugahara (2004) verificou que, com uma frequência baixa, existem intervalos de 25 a 32 dias sem passagem de frentes frias no litoral de SC, bem maiores do que a média de 3 a 8 dias. Os autores argumentam que estes eventos podem estar associados à formação de bloqueios.

2.3.1 Variabilidade Climática

Para além dos sistemas discutidos até o momento, de escalas temporais mais curtas, o clima da Terra tem influência de padrões de grandes escalas temporais, que podem atuar desde semanas, até anos e décadas.

Nas oscilações de menores escalas, chamadas de intrassazonais, se referem a variações climáticas que ocorrem dentro de uma estação, geralmente em semanas. A Oscilação Madden-Julian (MJO) se manifesta nos trópicos, caracterizado por sua movimentação de oeste para leste ao redor do globo. Descoberta na década de 1970 pelos pesquisadores Dr. Roland Madden e Dr. Paul Julian, a MJO desempenha um papel fundamental na variabilidade climática tropical, apresentando oscilações regulares que afetam sistemas de nuvens, precipitação, ventos e pressão atmosférica. A dinâmica da MJO é estruturada em duas fases principais: uma associada ao aumento da convecção e chuvas, e a outra a uma supressão dessas atividades. Sua passagem influencia uma série de fenômenos, desde monções até a atividade de ciclones tropicais. A trajetória e as manifestações deste fenômeno são divididas em etapas geográficas numeradas de 1 a 8 (MADDEN; JULIAN, 1971; MADDEN; JULIAN, 1972; ZHANG, 2005)

Ainda nas escalas menores, uma das principais manifestações atmosféricas HS é a Oscilação Antártica (AAO). Esse padrão, também conhecido como Modo Anular Sul (South Annular Mode - SAM), proposto por Gong e Wang (1999) e Limpasuvan e Hartmann (1999), tem estrutura zonalmente simétrica (ou anular, em forma de anel), com anomalias atmosféricas de sinais opostos entre médias e altas latitudes. Estudos indicam que a AAO tem impactos nos padrões de pressão, vento, temperaturas e precipitação em áreas do HS. Mais especificamente, na fase negativa da AAO tende a

favorecer a precipitação na região, enquanto sua fase positiva tende a desfavorecê-la (SILVESTRI; VERA, 2003; REBOITA; AMBRIZZI, 2006) (SILVESTRI e VERA, 2003; REBOITA; AMBRIZZI, 2006)

Um exemplo dos efeitos da AAO é sua capacidade de influenciar a posição e comportamento da ASAS. Dependendo das fases da Oscilação Antártica, seja ela positiva ou negativa, a localização média da ASAS pode se deslocar. Esse deslocamento, por sua vez, pode alterar os padrões de precipitação em diversas regiões do Brasil. (CARPENEDO; AMBRIZZI, 2020).

Em maiores escalas, se destaca a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), definida pelas variações na temperatura do mar no Pacífico Norte. Trabalhos recentes mostram que esta oscilação não é causada por um único fator, mas por várias interações, incluindo áreas tropicais e locais do Pacífico Norte (NEWMAN *et al.*, 2016), sendo essencial considerar todas as suas causas e influências. Os autores afirmam que se deve ter cuidado ao dizer que a PDO causa mudanças na circulação atmosférica, já que representa em grande parte uma resposta do oceano à atmosfera.

A oscilação interanual, por outro lado, se refere às oscilações que se estendem de um ano a vários anos. O fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) é a principal manifestação desta escala com efeitos na RSB. O El Niño é caracterizado pelo aquecimento anômalo das águas do Pacífico equatorial, enquanto La Niña representa o oposto, com um resfriamento anômalo. Segundo Grimm e Tedeschi (2009), tanto na fase positiva (El Niño) quanto na negativa (La Niña) se observa uma influência na frequência dos extremos de precipitação na AS.

É importante destacar que existe variabilidade entre os episódios de El Niño, e não se pode esperar os mesmos efeitos para eventos diferentes. O trabalho de Tedeschi, Grimm e Cavalcanti (2015), mostra as diferenças entre os padrões atmosféricos e oceânicos do El Niño no Leste e Central (ENL e ENC, respectivamente). Os padrões de ENL e ENC afetam a precipitação na América do Sul de maneiras distintas. O local das anomalias no Pacífico tropical altera a circulação atmosférica, levando a variações na precipitação e em eventos extremos. Estas mudanças são guiadas pela célula de Walker, ondas de Rossby e fluxos de umidade, e a relação entre o ENSO e a precipitação extrema é particularmente sensível a depender das regiões. Durante o ENC, há anomalias negativas de precipitação no leste do Brasil, enquanto o ENL mostra anomalias positivas no sul. Há uma tendência de reversão destas anomalias entre Novembro e Janeiro, dependendo do tipo de ENSO.

Existem também interações entre as diferentes escalas. Trabalhos mais recentes apontam que as anomalias do El Niño-Southern Oscillation (ENSO) afetam a Oscilação de Madden-Julian (MJO), modificando seus impactos na SMAS. Isso inclui alterações nas teleconexões, intensificação da convecção da MJO, variações na frequência de eventos climáticos extremos e amplificação de padrões de variabilidade da precipitação (FERNANDES; GRIMM, 2022).

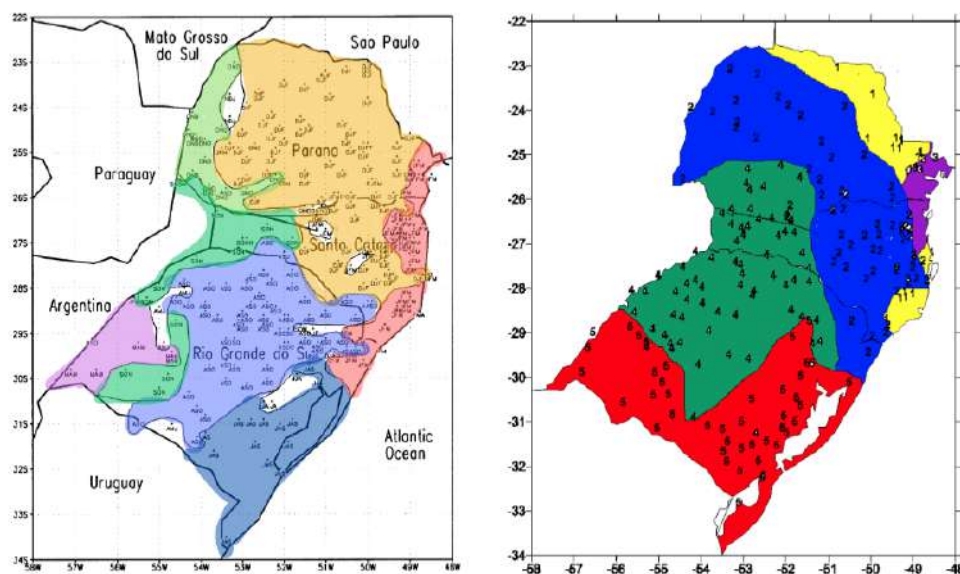
2.4 Homogeneização das Mesorregiões no Sul do Brasil

A RSB tem sido objeto de estudo de muitos autores que buscam entender suas características climáticas. Entretanto, dada a diversidade do tempo e clima na região, pode ser benéfico considerar análises mais regionalizadas. Com a alta resolução temporal dos dados disponíveis atualmente, há uma oportunidade para aprofundarmos nossa perspectiva sobre o clima regional, permitindo uma compreensão mais profunda dos sistemas responsáveis pelos padrões climáticos de cada mesorregião.

Grimm, Ferraz e Gomes (1998), ao analisar a distribuição anual da precipitação na região sul do país, encontraram diferentes picos da estação úmida, o que indica a atuação de diferentes regimes climáticos de precipitação nestas áreas (Figura 18a). A partir disso, foram descritas quatro variantes no estado de SC: (i) no centro-leste, com pico de precipitação no verão austral, modo similar a subtropical com características de monção; (ii) uma região de transição entre SC e RS, com máximo de precipitação entre as estações de verão e outono, marcando um clima de transição; (iii) pequenas faixas nas regiões de divisa destes estados com máximos de precipitação no inverno, típico de um regime de latitudes médias, com eventos precipitantes associados a atuação de ciclones extratropicais e, (iv) um pico de precipitação entre os meses de janeiro e março nas faixas litorâneas, com limite desenhado nas barreiras orográficas próximas à costa, indicando uma possível participação da topografia no regime de precipitação local.

Severo (2007) encontrou regimes climáticos de características similares ao trabalho de Grimm, Ferraz e Gomes (1998), através da aplicação do método hierárquico aglomerativo, também identificando cinco regiões pluviometricamente homogêneas no Sul do Brasil, com quatro delas observadas no estado de SC. Na Figura 18b, as cinco zonas distintas são representadas por números. A zona 1 abrange principalmente o leste e nordeste paranaense e sudeste catarinense. Já a zona 2 se espalha desde o norte do PR, cruzando o centro-leste de SC e chegando até o nordeste gaúcho. A terceira zona é limitada à extremidade leste do PR e litoral norte de SC, especialmente próxima ao litoral e inserida na área da Serra do Mar. Por outro lado, a zona 4 en-

Figura 18 – Métodos de agrupamento aplicados à precipitação na RSB, baseado no (a) pico da estação chuvosa, com letras indicando os três meses consecutivos mais chuvosos, e (b) agrupamento hierárquico aglomerativo, destacando as cinco regiões homogêneas identificadas.



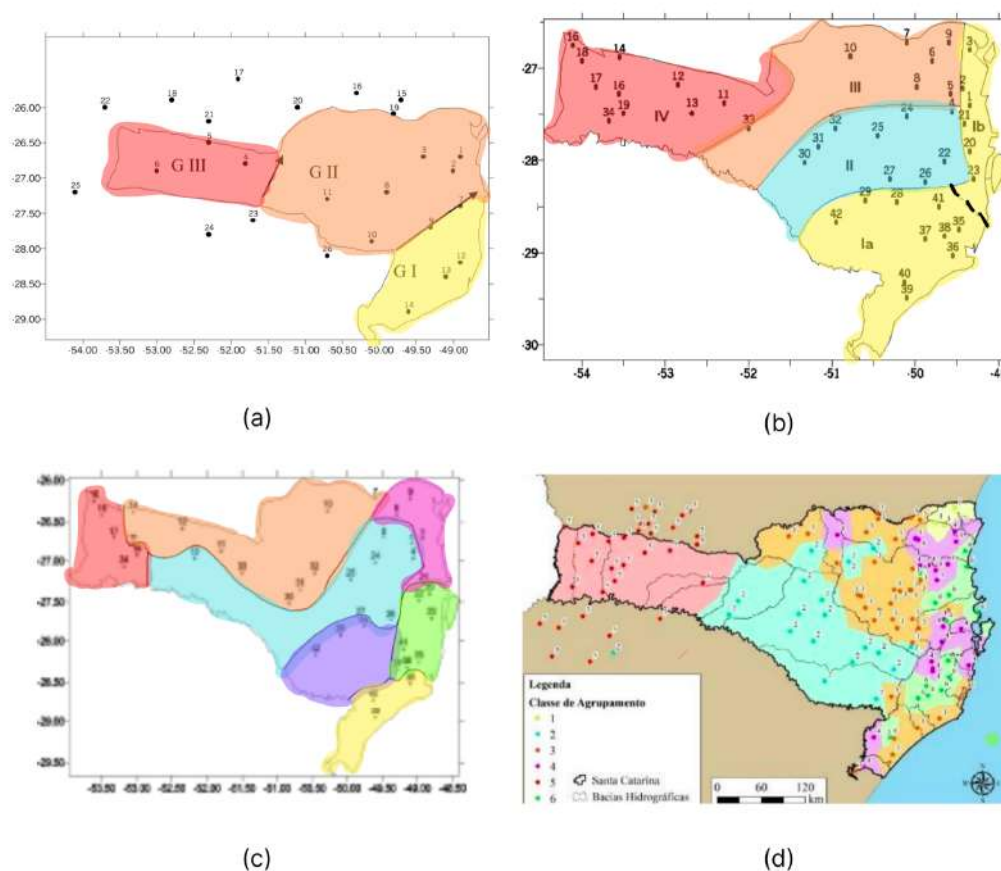
Fonte: Adaptado de Grimm, Ferraz e Gomes (1998) (a) e Severo (2007) (b)

global o sudoeste paranaense, oeste catarinense e partes norte e centro-oeste do RS. Finalmente, a zona 5 captura o padrão de precipitação na região sul gaúcha.

Especificamente em SC, algumas iniciativas foram realizadas em direção a encontrar uma homogeneidade dos padrões de precipitação. (ANDRADE; BALDO; NERY, 1999), utilizou da série de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), entre 1957 e 1997, em 14 estações em SC, parte do RS e PR. O autor utilizou o método de Ward (descrito na seção 2.3), nas variáveis média, desvio padrão e coeficiente de variação dos totais mensais, encontrando três grupos (Figura 19a). O primeiro representando o sul do estado, compondo o Litoral Sul e parte da Grande Florianópolis e Serra do Planalto Sul, o segundo aglomera os planaltos, Vale do Itajaí e Litoral Norte. O terceiro grupo é composto pelo Grande Oeste.

Outros dois trabalhos aplicaram o método de Ward nos dados mensais da ANEEL, em praticamente a mesma base de dados. A primeira foi realizada por Baldo *et al.* (2000) com 42 séries de precipitação, e a seguinte por Ichiba, Nery e Martins (2002), removendo duas destas estações, no período entre 1950 e 1997. Para Baldo, foi possível identificar 4 grupos (Figura 19b), o primeiro compreendendo as áreas litorâneas e Planalto Sul, o segundo parte do Planalto Sul, Vale do Itajaí e Grande Florianópolis, o terceiro se estende do Meio Oeste ao norte de SC, e por fim, o último representando o Grande Oeste. Ichiba, Nery e Martins (2002) identificou quatro grupos

Figura 19 – Análise de agrupamento para o estado de SC, com as linhas e cores indicando as regiões homogêneas encontradas nos trabalhos de (a) de Andrade, 1999, (b) Baldo, 2000; (c) Ichiba, 2002; (d) Baptista, 2018



Fonte: Adaptado de Andrade, Baldo e Nery (1999), Baldo *et al.* (2000), Ichiba, Nery e Martins (2002), Baptista e Severo (2018)

na região em que Baldo *et al.* (2000) descrevia como seu primeiro grupo (Figura 19c), dividindo o litoral em três grupos distintos e separando o Planalto Sul. O quinto grupo se estendia do Meio Oeste às áreas do Alto Vale do Itajaí. O sexto agrupa parte do oeste com as áreas a norte de SC, enquanto o sétimo compreende o Extremo Oeste.

Baptista e Severo (2018), aplicando um método de agrupamento hierárquico utilizando totais mensais de 127 estações da Agência Nacional das Águas (ANA), no período entre 1984-2014. O resultado apontou 6 clusters principais (Figura 19d). A Região 1 (R1) situa-se no Litoral Norte de SC. As zonas 3, 4 e 6 têm estações pluviométricas espalhadas a partir do Planalto Serrano em direção ao litoral. A R3 se destaca por abrigar a bacia do rio Itajaí. A R4 abriga vales profundos, como o Baixo Vale do Itajaí, e se estende até as praias. A R6 engloba o litoral catarinense, tanto ao norte quanto ao sul. Por fim, a região 5 (R5) é composta pelas estações que se localizam no oeste e meio-oeste do estado de SC. Uma limitação destas análises ao se

tratar do clima regionalizado foi a utilização dos totais mensais de precipitação como componente de agrupamento. Desta forma, podem se agrupar regiões com máximos de precipitação que não necessariamente apresentam o mesmo modo climático. Um exemplo é a região 4, que possui máximos de precipitação associados a áreas de encosta, entretanto, os sistemas que atuam nestas áreas não são necessariamente os mesmos.

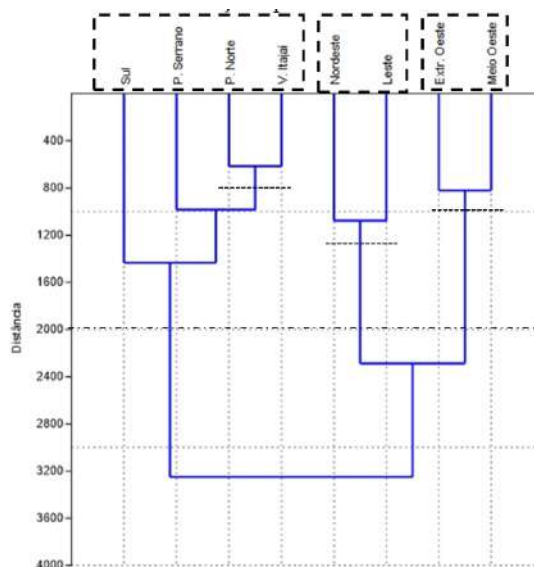
Algumas características em comum nestes trabalhos são observadas: i) o agrupamento da região oeste, que quase sempre se distingue das demais regiões, mesmo que apenas na faixa do Extremo Oeste, como obtido por Ichiba, Nery e Martins (2002); ii) nos trabalhos de (ANDRADE; BALDO; NERY, 1999) e Baldo *et al.* (2000), o Planalto Sul e Litoral Sul se agrupam, indicando uma semelhança entre estas regiões; iii) As regiões litorâneas costumam se dividir nas áreas ao norte das áreas ao sul, mesmo que em subgrupo, como obtido por Baldo *et al.* (2000), com exceção de Baptista e Severo (2018) e Grimm (2009); iv) não há concordância nas áreas entre o Meio Oeste, Planaltos e Alto Vale do Itajaí, se mesclando de diferentes formas, para Andrade, Baldo e Nery (1999), Severo (2007) e Grimm (2009), não foi possível realizar uma divisão na região.

Em um trabalho de análise de tendência do clima das mesorregiões em SC, Gotardo *et al.* (2018), utilizando os dados da ANA entre 1975 e 2014, definiram previamente as estações meteorológicas de cada uma das regiões descritas (Sul, Planalto Serrano, Planalto Norte, Vale do Itajaí, Nordeste, Leste, Extremo Oeste e Meio Oeste). A partir das médias mensais, foi realizado um agrupamento, para identificar padrões similares entre as regiões (Figura 20). Os resultados mostraram que as regiões Extremo Oeste e Oeste estão agrupadas. Da mesma forma, as regiões Nordeste e Leste formam outro grupo. O Planalto Norte e o Vale do Itajaí se agruparam formando um grupo principal. Neste trabalho, o Nordeste representa a faixa norte do Litoral, o Vale do Itajaí compreende do Alto Vale ao Baixo Vale, e o leste representa a Grande Florianópolis.

2.5 Impacto da Variabilidade Climática no Ambiente

Os diversos sistemas meteorológicos que atuam em SC têm potencial para representar ameaças para os habitantes. Áreas urbanas em SC, devido à sua topografia e planejamento, são frequentemente suscetíveis a eventos extremos como inundações e enxurradas. Estes eventos não apenas causam danos materiais, mas também têm repercussões socioeconômicas, muitas vezes deslocando populações e sobrecarregando serviços públicos (CEPED, 2013).

Figura 20 – Análise de agrupamento das regiões de acordo com as médias mensais das estações pluviométricas.



Fonte: (GOTARDO *et al.*, 2018)

A agricultura, um setor-chave na economia na RSB, historicamente sente os efeitos da variabilidade climática. Estudos têm indicado que oscilações nas precipitações impactam direta e indiretamente os padrões de irrigação, os ciclos de crescimento de culturas e de produtividade (FERREIRA; FRANCHITO; RAO, 2005; BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005; ARSEGO *et al.*, 2020). Eventos climáticos extremos, como estiagem prolongada, podem comprometer as safras, afetando a segurança alimentar e a economia local (LAZZARI, 2006; LEIVAS *et al.*, 2014).

A rica biodiversidade da região também está sujeita a impactos ecológicos decorrentes da variabilidade climática. Alterações nos padrões sazonais podem perturbar os ciclos naturais, desde a migração de aves até a supressão de áreas de maior biodiversidade (TOZATO, 2015; BUENO; FERREIRA, 2021). Além disso, eventos extremos, como incêndios florestais, têm o potencial de modificar habitats e alterar a composição da fauna e flora locais.

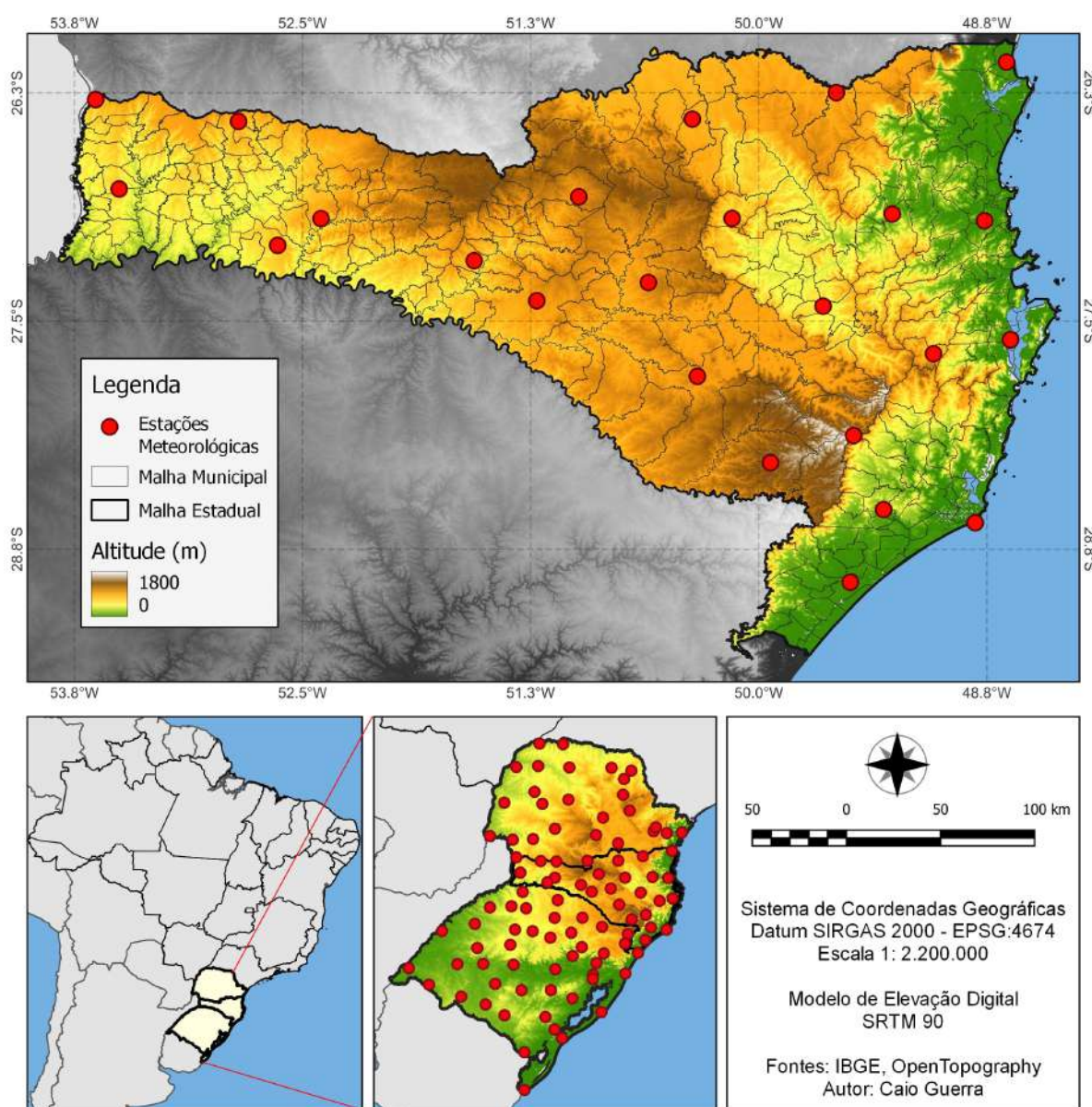
O conhecimento aprofundado do clima regionalizado é fundamental para a formulação de políticas públicas eficazes. Com a crescente variabilidade climática, compreender as nuances regionais torna-se um pilar central na elaboração de estratégias de resiliência. Ações baseadas em conhecimento climático regional, como o investimento em infraestrutura adaptada às condições locais, a promoção de práticas agrícolas alinhadas ao clima específico da região e a implementação de sistemas de alerta eficientes, são essenciais para proteger o estado de condições de tempo adversas.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A Região Sul do Brasil, constituída pelos estados do Paraná (PR), Santa Catarina (SC) e Rio Grande do Sul (RS), se estende aproximadamente entre as latitudes 22°S e 34°S e as longitudes 48°W e 58°W (Figura 21). O presente trabalho compreende esta Região do Brasil, com foco principal no estado de SC, o qual será tratado com maior profundidade, com o objetivo do desenvolvimento do atlas climatológico.

Figura 21 – Carta Hipsométrica de SC e distribuição da rede de estações automáticas do INMET nos três Estados da Região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 1 – Síntese dos sistemas meteorológicos e sua atuação na RSB.

Sistema (Sigla)	Estação do Ano	Região
Sistemas Sinóticos		
Frente Fria (FF) ¹	Maior frequência no inverno e primavera.	Todas, diminui a frequência conforme diminui a latitude ¹ , especialmente no verão.
Ciclones Extratropicais (CE) ²	Maior frequência e menor intensidade no verão, e maior intensidade no inverno ²	Sul e Sudeste do Brasil, com maior ciclogênese na costa do Rio Grande do Sul ² .
Alta Subtropical da América do Sul (ASAS) ³	Inverno: próximo do continente, favorece tempo seco e ventos intensos ³ . Verão: distante do continente, favorece tempo úmido.	Inverno: Todas. Verão: principalmente áreas litorâneas
Bloqueios Atmosféricos ⁴	Maior frequência no inverno e menores no verão.	Todas.
Zona de Convergência da América do Sul (ZCAS) ⁵	Primavera e verão.	Banda da Região Norte à Sudeste, efeito indireto (subsidiência) no Sul.
Jato de Subtropical (JST) ⁶	Principalmente no inverno, mas também nas estações de transição (outono e primavera).	Posição média sobre o estado do RS, podendo avançar até o Sudeste
Jato Polar (JP) ⁶	Principalmente no inverno	Posição média no inverno sobre o Uruguai, podendo avançar até o Paraná.
Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS) ⁷	Maior freq. no Inverno e Primavera. Verão: umidade dos alísios. Inverno: ramo oeste da ASAS	Maior frequência na porção oeste do PR e SC, e em todo o RS.
Sistemas Mesoescala		
Circulação Marítima "Lestada" ⁸	Todas	Vale do Itajaí, Litoral de Santa Catarina e do Paraná.
Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM e CCM) ⁹	Maior frequência na primavera e verão, com formação noturna.	Sudoeste do PR, Grande Oeste de SC, Noroeste do RS.
Linha de Instabilidade (LI) ¹⁰	Primavera e verão, no período da madrugada e manhã. Mais intensas à tarde e noite.	Todas.

Santa Catarina é geograficamente delineada por distintos geossistemas e geofácies que moldam seu relevo e clima. A Planície Costeira Quaternária abraça

¹ (OLIVEIRA, 2023; PAMPUCH; AMBRIZZI, 2015; CARDOZO *et al.*, 2015)

² (REBOITA; MARRAFON, 2021)

³ (CARPENEDO; AMBRIZZI, 2020; SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019)

⁴ (MENDES *et al.*, 2005; MARQUES; RAO, 1996)

⁵ (QUADRO, 1994; CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997)

⁶ (ESCOBAR, 2009)

⁷ (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018; MARENGO *et al.*, 2004)

⁸ (HAAS, 2002)

⁹ (CAMPOS; EICHHOLZ, 2011; VELASCO; FRITSCH, 1987)

¹⁰ (RIBEIRO, 2018)

toda a faixa litorânea, subdividida em Planície Norte, Central e Sul, caracterizando-se por uma topografia plana com altitudes de até 30 metros, moldada principalmente por sedimentos arenosos e argilosos (CATARINA, 2014).

Ainda, CATARINA (2014) descreve a Serra do Leste Catarinense, que abrange a Serra do Mar, Mar de Morros e Serra do Tabuleiro. A Serra do Mar, em particular, é uma barreira natural aos fluxos de umidade oceânica, influenciando as precipitações da região. No interior, o Planalto Sedimentar e os Planaltos dos Campos Gerais e dos Rios Iguaçu e Uruguai determinam as características do terreno, variando em altitudes e topografias. Em destaque, a Escarpa da Serra Geral, apresenta cânions profundos e altitudes superiores a 1.200 metros. Estes geossistemas, juntos, fornecem a Santa Catarina uma diversidade topográfica única.

O relevo diversificado de SC (Figura 21) influencia de maneira direta os padrões de tempo e clima locais, determinando variações de temperatura, regimes de chuva e provocando eventos extremos. Esta diversidade geomorfológica, juntamente com outros fatores, torna o Estado uma região complexa para avaliar as características regionalizadas das condições meteorológicas.

Como destacado na revisão bibliográfica, o clima na RSB é determinado pela composição dos diversos sistemas meteorológicos em todas as escalas espaciais e temporais. Dessa forma, para facilitar a análise da participação destes sistemas nas variáveis meteorológicas, foi elaborada uma síntese dos principais sistemas meteorológicos de escala sinótica (mesoescala) discutidos na seção 2.1 (2.2) e apresentados na Tabela 1. Nesta tabela estão contidas as principais informações sobre a sazonalidade, assim como as regiões prioritárias de atuação dos mesmos. No rodapé, estão informados os respectivos trabalhos onde as informações foram coletadas.

3.2 Materiais e Ferramentas Computacionais

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os dados das estações meteorológicas da rede automática do INMET, com periodicidade horária, as quais são possíveis visualizar na Figura 21 e também nas Tabelas 4 (SC), 7 (PR) e 5 (RS) no APÊNDICE A. O tratamento e a análise da série de dados foram realizados por meio de técnicas estatísticas, utilizando as linguagens de programação Python e R. Os mapas topográficos foram gerados no software Qgis.

Este trabalho busca realizar as análises climatológicas a partir do banco de dados disponível atualmente, no intuito de verificar a possibilidade de identificação

dos modos climáticos discutidos nos trabalhos anteriores, assim como investigar os métodos de agrupamento de séries de dados, estabelecendo critérios objetivos para traçar as regiões com regimes climáticos similares.

Em uma primeira etapa do estudo são determinadas, para o Estado de SC, as médias mensais das variáveis meteorológicas temperatura ($^{\circ}\text{C}$) a 2m e precipitação (mm) acumulada a superfície, como critério de comparação com as normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2010 do INMET.

São gerados também para as variáveis temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e precipitação (mm) as composições especializadas das médias sazonais, mensais e dos ciclos diurnos, através da manipulação dos dados no python, com aplicação do método de interpolação por Krigagem (FISCHER; GETIS, 2010) e utilizando os parâmetros sugeridos pelo software.

Optamos por definir as estações do ano com base em critérios meteorológicos, e não astronômicos, na estruturação dos dados. Assim, definimos o verão pelo padrão DJF (Dezembro, Janeiro e Fevereiro), o outono pelo padrão MAM (Março, Abril e Maio), o inverno por JJA (Junho, Julho e Agosto) e a primavera por SON (Setembro, Outubro e Novembro). Essa escolha visa alinhar a convenção utilizada na grande maioria dos trabalhos de climatologia descritos nas seções 2.1, 2.2 e 2.3.

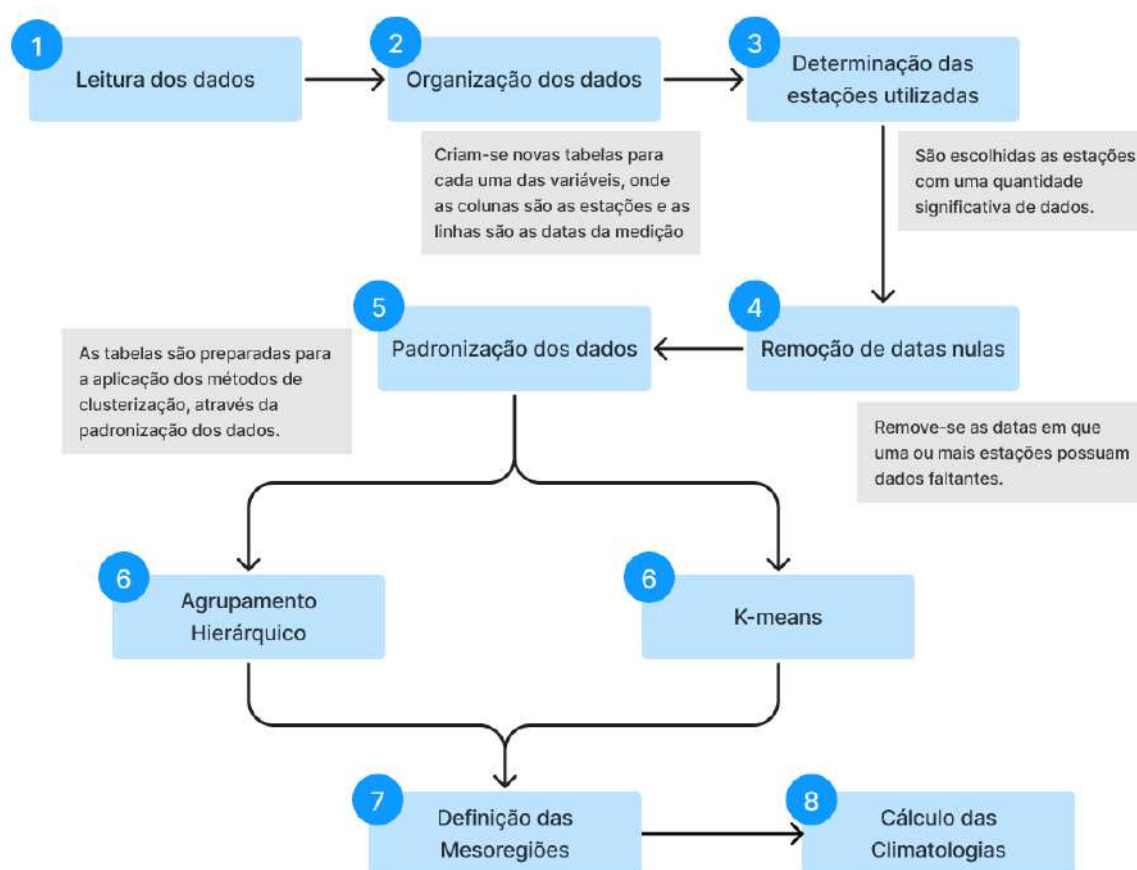
Também como parte da análise das características regionalizadas, visando identificar efeitos de menor escala temporal, são utilizados os mesmos softwares para avaliação das séries temporais do ciclo diurno, a partir da evolução horária das variáveis da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) a 2m, precipitação (mm) acumulada na superfície, umidade relativa (UR) do ar (%) a 2m, direção ($^{\circ}$) e intensidade dos ventos (m/s) a 10m.

Por fim, através de métodos de agrupamento definidos na seção 3.3, aplicados às variáveis precipitação, temperatura, ventos e umidade, foram definidos os grupos de estações onde o clima se comporta de forma similar. Com isso, foi possível realizar a definição das regiões homogêneas e a determinação das climatologias que representam a média do comportamento das variáveis em cada um destes grupos. Estes resultados foram utilizados para estabelecer relações com os principais sistemas meteorológicos de escala sinótica e mesoescala responsáveis pelos climatológicos regionalizados em SC, apresentados na Tabela 1.

O fluxograma apresentado na Figura 22 resume a rotina implementada neste

estudo desde a leitura dos dados até o cálculo das climatologias das mesorregiões no ambiente Python. Na primeira etapa, após a obtenção dos dados das estações automáticas via plataforma do INMET, realiza-se a leitura dos dados provenientes de uma lista de estações automáticas. Na etapa 2, são combinadas em uma nova tabela os dados das estações meteorológicas para cada variável analisada, onde as linhas representam a data e as colunas correspondem às estações. Na etapa 3, são escolhidas as estações que possuem uma quantidade significativa de dados, neste trabalho, foram consideradas apenas aquelas com mais de 50% do período com medições, desde a data de instalação da estação mais antiga, em 2003.

Figura 22 – Fluxograma da rotina realizada no python para o cálculo das climatologias para cada mesorregião



Fonte: elaboração própria (2023).

Na etapa 4, são removidas as datas em que uma ou mais estações possuam dados faltantes. Posteriormente, na etapa 5, as tabelas são preparadas para a aplicação dos métodos de clusterização descritos na seção 3.3. Inicialmente, os dados são padronizados, assegurando uma escala consistente entre as variáveis. Em seguida, para adequar a estrutura dos dados ao método, as tabelas são transpostas,

transformando-as em vetores que representam as estações ao longo do tempo. Por fim, são aplicados os métodos de clusterização na etapa 6. Para o agrupamento hierárquico, utilizou-se a função *linkage* do módulo *scipy.cluster.hierarchy* (VIRTANEN *et al.*, 2020). Para o agrupamento k-means, recorreu-se à função *KMeans* do módulo *sklearn.cluster* (HAO; HO, 2019).

Na etapa 7, é realizado o processo de atribuição de estações a grupos específicos, através dos resultados dos agrupamentos combinados a conhecimento prévio. Na última etapa, para cada grupo encontrado, deve-se criar uma nova série temporal representativa do mesmo, nas quais as médias horárias são calculadas considerando os valores de todas as estações disponíveis. Após a consolidação das novas séries temporais, são realizados os cálculos dos ciclos diurnos médios e das médias mensais.

3.3 Clusterização

A clusterização, ou análise de agrupamento, se refere a diversas técnicas que combinam conceitos estatísticos e matemáticos para encontrar grupos, chamados de clusters, compostos de objetos similares em um conjunto de dados. O objetivo é identificar objetos que se assemelham entre si dentro de cada cluster, mas que são distintos dos objetos em outros clusters. Esta técnica permite encontrar estruturas ocultas ou, por vezes, difíceis de identificar, ajudando na compreensão dos conjuntos de dados estudados. Além disso, estas ferramentas também podem ser úteis para mitigar vieses do observador, uma vez que fornece uma análise imparcial, sem influências subjetivas. No entanto, para ter um resultado satisfatório, é necessário a utilização de dados e métricas adequadas, pois os vieses podem estar presentes nestas escolhas, ou em outros aspectos da clusterização. Os resultados sempre devem ser combinados com o conhecimento prévio e validação externa, que complementam a análise realizada (EVERITT *et al.*, 2011).

No campo da meteorologia, a utilização de metodologias de clusters não é algo novo. Alguns trabalhos, como os de Littmann (2000), Liu e George (2003) e Huth, Nemesova e Klimperová (1993), já demonstraram a eficácia deste tipo de técnica para identificar padrões atmosféricos de precipitação. Neste trabalho, foram escolhidos os métodos Agrupamento Hierárquico e K-means para identificação de grupos de estação com características similares, discutidos nos itens 3.3.1 e 3.3.2.

Ao se utilizar variáveis como temperatura, medida em graus Celsius, e a precipitação, em milímetros, temos uma diferença nas escalas de medição. Utilizar

essas variáveis sem um ajuste adequado pode distorcer os resultados do agrupamento, segundo Everitt *et al.* (2011). Para garantir uma análise coerente, todas as variáveis nesta dissertação foram padronizadas antes de aplicar os métodos de agrupamento, ajustando-as para ter uma variância unitária. Isso garante que cada variável, independentemente de sua escala original, contribui de maneira igualitária para a determinação da similaridade ou distância entre os objetos a serem agrupados. Para realizar a padronização, o processo consiste em subtrair a média da medição e, em seguida, dividir o resultado pelo desvio padrão.

Das variáveis de distâncias possíveis, foi definida a utilização da Distância Euclidiana, a mais comumente utilizada nos estudos climatológicos (MIMMACK; MASON; GALPIN, 2001). Sneath, Sokal *et al.* (1973) sugerem que, ao lidar com um conjunto de dados, é aconselhável optar pelo coeficiente de distância mais simples disponível. Segundo os autores, esta escolha pode facilitar a interpretação dos resultados finais, que em muitos casos pode ser uma tarefa complexa.

Por fim, vale aqui mencionar uma limitação deste tipo de análise. Ao utilizar dados de diversas estações, é crucial considerar a qualidade e a consistência dos dados coletados. Apesar de contra intuitivo, uma maior quantidade de estações nem sempre resulta em uma análise mais acurada. Isso ocorre porque falhas nas medições ou anos faltantes em uma única estação podem complicar a comparação com as demais. Se um período carece de dados em uma estação, torna-se difícil ou inviável calcular a distância (diferença) em relação às outras estações para esse mesmo período. Para contornar isso, é comum recorrer a métodos para interpolar os dados faltantes. No entanto, a interpolação pode introduzir vieses na análise, afetando a formação dos clusters. Como o trabalho tem objetivo de identificar as mesorregiões, se considerou mais adequado remover os registros correspondentes de todas as estações ou até mesmo descartar certas estações do conjunto de dados. A decisão foi tomada para priorizar a integridade dos resultados, em detrimento de uma possível melhoria na espacialização.

3.3.1 Agrupamento Hierárquico

O agrupamento hierárquico é uma das possíveis técnicas utilizadas para realizar a clusterização. Nesta abordagem, a similaridade ou dissimilaridade dos objetos é representada pelas distâncias entre eles. Nesta metodologia, cada objeto é inicialmente considerado um cluster individual. São calculadas as distâncias entre todos os pares de objetos. Os grupos são formados iterativamente, até que todos os objetos estejam agrupados em um único cluster (EVERITT *et al.*, 2011).

Ainda como descreve (EVERITT *et al.*, 2011), todas as fusões são registradas ao longo do processo, resultando em uma estrutura de árvore hierárquica, conhecida como dendrograma. O dendrograma serve como uma representação visual que ilustra a sequência e a distância das combinações. Esta ferramenta é particularmente útil para visualizar as relações hierárquicas entre os clusters, observando o dendrograma, pode-se escolher o número de clusters mais apropriado.

No contexto do agrupamento hierárquico, o método de Ward, também conhecido como algoritmo incremental, foi aplicado neste trabalho. Este é um método muito empregado, inclusive em trabalhos realizados para a homogeneização da precipitação em diversos estados brasileiros (BRAGA; GHELLRE, 1999; SEVERO, 2007; FIGUEIREDO; NASCIMENTO; OLIVEIRA, 2019; AMANAJÁS; BRAGA, 2012; MENEZES; FERNANDES; ROCHA, 2015; SANTOS *et al.*, 2017). Ele se fundamenta na ideia de minimizar o 'custo' associado à formação de clusters, sendo que esse 'custo' é quantificado como o aumento na variação dentro dos clusters quando dois clusters são fundidos. O método de Ward é expresso pela equação (1) que, de forma iterativa, objetiva agrupar clusters que resultem no mínimo aumento de variação interna (WARD, 1963).

$$E = \sum_{m=1}^g E_m \quad (1)$$

onde E é o erro global, em outras palavras, a soma total dos quadrados dos erros intracluster, e E_m é a soma dos quadrados dos erros do m -ésimo cluster. Cada E_m é calculado através da equação (2).

$$E_m = \sum_{l=1}^{n_m} \sum_{k=1}^p (x_{ml,k} - x_{m,k})^2 \quad (2)$$

Neste contexto, o índice m representa cada cluster individual. O índice l se refere a um objeto dentro de um cluster. O índice k indica uma variável ou observação de cada objeto. O valor $x_{ml,k}$ representa o valor da l -ésima observação no m -ésimo cluster para a k -ésima variável. Por fim, $x_{m,k}$ é simplesmente a média dos valores de todas as observações no m -ésimo cluster para a k -ésima variável, expressa na equação (3).

$$x_{m,k} = \frac{1}{n_m} \sum_{l=1}^{n_m} x_{ml,k} \quad (3)$$

3.3.2 K-Means

Como mencionado no tópico anterior, o método de agrupamento hierárquico começa tratando cada ponto de dados como um cluster isolado e, posteriormente, combina esses clusters em grupos maiores conforme critérios de proximidade. Este se diferencia claramente do método K-means, que é um método particional. No K-means, o conjunto de dados é dividido em K clusters desde o início, e os pontos são reagrupados iterativamente para otimizar a proximidade com os centros de seus clusters, rearranjando partições existentes e aceitando a nova formação apenas se ela oferecer um aperfeiçoamento (EVERITT *et al.*, 2011).

Outra diferença essencial entre os métodos, sendo uma possível desvantagem do agrupamento hierárquico, uma vez que o objeto é atribuído a um grupo, ele permanece nesse grupo e não pode ser realocado. Isso pode resultar em pontos sendo erroneamente agrupados desde o início e permanecendo assim. Em contraste, os métodos de agrupamento não hierárquicos, como o k-means, permitem a realocação de pontos durante o processo de análise (WILKS, 2011). Como descrito pelo autor, assim que definidos os grupos iniciais G de alguma forma, aleatória ou não, o algoritmo K-means procede da seguinte maneira:

No primeiro passo, se calcula os centróides de cada grupo, como indicado na equação (4). Aqui, x_m é o centróide do grupo G_m , que é a média dos vetores que pertencem a esse grupo. x_i representa o i-ésimo vetor.

$$x_m = \frac{1}{|G_m|} \sum_i x_i \quad (4)$$

Após o cálculo dos centróides, são calculadas as distâncias entre os vetores x_i e cada centróide x_m . Neste passo, será determinado a que centróide o vetor x_i está mais próximo, como mostra a equação (5).

$$x_m = \operatorname{argmin}_{x_m} ||x_i - x_m||^2 \quad (5)$$

Por fim, é reavaliado a adesão dos vetores aos grupos. Se o vetor x_i já pertence ao grupo cujo centróide é o mais próximo, segue para o próximo vetor. Caso contrário, atribuímos x_i ao grupo mais próximo e voltamos ao primeiro passo para recalcular os centróides. O centro de cada cluster é recalculado até que se estabilize ou até atingir um limite de iterações.

De acordo com (STEINLEY, 2003), diferentes inicializações podem resultar em diferentes ótimos locais. Em dados bem estruturados, espera-se convergência para um ótimo global na maioria das configurações iniciais, entretanto, como o autor coloca, é prudente executar o K-means várias vezes para assegurar robustez.

O método K-means foi aplicado em alguns trabalhos na área de climatologia internacionalmente (TRIGO; DAVIES; BIGG, 1999; LIU; GEORGE, 2003; COGGINS; MCDONALD; JOLLY, 2014; CARVALHO *et al.*, 2016), mas também possui presença em trabalhos no Brasil (ANDRÉ *et al.*, 2008; MACHADO, 2014).

4 RESULTADOS

Neste capítulo, é realizada a validação das estações automáticas em relação às normais climatológicas. Em seguida, é aplicado o método de regionalização, segmentando o Estado de SC em áreas específicas. Cada mesorregião é então analisada de forma individual, detalhando suas características e padrões específicos.

4.1 Comparação com as Normais Climatológicas

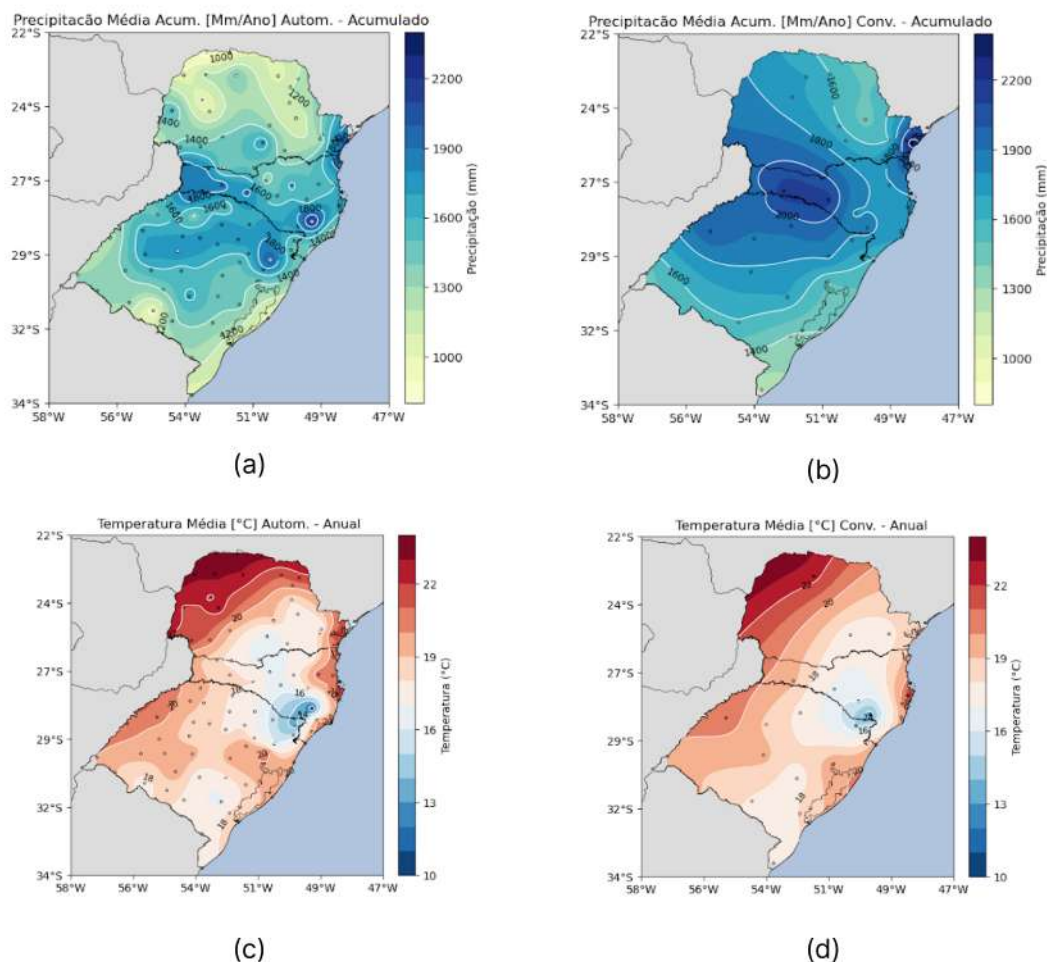
4.1.1 Análise Espacial

Para uma primeira abordagem da análise climatológica das EMAs, realizou-se uma comparação entre os dados de precipitação e temperatura da mesma com as Normais Climatológicas do INMET.

De acordo com Quadro *et al.* (1995) a distribuição anual das chuvas sobre a RSB ocorre de forma uniforme. Pela análise dos autores, a média anual da precipitação varia de 1250 a 2000 mm na região. Fora desse limite pluviométrico, destacam-se áreas acima de 2000 mm (litoral do Paraná, o oeste de Santa Catarina e a área em torno de São Francisco de Paula, no Rio Grande do Sul) e menores acumulados de chuva (abaixo de 1250 mm) restringem-se ao litoral sul de Santa Catarina e ao norte do Paraná. Considerando a nova normal climatológica do INMET de 1991 a 2020 (Figura 23b), percebe-se uma amplificação dos extremos máximos de precipitação. As mesorregiões mais chuvosas do Sul do Brasil são o litoral norte de SC e do PR e também o meio oeste e oeste de SC. Estas regiões recebem precipitação anual, em média, acima de 2000 mm por ano. Com relação aos extremos mínimos, não se observam registros acumulados médios inferiores a 1300 mm ao ano. O trabalho atual desenvolvido, apesar de contabilizar apenas 22 anos de registros, corrobora as climatologias observadas nos estudos anteriores (Figura 23a), mas destaca mínimos pluviométricos, inferiores a 1200 mm, no norte do PR e sul do RS. Importante ressaltar que estes mínimos na região norte do PR destoam da normal climatológica (Figura 23b) aproximam a climatologia de precipitação do regime pluviométrico da Região Sudeste do Brasil. Os autores, com base na discussão feita por Nimer (1979), também destacam que o relevo, por suas características gerais, não exerce grande influência na distribuição pluviométrica, entretanto, como discutido anteriormente nas seções 2.1 e 2.2, trabalhos mais recentes indicam que relevo acidentado em SC tem influência significativa na ocorrência de chuvas orográficas, com destaque para o litoral catarinense e áreas próximas.

Com relação à temperatura média anual, as características são semelhantes entre as EMAs (Figura 23c) e a normal climatológica (NCII) do INMET (Figura 23d).

Figura 23 – Climatologia anual de Precipitação Média Acumulada (mm.ano-1) (a e b) e Temperatura Média Anual (c e d) para a Região Sul do Brasil, a partir dos dados disponíveis de EMAs, entre os anos de 2000 e 2022 e a NCII do INMET. Círculos indicam a localização das estações meteorológicas.



Fonte: elaboração própria (2023).

No entanto, é possível observar algumas regiões com temperaturas mais elevadas nas EMAs, como o extremo oeste da Região, norte e litoral do PR, litoral norte de SC e região central do RS. As temperaturas médias na RSB reflete, em parte, o efeito da topografia, com temperaturas mais baixas observadas nas regiões de maior altitude. Além disso, a latitude também desempenha um papel, onde as temperaturas médias tendem a ser mais altas em latitudes mais baixas e mais frias em latitudes mais elevadas. Esta Região do Brasil tem considerável variabilidade térmica ao longo do ano, aspecto que será discutido em detalhe nas próximas análises regionais da seção 4.4.

A Figura 24 apresenta a climatologia sazonal de precipitação média acumulada para a RSB. Apesar da precipitação ter por característica principal a distribuição regular ao longo do ano (GRIMM, 2009; WREGE *et al.*, 2012), claramente os maiores

índices pluviométricos são registrados nas estações da primavera (SON) e verão (DJF) austral. Os índices extremos são observados no litoral norte de SC e litoral do PR, com chuvas superiores a 700 mm nos meses de DJF (Figuras 24a e 24b). Comparando os resultados das EMAs com a climatologia NCII do INMET, nos meses de verão e primavera (Figuras 24a-b e 24g-h), os acumulados são menores desde o norte do RS até o PR. No extremo sul do RS, as climatologias se assemelham, com acumulados inferiores a 300 mm. Nos meses de outono (MAM) e inverno (JJA) austral, os índices climatológicos se assemelham, variando de 200 mm no extremo norte do PR a mais de 400 mm na mesorregião central e oeste da Região Sul durante os meses de outono (Figuras 24c e 24d), estendendo-se para em direção a mesorregião litorânea (nordeste do RS e litoral sul de SC) nos meses de inverno (Figuras 24e e 24f) austral.

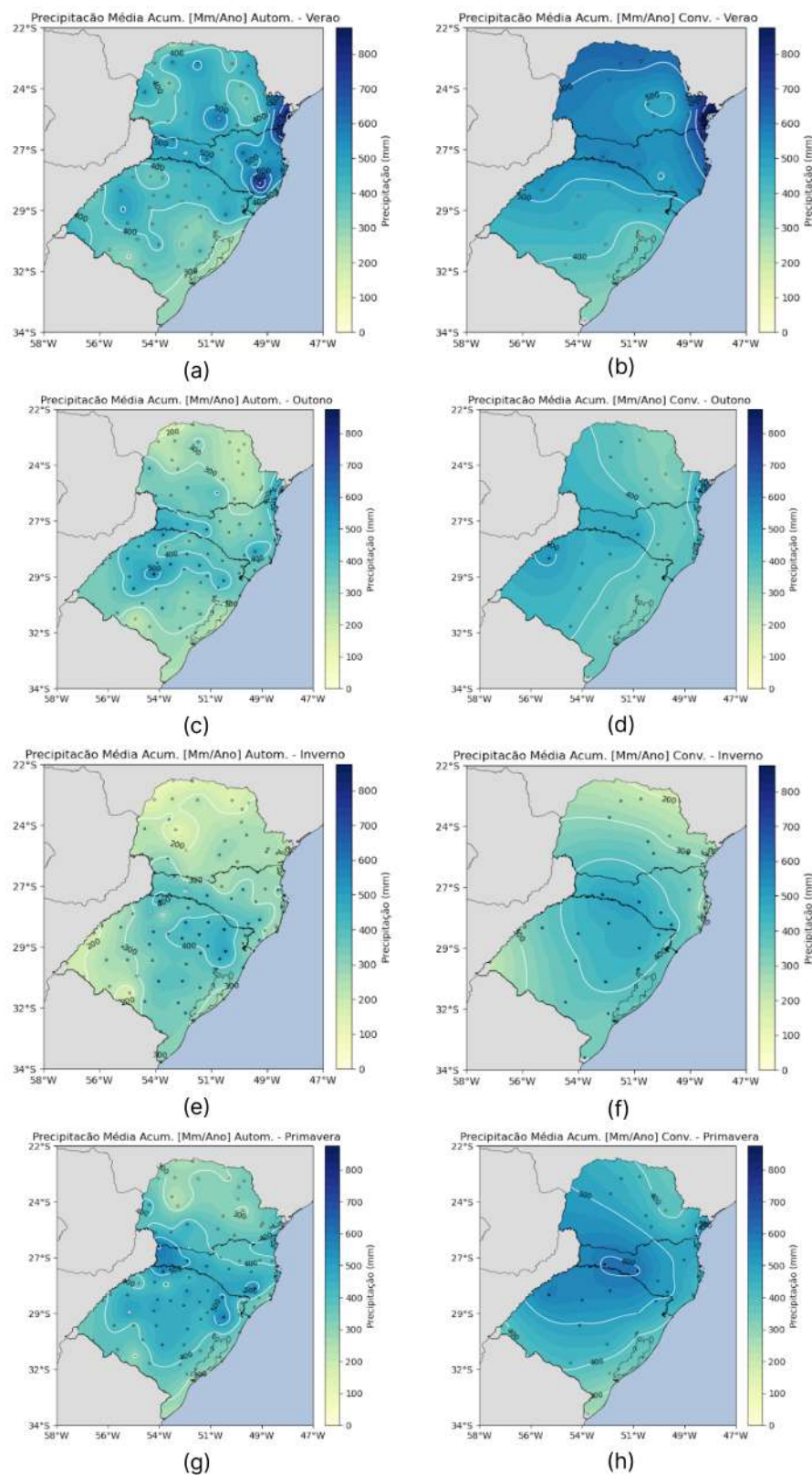
Outro extremo observado ocorre na serra do planalto sul, nos dados das EMAs (Figura 24a), com pontuais de 800 mm durante o verão, estes resultados não aparecem nas normais climatológicas, nem nos trabalhos de climatologia referenciados (GRIMM, 2009; WREGE *et al.*, 2012; PANDOLFO *et al.*, 2002). Foi verificado que estes pontuais ocorrem na estação de Bom Jardim da Serra, localizado no morro da igreja, à 1800 m de altitude, portanto, trata-se de uma característica localizada, que pode não ser representativa do clima nos arredores.

A análise sazonal da temperatura média (Figura 25) mantém o padrão observado na climatologia anual. Assim como observado em Grimm (2009) verifica-se um contraste térmico expressivo entre as estações de verão (Figuras 25a e 25b) e o inverno (Figuras 25e e 25f), com mínimas inferiores a 12 °C em JJA nas serras catarinense e gaúcha e máximas superiores a 26 °C no extremo oeste da Região Sul. Nos meses de verão (DJF) também se observam valores elevados de temperatura (acima de 24 °C em média) nas mesorregiões: i) metropolitana de Porto Alegre; ii) litoral norte do RS e iii) da região metropolitana da de Florianópolis em direção ao litoral no PR. Comparando as duas climatologias, as EMAs mostram valores mais elevados (inferiores) nos extremos máximos (mínimos). Esta figura também destaca o forte gradiente espacial de temperatura das regiões mais elevadas em relação às regiões mais baixas (GRIMM, 2009).

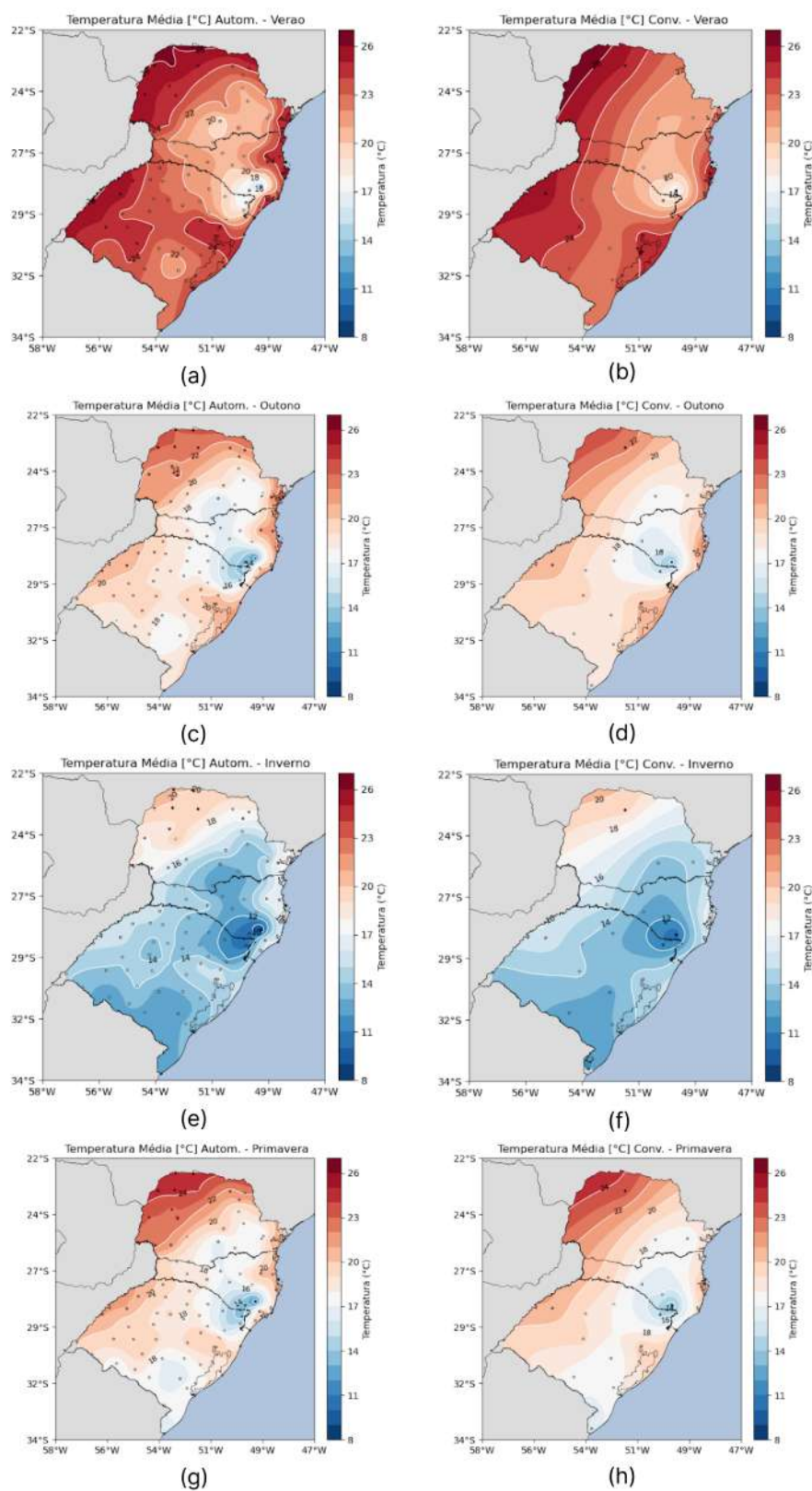
4.1.2 Análise Local

Em uma abordagem pontual, foram selecionadas as capitais do Sul do Brasil, as quais possuem aproximadamente 20 anos de informações de estações automáticas (Tabelas 4, 7 e 5) e mais de 60 anos de dados convencionais. Existem dois períodos

Figura 24 – Climatologia sazonal de Precipitação Média Acumulada (mm) para a Região Sul do Brasil, a partir dos dados disponíveis de EMAs (a, b, c e d), entre os anos de 2000 e 2022 e a NCII (e, f, g e h) de 1991 a 2020 do INMET. Círculos indicam a localização das EMAs.



Fonte: elaboração própria (2023).

Figura 25 – Como na figura 23 para a climatologia sazonal de Temperatura média sazonal (C).

Fonte: elaboração própria (2023).

distintos das Normais Climatológicas do INMET disponíveis, NCI (1961-1990) e NCII (1991-2020). Estes valores representam médias climatológicas calculadas ao longo de 30 anos e servem como referências para estudos e análises meteorológicas. Ressalta-se aqui que, de acordo com as normas da OMM, as médias mensais calculadas para as EMAs não contemplam os 30 anos de dados necessários para compor uma normal climatológica. Porém, para fins de análise, estes dados serão tratados como climatologia das EMAs.

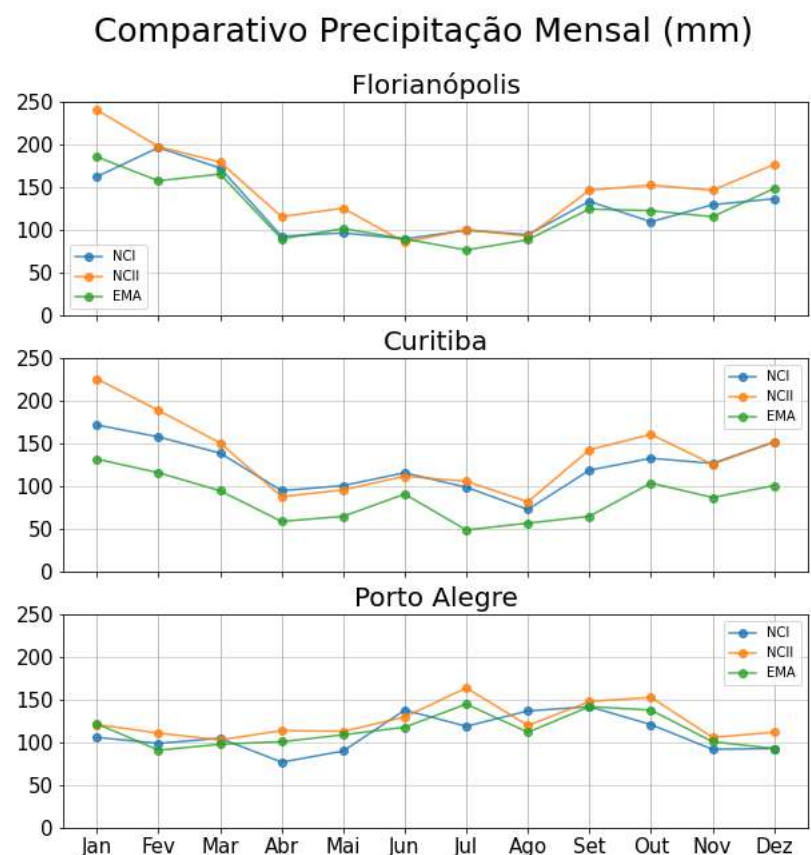
Os dados de precipitação acumulada mensal apresentados na Tabela 2 sugerem que, mesmo considerando um intervalo de tempo menor para as EMAs, os padrões identificados na precipitação são compatíveis com aqueles das normais climatológicas do INMET. Esta compatibilidade fica evidente ao analisar o padrão ao longo do ano (Figura 26). Particularmente sobre a estação de Florianópolis, observa-se que a NCII é maior que a NCI em praticamente todos os meses do ano, com exceção de junho e agosto. As maiores diferenças são observadas nos meses de primavera e verão austral (meses de maior atividade convectiva). A EMA de Florianópolis apresenta valores semelhantes a NCI, mas também com algumas diferenças nos meses de primavera e verão austral.

Na EMA de Curitiba, verificou-se um valor consistentemente inferior, quando comparado com a NCI e NCII, apesar de apresentar o mesmo comportamento sazonal. Comparando as duas normais climatológicas, a NCII também apresentou maiores valores em alguns meses de primavera e verão austral.

A EMA de Porto Alegre é a que apresenta a maior semelhança entre as três séries, com os maiores acumulados pluviométricos sendo observados nos meses de inverno e primavera austral. Destaca-se o mês de julho, onde a NCII apresentou um valor de 145 mm. Outro destaque importante é que a EMA possui um padrão de variabilidade anual mais próximo a NCII, porém sem superar os valores mensais da nova normal climatológica.

Em termos de temperatura média, esta diferença fica ainda menos evidente. Avaliando os valores médios mensais e sua oscilação ao longo do tempo, os dados das EMAs indicam o mesmo padrão e grandeza observada da NCI e NCII, conforme mostra a Tabela 3 e a Figura 27. A EMA de Florianópolis é a que apresenta maior concordância com a NCII. Ambas as séries apresentam valores mais elevados que a NCI, indicando uma elevação da temperatura média na localidade, a partir da década de 1990. Em Florianópolis, as diferenças mais significativas são observadas nas estações

Figura 26 – Comparativo da precipitação mensal média (mm) das normais climatológicas NCI e NCII do INMET, para as capitais da Região Sul do Brasil.



Fonte: elaboração própria (2023).

Tabela 2 – Comparativo de precipitação acumulada mensal (mm) das normais climatológicas NCI e NCII, com as EMAs* para as capitais da região sul.

	Florianópolis			Curitiba			Porto Alegre		
Mês	NCI	NCII	EMAs	NCI	NCII	EMAs	NCI	NCII	EMAs
Jan	163	241	186	172	226	132	106	121	122
Fev	197	198	158	158	189	116	99	111	91
Mar	173	180	166	139	151	95	105	103	98
Abr	93	116	90	95	88	59	77	114	101
Mai	97	126	102	101	96	65	90	113	109
Jun	90	86	90	116	112	91	138	130	118
Jul	100	101	77	99	106	49	119	164	145
Ago	95	93	89	73	82	57	137	120	112
Set	134	147	125	119	143	65	142	148	142
Out	110	153	123	133	161	104	121	153	138
Nov	130	147	116	127	126	87	92	106	101
Dez	137	177	149	152	152	101	93	112	93
Total	1518	1766	1471	1484	1631	1023	1320	1495	1370

* Valores médios calculados pelas EMAs não representam médias climatológicas, de acordo com as normas da OMM. Fonte: Elaboração própria (2023).

Tabela 3 – Comparativo de temperatura média mensal (mm) das normais climatológicas NCI e NCII, com as EMAs* para as capitais da região sul.

	Florianópolis			Curitiba			Porto Alegre		
Mês	NCI	NCII	EMAs	NCI	NCII	EMAs	NCI	NCII	EMAs
Jan	24,2	25,2	25,2	20,4	21,3	21,5	24,6	25,0	25,1
Fev	24,6	25,3	25,2	20,6	21,4	21,6	24,6	24,7	24,9
Mar	23,6	24,4	24,2	19,6	20,3	20,5	23,1	23,5	23,5
Abr	21,1	22,4	22,5	17,2	18,5	18,7	19,9	20,7	20,9
Mai	18,9	19,5	19,4	14,5	15,5	16,2	16,9	17,2	17,1
Jun	16,7	17,2	17,6	13,1	14,3	15,0	14,3	14,8	15,1
Jul	16,5	16,5	16,8	12,9	13,8	15,2	14,4	14,1	14,5
Ago	16,9	17,4	17,4	14,1	14,9	16,2	15,2	15,7	16,0
Set	17,9	18,7	18,7	15,0	16,0	16,9	16,8	17,2	17,2
Out	19,6	20,6	20,6	16,5	17,7	18,1	19,1	19,7	19,6
Nov	21,3	22,3	22,1	18,2	18,9	19,0	21,2	21,7	21,6
Dez	23,0	24,2	24,0	19,3	20,7	20,7	23,3	24,0	23,7
Total	20,4	21,5	21,4	16,9	18,1	18,4	19,5	20,2	20,3

* Valores médios calculados pelas EMAs não representam médias climatológicas, de acordo com as normas da OMM. Fonte: Elaboração própria (2023).

de transição outono e primavera.

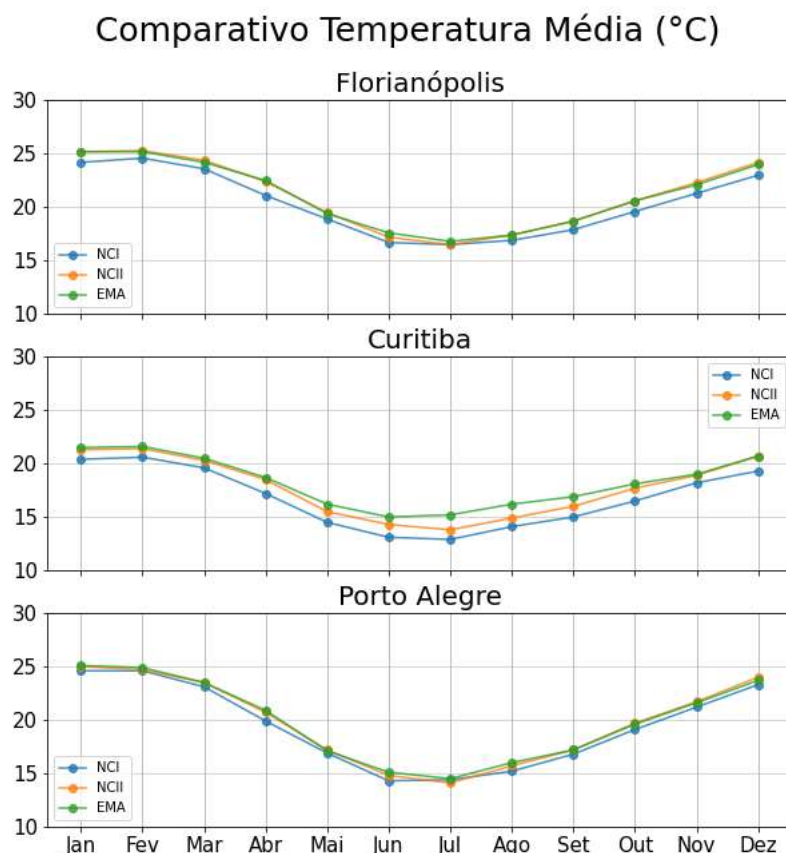
Em Curitiba, as diferenças da EMAs e NCI são mais significativas, em relação ao NCI, onde tanto a NCII quanto as EMAs indicam valores ligeiramente mais altos. Destaca-se o aumento de 2 °C da EMA em relação a NCI nos meses de inverno austral. Por fim, a EMA de Porto Alegre, assim como no caso da precipitação acumulada, é a que apresentou menores diferenças entre a EMA e as normais NCI e NCII.

Em resumo, esta avaliação indica que os registros das EMAs são coerentes para serem utilizados para estudos e análises climáticas.

4.2 Climatologia mensal e horária de Precipitação e Temperatura da Região Sul do Brasil

A climatologia mensal de precipitação na Região Sul do Brasil é apresentada na Figura 28. Corroborando a análise sazonal, verifica-se nesta figura que o período mais chuvoso da Região concentra-se entre os meses de outubro a março. Neste período destacam-se máximos acumulados acima de 150 mm/mês nas mesorregiões: i) noroeste do RS, oeste de SC e sudoeste do PR de outubro a fevereiro e março; ii) leste do PR e litoral norte de SC de outubro a março; iii) região serrana e litoral sul de SC de novembro a março; iv) norte do RS, centro-norte de SC e PR em outubro e de dezembro a fevereiro. Os meses de novembro e março destacam-se por apresentarem menores índices pluviométricos, principalmente no sul do RS. Os principais sistemas meteorológicos responsáveis são os SCMs, FFs, tempestades localizadas e a ASAS

Figura 27 – Comparativo da temperatura mensal média (°C) das normais climatológicas NCI e NCII do INMET, para as capitais da Região Sul do Brasil.



Fonte: elaboração própria (2023).

através da circulação marítima.

A climatologia de precipitação nos meses de outono (MAM) e inverno (JJA) é caracterizada pela redução das chuvas em praticamente toda a Região Sul do Brasil (Figura 28). No entanto, principalmente devido ao posicionamento mais a norte do JP, e conseqüentemente a atuação mais frequente de FFs e ciclones mais profundos, também destacam-se algumas mesorregiões com acumulados acima de 150 mm/mês: i) oeste, meio oeste de SC de abril a junho e setembro; ii) planalto sul de SC em maio, junho e setembro; iii) norte do RS em maio, junho, julho e setembro e iv) centro do RS em setembro. O PR recebe neste período chuvas inferiores a 90 mm/mês em praticamente todo Estado, com destaque para a mesorregião norte.

A Figura 29 apresenta a climatologia horária de precipitação (mm/h) para a Região Sul do Brasil. Destaca-se o mínimo de precipitação no período da madrugada,

com máximos um pouco mais elevados na área litorânea. A partir do início da manhã (08 UTC) a precipitação tende a se elevar no oeste da Região Sul e no Estado do RS. Estes índices podem estar associados aos SCMs que têm seus máximos pluviométricos entre os períodos da madrugada e manhã (FERREIRA; ANABOR, 2015; VELASCO; FRITSCH, 1987; DIAS, 1987; RASMUSSEN *et al.*, 2016; FILHO *et al.*, 2014). Durante o período vespertino, principalmente devido aos meses de maior atividade convectiva, a precipitação se estende (no sentido leste) para toda a Região. Às 17 UTC, os máximos de chuva atingem toda Região, com mínimos no sul do RS. O período mais chuvoso do dia se estende do final da tarde até as 22 UTC. A partir desse horário até as 03 UTC os máximos de precipitação ficam concentrados na região litorânea dos Estados de SC e PR (HAAS, 2002; FILHO *et al.*, 2014).

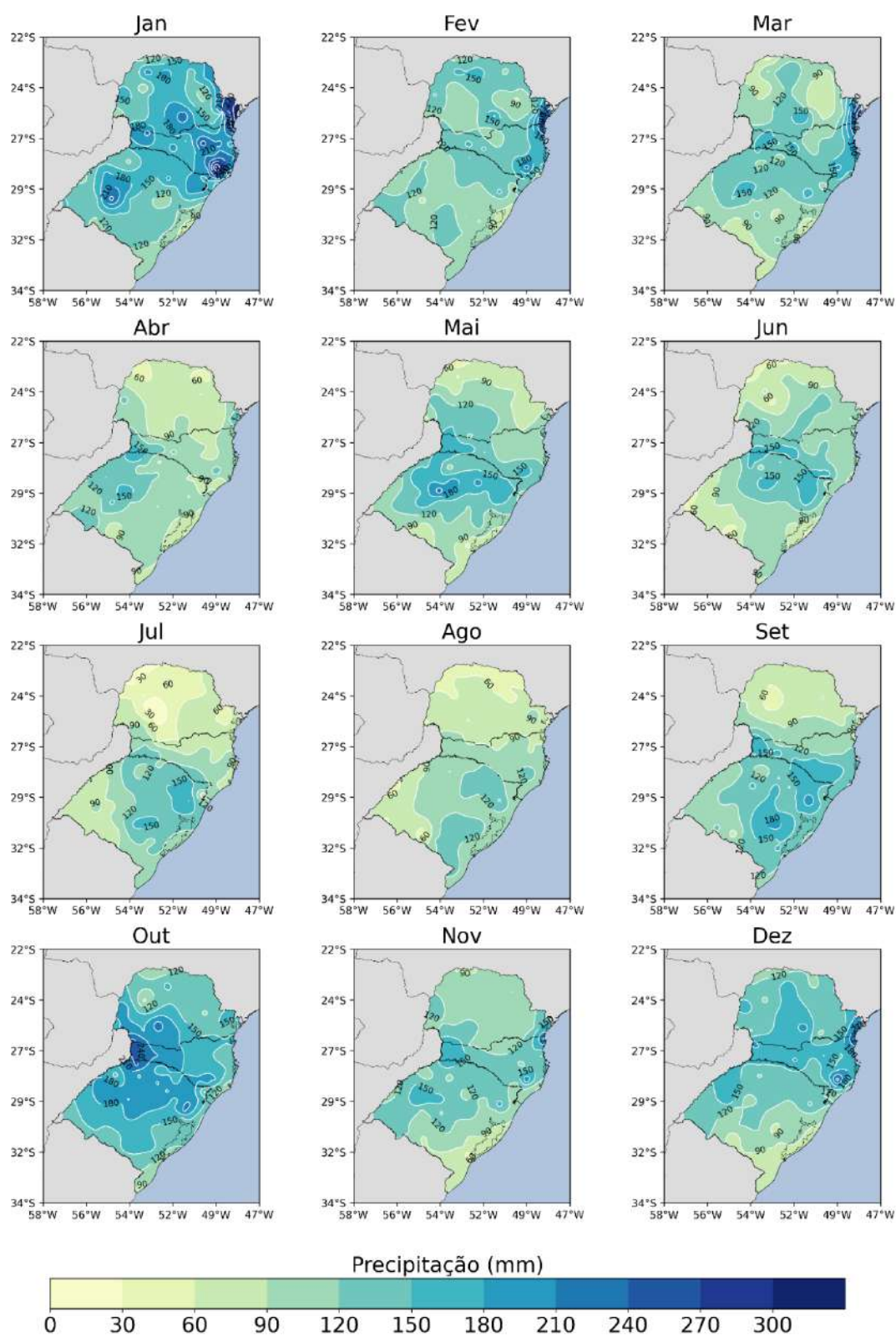
A climatologia mensal de temperatura para a Região Sul do Brasil, a partir dos dados das EMAs é apresentada na Figura 30. Devido a sua posição geográfica, claramente pode-se observar nesta figura uma estação quente (dezembro-março), uma estação fria (maio-agosto) e os demais meses configuram-se como períodos de transição. No período quente, as temperaturas variam de 16 °C nas regiões serranas do RS e SC até 28 °C no extremo oeste do RS e PR. No período frio as temperaturas variam de 8 °C também na região serrana até 21 no noroeste do PR. Nos meses de transição entre os regimes térmicos, a temperatura varia de 14 °C a 25 °C. Grimm (2009) destaca o forte gradiente espacial de temperatura das regiões mais elevadas em relação às regiões mais baixas.

A análise do ciclo diurno da temperatura, mostrado na Figura 31, reflete o movimento de rotação da terra em torno do sol. O período noturno de 00 UTC (21h local) até 11 UTC (8h local) é o mais frio, sendo que os horários mais frios concentram-se entre 6 e 9 UTC (3h a 6h no horário local). No período diurno, de 12 UTC (9h local) até 23 UTC (20h local), a temperatura eleva-se gradativamente até atingir o máximo de aquecimento entre 16 e 18 UTC (13h e 15h local) e tende a reduzir novamente até o final da tarde e início da noite.

4.3 Regionalização do clima

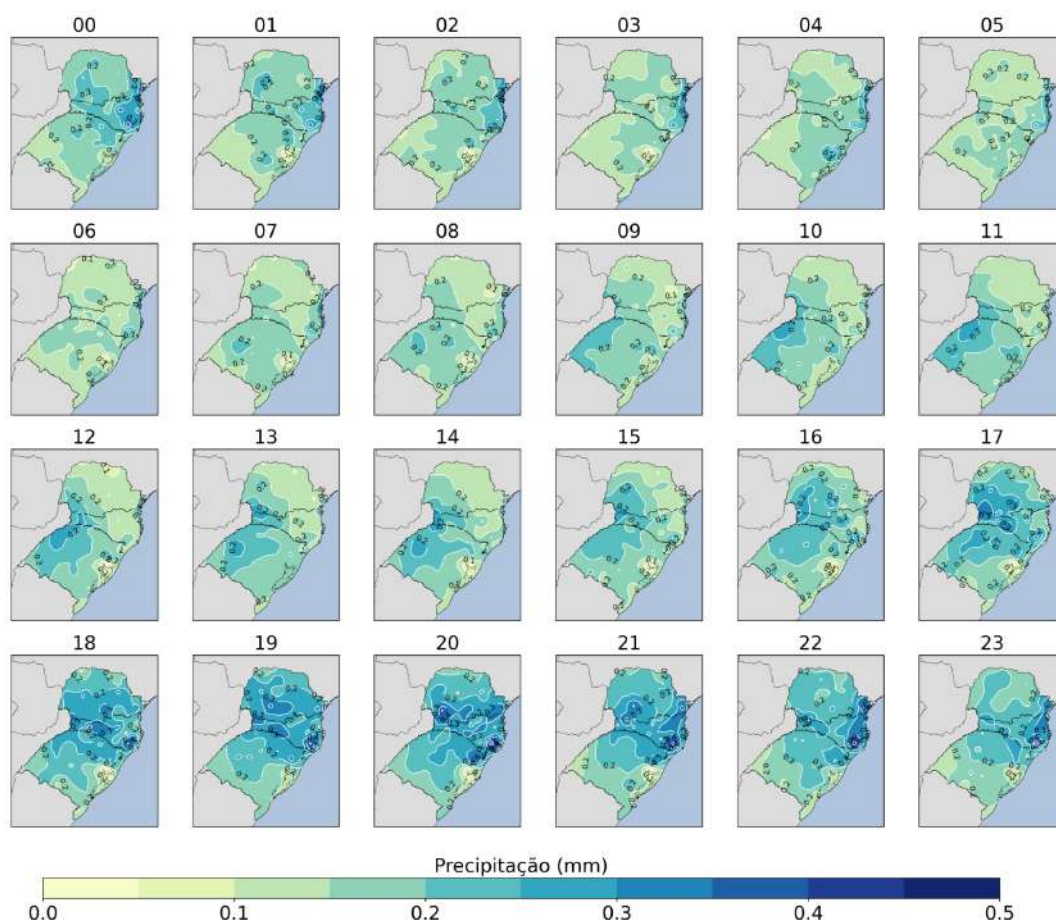
Neste capítulo serão apresentados os resultados dos métodos de clusterização, agrupamento hierárquico e k-means, aplicados no conjunto de dados horários das EMAs no estado de SC, objeto de estudo deste trabalho. Para otimizar o processo e dirimir dúvidas com relação a áreas não cobertas por EMAs em SC, algumas estações pontuais nas áreas de divisa com o RS e PR foram utilizadas para complementar as regiões. Por outro lado, as estações de Santa Catarina com series temporais significati-

Figura 28 – Climatologia mensal de precipitação (mm), a partir dos dados disponíveis de EMAs, entre os anos de 2000 e 2022.



Fonte: elaboração própria (2023).

Figura 29 – Climatologia horária de Precipitação Média Acumulada (mm) para a Região Sul do Brasil, a partir dos dados disponíveis de EMAs do INMET, entre os anos de 2000 e 2022. Mapas são apresentados no horário UTC.

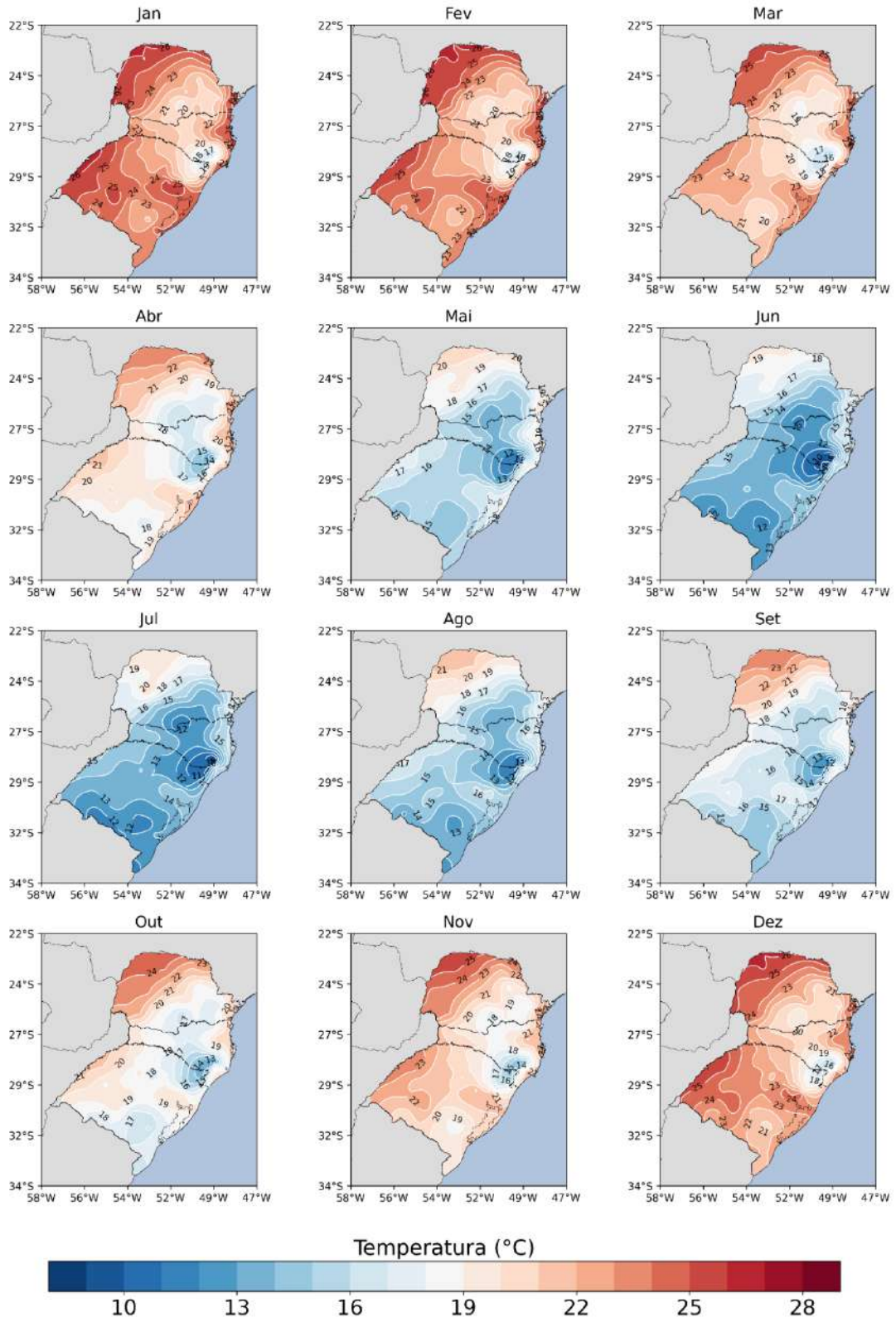


Fonte: elaboração própria (2023).

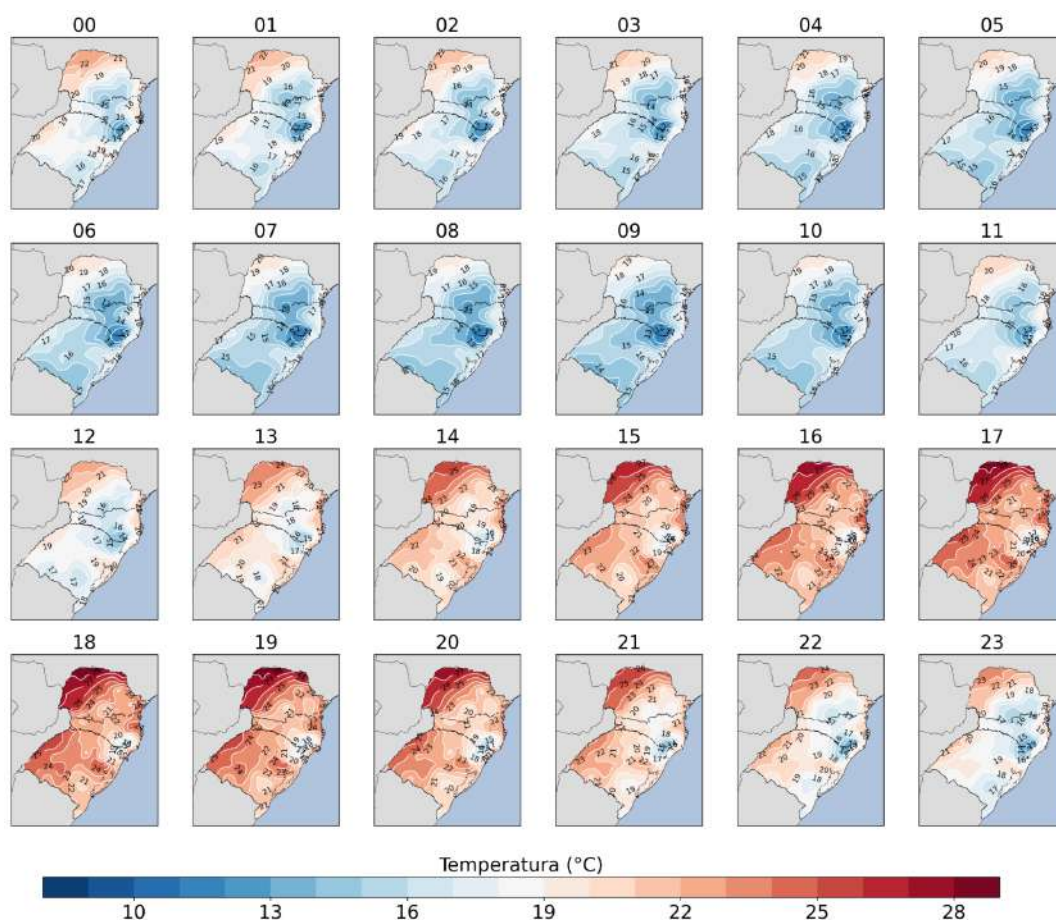
vamente menores em relação as mais antigas precisaram ser removidas nesta primeira parte da análise. Entre elas, as estações de Lages, Rancho Queimado, Chapecó, Cambara do Sul e Campos Novos possuíam menos da metade do período estudado.

É importante mencionar uma particularidade em relação à variável de precipitação utilizada nos métodos de agrupamento. Inicialmente, ao empregar dados horários da variável de precipitação, notou-se uma redução da homogeneidade interna no agrupamento hierárquico e uma maior instabilidade no método k-means, especialmente quando comparado à utilização de dados de menor resolução temporal, como os diários ou mensais, comumente empregados em estudos de agrupamento (GRIMM; FERRAZ; GOMES, 1998; SEVERO, 2007; ANDRADE; BALDO; NERY, 1999; BAPTISTA; SEVERO, 2018). Com o intuito de resolver esta questão, foram testadas agregações temporais diferentes, como 3, 6 e 12 horas acumuladas. A opção pela agregação de 3 horas surgiu como a mais equilibrada, proporcionando uma maior resolução e ao mesmo tempo preservando uma homogeneidade interna satisfatória. Nos

Figura 30 – Como na figura 27, para a climatologia mensal de temperatura média (C).



Fonte: elaboração própria (2023).

Figura 31 – Com na figura 28, para a climatologia horária de temperatura (C).

Fonte: elaboração própria (2023).

métodos, foi observado uma melhor coesão dos grupos no agrupamento hierárquico e o k-means apresentou resultados mais estáveis. Dadas essas constatações, optou-se por essa agregação para os procedimentos subsequentes.

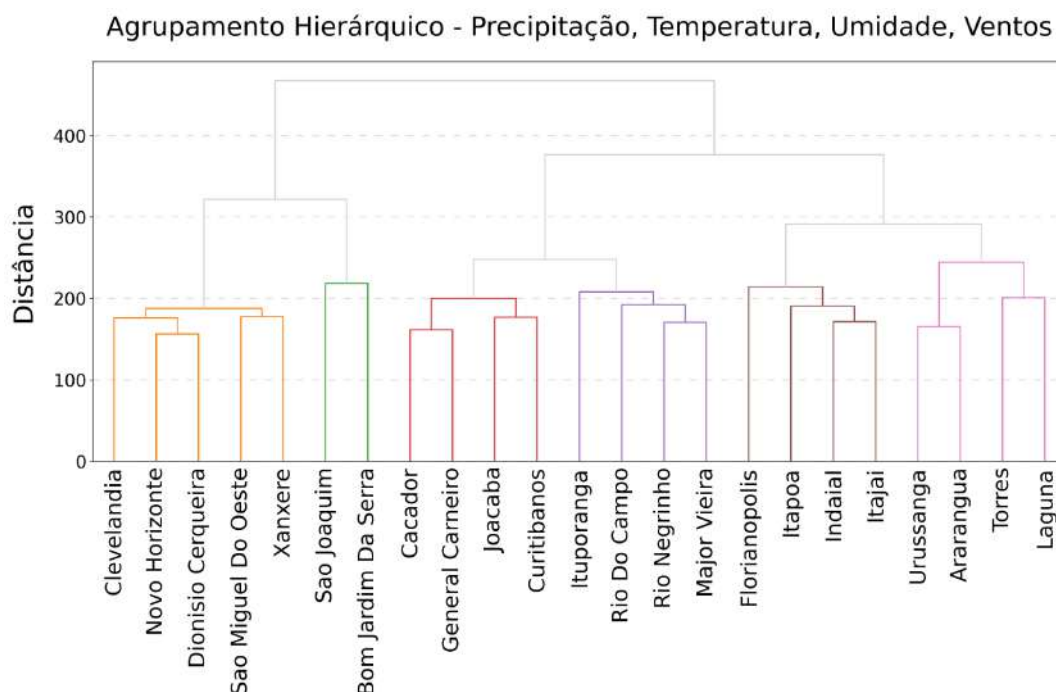
4.3.1 Agrupamento Hierárquico

A Figura 32 mostra o resultado obtido a partir da aplicação do método de agrupamento hierárquico. O método se mostrou eficiente em identificar áreas as quais, em análise prévia, apresentavam características parecidas ou se localizam nas mesmas regiões geográficas. As variáveis de precipitação, temperatura, UR do ar e vento médio foram os elementos meteorológicos utilizados na confecção dos dendrogramas apresentados a seguir. Por fim, foram combinadas todas as variáveis para compor um único resultado, levando em consideração a contribuição dos diferentes elementos meteorológicos na composição do clima. Vale mencionar que, apenas com as variáveis precipitação e temperatura, foram observados resultados similares à composição final. Entretanto, pode-se dizer que as demais variáveis reforçam as características observadas. A distância (ou altura) entre os ramos representa o grau de dissimilaridade

entre os clusters. Localidades mais (menos) homogêneas são representadas através de ramos mais curtos (longos). Para facilitar a visualização dos resultados obtidos pelos dendrogramas, a Figura 33 mostra os clusters identificados de forma espacializada. A partir destas imagens, é possível identificar seis clusters principais:

- São Miguel do Oeste, Novo Horizonte, Dionísio Cerqueira, Xanxerê e Clevelândia (PR)
- São Joaquim e Bom Jardim da Serra
- Joaçaba, Caçador, Curitibanos e General Carneiro (PR)
- Ituporanga, Rio do Campo, Rio Negrinho e Major Vieira
- Florianópolis, Itapoa, Indaial e Itajaí
- Urussanga, Araranguá, Laguna e Torres (RS)

Figura 32 – Dendrograma resultante do agrupamento hierárquico aplicado nos fatores meteorológicos precipitação, temperatura, umidade e ventos das EMAs. As cores indicam os diferentes grupos encontrados.



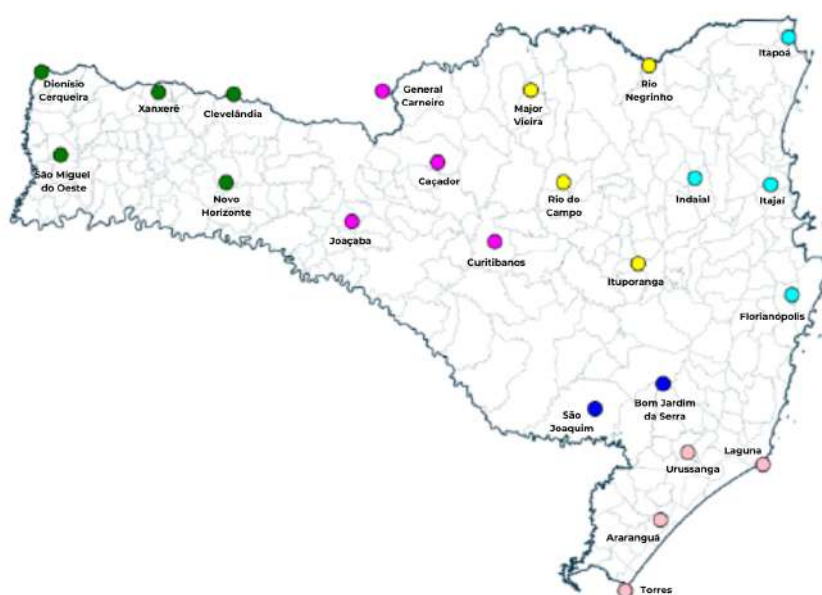
Fonte: elaboração própria (2023).

O primeiro grupo apresenta uma marcação geográfica clara e representa as regiões Oeste e Extremo Oeste de SC. Esta área se localiza em menores altitudes em relação às áreas centrais de SC e é caracterizada por uma redução gradual da altitude

em direção ao Estado do RS. Os altos valores de distância vistos no dendrograma mostram uma separação significativa, em relação às demais regiões, indicando um padrão distinto dos demais climas no Estado.

O segundo grupo caracteriza a região do Meio Oeste de SC. Ao se deslocar das áreas centrais em direção a leste, o Estado de SC apresenta uma intensa elevação na direção nordeste. Nesse sentido, o agrupamento separou as regiões a leste e oeste das áreas montanhosas. Esta característica geográfica favorece a convecção e consequentemente a precipitação. Além disso, esta configuração geomorfológica também implica em baixos valores de temperatura observados e grande amplitude térmica, como apresentado na seção 4.4.2

Figura 33 – Regionalização climática em SC, resultado do agrupamento hierárquico aplicado nos fatores meteorológicos precipitação, temperatura, UR e ventos das EMAs. As cores indicam os diferentes grupos encontrados.



Fonte: elaboração própria (2023).

O terceiro grupo, como mencionado anteriormente, se concentra a leste das áreas montanhosas do Meio Oeste, se estendendo em direção ao Planalto Norte de SC e também ao Alto Vale do Itajaí. Esta área sofre grande influência dos sistemas vindos do PR, região mais típica dos climas de monção, mas também recebe aporte de umidade do oceano Atlântico. Entretanto, uma grande diferença de altitude os separa das áreas litorâneas.

O quarto grupo também é de fácil reconhecimento, apontando as áreas

mais elevadas e frias da serra catarinense, localizada no Planalto Sul. Esta região alcança picos de até 1800 m de altitude, funcionando como uma barreira geográfica para os sistemas meteorológicos oriundos do oceano Atlântico. Suas características geomorfológicas conhecidas tem potencial para modular as condições de tempo e clima no local, sendo esperado um grupo próprio para representá-la.

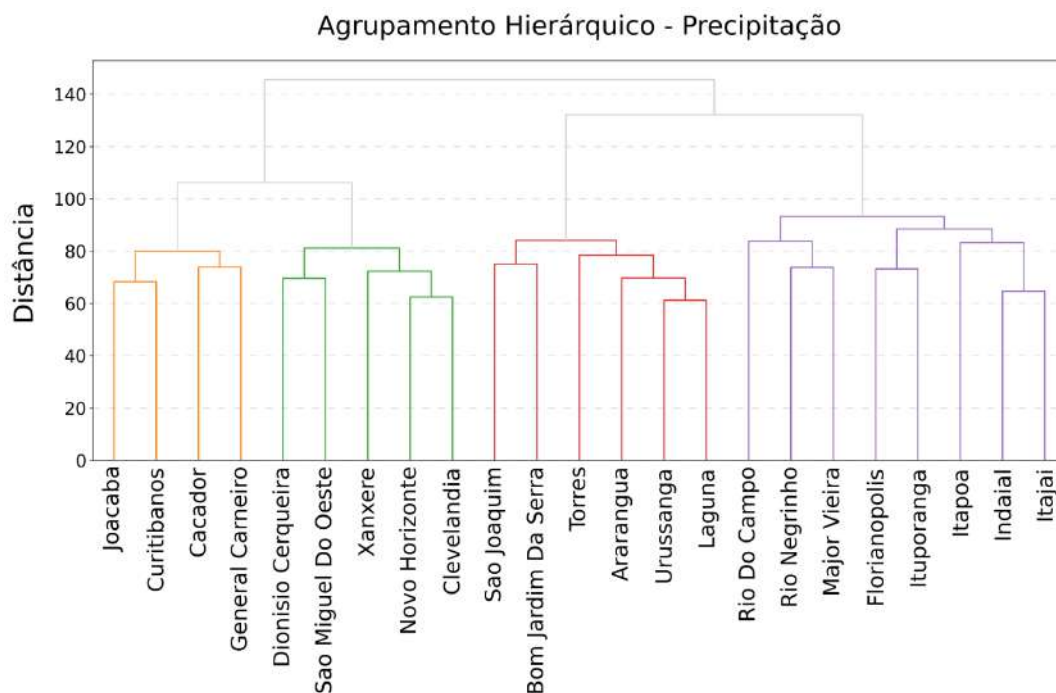
A região litorânea se organiza no quinto grupo, que se estende do Litoral Norte à Grande Florianópolis, mas também compreende o Baixo e Médio Vale do Itajaí. Tipicamente, os ventos de leste marcam o clima nestas áreas, trazendo muita nebulosidade e chuvas frequentes em relação às demais áreas do estado, em especial a porção norte.

Por fim, o sexto grupo representa as demais regiões litorâneas, da Grande Florianópolis ao Extremo Sul de SC. O Litoral Sul possui uma orientação diferente em relação ao Litoral Norte, que tem uma orientação Norte-Sul. O sul do Estado de SC apresenta orientação nordeste-sudoeste, além de se posicionar em uma região onde não há barreiras geográficas para os sistemas vindos do Oceano Atlântico. Esta região é conhecida pelos ventos intensos e mudanças frequentes nas condições do tempo.

Para entender o papel de cada uma das variáveis nesta composição, são apresentados os dendrogramas gerados para cada uma das variáveis meteorológicas. A Figura 34 mostra a avaliação feita somente para a variável precipitação acumulada. Nesta figura é possível notar que, com apenas esta variável, já é possível compreender o comportamento da maior parte das divisões realizadas na composição dos clusters. A região Oeste, agrupada em verde, apresenta um padrão pluviométrico próximo às áreas centrais, porém distante das demais áreas de SC. Nas áreas centrais de SC, em amarelo, um grupo concentra parte dos planaltos, avançando em direção ao sul do PR. Um resultado que deve ser ressaltado é a presença das estações da região serrana catarinense (Bom Jardim da Serra e São Joaquim) no grupo composto pelas estações do Litoral Sul. Isto mostra que, esta região da Serra, mais próxima do litoral, sofre influência dos mesmos sistemas meteorológicos que atingem a região costeira. Nesse sentido, esta região funciona como uma barreira geográfica, mas também é modelada por esta condição.

Outro grupo destacado na Figura 34 é a região da Grande Florianópolis, ao norte de SC, que avança para o Vale do Itajaí e as primeiras regiões do Planalto Norte. A presença de Rio Negrinho nesta região mostra que os sistemas precipitantes que atuam nesta área não ficam confinados apenas ao litoral, mas conseguem avançar até

Figura 34 – Como na figura 31, para o agrupamento hierárquico aplicado na precipitação (mm) acumulada horária das EMAs.



Fonte: elaboração própria (2023).

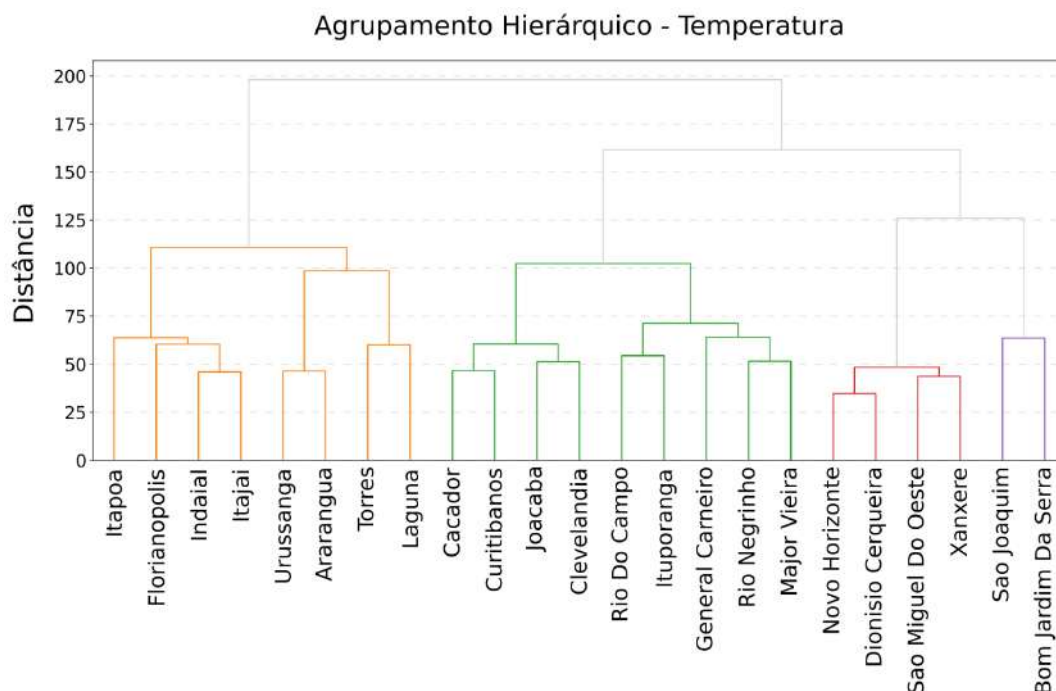
as áreas mais altas, como conhecido pelos eventos de circulação marítima, ou lestadas (HAAS, 2002).

Ao avaliar a temperatura do ar em 2m, já são notadas diferenças em relação ao grupo prévio da precipitação. Como mostra o dendrograma na Figura 35, a principal diferença é a região serrana, que agora aparece isolada. Este é um grupo com grande distância entre os demais, como esperado para as áreas mais frias do país.

Na Figura 35 o litoral aparece como um grande grupo, mostrando que o oceano tem um papel influente nas condições de temperatura na região. Ainda nesta figura, os sistemas meteorológicos que atingem somente a região costeira muitas vezes influenciam apenas estas áreas, não conseguindo avançar para as regiões do interior do Estado. Ao comparar o Oeste e as demais áreas centrais, os grupos apresentam uma distância significativa, não tão óbvia em primeira avaliação. Nesta situação, as diferenças entre os registros podem ser possivelmente amplificadas pela elevação altimétrica e variações na nebulosidade.

Ao se tratar de UR, pode-se entender pela análise três grandes grupos (Figura 36) com uma marcação clara do efeito da continentalidade. O primeiro grupo representa todo o litoral de SC, em constante influência do Oceano Atlântico. O segundo

Figura 35 – Como na figura 31, para o agrupamento hierárquico aplicado na temperatura (C) média horária das EMAs.



Fonte: elaboração própria (2023).

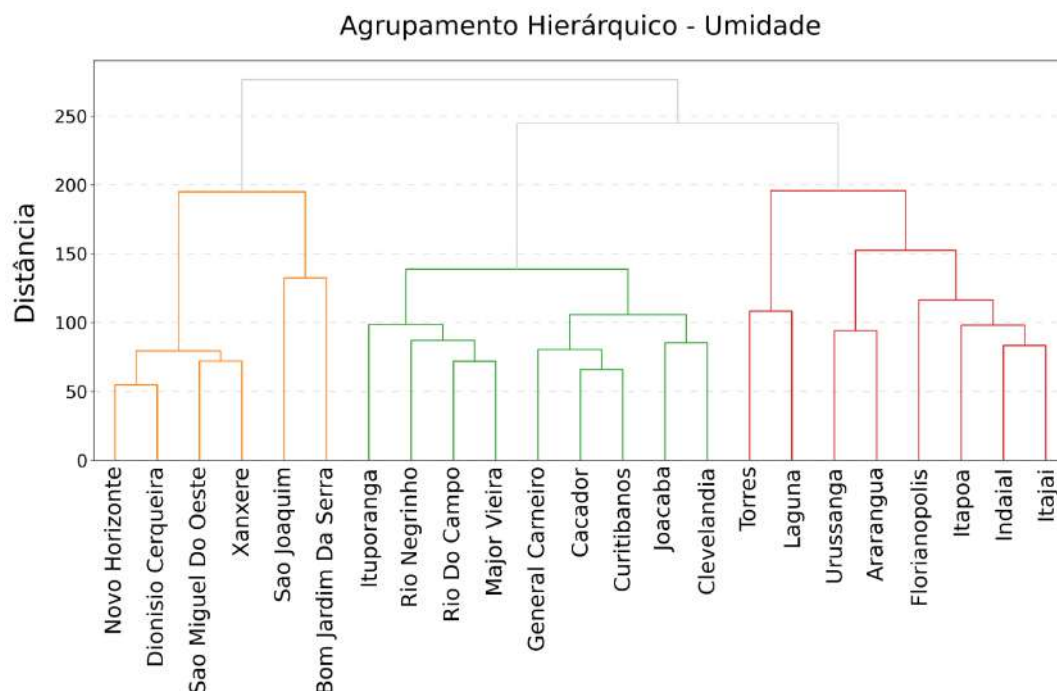
grupo é marcado pelas áreas centrais do Estado, entre o Meio Oeste e grande parte dos Planaltos. Por fim, pode-se entender subgrupos no último agrupamento, um das regiões mais altas da serra do Planalto Sul, e outro da porção Oeste e Extremo Oeste, que diferem do centro de SC.

Podemos avaliar a condição do vento horizontal próximo à superfície, indicado pelo dendrograma na Figura 37. Neste resultado, o método de agrupamento identificou uma área litorânea, que avança pelas partes mais baixas do Vale do Itajaí, mostrando uma clara influência da proximidade do oceano e da altitude. Outro grupo mostrou as áreas ao norte de SC, possivelmente influenciada por sistemas e circulações mais continentais. O último ramo agrupou o Oeste em conjunto com as áreas mais altas da Serra.

4.3.2 K-means

Diferentemente do método hierárquico, os resultados do método k-means são sensíveis à inicialização. Este método necessita de uma indicação do número de clusters e os centróides são inicializados de forma aleatória. Isso significa que diferentes inicializações resultam em agrupamentos distintos. Por conta disso, foram realizados testes com diferentes quantidades de clusters possíveis. Entretanto, muitas vezes foi necessária a utilização de um número menor de clusters em relação ao encontrado no

Figura 36 – Como na figura 31, para o agrupamento hierárquico aplicado na Umidade Relativa do ar (%) das EMAs.



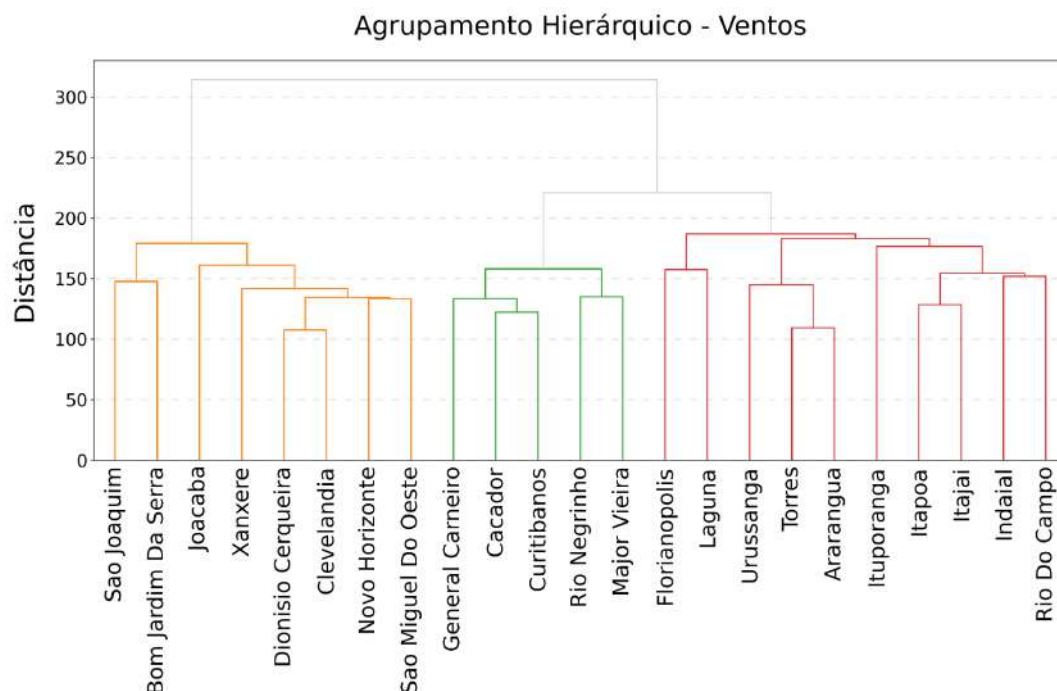
Fonte: elaboração própria (2023).

método anterior, visto que os resultados não estabilizaram. Esse resultado indica que diversas soluções foram possíveis para cada agrupamento, não sendo viável escolher um único resultado.

A Figura 38 apresenta o resultado do teste k-means, determinado a partir dos elementos meteorológicos precipitação, temperatura, UR e vento horizontal. Em comparação com o método de agrupamento hierárquico, pode-se dizer que, em grande parte, os resultados foram similares. Como resultado geral, foram identificados claramente um grupo para o Litoral Sul, outro do Litoral Norte à Grande Florianópolis, um grupo específico para as áreas elevadas do Planalto Sul, um agrupamento do Oeste e Extremo Oeste, visto repetidas vezes nestes métodos e, por fim, o grupo que concentra as áreas centrais e grande parte dos Planaltos, totalizando cinco mesorregiões.

Algumas observações importantes devem ser feitas na aplicação do k-means nos dados deste estudo. Foi possível observar a dificuldade de definição dos grupos nas regiões entre o Litoral Norte, Vale do Itajaí, Planalto Norte e áreas centrais. Com exceção da variável temperatura a 2m que, invariavelmente se mostrava bastante estável e sempre convergia para o mesmo resultado, os fatores precipitação, vento e UR oscilam entre diferentes grupos. Isto mostra que as diferenças na caracterização das condições meteorológicas predominantes destas mesorregiões são menos claras

Figura 37 – Como na figura 31, para o dendrograma agrupamento hierárquico aplicado na velocidade média horária do vento (m/s).



Fonte: elaboração própria (2023).

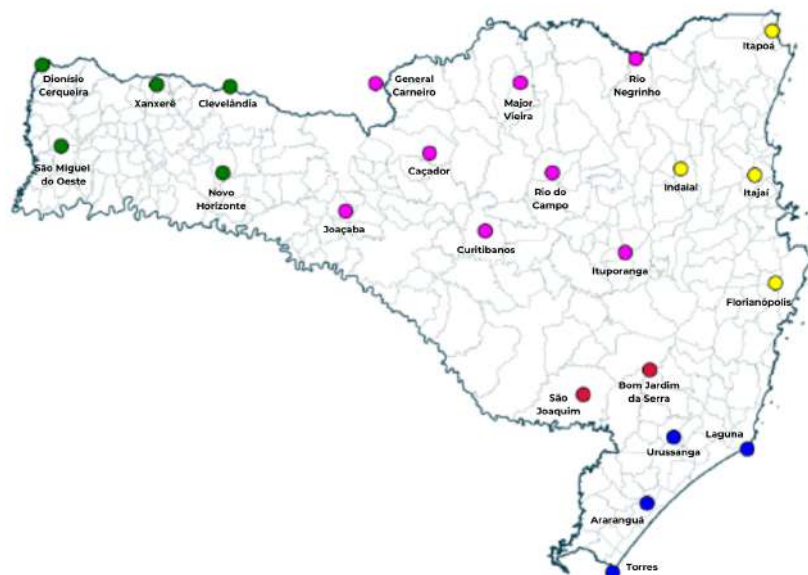
em relação às demais, sendo possíveis outras soluções de agrupamento.

Para a avaliação de temperatura a 2m isoladamente, o resultado foi parecido com o obtido na seção 4.3.1, um padrão bem definido para todo o litoral, um grupo representado pela serra do Planalto Sul destoante das demais áreas, outro grupo se estendendo do Oeste à área central, e um que caracteriza as áreas do Planalto Norte ao Alto Vale do Itajaí. Os municípios agrupados são descritos abaixo:

- São Miguel do Oeste, Novo Horizonte, Dionísio Cerqueira, Xanxerê, Joaçaba e Clevelândia (PR)
- Caçador, Curitibanos, General Carneiro (PR), Ituporanga, Rio do Campo, Rio Negrinho e Major Vieira
- São Joaquim e Bom Jardim da Serra

Considerando a variável precipitação, o método conseguiu apenas convergir em três grupos, com dificuldade de diferenciação entre o Litoral Norte e Planalto Norte ao estimar uma quantidade maior de clusters. Para o resultado mais consistente, foram encontrados os seguintes grupos:

Figura 38 – Regionalização do clima de SC, resultado do algoritmo k-means, aplicado nos fatores meteorológicos precipitação, temperatura, UR e vento horizontal das EMAs. As cores indicam os diferentes grupos encontrados.



Fonte: elaboração própria (2023).

- São Miguel do Oeste, Novo Horizonte, Dionísio Cerqueira, Xanxerê, Joaçaba e Clevelândia (PR)
- Caçador, Curitiba, General Carneiro (PR), Ituporanga, Rio do Campo, Rio Negrinho, Major Vieira, Itapoa, Florianópolis, Indaial e Itajaí
- São Joaquim, Bom Jardim da Serra, Urussanga, Araranguá, Laguna e Torres (RS)

Vale destacar que, como apontado no método de agrupamento hierárquico, em termos de precipitação, as regiões serranas do Planalto Sul pertencem ao mesmo grupo que as estações do Litoral Sul, indicando uma influência litorânea significativa.

O agrupamento da UR neste método tomou um caminho diferente em relação ao hierárquico. Em vez de separar por região litorânea e áreas centrais, o algoritmo também percebeu uma diferença de norte/sul em SC. Da Grande Florianópolis ao Extremo Sul foi formado um grupo em separado, possivelmente associado às FFs oceânicas, que muitas vezes desviam em direção ao alto mar, assim como a influência dos efeitos da circulação das ASAS, que traz muita umidade e nebulosidade para as áreas ao norte da região. Os grupos foram definidos da seguinte forma:

- São Miguel do Oeste, Novo Horizonte, Dionísio Cerqueira, Xanxerê, Joaçaba, Clevelândia (PR), São Joaquim, Bom Jardim da Serra
- Caçador, Curitiba, General Carneiro (PR), Ituporanga, Rio do Campo, Rio Negrinho, Major Vieira, Itapoá, Indaial e Itajaí
- Florianópolis, Urussanga, Araranguá, Laguna e Torres (RS)

O agrupamento dos ventos também se limitou a três grupos, estabilizando em diferenças marcadas pela continentalidade. O primeiro agrupamento compreendeu toda a faixa litorânea. O segundo as áreas centrais e norte do estado e, por fim, o oeste termina agrupado com a Serra do Planalto Sul, como um terceiro grupo à parte, como indicado abaixo:

- Urussanga, Araranguá, Laguna, Torres (RS), Florianópolis, Itapoá e Itajaí
- Indaial, Caçador, Curitiba, General Carneiro (PR), Ituporanga, Rio do Campo, Rio Negrinho, Major Vieira e Itapoá
- São Joaquim, Bom Jardim da Serra, São Miguel do Oeste, Novo Horizonte, Dionísio Cerqueira, Xanxerê, Joaçaba

4.3.3 Definições das mesorregiões

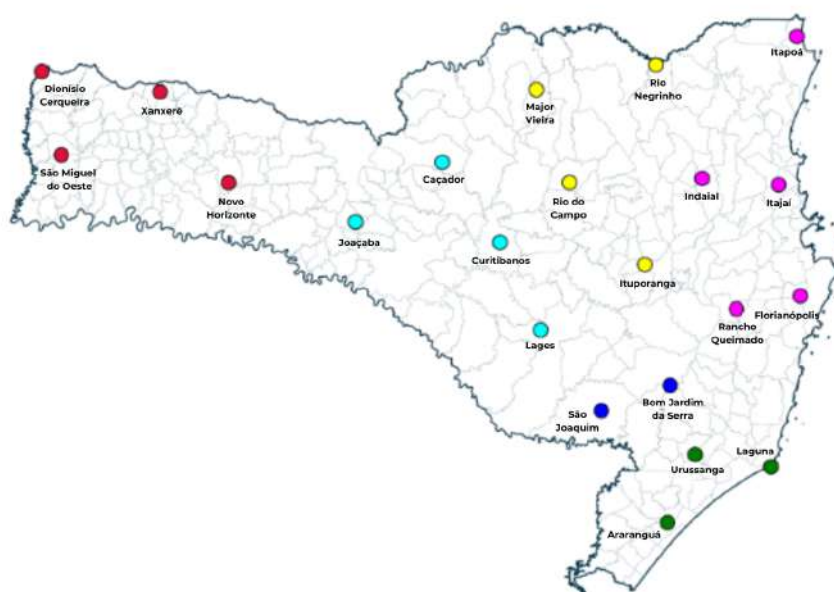
De forma geral, pode-se afirmar que os métodos de agrupamento hierárquico e k-means identificaram com êxito os padrões das variáveis meteorológicas se repetindo de forma regionalizada. Na maioria dos testes, somente as características da precipitação e temperatura foram suficientes para representar o comportamento do clima em SC. No entanto, as variações da umidade e ventos reforçaram características da continentalidade e efeitos topográficos, aumentando a distância entre os clusters no produto final e, configurando então, uma maior confiança nos grupos. Ao analisar os fatores meteorológicos isoladamente, o agrupamento de todas as variáveis fortaleceu as características locais e foi possível encontrar um resultado onde os dois métodos concordam entre si.

Um aspecto importante antes da definição das regiões, é a consideração das áreas com poucas estações. Duas áreas em específico chamam atenção quando avaliamos o mapa de SC: i) a extensão do Planalto Sul, em especial nas áreas de divisa com o RS e; ii) a mesorregião da Grande Florianópolis Serrana, transição dos Planaltos ao litoral. Como pode ser observado na Tabela 4 no APÊNDICE A, os anos de instalação das estações meteorológicas de Lages (2014) e Rancho Queimado (2016) são muito recentes e, ao incorporar ao método, reduzia consideravelmente a

quantidade dos dados de entrada e, conseqüentemente, a assertividade dos algoritmos. Entretanto, foram realizados uma série de testes com a quantidade de dados reduzida para identificar em quais regiões estas áreas tendem a se aglomerar.

Como resultado deste estudo, foi encontrado que a EMA de Lages, em quase todas as tentativas, aglomerava com a mesorregião do Meio Oeste catarinense, representado pelas estações de Joaçaba, Curitibaanos e Caçador. Ao adicionar estações do RS, a EMA de Lages associou-se com a mesorregião ao norte do RS e não com o Planalto Sul. Assim, foi considerado o agrupamento desta localidade para as áreas centrais do Estado. Já para a EMA de Rancho Queimado, os testes indicavam que esta estação aglomerou com as EMAs de Florianópolis e do norte de SC e não com as áreas centrais, serranas ou Litoral Sul. Dessa forma, foi considerada que esta localidade comporia a mesorregião Norte de SC. A partir destas considerações, a Figura 39 apresenta a configuração final dos clusters que configura o mesoclima de SC.

Figura 39 – Regionalização dos mesoclimas de SC, avaliado a partir dos métodos de clusterização hierárquico e k-means.



Fonte: elaboração própria (2023).

A comparação com os resultados obtidos nos trabalhos prévios de regionalização não é direta, pois estes utilizavam apenas a variável de precipitação em seus respectivos métodos, entretanto, nos testes específicos de precipitação foram encontradas semelhanças. Nos trabalhos de Andrade, Baldo e Nery (1999) e Baldo *et al.* (2000), nota-se que o Litoral Sul e parte do Planalto Sul compõem um cluster. O mesmo resultado foi encontrado neste trabalho, entretanto, com a variável de temperatura, foi

possível realizar uma distinção destas áreas. Sobre as áreas litorâneas, os resultados de Severo (2007) e Grimm (2009) mostram um agrupamento mais homogêneo destas áreas. Neste estudo foi possível diferenciar as áreas litorâneas do norte e do sul, como verificado também por Baldo *et al.* (2000) e Ichiba, Nery e Martins (2002). Na avaliação de Gotardo *et al.* (2018), as mesorregiões nordeste e leste formam um grupo, concordando com o agrupamento do litoral entre a Grande Florianópolis e o Litoral Norte.

O agrupamento das estações do Planalto Norte com o Vale do Itajaí aparece nos resultados com menos grupos, que não realizam separação nas áreas centrais do estado (GRIMM, 2009; SEVERO, 2007; ANDRADE; BALDO; NERY, 1999), mas também aparece de forma parcial no trabalho de Baptista e Severo (2018). Além disso, Gotardo *et al.* (2018), também encontraram pequenas diferenças entre a precipitação do Vale do Itajaí e do Planalto Norte. Quando foi utilizado apenas a variável precipitação, neste trabalho foram obtidos agrupamentos do Planalto Norte com as áreas litorâneas, próxima ao resultado de (ANDRADE; BALDO; NERY, 1999). Adicionada a variável de temperatura, a diferença entre as áreas foi mais expressiva, permitindo sua diferenciação. Esta divisão também aparece nos resultados de Baldo *et al.* (2000), Ichiba, Nery e Martins (2002), Severo (2007), mesmo sem a utilização da temperatura.

O Meio Oeste tipicamente se apresenta agrupado com as áreas dos planaltos (SEVERO, 2007; GRIMM, 2009; ANDRADE; BALDO; NERY, 1999), por vezes unindo apenas ao Planalto Norte (BALDO *et al.*, 2000; ICHIBA; NERY; MARTINS, 2002). Neste trabalho, o resultado se aproxima do obtido por Baptista e Severo (2018), com um agrupamento composto pelo Meio Oeste e parte do Planalto Sul. Quanto às áreas serranas do Planalto Sul, os resultados indicaram uma região própria para a mesma, concordando com o trabalho de Ichiba, Nery e Martins (2002), o único em que esta região aparece sozinha, ao contrário dos trabalhos que agrupam com o Litoral Sul (ANDRADE; BALDO; NERY, 1999; BALDO *et al.*, 2000), ou com as áreas centrais do estado (BAPTISTA; SEVERO, 2018).

A Região Oeste foi observada como um agrupamento próprio de forma consistente ao longo dos testes, concordando com os trabalhos prévios (SEVERO, 2007; ANDRADE; BALDO; NERY, 1999; BALDO *et al.*, 2000; BAPTISTA; SEVERO, 2018).

4.4 Análise das Mesorregiões

Com base nos resultados obtidos no item 4.3, nesta seção serão discutidas as características particulares de cada uma das mesorregiões de SC. Os municípios que compõe cada região podem ser encontrados no APÊNDICE B. Os boxplots utilizados nas próximas seções ilustram a distribuição dos dados de cada variável mensalmente, com a caixa principal representando os valores entre o primeiro (Q1) e terceiro quartil (Q3), correspondentes aos percentis 25 e 75. Neste texto, esta faixa percentual é referenciada como 'intervalo Q1-Q3'. Além da caixa, o boxplot estende-se até os limites superiores e inferiores, indicando a faixa típica de variação dos dados (WILKS, 2011). Pontos que ultrapassam esses limites são considerados outliers (ou pontos atípicos), e também são representados nos gráficos.

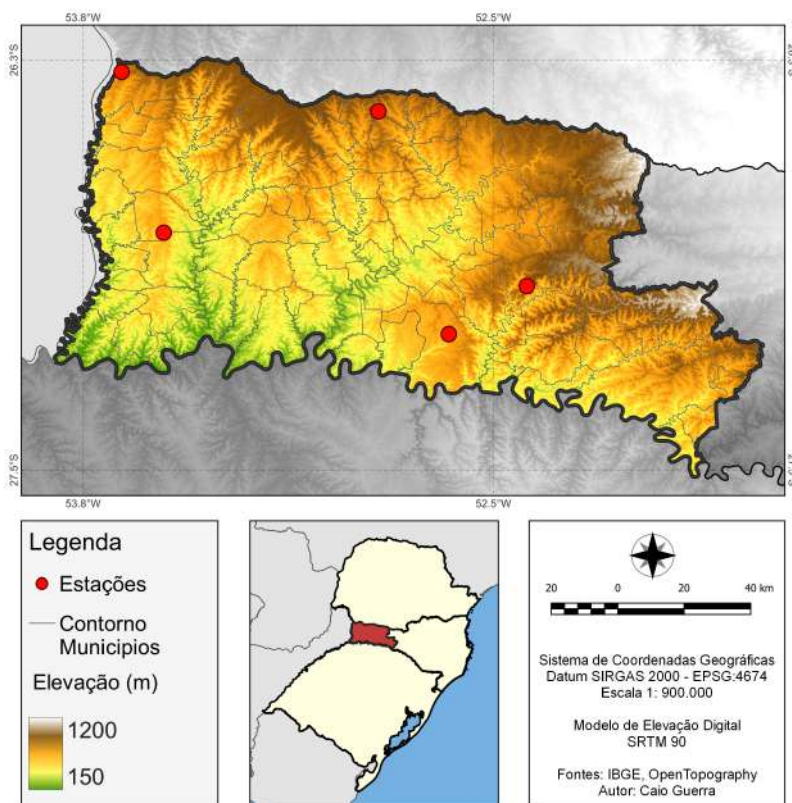
As seções 4.4.1 à 4.4.6 foram redigidas para uma leitura autônoma, seguindo o formato do Atlas Meteorológico descrito no capítulo 5. Assim, o leitor que busca informações sobre uma região específica pode fazê-lo sem a necessidade de consultar outros capítulos. Por essa razão, ao ler de forma contínua, o leitor pode encontrar informações que, de certa forma, podem parecer repetitivas. Para uma comparação entre as mesorregiões, pule para a seção 4.5.

4.4.1 Extremo Oeste/Oeste

A região oeste de Santa Catarina, composta pelas geofácies do Planalto Ocidental e Serra de Chapecó, é marcada por sua rica diversidade geográfica (Figura 40). Na Serra de Chapecó, uma região com colinas de relevo suave, encontramos encostas longas com vegetação semelhante a campos abertos. As extremidades dessas colinas são íngremes, formando vales com um formato que se assemelha a um "V". Estes vales têm rochas provenientes de diferentes formações geológicas. Por causa da composição e origem dessas rochas, os solos são rasos e duros. O Planalto Ocidental, situado mais a oeste, já foi coberto por uma densa floresta próxima ao Rio Uruguai, mas essa paisagem mudou significativamente ao longo do tempo. As árvores araucárias remanescentes mostram sinais de envelhecimento. Em termos topográficos, essa área combina planaltos e vales, servindo como transição entre as zonas centrais elevadas e as zonas mais baixas da bacia do Rio Uruguai. Este rio é fundamental para a região, atuando como fronteira natural entre Santa Catarina e outros territórios (CATARINA, 2014).

Apesar da região oeste apresentar períodos de estiagem em sua série histórica, climatologicamente, não existe uma estação seca definida. As médias mensais mostram que as chuvas são observadas na região todos os meses (Figura 41), mas

Figura 40 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região Extremo Oeste e Oeste de Santa Catarina.

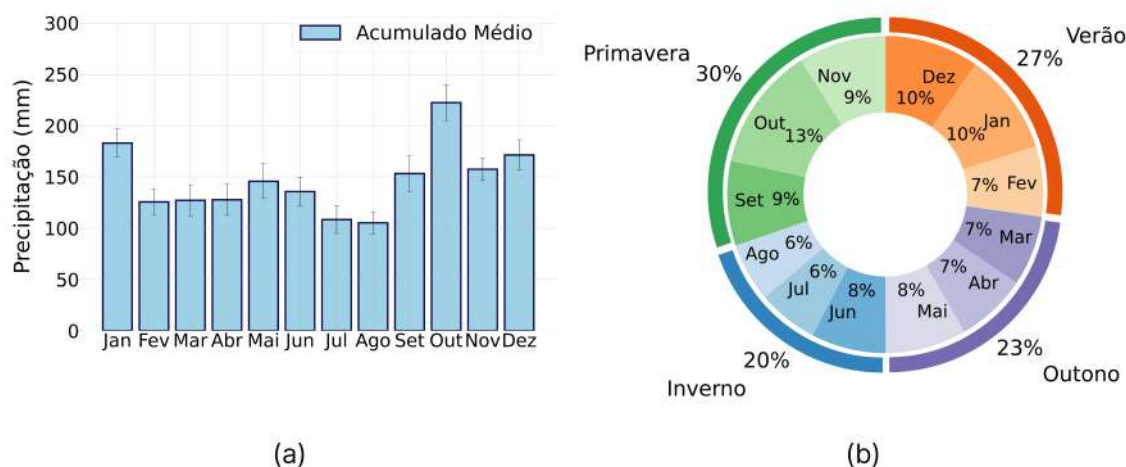


Fonte: elaboração própria (2023).

com diferentes volumes e características em cada uma das estações do ano. Nota-se que os maiores acumulados são observados na primavera, que representa mais de 30% da precipitação anual. Considerando que a primavera sucede o inverno, estação que contabiliza apenas 20%, estes meses apresentam um período de grande mudança no padrão das chuvas. Este resultado concorda com o obtido por Wrege *et al.* (2012), identificando o maior pico de precipitação no mês de outubro, e um secundário nos meses de verão. Entretanto, para os resultados de Pandolfo *et al.* (2002), essa diferença é pouco perceptível.

No inverno austral, quando a ASAS se aproxima do continente, seu setor ocidental estende-se para o interior, dificultando, através do movimento subsidente do ar seco, a atividade convectiva (SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019). Também é neste período em que os JST e JP se encontram em sua posição climatológica mais a norte (ESCOBAR, 2009). Em uma primeira análise pode-se afirmar que esta posição climatológica favorece o desenvolvimento (e deslocamento) de sistemas frontais mais frequentes e também os ciclones mais intensos do ano. Entretanto, neste período do ano, as frentes frias avançam para as áreas mais centrais do país (ANDRADE, 2005),

Figura 41 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação da Região Oeste de Santa Catarina, calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816.



Fonte: elaboração própria (2023).

dando espaço para a presença de regiões de alta pressão em SC. Assim, por mais que se tenham variações frequentes de tempo provocadas pela atuação dos sistemas transientes, não necessariamente estes sistemas são mais intensos ou resultam em volumes elevados de precipitação. Oliveira (2023) ressalta que os sistemas frontais apresentam-se com intensidade moderada em todas as estações do ano. Outro fator que explica os menores acumulados médios de precipitação é a maior frequência de bloqueios atmosféricos observados em relação às demais estações (MENDES *et al.*, 2005).

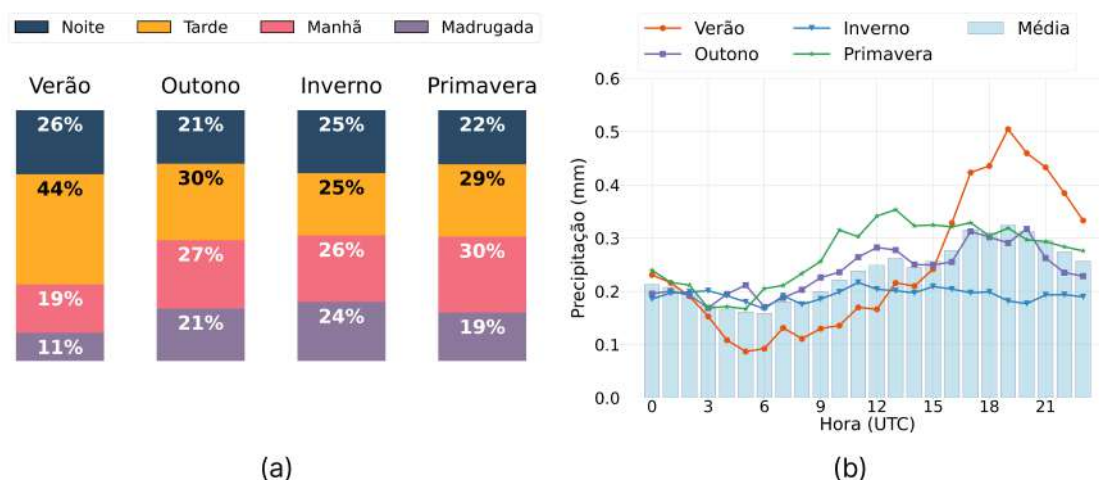
Entre os meses de setembro e outubro, no início da primavera austral, se observa um aumento significativo dos acumulados pluviométricos. O destaque fica para o mês de outubro, quando os valores superam os 200 mm em média no oeste catarinense (Figura 41). Este resultado concorda com os trabalhos de Grimm (2009) e Wrege *et al.* (2012), que observam máximos neste período do ano para a região. Nos meses da primavera, se dá o início a atividade convectiva na região norte da AS, que alimenta a atmosfera com umidade através do processo de evapotranspiração. Esta umidade é transportada para outras áreas do continente sul-americano, através da atuação do JBN. Este sistema, ao proporcionar umidade e calor para o sul da AS, favorece a atividade convectiva e a ocorrência de SCMs, principalmente combinado a passagem de sistemas transientes (GRIMM, 2009; REBOITA *et al.*, 2012). O resultado concorda também com a climatologia dos SCMs, segundo Durkee, Mote e Shepherd (2009), a alta frequência dos SCMs na primavera austral favorece o aumento das chuvas na Região Sul, especialmente nas áreas da fronteira Oeste de SC. No caso dos

CCMs, podem contribuir em valores de até 40 a 50% no regime de precipitação, apesar de existir uma grande variabilidade interanual.

Assim, podemos entender a precipitação na primavera austral como a combinação de diversos fatores, a seguir: i) pelo processo convectivo, associado ao início da estação chuvosa, também conhecido como clima de monção, relacionadas às áreas mais ao norte da AS; ii) pelo aumento de instabilidade atmosférica em conjunto com a atuação frequente das frentes frias e ciclones extratropicais. Uma influência clara do aumento da atividade convectiva, associado ao calor e umidade, se mostra no aumento da precipitação no período da tarde, que passa de 25% (inverno) para 29% (primavera) do total da estação do ano (Figura 42a). Com a atuação dos SCMs, CCMs e LIs, que apresentam maior frequência na primavera, foi possível observar também um aumento na chuva matinal, passando de 26% (inverno) para 30% (primavera). O ciclo diurno da precipitação na Região Oeste de Santa Catarina (Figura 42b) ressalta estas características, mostrando que os acumulados na primavera são maiores do que nas demais estações entre as 06 UTC e 15 UTC, sendo este um indicativo de que as chuvas associadas à atuação dos SCMs ocorrem com maior intensidade nestes horários. Este resultado concorda com o trabalho de Filho *et al.* (2014), que mostrou um aumento nos acumulados médios e na frequência da chuva no período da manhã durante a primavera austral. Ainda, a taxa de precipitação (Figura 42a) durante a primavera, que oscila entre 0.2 mm/h na manhã e 0.35 mm/h na tarde, fica ligeiramente abaixo dos valores encontrados por Rasmussen *et al.* (2016), entre 0.3 mm/h e 0.4 mm/h da média diária.

No verão do HS, o JP permanece mais restrito às áreas de altas latitudes (ESCOBAR, 2009) exercendo pouca influência no período, assim, o padrão de chuva fica restrito a menos sistemas. Por outro lado, o padrão convectivo associado ao clima de monção é reforçado, neste período, a chuva durante a tarde representa 44% da estação (Figura 42a), resultado que concorda com Filho *et al.* (2014), que mostra um padrão bem definido do ciclo diurno nos meses de verão. Segundo Rasmussen *et al.* (2016), as tempestades convectivas representam a parcela majoritária das precipitações no verão. A partir do ciclo diurno da precipitação média observa-se que a chuva na madrugada e durante a manhã reduz consideravelmente, com os menores valores observados no ano, enquanto há um aumento significativo na precipitação a partir das 12 UTC, atingindo um pico às 19 UTC (período vespertino). Os maiores valores de taxa de precipitação encontrados no verão foi de 0.5 mm/h, mas diminui até 0.1 mm/h nos horários mais secos do dia. Estes valores se aproximam da taxa média de 3 mm/h a 4 mm/h encontrada por Rasmussen *et al.* (2016).

Figura 42 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b) calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816.



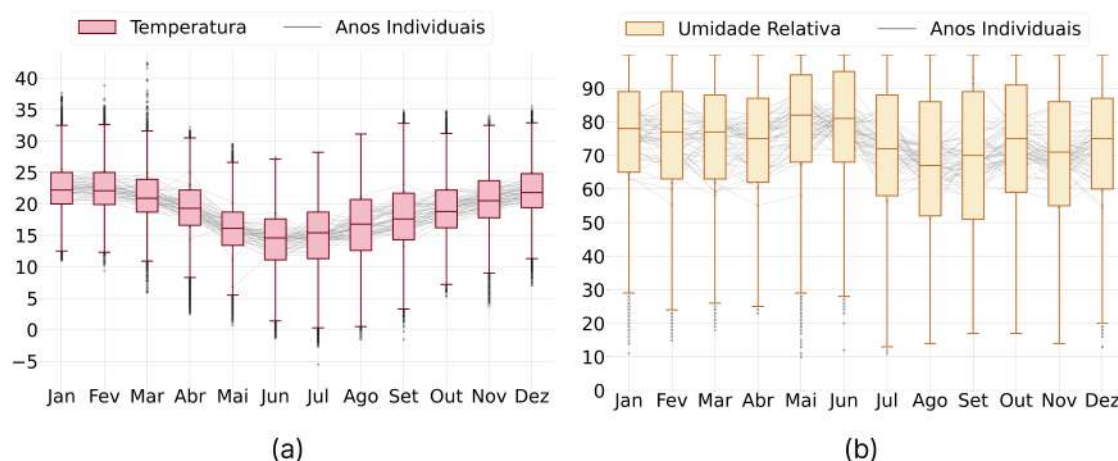
Fonte: elaboração própria (2023).

O outono austral representa o fim do predomínio das tempestades associadas ao clima de monção, com um declínio na chuva observada no período da tarde, de 44% (verão) para 30% (outono), entretanto, ainda tem resquícios destas condições, com chuvas no período da tarde comparáveis a primavera. (Figura 42b). Nesta estação do ano permanece a atuação com menor frequência das frentes frias, entre 3 a 4 mensais, e a atuação de ciclones extratropicais, favorecidos também pela aproximação do JST. Nesta época do ano, a ASAS começa a se aproximar do continente, mas ainda não exerce influência significativa sobre a região.

A Figura 43a mostra a distribuição da temperatura referente aos dados horários em todas as estações contidas no agrupamento da Região Oeste de SC, assim como a média mensal de cada um dos anos de cada estação. Considerando a variabilidade da temperatura, é possível observar nas linhas das estações individuais valores próximos ao longo do ano (pouca dispersão), corroborando com o agrupamento destas estações. Além disso, o ciclo anual da temperatura corrobora a climatologia de Wrege *et al.* (2012), com elevação (redução) das temperaturas médias na estação de verão (inverno). No verão são observadas as maiores temperaturas do ano, mas os meses de transição novembro e março também têm temperaturas bastante elevadas. O primeiro fator que exerce influência é a própria sazonalidade. Este é o período que o HS recebe a maior quantidade de radiação solar. Além disso, com o posicionamento mais a sul do JP, os sistemas transientes são observados com menor frequência, predominando assim a circulação da ASAS, com ventos de norte, que transportam ar quente e úmido para a região. O oposto ocorre no inverno, na posição mais ao

norte do JP, a entrada mais frequente de frentes frias permite a incursão de massas de ar polar, que se estabelecem sobre a Região Sul, aliada a menor quantidade de radiação recebida pelo hemisfério sul. Nesta época são observados os menores valores de temperatura, principalmente nos dias de tempo firme e seco nos pontos mais altos da serra, os quais possibilitam um declínio acentuado das temperaturas associado a perda radiativa. As estações de transição, como o nome sugere, marcam a passagem de um padrão para outro, influenciadas pelas variações na inclinação da Terra em relação ao Sol. Em consequência disso, no outono, as temperaturas declinam progressivamente devido às primeiras massas de ar frio do ano. Por outro lado, na primavera, as temperaturas sobem com a intensificação do transporte de calor proveniente de regiões ao norte do país.

Figura 43 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias na Região Oeste de Santa Catarina, calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.



Fonte: elaboração própria (2023).

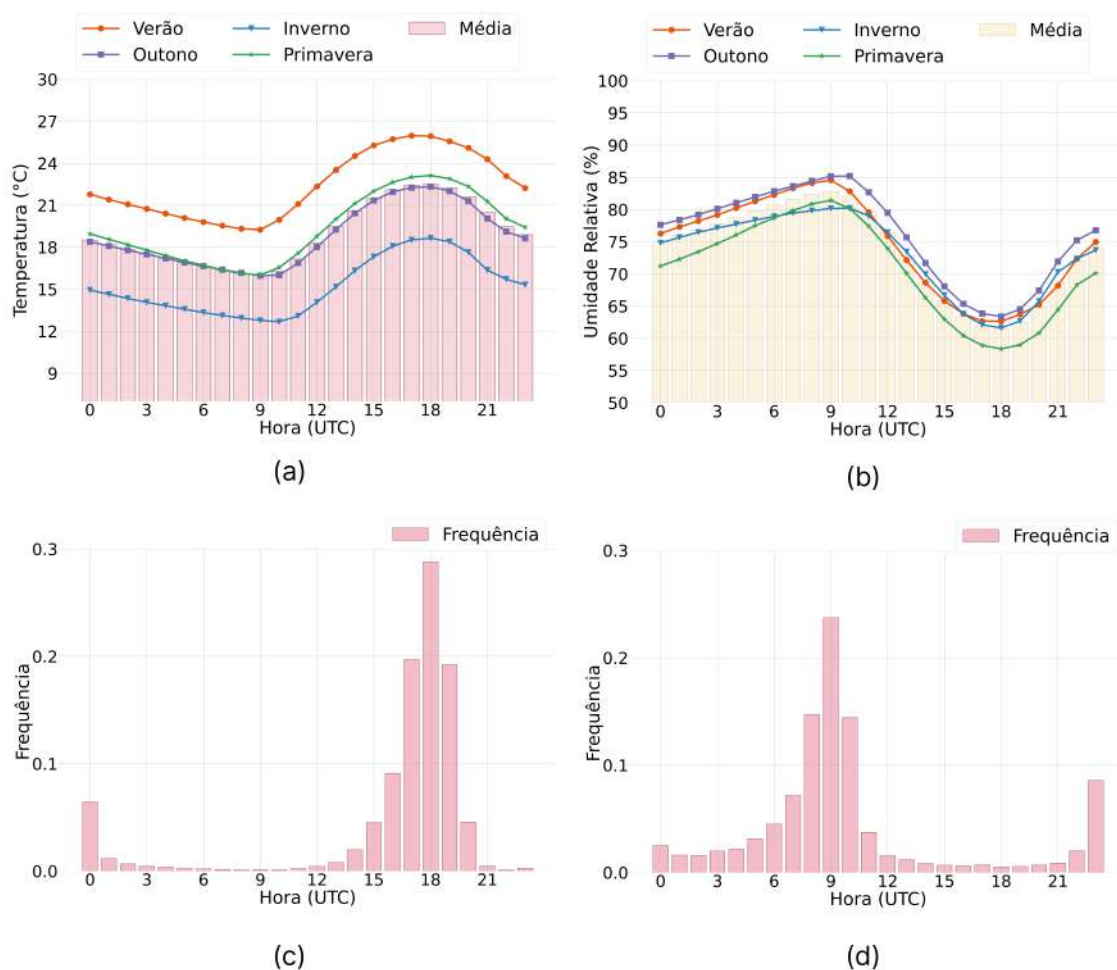
Os dados no boxplot (Figura 43a) mostram que, no verão, o intervalo Q1-Q3 varia entre 20 °C e 25 °C, os limites superiores indicam que as tardes mais quentes desta estação alcançam valores de até 33 °C, enquanto os limites inferiores indicam que as manhãs mais frias observam temperaturas de até 13 °C. Os outliers mostram que em dias extremos, as temperaturas podem até superar os 35°C. No inverno, o intervalo Q1-Q3 varia entre 11 °C e 18 °C em Junho e Julho, mas chegam a 21 °C no mês de agosto, que apresenta uma grande amplitude térmica. Nos três meses, o limite inferior mostra que as manhãs mais frias se aproximam de zero grau, enquanto as mais quentes variam de 27 °C a 31 °C. Os outliers mostram que as temperaturas marcaram valores negativos em eventos extremos durante este período. As estações de transição mostram valores intermediários, mas vale destacar que estes apresentam

uma grande amplitude térmica, como setembro, onde o intervalo Q1-Q3 varia de 14 °C a 22 °C, e os limites variam de 3 °C a 33 °C. Por outro lado, o mês de março apresenta uma quantidade elevada de outliers, tanto de eventos frios quanto quentes, mostrando que nesta época podem ocorrer intensos episódios de calor, quanto eventos de frio antecipados. Os trabalhos Wrege *et al.* (2012) e Pandolfo *et al.* (2002) apresentam valores médios mensais similares, entretanto, Wrege *et al.* (2012) indica temperaturas médias ligeiramente maiores, entre 1 °C a 2 °C, nas áreas mais baixas, ao sul da região oeste.

No caso da UR, a dispersão das médias mensais (Figura 43b) é maior e não se observa um comportamento inverso entre o verão e o inverno. No verão, os valores de umidade relativa ficam aproximadamente entre 60 e 90% no intervalo Q1-Q3. Os limites inferiores mostram que, nos horários mais secos, são observados valores de UR abaixo de 30%. Como discutida previamente, a proximidade da ASAS no inverno, além das altas pressões transientes, associada ao avanço de massas de ar frio no país, faz com que sejam observados os menores valores de UR do ano neste período, com exceção de junho. Nota-se que, no intervalo Q1-Q3, os valores de UR tem a maior amplitude do ano entre julho e setembro, entre 50 e 90%. Ainda, no período de julho a novembro, os limites inferiores mostram que nas tardes mais secas a UR fica abaixo de 20%. Os meses mais úmidos são maio e junho, intervalo Q1-Q3 registram valores entre 68 e 94% de UR, entretanto, assim como nos primeiros meses do ano, os limites inferiores mostram que ocorrem horários com umidade abaixo de 30%. Os valores anuais concordam com o padrão observado por (PANDOLFO *et al.*, 2002), porém, para a região oeste, o autor encontrou valores médios de UR superior ao deste trabalho, entre 74 e 80% na região, enquanto neste as médias registraram de 68 a 70%

A Figura 44a mostra o ciclo diurno médio em cada uma das estações do ano. De forma complementar a Figura 43a, percebe-se que as temperaturas médias no verão são as mais elevadas no ano, no inverno são as menores, enquanto as estações de transição apresentam valores médios bastante similares, com as temperaturas na primavera ligeiramente maiores do que no outono. Observando o comportamento médio destas estações, é possível observar que as 09 UTC são registrados os menores valores médios, seguido de uma rápida elevação das temperaturas. No outono, essa elevação ocorre de maneira menos acentuada, com valores próximos entre 09 UTC e 10 UTC, enquanto no inverno, as menores médias ocorrem as 10 UTC. O horário de maior temperatura média nas estações primavera, outono e inverno é 18 UTC, enquanto no verão ocorre às 17 UTC, apesar dos valores serem muito próximos. Esta mudança possivelmente ocorre pelo aumento significativo de precipitação durante as tardes nesta época do ano, o que poderia provocar um declínio nas temperaturas.

Figura 44 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das estações A484, A858, A857, A816.



Fonte: elaboração própria (2023).

A frequência do horário de máximas (Figura 44c) mostra que às 18 UTC são observadas as máximas com maior frequência, de aproximadamente 30%, mas também uma quantidade significativa de dias observam máximas às 17 UTC e 19 UTC, aproximadamente, 20% cada. No histograma, também se verifica que em 6% dos dias observados a máxima foi registrada às 00 UTC. Este tipo de registro tipicamente está associado a dias chuvosos, ou com intensa advecção de ar frio, que impeça o ciclo diurno natural das temperaturas. De todas as regiões de SC, a Oeste tem a maior frequência desses eventos. As mínimas maioritariamente são observadas às 09 UTC, em aproximadamente 24% dos dias, mas nota-se que os horários da mínima são melhores distribuídos ao longo do dia. Além disso, aproximadamente 9% dos dias a mínima ocorre no às 23 UTC, possivelmente associado a dias em que uma intensa advecção de ar frio declinou as temperaturas de forma significativa, sendo mais frias do que as observadas durante a manhã no mesmo dia. Esta situação é típica da

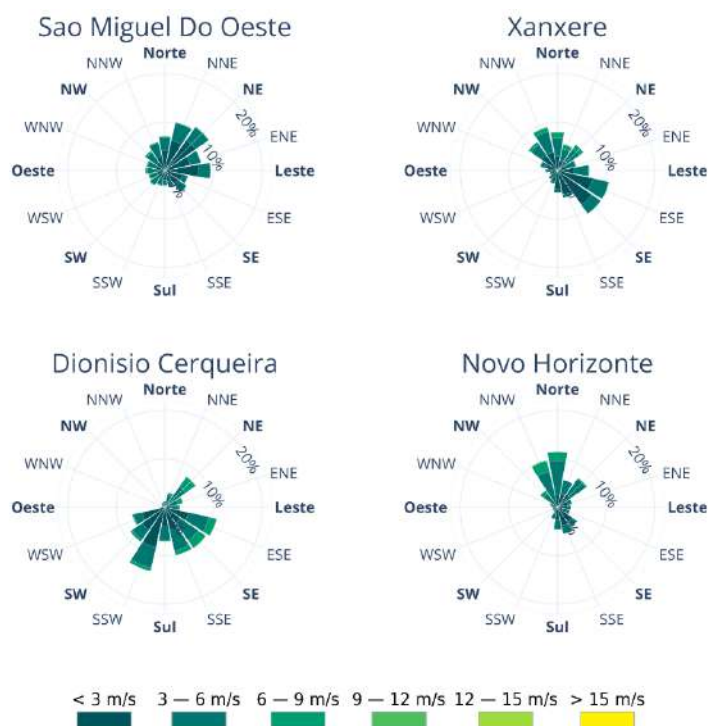
passagem de frentes frias, visto que, muitas vezes, o dia pode amanhecer com chuva, associado a instabilidades destes eventos, impedindo temperaturas tão baixas nos primeiros horários do dia.

No ciclo diurno da UR (Figura 44b), nota-se um comportamento e valores parecidos ao longo do ano, entretanto, as estações primavera e inverno, em quase todos os horários, possuem valores médios menores do que o verão e outono. Durante a manhã, a UR média alcança valores médios entre 80 e 85%, declinando para 60 a 65%, com exceção da primavera, quando registram valores médios abaixo de 60% à tarde. Além disso, nota-se no ciclo diurno a relação intrínseca, inversamente proporcional, entre a UR e a temperatura. Essa variação diurna tão grande faz com que os registros de umidade tenham uma variabilidade bastante elevada.

Para avaliação do vento médio, é apresentado um mosaico com as rosas dos ventos de todos os municípios agrupados (Figura 45). Os ventos em uma estação meteorológica são influenciados pelas características sinóticas, mas também existe um peso grande das características do local de instalação. De forma geral, nota-se que existe uma componente entre norte e nordeste em todas elas, associada à circulação climatológica da ASAS. Ventos de quadrante sul normalmente são resultados da passagem de sistemas frontais, também observada em todos os municípios. Os ventos de norte sopram em geral abaixo de 9 m/s, mas alcançam valores de 9 à 12 m/s em média. A exceção do padrão é o município de Dionísio Cerqueira, que apresenta uma quantidade maior de ventos do quadrante sul do que as demais, podendo ter relação com alguma característica local de menor escala.

Foram gerados também o ciclo diurno dos ventos, a partir da decomposição do vento médio em zonal e meridional. Nos gráficos, as barras apontam para a direção que o vento está soprando (Figura 46). Nele, é possível notar que nos horários noturnos, os ventos possuem uma componente predominante de leste, e seu máximo de intensidade às 5 UTC. Este padrão enfraquece consideravelmente a partir de 12 UTC, e eventualmente muda de direção, apresentando uma componente de oeste às 15 UTC. Nesta direção, a componente zonal tem seu pico às 18 UTC, e começa a enfraquecer, até retornar a direção inicial às 21 UTC. Estes horários indicam que a componente zonal possui um comportamento oscilatório relacionado com o aquecimento diurno. Na componente meridional, também apresenta um comportamento oscilatório, entretanto, a variação é menos intensa e ocorre mais tarde. Os ventos, predominantes de norte nos horários noturnos, alcançam seu máximo durante a manhã, às 13 UTC, começam a enfraquecer a partir das 15 UTC, muda de direção às 19 UTC, e alcança seu máximo

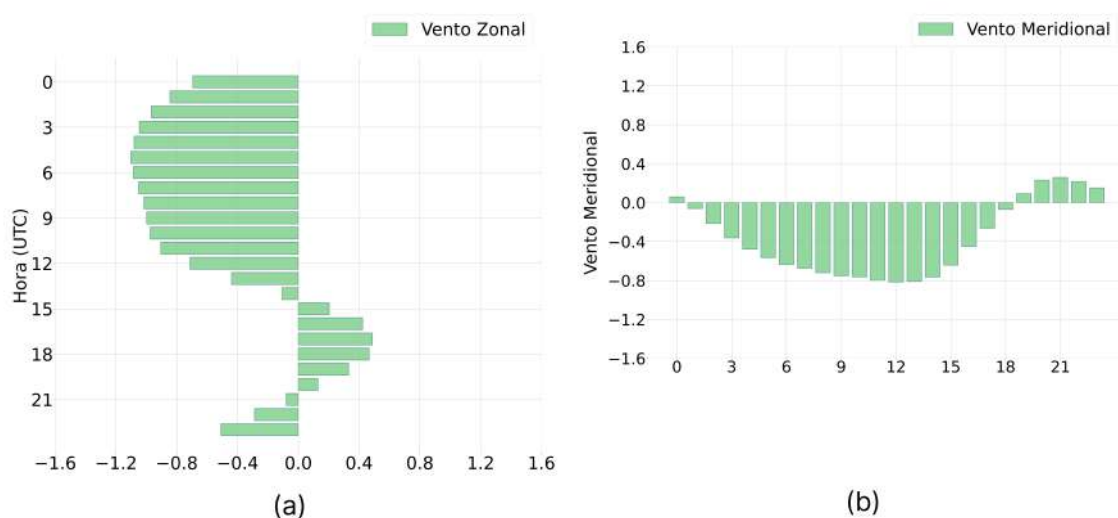
Figura 45 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A484, A858, A857, A816.



Fonte: elaboração própria (2023).

de componente sul às 21 UTC, enfraquecendo gradualmente, até que retorne sua componente de norte a 01 UTC.

Figura 46 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A484, A858, A857, A816

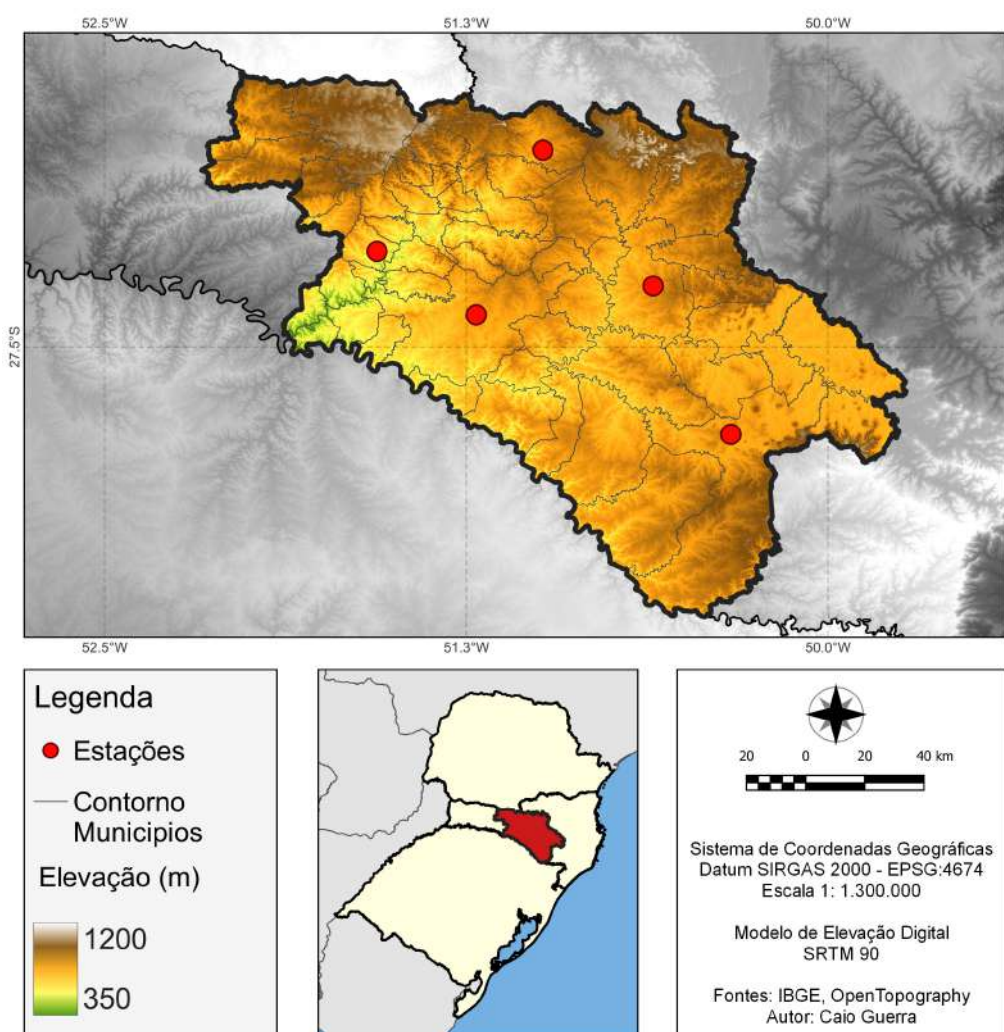


Fonte: elaboração própria (2023).

4.4.2 Meio Oeste

A região, denominada neste trabalho como Meio Oeste de SC, compreende uma série de geofácies: Planalto Central, parte da Serra de Chapecó, Vale do Rio do Peixe, Médios Vales dos Rios Canoas e Pelotas, e o Planalto de Lages. Ela se estende desde as áreas centrais do estado até o Planalto Sul (Figura 47).

Figura 47 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região Meio Oeste de Santa Catarina.



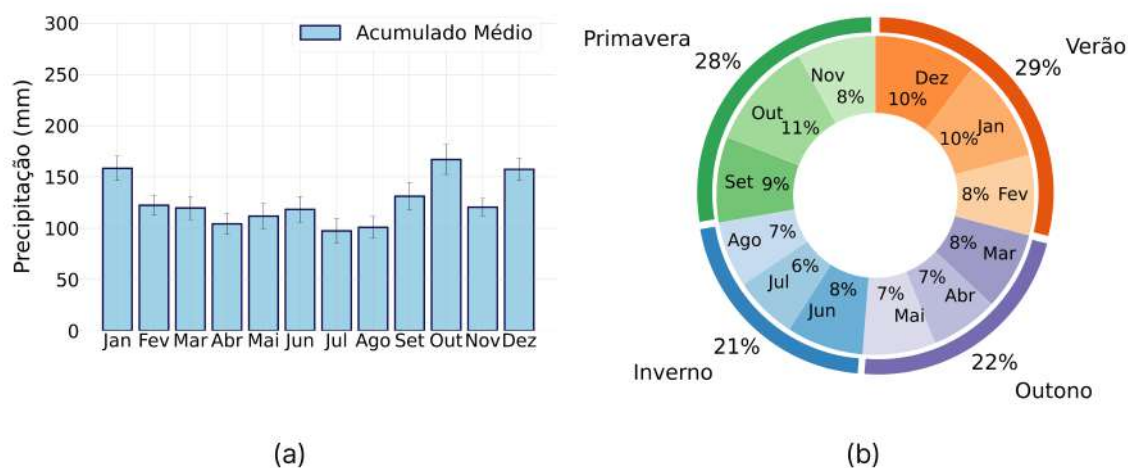
Fonte: elaboração própria (2023).

Predominantemente, a região é marcada por extensos planaltos com altitudes médias variando entre 500 a 800 metros. No entanto, em algumas áreas montanhosas, especialmente na Serra de Chapecó, a altitude pode superar os 1000 metros. Em contrapartida, os vales, como o Vale do Rio do Peixe, introduzem depressões naturais no terreno, contrastando com as áreas elevadas e proporcionando uma diversidade topográfica. Cada geofácie do Meio Oeste possui características distintas. O Planalto Central é uma área ampla e elevada, enquanto a Serra de Chapecó apresenta ter-

renos mais acidentados e altitudes mais elevadas. Já o Vale do Rio do Peixe e os Médios Vales dos Rios Canoas e Pelotas são marcados por suas depressões naturais, proporcionando um contraste marcante com os planaltos circundantes. O Planalto de Lages, por sua vez, combina características de ambos, com áreas planas e elevações suaves. Estas variações topográficas fazem desta área central do estado uma região geograficamente diversificada (CATARINA, 2014).

A precipitação no Meio Oeste de SC é bem distribuída ao longo do ano, com os maiores volumes observados nas estações quentes. De acordo com a Figura 29, o verão austral é a estação do ano com maior contribuição do acumulado anual, com 29% do total anual, seguido da primavera, com 28% (Figura 48b). Os meses da primavera marcam um aumento nos volumes de precipitação na região, após duas estações relativamente mais secas, de 22 e 21% da precipitação anual no outono e inverno respectivamente. Pandolfo *et al.* (2002) também encontrou picos de precipitação parecidos em outubro e janeiro, entretanto, para Wrege *et al.* (2012), essa diferença é mais significativa, com o mês de outubro apresentando acumulados entre 20 a 30 mm maiores.

Figura 48 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865.

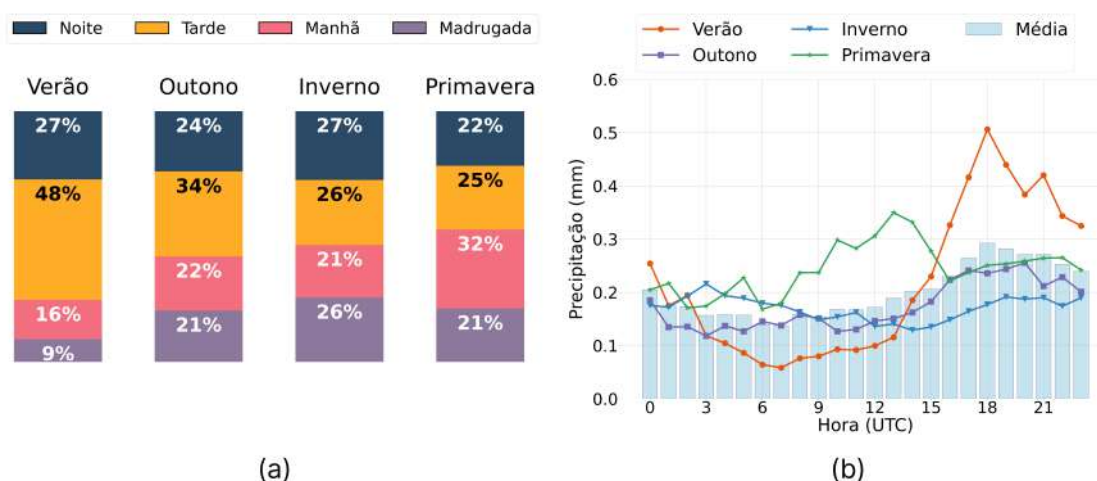


Fonte: elaboração própria (2023).

No início do outono austral, especificamente no mês de março, os acumulados de precipitação ainda são elevados, comparáveis a outros meses do verão austral, com acumulados por volta de 120 mm (Figura 48a). Nota-se que, neste período de transição, ainda há resquícios da atividade convectiva, sendo possível observar esta característica na Figura 49a, que reforça o registro de precipitação significativa no

período vespertino, representando 34% dos valores totais. Em acumulados médios horários, os valores são comparáveis aos da primavera em meados da tarde (Figura 49b). Neste período, em média, atuam entre 3 a 4 frentes frias mensais (OLIVEIRA, 2023) e os ciclones extratropicais podem aparecer com maior intensidade em relação ao verão (REBOITA; MARRAFON, 2021). Assim, a combinação destes sistemas são responsáveis pela precipitação no período, com acumulados em torno de 100 mm mensais, não caracterizando uma estação seca.

Figura 49 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b) calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865.



Fonte: elaboração própria (2023).

No inverno, os acumulados médios também marcam valores entre 100 mm a 110 mm na região. Neste período, as frentes frias ocorrem com frequência de 4 a 5 por mês (OLIVEIRA, 2023; ANDRADE, 2005), reflexo do JP em sua posição climatológica mais a norte (ESCOBAR, 2009). No entanto, ressalta-se que nos meses de inverno austral as frentes frias deslocam-se rapidamente, avançando para as áreas mais centrais do país, dando espaço para regiões de alta pressão (ANDRADE, 2005). Além disso, esta é a época de atuação dos ciclones mais intensos (REBOITA; MARRAFON, 2021). O inverno também é a estação em que a ASAS se aproxima do continente, sendo que seu setor ocidental estende-se para o interior, dificultando, através do movimento subsidente do ar seco, a atividade convectiva (SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019). Outro fator que contribui com o tempo seco é a ocorrência de bloqueios atmosféricos (MENDES *et al.*, 2005), o que, em função da posição do bloqueio, favorece uma diminuição nos valores médios de precipitação. Nota-se que no período entre abril e agosto se concentram os menores acumulados do ano (Figura 48a), concordando com o obtido por Wrege *et al.* (2012) e Grimm (2009).

Por outro lado, como resultado, o período do inverno também é marcado por uma alta frequência do JBNs que desembocam na porção oeste do Sul do Brasil, na fronteira com a Argentina e o Paraguai, com atuação média entre 20 e 40 dias na estação (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018). Neste período, esta corrente de jato é composta pelo ramo oeste da ASAS (GRIMM, 2009), e favorece a ocorrência de chuvas, em combinação com a passagem dos sistemas transientes.

Outra característica importante observada na estação mais fria é a maior participação dos horários da madrugada nos acumulados totais de precipitação, na Figura 49a nota-se que a madrugada concentra os maiores acumulados da precipitação durante o inverno, de 26% do total. Estes valores são bastante elevados, principalmente se comparados com o verão, com apenas 9%. Esta condição pode estar associada às temperaturas mais baixas nestes horários, que diminui a capacidade de retenção de vapor d'água no ar, levando a condensação, e eventualmente chuva. Visto que na madrugada observa-se os maiores valores médios do dia, o resultado não concorda com o encontrado por Filho *et al.* (2014), que mostra uma frequência de chuva menor nos horários da madrugada em relação aos demais turnos.

Entre o final do inverno e o início da primavera ocorre um aumento significativo da precipitação, com valores de acumulados médios aproximadamente 50% maiores comparando os meses de agosto e outubro (Figura 48a), passando de valores próximos a 105 mm para 160 mm. O aumento das chuvas neste período é esperado, visto que a frequência dos SCMs na primavera austral aumenta consideravelmente (RASMUSSEN *et al.*, 2016; DURKEE; MOTE; SHEPHERD, 2009), especialmente nas áreas da fronteira Oeste de SC. No caso dos CCMs, podem contribuir em valores de até 40–50% no regime de precipitação nestas áreas, apesar de existir uma grande variabilidade interanual (DURKEE; MOTE; SHEPHERD, 2009).

Em questão da representação anual, a porcentagem se eleva de 7% em agosto para 11% em outubro (Figura 48b). Nos meses da primavera se dá o início a atividade convectiva na região norte da AS, que alimenta a atmosfera com umidade através do processo de evapotranspiração. Esta umidade é transportada para outras áreas do continente sul-americano, através da atuação do JBNAS. Este sistema, ao proporcionar umidade e calor para o sul da AS, favorece a atividade convectiva e a ocorrência de SCMs, principalmente combinado a passagem de sistemas transientes (GRIMM, 2009; REBOITA *et al.*, 2012). Nesta época do ano são encontradas a maior frequência da atuação das frentes frias, junto ao inverno, com em média 4 frentes mensais (OLIVEIRA, 2023), assim como uma alta frequência do estabelecimento de

JBNAS na porção oeste do Sul do Brasil, entre 30 a 50 dias da estação (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018).

Portanto, a chuva na primavera é resultado da combinação do início da estação chuvosa, conhecido como clima de monção, em conjunto com a atuação das frentes frias e ciclones extratropicais, através do aumento significativo dos SCMs. Estas características são evidenciadas na Figura 49a. Nota-se que a participação da chuva no período da tarde cai de 26 para 25%, entretanto, ao avaliar os números absolutos, percebe-se que ocorreu um aumento da precipitação no período vespertino. Outra mudança significativa foi o aumento da precipitação no período da manhã, passando de 21 para 32% do inverno para a primavera. Este aumento aparece de forma expressiva na Figura 49b, com os valores nos horários matinais significativamente maiores em relação às demais estações do ano. Isto é um reflexo da atuação dos SCMs, que possuem formação noturna nesta época, mas se estendem ao longo da manhã. Este aumento na precipitação durante a manhã concorda com o trabalho de Filho *et al.* (2014), que mostra um aumento nos acumulados e na frequência da chuva nos horários matinais.

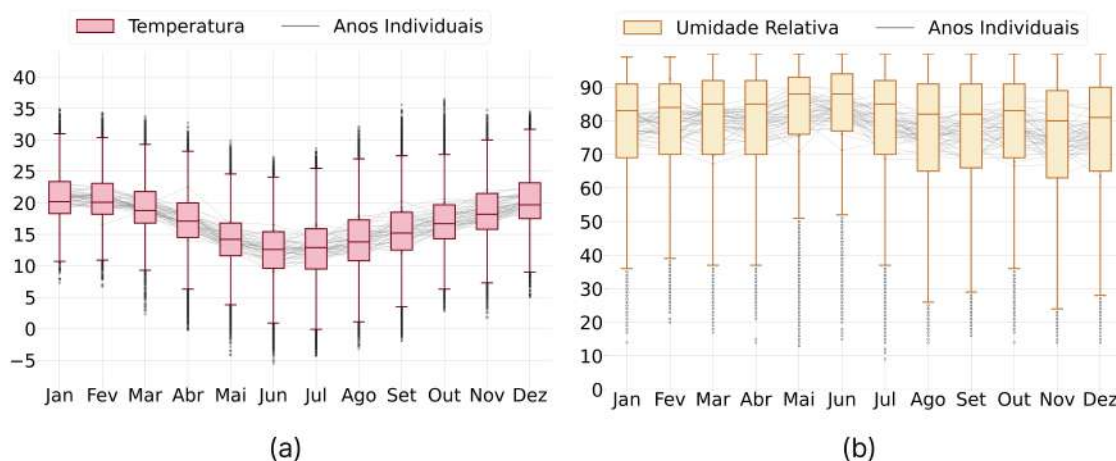
No verão austral, o JP permanece mais restrito às áreas de altas latitudes (ESCOBAR, 2009), sendo a atuação das frentes menos frequentes (OLIVEIRA, 2023) e os ciclones menos intensos, apesar de atuar com frequência elevada na costa sul-sudeste do Brasil (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018). Neste período, a atividade convectiva representa quase a totalidade dos acumulados observados. O processo se dá pela iniciação convectiva ao longo das encostas dos Andes, crescendo em SCMs que propagam para o leste (RASMUSSEN *et al.*, 2016).

Esta condição fica evidente com a chuva no período da tarde representando 48% dos valores totais (Figura 49a). Os acumulados de precipitação começam uma rápida elevação após as 12 UTC, alcançando seu máximo às 18 UTC, no horário mais quente do dia, e diminuindo aos poucos até encontrar o mínimo na madrugada. Este resultado concorda com o ciclo diurno observado por Filho *et al.* (2014) que diagnosticou um padrão marcante entre manhã e tarde durante o verão austral.

A Figura 50 mostra a distribuição da temperatura e UR referente aos dados horários em todas as estações contidas no agrupamento da Região Meio Oeste de SC, assim como a média mensal de cada um dos anos de cada estação. É possível observar que as linhas individuais possuem pouca dispersão, indicando que os valores observados são próximos ao longo do ano, corroborando com o agrupamento destas

estações. Além disso, o ciclo anual da temperatura corrobora a climatologia de Wrege *et al.* (2012), com elevação (redução) das temperaturas médias na estação de verão (inverno).

Figura 50 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.



Fonte: elaboração própria (2023).

Os dados no boxplot (Figura 50a) mostram que, no verão, o intervalo Q1-Q3 varia entre 18 °C e 23 °C, os limites superiores indicam que as tardes mais quentes desta estação alcançam valores de até 32 °C, enquanto os limites inferiores indicam que as manhãs mais frias observam temperaturas de até 9 °C. Os outliers mostram que em dias extremos, as temperaturas marcam até 35°C. No inverno, o intervalo Q1-Q3 varia entre 9 °C e 17 °C. O limite inferior mostra que as manhãs mais frias se aproximam de zero grau, enquanto as mais quentes alcançam por volta de 25°C. Os outliers mostram que as temperaturas marcaram valores negativos em eventos extremos durante este período. As estações de transição mostram valores intermediários, mas também é um período de grande amplitude térmica e com uma grande quantidade de outliers. No outono se observam desvios expressivos de frio, que se aproximam de zero grau já em abril, possivelmente associado a episódios de frio antecipado. Na primavera se destacam os extremos de calor fora de época, que superam até mesmo os observados no verão, com temperaturas que superaram os 35°C em setembro e outubro. Os trabalhos de Wrege *et al.* (2012) e Pandolfo *et al.* (2002) apresentam valores médios mensais similares, entretanto, Pandolfo *et al.* (2002) indica temperaturas médias abaixo das obtidas, entre 1 °C e 2°C, principalmente nas regiões mais altas do Meio Oeste.

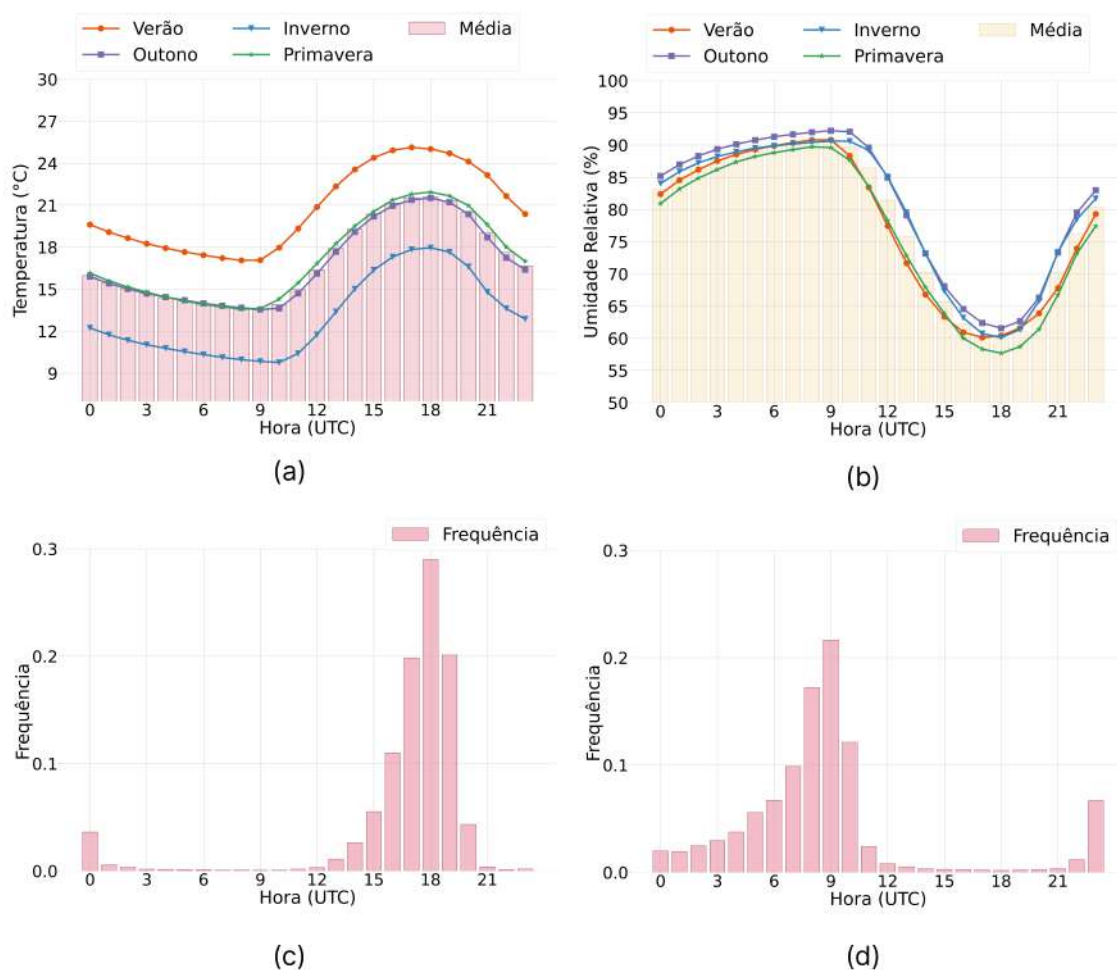
No caso da UR, a dispersão das médias mensais (Figura 50b) é maior em

relação às temperaturas e não se observa um comportamento inverso entre o verão e o inverno. No verão, os valores de umidade relativa ficam aproximadamente entre 65 e 90% no intervalo Q1-Q3. Os limites inferiores mostram que, nos horários mais quentes, são observados valores de UR abaixo de 30% em dezembro e 40% em janeiro e fevereiro. No inverno, no intervalo Q1-Q3, os valores de UR têm grande amplitude em agosto e setembro, entre 65 e 90%. Nos horários com temperaturas mais elevadas, os limites inferiores da UR ficam abaixo de 30% nesses meses. Os meses mais úmidos são maio e junho, intervalo Q1-Q3 registram valores entre 75 e 92% de UR, sendo a única época do ano em que os limites inferiores ficam acima de 50%. Os valores mensais médios concordam com o padrão observado por Pandolfo *et al.* (2002).

A Figura 51a mostra o ciclo diurno médio em cada uma das estações do ano. De forma complementar a Figura 50a, percebe-se que as temperaturas médias no verão são as mais elevadas no ano, no inverno são as menores, enquanto as estações de transição apresentam valores médios bastante similares, com as temperaturas na primavera ligeiramente maiores do que no outono no período da tarde. É possível observar que às 09 UTC são registrados os menores valores médios, seguido de uma rápida elevação das temperaturas. No outono, essa elevação ocorre de maneira menos acentuada. No inverno, as menores médias ocorrem às 10 UTC. O horário de maior temperatura média nas estações primavera, outono e inverno é 18 UTC, enquanto no verão ocorre às 17 UTC, apesar dos valores serem muito próximos. Esta mudança possivelmente ocorre pelo aumento significativo de precipitação durante as tardes nesta época do ano, o que poderia provocar um declínio nas temperaturas, devido aos processos de evaporação e diminuição na radiação solar associado a nebulosidade.

A frequência do horário de máximas (Figura 51c) mostra que às 18 UTC são observadas as máximas com maior frequência, de aproximadamente 30%, mas também uma quantidade significativa de dias observam máximas às 17 UTC e 19 UTC, aproximadamente, 20% cada. No histograma, também se verifica que em 3% dos dias observados a máxima foi registrada às 00 UTC. Este tipo de registro tipicamente está associado a dias chuvosos, ou com intensa advecção de ar frio, que impeça o ciclo diurno natural das temperaturas. As mínimas majoritariamente são observadas às 09 UTC, em aproximadamente 21% dos dias, mas nota-se que os horários da mínima são melhores distribuídos ao longo do dia. Uma das possíveis explicações é a nebulosidade, que pode atuar impedindo a perda radiativa no período noturno, segurando uma maior diminuição das temperaturas. Além disso, aproximadamente 7% dos dias a mínima ocorre às 23 UTC, possivelmente associado a dias em que uma intensa advecção de ar frio declinou as temperaturas de forma significativa, sendo mais frias do que as observadas durante a manhã no mesmo dia. Esta situação é típica da passagem de

Figura 51 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das estações A841, A859, A860, A865.

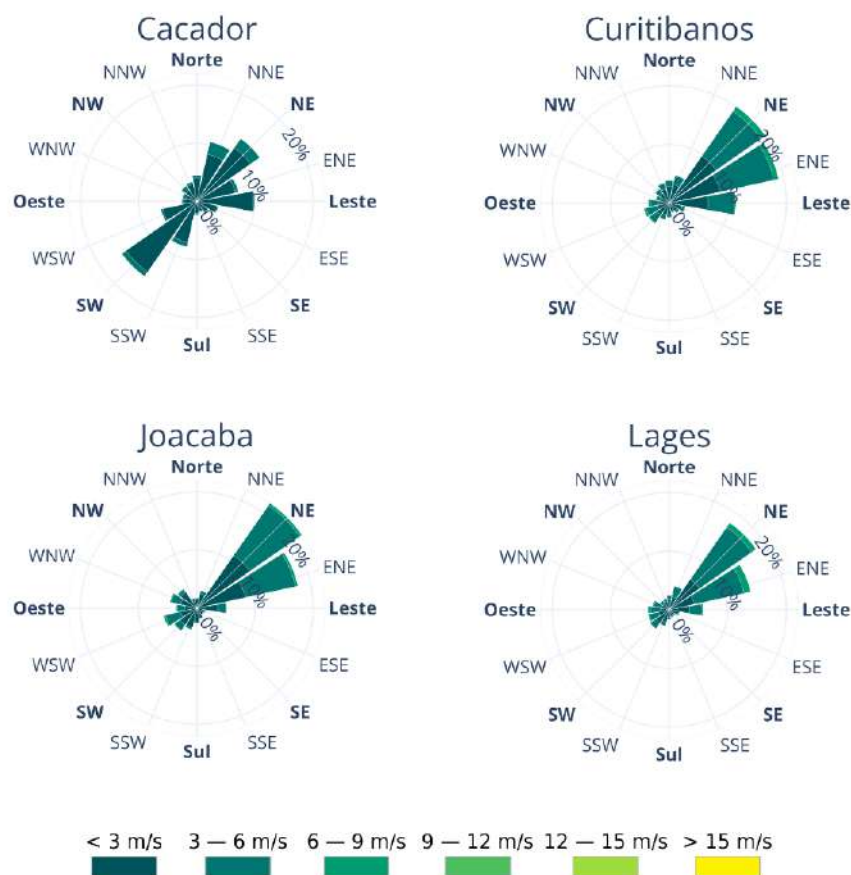


Fonte: elaboração própria (2023).

frentes frias, visto que, muitas vezes, o dia pode amanhecer com chuva, associado a instabilidades destes eventos, impedindo temperaturas tão baixas nos primeiros horários do dia.

Pelo ciclo diurno da UR (Figura 51b), nota-se um comportamento e valores parecidos ao longo do ano, entretanto, as estações primavera e verão, em quase todos os horários, possuem valores médios menores do que as demais estações do ano. Durante a manhã, a UR média alcança valores médios entre 90%, e declina de forma acentuada para 60% no período da tarde, uma variação média por volta de 30%. Além disso, nota-se no ciclo diurno a relação intrínseca, inversamente proporcional, entre a UR e a temperatura, com os menores valores de UR observados nos horários de temperatura máxima.

Figura 52 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A841, A859, A860, A865.

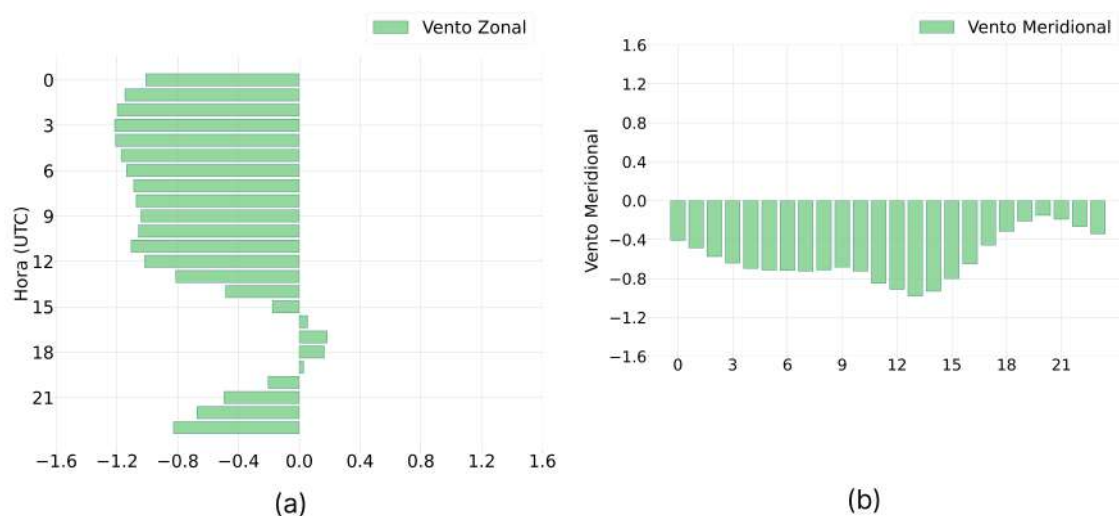


Fonte: elaboração própria (2023).

A Figura 52 apresenta as rosas dos ventos dos municípios utilizados para o agrupamento. Uma intensa componente de nordeste a leste aparece em todas as estações, em especial, se destaca o município de Curitiba, onde até 40% dos ventos apresentam direção NE ou ENE, com intensidades médias que podem registrar valores entre 6 a 9 m/s. Estas velocidades também foram observadas nos municípios de Joaçaba e Lages. Esta direção predominante pode ter relação direta com a circulação normal da ASAS, que favorece ventos nesta direção, mas também pode existir uma contribuição da topografia, que se eleva em direção a nordeste destes municípios, em direção ao Alto Vale do Itajaí e Planalto Norte.

O ciclo diurno da direção e intensidade do vento corrobora as informações mostradas, de forma predominante, os ventos têm uma componente norte e outra majoritariamente de leste (Figura 53), compondo o vento de nordeste. Além disso, nota-se um enfraquecimento da componente meridional do vento no período da tarde, enquanto a componente zonal indicou um padrão oscilatório, com mudança de vento

Figura 53 – Ciclo diurno médio (barras) da componente zonal (a) e meridional (b) do vento para a Região Meio Oeste, calculado a partir das estações A841, A859, A860, A865.



Fonte: elaboração própria (2023).

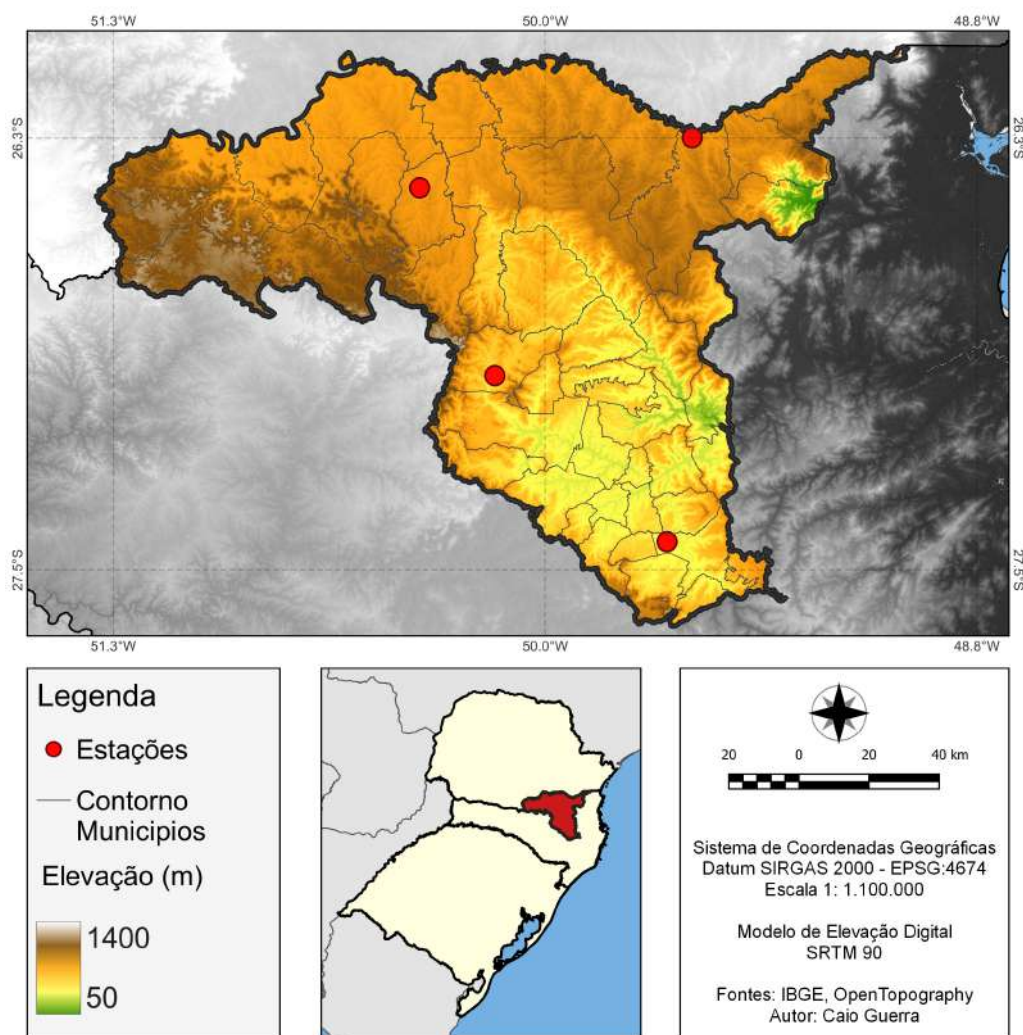
para oeste no período da tarde.

4.4.3 Planalto Norte

O Planalto Norte de Santa Catarina, localizado na parte norte do estado, engloba as geofácies do Planalto Setentrional, Planalto de Mafra e Alto Vale do Rio Itajaí-Açu (Figura 54). Esta região se destaca pela variada topografia que varia entre colinas, vales profundos e extensos planaltos. Em Porto União, no Planalto Setentrional, planícies e vales profundos marcam a paisagem. O Planalto de Mafra, por sua vez, se eleva até altitudes de 1000 metros, com terrenos que alternam entre colinas suaves e regiões mais acidentadas. O Alto Vale do Rio Itajaí-Açu é marcado por patamares esculpidos e uma topografia mais acidentada. Em sua totalidade, esta região é composta de declives e elevações, cada geofácia contribuindo para a sua complexidade (CATARINA, 2014).

A Figura 55 mostra que a região do Planalto Norte possui as chuvas bem distribuídas ao longo do ano, com máximos de precipitação observados nas estações do ano com temperaturas mais elevadas. Nesta região de SC, o clima começa a se aproximar de um padrão de monção. A primavera e o verão representam 59% da chuva observada ao longo do ano, sendo 28% na primavera e 31% no verão. O mês que mais chove é janeiro, com acumulados próximos de 175 mm em média, representando 12% da precipitação anual. Este destaque em janeiro também foi registrado por Wrege *et al.* (2012), que observou acumulados entre 180 e 190 mm nas áreas do Alto Vale do Itajaí e na divisa do Paraná com SC. Pandolfo *et al.* (2002) encontrou valores entre 130

Figura 54 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região do Planalto Norte de Santa Catarina.

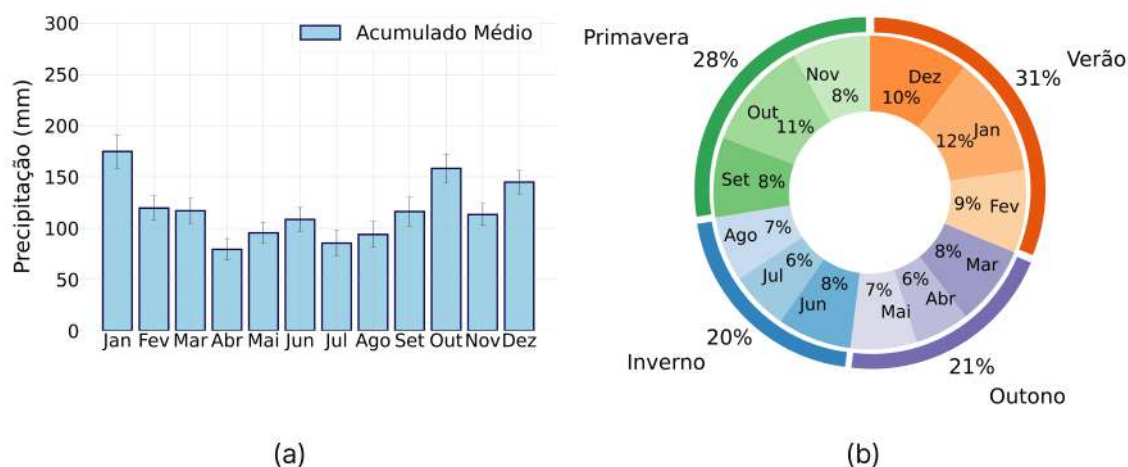


Fonte: elaboração própria (2023).

a 170 mm para esta região. Outro destaque fica para o mês de outubro, com médias próximas a 160mm, o que representa 11% do total. Estes resultados assemelham-se com o obtido por Grimm (2009), que registrou dois picos de precipitação ao longo do ano, um no início da primavera e outro no início do verão. No entanto, nos resultados da autora, os acumulados em fevereiro também eram expressivos.

Na primavera, a ocorrência das frentes frias é frequente, por volta de 4 a 5 episódios mensais (OLIVEIRA, 2023; ANDRADE, 2005). Além disso, o posicionamento médio da ASAS permite a penetração dos ventos úmidos em baixos níveis troposféricos, Este transporte de umidade favorece a ocorrência de chuva orográfica na região costeira e áreas próximas Grimm (2009), com potencial para exercer influência até as regiões do Alto Vale do Itajaí. Além disso, com a alta frequência da formação do JBNAS, entre

Figura 55 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863.



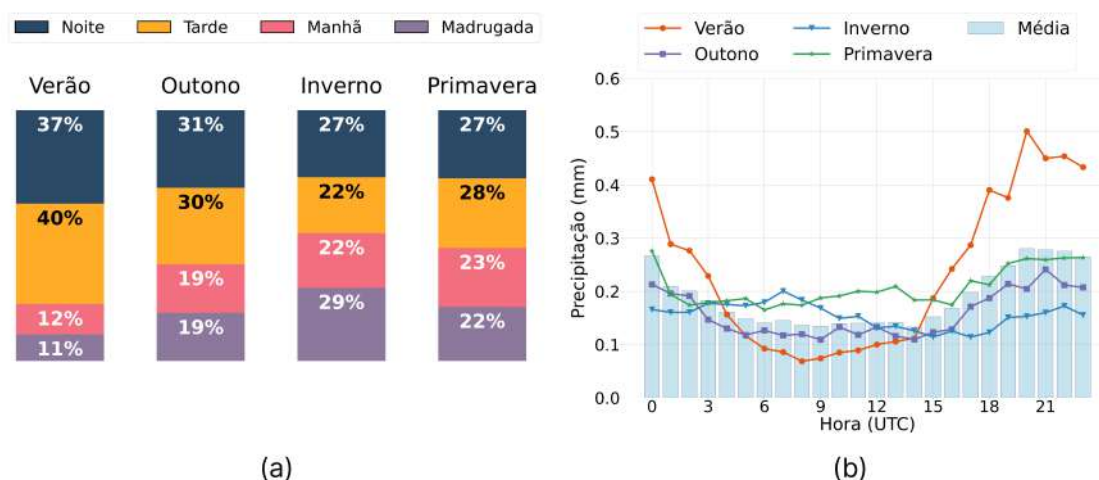
Fonte: elaboração própria (2023).

20 e 40 dias ao longo da estação (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018), o transporte de umidade e calor das áreas ao norte da AS para a Região Sul do Brasil é favorecido. Esta condição, em combinação com a atuação de ciclones extratropicais e as frentes frias, compõe a precipitação ao longo da primavera austral.

O início do período de chuvas convectivas é sinalizado na Figura 56, com o aumento significativo na precipitação do período da tarde, passando de 22% no inverno para 28% na primavera. Nota-se também um ligeiro aumento da precipitação no horário da manhã, com a primavera tendo acumulados superiores das 09 UTC às 14 UTC em relação às demais estações, indicando um possível horário preferencial das chuvas mais intensas relacionadas aos SCMs. A alta frequência dos SCMs na primavera austral favorece o aumento das chuvas na Região Sul. No caso dos CCMs, podem contribuir em valores de até 40%–50% no regime de precipitação nestas áreas, apesar de existir uma grande variabilidade espacial e interanual (DURKEE; MOTE; SHEPHERD, 2009).

No verão, o JP permanece mais restrito às áreas de altas latitudes (ESCOBAR, 2009), sendo a atuação das frentes frias menos frequentes (OLIVEIRA, 2023) e os ciclones menos intensos, apesar de atuar com frequência elevada na costa Sul e Sudeste do Brasil (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018). Assim, a atividade convectiva se consolida como a principal fonte de precipitação, elevando para 40% da chuva observada no período da tarde. Nota-se que o padrão convectivo se estende até o período da noite, que representa 37% da precipitação diária. A Figura 56b mostra

Figura 56 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863.



Fonte: elaboração própria (2023).

os acumulados aumentando gradualmente após o início do aquecimento diurno, até que alcança seu máximo às 20 UTC. Destaca-se também os menores acumulados nos horários da madrugada e matinais do ano, com apenas 11% e 12% respectivamente. Sendo assim, neste período, valores de até 77% da precipitação podem estar relacionados à atividade convectiva. Estes resultados concordam com o de Filho *et al.* (2014) que indica um aumento brusco na precipitação no período da tarde, que se estende até meados da noite nas áreas mais a leste de SC. Segundo Rasmussen *et al.* (2016), as tempestades convectivas representam a parcela majoritária das precipitações no verão, muitas vezes influenciado pela iniciação convectiva ao longo das encostas dos Andes, crescendo em SCMs que propagam para o leste.

As estações frias, com 41% do volume anual de precipitação – 20% no outono austral e 21% no inverno austral –, representam as menores parcelas, mas são relevantes na composição anual, com chuvas que registram de 70 mm a 100 mm mensais. No inverno, se tem a atuação dos ciclones extratropicais mais intensos (REBOITA; MARRAFON, 2021), e a passagem mais frequente das frentes frias, entre 4 a 5 episódios por mês, reflexo do JP em sua posição climatológica mais a norte (ESCOBAR, 2009). Entretanto, durante o inverno, estes sistemas conseguem avançar até as áreas mais centrais do país, dando espaço para sistemas de alta pressão na região (OLIVEIRA, 2023; ANDRADE, 2005). Além disso, a aproximação da ASAS ao continente faz com que seu setor ocidental estenda-se para o interior. Esse posicionamento, favorece a subsidência do ar seco, e dificulta a atividade convectiva (SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019). Nota-se que o mês de Julho apresenta

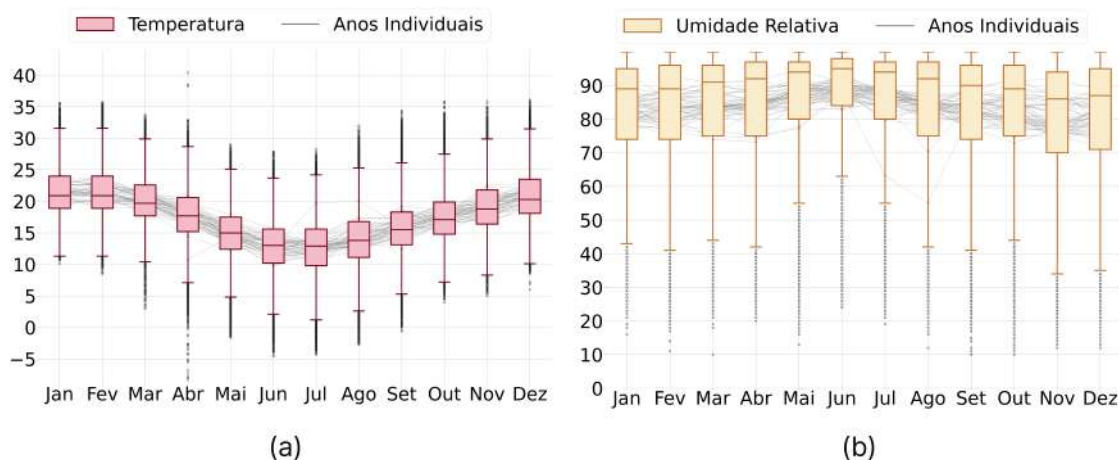
apenas 6% da precipitação anual. Outro fator que explica os menores acumulados médios de precipitação é a maior frequência de bloqueios atmosféricos observados em relação às demais estações (MENDES *et al.*, 2005).

Há pouca variação dos horários de precipitação nestas épocas do ano, com proporções bem distribuídas nos períodos do dia. Entretanto, é possível notar um resquício de atividades convectivas na estação do outono, com uma parcela de 30% no período da tarde, valor que cai significativamente no inverno, para apenas 22%. Além disso, no inverno, há um ligeiro aumento das chuvas nos horários da madrugada e manhã, que passam de 19% em ambas para 29% e 22%, respectivamente. Essa condição possivelmente está relacionada com os baixos valores de temperatura observados nesta época do ano, favorecendo a condensação do vapor d'água e, consequentemente, provocando chuva.

Os dados no boxplot (Figura 57a) mostram que, no verão, o intervalo Q1-Q3 varia entre 19 °C e 24 °C, os limites superiores indicam que as tardes mais quentes desta estação alcançam valores de até 32 °C, enquanto os limites inferiores indicam que as manhãs mais frias observam temperaturas de até 11 °C. Os outliers mostram que em dias extremos, as temperaturas marcam até 35 °C. No inverno, o intervalo Q1-Q3 varia entre 10 °C e 17 °C. O limite inferior mostra que as manhãs mais frias chegam em 2 °C, enquanto as mais quentes alcançam por volta de 25 °C. Os outliers mostram que as temperaturas marcaram valores que se aproximaram de -5 °C neste período. As estações de transição mostram valores intermediários, mas também é um período com uma grande quantidade de outliers, indicando uma maior variabilidade térmica. No outono, se observam desvios expressivos de frio, que podem ficar abaixo de 0 °C já em maio, possivelmente associado a episódios de frio antecipado. Na primavera, se destacam os extremos de calor fora de época, com temperaturas que superaram os 30 °C em setembro e outubro. Os trabalhos de Wrege *et al.* (2012) e Pandolfo *et al.* (2002) apresentam valores médios mensais similares, entretanto, Pandolfo *et al.* (2002) indica temperaturas médias abaixo das obtidas, entre 1 °C e 2 °C, principalmente nas regiões mais altas do Planalto Norte.

No caso da UR, a dispersão das médias mensais (Figura 57b) é pequena e apresenta uma maior variabilidade apenas nos meses quentes, quando a variabilidade da própria UR é maior. É possível perceber um padrão inverso em relação a temperatura, com as maiores médias de UR observadas nos meses frios, enquanto as maiores são observadas nos meses quentes. Além disso, nota-se que a região é consistentemente úmida ao longo do ano, pois apresenta valores acima de 70% no intervalo Q1-Q3 em

Figura 57 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.

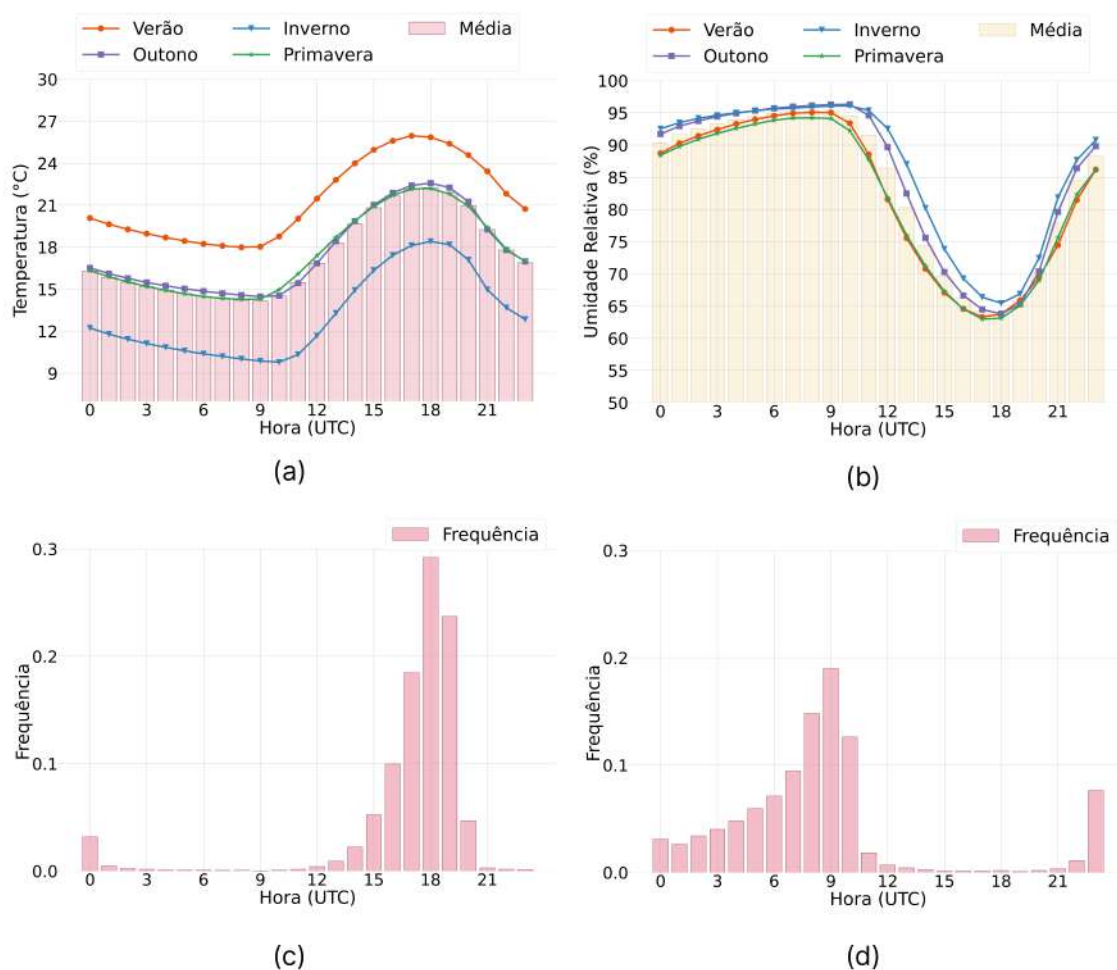


Fonte: elaboração própria (2023).

todos os meses. Além disso, o limite inferior nunca fica abaixo dos 30%. No verão, os valores de umidade relativa ficam aproximadamente entre 70% e 94% no intervalo Q1-Q3. Os limites inferiores mostram que, nos horários mais quentes, são observados valores de UR abaixo de 40% em dezembro e 50% em janeiro e fevereiro. No inverno, o intervalo Q1-Q3 fica entre 75% a 97%, com limites inferiores sempre acima de 50%, mas se destaca o mês de junho, o mais úmido do ano. Em junho, os valores de UR marcam entre 83% e 97%, nos horários mais quentes, os limites inferiores da UR ficam acima de 60%. Os valores mensais médios concordam com o padrão observado por Pandolfo *et al.* (2002), indicando valores médios elevados ao longo do ano, entretanto a média de UR observada em junho aqui fica acima de 90%, enquanto a do autor apresenta valores entre 84% a 86%.

A Figura 58a mostra o ciclo diurno médio em cada uma das estações do ano. De forma complementar a Figura 57a, percebe-se que as temperaturas médias no verão são as mais elevadas no ano, no inverno são as menores, enquanto as estações de transição apresentam valores médios similares. No verão e primavera, os menores valores médios são registrados às 09 UTC, seguido de uma rápida elevação das temperaturas. No outono, essa elevação ocorre de maneira menos acentuada. No inverno, as menores médias ocorrem às 10 UTC. O horário de maior temperatura média nas estações primavera, outono e inverno é 18 UTC, enquanto no verão ocorre às 17 UTC, apesar dos valores serem muito próximos. Esta mudança possivelmente ocorre pelo aumento significativo de precipitação durante as tardes nesta época do ano, o que poderia provocar um declínio nas temperaturas.

Figura 58 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das estações A862, A864, A861, A863.



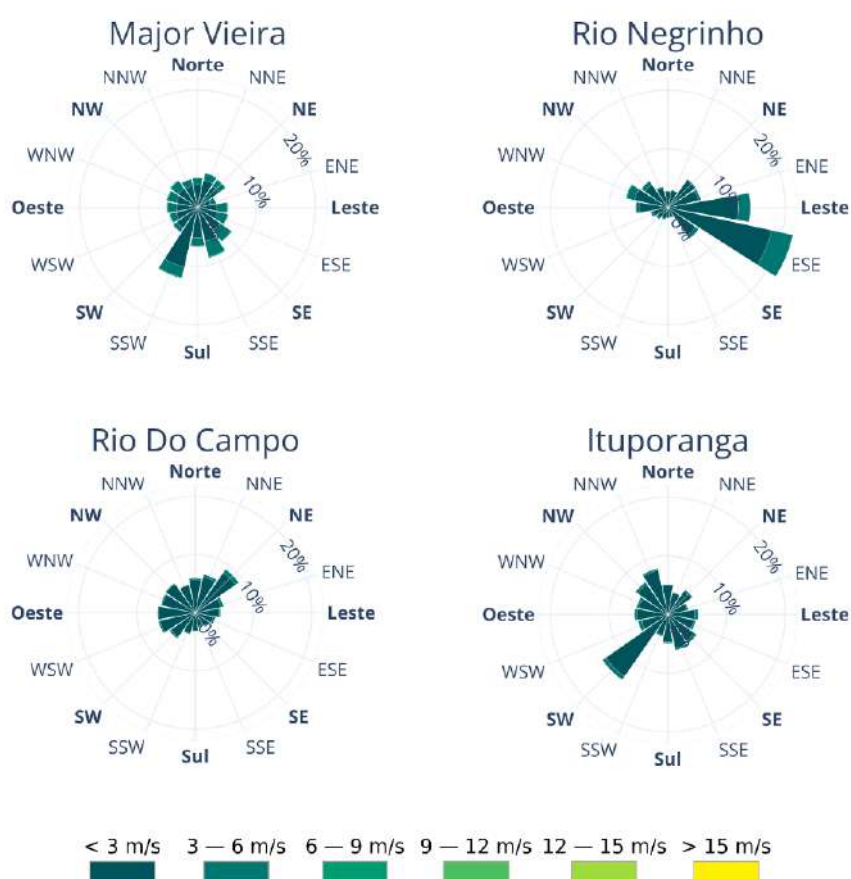
Fonte: elaboração própria (2023).

Após a temperatura máxima, se observa um declínio acentuado das temperaturas. A frequência do horário de máximas (Figura 58c) mostra que às 18 UTC são observadas as máximas com maior frequência, de aproximadamente 30%, mas também uma quantidade significativa de dias observam máximas às 19 UTC, de aproximadamente 24%. No histograma, também se verifica que em 3% dos dias observados a máxima foi registrada às 00 UTC. Este tipo de registro tipicamente está associado a dias chuvosos, ou com intensa advecção de ar frio, que impeça o ciclo diurno natural das temperaturas. As mínimas majoritariamente são observadas às 09 UTC, em aproximadamente 18% dos dias, mas nota-se que os horários da mínima são melhores distribuídos ao longo da manhã, em especial às 08 UTC e 10 UTC, com 15% e 13%, respectivamente. Além disso, aproximadamente 8% dos dias a mínima ocorre às 23 UTC, possivelmente associado a dias em que uma intensa advecção de ar frio declinou as temperaturas de forma significativa, sendo mais frias do que as observadas durante

a manhã no mesmo dia. Esta situação é típica da passagem de frentes frias, visto que, muitas vezes, o dia pode amanhecer com chuva, associado a instabilidades destes eventos, impedindo temperaturas tão baixas nos primeiros horários do dia.

Através do ciclo diurno da UR (Figura 58b), nota-se um comportamento semelhante ao longo do ano, entretanto, as estações primavera e verão, em quase todos os horários, possuem valores médios menores do que as demais estações do ano. Durante a manhã, a UR média alcança valores médios de até 95%, e declina de forma acentuada para 65% no período da tarde. Além disso, nota-se no ciclo diurno a relação intrínseca, inversamente proporcional, entre a UR e a temperatura, com os menores valores de UR observados nos horários de temperatura máxima.

Figura 59 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A862, A864, A861, A863.



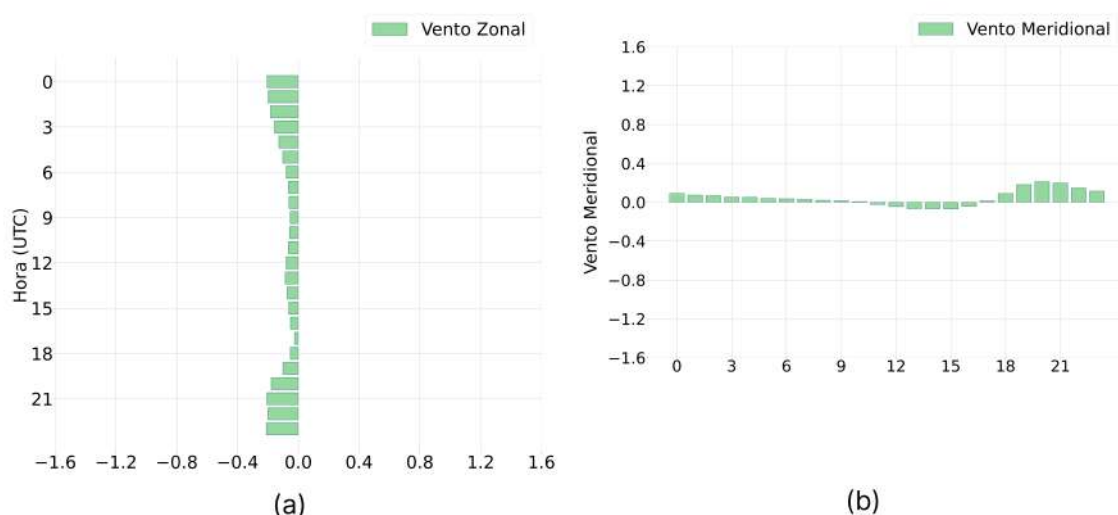
Fonte: elaboração própria (2023).

A Figura 59 apresenta a rosa dos ventos dos municípios utilizados no método de agrupamento. Nota-se que, para os municípios de Rio do Campo, Ituporanga e Major Vieira, em grande parte, não existe direção predominante dos ventos. A exceção fica para Rio Negrinho, que possui uma componente de direção leste e ESE, que

representa um pouco mais de 30% dos registros, sendo provável que uma condição local favoreça esta condição, visto que as demais estações não apresentam nada similar. Os ventos nessa região sopram em grande parte com valores abaixo de 3 m/s, mas podem alcançar valores de até 6 m/s em todas as direções.

A Figura 60 corrobora com o observado nas rosas dos ventos, visto que a intensidade do vento médio é relativamente baixa ao longo de todo o dia. Além disso, não há um ciclo diurno claro neste valor médio dos ventos. É possível que: i) as estações meteorológicas apresentaram padrões diferentes, tendo assim, contaminado o valor médio da região, não sendo representativa para uma análise, ou ii) os ventos sopram com intensidade fraca e não possuem padrão definido ao longo do dia.

Figura 60 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A862, A864, A861, A863.

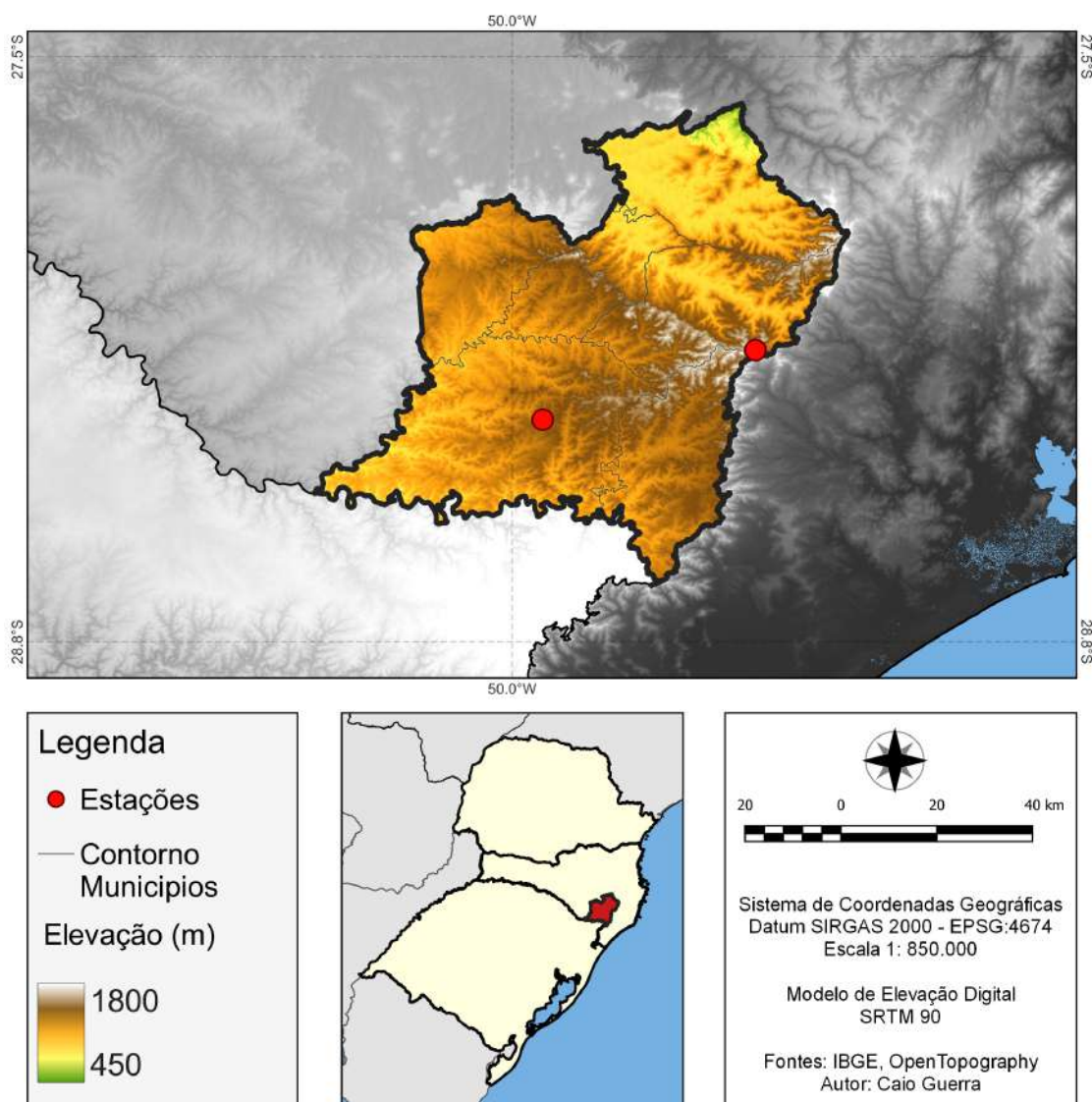


Fonte: elaboração própria (2023).

4.4.4 Serra do Planalto Sul

O Planalto Serrano, localizado na parte mais elevada do Planalto Sul Brasileiro, engloba as geofácies do Planalto Central, Planalto de Lages e a Escarpa da Serra Geral. A Escarpa da Serra Geral, destaca-se com sua topografia marcante, incluindo cânions profundos e altitudes que ultrapassam os 1.200 metros. A paisagem do Planalto Serrano foi moldada ao longo do tempo por eventos geológicos antigos, como atividades vulcânicas e movimentos tectônicos. O Planalto de Lages e o Planalto Central aparecem como área de transição, possuindo características bastante diversificadas, como colinas e vales. Juntas, essas regiões oferecem ao Planalto Serrano uma ampla diversidade topográfica. (CATARINA, 2014).

Figura 61 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região da Serra do Planalto Sul de Santa Catarina.

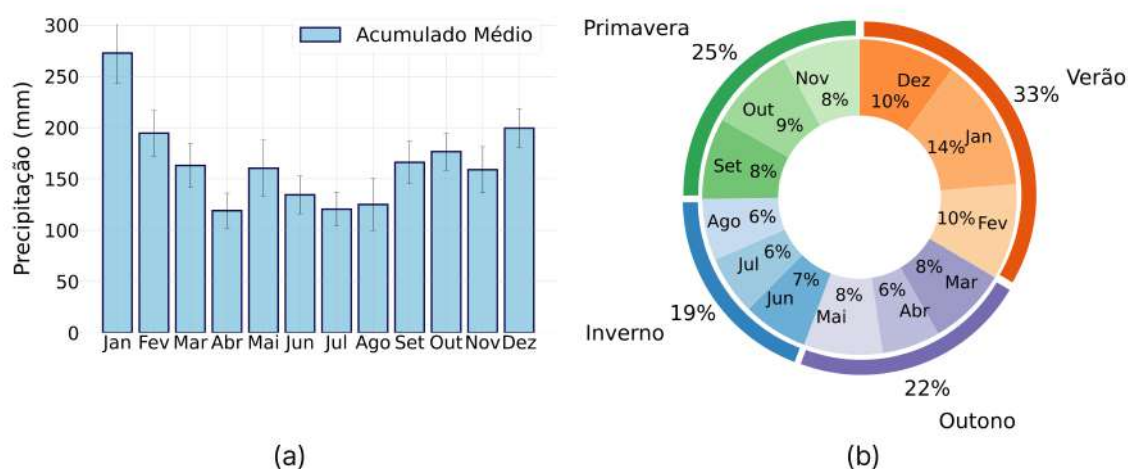


Fonte: elaboração própria (2023).

Os acumulados médios mensais de precipitação, apresentados na Figura 62, mostram que a chuva é bem distribuída ao longo do ano, porém as estações de primavera (SON) e verão (DJF) representam a maior parcela dos totais anuais, acumulando 25% e 33%, respectivamente. Os acumulados apresentam um ligeiro aumento na primavera, porém é no mês de janeiro que alcança o máximo de precipitação, com acumulados médios de 270 mm, representando 14% do total anual. Os meses de dezembro e fevereiro também apresentam acumulados expressivos, com valores médios de até 200 mm, sendo que cada mês representa 10% do total anual.

A primavera marca o início da atividade convectiva na região norte da AS,

Figura 62 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A815 e A845.



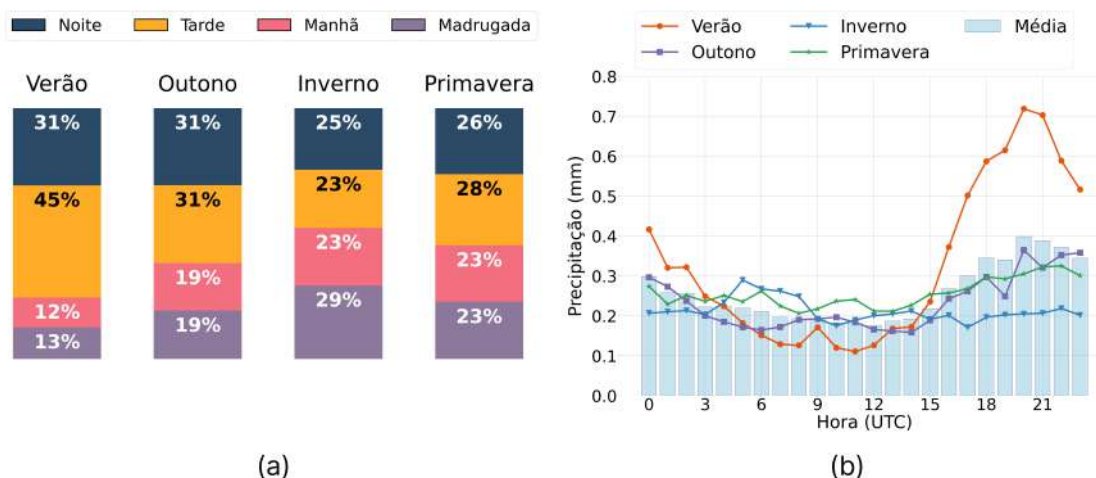
Fonte: elaboração própria (2023).

condições tipicamente associadas ao clima de monção. Nesta época do ano, a atuação das frentes frias é bastante frequente, entre 4 a 5 frentes mensais (OLIVEIRA, 2023; ANDRADE, 2005). Com a alta frequência da formação do JBNAS, entre 20 e 40 dias ao longo da estação (OLIVEIRA; NASCIMENTO; KANNENBERG, 2018), o transporte de umidade e calor das áreas ao norte da AS para a região sul é favorecido. A combinação da atuação das frentes frias, ciclones extratropicais e o transporte de calor, compõe a precipitação neste período, em conjunto com a alta frequência dos SCMs na primavera austral. No caso dos CCMs, apesar de existir uma grande variabilidade interanual, a contribuição atinge valores de até 11%–20% no regime de precipitação na Região Sul, (DURKEE; MOTE; SHEPHERD, 2009). Este efeito pode ser observado no aumento da precipitação matinal, superando os horários das demais estações do ano, assim como um aumento da atividade convectiva, com a precipitação no período da tarde passando de 23% para 28% (Figura 63). O aumento da precipitação ocorre a partir das 14 UTC, subindo gradualmente até atingir seu pico no final da tarde e início da noite, entre às 21 e 22 UTC, diminuindo aos poucos até a madrugada.

No verão, com o aumento da disponibilidade de calor e umidade, a atividade convectiva é predominante, representando 45% da precipitação no período da tarde, com o máximo ocorrendo às 20 UTC, mas ainda se mantendo nos horários noturnos (somando 31%) e contribuindo com a atividade de SCMs, que também tem atuação noturna durante o verão. Segundo Rasmussen *et al.* (2016), as tempestades convectivas representam a parcela majoritária das precipitações no verão, muitas vezes influenciado pela iniciação convectiva ao longo das encostas dos Andes que auxiliam a propagação dos SCMs para leste. Este padrão concorda com o observado por Filho

et al. (2014), com aumento brusco da precipitação no período da tarde, podendo se estender até o final do dia. Nota-se no ciclo diurno uma diminuição da chuva nos horários da madrugada e matinais, representando apenas 24% no total. Um fator que favorece a chuva neste período é o posicionamento médio da ASAS, mais distante da costa, e com extensão reduzida. Essa configuração transporta umidade do Oceano Atlântico ao continente (REBOITA *et al.*, 2019) e intensifica a penetração dos ventos de leste à superfície, promovendo chuvas orográficas, especialmente na Serra do Mar (GRIMM, 2009). Neste período, a passagem de frentes frias é menos frequente, entre 3 a 4 sistemas por mês (OLIVEIRA, 2023). Nas áreas a sul de SC, a frequência é maior em relação às regiões a norte no verão, devido ao deslocamento típico para leste nesta época do ano (CARDOZO *et al.*, 2015; PAMPUCH; AMBRIZZI, 2015). Além disso, a passagem destes sistemas resulta em mudança dos ventos para direção sudeste (RODRIGUES; FRANCO; SUGAHARA, 2004), reforçando o transporte de umidade do oceano para o continente, portanto, favorecendo também a precipitação orográfica.

Figura 63 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A815 e A845.



Fonte: elaboração própria (2023).

Os acumulados pluviométricos no verão (DJF) estão entre os maiores observados em SC e a topografia também contribui nestes acumulados. Vale destacar que esta região foi composta de apenas duas estações, sendo que esses valores médios elevados têm influência principalmente da estação de Bom Jardim da Serra. Nas climatologias de Wrege *et al.* (2012), Grimm (2009) e Pandolfo *et al.* (2002), o padrão da chuva aparece, porém esses máximos não são observados, portanto, trata-se de uma característica local observada na estação, possivelmente associada à altitude de 1800 m onde a mesma foi instalada, no Morro da Igreja.

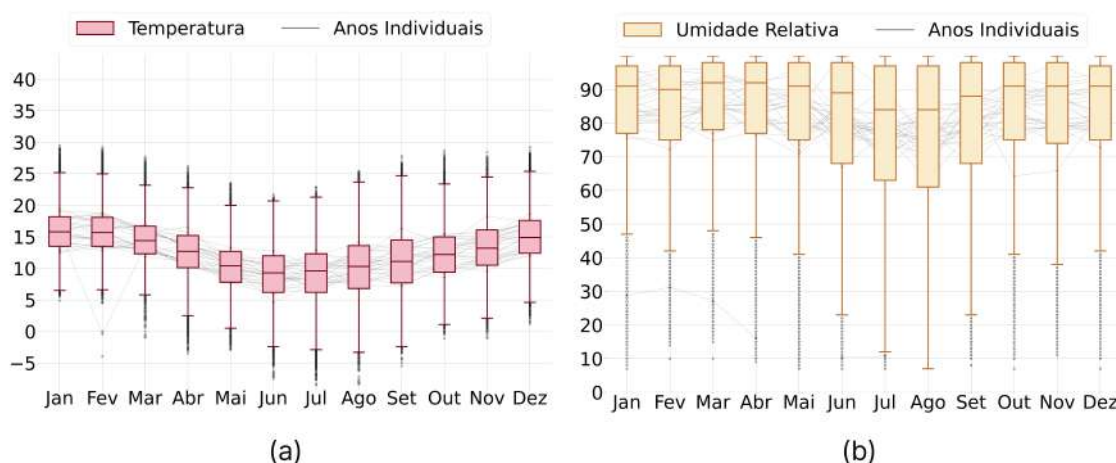
Nas estações frias a atividade convectiva diminui consideravelmente, diminuindo de 44% para 31% a precipitação vespertina (Figura 63). Em contrapartida, ocorre um aumento significativo da precipitação nos horários da madrugada e matinais. No inverno, a precipitação no período da madrugada é responsável pela maior parcela ao longo do dia, de 29%, enquanto o período da manhã e tarde apresenta os menores, de 23% cada. Neste período, as frentes frias ocorrem com frequência de 4 a 5 por mês (OLIVEIRA, 2023; ANDRADE, 2005), reflexo do JP em sua posição climatológica mais a norte (ESCOBAR, 2009). No entanto, muitas vezes, as frentes frias deslocam-se rapidamente, avançando para as áreas mais centrais do país, dando espaço para regiões de alta pressão (ANDRADE, 2005). Os baixos valores de precipitação no período da tarde podem ser resultado da aproximação da ASAS no continente, seu setor ocidental estende-se para o interior, dificultando, através do movimento subsidente do ar seco, a atividade convectiva (SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019). Outro fator que explica os menores acumulados médios de precipitação é a maior frequência de bloqueios atmosféricos observados no inverno em relação às demais estações (MENDES *et al.*, 2005).

No ciclo diurno, nota-se que as curvas da precipitação se elevam nos horários noturnos das estações de outono (MAM) e inverno (JJA). Esta condição possivelmente está associada com as menores temperaturas observadas nestes horários, que favorecem a condensação do vapor d'água, resultando na formação de nebulosidade e eventualmente, de precipitação. Vale ressaltar também que no inverno as frentes frias são mais frequentes (OLIVEIRA, 2023) e os ciclones extratropicais mais intensos (REBOITA; MARRAFON, 2021), sendo estes os responsáveis principais pela precipitação neste período.

Os dados no boxplot da Figura 64a mostram que, no verão, o intervalo Q1-Q3 varia entre 13 °C e 18 °C. os limites superiores indicam que as tardes mais quentes desta estação alcançam valores de até 25 °C, enquanto os limites inferiores indicam que as manhãs mais frias observam temperaturas de até 6 °C. Os outliers mostram que, mesmo em dias de calor excessivo, as temperaturas marcam valores abaixo de 30 °C nestas estações. No inverno, o intervalo Q1-Q3 varia entre 6 °C e 13 °C, as menores do estado. O limite inferior mostra que as manhãs mais frias marcam valores de até -3 °C, enquanto as mais quentes alcançam valores de 20 °C a 23 °C. Os outliers mostram que as temperaturas marcaram valores abaixo de -5 °C em eventos extremos durante este período. As estações de transição mostram valores intermediários, mas também é um período de grande amplitude térmica, especialmente na primavera. No mês de setembro, os limites inferiores e superiores vão de -3 °C para 25 °C, podendo observar valores próximos às maiores e menores temperaturas do ano. No outono, a

amplitude térmica é menor, mas já apresentam, em eventos extremos, episódios de frio antecipado, os quais podem registrar valores negativos desde março. Os trabalhos de Wrege *et al.* (2012) e Pandolfo *et al.* (2002) apresentam valores médios mensais similares, identificando os extremos nos pontos mais altos.

Figura 64 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A815 e A845. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.



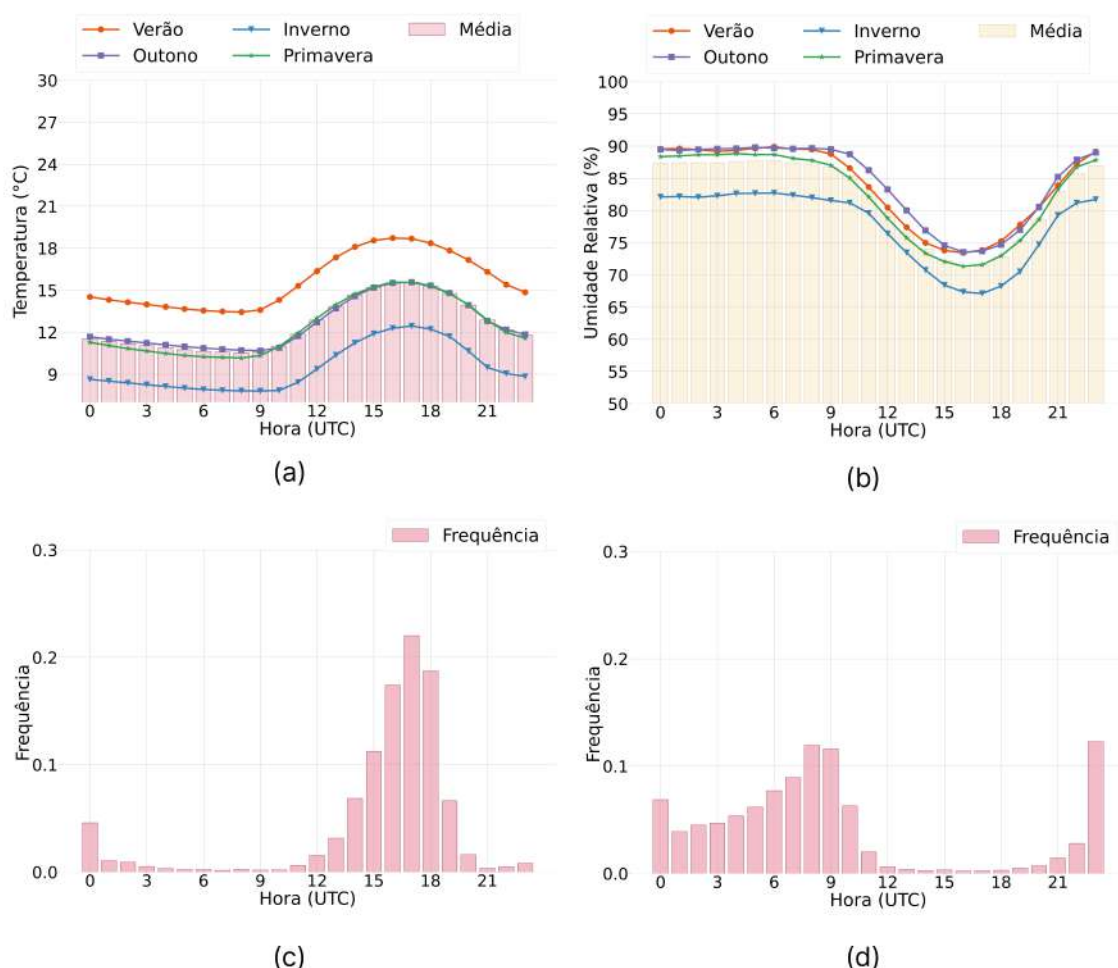
Fonte: elaboração própria (2023).

No caso da UR, a dispersão das médias mensais (Figura 64b) é grande, apresentando os menores valores de UR entre o inverno e a primavera. No verão, os valores de umidade relativa ficam aproximadamente entre 75% e 95% no intervalo Q1-Q3. Os limites inferiores mostram que, nos horários mais secos, são observados valores de UR entre 40% e 50%. No inverno, no intervalo Q1-Q3, os valores de UR marcam entre 61% a 95%, mas o destaque fica para os limites inferiores, que têm uma expressiva variação, mostrando que nos horários mais secos a umidade se aproxima de 10%, principalmente entre Julho e Agosto. Apesar dos extremos, os valores mensais médios concordam com o padrão observado por Pandolfo *et al.* (2002), na casa dos 80% a 85%.

A Figura 65a mostra o ciclo diurno médio em cada uma das estações do ano. De forma complementar a Figura 64a, percebe-se que as temperaturas médias no verão são as mais elevadas no ano, no inverno são as menores, enquanto as estações de transição apresentam valores médios bastante similares. Nota-se que em nenhuma estação do ano as temperaturas médias ficam acima de 20°C. Os menores valores médios são observados às 08 UTC no verão e primavera, enquanto no inverno e outono marcam entre 09 UTC e 10 UTC. Ao longo da tarde, as temperaturas sobem

gradualmente. O horário de maior temperatura média nas estações primavera, outono e inverno é 17 UTC, enquanto no verão ocorre às 16 UTC. A frequência do horário de máximas (Figura 65c) mostra que, com maior frequência, às 17 UTC são observadas as máximas, em aproximadamente 22% dos dias, mas também uma quantidade significativa de dias observam máximas às 16 UTC e 18 UTC, aproximadamente, 17% e 18% respectivamente. No histograma, também se verifica que em 3% dos dias observados a máxima foi registrada às 00 UTC. Este tipo de registro tipicamente está associado a dias chuvosos, ou com intensa advecção de ar frio, que impeça o ciclo diurno natural das temperaturas.

Figura 65 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das estações A815 e A845.



Fonte: elaboração própria (2023).

As mínimas não têm horário preferencial de ocorrência, mas na maior frequência ocorrem às 08 UTC, 09 UTC e 23 UTC, em aproximadamente 12% dos dias cada. Nota-se que os horários da mínima são melhores distribuídos ao longo da

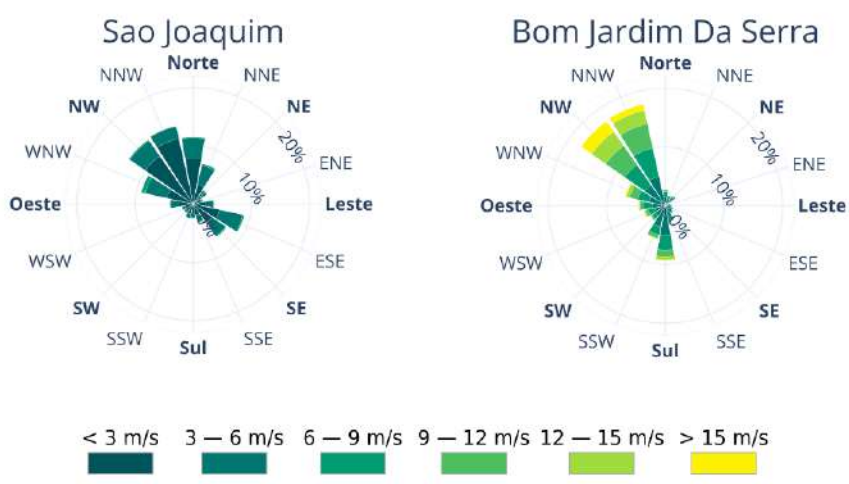
manhã. Os dias onde as máximas ocorrem às 23 UTC estão possivelmente associados a dias em que uma intensa advecção de ar frio declinou as temperaturas de forma significativa, sendo mais frias do que as observadas durante a manhã no mesmo dia. Esta situação é típica da passagem de frentes frias, visto que, muitas vezes, o dia pode amanhecer com chuva, associado a instabilidades destes eventos, impedindo temperaturas tão baixas nos primeiros horários do dia. Outra possível explicação está associada aos intensos declínios de temperatura associada a perda radiativa, nesta situação, a advecção fria não é essencial para observar a mínima no período da noite, sendo necessário apenas um dia de céu aberto, após um amanhecer com temperaturas ligeiramente mais altas.

O ciclo diurno da UR (Figura 65b), nota-se um comportamento similar ao longo do ano, entretanto, durante o inverno a umidade relativa observada é significativamente menor do que as demais estações do ano. Durante a manhã, a UR média alcança valores médios entre 90%, e declina para valores entre 70% e 75% no período da tarde. No inverno, esses valores ficam entre 65% e 75%. Além disso, nota-se no ciclo diurno a relação intrínseca, inversamente proporcional, entre a UR e a temperatura, com os menores valores de UR observados nos horários de temperatura máxima. Com a menor amplitude térmica ao longo do dia nesta região, percebe-se uma pequena variação diurna da UR de forma similar.

A Figura 66 apresenta a rosa dos ventos dos municípios utilizados no agrupamento. Os ventos na região são predominantes do quadrante norte, entretanto, existe uma diminuição significativa na frequência nas direções Nordeste a Leste, o que pode representar um bloqueio dos ventos nesta direção, devido ao intenso declive da Serra do Mar, assim, nestes municípios, os ventos de norte tem componente Noroeste e NNW. Existe também uma componente de sul dos ventos, possivelmente associada a passagem de sistemas transientes, que representa por volta de 10% a 20% dos dados. Em Bom Jardim da Serra, é representada pela direção Sul e SSW, em São Joaquim, Sudeste e ESE. Vale mencionar também a diferença na intensidade dos ventos nestes dois pontos, também associada à diferença de altitude. Enquanto para São Joaquim, as maiores intensidades do vento alcançam 6 a 9 m/s em poucos horários, em Bom Jardim da Serra estas velocidades são comuns, podendo alcançar valores acima de 15 m/s.

Por fim, a Figura 67 indica a média das componentes meridional e zonal dos ventos. Os ventos meridionais tem componente predominante de norte, com um comportamento oscilatório associado ao ciclo diurno. Os valores máximos são observa-

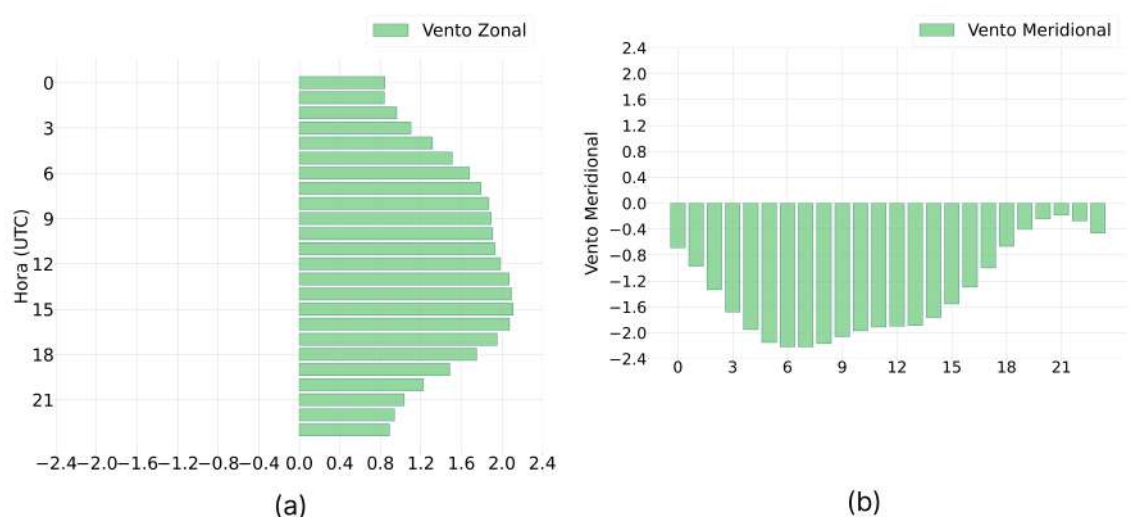
Figura 66 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A815 e A845.



Fonte: elaboração própria (2023).

dos às 09 UTC, e enfraquece gradualmente até às 21 UTC, e volta a ganhar força ao longo da noite e madrugada. Na componente zonal, também existe um comportamento oscilatório, porém não tão expressivo. Os máximos ocorrem às 11 UTC e os mínimos às 00 UTC.

Figura 67 – Ciclo diurno médio (barras) da componente zonal (a) e meridional (b) do vento para a Região Serra e Planalto Sul, calculado a partir das estações A815 e A845.

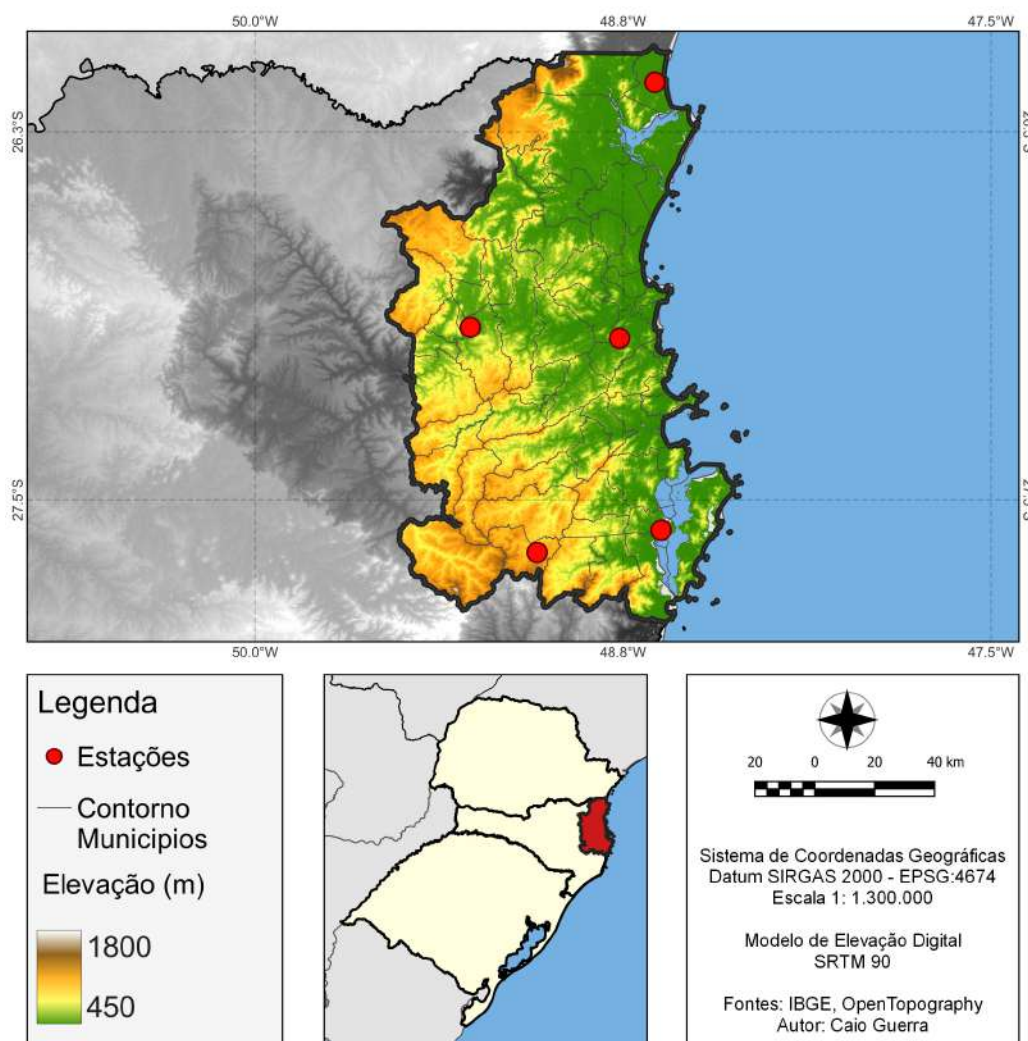


Fonte: elaboração própria (2023).

4.4.5 Litoral Norte

A região do Litoral Norte é composta pelas geofácies Mar de Morros, Serra do Mar, Planície Norte e Planície Central (Figura 68).

Figura 68 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região do Litoral Norte de Santa Catarina.



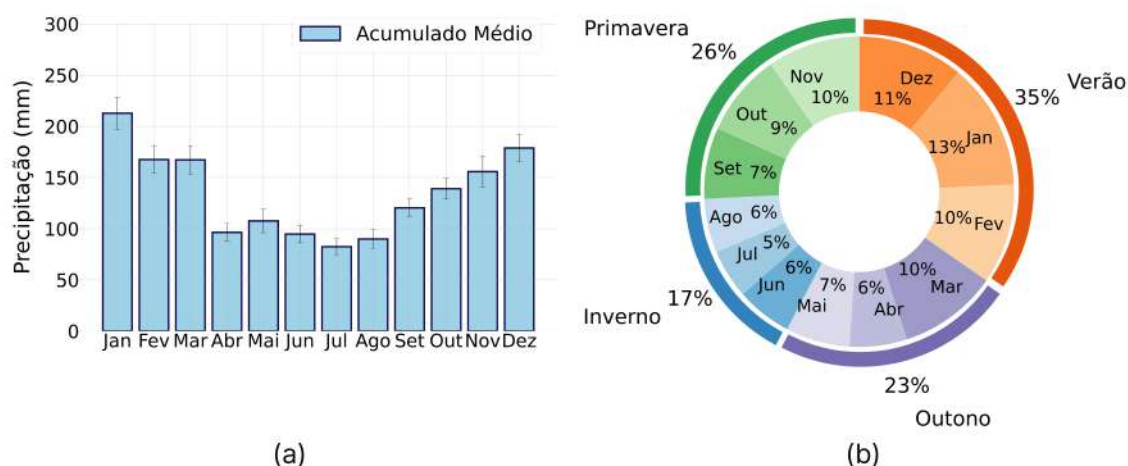
Fonte: elaboração própria (2023).

Estendendo-se desde a Grande Florianópolis até Joinville, ela abrange também parte do médio vale do Itajaí. A geografia local é marcada pela presença de planícies, serras, vales fluviais e uma faixa costeira que inclui várias ilhas, como a notável Ilha de São Francisco do Sul. O Rio Itajaí-Açu desempenha um papel importante na região, especialmente no Baixo e Médio Vale do Itajaí. A Planície Norte e a Planície Central são predominantemente aplainadas, com altitudes inferiores a 30 metros. Essas áreas são flanqueadas por serras e morros, com destaque para a Serra do Mar, que possui morros de escarpas íngremes, alcançando altitudes superiores a 1.000

metros. Os vales são esculpidos por rios que, em sua maioria, deságuam no oceano, formando enseadas e estuários. Ademais, a região conhecida como Mar de Morros, que se estende até a costa, é caracterizada por morros de topos arredondados e vales encaixados (CATARINA, 2014).

A distribuição de precipitação ao longo do ano mostra que não existe estação seca no Litoral Norte (Figura 69), porém, um claro clima com características de monção se apresenta aqui, com a maior parcela da precipitação nas estações de primavera e verão austral, representando 26% (35%) dos volumes totais observados no ano para a primavera (verão) e uma menor parcela de 17% e 23% no inverno e outono, respectivamente. Este padrão foi identificado também no trabalho de Grimm (2009).

Figura 69 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.



Fonte: elaboração própria (2023).

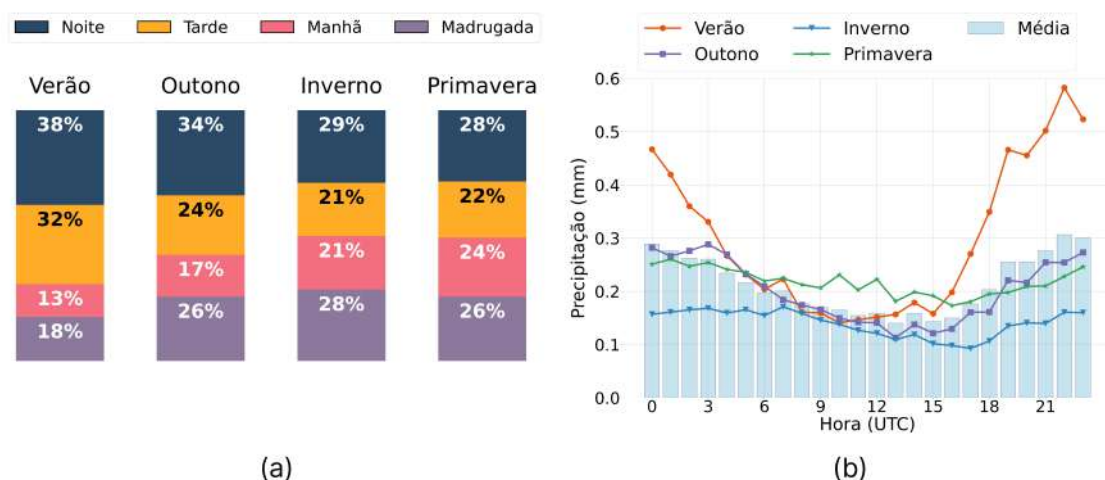
Os maiores acumulados são observados no mês de Janeiro, com valores médios de 210 mm, o que representa 13% da precipitação do ano. Os máximos observados em janeiro nesta região, com valores acima de 200 mm, também foram observados por Wrege *et al.* (2012) e Pandolfo *et al.* (2002). Os meses de novembro, dezembro, fevereiro e março também são representativos, com acumulados médios acima de 150 mm e ao menos 10% dos acumulados anuais. Nesta época do ano, a ASAS apresenta uma extensão zonal reduzida e posiciona-se mais distante da costa, essa configuração favorece o transporte umidade do Oceano Atlântico ao continente (REBOITA *et al.*, 2019) e intensifica a penetração dos ventos de leste em superfície, promovendo chuvas orográficas, especialmente na Serra do Mar (GRIMM, 2009). Além disso, o transporte de ventos quentes e úmidos das áreas ao norte da AS,

através do JBNAS, modulados pela atuação dos ventos alísios e alimentados pela evapotranspiração da Amazônia, favorece a ocorrência de tempestades na região sul do Brasil. A atuação frequentes de frentes frias e ciclones extratropicais também compõem a precipitação observada na primavera, principalmente em contraste com as massas de ar mais quentes do norte.

Na primavera, se observa um ligeiro aumento na precipitação durante o período matutino, que se eleva de 21% (JAS) para 24% (OND). Porém, ao observar o ciclo diurno, nota-se que a precipitação durante o período da manhã é consideravelmente maior nesta estação do que nas demais. Esta condição pode ser explicada pela alta frequência dos SCMs na primavera austral, que favorece o aumento das chuvas na Região Sul. No caso dos CCMs, podem contribuir em valores de até 11% a 20% no regime de precipitação na Região Sul, apesar de existir uma grande variabilidade interanual (DURKEE; MOTE; SHEPHERD, 2009). Vale ressaltar que, apesar do aumento da precipitação em setembro, Wrege *et al.* (2012) identificou picos próximos a 200 mm na região, que não foram identificados neste trabalho.

No verão, o JP permanece mais restrito às áreas de altas latitudes (ESCOBAR, 2009). Como consequência, a atuação dos sistemas frontais é menos frequente (OLIVEIRA, 2023), entre 3 a 4 por mês. Após seu avanço, estes sistemas comumente modulam o escoamento dos ventos para sudeste (RODRIGUES; FRANCO; SUGAHARA, 2004). Nas áreas litorâneas, este componente pode servir como reforço para as chuvas orográficas. Nesta época, os ciclones são menos intensos, e a precipitação é em grande parte resultado de atividade convectiva, através de tempestades locais (células isoladas) e SCMs. Nota-se uma mudança no padrão das chuvas através da Figura 70, com um aumento na precipitação no período vespertino e noturno, passando de 22% na primavera para 32% no verão, de 28% para 38% à noite. Observa-se nas curvas das diferentes estações do ano que a precipitação média começa a aumentar a partir das 15 UTC, com pico observado às 22 UTC no verão, mostrando que a atividade convectiva inicia durante a tarde, mas alcança seus máximos de precipitação no período noturno. Considerando os períodos do dia, a atividade convectiva chega a somar 70% da precipitação total do dia. Este resultado concorda com Rasmussen *et al.* (2016), o autor encontrou que as tempestades convectivas representam a parcela majoritária das chuvas no verão, muitas vezes influenciado pela iniciação convectiva ao longo das encostas dos Andes, causando a formação de SCMs que se propagam para o leste. Este aumento brusco a partir da tarde, se estendendo até meados da noite, também aparece nos resultados de Filho *et al.* (2014).

Figura 70 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.



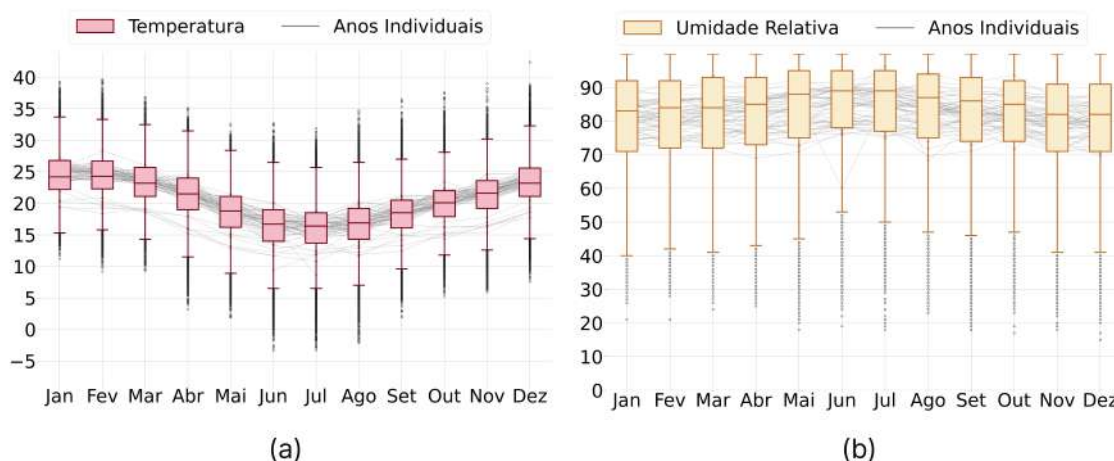
Fonte: elaboração própria (2023)

A partir do mês de abril os acumulados começam a cair na região, permanecendo com acumulados baixos até o mês de agosto, meses que representam apenas de 5% a 7% dos valores anuais. Os acumulados somam valores de 80 a 110 mm mensais. Nesta época do ano, quando a ASAS se aproxima do continente, seu setor ocidental estende-se para o interior, dificultando, através do movimento subsidente do ar seco, a atividade convectiva (SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019). Outro fator que explica os menores acumulados médios de precipitação é a maior frequência de bloqueios atmosféricos em relação às demais estações (MENDES *et al.*, 2005). Em contrapartida, neste período, as frentes frias ocorrem com frequência de 4 a 5 por mês (OLIVEIRA, 2023; ANDRADE, 2005), reflexo do JP em sua posição climatológica mais a norte (ESCOBAR, 2009), e os ciclones são mais intensos (REBOITA; MARRAFON, 2021), sendo estes os fatores responsáveis pela precipitação nestas estações do ano. Nota-se também um aumento da precipitação nos horários da madrugada, de 18% para 26% no outono, e alcançando até 28% no inverno. Entretanto, as curvas dos acumulados são equiparáveis aos horários da madrugada. Assim, as diferenças na participação da chuva neste período estão relacionadas com a diminuição da precipitação no período vespertino e noturno. Nota-se que em todos os horários a chuva média do verão supera o inverno.

A Figura 71a apresenta os boxplots das temperaturas mensais e os anos individuais através das linhas. Nota-se que existem linhas destoantes das médias observadas, com médias abaixo da maior concentração de observações. Foi verificado que estas linhas representam a estação de Rancho Queimado, localizada na região

serrana da Grande Florianópolis, a 881 m de altitude. Nesta região, as temperaturas são consideravelmente mais baixas do que nas áreas das planícies, que se encontram a nível do mar.

Figura 71 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas.



Fonte: elaboração própria (2023)

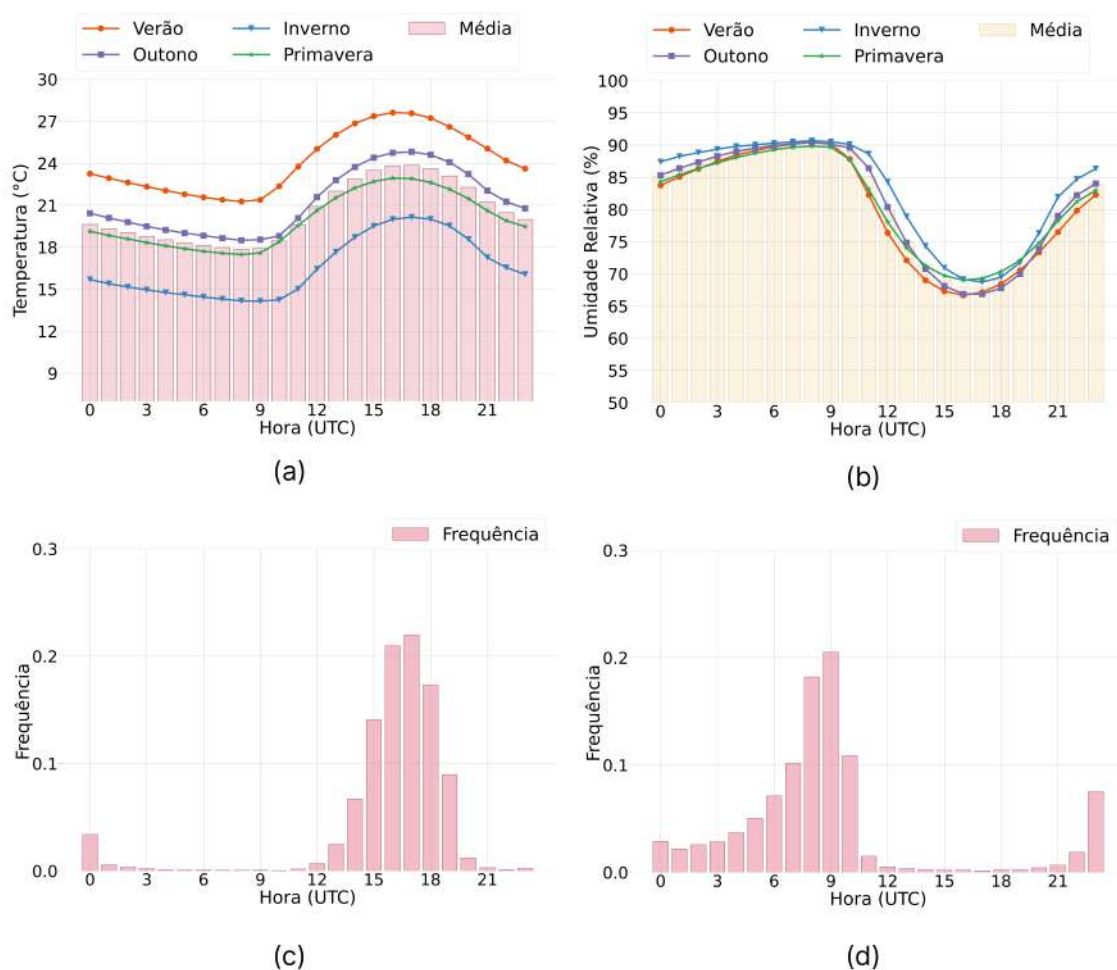
Os dados no boxplot (Figura 71a) mostram que, no verão (DJF), o intervalo Q1-Q3 varia entre 23 °C e 27 °C, os limites superiores indicam que as tardes mais quentes se aproximam de 34 °C, enquanto os limites inferiores indicam que as manhãs mais frias observam temperaturas de até 14 °C. Os outliers mostram que, em dias extremos, as temperaturas superam 35 °C, podendo se aproximar de 40°C. No inverno (JJA), o intervalo Q1-Q3 varia entre 14 °C e 18 °C. O limite inferior mostra que as manhãs mais frias marcam por volta de 6 °C, enquanto as mais quentes alcançam por volta de 26 °C. Os outliers mostram que as temperaturas se aproximam de valores negativos em eventos extremos durante este período. As estações de transição (outono e primavera) apresentam valores intermediários e com uma grande quantidade de outliers, tanto para frio quanto para eventos de calor. Comparando estas duas estações do ano, os meses de outono austral apresentam maior variabilidade das temperaturas em comparação com a primavera. Meses como abril e maio, apresentam diferenças por volta de 20°C dos limites inferiores aos limites superiores, enquanto na primavera não passam de 15°C de diferença, como nos meses setembro e outubro. Os trabalhos de Wrege *et al.* (2012) e Pandolfo *et al.* (2002) apresentam valores médios mensais similares na maior parte do ano, entretanto, Wrege *et al.* (2012) observou valores abaixo de Pandolfo *et al.* (2002) e deste trabalho entre os meses de Fevereiro e Abril, entre 1 °C a 2°C.

No caso da UR, a dispersão das médias mensais (Figura 71b) é maior que as temperaturas, e observa os maiores valores de UR durante o inverno. Ao longo de todo o ano, os valores de UR ficam acima de 70%, e o limite inferior nunca passa de 40%. No verão, os valores de UR ficam entre 70% e 91% no intervalo Q1-Q3. Os limites inferiores mostram que, nos horários mais secos, são observados valores de UR próximos de 40%. No inverno, no intervalo Q1-Q3, os valores de UR têm menor amplitude, marcando entre 73% e 92%. Nos horários mais aquecidos do dia, os limites inferiores marcam valores por volta de 50%. Os valores mensais médios concordam com o padrão observado por Pandolfo *et al.* (2002), se aproximando de 80% ao longo de todo o ano, com os maiores valores entre maio e julho.

A Figura 72a mostra o ciclo diurno médio em cada uma das estações do ano. De forma complementar a Figura 71a, percebe-se que as temperaturas médias no verão são as mais elevadas no ano, no inverno são as menores, enquanto que as estações de transição apresentam valores médios bastante similares, com as temperaturas no outono um pouco maiores do que na primavera. É possível observar que às 09 UTC são registrados os menores valores médios, seguido de uma rápida elevação das temperaturas em todas as estações. O horário de maior temperatura média ocorre às 16 UTC, no verão e primavera, enquanto no outono e inverno ocorre às 17 UTC, apesar da diferença entre os valores ser pequena. Esta mudança possivelmente ocorre pelo aumento de precipitação durante as tardes nesta época do ano, o que poderia provocar um declínio nas temperaturas.

De forma complementar, a frequência do horário de máximas (Figura 72c) mostra que às 16 UTC e 17 UTC são observadas as máximas com maior frequência, em aproximadamente 21% e 22% dos dias, respectivamente, mas também uma quantidade significativa de dias observam máximas às 15 UTC e 18 UTC, com 14% e 17% cada. No histograma, também se verifica que em 3% dos dias observados a máxima foi registrada às 00 UTC. Este tipo de registro tipicamente está associado a dias chuvosos, ou com intensa advecção de ar frio, que impeça o ciclo diurno natural das temperaturas. As temperaturas mínimas, majoritariamente, são observadas às 09 UTC e 08 UTC, em aproximadamente 20% e 17% dos dias, respectivamente. No entanto, nota-se que os horários da mínima são bem distribuídos ao longo da manhã. Além disso, aproximadamente 7% dos dias a temperatura mínima ocorre às 23 UTC, possivelmente associado a dias em que uma intensa advecção de ar frio declinou as temperaturas de forma significativa, sendo mais frias do que as observadas durante a manhã no mesmo dia. Esta situação é típica da passagem de frentes frias, visto que, muitas vezes, o dia pode amanhecer com chuva, associado a instabilidades destes eventos, impedindo temperaturas tão baixas nos primeiros horários do dia.

Figura 72 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.



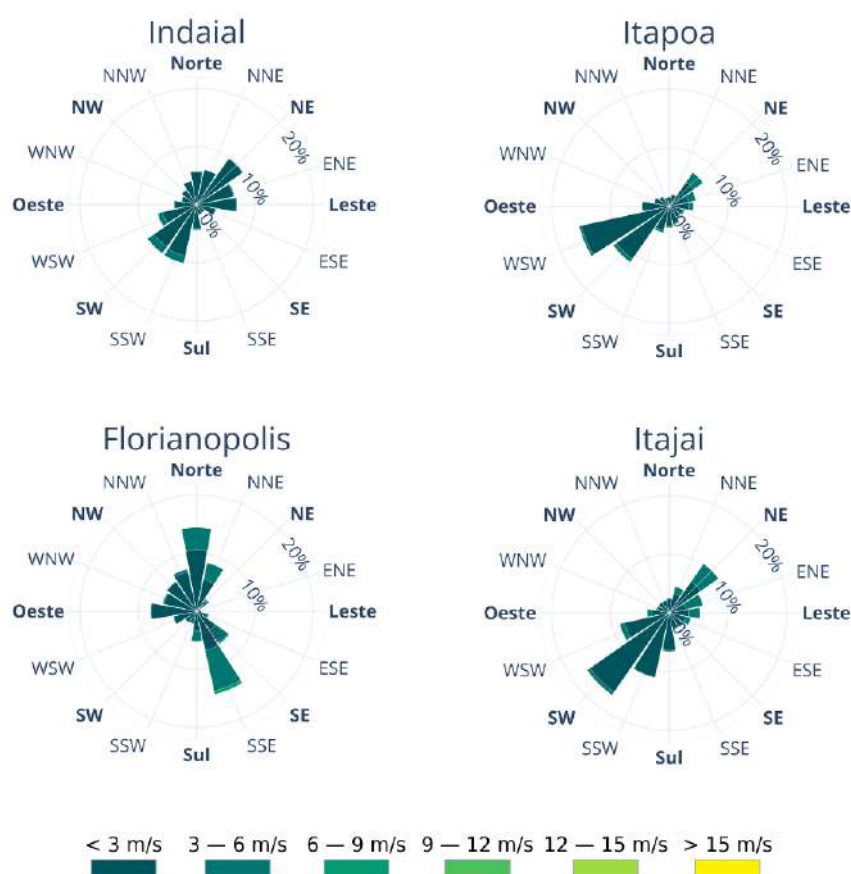
Fonte: elaboração própria (2023)

O ciclo diurno da UR (Figura 72b), apresenta um comportamento e valores similares ao longo do ano. Durante a manhã, a UR média alcança valores médios entre 90%, e declina de forma acentuada para valores entre 65% e 70% no período da tarde. Durante a tarde, as estações mais secas são o verão (DJF) e outono (MAM), enquanto no inverno (JJA) e primavera (SON) são mais úmidas. Além disso, nota-se no ciclo diurno a relação intrínseca, inversamente proporcional, entre a UR e a temperatura, com os menores valores de UR observados nos horários de temperatura máxima.

A Figura 73 apresenta a rosa dos ventos nas estações utilizadas no agrupamento. Nota-se que existem duas direções preferenciais da circulação, uma de quadrante nordeste, bem destacada nas estações de Itajaí, Itapoá, e Indaial, e outra de componente sudoeste. Com a Figura 74 percebe-se que se trata de um padrão oscilatório de brisa. Durante o período noturno, o vento zonal (valores positivos com

direção de oeste para leste) (Figura 74a) soprou em direção ao oceano, horário em que a TSM está superior à temperatura da superfície no continente. A partir das primeiras horas da manhã, os ventos começam a enfraquecer, reduzindo consideravelmente sua intensidade após as 12 UTC. Além disso, o sentido do vento é invertido às 14 UTC e alcança seu máximo entre 18 UTC e 19 UTC, isto é, sopra do oceano para o continente no período da tarde, enfraquecendo gradualmente até voltar ao sentido inicial às 2 UTC. O horário de entrada da brisa marítima e terrestre está contido nos horários encontrados por Prudêncio, Franco e Nery (2017), para os municípios de Florianópolis e São Francisco do Sul. Um padrão parecido é observado no vento meridional (valores positivos com direção de sul para norte), mas com menor intensidade. Os ventos sopram com intensidade predominante abaixo de 3 m/s, mas frequentemente observam velocidades entre 3 a 6 m/s. Velocidades acima de 6 m/s começam a ser mais raras.

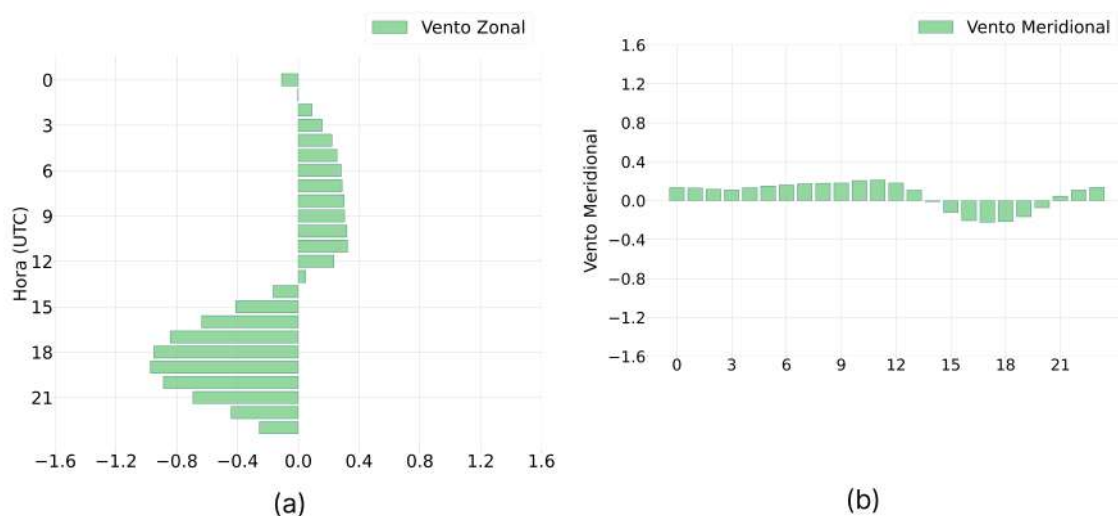
Figura 73 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.



Fonte: elaboração própria (2023)

Vale mencionar que o padrão aparece ligeiramente diferente no município de Florianópolis. Os ventos apresentam uma componente de norte bastante significativa,

Figura 74 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A851, A817, A868, A806, A870.



Fonte: elaboração própria (2023)

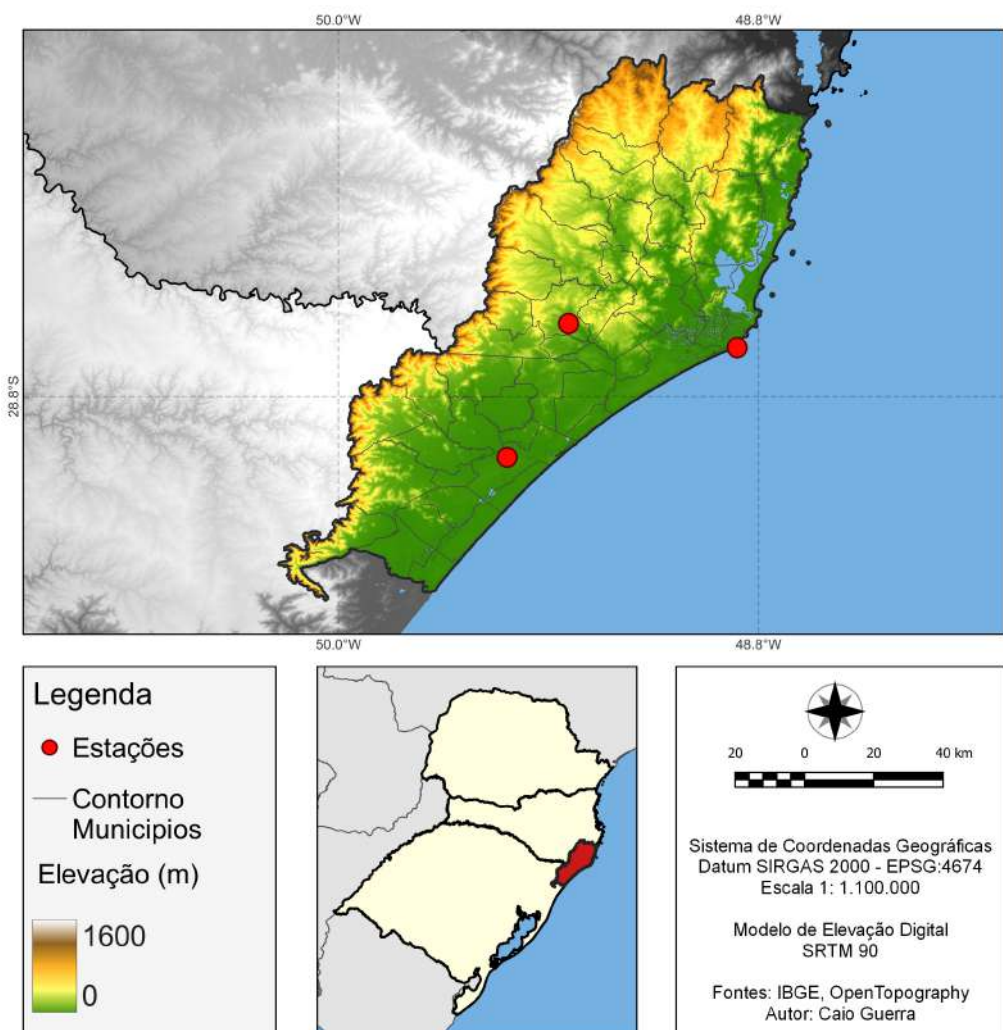
enquanto a componente leste quase não aparece. Também nota-se que os ventos de sul predominam de direção Sul e SSE, e pouco aparece da componente Sudoeste, como nos demais municípios. Uma possível explicação seriam as barreiras geográficas existentes na região, a estação de Florianópolis se localiza no município de São José, num trecho estreito de terra, vizinho à parte continental da capital Florianópolis. A leste, se posiciona a Ilha de Santa Catarina (Florianópolis), podendo funcionar como uma grande barreira para o padrão de ventos. A sudoeste, outra componente dos ventos faltantes nesta estação, se localiza o Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, onde são encontrados picos elevados, como o Morro do Cambirela, que se aproxima a 1000 m de altitude. A norte e a sul, se localizam a Baía Norte e as Baías Sul e de São José, região que permitiria a canalização dos ventos. Além disso, vale lembrar os resultados obtidos por Oliveira, Nascimento e Kannenberg (2018), que indica a ocorrência de JBNAS de componente sul na região da Grande Florianópolis, com os máximos observados nesta região podendo estar associados a este sistema.

4.4.6 Litoral Sul

O Litoral Sul de Santa Catarina é composto pelas geofácies Planície Sul, Serra do Tabuleiro, Bacia Carbonífera e Escarpa da Serra Geral. Esta região se estende desde o sul da Grande Florianópolis até a divisa com o Rio Grande do Sul (Figura 75). Caracteriza-se por uma faixa costeira extensa, entrecortada por estuários e lagoas, como a Lagoa do Imaruí e a Lagoa do Sombrio. A Planície Sul é marcada por vastas áreas de restingas com lagoas e cordões arenosos. A Serra do Tabuleiro, por sua vez, alcança altitudes em torno de 800-900 metros. A Bacia Carbonífera representa uma

faixa deprimida entre as serras do Tabuleiro e Geral, caracterizada por terrenos mais baixos e vales mais abertos. Finalmente, a Escarpa da Serra Geral contorna apenas a região sul, representando uma notável transição topográfica entre a costa e os platôs do interior (CATARINA, 2014).

Figura 75 – Distribuição Geográfica da topografia (m) da Região do Litoral Sul de Santa Catarina.

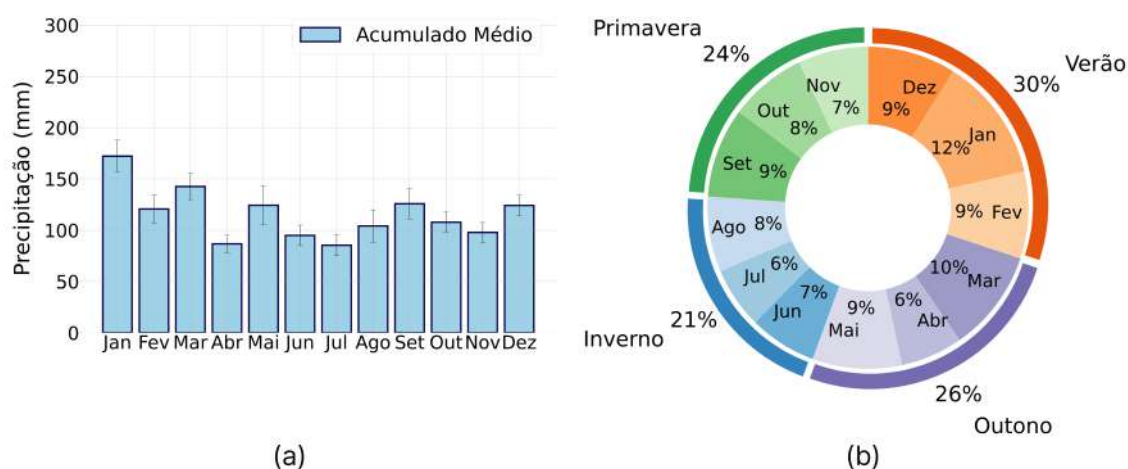


Fonte: elaboração própria (2023)

A precipitação no Litoral Sul de SC é bem distribuída ao longo do ano, mas tem sua maior parcela observada no verão austral (Figura 76), representando 30% do total anual. O mês de Janeiro concentra os maiores acumulados, com médias por volta de 170 mm, o que representa 12% do total.

Nos meses de verão (DJF), a ASAS apresenta uma extensão zonal reduzida e posiciona-se mais distante da costa. Esta configuração favorece o transporte de umidade do Oceano Atlântico ao continente (REBOITA *et al.*, 2019) e intensifica a

Figura 76 – Distribuição média mensal (mm) e desvio padrão (a) e porcentagem em relação ao total anual (b) da precipitação, calculada a partir das estações A866, A814, A867.



Fonte: elaboração própria (2023)

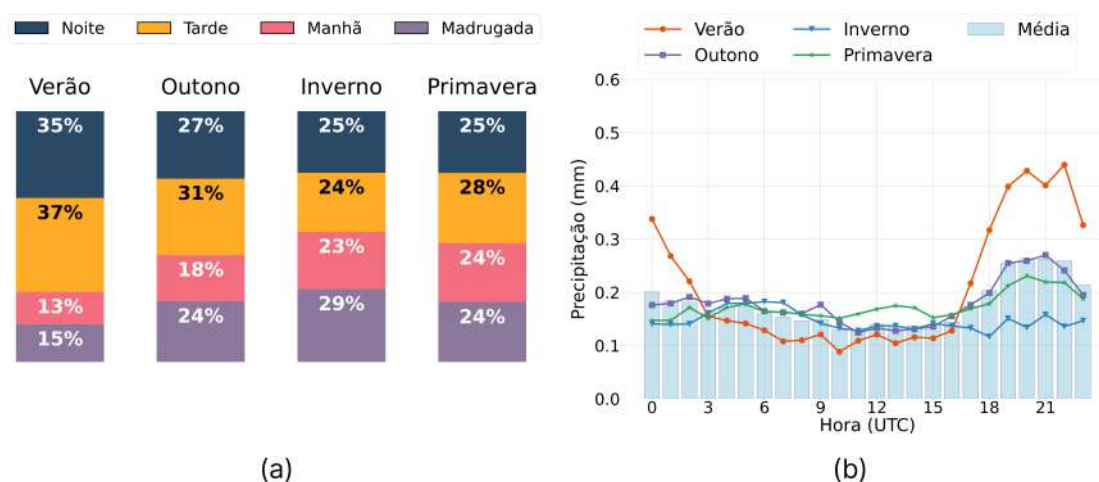
penetração dos ventos de leste em superfície, promovendo chuvas orográficas, especialmente na Serra do Mar (GRIMM, 2009). Ainda, o JP permanece mais restrito às áreas de altas latitudes (ESCOBAR, 2009) e a atuação das frentes frias é menos frequente (OLIVEIRA, 2023). Apesar disso, as frentes têm frequência maior nesta época no extremo sul do que nas demais regiões de SC (CARDOZO *et al.*, 2015; PAMPUCH; AMBRIZZI, 2015). A passagem das frentes apresenta um deslocamento para leste, modulando os ventos de sudeste em direção às regiões costeiras (RODRIGUES; FRANCO; SUGAHARA, 2004), o que pode reforçar os ventos úmidos do oceano, contribuindo com as chuvas orográficas. Segundo Rasmussen *et al.* (2016), as tempestades convectivas representam a parcela majoritária das precipitações no verão.

Na primavera, com as temperaturas mais elevadas e a maior disponibilidade de umidade, transportada tanto pela presença da ASAS quanto pela atuação do JBNAS, ocorre aumento significativo na atividade convectiva, que compõem a precipitação nesta época. Além disso, a alta frequência dos SCMs na primavera austral favorece o aumento das chuvas na Região Sul. Os CCM, podem contribuir em valores de até 11% a 20% no regime de precipitação na Região Sul, apesar de existir uma grande variabilidade interanual (DURKEE; MOTE; SHEPHERD, 2009).

O sinal da atividade convectiva fica claro na Figura 77b, onde a precipitação no verão (DJF) fica abaixo das demais ao longo da madrugada e manhã. No início da tarde (16 UTC) ocorre um aumento nos valores de precipitação média, que atinge seu pico ao longo da tarde e se estende até o início da noite no verão, decaindo até encontrar seu mínimo na madrugada. É evidente esta condição no aumento da parcela

de precipitação no período vespertino (Figura 77a), passando de 28% na primavera (SON) para 37% no verão (DJF), e de 25% para 35% no período noturno.

Figura 77 – Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia (a) ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária (b), calculada a partir das estações A866, A814, A867.



Fonte: elaboração própria (2023)

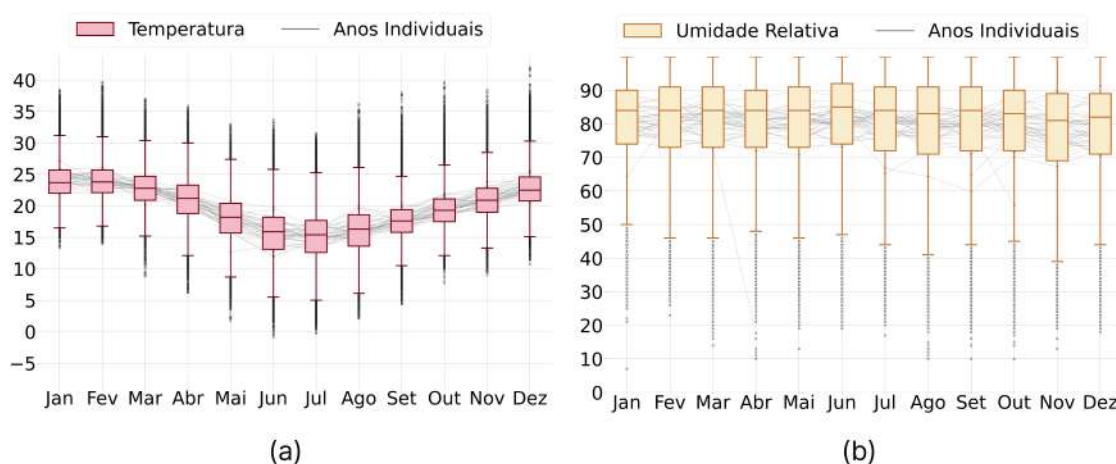
Os menores índices pluviométricos ocorrem nas estações mais frias, entre o outono e o inverno. Nesta época, quando a ASAS se aproxima do continente, seu setor ocidental estende-se para o interior, dificultando, através do movimento subsidente do ar seco, a atividade convectiva (SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019). Outro fator que explica os menores acumulados médios de precipitação é a maior frequência de bloqueios atmosféricos, no inverno, em relação às demais estações (MENDES *et al.*, 2005). Os menores acumulados ocorrem nos meses de Abril, Junho e Julho, com 6%, 6% e 7% do total anual, respectivamente, mas ainda acumulam valores de até 80mm, não caracterizando uma estação seca. Os mínimos observados nesta época concordam com Pandolfo *et al.* (2002). Entretanto, Wrege *et al.* (2012) não identificou valores de precipitação mensal abaixo de 100 mm no Litoral Sul.

As curvas do ciclo diurno indicam o outono austral com um aumento de precipitação no período da tarde, mais significativo do que a primavera. Esse resultado é corroborado pelos resquícios da atividade convectiva no mês de março, concordando com o obtido por Grimm (2009) que indica o trimestre chuvoso entre Dezembro e Março. Enquanto isso, ao longo do inverno, a distribuição da precipitação é quase homogênea ao longo do dia, com um ligeiro aumento no horário noturno, apresentando valores similares às demais estações, com exceção do verão. Neste período, a passagem frequente de frentes frias nas áreas litorâneas compõem a precipitação, assim como a

atuação dos ciclones extratropicais.

Os dados no boxplot (Figura 78a) mostram que, no verão, o intervalo Q1-Q3 varia entre 23 °C e 26 °C. Os limites superiores indicam que as tardes mais quentes desta estação alcançam valores de até 31 °C, enquanto que os limites inferiores indicam que as manhãs mais frias registam temperaturas de até 15 °C. Os outliers mostram que em dias extremos, as temperaturas podem passar de 35°C. No inverno, o intervalo Q1-Q3 varia entre 13 °C e 18 °C. O limite inferior mostra que as manhãs mais frias se aproximam de 5 °C, enquanto as mais quentes alcançam por volta de 25 °C. Os outliers mostram que as temperaturas se aproximam de zero grau em eventos extremos durante este período. As estações de transição mostram valores intermediários. No outono (MAM), se observa uma amplitude térmica maior do que na primavera, desconsiderando os pontos extremos, com diferenças de aproximadamente 20 °C entre os limites superiores e inferiores, enquanto na primavera, não passa de 15°C. Os trabalhos de Wrege *et al.* (2012) e Pandolfo *et al.* (2002) apresentam valores médios mensais similares.

Figura 78 – Diagrama de boxplots de temperatura (C) a 2 m (a) e umidade relativa (b) horárias, calculada a partir das estações A866, A814, A867. As linhas representam os anos individuais das estações selecionadas



Fonte: elaboração própria (2023)

No caso da UR, a dispersão das médias mensais (Figura 78b) é maior em relação às temperaturas e não se observa um comportamento inverso entre o verão e o inverno. Os valores médios de UR se mantêm elevados ao longo de todo o ano, com valores no intervalo Q1-Q3 acima de 70%, com exceção de novembro. Os limites inferiores mostram que, nos horários mais quentes do dia, são observados valores de UR entre 40% e 50%. Os valores mensais médios concordam com o padrão observado

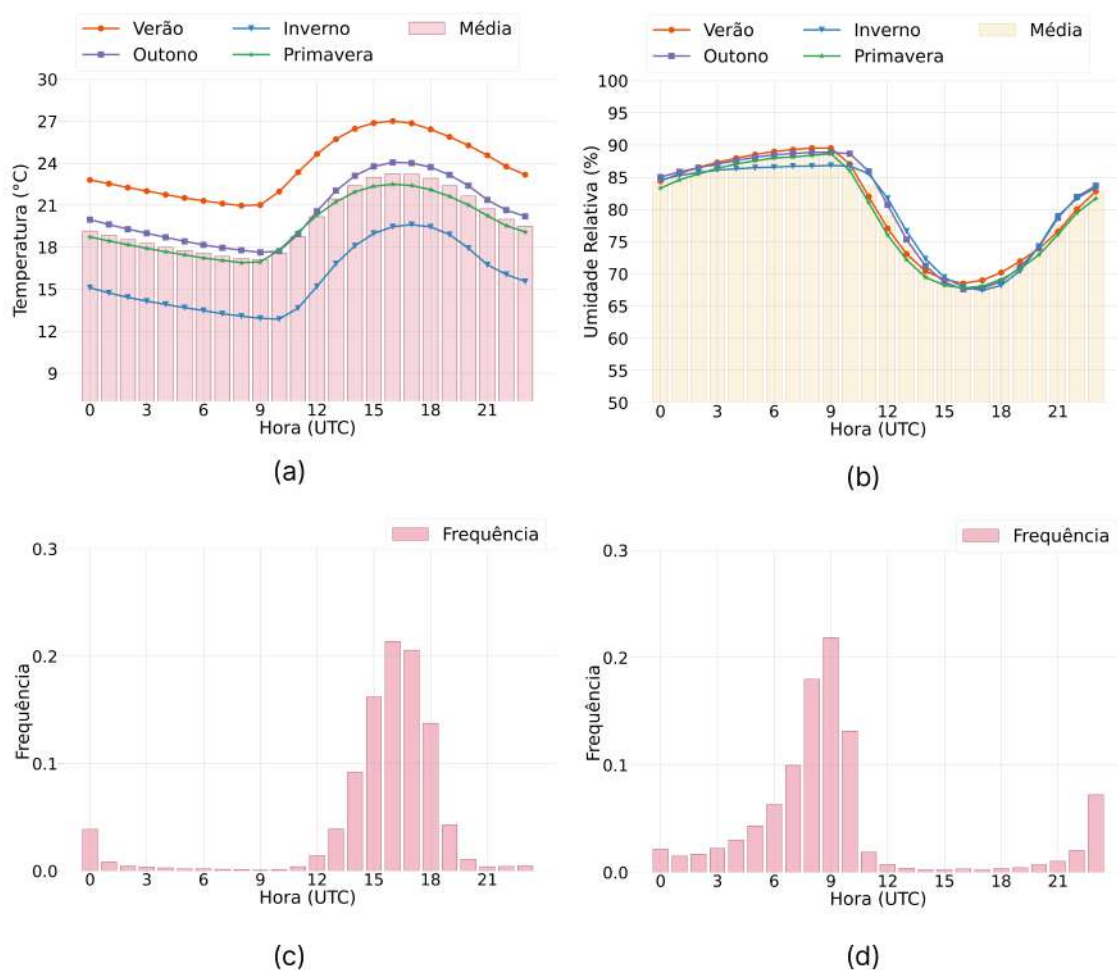
por Pandolfo *et al.* (2002), sem grandes variações ao longo dos meses.

A Figura 79a mostra o ciclo diurno médio em cada uma das estações do ano. De forma complementar a Figura 78a, percebe-se que as temperaturas médias no verão são as mais elevadas no ano, no inverno são as menores, enquanto as estações de transição apresentam valores médios bastante similares, com as temperaturas no outono ligeiramente maior do que na primavera. É possível observar que às 09 UTC são registrados os menores valores médios, com exceção do inverno que observa o valor mínimo às 10 UTC, seguido de uma rápida elevação das temperaturas. O horário de maior temperatura média ocorre às 16 UTC, no verão e primavera, enquanto no outono e inverno ocorre às 17 UTC, apesar da diferença entre os valores ser pequena. Esta mudança possivelmente ocorre pelo aumento de precipitação durante as tardes nesta época do ano, o que poderia provocar um declínio nas temperaturas.

De forma complementar, a frequência do horário de máximas (Figura 79c) mostra que às 16 UTC e 17 UTC são observadas as máximas com maior frequência, em aproximadamente 21% e 20% dos dias, respectivamente. No entanto, há também uma quantidade significativa de dias que registram máximas às 15 UTC e 18 UTC, com 16% e 14% cada. No histograma, também se verifica que em 3% dos dias observados a máxima foi registrada às 00 UTC. Este tipo de registro tipicamente está associado a dias chuvosos, ou com intensa advecção de ar frio, que impeça o ciclo diurno natural das temperaturas. As temperaturas mínimas, majoritariamente, são observadas às 09 UTC, em aproximadamente 22% dos dias, mas nota-se que os horários da mínima são bem distribuídos ao longo da manhã. Além disso, aproximadamente 7% dos dias a temperatura mínima do dia é registrada às 23 UTC. Este padrão está associado a dias onde uma intensa advecção de ar frio declinou as temperaturas de forma significativa, sendo mais frias do que as observadas durante a manhã no mesmo dia. Esta situação é típica da passagem de frentes frias, visto que, muitas vezes, o dia pode amanhecer com chuva, associado a instabilidades destes eventos, impedindo temperaturas tão baixas nos primeiros horários do dia.

O ciclo diurno da UR (Figura 79b), apresenta um comportamento e valores similares ao longo do ano. Durante o amanhecer, a UR média alcança valores médios entre 90% e declina de forma acentuada para valores entre 65% e 70% no período da tarde. Durante a tarde, as diferenças são muito pequenas, sendo possível diferenciar apenas o período da manhã, o qual os valores de UR são maiores no inverno e outono, em comparação a primavera e verão. Além disso, nota-se no ciclo diurno a relação intrínseca, inversamente proporcional, entre a UR e a temperatura, com os menores

Figura 79 – Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da (a) temperatura e (b) UR e frequência horária de registro da temperatura (a) máxima e (b) mínima, calculada a partir das estações A866, A814, A867.



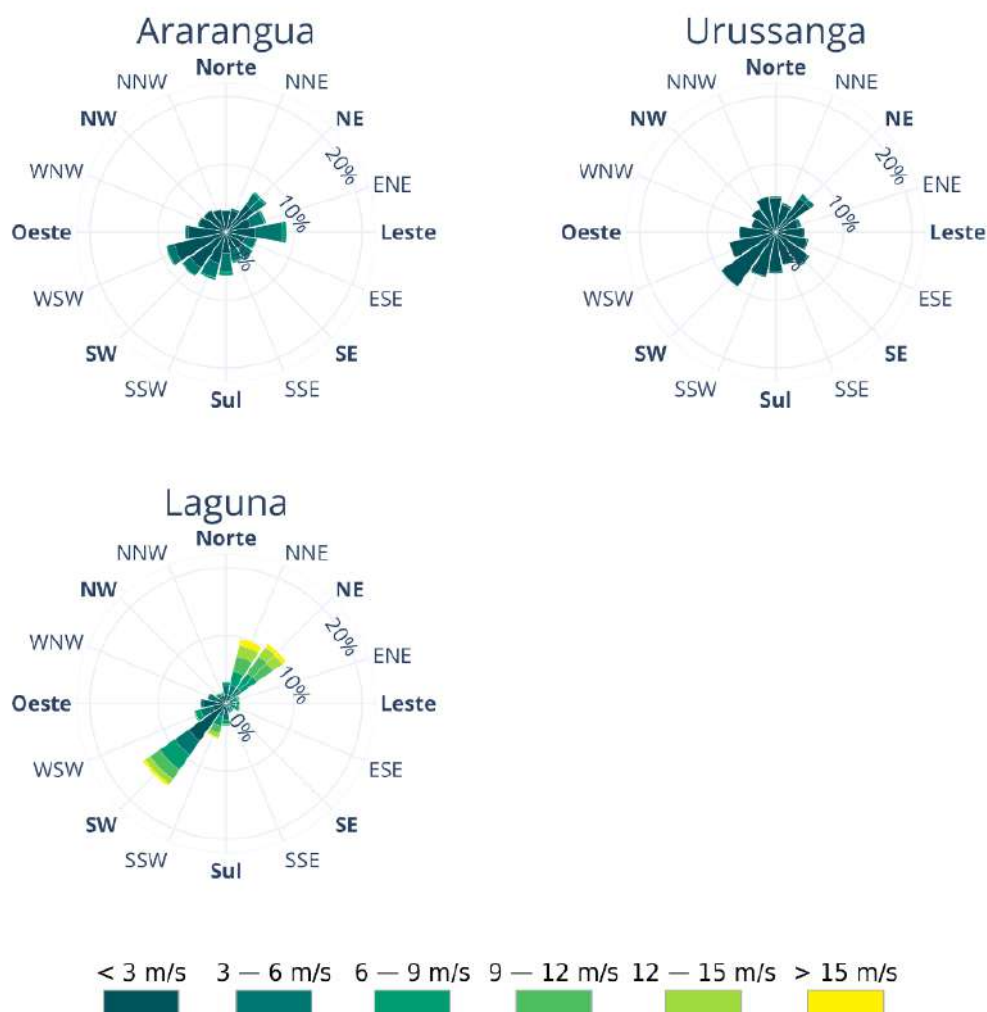
Fonte: elaboração própria (2023)

valores de UR observados nos horários de temperatura máxima.

A rosa dos ventos dos municípios (Figura 80) mostra dois padrões diferentes. O primeiro, em Araranguá e Urussanga, uma distribuição homogênea em diversas direções. Nesta figura verifica-se uma frequência ligeiramente maior de ventos de Leste a NE, assim como Sul a SW em Araranguá e Urussanga. A intensidade do vento nestes municípios fica abaixo de 3m/s na maior parte dos registros, mas também observam entre 3 a 6 m/s. Enquanto isso, Laguna apresenta uma predominância marcante para as direções NE e NNE, assim com para SW, similar as direções ligeiramente preferenciais observadas nos outros municípios, mas com intensidades muito superiores, frequentemente acima de 6 m/s, e podendo alcançar máximos acima de 15 m/s.

Uma primeira possível avaliação para Araranguá e Urussanga seria o com-

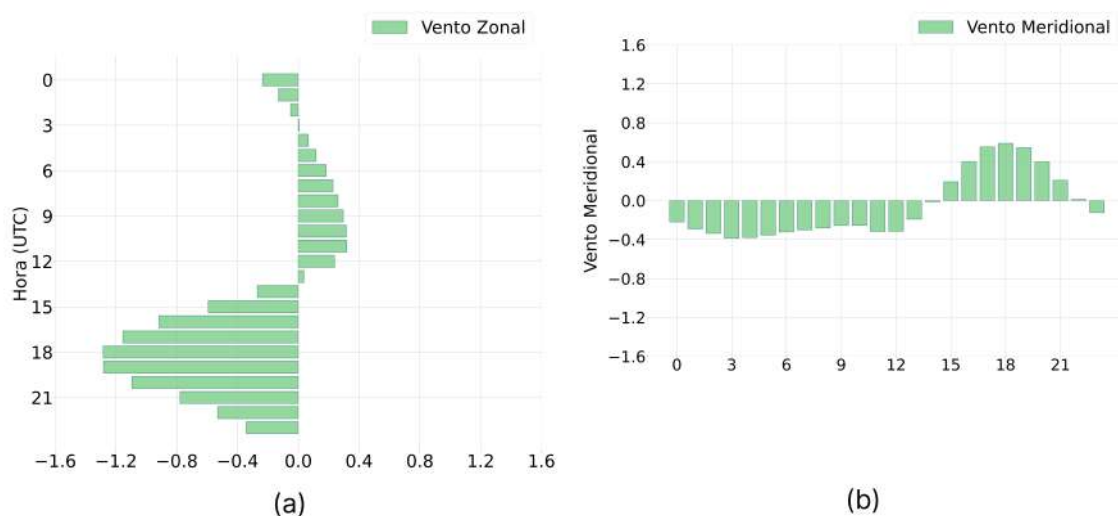
Figura 80 – Mosaico das rosas dos ventos, indicando intensidade e frequência da direção dos ventos, a partir das estações A866, A814, A867.



Fonte: elaboração própria (2023)

portamento oscilatório do vento, representando um efeito de brisa (Figura 81). Durante os horários noturnos (brisa terrestre) os ventos zonais sopram para leste, indo do continente mais frio para o oceano mais quente, atingindo seu máximo entre às 09 UTC e 10 UTC. No período da tarde (brisa marítima), com o maior aquecimento da superfície da terra em relação ao oceano adjacente, os ventos sopram para oeste, do mar para o continente, atingindo seu pico às 18 UTC. O mesmo padrão oscilatório é observado no vento meridional, que sopra para sul ao longo dos horários noturnos, e muda de direção a partir das 14 UTC, atingindo seu máximo soprando para norte às 18 UTC, e enfraquece até que mude de direção novamente. Um fator a se considerar é a orientação da faixa costeira do litoral sul, de sudoeste para nordeste, podendo provocar uma circulação de brisa que tenha componentes zonais e meridionais.

Figura 81 – Ciclo diurno médio (barras) do vento zonal (a) e meridional (b), calculado a partir das estações A866, A814, A867.



Fonte: elaboração própria (2023)

As intensidades observadas em Laguna têm influência da localização da estação, com forte influência dos sistemas que passam pelo oceano, visto que não há barreiras geográficas ao redor. Assim, os ventos atingem a região sem que a superfície enfraqueça os ventos com processos turbulentos, tanto dos ventos de sul como da circulação da ASAS, com intensos ventos de nordeste. Lembrando os resultados obtidos por Oliveira, Nascimento e Kannenberg (2018), a região de Laguna tem ocorrência frequente de JBNs de componente norte.

4.5 Comparativo Mesorregiões

Nesta seção é apresentada uma síntese das análises das mesorregiões, juntamente com uma discussão comparativa entre elas. As imagens pertinentes a discussão foram previamente apresentadas no corpo do texto, especificamente entre as subseções 4.4.1 e 4.4.6. Para evitar redundâncias visuais e auxiliar a leitura, foram anexados no apêndice C quadros comparativos entre as mesorregiões para cada tipo de gráfico.

Destacam-se algumas diferenças fundamentais entre as mesorregiões para compreender a diversidade dos modos climáticos do estado de Santa Catarina. Inicialmente, se destaca a variação gradativa dos picos chuvosos de oeste para leste (Figuras 83 e 84). Enquanto no Extremo Oeste e Oeste o pico chuvoso ocorre na primavera, nas áreas litorâneas e em grande parte dos Planaltos predominam as chuvas de verão, concordando com o obtido por Wrege *et al.* (2012) e Grimm (2009). Nas áreas centrais do estado, em especial no Meio Oeste, é possível observar uma região de transição

com participações equilibradas da precipitação do verão e da primavera. O inverno e outono aparecem como as estações mais secas, com exceção do Litoral Sul, onde o outono registra em média valores de precipitação maiores do que na primavera. Os menores acumulados de precipitação no inverno austral tem direta relação com a posição climatológica dos JST e JP mais ao norte (ESCOBAR, 2009), favorecendo o avanço de sistemas frontais para as áreas mais centrais do país (ANDRADE, 2005). Além disso, nesta época a ASAS estende seu setor ocidental para o interior do continente, dificultando a atividade convectiva devido ao movimento subsidente do ar seco (SUN; COOK; VIZY, 2017; REBOITA *et al.*, 2019).

Os ciclos diurnos revelam mais sobre as características já apresentadas (Figuras 86 e 85). Em questão de horários preferenciais das chuvas e valores de precipitação média, os resultados discutidos a seguir se aproximam dos obtidos por Filho *et al.* (2014) e Rasmussen *et al.* (2016), respectivamente. Começando pela primavera, nota-se que o horário da manhã apresenta a maior parcela de precipitação diária, sendo possível notar um pico entre o Oeste e Meio Oeste, enquanto nas demais mesorregiões este efeito ocorre deslocado no tempo e de forma mais branda, com efeito pouco significativo na região do Litoral Sul. Este resultado está associado ao ciclo de vida e padrão de deslocamento de oeste para leste dos SCMs nesta época do ano. À tarde, também é observada uma parcela significativa de participação nas chuvas, associada ao início das chuvas convectivas pela disponibilidade de calor e umidade, típica das épocas mais quentes do ano.

No verão, com o JP restrito as áreas de latitudes mais altas (ESCOBAR, 2009), fica evidente o padrão de chuvas convectivas associadas ao aquecimento diurno, apresentando uma oscilação diurna bem definida. Apesar do padrão similar entre as mesorregiões, nota-se uma diferença no horário de máximo de precipitação, deslocado no tempo nas regiões do Planalto Norte e Litoral Norte. Nestas regiões, a maior parcela da precipitação ocorre no horário noturno, apesar de ter seu início no decorrer da tarde. Os horários da madrugada e manhã concordam nos menores volumes observados ao longo do dia.

O outono se apresenta como uma estação de transição, com elevação das chuvas no horário da manhã e diminuição dos picos de precipitação durante a tarde, mas ainda com valores consideráveis. Isto mostra que, nesta época do ano, são observados resquícios das chuvas de verão, enquanto ao mesmo tempo ocorrem eventos de chuva associados a sistemas transientes. Por fim, o inverno é a única estação do ano que a precipitação observada na madrugada é a mais representativa.

Isso pode estar associado as baixas temperaturas observadas nestes horários, que favorecem a condensação da umidade disponível e, conseqüentemente, provocam chuva.

Ao tratar-se das temperaturas, os efeitos da continentalidade são claros nos valores observados e em seus ciclos diurnos (Figuras 87 e 88). Os resultados mostram que as maiores temperaturas são observadas nas áreas litorâneas e no oeste do estado, enquanto as regiões mais altas, como os Planaltos e o Meio Oeste, tem temperaturas médias menores e com extremos de frio mais intensos, com destaque para o Planalto Sul. A amplitude térmica também é um fator, as curvas são mais achatadas no litoral, em contraste com as curvas acentuadas do Planalto Norte e Meio Oeste.

Existem também as diferenças entre o comportamento dos ciclos diurnos das estações do ano. No verão, são observadas as maiores temperaturas, entretanto, as máximas ocorrem em média mais cedo do que as demais estações, resultado das chuvas de verão tipicamente observadas no início da tarde. No inverno, são observadas as temperaturas mais baixas, mas as mínimas ocorrem um pouco mais tarde em relação as demais épocas do ano, devido ao amanhecer tardio. As estações de transição apresentam curvas similares, mas vale destacar uma diferença, enquanto nas áreas centrais do estado as curvas são praticamente idênticas, é possível notar que as temperaturas na primavera são mais baixas do que no outono no litoral, enquanto são mais altas do que no outono no grande oeste. Esta condição pode estar associada a maior frequência de frentes frias atuando na primavera (OLIVEIRA, 2023), que afetam principalmente as áreas costeiras, visto que muitas frentes litorâneas não conseguem exercer influência nas áreas centrais. Por outro lado, na primavera, as temperaturas mais elevadas podem estar associadas ao JBNAS, que atua como um dos principais mecanismos de transporte de calor das regiões tropicais às latitudes mais altas (MARENGO *et al.*, 2004), afetando primeiramente as áreas do grande oeste catarinense.

Finalizando as discussões a respeito da temperatura, foram elaborados histogramas dos horários de temperatura máxima e mínima (Figuras 91 e 92). Quanto as máximas, de forma geral, nota-se que na maior parte dos dias ocorre por volta das 18 UTC, entretanto, nas regiões litorâneas as máximas são observadas mais cedo, entre as 16 e 17 UTC. Como será apresentado adiante, as áreas litorâneas sofrem influência da brisa marítima, que pode atuar impedindo a elevação das temperaturas. Além disso, em alguns casos a máxima é observada às 00 UTC, este tipo de registro tipicamente está associado a dias chuvosos ou com intensa advecção de ar frio, que

impedem o ciclo diurno natural das temperaturas.

Os horários de mínima são melhores distribuídos, mas majoritariamente são observados às 09 UTC. Também são representados uma quantidade significativa de dias em que a mínima ocorre às 23 UTC, provavelmente resultado de dias com uma intensa advecção de ar frio, que provocam dias que são mais frios à noite do que no amanhecer.

Quanto a umidade relativa, o comportamento médio anual não apresenta padrões tão bem definidos quanto os de temperatura (Figuras 89 e 90). Os resultados mostraram que cada região tem diferentes meses com mínimos e máximos observados, em grande parte similares aos obtidos por Pandolfo *et al.* (2002). Nota-se que, em média, as regiões litorâneas e o planalto norte são as mais úmidas ao longo do ano, enquanto o oeste e áreas mais elevadas como a serra do Planalto Sul tem dentro de sua distribuição valores de umidade relativa abaixo de 30%. O ciclo diurno, por outro lado, aparece com características mais previsíveis, sendo inversamente proporcional ao aquecimento. Os menores valores de umidade relativa são observados no período da tarde, enquanto os maiores ocorrem no decorrer da madrugada. A partir do amanhecer, a diminuição da umidade relativa é mais acentuada nas áreas centrais, enquanto no litoral a variação é suavizada.

A partir da análise das rosas dos ventos e da topografia foi possível observar características locais do padrão dos ventos, entretanto, vale mencionar os comportamentos médios das regiões a partir dos ciclos diurnos zonal e meridional (Figuras 93 e 94). Na região do grande oeste é possível notar um padrão oscilatório em ambas componentes, soprando de nordeste nos horários noturnos, e mudando para sudeste nos horários mais quentes do dia. Este comportamento pode estar relacionado a um padrão de brisa vale-montanha nas áreas centrais do estado. Por outro lado, fica evidente nas áreas litorâneas um comportamento de brisa marítima, com ventos de oeste nos horários noturnos, mudando para ventos de leste no decorrer do dia, como encontrado por Prudêncio, Franco e Nery (2017). No Litoral Sul, a brisa marítima ganha um componente meridional, visto que a faixa costeira tem orientação nordeste-sudeste, diferente do Litoral Norte que possui orientação norte-sul.

Para uma compreensão mais aprofundada e abrangente dessas discussões, sugere-se que o leitor retorne às seções específicas referentes às mesorregiões, caso tenha optado por omiti-las na leitura.

5 PRODUTOS TÉCNICO E TECNOLÓGICOS

O produto desenvolvido neste mestrado profissional foi um Atlas Climatológico das seis mesorregiões de Santa Catarina apresentadas nesta dissertação. O Atlas tem objetivo de fornecer um acesso prático a informações climáticas regionalizadas de Santa Catarina e, em complemento, visa servir como uma ferramenta de apoio para pesquisa e para trabalhos que buscam entender os impactos do clima no ambiente, simplificando a busca e interpretação de dados, facilitando estudos e análises relacionadas ao clima regional.

O Atlas começa com uma seção geral, apresentando um panorama do clima do estado em diferentes escalas temporais, desde padrões anuais até variações horárias. As seções subsequentes são dedicadas às seis mesorregiões identificadas no processo de regionalização deste trabalho. Em cada uma delas, são abordadas as características específicas da região, incluindo os gráficos das estações meteorológicas individualmente.

O Atlas Climatológico das mesorregiões de Santa Catarina pode ser acessado através do link https://www.ifsc.edu.br/mestrado_clima_disserta%C3%A7%C3%B5es.

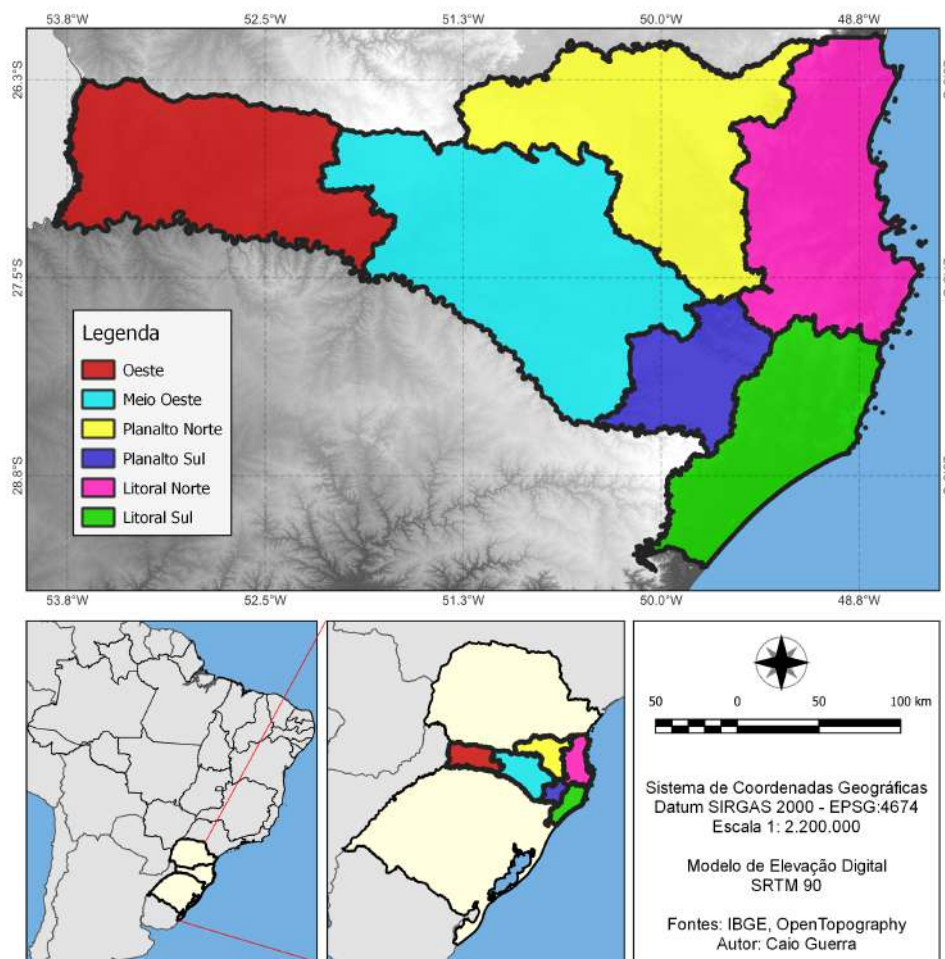
6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram analisados dados horários das EMAs na RSB, no período de 2000 a 2022. Foi apresentada de forma espacializada uma climatologia sazonal das variáveis de precipitação e temperatura. Os resultados mostraram que os dados das estações automáticas conseguem representar os padrões climatológicos conhecidos na região, assim como as regiões de máximos de precipitação, que se aproximam de 2000 mm anualmente, nas áreas do norte de SC ao litoral do PR e também na porção oeste da RSB. Além disso, as estações horárias identificaram uma região de máximo na região serrana do Planalto Sul de SC, que não apareciam nas climatologias, entretanto, ao que tudo indica, trata-se de um extremo local, relacionado com a topografia altitude da estação, que alcança valores de 1800 mm. Os padrões de temperatura também foram reproduzidos pelas estações, indicando uma influência tanto da topografia, com as temperaturas mais baixas observadas nas áreas mais elevadas do estado, mas também um gradiente latitudinal, com as maiores (menores) temperaturas médias observadas nas latitudes mais baixas (altas).

As comparações com as normais climatológicas NCI e NCII do INMET mostraram que os dados das EMAs apresentam padrões similares e podem ser utilizados para representar a climatologia da RSB.

Adicionalmente, foram geradas climatologias horárias espacializadas, também das variáveis precipitação e temperatura. Os mapas horários da precipitação mostraram que, em média, chove pouco nos horários da madrugada. A chuva ganha força entre o final da madrugada e início da manhã nas áreas do noroeste do RS, e avançam gradualmente para o oeste de SC. Este padrão de chuvas foi relacionado aos SCMs no período da primavera. A tarde, a chuva ganha força em todas as regiões, em especial das áreas centrais de SC ao oeste e norte do PR, associado ao padrão de chuvas convectivas, principalmente no verão. Esta chuva se estende e tem o seu máximo nos horários da noite nas áreas ao norte de SC e leste do PR. No RS, apesar também de observar um máximo no horário da tarde, especialmente no norte do estado, a chuva é melhor distribuída ao longo do dia, um padrão mais associado a um clima de latitudes médias. Os mapas horários da temperatura apresentaram o ciclo diurno bem definido, com alguns extremos observados. Nas áreas ao norte do PR, os valores médios de temperatura superam os 28 °C durante a tarde, em contrapartida, nos pontos mais altos da serra, as temperaturas médias ainda ficam por volta de 20 °C no mesmo horário. Nos horários mais frios as temperaturas ficam abaixo de 20 °C em todas as regiões, e se aproximam de 10 °C nos pontos mais altos.

Figura 82 – Regionalização realizada a partir dos diferentes modos climáticos encontrados no estado de SC, obtidos através de uma combinação dos resultados dos métodos agrupamento hierárquico e k-means. As cores indicam cada uma das seis mesorregiões obtidas



Fonte: elaboração própria (2023)

Foi possível utilizar os dados horários das EMAs nos métodos de agrupamento, para identificar padrões climáticos similares, com os fatores meteorológicos temperatura, precipitação (acumulada em 3h), velocidade dos ventos e umidade relativa do ar. O Agrupamento Hierárquico mostrou ser de fácil avaliação mais estável, pois fornece um resultado único e sua métrica de dissimilaridade facilita a análise quantitativa. Por outro lado, o k-means pode apresentar variações conforme o ponto de partida (os centróides iniciais), mas, no geral, ambos os métodos conseguiram identificar grupos similares. A partir de uma combinação analítica dos resultados dos dois métodos de clusterização, foram identificadas seis mesorregiões em SC: Região Oeste, Planalto Sul-Meio Oeste, Planalto Norte e Vale do Itajaí, Planalto Serrano, Litoral Sul e Litoral Norte (Figura 82).

A Região Oeste é a única do estado em que os acumulados da primavera se sobressaem em relação ao verão. Isto ocorre devido à influência dos SCMs que se formam na região durante a primavera, com os acumulados que ocorrem majoritariamente no período da manhã.

A região Meio-Oeste, central ao estado, situa-se numa zona de transição. Tem as características do oeste quanto à primavera, mas o verão representa uma parcela igualmente representativa. Há diferenças nos horários entre as estações, sendo as chuvas da primavera majoritariamente pela manhã e as do verão à tarde.

O Planalto Norte tem características parecidas com o Meio-Oeste. Entretanto, os acumulados da primavera já são menores e o verão apresenta aqui uma maior parcela, associada às chuvas convectivas. Uma característica importante é observada tanto no Planalto Norte quanto no Litoral Norte: as chuvas convectivas do verão se estendem no período da noite e, por vezes, apresentam uma maior parcela noturna do que vespertina. O fator que separa o Planalto Norte do Litoral Norte é a temperatura, com valores mais baixos e maior amplitude térmica nas áreas mais elevadas.

No Litoral Norte, enquanto nas áreas do oeste até as centrais o mês de outubro é o maior contribuidor da precipitação, nas áreas litorâneas os maiores acumulados começam a ser registrados em janeiro, associados ao favorecimento de umidade nas áreas litorâneas pelo posicionamento climatológico da ASAS. A parcela da precipitação no verão é consideravelmente maior e as chuvas ocorrem prioritariamente à noite.

O Planalto Sul apresenta um regime de precipitação parecido com o litoral sul, indicando a influência dos sistemas que vêm do oceano, com máximos no verão. No entanto, essa é uma característica restrita às áreas mais próximas aos limites da serra com o litoral, possivelmente favorecida pela topografia. Contudo, as temperaturas diferem de forma significativa entre estas áreas.

Finalmente, a chuva no Litoral Sul tem características parecidas com o Litoral Norte, entretanto os acumulados médios são mais baixos, e durante o verão, as chuvas ocorrem prioritariamente à tarde, diferenciando-se da predominância noturna observadas ao norte do estado.

Em resumo, com a análise dos dados horários, foi possível perceber nuances do clima que não eram claras nas avaliações tradicionais, proporcionando uma compreensão aprimorada do clima em diferentes regiões do estado de SC.

Com a compilação dos resultados, está em elaboração um Atlas Meteorológico, que pode auxiliar como uma importante fonte de informação para pesquisas associadas ao impacto do clima no ambiente.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Segue recomendações para Trabalhos Futuros:

- Ampliação das médias regionais a partir de um maior conjunto de estações de Santa Catarina, como a adição da rede de estações meteorológicas do Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (EPAGRI/CIRAM), aprimorando o detalhamento e a representatividade de cada região.
- Preenchimento de lacunas vazias de dados com a utilização de sensoriamento remoto, através de produtos de temperatura e precipitação (SAMET, IMERGE, CHIRS, PERSIAN, entre outros).
- Utilização de técnicas de IA para preencher dados no tempo e espaço.
- Investigar os efeitos das brisas de montanha e sua relação com o acoplamento da escala local e sinótica
- Ampliação dos métodos de agrupamento para a Região Sul do Brasil.
- Buscar métricas para avaliar quantitativamente cada um dos métodos de agrupamento aplicados.
- Realizar as climatologias do ciclo diurno para a radiação solar.
- Avaliação conjunta das variáveis meteorológicas, como direção e intensidade dos ventos com a temperatura, umidade relativa, umidade específica, e suas possíveis relações com os sistemas meteorológicos de maior escala.
- Expandir a análise do ciclo diurno para cada um dos meses.
- Ampliar a discussão para as correntes marítimas e suas influências na região costeira da RSB, assim como as influências da atmosfera na agitação marítima, ressaca e marés de tempestade, importantes para a caracterização regional das áreas costeiras.
- Estudar como o South American Dipole (SAD) influencia no ciclo diurno, criando climatologias para cada fase do fenômeno

- Investigar as diferenças entre as normais climatológicas em comparação com as médias das estações automáticas mais recentes, buscando efeitos locais, de construções, fontes de calor, topografia, distância com relação ao mar, parques nas vizinhanças, entre outros.

REFERÊNCIAS

- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na amazônia oriental utilizando análise multivariada. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 27, p. 423–434, 2012. 70
- ANDRADE, A. R. de; BALDO, M. C.; NERY, J. T. Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica de santa catarina. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 21, p. 923–928, 1999. 59, 60, 61, 84, 96, 97
- ANDRADE, K. M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a américa do sul. *Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos*, 2005. 29, 99, 110, 118, 120, 127, 129, 137, 151
- ANDRÉ, R. G. B. *et al.* Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do rio de janeiro, utilizando-se valores mensais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 23, p. 501–509, 2008. 72
- ANTICO, P. L.; BERRI, G. J. La corriente en chorro subtropical media mensual en américa del sur. *Meteorologica*, SciELO Argentina, v. 29, n. 1-2, p. 37–45, 2004. 36
- ARSEGO, D. A. *et al.* Índices climáticos associados a variabilidade interanual da produtividade de arroz no rio grande do sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 35, p. 209–218, 2020. 62
- ATKINSON, B. W. Meso-scale atmospheric circulations. (*No Title*), 1981. 50
- BALDO, M. C. *et al.* Análise da precipitação pluvial do estado de santa catarina associada com a anomalia da temperatura da superfície do oceano pacífico. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 8, n. 2, p. 283–293, 2000. 59, 60, 61, 96, 97
- BAPTISTA, G. C. Z.; SEVERO, D. L. Variabilidade espacial e temporal da precipitação de santa catarina. *Geosul*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 33, n. 68, p. 184–200, 2018. 60, 61, 84, 97
- BARROS, V. R. *et al.* Climate variability over subtropical south america and the south american monsoon: a review. Centro Argentino de Meteorólogos, 2002. 19
- BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre el niño oscilação sul e a produtividade do milho no estado do rio grande do sul. *Pesquisa agropecuária brasileira*, SciELO Brasil, v. 40, p. 423–432, 2005. 62
- BJERKNES, J. On the structure of moving cyclones. *Monthly Weather Review*, v. 47, n. 2, p. 95–99, 1919. 23, 27
- BJERKNES, J.; SOLBERG, H. *Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation*. [S.l.]: Grondahl, 1922. 23, 24, 27
- BONNER, W. D. Climatology of the low level jet. *Monthly Weather Review*, v. 96, n. 12, p. 833–850, 1968. 38, 40
- BRAGA, H. J.; GHELLRE, R. Proposta de diferenciação climática para o estado de santa catarina. In: *Anais do 11º Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e Reunião Latinoamericana de Agrometeorologia [CD-ROM]*. [S.l.: s.n.], 1999. 54, 55, 70

- BROOKS, H. E. *et al.* Climatological aspects of convective parameters from the ncar/ncep reanalysis. *Atmospheric Research*, Elsevier, v. 83, n. 2-4, p. 294–305, 2007. 43
- BROOKS, H. E.; LEE, J. W.; CRAVEN, J. P. The spatial distribution of severe thunderstorm and tornado environments from global reanalysis data. *Atmospheric Research*, Elsevier, v. 67, p. 73–94, 2003. 43
- BROWNING, K. A. Conceptual models of precipitation systems. *Weather and forecasting*, v. 1, n. 1, p. 23–41, 1986. 48
- BUENO, C.; FERREIRA, E. Mudanças climáticas em zonas costeiras e oceânicas: Estudo de caso do atlântico sul. *Estrabão*, v. 2, p. 220–222, 2021. 62
- CAMPOS, C. R. J. d.; EICHHOLZ, C. W. Características físicas dos sistemas convectivos de mesoescala que afetaram o rio grande do sul no período de 2004 a 2008. *Revista Brasileira de Geofísica*, SciELO Brasil, v. 29, p. 331–345, 2011. 44, 64
- CARDOZO, A. B. *et al.* Climatologia de frentes frias na américa do sul e sua relação com o modo anular sul (climatology of cold fronts over south america and its relation with the southern annular mode). *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, 2015. 29, 30, 64, 128, 144
- CARPENEDO, C. B.; AMBRIZZI, T. Anticiclone subtropical do atlântico sul associado ao modo anular sul e impactos climáticos no brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 35, p. 605–613, 2020. 57, 64
- CARVALHO, L. M.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The south atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of climate*, v. 17, n. 1, p. 88–108, 2004. 42, 43, 64
- CARVALHO, M. *et al.* Regionalization of europe based on a k-means cluster analysis of the climate change of temperatures and precipitation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Elsevier, v. 94, p. 22–28, 2016. 72
- CASARIN, D. *Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no hemisfério sul. Sao José dos Campos.* Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Meteorologia), 1983. 33
- CATARINA, S. Atlas geográfico de santa catarina: diversidade da natureza-fascículo 2. *Florianópolis: Ed. UDESC*, 2014. 65, 98, 109, 117, 125, 135, 143
- CAVALCANTI, I. F. d. A.; KOUSKY, V. E. Frentes frias sobre o brasil. *Tempo e clima no Brasil*, Oficina de textos São Paulo, v. 1, p. 134–147, 2009. 29
- CELEMÍN, A. H. Meteorología práctica. *Edición del autor, Mar del Plata*, 1984. 25
- CEPED, U. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012. *Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis*, 2013. 18, 61
- COGGINS, J. H.; MCDONALD, A. J.; JOLLY, B. Synoptic climatology of the ross ice shelf and ross sea region of antarctica: k-means clustering and validation. *International journal of climatology*, Wiley Online Library, v. 34, n. 7, p. 2330–2348, 2014. 72

- CORFIDI, S. F. *et al.* A proposed revision to the definition of “derecho”. *Bulletin of the American Meteorological Society*, American Meteorological Society, v. 97, n. 6, p. 935–949, 2016. 49, 50
- CORREIA, M. d. F.; DIAS, M. A. F. d. S. Impacto das ações antrópicas no clima do submédio do rio são francisco: um estudo numérico e observacional. 2001. 52
- Defesa Civil SC. *Defesa Civil realiza “Live” sobre o “Ciclone Bomba” registrado em 2020*. 2021. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/noticias/defesa-civil-realiza-live-sobre-o-ciclone-bomba-registrado-em-2020/>. Acessado em 15 de Julho de 2023. 49
- DIAS, M. A. F. d. S. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 2, n. 1, p. 133–150, 1987. 82
- DIAS, P. L. da S. *et al.* O ciclone catarina: Análise preliminar da estrutura, dinâmica e previsibilidade. 2004. 26
- DOLE, R. The objective representation of blocking patterns. *The general circulation: theory, modeling and observations*, p. 406–426, 1978. 33
- DURKEE, J. D.; MOTE, T. L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical south america. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, Wiley Online Library, v. 30, n. 3, p. 418–431, 2010. 48
- DURKEE, J. D.; MOTE, T. L.; SHEPHERD, J. M. The contribution of mesoscale convective complexes to rainfall across subtropical south america. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, v. 22, n. 17, p. 4590–4605, 2009. 48, 100, 111, 119, 127, 136, 144
- DYER, R. C. Rastros de tornados no sudoeste do brasil, leste do paraguai e nordeste da argentina. In: *Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto*. [S.l.: s.n.], 1986. v. 1, p. 589–603. 43
- ESCOBAR, G. Jatos de altos níveis. *Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos*, 2009. 37, 64, 99, 101, 110, 112, 119, 120, 129, 136, 137, 144, 151
- EVANS, J. L.; BRAUN, A. A climatology of subtropical cyclones in the south atlantic. *Journal of Climate*, v. 25, n. 21, p. 7328–7340, 2012. 26
- EVERITT, B. S. *et al.* *Cluster analysis*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011. 68, 69, 70, 71
- FARIA, L. Fortunato de *et al.* Synoptic and mesoscale analysis of a severe weather event in southern brazil at the end of june 2020. *Atmosphere*, MDPI, v. 14, n. 3, p. 486, 2023. 49
- FERNANDES, L. G.; GRIMM, A. M. Global enso modulation of mjo and its impacts on south america. 2022. 58
- FERREIRA, D. B.; FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B. Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do brasil. *São José dos Campos:(INPE-13599-TDI/1038)*, p. 123, 2005. 62

- FERREIRA, V.; ANABOR, V. Climatologia de sistemas convectivos de mesoescala ocorridos sobre a américa do sul no período de 2005 a 2006. *Ciência e Natura*, Universidade Federal de Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 17–21, 2015. 47, 82
- FIGUEIREDO, E. Lima de; NASCIMENTO, E. de L.; OLIVEIRA, M. Ilha de. Analysis of two derecho events in southern brazil. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Springer, v. 131, p. 1171–1190, 2019. 50, 70
- FILHO, A. J. P. *et al.* Convective rainfall systems in the la plata basin. *Atmospheric and Climate Sciences*, Scientific Research Publishing, v. 4, n. 04, p. 757, 2014. 47, 82, 101, 111, 112, 120, 128, 136, 151
- FISCHER, M. M.; GETIS, A. *Handbook of applied spatial analysis: software tools, methods and applications*. [S.l.]: Springer, 2010. 66
- FREITAS, E. D. d. *Circulações locais em São Paulo e sua influência sobre a dispersão de poluentes*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2003. 51
- FREITAS, E. D. d.; DIAS, P. L. d. S. Os efeitos da brisa lacustre sobre as condições atmosféricas da região metropolitana de são paulo. *Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável: Anais*, 2004. 51, 52
- FREITAS, E. D. d.; DIAS, P. L. d. S.; FREITAS, S. R. d. Simulações da concentração de monóxido de carbono sob efeito da brisa marítima/terrestre em são paulo. *Meteorologia e o Desenvolvimento Sustentável: Anais*, 2004. 51
- GAN, M. A.; RAO, V. B. Surface cyclogenesis over south america. *Monthly Weather Review*, v. 119, n. 5, p. 1293–1302, 1991. 27
- GONG, D.; WANG, S. Definition of antarctic oscillation index. *Geophysical research letters*, Wiley Online Library, v. 26, n. 4, p. 459–462, 1999. 56
- GOTARDO, R. *et al.* Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de santa catarina. *Geosul*, v. 33, n. 67, p. 253–276, 2018. 61, 62, 97
- GOZZO, L. F. *et al.* Subtropical cyclones over the southwestern south atlantic: Climatological aspects and case study. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, v. 27, n. 22, p. 8543–8562, 2014. 26, 27
- GRAY, W. M. Global view of the origin of tropical disturbances and storms. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 96, n. 10, p. 669–700, 1968. 25
- GRIMM, A. M. Clima da região sul do brasil. *Tempo e clima no Brasil*, Oficina de textos São Paulo, v. 2, p. 259–275, 2009. 19, 32, 55, 61, 74, 75, 82, 97, 100, 110, 111, 118, 128, 135, 144, 145, 150
- GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern brazil associated with el niño and la niña events. *Journal of climate*, American Meteorological Society, v. 11, n. 11, p. 2863–2880, 1998. 19, 55, 58, 59, 84
- GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. Enso and extreme rainfall events in south america. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, v. 22, n. 7, p. 1589–1609, 2009. 57

- HAAS, R. Simulações da chuva orográfica associada a um ciclone extratropical, no litoral sul do Brasil. *São Paulo: Universidade de São Paulo*, 2002. 35, 64, 82, 90
- HAKIM, G. *Cyclogenesis. Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. [S.l.]: Academic Press, 2003. 23
- HAO, J.; HO, T. K. Machine learning made easy: a review of scikit-learn package in python programming language. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 44, n. 3, p. 348–361, 2019. 68
- HART, R. E. A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry. *Monthly weather review*, American Meteorological Society, v. 131, n. 4, p. 585–616, 2003. 26
- HOSKINS, B. J.; HODGES, K. I. A new perspective on southern hemisphere storm tracks. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, v. 18, n. 20, p. 4108–4129, 2005. 27
- Houze Jr, R. A. Mesoscale convective systems. *Reviews of Geophysics*, Wiley Online Library, v. 42, n. 4, 2004. 48
- HOUZE, R. A.; SMULL, B. F.; DODGE, P. Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 118, n. 3, p. 613–654, 1990. 44
- HUTH, R.; NEMESOVA, I.; KLIMPEROVÁ, N. Weather categorization based on the average linkage clustering technique: an application to European mid-latitudes. *International Journal of Climatology*, Wiley Online Library, v. 13, n. 8, p. 817–835, 1993. 68
- ICHIBA, S. H. K.; NERY, J. T.; MARTINS, M. d. L. O. F. Variabilidade da precipitação pluviométrica de Santa Catarina. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu*. [S.l.: s.n.], 2002. 59, 60, 61, 97
- ITO, E. R. K.; AMBRIZZI, T. Climatologia da posição da alta subtropical do Atlântico Sul para os meses de inverno. *A meteorologia brasileira além do ano 2000: Resumos*, 2000. 31
- JOHNS, R. H.; HIRT, W. D. Derechos: Widespread convectively induced windstorms. *Weather and Forecasting*, v. 2, n. 1, p. 32–49, 1987. 49, 50
- JONES, C.; CARVALHO, L. M. Active and break phases in the South American monsoon system. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, v. 15, n. 8, p. 905–914, 2002. 42
- JORGETTI, T.; CAMARGO, R. d.; JANUÁRIO, C. S. Caracterização da célula de brisa na região metropolitana de São Paulo através de observações simultâneas. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu*. [S.l.: s.n.], 2002. 51
- KANNENBERG, C. *et al.* Uma visão ampliada sobre os jatos de baixos níveis na América do Sul. Universidade Federal de Santa Maria, 2019. 40
- KOPPEN, W. Das geographische system de klimate. *Handbuch der klimatologie*, 1936. 19, 53

- KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeast brazil. *Monthly Weather Review*, v. 108, n. 4, p. 488–498, 1980. 51
- LAZZARI, M. R. Agropecuária gaúcha em 2005: estiagem, câmbio e crise. *Indicadores Econômicos FEE*, v. 33, n. 4, p. 41–50, 2006. 62
- LEITE, M. R. S. G. *Circulações locais no Rio Grande do Sul: brisas marítima/terrestre e sua interação com as brisas lacustres/terrestres*. Dissertação (Mestrado), 2013. 52
- LEIVAS, J. F. *et al.* Avaliação do índice de vegetação padronizado no monitoramento indicativo de estiagens em períodos críticos da soja no sul do brasil. *Rev Bras Cartogr*, v. 66, p. 1145–55, 2014. 62
- LIMPASUVAN, V.; HARTMANN, D. L. Eddies and the annular modes of climate variability. *Geophysical Research Letters*, Wiley Online Library, v. 26, n. 20, p. 3133–3136, 1999. 56
- LITTMANN, T. An empirical classification of weather types in the mediterranean basin and their interrelation with rainfall. *Theoretical and Applied Climatology*, Springer, v. 66, p. 161–171, 2000. 68
- LIU, Z.; GEORGE, R. Fuzzy cluster analysis of spatio-temporal data. In: SPRINGER. *International Symposium on Computer and Information Sciences*. [S.l.], 2003. p. 984–991. 68, 72
- MACHADO, L.; ROSSOW, W. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, v. 121, n. 12, p. 3234–3260, 1993. 44
- MACHADO, L. A. Classificação climática para minas gerais por meio do método de agrupamento não hierárquico de k-means. *Cadernos do LESTE*, v. 14, n. 14, 2014. 72
- MÄCHEL, H.; KAPALA, A.; FLOHN, H. Behaviour of the centres of action above the atlantic since 1881. part i: Characteristics of seasonal and interannual variability. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, Wiley Online Library, v. 18, n. 1, p. 1–22, 1998. 31, 32
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Detection of a 40–50 day oscillation in the zonal wind in the tropical pacific. *Journal of Atmospheric Sciences*, v. 28, n. 5, p. 702–708, 1971. 56
- MADDEN, R. A.; JULIAN, P. R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40–50 day period. *Journal of Atmospheric Sciences*, v. 29, n. 6, p. 1109–1123, 1972. 56
- MALUF, J. Nova classificação climática do estado do rio grande do sul. *Rev Bras Agrometeorol*, v. 8, n. 1, p. 141–150, 2000. 54
- MARENGO, J. A. *et al.* Climatology of the low-level jet east of the andes as derived from the ncep–ncar reanalyses: Characteristics and temporal variability. *Journal of climate*, v. 17, n. 12, p. 2261–2280, 2004. 40, 64, 152
- MARQUES, F.; RAO, V. B. Bloqueio atmosférico no hemisfério sul, 1980–1993. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. [S.l.: s.n.], 1996. v. 9, p. 1078–1084. 34, 35, 64

- MENDES, M. C. *et al.* Bloqueios atmosféricos de 1960 a 2000 sobre o oceano pacífico sul: impactos climáticos e mecanismos físicos associados. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 175–190, 2005. 34, 64, 100, 110, 121, 129, 137, 145
- MENEZES, F. P.; FERNANDES, L. L.; ROCHA, E. J. P. O uso da estatística para regionalização da precipitação no estado do pará, brasil. *Revista brasileira de climatologia*, v. 16, 2015. 70
- MESSMER, M.; SIMMONDS, I. Global analysis of cyclone-induced compound precipitation and wind extreme events. *Weather and Climate Extremes*, Elsevier, v. 32, p. 100324, 2021. 23
- MIMMACK, G. M.; MASON, S. J.; GALPIN, J. S. Choice of distance matrices in cluster analysis: Defining regions. *Journal of climate*, American Meteorological Society, v. 14, n. 12, p. 2790–2797, 2001. 69
- NASCIMENTO, E. d. L. Previsão de tempestades severas utilizando-se parâmetros convectivos e modelos de mesoescala: uma estratégia operacional adotável no brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 1, p. 121–140, 2005. 44
- NASCIMENTO, E. d. L.; AMBRIZZI, T. Influência dos bloqueios atmosféricos na propagação de ondas de rossby em escoamentos de inverno no hemisfério sul. 1998. 33
- NASCIMENTO, E. L.; FOSS, M. Condicionamento sinótico de alguns eventos de tempestades severas ocorridos no estado do rio grande do sul em 2003. *Ciência e Natura*, Universidade Federal de Santa Maria, p. 353–356, 2009. 44
- NEWMAN, M. *et al.* The pacific decadal oscillation, revisited. *Journal of Climate*, v. 29, n. 12, p. 4399–4427, 2016. 57
- NIMER, E. Climatologia do brasil, vol. 4. *SUPREN/IBGE*, 1979. 73
- NOGUÉS-PAEGLE, J. *et al.* Progress in pan american clivar research: understanding the south american monsoon. *Meteorologica*, v. 27, n. 12, p. 1–30, 2002. 41
- NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over south america during summer. *Monthly Weather Review*, v. 125, n. 2, p. 279–291, 1997. 43, 64
- OLIVEIRA, A.; NOBRE, C. Interações entre sistemas frontais na américa do sul ea convecção na amazônia. In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belo Horizonte*. [S.l.: s.n.], 1986. v. 1, p. 315–316. 28, 29
- OLIVEIRA, M. I.; NASCIMENTO, E. L.; KANNENBERG, C. A new look at the identification of low-level jets in south america. *Monthly Weather Review*, v. 146, n. 7, p. 2315–2334, 2018. 38, 40, 41, 42, 64, 111, 112, 119, 127, 142, 150
- OLIVEIRA, R. d. *Sistema de detecção de frentes frias associadas a eventos meteorológicos de médio e alto impacto no centro sul da América do Sul*. Tese (Doutorado), 2023. 30, 31, 64, 100, 110, 111, 112, 118, 119, 120, 127, 128, 129, 136, 137, 144, 152
- ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, JSTOR, p. 527–530, 1975. 22, 43

- PALMÉN, E.; NEWTON, C. W. *et al. Atmospheric circulation systems: their structure and physical interpretation*. [S.l.]: Academic press, 1969. 27
- PAMPUCH, L. A.; AMBRIZZI, T. Sistemas frontais sobre a américa do sul: Parte i-climatologia e intervalodepassagemem dados dereanálise i do ncep/ncar. 2015. 30, 64, 128, 144
- PANDOLFO, C. *et al. Atlas climatológico do estado de santa catarina. Florianópolis: Epagri*, v. 1, p. 13, 2002. 19, 75, 99, 104, 109, 113, 114, 117, 121, 122, 128, 130, 135, 138, 139, 145, 146, 147, 153
- PARKER, M. D.; JOHNSON, R. H. Organizational modes of midlatitude mesoscale convective systems. *Monthly weather review*, American Meteorological Society, v. 128, n. 10, p. 3413–3436, 2000. 48
- PRUDÊNCIO, R. de S.; FRANCO, A. C. V.; NERY, J. T. Análise da circulação térmica induzida no litoral de santa catarina. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*, v. 1, p. 2512–2519, 2017. 52, 141, 153
- QUADRO, M. d. L. *Estudo de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 1994, 123f.* Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas . . . , 1994. 42, 64
- QUADRO, M. F. *et al. Climatologia de precipitação e temperatura. Climanálise (Boletim de Monitoramento e Análise Climática), Especial de*, v. 9, 1995. 73
- RASMUSSEN, K. L. *et al. Contribution of extreme convective storms to rainfall in south america. Journal of Hydrometeorology*, American Meteorological Society, v. 17, n. 1, p. 353–367, 2016. 45, 46, 82, 101, 111, 112, 120, 127, 136, 144, 151
- REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, T. Monitoramento dos ciclones extratropicais no hemisfério sul. In: *Congresso Brasileiro de Meteorologia*. [S.l.: s.n.], 2006. v. 14. 57
- REBOITA, M. S. *et al. The south atlantic subtropical anticyclone: present and future climate. Frontiers in Earth Science*, Frontiers Media SA, v. 7, p. 8, 2019. 32, 64, 99, 110, 120, 128, 129, 135, 137, 143, 145, 151
- REBOITA, M. S. *et al. Regimes de precipitação na américa do sul: uma revisão bibliográfica. Revista brasileira de meteorologia*, SciELO Brasil, v. 25, p. 185–204, 2010. 27
- REBOITA, M. S. *et al. Ciclones em superfície nas latitudes austrais: Parte i-revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 32, p. 171–186, 2017. 24, 25
- REBOITA, M. S. *et al. Entendendo o tempo e o clima na américa do sul.* 2012. 27, 32, 55, 100, 111
- REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. Ciclones extratropicais: o que são, climatologia e impactos no brasil. *Terræ Didática*, v. 17, p. e021032–e021032, 2021. 27, 28, 64, 110, 120, 129, 137
- RIBEIRO, B. Z. *Linhas de instabilidade no sul do Brasil.* Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas . . . , 2018. 48, 64

- RIEHL, H. *Jet streams of the atmosphere*. [S.l.]: US Government Printing Office, 1961. 36
- RIFE, D. L. *et al.* Global distribution and characteristics of diurnally varying low-level jets. *Journal of Climate*, v. 23, n. 19, p. 5041–5064, 2010. 38
- RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de santa catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, SciELO Brasil, v. 22, p. 135–151, 2004. 29, 56, 128, 136, 144
- RODRIGUES, M. L. G.; YNOUE, R.; ALVES, M. P. Episódios de chuva intensa na região da grande florianópolis/sc: análise preliminar dos eventos e caracterização sinótica. *Fourth Simp. Int. de Climatologia*, 2011. 35
- RODRIGUEZ, C. A. M.; ROCHA, R. P. da; BOMBARDI, R. On the development of summer thunderstorms in the city of são paulo: Mean meteorological characteristics and pollution effect. *Atmospheric Research*, Elsevier, v. 96, n. 2-3, p. 477–488, 2010. 51
- SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscale convective systems over southeastern south america and their relationship with the south american low-level jet. *Monthly Weather Review*, v. 135, n. 4, p. 1290–1309, 2007. 48
- SANTOS, E.; AZEVEDO, A. Baixada santista: Aspectos geográficos. *Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo*, v. 1, n. 4, p. 95–150, 1965. 51
- SANTOS, S. R. Q. d. *et al.* Determinação de regiões homogêneas do índice de precipitação normalizada (spi) na amazônia oriental. *Revista Brasileira de Meteorologia*, SciELO Brasil, v. 32, p. 111–122, 2017. 70
- SANTOS, S. R. Q. D. *et al.* O efeito de brisas marítimas na cidade de belém-pa: utilizando análise em multivariada. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 1110–1120, 2012. 52
- SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F. D. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. *Monthly Weather Review*, v. 117, n. 6, p. 1355–1364, 1989. 28
- SEVERO, D. L. Padrões de circulação anômala associados a episódios úmidos e secos no sul do brasil. *INPE, São José dos Campos, SP*, 2007. 58, 59, 61, 70, 84, 97
- SILVA, A. E. d.; DIAS, P. L. d. S. Variabilidade da circulação e transporte de umidade no regime de monção da américa do sul. 2009. 42
- Silva Dias, M. *As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando a melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos*. [S.l.]: CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, 2009. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2009/11.05.11.33/doc/publicacao.pdf>. Acessado em 21 de Agosto de 2023. 34
- SILVESTRI, G. E.; VERA, C. S. Antarctic oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern south america. *Geophysical Research Letters*, Wiley Online Library, v. 30, n. 21, 2003. 57

- SINCLAIR, M. R. Reply to comments on "climatology of cyclogenesis for the southern hemisphere". *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 124, n. 11, p. 2615, 1996. 27
- SNEATH, P. H.; SOKAL, R. R. *et al. Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification*. [S.l.: s.n.], 1973. 69
- STEINLEY, D. Local optima in k-means clustering: what you don't know may hurt you. *Psychological methods*, American Psychological Association, v. 8, n. 3, p. 294, 2003. 72
- STENSRUD, D. J. Importance of low-level jets to climate: A review. *Journal of Climate*, JSTOR, p. 1698–1711, 1996. 39
- STIVARI, S. M. S.; OLIVEIRA, A. P. d. Um estudo da brisa lacustre do lago de itaipu. 1999. 52
- SUN, X.; COOK, K. H.; VIZY, E. K. The south atlantic subtropical high: climatology and interannual variability. *Journal of Climate*, American Meteorological Society, v. 30, n. 9, p. 3279–3296, 2017. 32, 33, 64, 99, 110, 120, 129, 137, 145, 151
- TEDESCHI, R. G.; GRIMM, A. M.; CAVALCANTI, I. F. Influence of central and east enso on extreme events of precipitation in south america during austral spring and summer. *International Journal of Climatology*, Wiley Online Library, v. 35, n. 8, p. 2045–2064, 2015. 57
- TOZATO, H. d. C. *Impactos das mudanças climáticas na biodiversidade das zonas úmidas: uma análise sobre políticas públicas e gestão no Brasil e na França*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2015. 62
- TRIGO, I. F.; DAVIES, T. D.; BIGG, G. R. Objective climatology of cyclones in the mediterranean region. *Journal of climate*, American Meteorological Society, v. 12, n. 6, p. 1685–1696, 1999. 72
- TRUCCOLO, E. C. Assessment of the wind behavior in the northern coast of santa catarina. *Revista Brasileira de meteorologia*, SciELO Brasil, v. 26, p. 451–460, 2011. 52
- VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the americas. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Wiley Online Library, v. 92, n. D8, p. 9591–9613, 1987. 48, 64, 82
- VEMADO, F. *Análise da circulação de brisa marítima e seus impactos sobre a precipitação na Região Metropolitana de São Paulo por meio do modelo ARPS*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2012. 51
- VIRTANEN, P. *et al. SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python*. *Nature Methods*, v. 17, p. 261–272, 2020. 68
- WAKIMOTO, R. M. *et al. High winds generated by bow echoes. part i: Overview of the omaha bow echo 5 july 2003 storm during bamex*. *Monthly weather review*, American Meteorological Society, v. 134, n. 10, p. 2793–2812, 2006. 49

- WAKIMOTO, R. M.; STAUFFER, P.; LEE, W.-C. The vertical vorticity structure within a squall line observed during bamex: Banded vorticity features and the evolution of a bowing segment. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 143, n. 1, p. 341–362, 2015. 49
- WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American statistical association*, Taylor & Francis, v. 58, n. 301, p. 236–244, 1963. 70
- WEISMAN, M. L. The role of convectively generated rear-inflow jets in the evolution of long-lived mesoconvective systems. *Journal of Atmospheric Sciences*, v. 49, n. 19, p. 1826–1847, 1992. 49
- WEISMAN, M. L.; TRAPP, R. J. Low-level mesovortices within squall lines and bow echoes. part i: Overview and dependence on environmental shear. *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society, v. 131, n. 11, p. 2779–2803, 2003. 49
- WHITEMAN, C. D.; BIAN, X.; ZHONG, S. Low-level jet climatology from enhanced rawinsonde observations at a site in the southern great plains. *Journal of Applied Meteorology*, v. 36, n. 10, p. 1363–1376, 1997. 38, 40
- WILKS, D. S. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. [S.l.]: Academic press, 2011. v. 100. 71, 98
- WILLETT, H. C. Long-period fluctuations of the general circulation of the atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, American Meteorological Society, v. 6, n. 1, p. 34–50, 1949. 32
- WMO. International meteorological vocabulary, world meteorological organization. 1992. 36
- WMO, N. 1202 (2018) *Challenges in the Transition from Conventional to Automatic Meteorological Observing Networks for Long-term Climate Records*. [S.l.]: WMO, Geneva, Switzerland, 2017. 18
- WMO, N. 100 (2018) *Guide to climatological practices*. [S.l.]: WMO, Geneva, Switzerland, 2018. 18
- WREGGE, M. *et al.* Atlas climático da região sul do brasil: estados do paraná. *Santa Catarina e Rio Grande do Sul*, v. 2, 2012. 19, 53, 54, 74, 75, 99, 100, 102, 104, 109, 110, 113, 117, 121, 128, 130, 135, 136, 138, 145, 146, 150
- WRIGHT, A. D. F. *Blocking action in the Australian region*. [S.l.]: Australian Government Publishing Service, 1974. 33
- ZHANG, C. Madden-Julian oscillation. *Reviews of Geophysics*, Wiley Online Library, v. 43, n. 2, 2005. 56
- ZHOU, J.; LAU, K. Does a monsoon climate exist over south america? *Journal of climate*, American Meteorological Society, v. 11, n. 5, p. 1020–1040, 1998. 41

APÊNDICES

APÊNDICE A – LISTA EMAS**Tabela 4 – Rede de estações automáticas do INMET no estado de Santa Catarina**

Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Data Início
Florianópolis	A806	-27,60	-48,62	5	2003-01-21
Urussanga	A814	-28,53	-49,32	41	2008-05-28
São Joaquim	A815	-28,28	-49,93	1400	2008-04-11
Novo Horizonte	A816	-26,41	-52,85	944	2008-09-19
Indaial	A817	-26,91	-49,27	72	2006-07-01
Joacaba	A841	-27,17	-51,56	768	2007-09-19
Bom Jardim Da Serra	A845	-28,13	-49,48	1790	2007-06-16
Dionísio Cerqueira	A848	-26,29	-53,63	808	2008-05-30
Itapoá	A851	-26,08	-48,64	6	2007-06-05
São Miguel Do Oeste	A857	-26,78	-53,50	700	2008-03-11
Xanxerê	A858	-26,94	-52,40	879	2008-03-14
Cacador	A859	-26,82	-50,99	944	2008-03-18
Curitibanos	A860	-27,29	-50,60	978	2008-02-27
Rio Do Campo	A861	-26,94	-50,15	592	2008-03-09
Rio Negrinho	A862	-26,25	-49,57	800	2008-03-21
Ituporanga	A863	-27,42	-49,65	480	2008-03-03
Major Vieira	A864	-26,39	-50,36	800	2009-02-08
Lages	A865	-27,80	-50,34	953	2014-11-05
Laguna	A866	-28,60	-48,81	34	2008-05-31
Araranguá	A867	-28,93	-49,50	2	2008-09-27
Itajaí	A868	-26,95	-48,76	10	2010-06-23
Rancho Queimado	A870	-27,68	-49,04	881	2016-05-30
Chapecó	A895	-27,09	-52,64	679	2019-02-18
Campos Novos	A898	-27,39	-51,22	963	2019-02-14

Tabela 5 – Rede de estações automáticas do INMET no estado do Rio Grande do Sul

Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Data Início
Porto Alegre	A801	-30,05	-51,17	41	2000-09-21
Rio Grande	A802	-32,08	-52,17	5	2001-11-15
Santa Maria	A803	-29,72	-53,72	103	2001-11-25
Santana Do Livramento	A804	-30,75	-55,40	196	2001-11-21
Santo Augusto	A805	-27,85	-53,79	490	2001-12-04
Torres	A808	-29,35	-49,73	8	2006-05-31
Uruguaiana	A809	-29,84	-57,08	74	2006-09-27
Santa Rosa	A810	-27,89	-54,48	273	2006-11-14
Cangucu	A811	-31,40	-52,70	447	2007-01-23
Cacapava Do Sul	A812	-30,55	-53,47	421	2006-06-21
Rio Pardo	A813	-29,87	-52,38	107	2006-09-29
Alegrete	A826	-29,71	-55,53	121	2006-09-27
Bagé	A827	-31,35	-54,01	226	2007-01-03
Erechim	A828	-27,66	-52,31	777	2006-11-24
São José Dos Ausentes	A829	-28,75	-50,06	1229	2006-10-25
São Borja	A830	-28,65	-56,02	81	2007-07-20
Quaraí	A831	-30,37	-56,44	113	2007-10-16
São Gabriel	A832	-30,34	-54,31	115	2007-07-10
Santiago	A833	-29,19	-54,89	390	2009-02-03
Tramandaí	A834	-30,01	-50,14	5	2008-03-08
Jaguarão	A836	-32,53	-53,38	31	2007-01-08
Soledade	A837	-28,86	-52,54	660	2008-02-29
Camaquã	A838	-30,81	-51,83	92	2006-12-11
Passo Fundo	A839	-28,23	-52,40	681	2006-11-26
Bento Goncalves	A840	-29,16	-51,53	623	2006-11-30
Lagoa Vermelha	A844	-28,22	-51,51	834	2007-03-01
São Luiz Gonzaga	A852	-28,42	-54,96	246	2007-07-24
Cruz Alta	A853	-28,60	-53,67	427	2007-05-30
Frederico Westphalen	A854	-27,40	-53,43	489	2007-12-13
Palmeira Das Missões	A856	-27,92	-53,32	614	2008-02-25
Mostardas	A878	-31,25	-50,91	4	2008-03-10
Canela	A879	-29,37	-50,83	831	2008-08-22
Vacaria	A880	-28,51	-50,88	970	2008-04-25
Dom Pedrito	A881	-31,00	-54,62	150	2010-04-22
Teutônia	A882	-29,45	-51,82	81	2012-10-03
Ibirubá	A833	-28,65	-53,11	455	2012-12-12
Campo Bom	A884	-29,67	-51,06	23	2013-11-28
Tupanciretã	A886	-29,09	-53,83	462	2016-08-10
Capão Do Leão (Pelotas)	A887	-31,80	-52,41	13	2019-07-17
São Vicente Do Sul	A889	-29,70	-54,69	134	2016-04-05
Encruzilhada Do Sul	A893	-30,54	-52,52	428	2018-03-14
Serafina Corrêa	A894	-28,70	-51,87	545	2016-03-31
Cambará Do Sul	A897	-29,05	-50,15	1017	2016-11-23
Santa Vitória Do Palmar	A899	-33,74	-53,37	7	2008-03-07
Porto Alegre (Belém Novo)	B807	-30,19	-51,18	3	2022-12-07

Tabela 6 – Rede de estações automáticas do INMET no estado do Paraná

Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Data Início
Curitiba	A807	-25,45	-49,23	923	2003-01-27
Ivaí	A818	-25,01	-50,85	804	2006-07-10
Castro	A819	-24,79	-50,00	994	2006-07-08
Mal. Cândido Rondon	A820	-24,53	-54,02	392	2006-11-17
Joaquim Távora	A821	-23,51	-49,95	513	2006-11-22
Nova Tebas	A822	-24,44	-51,96	656	2006-12-20
Inácio Martins	A823	-25,57	-51,08	1209	2006-10-15
Icaraíma	A824	-23,39	-53,64	381	2006-11-15
Goioere	A825	-24,18	-53,05	481	2006-10-18
Maringá	A835	-23,41	-51,93	549	2006-11-20
Nova Fátima	A842	-23,42	-50,58	664	2007-02-07
Dois Vizinhos	A843	-25,70	-53,10	546	2007-03-28
Foz Do Iguacu	A846	-25,60	-54,48	235	2008-02-14
Ilha Do Mel	A847	-25,49	-48,33	4	2007-03-22
Diamante Do Norte	A849	-22,64	-52,89	368	2008-03-05
Paranapoema	A850	-22,66	-52,13	309	2008-03-03
Planalto	A855	-25,72	-53,75	399	2007-11-06
Cidade Gaúcha	A869	-23,36	-52,93	366	2008-03-10
Japira	A871	-23,77	-50,18	693	2008-02-28
Ventania	A872	-24,28	-50,21	1093	2011-04-14
Morretes	A873	-25,51	-48,81	50	2008-03-12
São Mateus Do Sul	A874	-25,84	-50,37	780	2011-04-16
General Carneiro	A875	-26,40	-51,35	1009	2008-04-29
Clevelândia	A876	-26,42	-52,35	966	2008-05-14
Campina Da Lagoa	B803	-24,57	-52,80	598	2016-08-03
Laranjeiras Do Sul	B804	-25,37	-52,39	835	2016-08-06
Colombo	B806	-25,32	-49,16	950	2016-05-31

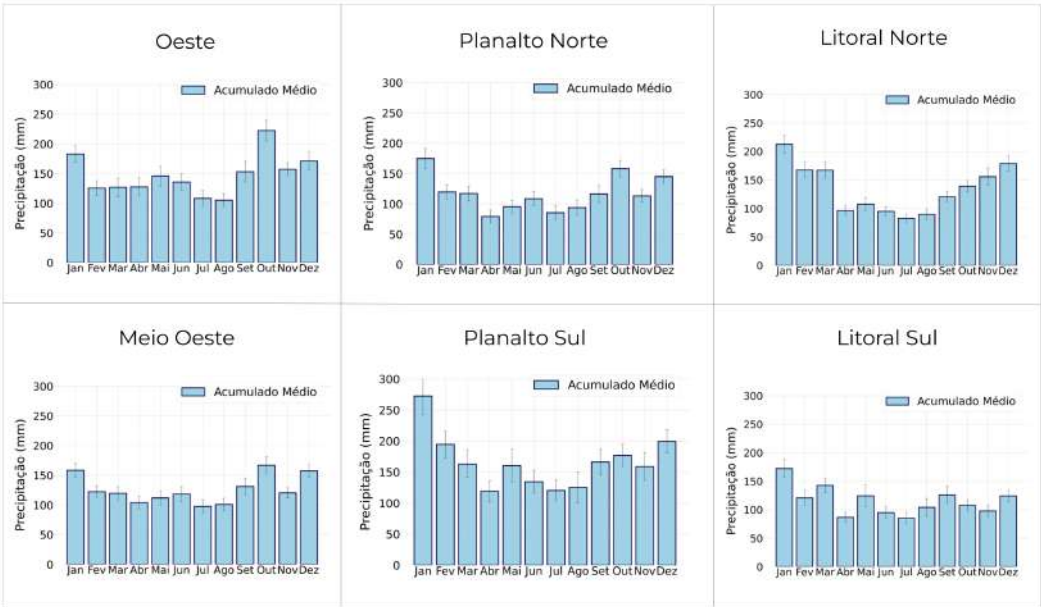
APÊNDICE B – LISTA MUNICIPIOS

Tabela 7 – Lista dos municípios de cada mesorregião

Oeste	Abelardo Luz, Alto Bela Vista, Anchieta, Arabutã, Arvoredo, Bandeirante, Barra Bonita, Belmonte, Bom Jesus, Bom Jesus do Oeste, Caibi, Campo Erê, Caxambu do Sul, Chapecó, Concórdia, Cordilheira Alta, Coronel Freitas, Coronel Martins, Cunha Porã, Cunhataí, Descanso, Dionísio Cerqueira, Entre Rios, Faxinal dos Guedes, Flor do Sertão, Formosa do Sul, Galvão, Guaraciaba, Guarujá do Sul, Guatambú, Iporã do Oeste, Ipuacu, Ipumirim, Iraceminha, Irani, Irati, Itapiranga, Itá, Jaborá, Jardinópolis, Jupiá, Lajeado Grande, Lindóia do Sul, Maravilha, Marema, Modelo, Mondai, Nova Erechim, Nova Itaberaba, Novo Horizonte, Ouro Verde, Paial, Palma Sola, Palmitos, Paraíso, Peritiba, Pinhalzinho, Planalto Alegre, Presidente Castello Branco, Princesa, Quilombo, Riqueza, Romelândia, Saltinho, Santa Helena, Santa Terezinha do Progresso, Santiago do Sul, Saudades, Seara, Serra Alta, Sul Brasil, São Bernardino, São Carlos, São Domingos, São José do Cedro, São João do Oeste, São Lourenço do Oeste, São Miguel da Boa Vista, São Miguel do Oeste, Tigrinhos, Tunápolis, União do Oeste, Vargeão, Xanxerê, Xavantina, Xaxim, Águas Frias, Águas de Chapecó.
Meio Oeste	Abdon Batista, Anita Garibaldi, Arroio Trinta, Bocaina do Sul, Brunópolis, Campo Belo do Sul, Campos Novos, Capinzal, Capão Alto, Catanduvás, Caçador, Celso Ramos, Cerro Negro, Correia Pinto, Curitiba, Erval Velho, Fraiburgo, Frei Rogério, Herval d'Oeste, Ibiam, Ibicaré, Iomerê, Ipira, Joaçaba, Lacerdópolis, Lages, Lebon Régis, Luzerna, Macieira, Monte Carlo, Otacílio Costa, Ouro, Palmeira, Passos Maia, Pinheiro Preto, Piratuba, Ponte Alta, Ponte Alta do Norte, Ponte Serrada, Rio das Antas, Salto Veloso, Santa Cecília, São Cristóvão do Sul, São José do Cerrito, Tangará, Treze Tilias, Vargem, Vargem Bonita, Videira, Zortéa, Água Doce.
Planalto Norte	Agrolândia, Agronômica, Atalanta, Aurora, Bela Vista do Toldo, Braço do Trombudo, Calmon, Campo Alegre, Canoinhas, Chapadão do Lageado, Corupá, Dona Emma, Doutor Pedrinho, Ibirama, Imbuia, Irineópolis, Itaiópolis, Ituporanga, José Boiteux, Laurentino, Lontras, Mafra, Major Vieira, Matos Costa, Mirim Doce, Monte Castelo, Papanduva, Petrolândia, Porto União, Pouso Redondo, Presidente Getúlio, Rio Negrinho, Rio do Campo, Rio do Oeste, Rio do Sul, Saleté, Santa Terezinha, São Bento do Sul, Taió, Timbó Grande, Trombudo Central, Três Barras, Vitor Meireles, Witmarsum.
Planalto Sul	Bom Jardim da Serra, Bom Retiro, Pánel, Rio Rufino, São Joaquim, Urubici, Urupema.
Litoral Norte	Alfredo Wagner, Angelina, Antônio Carlos, Apiúna, Araquari, Ascurra, Balneário Barra do Sul, Balneário Camboriú, Balneário Piçarras, Barra Velha, Benedito Novo, Biguaçu, Blumenau, Botuverá, Brusque, Camboriú, Canelinha, Florianópolis, Garuva, Gaspar, Governador Celso Ramos, Guabiruba, Guaramirim, Ilhota, Indaial, Itajaí, Itapema, Itapoá, Jaraguá do Sul, Joinville, Leoberto Leal, Luiz Alves, Major Gercino, Massaranduba, Navegantes, Nova Trento, Palhoça, Penha, Pomerode, Porto Belo, Presidente Nereu, Rancho Queimado, Rio dos Cedros, Rodeio, Santo Amaro da Imperatriz, Schroeder, São Francisco do Sul, São José, São João Batista, São João do Itaperiú, São Pedro de Alcântara, Tijucas, Timbó, Vidal Ramos, Águas Mornas.
Litoral Sul	Anitápolis, Araranguá, Armazém, Balneário Arroio do Silva, Balneário Gaivota, Balneário Rincão, Braço do Norte, Capivari de Baixo, Cocal do Sul, Criciúma, Ermo, Forquilha, Garopaba, Gravatal, Grão-Pará, Imaruá, Imbituba, Içara, Jacinto Machado, Jaguaruna, Laguna, Lauro Müller, Maracajá, Meleiro, Morro Grande, Morro da Fumaça, Nova Veneza, Orleans, Passo de Torres, Paulo Lopes, Pedras Grandes, Pescaria Brava, Praia Grande, Rio Fortuna, Sangão, Santa Rosa de Lima, Santa Rosa do Sul, Siderópolis, Sombrio, São Bonifácio, São João do Sul, São Ludgero, São Martinho, Timbé do Sul, Treviso, Treze de Maio, Tubarão, Turvo, Urussanga.

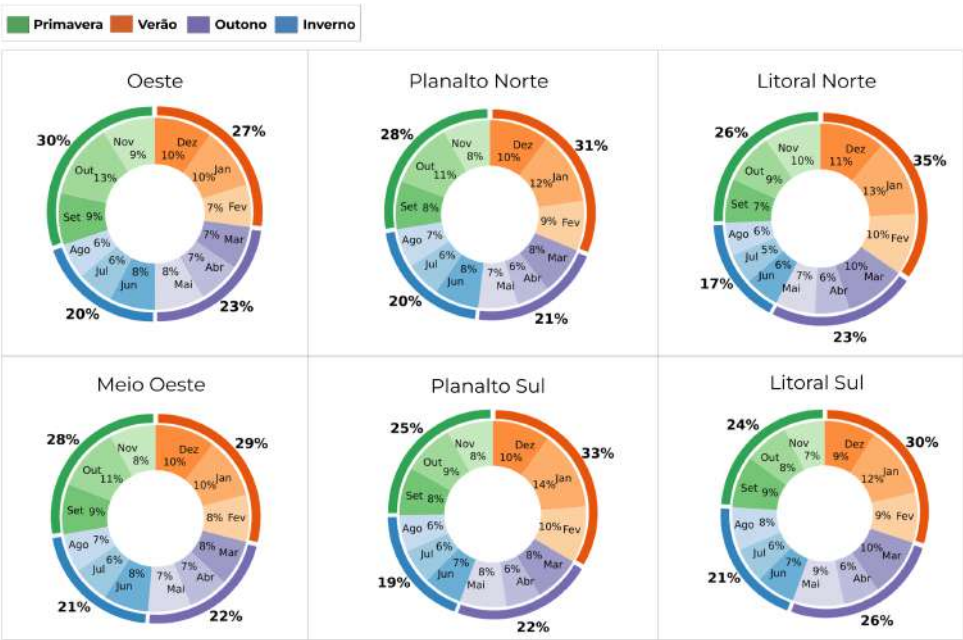
APÊNDICE C – COMPARATIVOS DAS MESORREGIÕES

Figura 83 – Comparação da distribuição média mensal (mm) entre as mesorregiões.



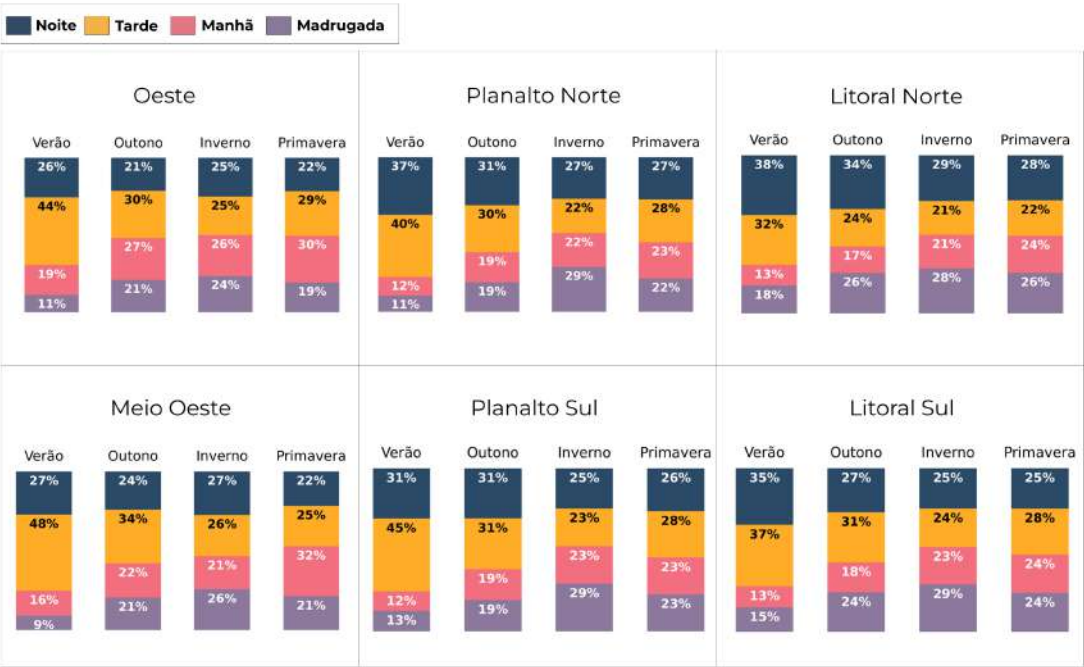
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 84 – Comparação da porcentagem em relação ao total anual da precipitação entre as mesorregiões.



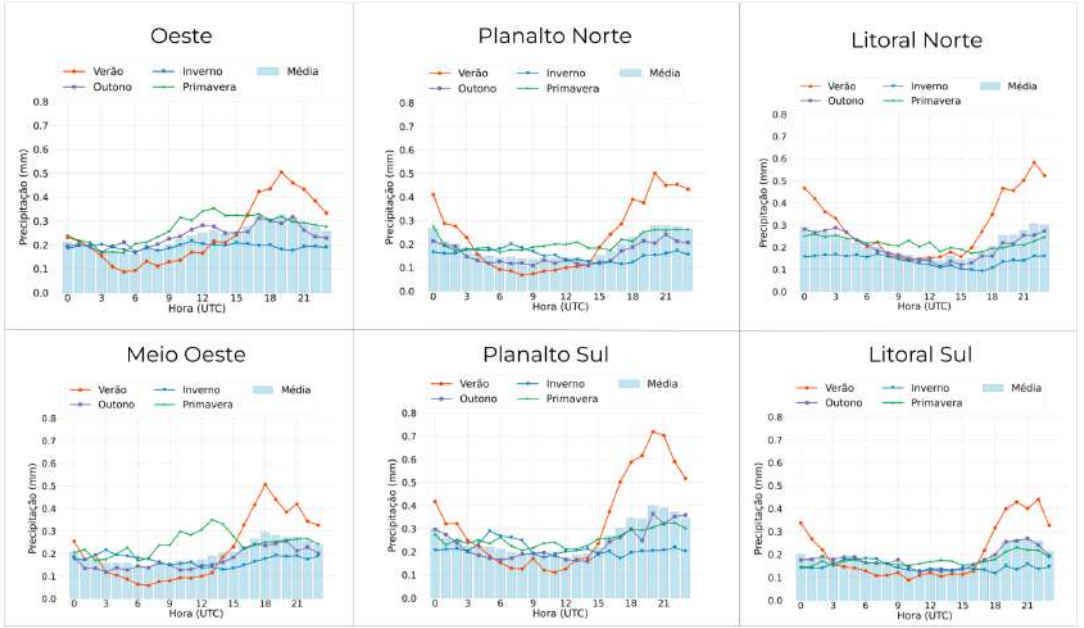
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 85 – Comparação da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, entre as mesorregiões.



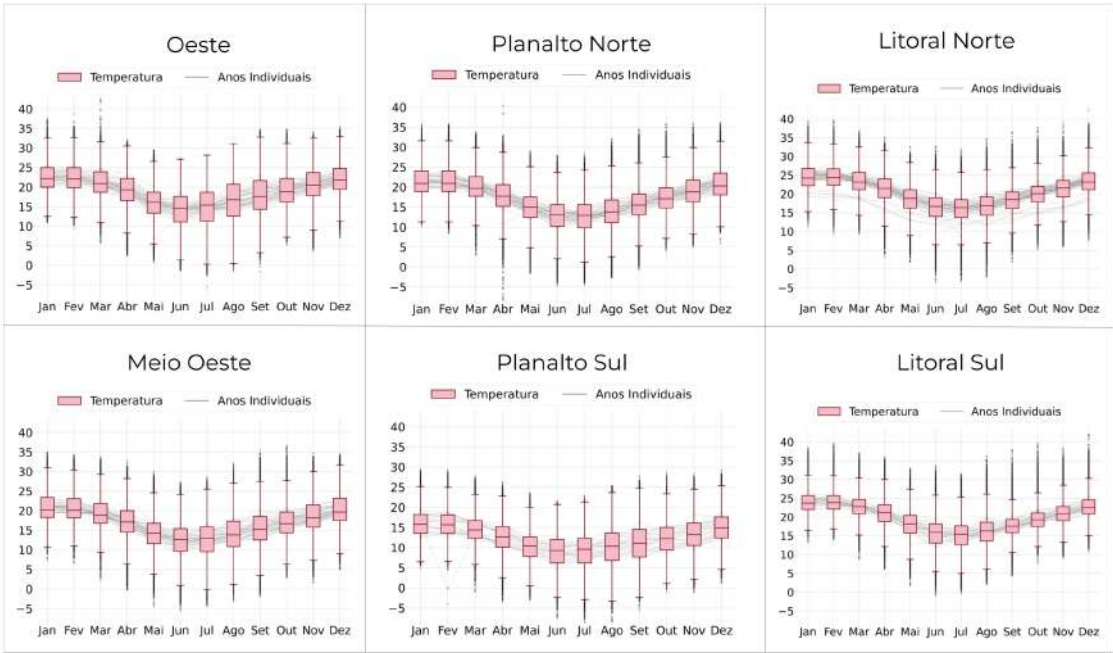
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 86 – Comparação do ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) entre as mesorregiões.



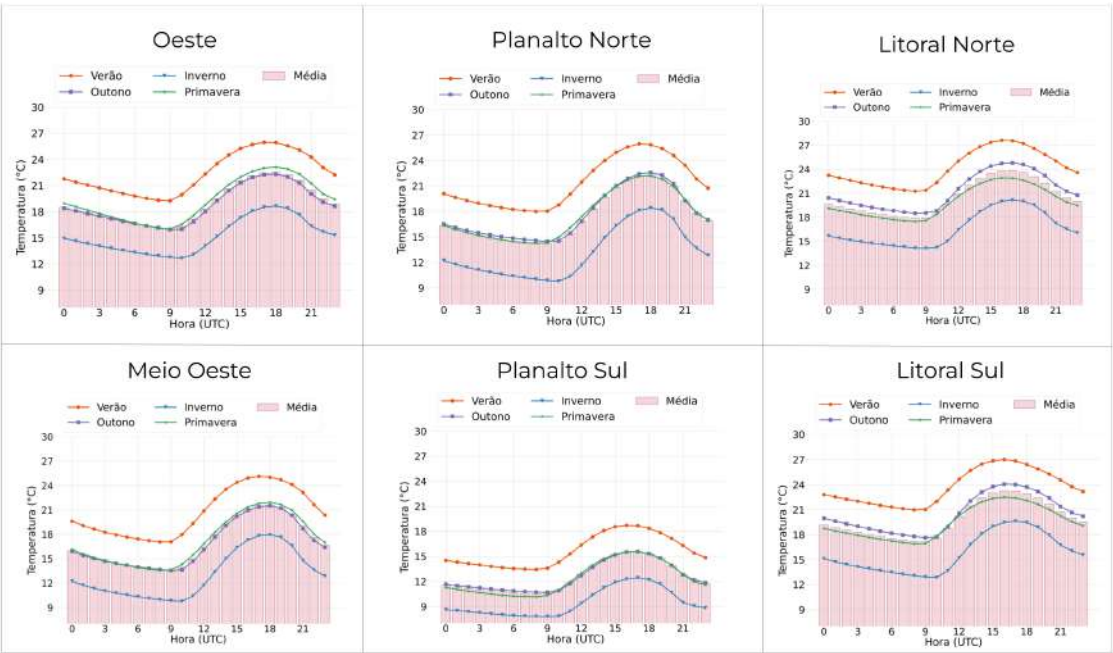
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 87 – Comparação dos diagramas de boxplots de temperaturas horárias.



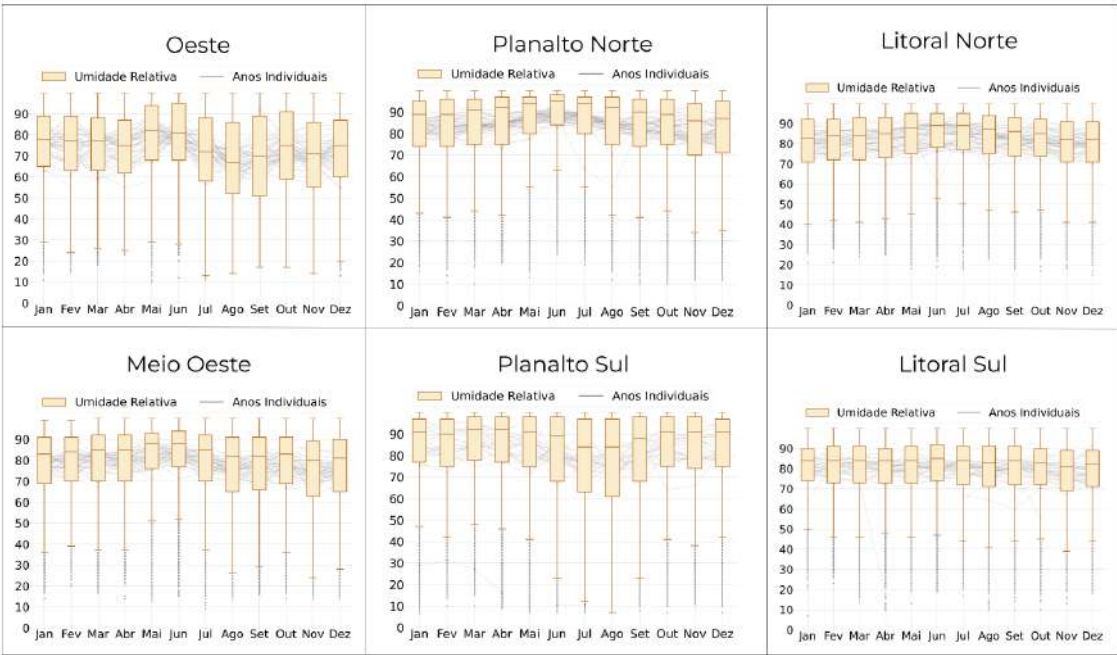
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 88 – Comparação dos ciclos diurnos médios (barras) e sazonal (linhas) da temperatura.



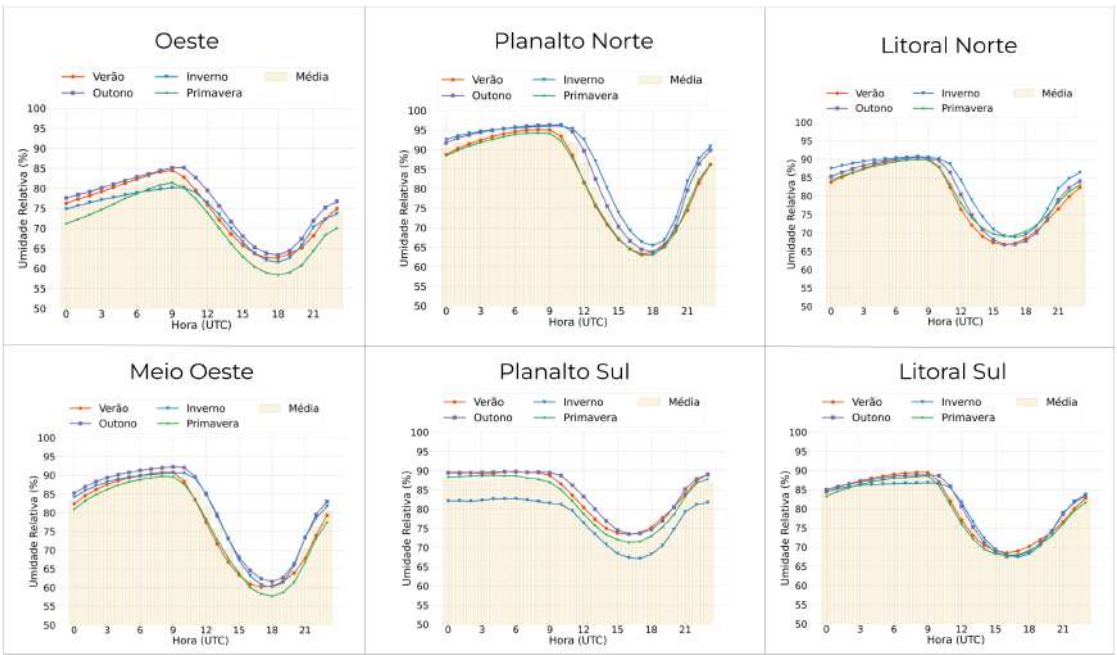
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 89 – Comparação dos diagramas de boxplots da umidade relativa horária.



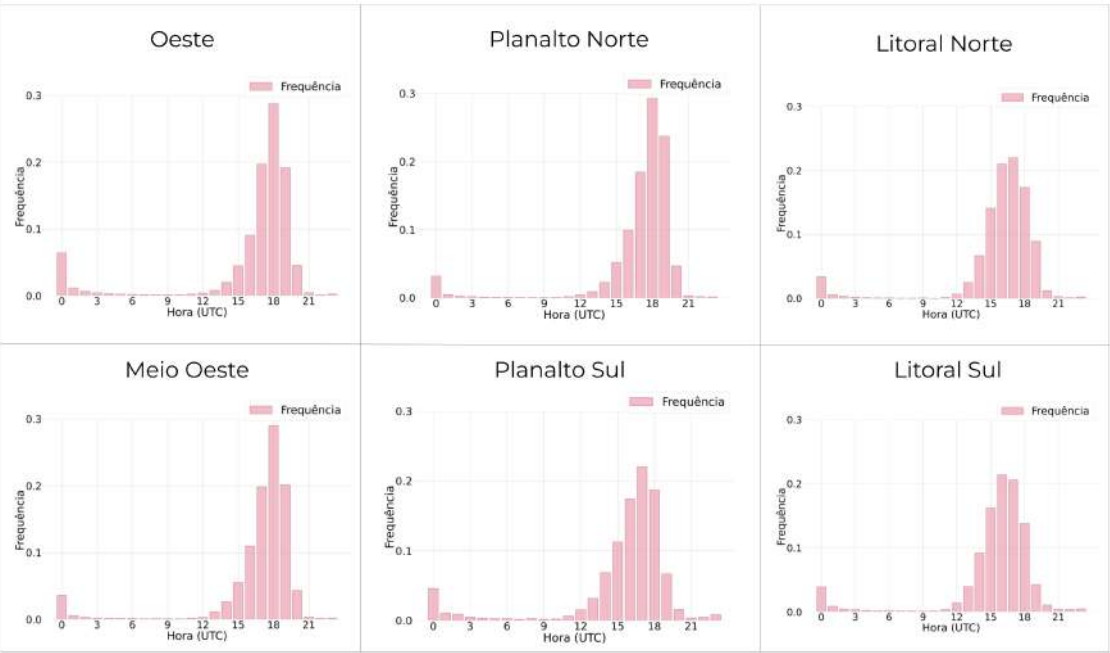
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 90 – Comparação dos ciclos diurnos médios (barras) e sazonal (linhas) da umidade relativa.



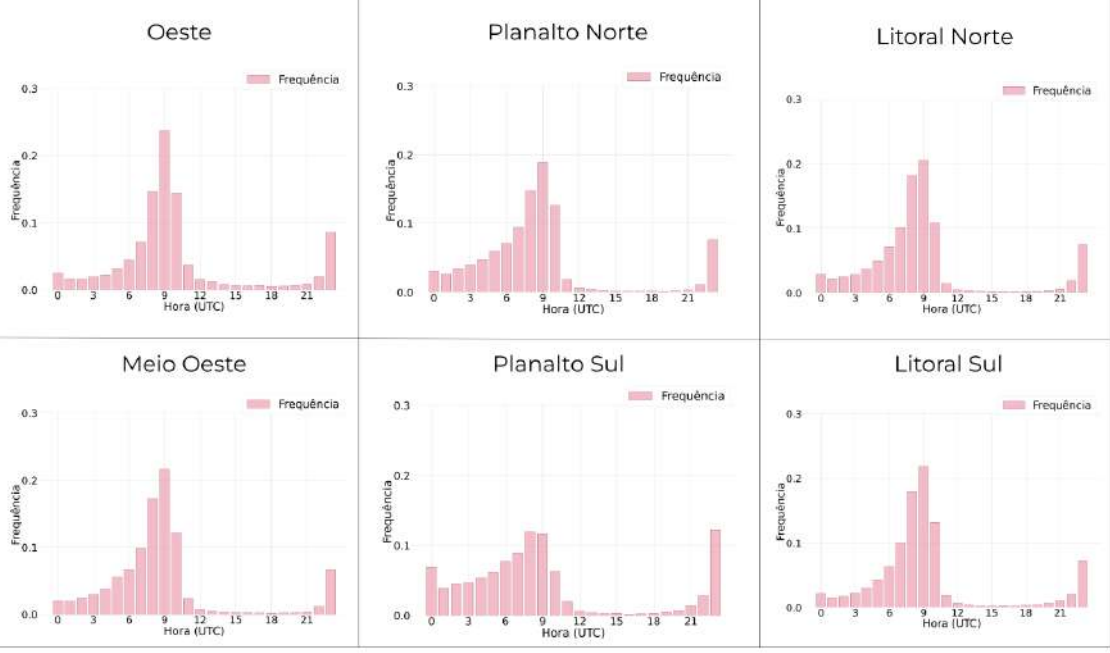
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 91 – Comparação das frequências horárias de registro de temperatura máxima.



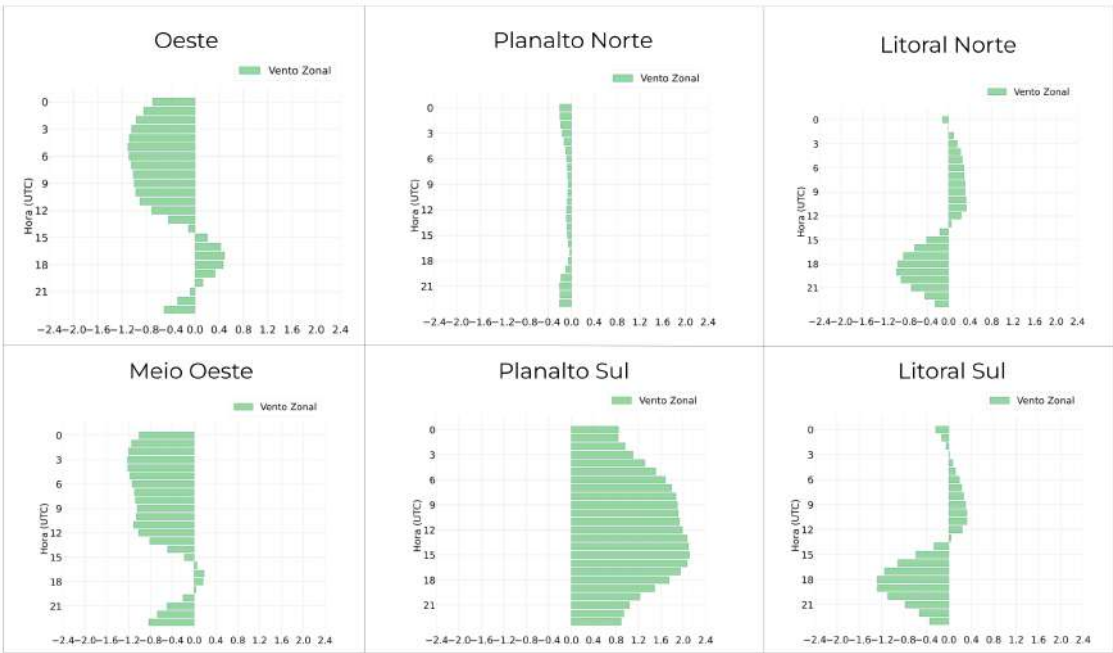
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 92 – Comparação das frequências horárias de registro de temperatura mínima.



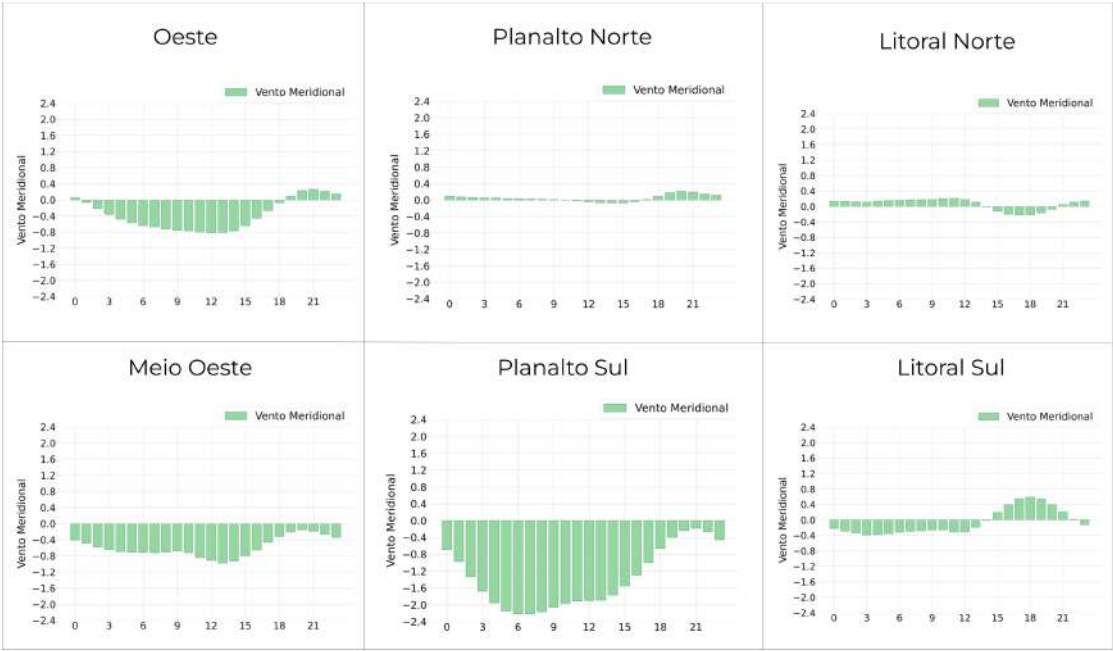
Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 93 – Comparação do ciclo diurno médio do vento zonal.



Fonte: elaboração própria (2023)

Figura 94 – Comparação do ciclo diurno médio do vento meridional.



Fonte: elaboração própria (2023)