Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
GD Editora

REGIONALIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA EM SANTA CATARINA COM DADOS DE ALTA RESOLUÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL

Regionalization of Precipitation and Temperature in Santa Catarina Using High Temporal and Spatial Resolution Data

Regionalización de la Precipitación y la Temperatura en Santa Catarina con Datos de Alta Resolución Temporal y Espacial

Caio Guerra de Oliveira
Instituto Federal de Santa Catarina
caio.guerra.oliveira@gmail.com

Mario Francisco Leal de Quadro
Instituto Federal de Santa Catarina
mquadro95@ifsc.edu.br

Resumo: A complexidade geográfica de Santa Catarina (SC) e a interação de diversos sistemas meteorológicos resultam em uma multiplicidade de variações climáticas localizadas. Diversos eventos extremos ocorrem em SC, resultando em danos materiais e socioeconômicos. Além disso, o clima também tem efeitos diretos na agricultura e na biodiversidade regional. O conhecimento aprofundado das características regionais poderia auxiliar o entendimento de possíveis impactos dos modos climáticos em diversos setores e as necessidades de recursos para abordá-los. Neste estudo, visando entender o comportamento das variáveis meteorológicas precipitação e temperatura de forma regionalizada, aplicou-se a técnica de agrupamento hierárquico, pelo método de Ward, nos dados horários das estações meteorológicas automáticas (EMAs) da rede do INMET entre 2000 e 2022. Para a aplicação do método, os dados foram padronizados de forma que contribuam de maneira igualitária no método, independente de sua escala original. Como resultado dessa análise, seis mesorregiões distintas foram encontradas em SC. Para cada uma dessas mesorregiões, foram geradas novas climatologias de precipitação e temperatura, e calculadas as suas variações sazonais e seus ciclos diurnos. Os gráficos e análises obtidos oferecem uma visão mais profunda das características climáticas de cada mesorregião.

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

Abstract: The geographical complexity of Santa Catarina (SC) and the interaction of various meteorological systems result in a multitude of localized climatic variations. Numerous extreme events

occur in SC, leading to material and socioeconomic damages. Additionally, climate also has direct effects on regional agriculture and biodiversity. In-depth knowledge of regional characteristics could aid in understanding potential impacts of climatic patterns across various sectors and the resource needs to address them. In this study, aiming to comprehend the behavior of meteorological variables precipitation and temperature in a regionalized manner, hierarchical clustering technique was applied using the Ward method on hourly data from automatic weather stations (EMAs) of the INMET network between 2000 and 2022. For method application, data were standardized to contribute equally, irrespective of their original scale. As a result of this analysis, six distinct mesoregions were identified in SC. For each of these mesoregions, new precipitation and temperature climatologies were generated, and their seasonal variations and diurnal cycles were calculated. The graphs and analyses obtained provide a deeper insight into the climatic characteristics of each mesoregion.
Keywords: Mesoclimate. Clustering. Diurnal Cycle.

Resumen: La complejidad geográfica de Santa Catarina (SC) y la interacción de diversos sistemas meteorológicos resultan en una multiplicidad de variaciones climáticas localizadas. En SC ocurren varios eventos extremos que causan daños materiales y socioeconómicos. Además, el clima afecta directamente a la agricultura y la biodiversidad regional. Un conocimiento profundo de las características regionales podría ayudar a entender los posibles impactos de los patrones climáticos en diferentes sectores y las necesidades de recursos para abordarlos. En este estudio, se aplicó la técnica de agrupamiento jerárquico mediante el método de Ward a los datos horarios de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) de la red del INMET entre 2000 y 2022, con el objetivo de comprender el comportamiento de las variables meteorológicas de precipitación y temperatura de manera regionalizada. Para la aplicación del método, los datos fueron estandarizados para que contribuyan de manera equitativa al análisis, independientemente de su escala original. Como resultado de este análisis, se identificaron seis mesorregiones distintas en SC. Para cada una de estas mesorregiones, se generaron nuevas climatologías de precipitación y temperatura, y se calcularon sus variaciones estacionales y sus ciclos diurnos. Los gráficos y análisis obtenidos proporcionan una visión más profunda de las características climáticas de cada mesorregión.
Palabras clave: Mesoclima. Clustering. Ciclo diurno. Santa Catarina.

Submetido em: 20/10/2023
Aceito para publicação em: 23/04/2024
Publicado em: 19/07/2024

1. INTRODUÇÃO

O estado de Santa Catarina (SC) possui variações climáticas marcantes devido a sua localização no centro geográfico da Região Sul do Brasil (RSB), caracterizado pela transição entre os trópicos e as latitudes médias, relevo diversificado e continentalidade alongada. Estes aspectos resultam na heterogeneidade climática da região, com diferentes regimes de precipitação e grande contraste térmico.

O clima em SC apresenta uma série de desafios, com eventos extremos como inundações e enxurradas afetando áreas urbanas, resultando em danos materiais e socioeconômicos significativos. O CEPED (2013) identificou cerca de 5000 ocorrências de desastres naturais no estado entre 1991 e 2012, causadas tanto por excesso quanto por falta de precipitação.

A agricultura, crucial na RSB, também é impactada pela variabilidade climática, influenciando padrões de irrigação e produtividade das culturas, o que pode levar à insegurança alimentar e problemas econômicos (Ferreira et al., 2005; Berlato et al., 2005; Lazzari, 2006; Leivas et al., 2014; Arsego et al., 2020). A biodiversidade regional também sofre, com alterações nos padrões sazonais perturbando ciclos naturais e eventos extremos, como incêndios florestais, modificando habitat (Tozato, 2015; Bueno e Ferreira, 2021). A compreensão do clima regionalizado é vital para a formulação de políticas públicas eficazes, incluindo investimentos em infraestrutura adaptada, práticas agrícolas alinhadas ao clima e sistemas de alerta eficientes para proteger contra condições climáticas adversas.

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. As áreas elevadas dos estados, nos planaltos e serras, garantem um forte gradiente espacial de temperatura em relação às regiões mais baixas (Grimm, 2009).

Reboita (2012) descreve que a precipitação na RSB se apresenta bem distribuída durante todo o ano, alcançando elevados totais pluviométricos, especialmente na fronteira oeste do sul do Brasil com o Paraguai. Dos principais sistemas meteorológicos que atuam na RSB, a autora destaca a 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

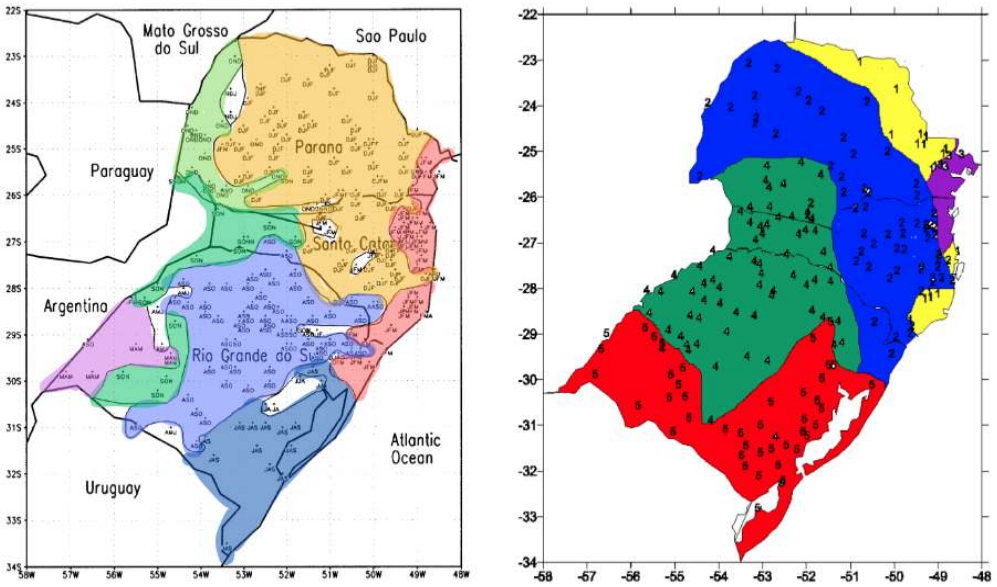
ZCAS. Portanto, a combinação e interação destes sistemas meteorológicos determinam o clima variado e dinâmico da RSB.

Grimm et al. (1998) observaram variações nos padrões anuais de precipitação na região sul do Brasil, destacando a existência de diferentes regimes climáticos (Figura 1a). Em SC, foi identificado um centro-leste com pico de precipitação no verão, que se assemelha ao clima subtropical com influências monçônicas; uma zona de transição entre SC e RS com maior precipitação entre verão e outono; faixas nas fronteiras dos estados com picos de precipitação no inverno, influenciados por ciclones extratropicais; e áreas litorâneas com pico de precipitação entre janeiro e março, onde a influência da topografia é evidente. Complementando essa análise, Severo (2008) identificou cinco regiões com padrões homogêneos de precipitação no Sul (Figura 1b), com quatro destas áreas localizadas em SC, corroborando em grande parte com os achados de Grimm.

Especificamente em Santa Catarina, diversos estudos aplicaram métodos de agrupamento para investigar os padrões de precipitação (Andrade, 1999; Baldo, 2000; Ichiba, 2002; Baptista, 2018), identificando de 4 a 7 grupos em média. Características comuns entre os estudos incluem o destaque da região oeste, frequentemente distinta das outras (Andrade, 1999; Ichiba, 2002), a semelhança observada entre o Planalto Sul e o Litoral Sul (Andrade, 1999; Baldo, 2000), a divisão das regiões litorâneas entre norte e sul, e a falta de concordância nas áreas do Meio Oeste, Planaltos e Alto Vale do Itajaí, apresentando divisões variadas (Andrade, 1999; Severo, 2008; Grimm, 2009).

Uma limitação em comum destas análises ao se tratar do clima regionalizado foi a utilização de baixas resoluções temporais de precipitação, utilizando de pentadas à 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. No trabalho de Baptista (2018), foram agrupadas regiões de encostas, que possuem máximos de precipitação associados a chuvas orográficas, entretanto, os sistemas meteorológicos que atuam nestas áreas não são necessariamente os mesmos. Além disso, estas avaliações se resumem ao comportamento apenas da precipitação, não levando em consideração outros impactos dos sistemas meteorológicos, como sua influência na temperatura.

Figura 1 - 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 et al. (2018) e Severo (2007).

Dada a diversidade do tempo e clima na RSB, uma investigação aprofundada e com a adição da temperatura na análise, a partir dos dados de alta resolução temporal da rede de monitoramento existente, pode ser capaz de proporcionar uma caracterização espaço-temporal de forma regionalizada. A partir deste conhecimento, abre-se a oportunidade de investigar os possíveis impactos dos modos climáticos em diversos setores e das necessidades de recursos para abordá-las.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo, Materiais e Ferramentas

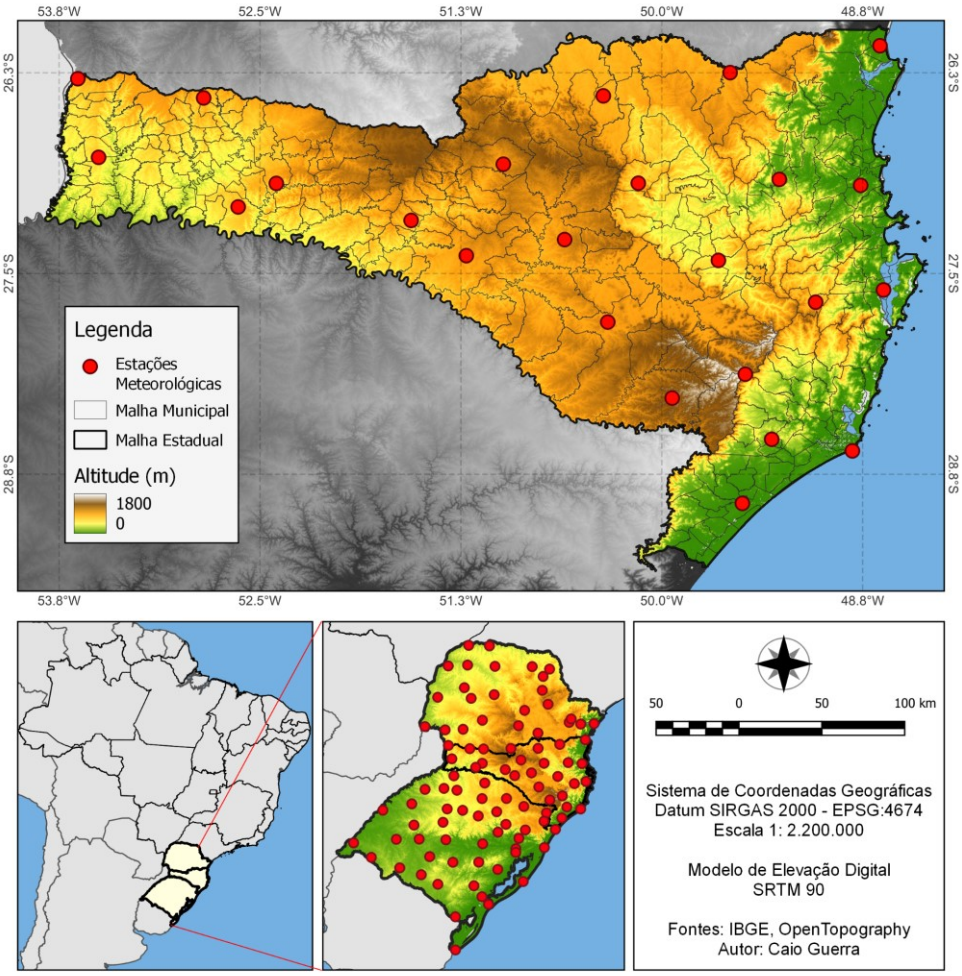
Santa Catarina (SC) está localizado aproximadamente entre as latitudes 26°S e 29°S e as longitudes 48°W e 53°W (Figura 2). O estado é geograficamente delineado por distintos geossistemas e geofácies que moldam seu relevo e clima. Segundo Catarina (2016), a Planície Costeira Quaternária abraça toda a faixa litorânea, subdividida em Planície Norte, Central e Sul, caracterizando-se por uma topografia plana com altitudes de até 30 metros, ainda a Serra do Leste Catarinense atua como 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.

Segundo a Classificação Climática de Köppen-Geiger (Koppen, 1936), a mais reconhecida e amplamente utilizada internacionalmente, a qual foi reproduzida para a RSB por diversos autores, como por exemplo Wrege, 2012, o estado catarinense apresenta dois tipos climáticos predominantes: o subtropical úmido com verões quentes (Cfa) e brandos (Cfb). Uma aplicação mais recente e robusta da metodologia de Novais (Novais e Machado, 2023) encontrou para o estado 4 unidades climáticas. O litoral foi classificado como Tropical Ameno úmido litorâneo sul do Brasil, as áreas centrais como Subtropical úmido meridional do Brasil, as regiões baixas no Extremo Oeste como Tropical Ameno úmido meridional do Brasil e, por fim, Temperado úmido meridional do Brasil nas áreas mais altas do Planalto Serrano.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os dados de precipitação e temperatura das estações meteorológicas da rede automática do INMET na RSB, com periodicidade horária, no período de 2000 a 2022, as quais são apresentadas na Figura 2. Segundo o Guia de Práticas para Climatologia da Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2018), 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 têm períodos distintos, possuindo até 20 anos de dados. O volume de dados não é o ideal, porém já é expressivo, e permite a iniciativa de interpretação. As estações com períodos menores que 10 anos foram desconsideradas na análise. A manipulação dos dados e os gráficos foram realizados com a linguagem python. As elaborações dos mapas foram realizadas no QGIS. 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.

Figura 2 - Carta Hipsométrica de SC e distribuição da rede de estações automáticas do INMET na RSB.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

2.1. Método de Agrupamento

Neste trabalho foi utilizado o agrupamento hierárquico. Nesta abordagem, a similaridade ou dissimilaridade dos objetos é representada pelas distâncias entre eles. 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). Das variáveis de distâncias possíveis, foi definida a utilização da Distância Euclidiana, a mais comumente utilizada nos estudos climatológicos (Mimmack, 2001). Para garantir uma análise coerente, as variáveis de precipitação e temperatura foram padronizadas antes da aplicação do método, ajustando-as para ter uma variância unitária. O processo consiste em subtrair a média da medição e, em seguida, dividir o resultado pelo desvio padrão. 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.

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 de diversos estados brasileiros (BRAGA, 1998; SEVERO, 2008; LIMA, 2010; AMANAJÁS, 2012; MENEZES, 2015; SANTOS, 2016). 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 busca é expresso pela equação (1) que, de forma iterativa, objetiva agrupar clusters que resultem no mínimo aumento de variação interna (Ward Jr, 1963).

(1) $$E = \sum_{m=1}^{g} Em \,,$$

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

(2) $$Em = \sum_{l=1}^{nm} \sum_{k=1}^{p} (x_{ml,k} - \underline{x}_{m,k})^2$$

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 i-ésima observação no m-ésimo cluster para a k-ésima variável. Por fim, $\underline{x}_{m,k}$ é simplesmente a média dos valores de todas as observações no m-ésimo cluster para a k-ésima variável, expressa na equação (3).

(3) $$\underline{x}_{m,k} = \frac{1}{nm} \sum_{l=1}^{nm} x_{ml,k}$$

Após definir as regiões homogêneas, foi criada uma nova série temporal representativa de cada região, nas quais os valores horários são calculados a partir de uma média dos valores de todas as estações disponíveis em cada horário. Para datas com apenas uma estação meteorológica operante, o valor da mesma é utilizado, quando duas ou mais estações tiverem

registros, o valor da média entre elas será calculado. Com a série temporal consolidada, derivamos médias horárias, mensais e ciclos diurnos sazonais para construir uma climatologia representativa para cada agrupamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Regionalização da temperatura e precipitação

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, especialmente quando comparado à utilização de dados de menor resolução temporal, como os diários ou mensais, comumente empregados em estudos de agrupamento (GRIMM et al., 1998; SEVERO, 2008; Andrade, 1999; BAPTISTA, 2018). Uma diminuição na homogeneidade interna indica que os grupos estão menos coesos, em outras palavras, significa um agrupamento de menor qualidade. 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.

O resultado do agrupamento hierárquico, aplicado no conjunto de dados horários das EMAs no estado de SC, é apresentado na Figura 3. O método se mostrou eficiente em identificar áreas as quais, em análise prévia, apresentavam características parecidas ou se localizam nas mesmas regiões geográficas. 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. As variáveis de precipitação e temperatura foram os elementos meteorológicos utilizados na confecção do dendrograma. 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).

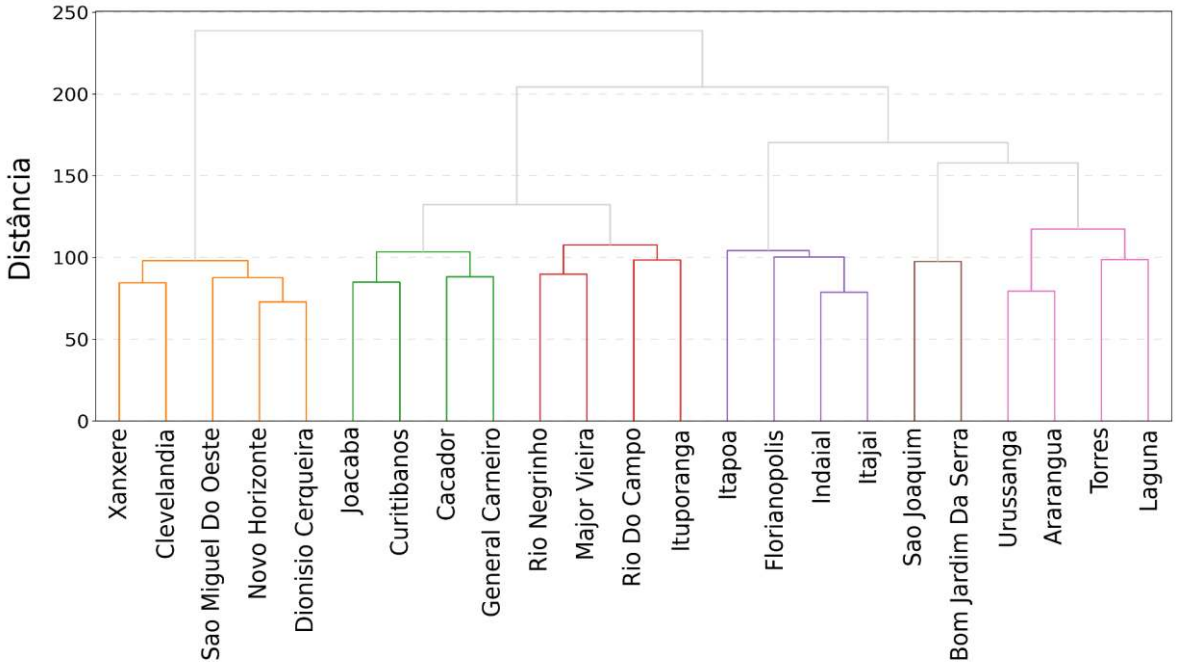
No dendrograma é possível distinguir seis grupos distintos, apresentados em diferentes cores. Os resultados obtidos no dendograma combinada as diferenças na topografia foram os fatores para definir os limites entre as mesorregiões encontradas, apresentadas na Figura 4.

Da esquerda para a direita, 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.

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.

Figura 3 - Dendrograma resultante do agrupamento hierárquico aplicado nos fatores meteorológicos precipitação (3h) e temperatura.



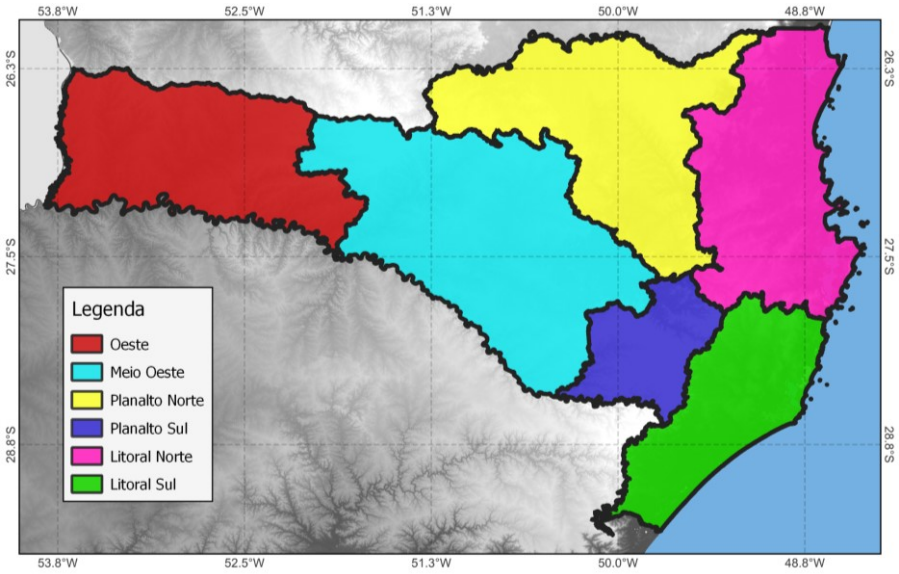
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O quinto grupo também é de fácil reconhecimento, apontando as áreas mais elevadas e frias da serra catarinense, localizada no Planalto Sul. Esta região, como visto na figura 2, 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 quarto 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.

Figura 4 - Regionalização realizada a partir dos diferentes modos climáticos encontrados no estado de SC, obtidos através do método de agrupamento hierárquico.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Foram realizados testes de agrupamento utilizando as variáveis individualmente. Em comparação com o resultado final, nota-se o papel de cada uma delas no agrupamento obtido. Quando avaliado apenas a precipitação, existe uma dificuldade na separação das áreas dos planaltos ao litoral. As áreas mais altas do planalto sul se assemelham ao Litoral Sul, provavelmente devido a sua atuação como barreira geográfica dos sistemas que vem de oceano, mas também pela faixa latitudinal, sendo um caminho comum dos sistemas que vem de oeste avançar das áreas serranas em direção ao Litoral Sul. Ainda, a separação é de grande dificuldade entre o Meio Oeste, Planalto Norte e Vale do Itajaí. Com a utilização da variável de temperatura, distinguiu-se com maior facilidade as regiões litorâneas dos planaltos, assim como foi possível observar diferenças nas áreas centrais do Meio Oeste à região do Alto Vale do Itajaí.

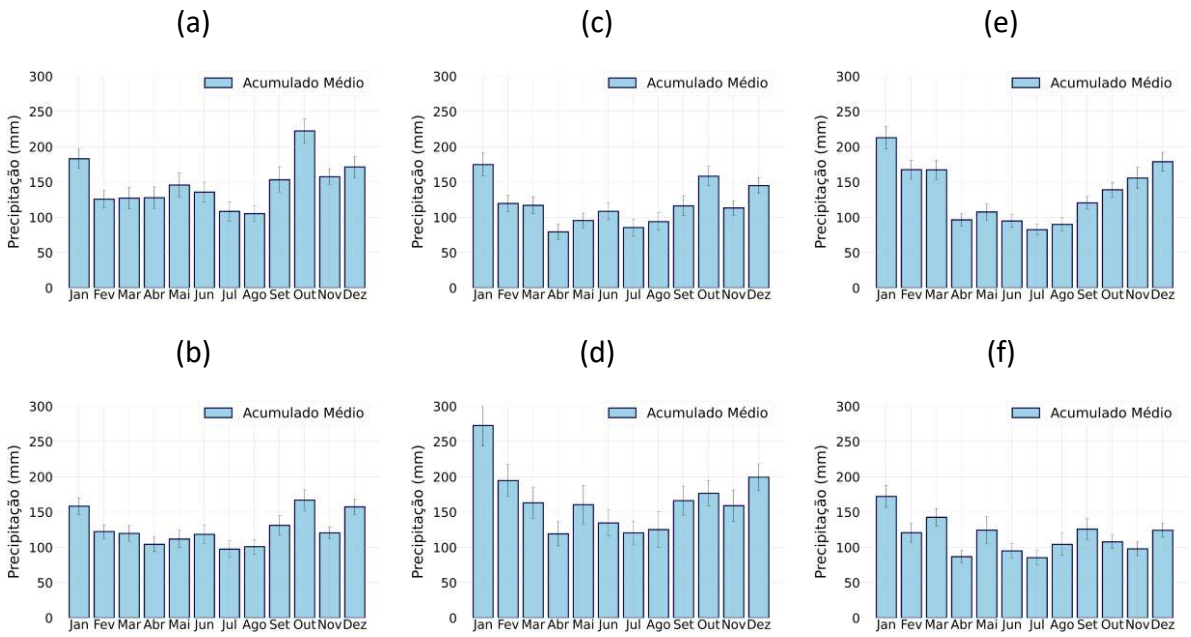
3.2. Características das Mesorregiões

Os mosaicos apresentados nas figuras 5 a 10 apresentam os gráficos gerados para cada mesorregião, a partir da combinação das estações meteorológicas nelas contidas. São exploradas as variáveis de precipitação e temperatura em suas médias mensais e horárias, assim como suas diferenças nas estações do ano.

Em todas as regiões de SC nota-se que a precipitação é bem distribuída ao longo do ano (Figura 5). Apesar de existirem episódios de seca ao longo da série histórica, não é possível definir uma estação seca. O que é possível distinguir são os volumes e características das chuvas observadas no decorrer do ano. Nas regiões Oeste e Meio Oeste, nota-se altos acumulados observados na primavera, com um pico da precipitação no mês de Outubro. No Oeste (Figura 5a e 6a), os acumulados em Outubro tem valores médios por volta de 230 mm, estes valores elevados fazem com que a primavera represente a maior parcela da chuva, por volta de 30% do total anual, sendo 13% apenas em Outubro.

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 os trabalhos de Grimm (2009) e Wrege et al. (2012), que observam máximos neste período do ano para o Grande Oeste. 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, 2012).

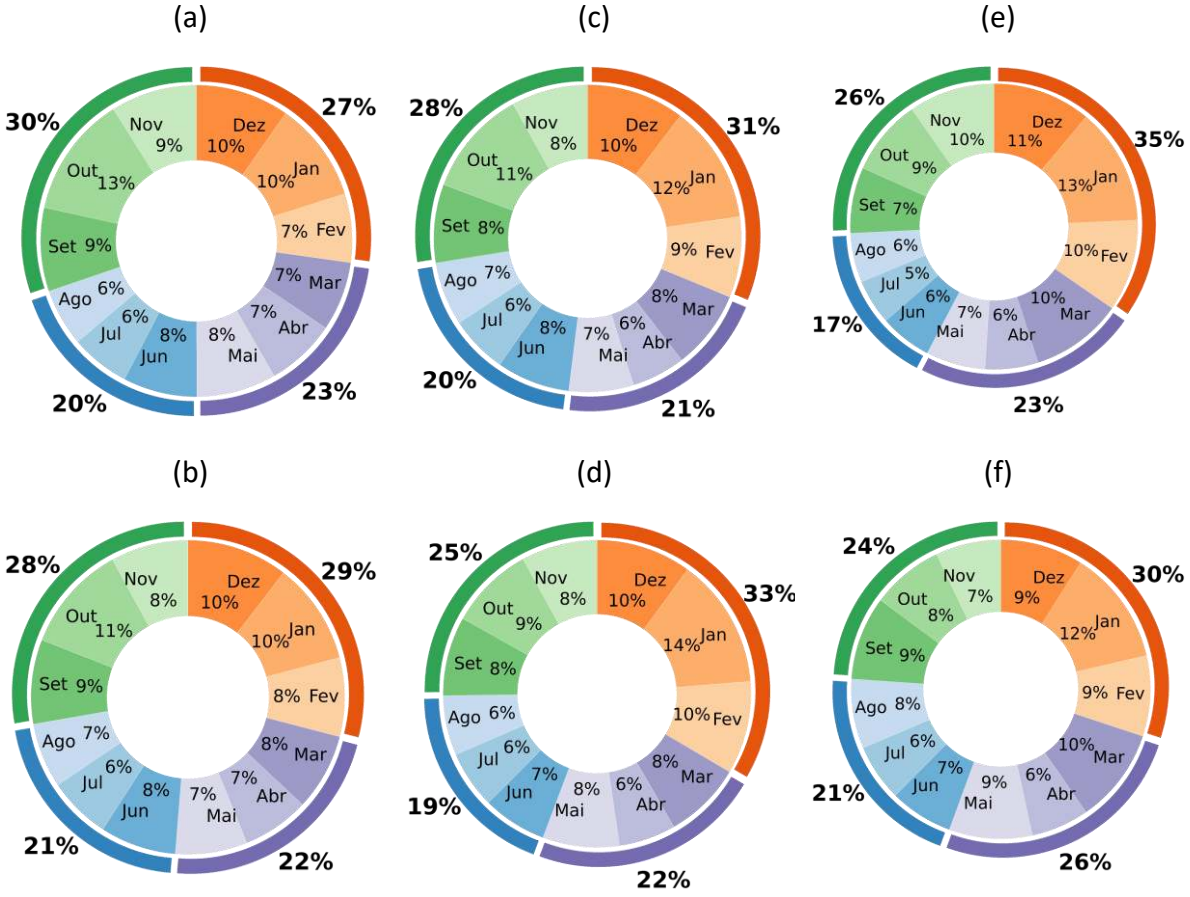
Figura 5 - Médias mensais da precipitação para as mesorregiões oeste (a), meio oeste (b), planalto norte (c), planalto sul (d), litoral norte (e) e litoral sul (f).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

As climatologias dos SCMs indicam que, durante a primavera austral, seu impacto é maior nas regiões da fronteira Oeste de SC (Durkee, 2009). Estas características ficam claras ao comparar as regiões do estado. Nesta época do ano, notam-se valores maiores de precipitação nas regiões Oeste e Meio Oeste, em relação às regiões dos planaltos ao litoral (Figura 5), assim como uma maior parcela da precipitação total anual (Figura 6) em relação às chuvas observadas nas demais. Isto fica evidente quando toda a região entre os planaltos e o litoral tem a estação de verão representando mais de 30% da precipitação anual, enquanto que na região Oeste a participação do verão é menor em relação à primavera.

Figura 6 - Porcentagem em relação ao total anual da precipitação para as mesorregiões oeste (a), meio oeste (b), planalto norte (c), planalto sul (d), litoral norte (e) e litoral sul (f).



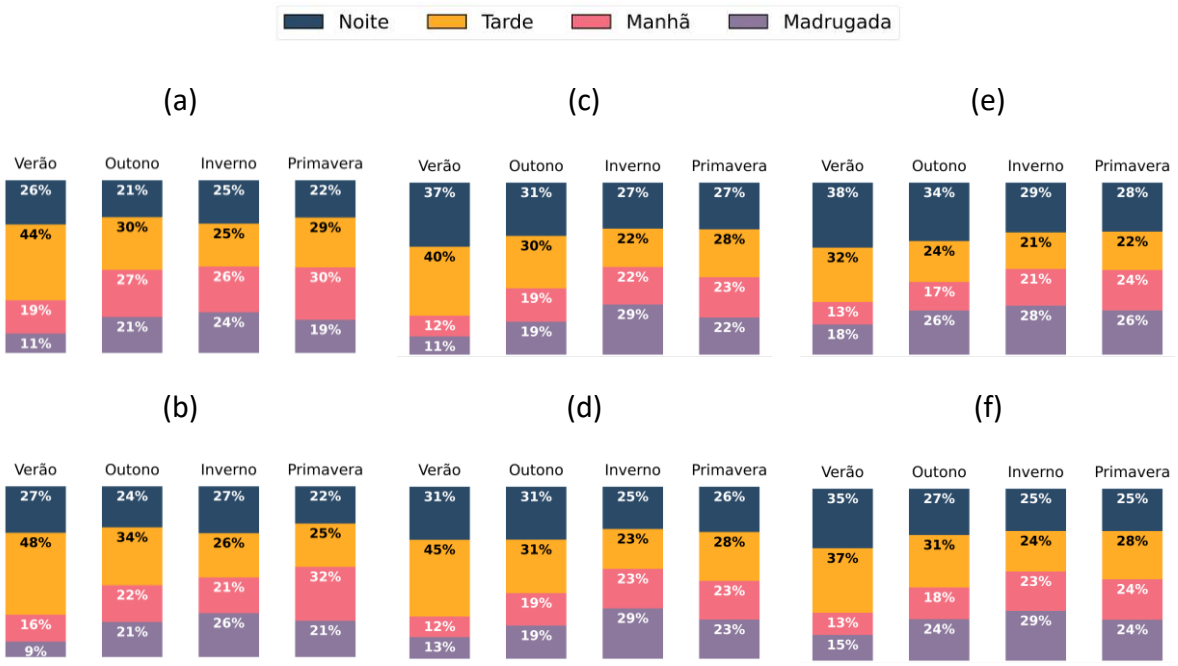
Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

O resultado concorda também com a climatologia dos SCMs, segundo Durkee, 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%–50% no regime de precipitação, apesar de existir uma grande variabilidade interanual.

Para melhor entender os sistemas atuantes em cada época do ano, as Figuras 7 e 8 mostram a climatologia sazonal da chuva horária, em relação ao total diário e valores absolutos. Observando o ciclo diurno da precipitação na primavera, nota-se que são observados os valores mais elevados durante a manhã nas regiões Oeste e Meio Oeste (Figura 8a e 8b), com o valor máximo entre 12 e 13 UTC, corroborando com a atuação dos CCMs nesta região, que tem sua formação tipicamente noturna a leste da cordilheira dos Andes, com deslocamento para leste, quando chegaria na longitude de Santa Catarina no período matinal

(Pereira Filho, 2014). É possível verificar na Figura 7 que apenas as regiões Oeste e Meio Oeste apresentam a maior parte da precipitação durante o período da manhã na primavera, de 30% a 32% respectivamente.

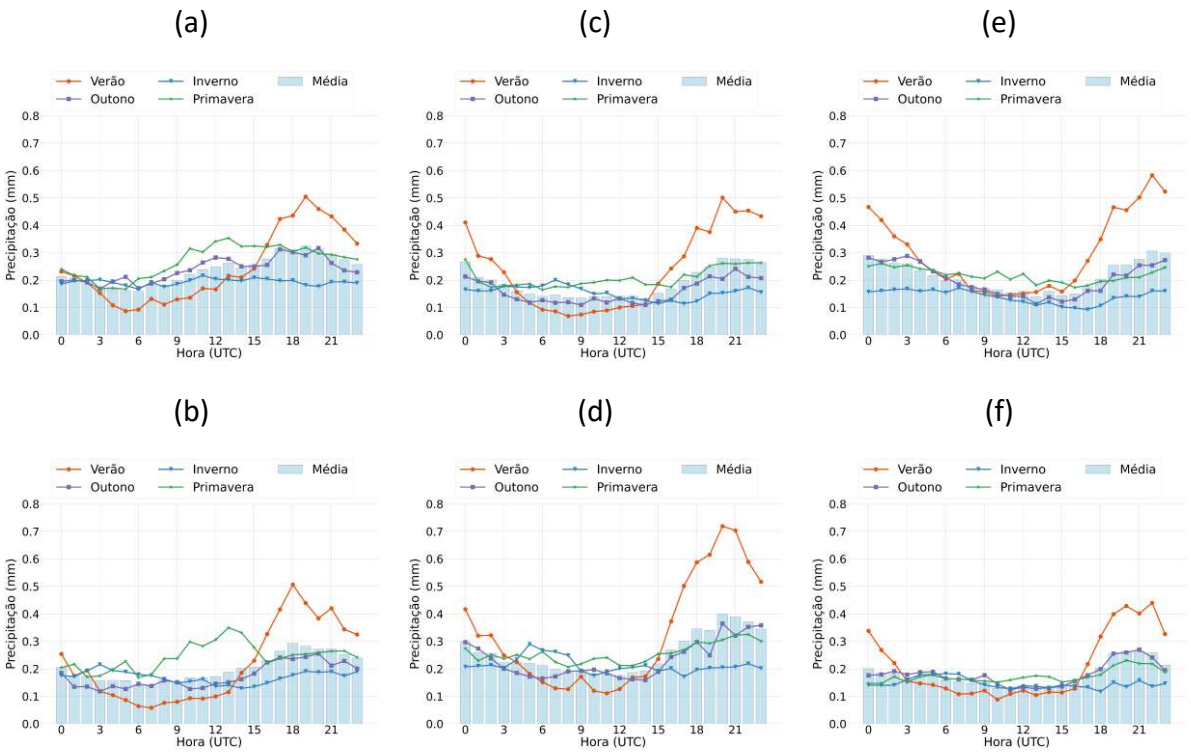
Figura 7 - Distribuição da porcentagem sazonal de precipitação, por período do dia, em relação ao acumulado do dia, para as mesorregiões oeste (a), meio oeste (b), planalto norte (c), planalto sul (d), litoral norte (e) e litoral sul (f).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No verão se observa uma mudança no paradigma das chuvas, típico de climas com características de monção. Nesta época, a chuva é primariamente convectiva, associada ao aquecimento diurno e disponibilidade de umidade. Os volumes desta época são significativamente maiores em grande parte do estado (Figura 7), com valores que podem chegar até 35% do total anual no Litoral Norte (Figura 7e). A exceção fica apenas para a Região Oeste, como discutido anteriormente. Ainda, a climatologia horária ajuda a perceber o padrão convectivo. 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, 2019) e intensifica a penetração dos ventos de leste em superfície, promovendo chuvas orográficas, especialmente na Serra do Mar (GRIMM, 2009).

Figura 8 - Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da precipitação horária para as mesorregiões oeste (a), meio oeste (b), planalto norte (c), planalto sul (d), litoral norte (e) e litoral sul (f).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

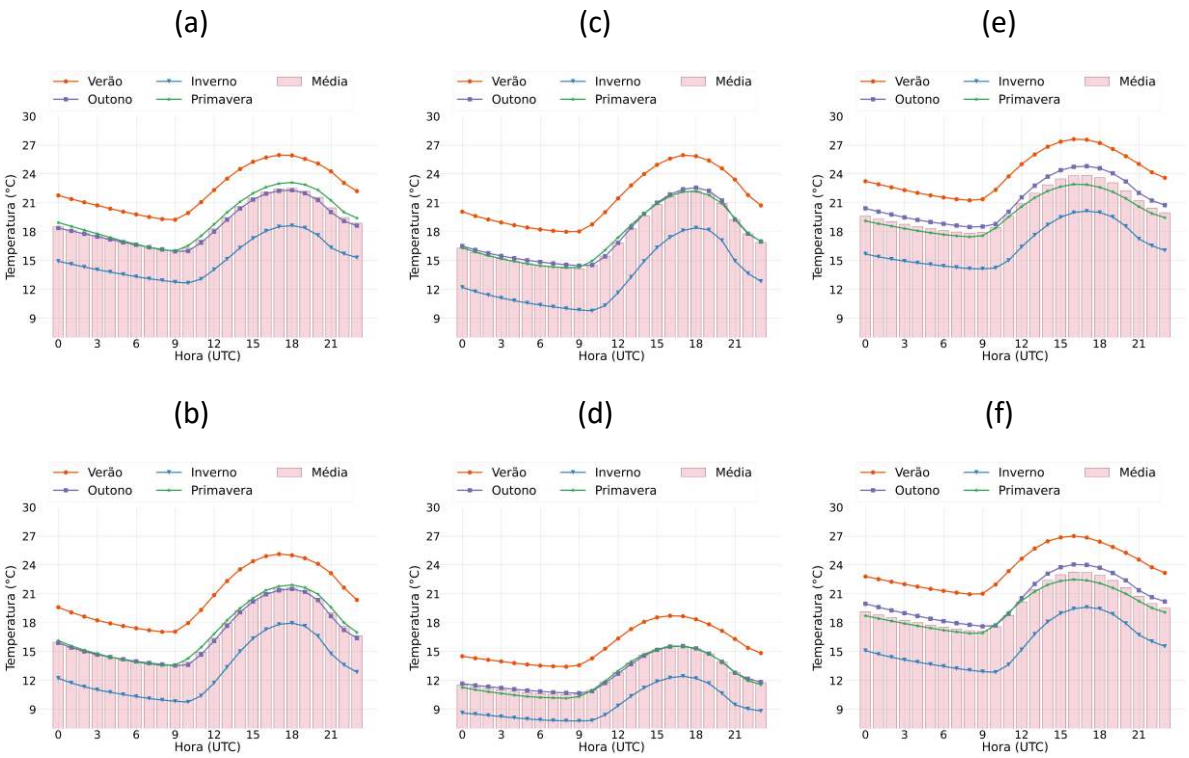
Ainda no verão, nota-se uma redução significativa das chuvas nos horários da madrugada e manhã, seguido de um pico no período da tarde. Nas regiões do Oeste, Meio Oeste, Planalto Norte e Planalto Sul, a proporção dos acumulados durante o período da tarde é maior do que 40% (Figura 7a-d). Nas regiões litorâneas, os valores ficam na casa dos 30%. Vale mencionar uma característica observada nas regiões litorâneas e norte do estado, com um aumento das chuvas no período noturno. Apesar da precipitação dar início no começo da tarde, as chuvas se estendem ao longo do dia e tem seu pico entre o final da tarde e noite (Figuras 8e-f). Nas regiões do Planalto Norte e Litoral Norte, se observam valores de 37% e 38% da precipitação à noite (Figura 7c e 7e). Este resultado concorda com Rasmussen et al. (2015), 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 Pereira Filho (2014).

No início do Outono ainda se mantém um padrão convectivo, com volumes absolutos ainda altos em março, especialmente nas regiões litorâneas. Ainda, os acumulados de precipitação seguem altos no período da tarde em relação aos totais diários, mas em uma tendência de queda, característico de uma estação de transição. 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 e Marrafon, 2021). Assim, a combinação destes sistemas são responsáveis pela precipitação no período. Na figura 6 o outono aparece sempre como uma estação de transição, com valores médios mais baixos, mas ainda representando uma parcela maior do que no inverno.

No inverno, são observados os menores valores pluviométricos do ano. Um possível fator é a maior frequência de bloqueios atmosféricos, no inverno, em relação às demais estações (Mendes, 2005). Entretanto, exercendo uma influência mais clara nesta época, a ASAS se aproxima do continente sul-americano e, seu setor ocidental, estende-se para o interior, dificultando, através do movimento subsidente do ar seco, a atividade convectiva (SUN, 2017 e REBOITA, 2019), principalmente das áreas centrais ao litoral, onde vemos valores médios do ciclo diurno mais baixos do que as demais regiões na maior parte do dia (Figura 8). Ainda, a Figura 8 mostra que é no inverno que a chuva aparece melhor distribuída ao longo do dia, com uma participação quase homogênea de todos os turnos nos valores totais.

A Figura 9 apresenta a sazonalidade dos valores médios de temperatura, enquanto na Figura 10 temos a distribuição das temperaturas mensais a partir dos boxplots das séries temporais. De primeira análise, os gráficos mostram o esperado, 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 (Figura 10), com as temperaturas no outono ligeiramente maiores do que na primavera nas áreas litorâneas (Figura 9e-f), podendo estar associado a passagem mais frequente de frentes frias, enquanto no Oeste as temperaturas na primavera são ligeiramente maiores do que no Outono, podendo estar associada ao fluxo de calor e umidade de norte (JBNAS) que chega nesta região.

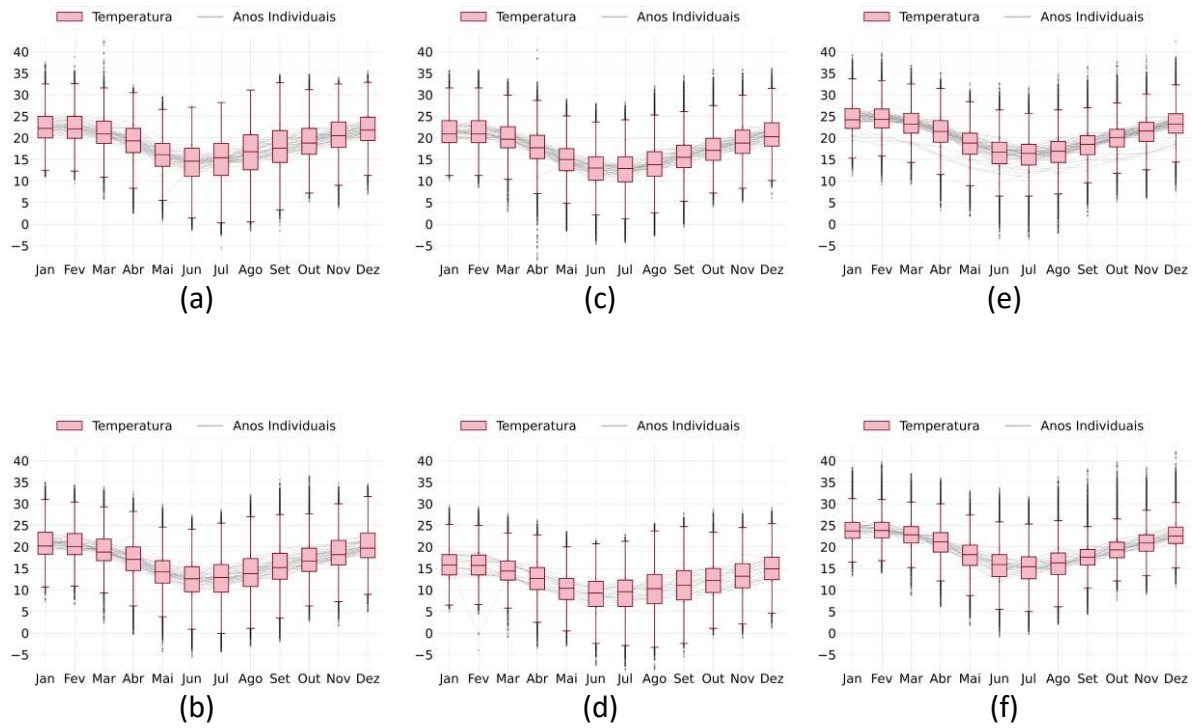
Figura 9 - Ciclo diurno médio (barras) e sazonal (linhas) da temperatura para as mesorregiões oeste (a), meio oeste (b), planalto norte (c), planalto sul (d), litoral norte (e) e litoral sul (f).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

É observado que as menores temperaturas médias são registradas no Planalto Sul, devido às estações meteorológicas que se encontram acima de 1000 m de altitude, com extremos de até 1800 m na estação de Bom Jardim da Serra. É importante também mencionar a amplitude térmica destas regiões, sendo evidente que a variação das temperaturas médias é mais acentuada nas regiões entre o Meio Oeste e Planalto Norte (Figura 9b e 9c). O fator da altitude e menor disponibilidade de umidade devem ser os mais determinantes, o que permitiria uma maior oscilação das temperaturas. O Oeste encontra-se em uma localização mais baixa, enquanto no litoral temos uma maior quantidade média de umidade relativa do ar, devido a proximidade com o oceano. Os boxplots das temperaturas (Figura 10) reforçam o caráter da amplitude térmica ao longo do ano, sendo possível notar que os quartis Q1-Q3, assim como os limites inferiores e superiores, são menores nas regiões litorâneas (Figura 10c e 10f) em comparação às demais.

Figura 10 - Boxplots de temperatura mensal (C) a 2m para as mesorregiões oeste (a), meio oeste (b), planalto norte (c), planalto sul (d), litoral norte (e) e litoral sul (f).



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Outro resultado que chama atenção é o horário das mínimas e máximas, que apresentam diferenças no estado e na época do ano. Um contraste claro aparece no horário das temperaturas máximas, que enquanto dos planaltos ao Oeste tipicamente ocorrem por volta das 18h (Figura 9a-d), em meados da tarde, nas regiões litorâneas este máximo ocorre mais cedo, por volta das 16h (Figura 9e e 9f), no início da tarde. Esta mudança pode estar associada à atuação da brisa marítima, que impede a elevação das temperaturas em especial nas regiões costeiras. Além disso, as máximas no verão em média acontecem mais cedo entre o Grande Oeste e áreas centrais do estado, provavelmente associada às chuvas que dão início no começo da tarde.

Quanto às mínimas, de forma geral, ocorrem por volta das 09 e 10 UTC. Tipicamente se observam as mínimas ocorrendo mais tarde na estação do inverno, relacionada ao horário do amanhecer, que é mais tarde nesta época do ano. Enquanto isso, nos verões, se observa uma queda menos acentuada na madrugada, com rápida elevação a partir das 09 UTC.

Os boxplots também revelam uma grande variabilidade observada nas temperaturas na mudança de estação do inverno para a primavera no Grande Oeste catarinense (Figura 10a-

b), quando nos meses de agosto e setembro são observadas diferenças entre o limite inferior e superior dos boxplots acima de 25°C. Isso quer dizer que, dentro da distribuição normal das temperaturas na região, são registrados nestes meses valores próximos a zero grau e também valores próximos a 30°C, a depender das condições específicas de cada ano. Nesta época, ainda são observadas a atuação de intensas massas de ar frio, como resquícios do período de inverno, assim como uma mudança no padrão da circulação geral da atmosfera, com a incursão de ar quente e úmido do norte do país.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados mostraram que os dados das estações automáticas conseguem representar os padrões climatológicos de precipitação conhecidos na região. Os padrões de temperatura também foram reproduzidos pelas estações, indicando a influência da topografia, com as temperaturas mais baixas observadas nas áreas mais elevadas do estado.

Foi possível utilizar os dados horários das EMAs nos métodos de agrupamento, para identificar padrões climáticos similares, com as variáveis da temperatura e precipitação (acumulada em 3h). O Agrupamento Hierárquico mostrou ser de fácil avaliação, pois fornece um resultado único e sua métrica de dissimilaridade facilita a análise quantitativa. Como resultado, foram identificadas seis mesorregiões em SC: Região Oeste, Meio Oeste, Planalto Norte e Vale do Itajaí, Planalto Serrano, Litoral Sul e Litoral Norte.

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.

REFERÊNCIAS

AMANAJÁS, Jonathan Castro; BRAGA, Célia Campos. **Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 27, p. 423-434, 2012.

ARSEGO, Diogo Alessandro et al. **Índices climáticos associados a variabilidade interanual da produtividade de arroz no Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, n. 2, p. 209-218, 2020.

ANDRADE, Aparecido Ribeiro de; BALDO, Maria Cleide; E NERY, J. T. **Variabilidade sazonal da precipitação pluviométrica de Santa Catarina**. Acta Scientiarum. Technology, v. 21, p. 923, 1999.

BALDO, Maria Cleide 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.

BAPTISTA, Gabrielly Cristhine Zwang; SEVERO, Dirceu Luis. **Variabilidade espacial e temporal da precipitação de Santa Catarina**. Geosul, v. 33, n. 68, p. 184-200, 2018.

BERLATO, Moacir Antonio; FARENZENA, Homero; FONTANA, Denise Cybis. **Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul**. Pesquisa agropecuária brasileira, v. 40, p. 423-432, 2005.

BRAGA, Hugo José; GHELLRE, Reginaldo. **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]. 1999.

BUENO, Carolina; FERREIRA, Eduardo. **Mudanças climáticas em zonas costeiras e oceânicas: Estudo de caso do Atlântico Sul**. Estrabão, v. 2, p. 220-222, 2021.

CATARINA, SANTA. **Atlas geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza-fascículo 2.** Florianópolis: Ed. UDESC, 2014.

CEPED, U. F. S. C. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

DURKEE, Joshua D.; MOTE, Thomas L.; SHEPHERD, J. Marshall. **The contribution of mesoscale convective complexes to rainfall across subtropical South America**. Journal of Climate, v. 22, n. 17, p. 4590-4605, 2009.

EVERITT, Brian S. et al. **Hierarchical clustering**. Cluster analysis, v. 5, n. 71-110, p. 71-110, 2011.

FERREIRA, Danielle Barros; FRANCHITO, Sergio Henrique; RAO, Vadlamudi Brahmananda. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

PEREIRA FILHO, Augusto J. et al. **Convective rainfall systems in the La Plata Basin**. Atmospheric and Climate Sciences, v. 4, n. 04, p. 757, 2014.

GRIMM, Alice M.; FERRAZ, Simone ET; GOMES, Júlio. **Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events**. Journal of climate, v. 11, n. 11, p. 2863-2880, 1998.

GRIMM, Alice Marlene. **Clima da região Sul do Brasil**. Tempo e clima no Brasil, v. 2, p. 259-275, 2009.

ICHIBA, Sueli Hiromi K.; NERY, Jonas Teixeira; MARTINS, Maria de Lourdes O. F. **Variabilidade da precipitação pluviométrica de Santa Catarina**. In: Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu. 2002.

LAZZARI, Martinho Roberto. **Agropecuária gaúcha em 2005: estiagem, câmbio e crise**. Indicadores Econômicos FEE, v. 33, n. 4, p. 41-50, 2006.

LEIVAS, Janice Freitas et al. **Avaliação do índice de vegetação padronizado no monitoramento indicativo de estiagens em períodos críticos da soja no sul do Brasil**. 2014.

MENDES, Monica CD 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.

MENEZES, Franciane Pantoja; FERNANDES, Lindemberg Lima; ROCHA, Edson José Paulino. **O uso da estatística para regionalização da precipitação no Estado do Pará, Brasil**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 16, 2015.

MIMMACK, Gillian M.; MASON, Simon J.; GALPIN, Jacqueline S. **Choice of distance matrices in cluster analysis: Defining regions**. Journal of climate, v. 14, n. 12, p. 2790-2797, 2001.

NOVAIS, Giuliano Tostes; MACHADO, Lilian Aline. **Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais**. Revista Brasileira de Climatologia, v. 32, p. 1-39, 2023.

OLIVEIRA, Roseli de. **Sistema de detecção de frentes frias associadas a eventos meteorológicos de médio e alto impacto no centro sul da América do Sul**. 2023. Tese de Doutorado.

RASMUSSEN, Kristen Lani et al. **Contribution of extreme convective storms to rainfall in South America**. Journal of Hydrometeorology, v. 17, n. 1, p. 353-367, 2016.

REBOITA, Michelle Simões et al. **Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul**. Terræ didatica, v. 8, n. 1, p. 34-50, 2012.

REBOITA, Michelle Simões et al. **The South Atlantic subtropical anticyclone: present and future climate**. Frontiers in Earth Science, v. 7, p. 8, 2019.

REBOITA, Michelle Simões; MARRAFON, Vitor Hugo. **Ciclones Extratropicais: o que são, climatologia e impactos no Brasil**. Terræ Didatica, v. 17, p. e021032-e021032, 2021.

SEVERO, Dirceu Luís. **Padrões de circulação anômala associados a episódios úmidos e secos no sul do Brasil**. INPE, São José dos Campos, SP, 2007.

SUN, Xiaoming; COOK, Kerry H.; VIZY, Edward K. **The South Atlantic subtropical high: Climatology and interannual variability**. Journal of Climate, v. 30, n. 9, p. 3279-3296, 2017.

TOZATO, Heloisa de Camargo. **Impactos das mudanças climáticas na biodiversidade das zonas úmidas: uma análise sobre políticas públicas e gestão no Brasil e na França**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

WARD JR, Joe H. **Hierarchical grouping to optimize an objective function**. Journal of the American statistical association, v. 58, n. 301, p. 236-244, 1963.

WMO, **Guide to climatological practices**. WMO-No. 100, Geneva, Switzerland, 2018.

WREGE, Marcos Silveira et al. **Atlas climático da Região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012., 2012.