



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS E CLIMÁTICAS
GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

THIAGO GONÇALVES DA SILVA

**UM ESTUDO SOBRE OS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA NA
BACIA DO PRATA: AVALIAÇÃO COM 26 ANOS DE DADOS DE SATÉLITES**

NATAL-RN
MARÇO-2023

**UM ESTUDO SOBRE OS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA NA
BACIA DO PRATA: AVALIAÇÃO COM 26 ANOS DE DADOS DE SATÉLITES**

THIAGO GONÇALVES DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Meteorologia da Universidade Federal do
Rio Grande do Norte como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel em
Meteorologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Weber Andrade
Gonçalves

NATAL-RN

MARÇO-2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS E CLIMÁTICAS
GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

A Monografia “**UM ESTUDO SOBRE OS COMPLEXOS CONVECTIVOS DE MESOESCALA NA BACIA DO PRATA: AVALIAÇÃO COM 26 ANOS DE DADOS DE SATÉLITES**”

elaborado por Thiago Gonçalves da Silva

e aprovada por todos os membros da Banca Examinadora foi aceita pelo Colegiado do Curso de Meteorologia e homologada pelos membros da banca, como requisito parcial à obtenção do título de **BACHAREL EM METEOROLOGIA**.

Natal, 9 de março de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Weber Andrade Gonçalves (Orientador - UFRN)

Prof. Dr. David Mendes (UFRN)

Prof. Dr. Cristiano Prestrelo de Oliveira (UFRN)

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

Sistema de Bibliotecas - SISBI

Catálogo de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Setorial Prof. Ronaldo Xavier de Arruda - CCET

Silva, Thiago Gonçalves da.

Um estudo sobre os complexos convectivos de mesoescala na
Bacia do Prata: avaliação com 26 anos de dados de satélites /
Thiago Gonçalves da Silva. - 2023.

74f.: il.

Monografia (Bacharelado em Meteorologia) - Universidade
Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da
Terra, Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas.
Natal, RN, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Weber Andrade Gonçalves.

1. Meteorologia - Monografia. 2. CCM - Monografia. 3. Duração
- Monografia. 4. JBN - Monografia. I. Gonçalves, Weber Andrade.
II. Título.

Elaborado por Joseneide Ferreira Dantas - CRB-15/324

DEDICATÓRIA

*Dedico esse trabalho a minha mãe, **Maria das Graças Gonçalves Pinheiro da Silva**, que fez todo o esforço necessário, e não desistiu em momento nenhum.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a todos da minha família, em especial aos que convivem comigo, **Maria das Graças Gonçalves Pinheiro da Silva**, **Damião Batista da Silva**, **Maria Gonçalves Pinheiro**, **Sara Gonçalves da Silva** e **Isaura Gomes Pinheiro**, que fizeram todo o possível e impossível para chegar até aqui e não desistir.

Aos amigos que a UFRN me proporcionou conhecer, e que fizeram parte dessa caminhada difícil. Em especial ao camarada **José Augusto**, à camarada **Paula Andressa** e ao **Everton Felipe** que estiveram juntos neste final de caminhada e proporcionaram uma leveza na trajetória mais difícil até o momento. Agradeço também ao **Cho-Luck** que foi meu supervisor de estágio e que junto ao **coronel Carvalho**, proporcionaram uma ameaça de cadeia todo dia.

Ao Departamento de Ciências Atmosféricas e Climáticas, desde os funcionários aos professores. Destaco aqui meu orientador, **Weber Andrade Gonçalves**, pela confiança e credibilidade depositada em mim para a realização desse trabalho e por todo o apoio ao longo desses anos de ensino.

Agradeço também ao professor **David Mendes**, que foi o meu primeiro orientador de Iniciação Científica e que pode proporcionar muitos ensinamentos. Deixo meu agradecimento também ao professor **Bergson Guedes** por proporcionar vários momentos engraçados com suas histórias.

RESUMO

Esta pesquisa teve o objetivo de estudar os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) que tiveram sua atuação na Bacia do Prata no período de dezembro a março (verão austral) entre 1983 e 2008 com a utilização dos dados do International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) para determinar as condições físicas e fez-se uso também do ERA5 que a reanálise do European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) de quinta geração para a obtenção das condições morfológicas. Procurou-se comprovar a presença dos casos usando os critérios de Maddox (1980), e agregando a isso, houve a separação desses casos pela sua duração. Mediante ao que foi exposto, foram encontrados 86 casos que em média atendiam aos critérios. Para as características morfológicas, a divergência em altos níveis apresentou resultados interessantes, pois nos três estágios de vida, principalmente para CCM de longa duração, o indicativo de divergência em altos níveis ficou muito evidente. A umidade específica que apesar de que em média é maior em sistemas entre 6 e 9, ela não é fator primordial para que os complexos perdurem. Outro ponto que se destacou foi a influência dos Jatos de baixos níveis (JBN), em que foi possível notar a total influência (alimentação) que as ocorrências de CCM recebem dos JBN, o que se evidencia principalmente em casos com duração superior a 18 horas. Para as características físicas, os resultados são promissores, visto que são 26 anos de dados, em que se existem pouquíssimos trabalhos com esses dados e o primeiro na qual onde ocorre o estudo deste tipo de evento utilizando a divisão horária para averiguar o comportamento desde a gênese até a dissipação.

Palavras-chave: Meteorologia, CCM, Duração, JBN

ABSTRACT

This research aimed to study the Mesoscale Convective Complexes (MCC) that operated in the La Plata Basin from December to March (austral summer) between 1983 and 2008 using data from the International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) to determine the physical conditions and ERA5 was used as well as the fifth generation European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) reanalysis to obtain the morphological conditions. We tried to prove the presence of cases using the criteria of Maddox (1980), and adding to this, there was a separation of these cases by their duration. Based on the above, 86 cases were found that, on average, met the criteria. For the morphological characteristics, the divergence at high levels presented interesting results, because in the three life stages, mainly for MCC of long duration, the indicator of divergence at high levels was very evident. The specific humidity, although on average it is higher in systems between 6 and 9, it is not a primordial factor for the complexes to last. Another point that stood out was the influence of Low Level Jets (LLJ), in which it was possible to notice the total influence (feeding) that MCC occurrences receive from the LJB, which is evidenced mainly in cases lasting more than 18 hours. For the physical characteristics, the results are promising, since there are 26 years of data, in which there are very few works with this data and the first one in which the study of this type of event takes place using the hourly division to ascertain the behavior from the genesis to dissipation.

Key-words: Meteorology, MCC, Duration, LLJ

SUMÁRIO

RESUMO	7
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE SIGLAS	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo Geral	16
2.2. Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO DA LITERATURA	16
3.1. Sistemas Convectivos de Mesoescala	16
3.2. Complexos Convectivos de Mesoescala	18
4. Dados e Metodologia	21
4.1. Área de estudo	21
4.2. ISCCP	22
4.3. ERA5	26
4.4. Identificação dos Jatos de Baixos Níveis	27
4.5. Boxplot	28
5. Resultados	31
5.1. Sistemas Encontrados	31
5.2. Resultados da Reanálise	34
5.2.1. Divergência em 850 hPa	34
5.2.2. Divergência em 200 hPa	35
5.2.3. Velocidade Vertical	38
5.2.4. Umidade Específica	41
5.2.5. Temperatura	45
5.2.6. Jatos de Baixos Níveis - horário	48
5.2.7. Vento em 200 hPa	51
5.3. Resultados do ISCCP.	54
5.3.1. Tamanho A	54
5.3.2. Tamanho B	56
5.3.3. Temperatura A	57
5.3.4. Temperatura B	59
5.3.5. Raio dos Maiores Aglomerados Convectivos (CBSIL)	60
5.3.6. Fração Convectiva (FRAC)	61
6. Conclusões	62
7. Referências	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de estudo	22
Figura 2: Esquema de funcionamento de coleta, análise, calibração, armazenamento e distribuição dos dados do ISCCP.	24
Figura 3: Informações contidas no Boxplot.	31
Figura 4: Quantidade de casos encontrados no banco de dados do ISCCP em cada método	32
Figura 5: Quantidade de casos encontrados no banco de dados do ISCCP em cada método	33
Figura 6: Posicionamento de todos os CCM encontrados no banco de dados do ISCCP nas três fases.	34
Figura 7: Gráfico com os 86 sistemas encontrados no banco de dados: a) Números de casos divididos por meses; b) Número de casos dividido por anos.	34
Figura 8: Campo médio de divergência (s^{-1}) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.	36
Figura 9: Campo médio de divergência (s^{-1}) em 200 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.	39
Figura 10: Campo médio de velocidade vertical ($Pa s^{-1}$) em 500 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.	42
Figura 11: Campo médio de umidade específica ($g kg^{-1}$) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.	46
Figura 12: Campo médio de temperatura ($^{\circ}C$) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.	49
Figura 13: Campo médio do vento (m/s) em 850 hPa para a identificação dos Jatos de Baixos Níveis: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.	52
Figura 14: Campo médio do vento (m/s) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e)	

Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Diss Dissipação 18-21 horas.	54
Figura 15: Boxplot para Tamanho A: a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.	57
Figura 16: Boxplot para Tamanho B: a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.	59
Figura 17: Boxplot para Temperatura A: a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.	60
Figura 18: Boxplot Temperatura B a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.	61
Figura 19: Boxplot CBSIL2 a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.	63
Figura 20: Boxplot FRAC a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios estabelecidos por Maddox (1980) para a identificação de CCM.	20
Tabela 2: Variáveis utilizadas a partir do ISCCP.	25
Tabela 3: Filtro utilizado para obter resultados classificados como CCM dentro do banco de dados do ISCCP.	26
Tabela 4: Variáveis retiradas do ERA5.	28
Tabela 5: Classificação de JBN segundo os critérios de Bonner (1968) e modificado por Whitman et al. (1997).	29

LISTA DE SIGLAS

AS	América do Sul
CB	Cumulonimbus
CBNUM	Número de aglomerados convectivos no SC
CBSIL2	Maior raio de aglomerado convectivo
CBSMED	Raio médio dos aglomerados convectivos
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CLP	Camada Limite Planetária
CS-DB	Convective Systems Database
DAY CS	Dia do SC
ECCE	Excentricidade
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecast
ERA5	Reanálise da quinta geração do ECMWF
FAM NUM	Número da família do SC
FRAC	Fração Convectiva HOUR CS Hora do SC
INSAT	Indian National Satellite System
IR	Imagens Infravermelho
ISCCP	International Satellite Cloud Climatology Project-Tracking
GMS	Geostationary Meteorological Satellite
GOES-S	Geostationary Operational Environmental Satellite
GOES-W	Geostationary Operational Environmental Satellite West
JAN	Jatos de Altos Níveis
JBN	Jatos de Baixos Níveis
LAT CS	Latitude do SC
LI	Linhas de Instabilidade
LON CS	Longitude do SC
SC	Sistemas Convectivos
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SIZE	Raio
TMEDCL	Temperatura média
TMINCL2	Temperatura mínima

1. INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas têm uma influência direta nas condições meteorológicas e climáticas, já que muitos setores da sociedade dependem dos diferentes fenômenos meteorológicos. Essa dependência se deve à importância desses fenômenos para a manutenção das condições hídricas e energéticas do planeta. No entanto, essas ocorrências também podem ter um impacto negativo na sociedade, com tempestades severas que frequentemente causam danos e perda de vidas. Esse impacto negativo pode vir por meio de fenômenos como os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Nesse sentido, a pesquisa sobre os SCM tem sido amplamente divulgada entre os pesquisadores, devido ao impacto em superfície causado por sua passagem ou presença, que geralmente está associada à precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo (Campos & Eichholz, 2011; Machado et al., 2004; Houze Jr, 2004).

Os (SCM) são caracterizados por uma aglomeração de nuvens convectivas que se estendem por uma área considerável e produzem precipitação contínua. Esses sistemas podem exibir uma combinação de características parcialmente estratiformes e parcialmente convectivas, e sua forma pode variar (Houze, 2004; Machado & Rossow, 1993). Podem ser categorizados como Linhas de Instabilidade (LI), quando têm formato linear; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), quando apresentam uma estrutura circular; ou simplesmente SCM, quando possuem formas irregulares.

Os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) são sistemas convectivos que apresentam um extenso escudo de cirrus em formato circular. Segundo Silva Dias (1987), CCM são como um conjunto de cumulonimbus cobertos por uma densa camada de cirrus que pode ser facilmente identificado através de imagens de satélite como sendo um conjunto de nuvens aproximadamente circulares e com um crescimento explosivo num intervalo de 6 a 12 horas. Velasco e Fritsch (1987), notaram que CCM que se desenvolve na América do Norte e Sul tem a sua origem na região dos Jatos de baixos níveis (JBN) de comportamento noturno. Na América do

Sul (AS), podem suceder em regiões tropicais ou mais continuamente em regiões extratropicais, com maior periodicidade na Bacia do Prata.

Em um dos seus primeiros trabalhos sobre a temática, Cavalcanti (1982) observou a formação de aglomerados convectivos na região do Paraguai. Apesar de não terem sido classificados como CCM, os aglomerados estudados pela pesquisadora apresentam características que são compatíveis com a definição de Maddox (1980) como o ciclo de vida noturno, o formato arredondado e a duração dos eventos. Outrossim, Cavalcanti (1982) propõe que esses sistemas possuam sua formação associada ao levantamento forçado, possivelmente vinculado à circulação vale-montanha, além da influência de circulações de escala maior e a configuração de um escoamento de baixos níveis similares ao JBN.

Maddox (1979; 1980; 1981a) documentou as condições atmosféricas precursoras que conduzem ao desenvolvimento de um CCM. Ele notou que na estação de verão o efeito da advecção térmica é comumente mais influenciador do que o efeito da advecção diferencial de vortacidade para introduzir os movimentos verticais necessários para uma atividade convectiva organizada. Velasco e Fritsch (1987) realizaram um estudo comparando os CCM da América do Norte e Sul entre os anos de 1981 e 1983. Foi constatado que os CCM sul-americanos são em média 60% maiores do que os norte-americanos. Durkee et al. (2009) encontrou 330 casos de CCM para os meses de outubro a maio na AS entre 1998 e 2007.

Diante o que foi exposto, o presente estudo procurou identificar as condições físicas e morfológicas dos sistemas caracterizados como CCM encontrados no banco de dados do *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP) na região da Bacia do Prata, realizando a caracterização baseada na duração dos sistemas, fomentado pelo fato da localização apresentar um papel de extrema importância principalmente devidos aos desastres que podem ocorrer devido aos sistemas deste tipo de escala.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é averiguar o comportamento da atmosfera e dos sistemas convectivos de mesoescala durante o ciclo de vida, desde a sua gênese até a sua dissipação, através dos 26 anos de dados oriundos do ISCCP (maior banco de dados com registros destes tipos de observações).

2.2. Objetivos Específicos

- Quantificar a quantidade de CCM na base de dados do ISCCP e avaliar a distribuição espacial dos CCM;
- Avaliar as condições dinâmicas e termodinâmicas observadas durante a gênese do sistema convectivo e sua evolução ao longo do ciclo de vida;
- Avaliar as características físicas e morfológicas dos CCM encontrados em toda a base de dados do ISCCP.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Sistemas Convectivos de Mesoescala

A meteorologia de Mesoescala trata-se do estudo de fenômenos atmosféricos superiores aos da microescala e inferiores aos de escala sinótica e que podem ter de dois a centenas de quilômetros. Dentro desta escala estão inclusos os SCM, CCM e LI. Os estudos iniciais sobre Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) surgiram da incapacidade dos modelos de previsão do tempo em detectá-los, pois se tratavam de sistemas convectivos da escala sub-grade que ocorriam no período de transição da primavera para o verão na região Central dos Estados Unidos (Freitas, 2021). Embora fossem notáveis nas imagens de satélite, os modelos não representavam o evento meteorológico. Maddox (1980) criou um modelo conceitual para o ciclo de vida desse sistema baseado em imagens do canal infravermelho, dados observacionais de superfície e radar. Em trabalho de Cavalcanti (1982) e Guedes (1985) foram um dos primeiros estudos a citar na literatura brasileira os aglomerados convectivos formados na AS.

Orlanski (1975), estabeleceu que a mesoescala poderia ser classificada em três escalas distintas: Meso- γ , Meso- β e Meso- α . Os eventos que se enquadram na escala Meso- γ têm dimensões entre 2 a 20 km, como é o caso de tornados e tempestades. Já os eventos na escala Meso- β variam entre 20 a 200 km e incluem fenômenos como brisas marítimas. Por último, a escala Meso- α se refere a eventos que possuem dimensões entre 200 e 2000 km. Os SCM podem ser classificados na escala Meso- α , desde que atinjam o tamanho mínimo estabelecido.

Os SCM podem ser classificados quanto às suas características físicas, organização e local de ocorrência, entre elas: Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM); Linhas de Instabilidade (LI); Supercélulas e outros sistemas que não apresentam forma específica, mas que enquadram nesta escala. CCM surgem a partir de condições de mesoescala favorecidas pela convecção. A LI necessita de mecanismos de grande escala como em regiões pré-frontais ou brisa. Por último as Supercélulas são caracterizadas pela presença de um mesociclone. A organização do CCM assume formato circular semelhante a um escudo de nuvens. No entanto, as LI

possuem forma de linhas ou vírgulas (Maddox, 1980). O local de ocorrência mais frequente dos CCM é ao leste de cadeias montanhosas, em torno de cerca de 15° a 30° na AS. Também podem atuar sobre regiões tropicais da AS (Velasco e Fritsch, 1987). LI atuam antes da passagem de sistemas frontais no sul e sudeste do Brasil, assim como na costa Norte e Nordeste (Cohen et al., 1989).

Vários estudos mostraram que o período e a localização de precipitação máxima nos subtropicais da América do Sul, principalmente na Bacia do Prata, modulam essa troca de calor e umidade através dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) (Vera et al., 2006b; Weykamp e Ambrizzi, 2006; Liebmann et al., 2004; Marengo et al., 2004; Nieto Ferreira et al., 2003; Nicolini e Saulo, 2000; Saulo et al., 2000), visto que desempenha um papel importante no desenvolvimento e manutenção de SCM (Nicolini et al., 2002; Salio et al., 2007). Na literatura de Durkee et al. (2009), os pesquisadores analisaram a precipitação associada aos CCM e descobriram que esses sistemas foram responsáveis de 20 a 30% da precipitação no norte da Argentina e Paraguai entre os meses de novembro a fevereiro, com uma ocorrência maior no mês de dezembro atingindo até 50% para o período; na região entre o centro e oeste argentino a contribuição dessa precipitação pode chegar até 66%. Mota (2003) constatou que as precipitações associadas aos SCM de longo prazo contribuíram com mais de 50% da precipitação em diversas áreas da região subtropical da América do Sul.

3.2. Complexos Convectivos de Mesoescala

Um Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM) é um sistema ordenado de nuvens convectivas que se desenvolvem em uma escala de dezenas a centenas de quilômetros e podem persistir por muitas horas. Esses sistemas são caracterizados por uma atividade convectiva intensa que envolve correntes ascendentes e descendentes, transportando ar quente e úmido verticalmente e gerando nuvens de grande desenvolvimento vertical (HOUZE JR, 1987).

Os critérios para a identificação de CCM usados por Maddox (1980) foram produzidos após análises de imagens do infravermelho (IR), dados observacionais de superfície e radar. Diante do observado, Maddox (1980) estabeleceu parâmetros

baseados em tamanho, formato, temperatura e duração dos sistemas. Trata-se de um modelo conceitual de identificação dos sistemas para o ciclo de vida. Maddox (1980) afirmou que esses sistemas pertencem a uma nova classe de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) do tipo circular que se destacavam nas imagens de satélite pelo formato de escudo de nuvens de topos frios.

A Classificação de Maddox (1980), segue a partir do momento em que houve a identificação do sistema se dá quando a área e temperatura A (borda do complexo), é menor ou igual a 241 K, é maior ou igual a 100.000 km², e a área e temperatura B (parte mais convectiva do complexo), é menor ou igual a 221 K, seja maior ou igual a 50.000 km². Ambos são critérios criados pelo pesquisador. A extensão máxima deve ser aquela no qual a área A atinja seu máximo. A duração mínima é de 6 horas. A excentricidade confere ao sistema o caráter circular observado nas imagens IR numa escala que vai de zero a um, dessa forma quanto mais próximo de 1 mais circular. O término ocorre quando tamanho A e B não são satisfeitas (Tabela 1).

Tabela 1: Critérios estabelecidos por Maddox (1980) para a identificação de CCM.

Tamanho	A – Nebulosidade com uma área $\geq 100.000 \text{ km}^2$ com uma temperatura contínua do IR de $\leq -32^\circ \text{ C}$; B – A região interior de nuvem fria deve ter uma área $\geq 50.000 \text{ km}^2$ com temperatura $\leq -52^\circ \text{ C}$;
Gênese	Quando os critérios A e B são satisfeitos;
Duração	As definições de A e B devem persistir por no mínimo 6 horas;
Extensão Máxima	Quando o tamanho A (241 K) atingir seu máximo;
Forma	Excentricidade $\geq 0,7$ na máxima extensão;
Término	Quando A e B não são mais satisfeitos.

Em estudos realizados na América do Sul, Mohr e Zipser (1996) destacaram a presença dos SCM ao longo de todo o ano, mas sua ocorrência é mais frequente durante a estação quente na região subtropical. Esses sistemas podem se manifestar como linhas de instabilidade (Lima, 1986; Abdoulaev et al., 1994), complexos convectivos de mesoescala (Velasco e Fritsch, 1987) e outras formas.

Em uma pesquisa sobre a distribuição de CCM, Laing e Fritsch (1997) constataram que a presença desse jato de baixos níveis não se limita apenas aos CCM sul-americanos, mas também é observado um fluxo similar que transporta ar quente e úmido durante o desenvolvimento de sistemas convectivos semelhantes nos Estados Unidos e na China.

Velasco e Fritsch (1987) observaram a presença de CCM na América do Sul (AS) tropical e subtropical, em geral noturnos e continentais. CCM possuem três estágios de vida, são eles: iniciação, maturação e dissipação. A iniciação (gênese) ocorre ao fim da tarde ou início da noite sobre regiões com tendência à convecção. A maturação tem a madrugada como principal período de ocorrência devido à máxima intensidade dos Jatos de Baixos Níveis (JBN), no caso de CCM subtropicais. O momento de máxima extensão parece estar associado à presença do fluxo de norte que potencializa o sistema (Freitas, 2021). Essa incerteza se explica pela falta de dados observacionais e radiossondagens nos principais locais de ocorrência dos sistemas que impossibilitam descrever corretamente o ciclo de vida dos sistemas (Velasco e Fritsch, 1987 *apud* Freitas, 2021). A dissipação ocorre pela manhã quando o suprimento de combustível do sistema é interrompido pelo enfraquecimento dos JBN (Cavalcanti et al., 2009). Velasco e Fritsch (1987) observaram que os CCM sobre o continente duram em média de 6 a 12 horas (Silva Dias, 1989).

Na América do Sul, este escoamento de norte é uma característica típica de verão (Virji, 1981; Marengo et al., 2009), e tem seu estabelecimento fortemente influenciado pelos Andes e pela presença de fontes de calor na Amazônia (Gandú e Geisler, 1991; Figueiroa et al., 1995). Em estudos conduzidos por Marengo e Soares (2002), foi observado que, de forma geral, o efeito dos Andes na ocorrência desse jato é semelhante ao observado com as Montanhas Rochosas nos Estados Unidos. As

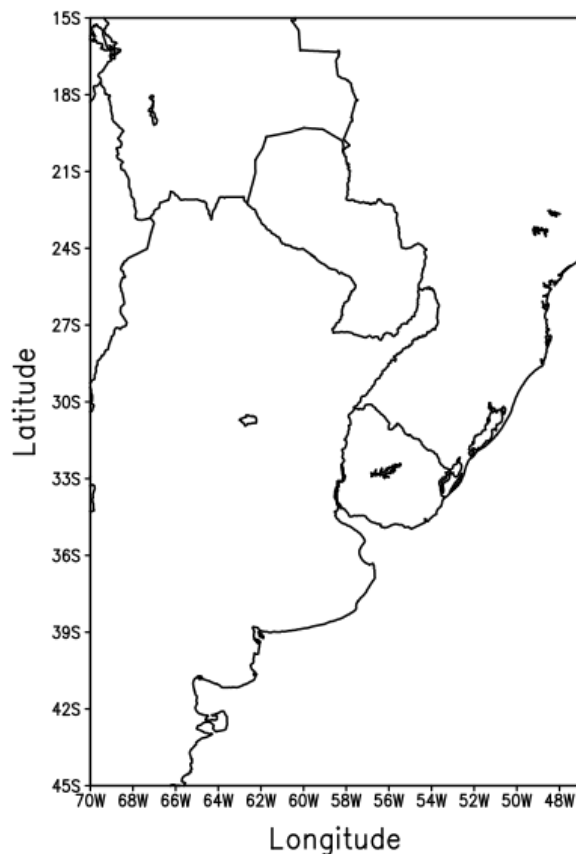
cordilheiras, que se estendem no sentido norte-sul, atuam como bloqueio para a circulação zonal em baixos níveis, canalizando e transportando o ar quente e úmido do Atlântico tropical, Amazônia e Golfo do México para as regiões centrais da América do Sul e América do Norte, respectivamente.

4. Dados e Metodologia

4.1. Área de estudo

Foram definidas as coordenadas 15°S a 45°S de latitude e 70°W a 47°W de longitude no qual situa-se na região sul do Brasil, Paraguai, Uruguai, partes da Bolívia e Argentina, onde está localizada a Bacia do Prata (Figura 1), região subtropical da América do Sul. Essa que sofre influência direta do Jato de Baixos Níveis (JBN) (Marengo et al., 2004). De acordo com Kottek et al. (2006), o clima da região pode ser classificado como quente, totalmente úmido e com verão quente (Cfb), de acordo com a Classificação de Köppen. Em Adler et al. (2003), durante os meses de verão no sul do Brasil, norte do Paraguai e sul da Bolívia, a precipitação média varia de 300 a 600 mm. O sul do Paraguai, Argentina e Uruguai tiveram uma média entre 300 e 450 mm de chuva no mesmo período.

Figura 1: Área de estudo

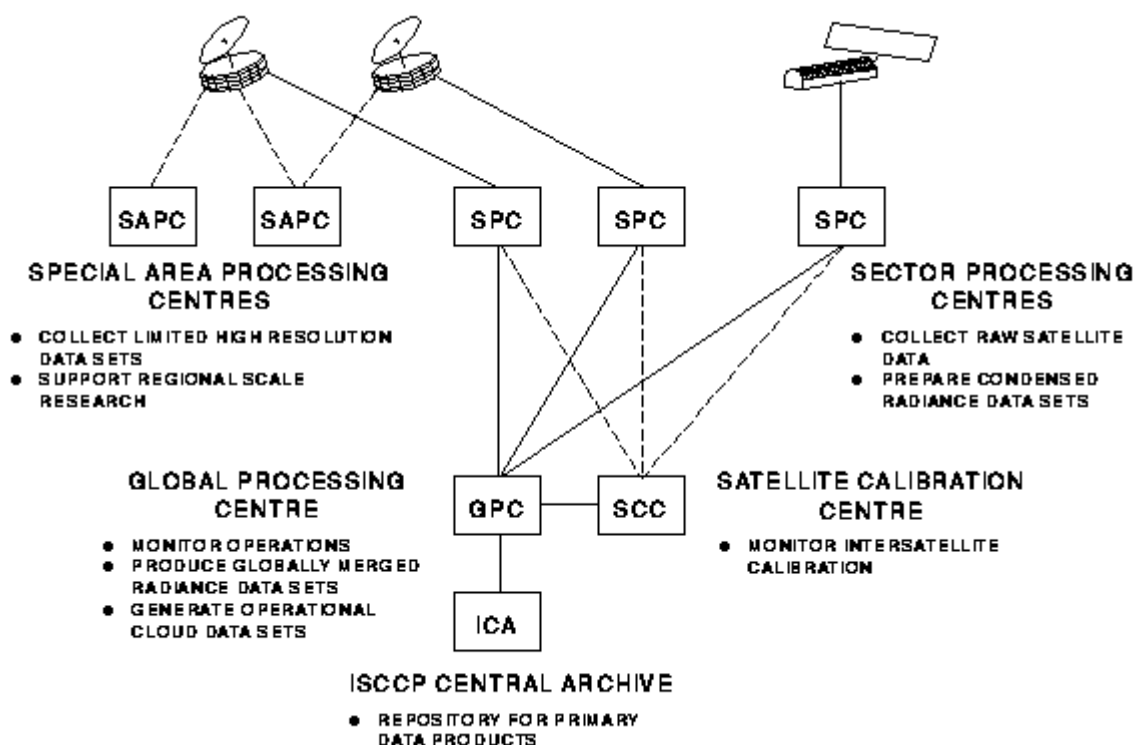


4.2. ISCCP

O *International Satellite Cloud Climatology Project* (ISCCP) foi implementado a partir de 1982 como parte do *World Climate Research Program* (WCRP) para observar, averiguar, estudar e medir a radiância de satélites para inferir a distribuição de nuvens, suas propriedades e suas alterações diárias, sazonais e interanuais. A coleta dos dados começou no dia 1 de julho de 1983 e encerrou no dia 31 de dezembro de 2008, ao todo 26 anos de dados, entretanto o planejamento era encerrar suas atividades no dia 30 de junho de 2010. Os conjuntos de dados e produtos e análises resultantes foram usados para melhorar a compreensão e modelagem no papel das nuvens no clima, com foco maior na clareza dos efeitos de nuvens no balanço da radiação. O ISCCP conta com dados de cinco satélites meteorológicos geoestacionários, são eles: *Geostationary Operational Environmental Satellite* (GOES-S); *Geostationary Operational Environmental Satellite West* (GOES-W), *Meteosat*, *Indian National Satellite System* (INSAT) e *Geostationary Meteorological Satellite* (GMS).

Os dados foram coletados do conjunto de satélites meteorológicos operados por várias nações e processados por vários grupos em agências governamentais, laboratórios e universidades. Para cada satélite operacional, um Centro de Processamento de Satélites (SPC) coleta os dados brutos do satélite e os envia para o Centro de Processamento Global (GPC). O *Correlative Data Center* (CDC) coordena a distribuição de dados meteorológicos convencionais para o GPC. O Centro de Calibração de Satélites (SCC) normaliza a calibração dos satélites geoestacionários em relação a um padrão de satélite orbital polar. Todos os produtos do ISCCP são arquivados no *ISCCP Central Archive* (ICA) e na NASA Langley Research Center (LARC) (Figura 2).

Figura 2: Esquema de funcionamento de coleta, análise, calibração, armazenamento e distribuição dos dados do ISCCP.



Fonte: ISCCP.

O ISCCP produziu um conjunto de dados global descrevendo estruturas de nuvens (Schiffer e Rossow 1983, Rossow e Schiffer 1999). O primeiro passo da análise (Machado e Rossow 1993) é identificar todos os aglomerados próximos à superfície de pixels de imagem de satélite no conjunto de dados ISCCP DX, (Rossow et al. 1999) que contêm nuvens na troposfera superior, determinadas por temperaturas superiores da nuvem < 245 K. Esses clusters são chamados de Sistemas Convectivos (CS), independentemente de conterem ou não nuvens convectivas. Testes adicionais identificam Clusters Convectivos (CC) como pixels de nuvens próximas com temperaturas no topo das nuvens < 220 K. A localização, data e hora (em intervalos GMT de 3 horas) de cada aglomerado são coletados juntamente com um resumo estatístico de CS e CC, com base nas determinações ISCCP de temperatura do topo da nuvem e densidade óptica.

A segunda etapa da análise, que produz o banco de dados de rastreamento de convecção (CT), é rastrear cada CS ao longo do tempo para formar 'famílias' com

correspondência de tempo (Machado et al. 1998). Como as imagens de satélite utilizadas para a análise do ISCCP são separadas por intervalos de tempo de 3 horas e são amostradas espacialmente em intervalos de aproximadamente 30 km, a ocorrência de pequenos CS não é acompanhada, de modo que o banco de dados de CT contém apenas as famílias formadas de CS pelo menos 90 km de raio (cerca de 30 pixels no conjunto de dados ISCCP DX). No entanto, o conjunto de dados completo do CS contém informações sobre subsistemas. As principais variáveis dos SC são descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Variáveis utilizadas a partir do ISCCP.

CBSIL2	Maior raio de aglomerados (Km)
CBSMED	Raio médio dos aglomerados convectivos (Km)
CBNUM	Número de aglomerados convectivos no SC
ECCE	Excentricidade
FAM NUM	Número da família do SC
FRAC	Fração Convectiva
HORA CS	Hora do SC
SIZE	Raio (KM)
TMEDCL	Temperatura média (K)
TMINCL2	Temperatura mínima (K)
DAY CS	Dia do SC
LAT CS	Latitude do SC
LON CS	Longitude do SC

Os CCM foram identificados na base de dados do ISCCP segundo o proposto por Maddox (1980). O tamanho A é calculado a partir da variável SIZE sendo o raio r na fórmula do círculo ($A = \pi r^2$). TMEDCL e TMINCL2 correspondem às temperaturas A e B, respectivamente. O tamanho B é calculado a partir do CBSMED e,

posteriormente, esta área foi multiplicada por CBNUM, onde o resultado final refere-se à área B. Os tempos das fases da vida são determinados pela HORA CS. A iniciação do sistema foi determinada de acordo com a identificação inicial do CCM. A maturidade foi considerada no momento em que o tamanho A atingiu a área máxima e a excentricidade foi igual ou superior a 0,7. A dissipação é definida como o momento em que as condições para A e B não são mais satisfeitas. A duração dos sistemas é determinada pelo número de vezes que FAM NUM é repetido, multiplicado pela quantidade de horas.

Para ocorrer a verificação e determinação da ocorrência dos CCM, era fundamental que a variável FAM NUM tivesse uma ocorrência máxima de 8 vezes, o que seria equivalente a 24 horas. Segundo Herdies (2002), a área de estudo sofre a influência de muitos sistemas frontais e quando os mesmos não estão atuando, a bacia do Prata sofre influência do JBN que transporta umidade tropical para região. Então para não haver a "interferência" de outros sistemas a não ser CCM, fez-se necessário a criação de um filtro (Tabela 3) em relação a sua duração. Contudo sistemas frontais possam servir de precursores para a concepção de um sistema classificado como CCM, o trabalho proposto só teve foco nos Complexos Convectivos de Mesoescala, que está contido na escala Meso- α possuindo uma duração máxima de 24 horas.

Tabela 3: Filtro utilizado para obter resultados classificados como CCM dentro do banco de dados do ISCCP.

FAM NUM \leq	SIZE \geq	CBSMED \geq	TMEDCL \leq	TMINCL2 \leq	ECCE \geq
8	178	126	241	221	0,7

O período de vida dos CCM foi analisado pela variável HORA CS. A partir do conhecimento dos estágios de vida dos complexos, foi elaborada a classificação dos ciclos de vida no período de 24 horas, e baseado na distribuição temporal do ISCCP foi empregado o intervalo de 3 horas. O dia de ocorrência dos sistemas estava descrito através da variável DAY CS. Para sua localização de latitude e longitude dos sistemas,

descrita na área de estudo, foram utilizadas as variáveis LAT CS e LON CS. Para a variável SIZE que era necessário para o tamanho mínimo dos sistemas fez-se uso do limiar de 178 km, que ao substituir na fórmula da área do círculo, teríamos o tamanho mínimo necessário para o descrito na literatura de Maddox e para CBSMED foi utilizado o limiar mínimo de 126 Km, isso refere-se ao tamanho A e B de 100.000 Km² e 50.000 Km², respectivamente. Os valores de CBSMED foram utilizados antes de serem multiplicados por CBNUM. No que se refere às temperaturas A e B foram utilizados o TMEDCL e o TMINCL2, onde foram utilizados os limiares de valores menores ou iguais a 241 K e 221 K, por essa ordem.

4.3. ERA5

O ERA5 representa o desenvolvimento da quinta geração de produtos de reanálise do *European Centre for MediumRange Weather Forecast* (ECMWF) para o clima e tempo de todo o planeta concentrado para as últimas 4 a 7 décadas. Para Freitas (2021), a utilização desse tipo de referências meteorológicas serve como um meio de saída comum conveniente à ausência de redes de acompanhamento eficazes ao redor do mundo.

A reanálise usa as leis da física para combinar dados de modelo com observações de todo o mundo em um conjunto de dados globalmente completo e consistente. Este princípio, chamado de assimilação de dados, é baseado no método usado pelos centros numéricos de previsão do tempo em que a cada poucas horas (12 horas no ECMWF) as previsões anteriores são combinadas de forma otimizada com novas observações disponíveis para produzir novas previsões melhores. O estado da atmosfera, chamado de análise, a partir do qual são emitidas previsões atualizadas e aprimoradas. A reanálise funciona da mesma maneira, mas com uma resolução reduzida para permitir que você forneça conjuntos de dados que abrangem décadas. A reanálise não tem restrições de liberar previsões no tempo, então há mais tempo para coletar observações e tempo para voltar no tempo (Hersbach et al., 2020).

O ERA5 conta com reanálises divididas em quatro subconjuntos principais: produtos horários e mensais, tanto em níveis de pressão (campos de ar superior)

quanto em níveis únicos (quantidades atmosféricas, de ondas oceânicas e de superfície terrestre), possuindo uma grade de lat-lon regular de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$.

Para entender as condições atmosféricas nos sistemas encontrados neste estudo foi utilizado a resolução horizontal de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ com as seguintes variáveis para o período de 1983 à 2008 : Componente u e v (m/s) do vento nos níveis (identificação dos Jatos de Alto e Baixos níveis); Divergência horizontal de velocidade (s^{-1}); Temperatura ($^\circ C$) ; Umidade específica ($Kg\ kg^{-1}$); e por último a Velocidade Vertical ($Pa\ s^{-1}$) (Tabela 4).

Tabela 4: Variáveis retiradas do ERA5.

Variável	Unidade	Nível de Pressão (hPa)
		850
Componente u e v do vento	m/s	700
		200
Divergência horizontal de velocidade	s^{-1}	200
Temperatura	$^\circ C$	850
Umidade específica	$Kg\ kg^{-1}$	850
Velocidade vertical	$Pa\ s^{-1}$	850

4.4. Identificação dos Jatos de Baixos Níveis

Para identificar a ocorrência de JBN, foram utilizados os critérios de classificação propostos por Bonner (1968) e modificados por Whiteman et al. (1997), conhecidos como B&W. Para isso, foram analisados os perfis do vento das sondagens interpoladas das 00:00 e 12:00 UTC. Bonner (1968) Whiteman et al. (1997) estabeleceram dois critérios de classificação que precisam ser atendidos

simultaneamente: o primeiro define a velocidade máxima do vento no "núcleo do jato", enquanto o segundo especifica a queda da velocidade do vento acima do seu pico máximo até atingir a velocidade mínima a 3000 metros (conforme a Tabela 5).

Tabela 5: Classificação de JBN segundo os critérios de Bonner (1968) e modificado por Whitman et al. (1997).

Tipos de JBN	Descrição dos Critérios
JBN 0	Para intensidade do vento igual ou superior a 10m/s, no nível de máxima intensidade da velocidade do vento, com um decréscimo de pelo menos 5m/s acima deste nível e abaixo de 3000m de altura;
JBN 1	Para intensidade do vento igual ou superior a 12m/s, no nível de máxima intensidade da velocidade do vento, com um decréscimo de pelo menos 6m/s acima deste nível e abaixo de 3000m de altura;
JBN 2	Para intensidade do vento igual ou superior a 16m/s, no nível de máxima intensidade da velocidade do vento, com um decréscimo de pelo menos 8m/s acima deste nível e abaixo de 3000m de altura;
JBN 3	Para intensidade do vento igual ou superior a 20m/s, no nível de máxima intensidade da velocidade do vento, com um decréscimo de pelo menos 10m/s acima deste nível e abaixo de 3000m de altura.

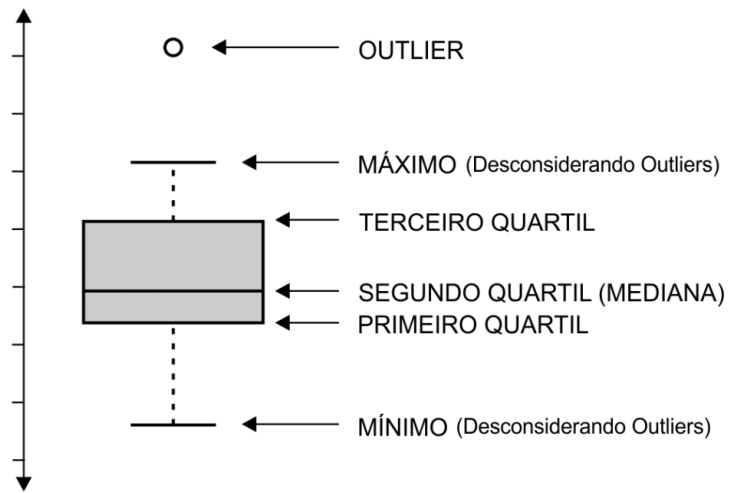
4.5. Boxplot

De acordo com Morettin (2017), o gráfico Boxplot ajuda a visualizar como se portam os dados em relação à simetria e dispersão. Na sua construção é considerado o eixo vertical (y, ordenadas) do gráfico o valor dos dados.

- Mínimo – É o valor mínimo do conjunto de dados, mas que respeita um certo limite. É possível a existência de valores discrepantes que são ainda menores (outliers).
- Primeiro Quartil (Q1) – É a base da caixa retangular. Uma demarcação que distingue que 25% dos dados estão abaixo e os outros 75% dos dados estão acima desse valor.
- Mediana ou Segundo Quartil (Q2) – A linha mais ao centro do gráfico, demarcar o valor central do conjunto de dados. 50% dos dados são maiores que esse valor e os outros 50% dos dados são menores.
- Terceiro Quartil (Q3) – O topo da caixa retangular. Essa linha informa o número que fica entre os 75% valores mais baixos e os 25% valores mais altos.
- Máximo – Valor máximo do conjunto de dados, mas respeitando um limite calculado. É possível a existência de valores acima deste na base de dados (outliers).
- Outliers – Valores discrepantes que estão fora de um intervalo definido, altos demais ou baixos demais.

Primeiro, é traçado um retângulo onde a parte superior é o Q3 e a inferior o Q1. Um traço indica a mediana (Q2). Em seguida, é criada uma linha do Q3 até o limite superior (valor máximo amostrado) e do Q1 até o limite inferior (valor mínimo). Os pontos discrepantes, chamados outliers, são valores que ficam abaixo do valor $Q1 - 1.5 \cdot (Q3 - Q1)$ ou acima de $Q3 + 1.5 \cdot (Q3 - Q1)$.

Figura 3: Informações contidas no Boxplot.

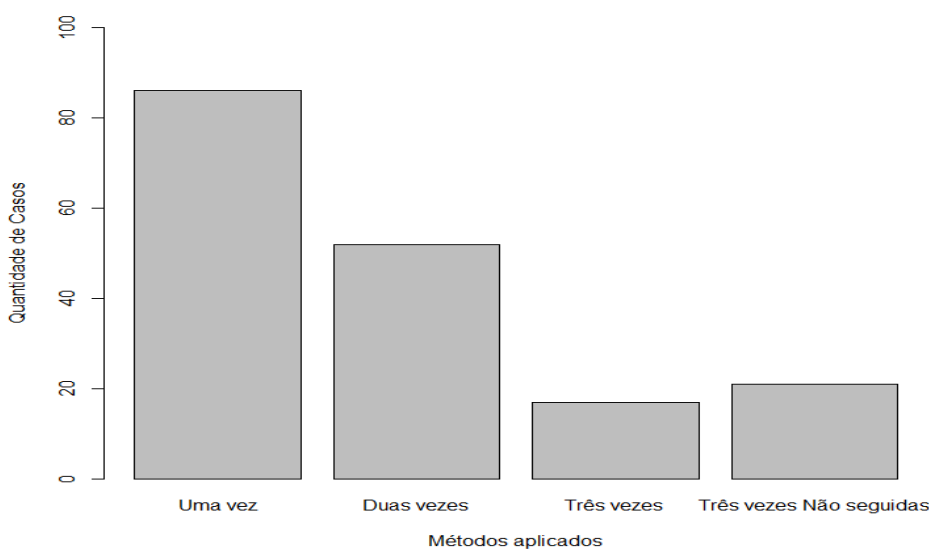
Fonte: Oper¹, 2021.

5. Resultados

5.1. Sistemas Encontrados

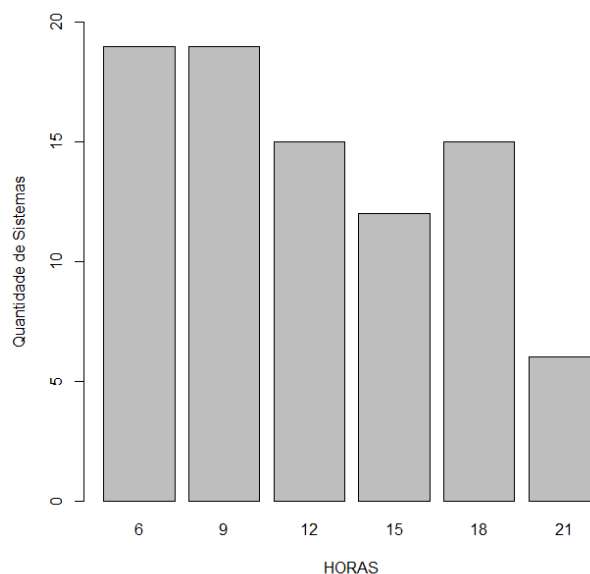
Foram explorados todos os anos possíveis, porém o banco de dados tinha uma ausência de registros entre dezembro de 1984 e 1987. Seguindo os critérios empregados na metodologia, neste trabalho foi possível encontrar 4 resultados diferentes para o número de casos existentes. São eles: 86 casos quando os critérios eram atendidos uma única vez, 52 casos quando havia a ocorrência de duas vezes seguidas dos parâmetros, 17 casos quando as especificações apareciam três vezes seguidas e 21 casos quando os critérios eram atendidos 3 vezes não seguidas (Figura 4). Para a presente pesquisa foram utilizados os sistemas em que as características propostas por Maddox (1980) aparecem pelo menos uma vez durante o ciclo de vida.

Figura 4: Quantidade de casos encontrados no banco de dados do ISCCP em cada método



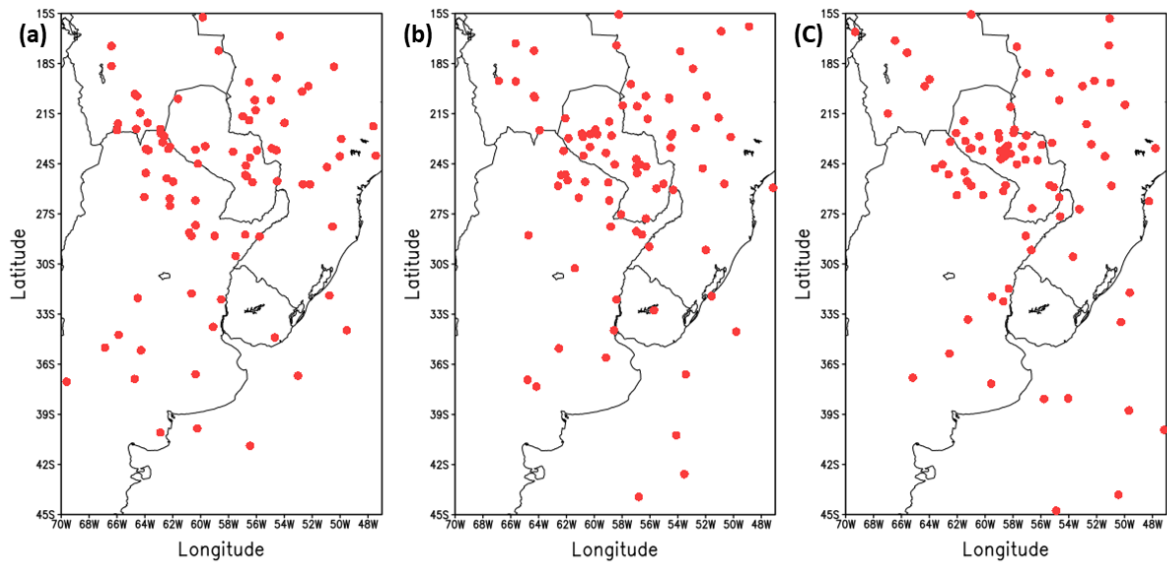
A maior parte dos sistemas avaliados tiveram até 9 horas de duração, com uma diminuição quase gradativa até sistemas que tiveram 21 horas de duração (Figura 5). Também, como citado anteriormente, e com a finalidade de analisar e verificar se há alguma diferença significativa, foram criados 3 blocos como três momentos de vida do sistema (Iniciação, Maturação e Dissipação) para melhor visualização dos resultados, onde o primeiro, segundo e terceiro bloco ficaram com 44,18%, 31,39% e 24,42% dos resultados, respectivamente.

Figura 5: Quantidade de casos encontrados no banco de dados do ISCCP em cada método



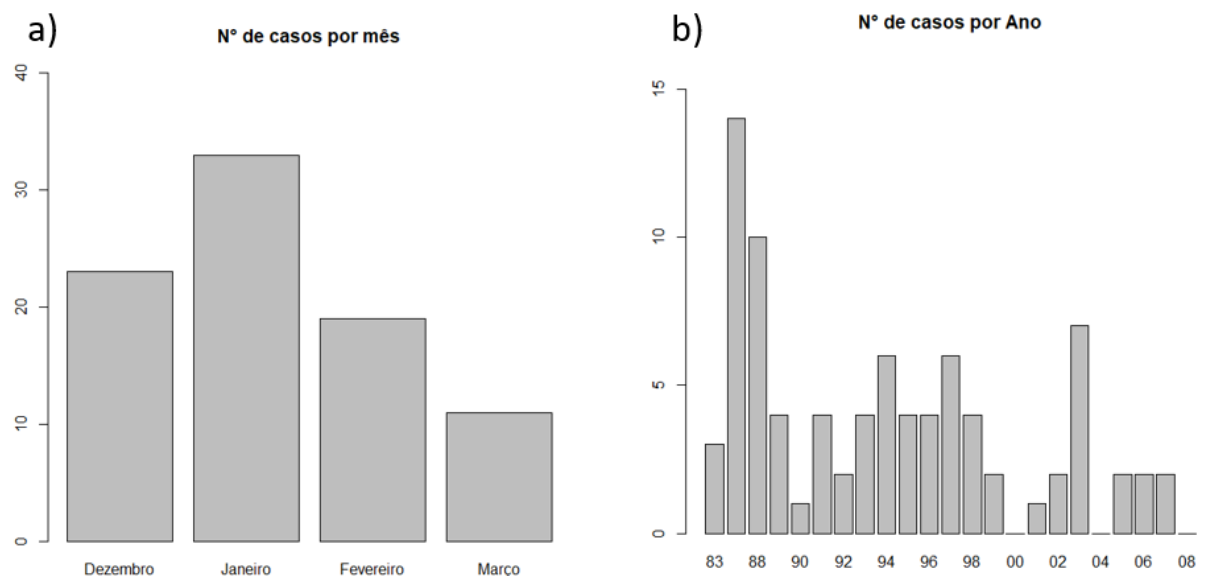
Na Figura 6, constata-se as três fases do ciclo de vida dos 86 casos de CMM encontrados no banco de dados do ISCCP. Em uma análise visual, nota-se que uma grande parte dos sistemas tem sua gênese (Figura 6a) no norte argentino e sul boliviano, isso acontece devido a saída dos jatos de baixos níveis, e à medida que vai mudando para o estágio maduro de sua vida, eles sofrem um deslocamento para o leste em direção ao Paraguai (Figura 6b). Segundo Sakamoto (2009), sistemas convectivos subtropicais sul-americanos continentais e oceânicos tendem a se deslocar para leste desde sua gênese até sua dissipação, além disso Siqueira et al. (2005) percebeu que os eventos continentais apresentam um sentido preferencial de deslocamento para nordeste e a possível explicação gerada pelo pesquisador e a associação destes eventos com sistemas frontais. Já para CCM oceânicos, apresentam um comportamento de deslocamento para sudeste, onde Taljaard (1967), pode constatar isto através do padrão de deslocamento observado com os ciclones extratropicais no hemisfério sul, observados no cinturão de fluxo de oeste. Outro ponto que ficou perceptível, foram os eventos que saíram do centro-oeste argentino praticamente se deslocaram para a região costeira da Argentina. Em sua fase de dissipação (Figura 6c), os CCM que sofreram ainda mais uma deslocação para leste, tem sua maior concentração no centro paraguaio.

Figura 6: Posicionamento de todos os CCM encontrados no banco de dados do ISCCP nas três fases: a) Iniciação; b) Maturação; c) Dissipação.



A Figura 7 retrata o número de casos encontrados em cada mês (Figura 7a) e em cada ano (Figura 7b). As maiores ocorrências de casos foram registradas no mês de janeiro com cerca de 33 casos, seguido por dezembro com 23, fevereiro com 19 e por fim março com 11 ocorrências. Para os anos com ocorrência o destaque fica para 1984, 1988 e 2003 com 14, 10, 7 ocorrências de CCM, respectivamente. Nos anos de 2000, 2004 e 2008 não foram registrados casos de CCM.

Figura 7: Gráfico com os 86 sistemas encontrados no banco de dados: a) Números de casos divididos por meses; b) Número de casos dividido por anos.



5.2. Resultados da Reanálise

Para uma compreensão melhor da ocorrência dos Complexos Convectivos de Mesoescala que foram encontrados nesta pesquisa, fez-se o uso de dados de reanálise da umidade específica, divergência, vento, temperatura e velocidade vertical por meio campos médios através do ERA5 para entender o comportamento da atmosfera com que fez ocorrer a gênese até a dissipação dos sistemas.

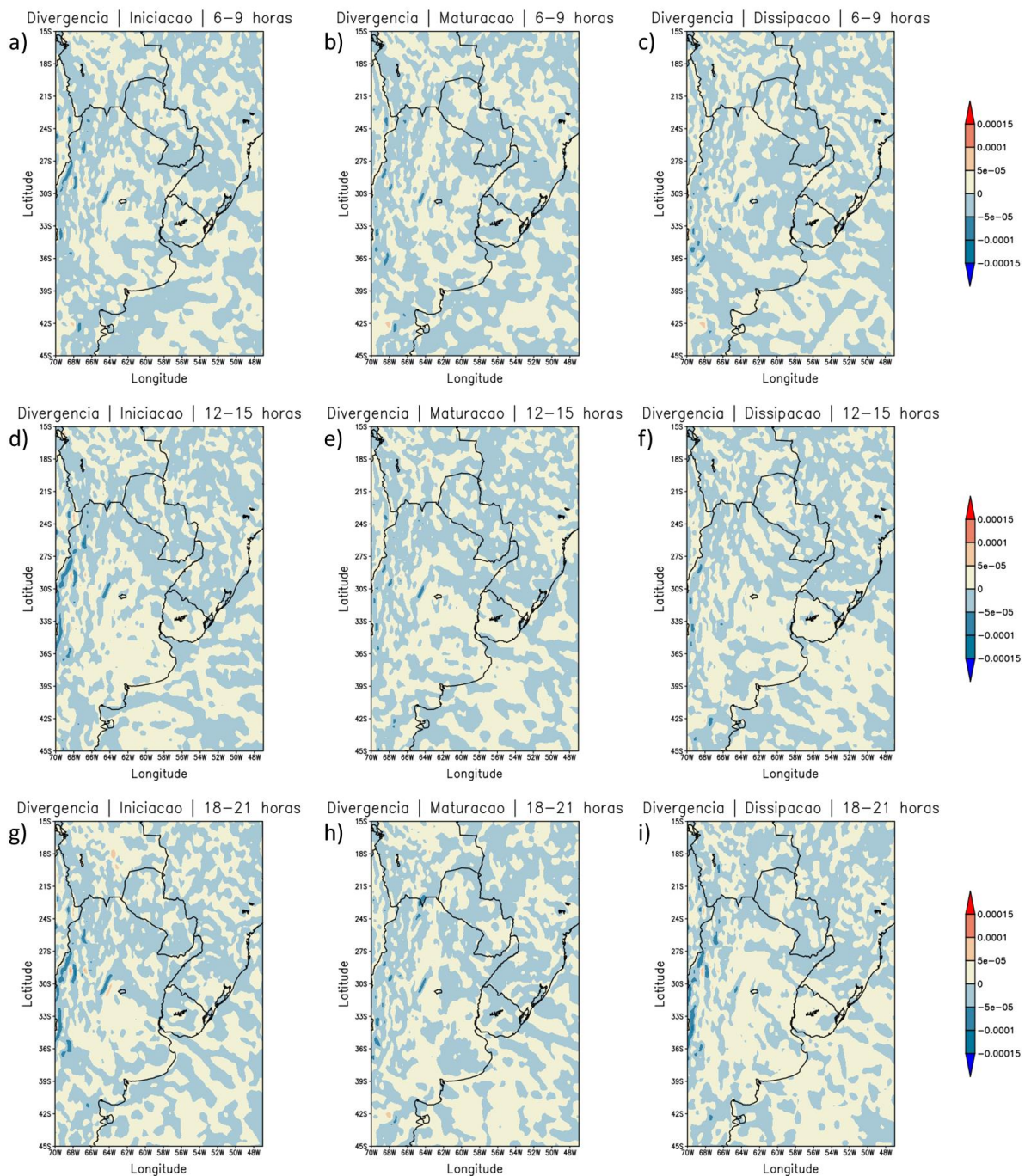
5.2.1. Divergência em 850 hPa

A divergência em meteorologia se refere ao processo pelo qual a atmosfera se expande em uma região. A divergência pode ser positiva ou negativa (indicativo de convergência), dependendo se a atmosfera está se expandindo ou se contraindo. Uma divergência positiva indica que a atmosfera está se expandindo e que ar está saindo da região, enquanto uma divergência negativa indica que a atmosfera está se contraindo e que ar está entrando na região.

Na Figura 8 é apresentado o comportamento da divergência em 850 hpa, nível de atuação do JBN, tonalidades em tons de azul indicam a convergência em baixos níveis (possibilidade de movimento ascendente), já a tonalidade no tom avermelhada indica é o indicativo de divergência (indício de movimentos subsidentes. Movimentos característicos de convergência só são perceptíveis nas Figuras 8d e 8f, onde ocorre o período de iniciação dos sistemas entre 12 e 15 e os 18 e 21 horas, respectivamente. Carvalho et al. (2004) analisou um CCM ocorrido em São Paulo em março de 1998 e mostrou que a divergência em baixos níveis apresentou uma forte correlação com a intensidade da precipitação. Porém devido a distribuição de dados não foi possível encontrar um padrão de convergência que estivesse associado a formação e atuação dos CCM. Como os estudos dos sistemas encontrados foram em dias, locais diferentes assim como a altitude, padronizar este tipo de variável em nível único se torna algo muito difícil, visto que a muita interferência de outras variáveis.

Figura 8: Campo médio de divergência (s^{-1}) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15

horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.



5.2.2. Divergência em 200 hPa

A divergência em altos níveis é uma característica importante da atmosfera superior que pode ter um impacto significativo sobre a circulação geral da atmosfera e a evolução dos sistemas meteorológicos. Quando há uma divergência positiva em altos níveis, isto indica que o ar está saindo da região e que ocorre um escoamento ascendente. Por outro lado, quando há uma divergência negativa em altos níveis, isto indica que o ar está entrando na região e que ocorre um escoamento descendente.

Na Figura 9 é a representação média da divergência que ocorre sobre os CCM durante seu ciclo de vida, onde as tonalidades bem próximas ao vermelho representam a sua maior intensidade. Em 200 hPa, a divergência do ar funciona como resposta à convergência em baixos níveis (Cotton et al., 1989). Em conformidade com o trabalho de formação dos CCM, Silva Dias (1987), encontrou divergência do vento em altos níveis.

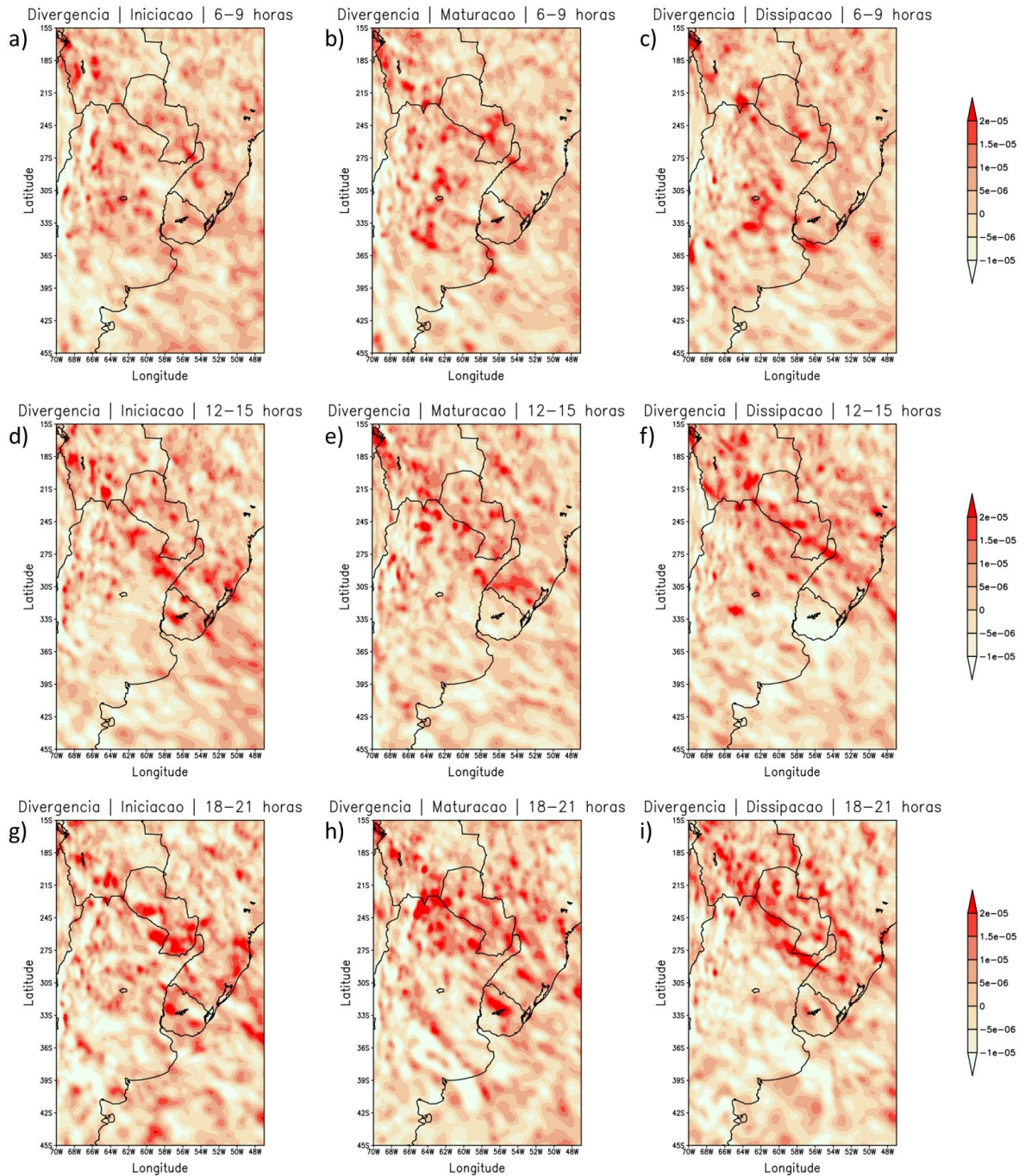
Analisando apenas as Figuras 9a, 9d e 9g, nas quais representam a iniciação dos sistemas, observa-se que a parte mais intensa do sistema em relação a sua atuação fica por conta dos CCM com duração superior a 18 horas, percepção essa mostrada na literatura de Zhang et al., (2012), onde demonstrou que regiões com maior divergência em altos níveis apresentam maior taxa de desenvolvimento de CCM. A parte que mais sobressai com atuação fica entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul e também contempla a região sudoeste e sul do Paraguai e parte do norte da Argentina. Para sistemas com duração entre 12 e 15 horas o destaque fica o estado do Rio Grande do Sul e nordeste argentino. Em relação aos casos encontrados com duração inferior a 9 horas, foi possível observar alguns pontos de intensidade apenas na Argentina, mas nada que destaca-se para determinar seu ponto de atuação principal.

Em altos níveis, na fase de maturação (Figura 9b, 9e, 9h), em ambos os casos observa-se convergência de massa em 200 hPa. Assim como na Iniciação, o destaque fica para sistemas com duração acima de 18 horas. A partir deste momento, os sistemas com maior duração passam a apresentar divergência em altos níveis de forma sistemática. Wallace e Hobbs (1977), propuseram que uma rápida expansão corresponde a divergência em altos níveis, indicando a intensidade da convecção.

Como foi dito, o destaque principal ficou com os CCM que tem o maior tempo e com atuação principalmente sobre a região sul do Brasil, Uruguai, Norte da Argentina, Paraguai e sul da Bolívia, além disso, a divergência em altos níveis também está relacionada à interação do CCM com a atmosfera em grande escala. Estudos mostram que a interação do CCM com os ventos em altos níveis pode influenciar a sua trajetória e duração (Maddox, 1980; Bernardet et al., 1993). Para eventos de média duração (Figura 9e) a divergência em altos níveis se destaca principalmente sobre o estado do Rio Grande do Sul, nordeste argentino e sul da Bolívia. No que se refere-se a figura 9b, os eventos com pouca duração apresentaram uma divergência mais destacada ao contrário da iniciação, onde sua área principal de atuação ficou restringida principalmente aos centros do Paraguai e Argentina.

Ao que se refere sobre a dissipação (Figura 9 c, f e i), o indicativo de convergência em altos níveis começa a perder sua intensidade, visto que é fim do ciclo de vida do CCM. Logo, os eventos encontrados acima de 12 horas são os que mantêm com maior destaque para indicativos de divergência. Na figura 9i, as observações são as que se destacam mais, visto que são eventos que têm a maior duração, apesar de ser sua dissipação a maior parte está concentrada em todo Paraguai e centro-sul da Bolívia. Para os eventos que ocorrem em médio prazo (Figura 9f), o comportamento da divergência se caracteriza como um comportamento de um sistema frontal, mas que não se pode ter a certeza desse sistema, onde compreende o estado do Rio Grande do Sul, norte da Argentina, Paraguai e Bolívia. Em relação ao comportamento dos eventos de curta duração (Figura 9i), assim como na iniciação os CCM não tiveram tanta dissipação em altos níveis, visto que só é possível alguns indicativos deste tipo de comportamento em alguns como pontos isolados, como os presentes no centro da Argentina.

Figura 9: Campo médio de divergência (s^{-1}) em 200 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.



5.2.3. Velocidade Vertical

A velocidade vertical ômega (Figura 10) na meteorologia refere-se à taxa de mudança de altitude do ar com relação ao tempo. A velocidade é calculada com base na diminuição da pressão atmosférica com o tempo, onde valores negativos são indicativos de movimentos ascendentes e valores positivos indicam subsidência do ar (Freitas, 2021). Essa variável também é utilizada para calcular a intensidade de tempestades convectivas, para identificar áreas de convergência e divergência na atmosfera.

Para a elaboração e utilização deste campo, fez-se o uso da metodologia aplicada por Freitas (2021), onde foi utilizado o nível de 500 hPa, por ser o Nível Não Divergente (NDD), no qual é esperado os maiores valores de ômega. Na representação deste campo, foi utilizado a tonalidade verde escuro para representar as maiores velocidades e na coloração mais clara para reproduzir as menores velocidades.

Na Figura 10 a, d e g observa-se a representação do comportamento da velocidade vertical na fase de iniciação dos CCM. No campo de 500 hPa, notou-se que o maior destaque ficou para gênese em sistemas com duração acima de 18 horas, onde a maior intensidade da velocidade pode ser observada nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, esse destaque também pode ser constatado na parte oeste do Uruguai, norte da Argentina, quase todo o Paraguai e região oeste da Bolívia. Para CMM, com duração entre 12 e 15 horas, a velocidade vertical tem mais destaque sobre o sul do Rio Grande do Sul, norte do Uruguai, extremos norte argentino e o centro do Paraguai. Machado et al., (1998), analisou a relação entre a velocidade vertical e a precipitação em um CCM que ocorreu na região central do Brasil, onde ele documentou que as maiores taxas de precipitação estiveram associadas a regiões com as maiores velocidades verticais, o que sugere que a velocidade vertical é um bom indicador da intensidade da precipitação em CCM. No que se refere a sistemas com menor duração (Figura 10a), a variável tem evidência sobre o sul de Santa Catarina, norte do Rio Grande do Sul, noroeste da Argentina e Sul do Paraguai.

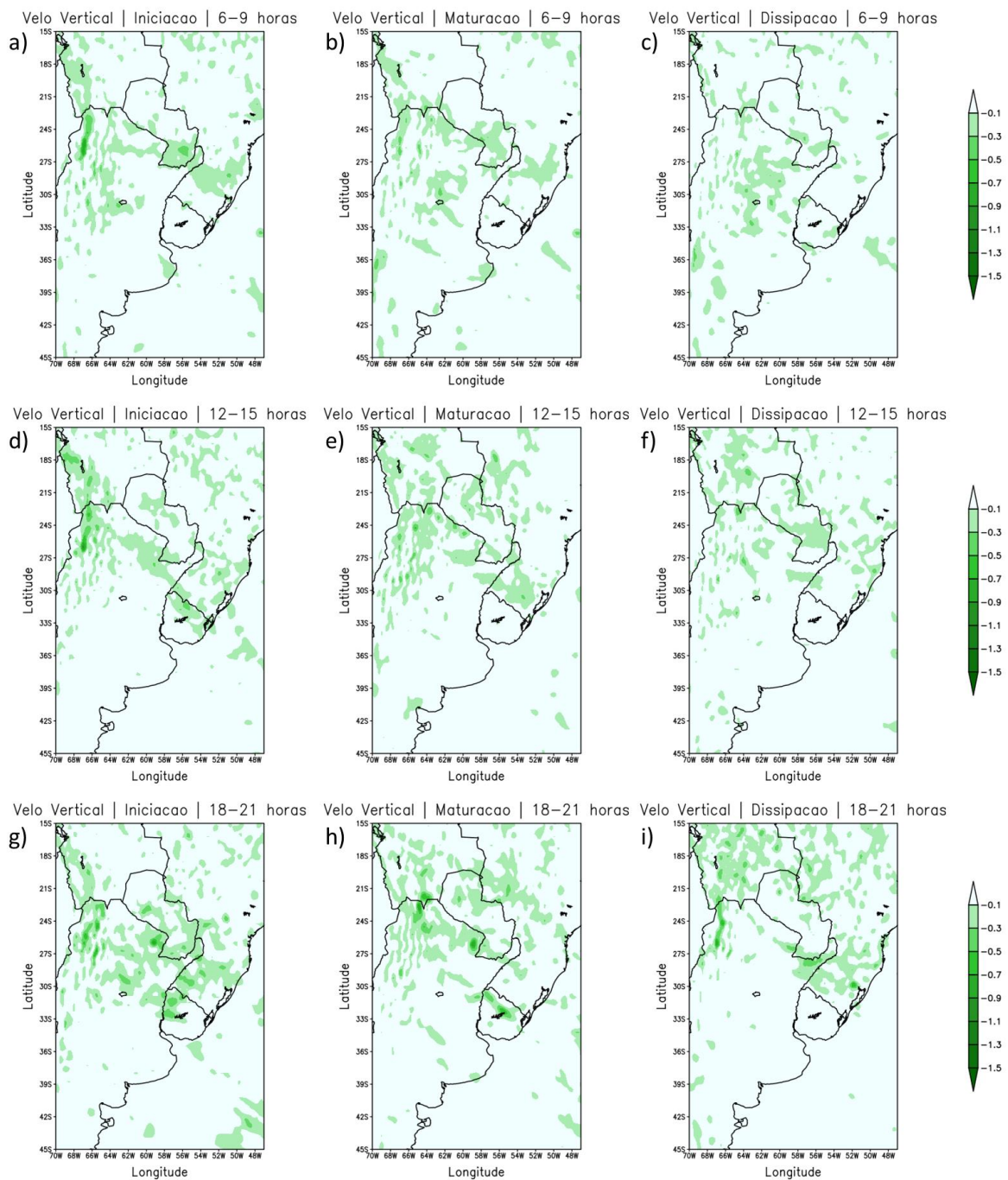
Na maturação dos complexos evidenciados pelas Figuras 10b 10e e 10h, nota-se que em episódios de curta duração, o realce da imagem que antes era presente

entre os limites do estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, passa a ficar mais restrito ao estado Catarinense, que ainda se mantém o destaque no sul do Paraguai e o norte da Argentina. Em relação a sistemas intermediários, a velocidade vertical tem principal destaque em todo estado gaúcho, centro-norte Paraguai e norte argentino. Com relação aos sistemas de maior duração, a velocidade vertical tem como sua principal área de atuação o centro- norte do Uruguai, centro do Paraguai e a divisão entre os países da Argentina e Bolívia. Algumas pesquisas têm explorado a relação entre a velocidade vertical e os processos convectivos em CCM. Por exemplo, um estudo de Chakraborty et al. (2015) investigou a variação da velocidade vertical em diferentes estágios de um CCM que ocorreu na região leste da Índia. Os resultados mostraram que a velocidade vertical aumenta drasticamente durante o estágio de maturidade do CCM, quando a convecção é mais intensa. Porém nesta pesquisa, não foi possível evidenciar com clareza tal afirmação, visto que os eventos encontrados se encontram espelhados em uma vasta região e o campo avaliado se refere às médias.

Ao que se refere a dissipação (Figura 10 c, f, i), nota-se um comportamento diferente, como era de se esperar já que está ocorrendo a extinção dos sistemas, a velocidade vertical tenderia ao ponto de chegar a 0 m/s, mas não é isso que ocorre com sistemas com duração igual ou superior a 12 horas. Há uma gênese de novos pontos de velocidade, onde era para haver a sua dissipação. Com relação a sistemas que têm a duração entre 6 e 9 horas, não há quase nenhum destaque de velocidade vertical, o único que aparece fica no centro argentino. Para sistemas intermediários, velocidade tem mais destaque no centro-sul paraguaio e no centro da Bolívia. A respeito de sistemas com duração superior a 18 horas, a velocidade tem seu destaque principal no estado sul-rio-grandense, nordeste argentino e quase todo recorte da área de estudo para Bolívia.

Figura 10: Campo médio de velocidade vertical (Pa s^{-1}) em 500 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-

15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.



5.2.4. Umidade Específica

A umidade específica é a quantidade de vapor d'água presente em uma determinada massa de ar seco. Em um sistema convectivo de mesoescala, a umidade

específica pode ser um fator importante na formação de nuvens e precipitações, bem como na intensificação de eventos.

O aumento da umidade específica pode conduzir a um aumento na capacidade do ar de reter vapor d'água, o que pode favorecer a formação de nuvens convectivas e tempestades. Para Sakamoto (2009), o oceano Atlântico tropical, a região Amazônica, são as principais regiões de origem da umidade para a gênese dos sistemas convectivos, entretanto a atuação dessas fontes depende da região de formação do sistema e das condições sinóticas. Por outro lado, a baixa umidade específica pode impedir a formação de nuvens e, conseqüentemente, a ocorrência de precipitações.

A Figura 11, retrata o comportamento da umidade específica em 850 hPa com o decorrer do ciclo de vida do CCM, o principal destaque apresentado foi caracterização igual do seu comportamento independente da sua duração, onde na iniciação apresenta seus maiores valores de umidade, acima de 0.013 g/kg, já na maturação constata-se valores intermediários e na sua dissipação retrata valores mínimos, o que é esperado, visto que é um sistema que utiliza muita umidade e à medida que vai acabando os eventos oriundos desta umidade vão se dissipando.

Em seu trabalho Sakamoto (2009) afirma que a umidade e a convergência de fluxo de umidade são maiores para sistemas de menor duração na sua fase inicial, logo comprovada através das Figuras 11a, 11d e 11g, onde sistemas com menor duração apresentam uma tonalidade de azul maior em sua totalidade em comparação a sistemas com maior duração. A pesquisadora esclarece também que há uma inversão nas fases madura e de decaimento, que podem explicar as diferenças na longevidade dos sistemas, no qual ficou evidenciado nesta pesquisa em sistemas que duração igual ou maior a 18 horas, onde é possível observar que na fase de dissipação há mais umidade específica presente em sistemas com maior longevidade do que com pouca.

Com relação a iniciação o destaque ficou para sistemas com duração entre 6 e 9 horas (Figura 11a), onde é possível notar uma área mais úmida, principalmente

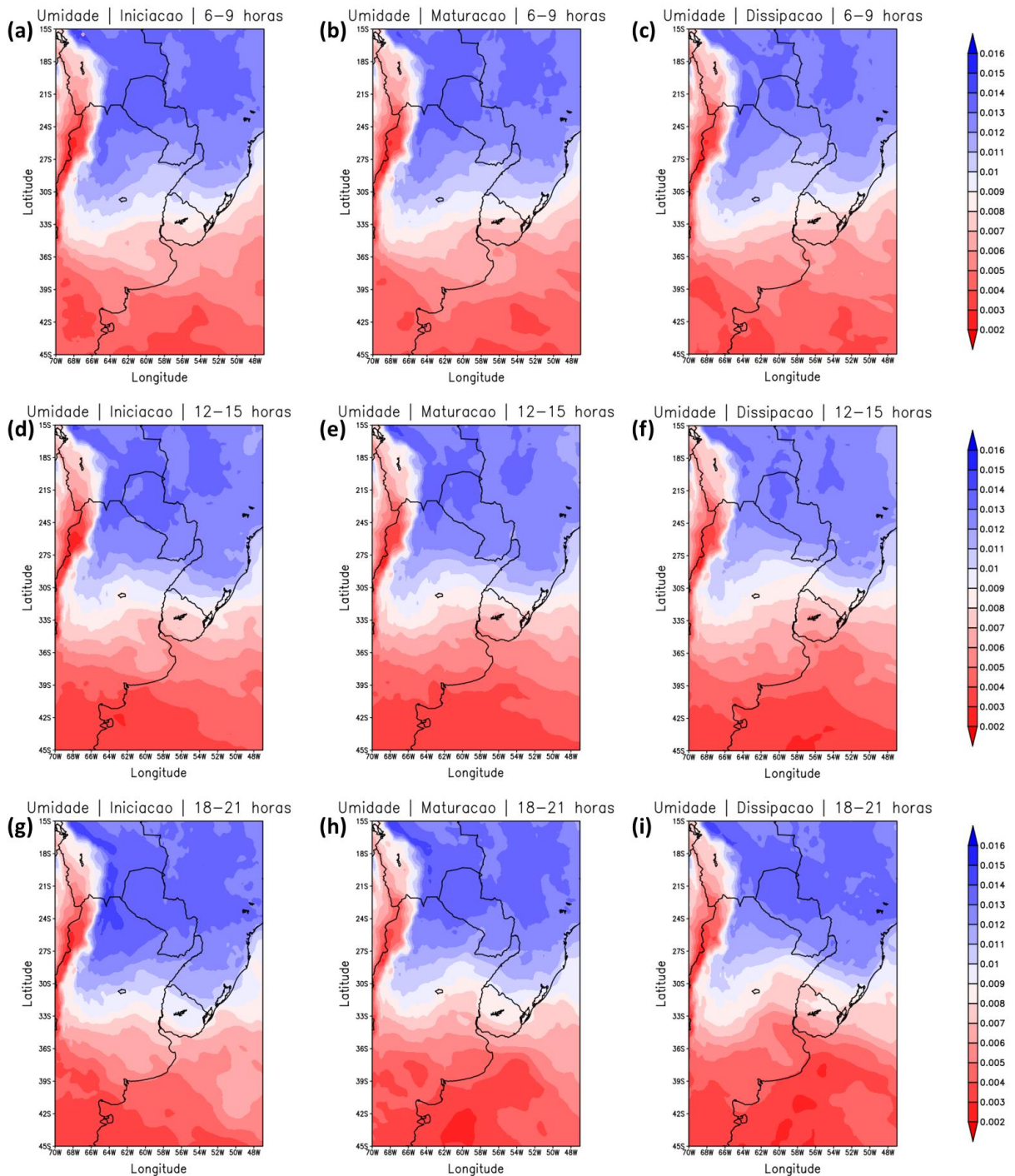
no norte paraguaio e argentino e em toda a Bolívia. Já para a figura 11g que retrata a iniciação entre os sistemas de 18 e 21, detectou-se a área com maior expansão em umidade cobrindo quase todo o Paraguai, norte da Argentina e toda a Bolívia, o destaque para esse figura fica a divisa entre a Argentina e Bolívia, onde um pequeno trecho aparece uma umidade acima de 0.014 g/kg. No que se refere a CCM com duração entre 12 e 15 horas, constatou-se a presença de umidade específica acima de 0.012 g/kg, contudo sua área de atuação ficou muito restringida.

Para a maturação, como era de se esperar, a região com umidade elevada começou a se retrair. Na figura 11h, o destaque visto na iniciação na divisa entre Argentina e Bolívia desaparece, a área com umidade mais elevada que chegava até o centro norte argentino, agora se restringe até o extremo norte, ocupando também só a metade do Paraguai. Na maturação para sistemas com duração intermediária (Figura 11e), a umidade mais elevada ficou totalmente restrita ao norte do Paraguai e Argentino e ao sul boliviano. Para sistemas com duração mais curta (Figura 11b), a retração da área é ainda maior, como Sakamoto (2009) explicou que o decaimento é muito maior em relação a sistemas com maior duração.

Na dissipação, sistemas com duração entre 12 e 15 horas praticamente perdem a umidade alta presente na sua concepção. A área de atuação da umidade para CCM com duração mais curta, praticamente fica restringida a pontos isolados, um na divisa entre a Argentina e Bolívia e o outro na divisa entre o Paraguai e a Argentina. Na literatura de Reboita et al. (2010) observou que a umidade específica diminuiu na região central do CCM durante a fase de dissipação, indicando a presença de subsidência de ar seco. Para CCM com a vida mais longa, a umidade acima de 0.013 g/kg deixa de chegar à Argentina.

Ponto essencial que foi percebido é que apesar da Região Sul do Brasil fazer parte da área de estudo, a umidade neste local não passou de 0.012 g/kg nas três fases e nas três divisões de horário estabelecido. Esse fato está ligado à saída dos JBN que está mais presente na Argentina, Paraguai e Bolívia.

Figura 11: Campo médio de umidade específica (g kg^{-1}) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.



5.2.5. Temperatura

A temperatura da atmosfera em baixos níveis é outra variável importante a ser considerada no estudo de um sistema convectivo de mesoescala. O clima quente e úmido é um fator necessário para a formação de tempestades convectivas, e a temperatura da atmosfera em baixos níveis pode desempenhar um papel crucial nesse processo.

Em geral, quanto mais quente e úmido for o ar em baixos níveis, mais instável será a atmosfera e maiores serão as chances de formação de tempestades. Isso foi notado por Lima (1986) em casos com maior duração em um estudo sobre linha de instabilidade. Isso ocorre devido o aumento da temperatura faz com que o ar se expanda e se torne menos denso, tornando-o mais propenso a se elevar e a desenvolver tempestades. Além disso, a umidade elevada fornece vapor de água para condensar e formar nuvens e precipitação.

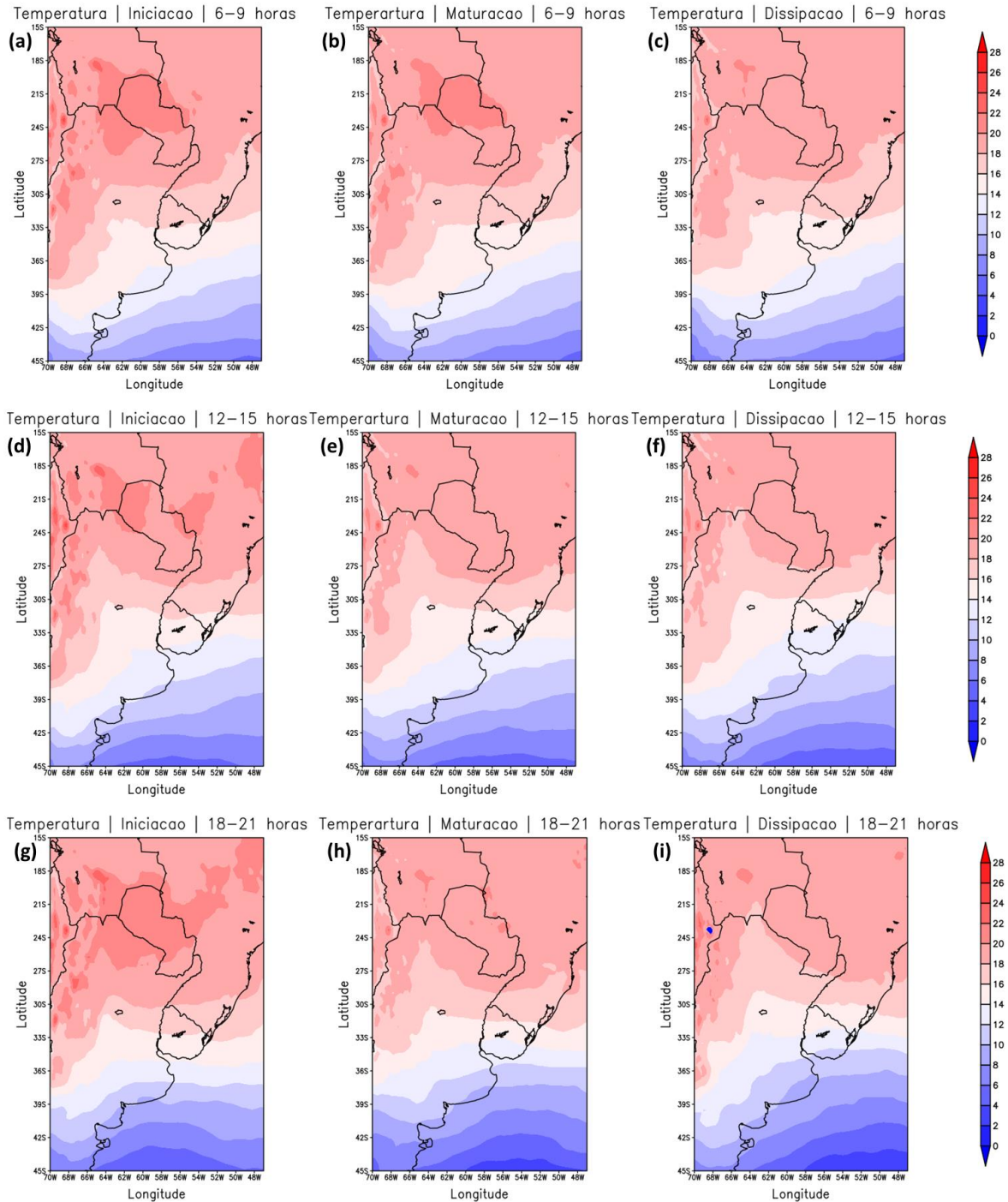
A temperatura da atmosfera em baixos níveis também pode influenciar a intensidade das tempestades que se formam dentro de um sistema convectivo de mesoescala. Na pesquisa desenvolvida por Sakamoto (2009), foi mostrado que as condições dinâmicas iniciais são fundamentais para formação e manutenção dos sistemas com maior duração.

A iniciação (Figura 12a, 12d, 12g), é caracterizada por apresentar a maior área com a temperatura elevada em comparação às outras fases. Em 850 hpa, a variável ficou acima dos 22 °C para os três tempos estudados, a diferença ficou em sua área com temperatura elevada, enquanto sistemas que tem a maior duração área compreendida ficou em quase todo Paraguai, norte da Argentina, sul Boliviano e oeste do Brasil (Mato Grosso e Mato Grosso do Sul). A área de atuação para sistemas de pouca duração com temperaturas mais elevadas apresentou o mesmo comportamento citado para sistemas de 18 e 21, a diferença ficou em sua expansão que não ficou sobre o oeste brasileiro. Já para sistemas intermediários de duração, a área com temperatura mais elevada ficou restrita ao estado do Mato Grosso do Sul e à divisa da Argentina, Paraguai e Bolívia.

Na maturação, como era de se esperar, a área com temperaturas superiores aos 22°C começa a se retrair. As características identificadas na iniciação em sistemas acima 12 horas de duração (Figura 12e e 12h), deixam de existir e temperaturas mais baixas advindas do polo sul se deslocam para latitudes mais baixas. Ambrizzi et al. (1995), observou em seu trabalho que a temperatura do ar próximo à superfície apresentou um resfriamento significativo durante o período de máxima atividade convectiva do sistema, indicando a presença de convecção profunda. Para sistemas de curta duração, área visualizada na sua iniciação praticamente não sofreu alteração, o único fator que alterou foi que antes estava ao norte da Argentina e agora ficou restrito ao extremo norte.

Em decorrência da dissipação, os padrões detectados no estágio da gênese e no maduro, são inexistentes para os três blocos. As temperaturas que antes eram altas, caíram cerca de 3 a 4 graus e todos apresentam as mesmas características, praticamente não há diferença de comportamento da atmosfera.

Figura 12: Campo médio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.



5.2.6. Jatos de Baixos Níveis - horário

Os ventos em 850 hPa, foram utilizados para a identificação dos jatos de baixos níveis (JBN) (Figura 13). O JBN tem um papel fundamental na atuação e duração de complexo convectivo de mesoescala, onde segundo Marengo (2009), é o principal sistema alimentador de umidade que CCM, necessita para sua existência.

As figuras 13 a, d e g ilustram o estágio inicial de desenvolvimento, no qual se observa que sistemas com duração entre 6 e 9 horas apresentam um comportamento discreto em relação à influência do JBN sobre os CCM, onde a velocidade máxima do núcleo não ultrapassa 10 m/s. Para sistemas de duração intermediária (Figura 13d), verifica-se uma influência maior do JBN em relação aos sistemas de curta duração, com o núcleo do jato alcançando uma velocidade entre 11 e 12 m/s, atingindo a categoria 1 na classificação proposta por Bonner (1968) para JBNs. Com relação aos CCMs de longa duração (Figura 13g), a influência do JBN é ainda mais evidente, com o núcleo apresentando uma área de atuação maior e velocidade próxima a 17 m/s, alcançando a categoria 2 na classificação proposta por Bonner. A identificação dos sistemas convectivos, especialmente aqueles originados no continente, tem sido frequentemente associada à presença de um jato de baixos níveis (Salio et al., 2007). No entanto, os resultados indicam que a principal influência do JBN está na duração dos sistemas, e não na quantidade, o que foi demonstrado pela quantidade de sistemas encontrados (Figura 5).

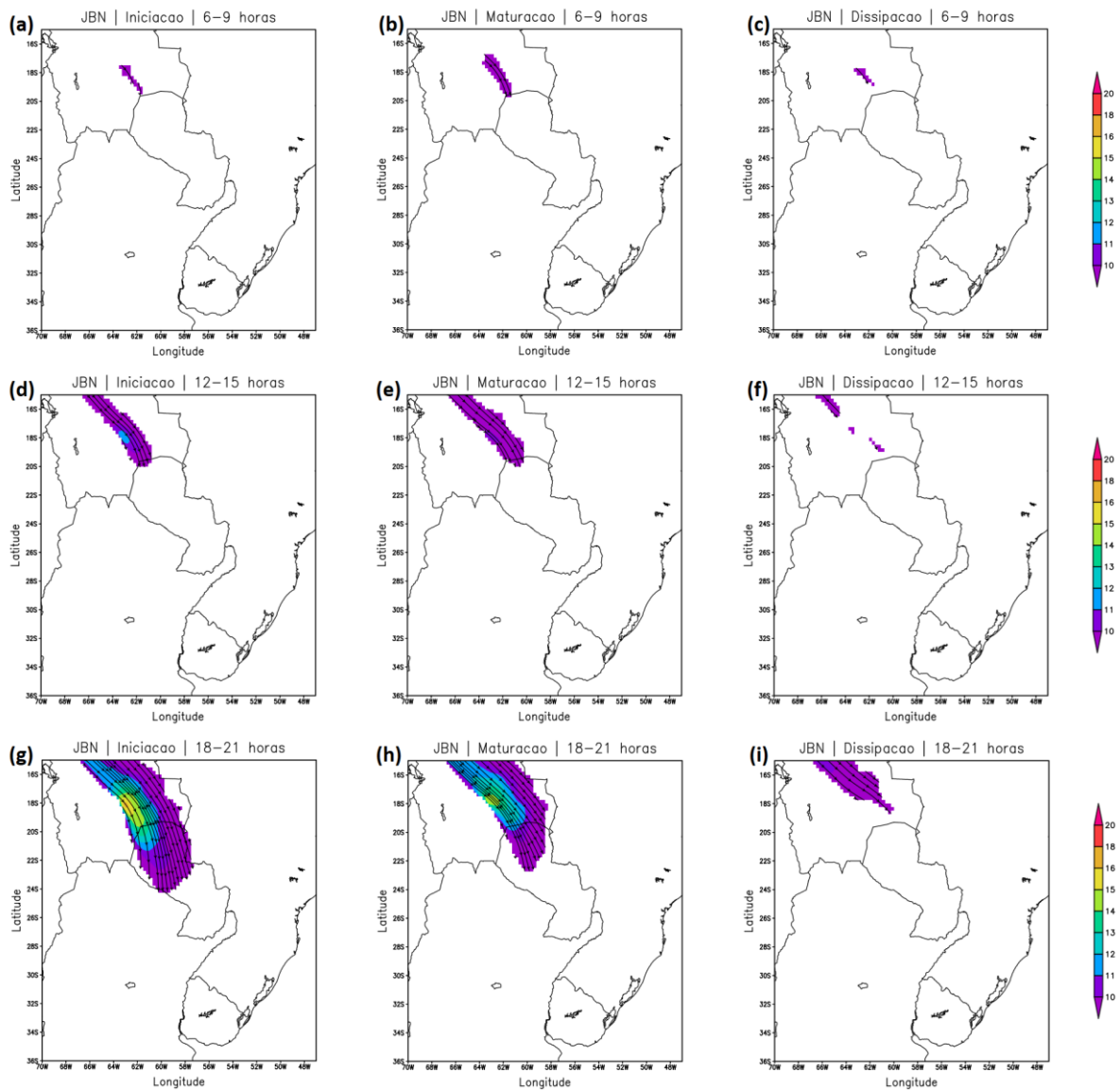
Durante o processo de maturação, observa-se que sistemas de curta duração apresentam um crescimento limitado em relação à sua fase iniciação, mantendo sua velocidade inalterada em comparação ao estágio inicial de desenvolvimento. No que diz respeito a complexos de duração intermediária, sua área de atuação permanece quase a mesma, enquanto a velocidade do fluxo de ar diminui para até 10 m/s. Para sistemas de longa duração, a área de atuação, que antes abrangia o centro do Paraguai, é agora restrita à região norte do país. A velocidade também apresenta redução, com o núcleo do sistema atingindo anteriormente uma velocidade próxima a 17 m/s e agora limitada a 14 m/s. Além disso, segundo Freitas (2021), a pesquisadora

afirma que há fortes indícios que os campos médios de vento caracterizados como JBN podem estar associados à manutenção dos CCM. Isso se evidencia pelo fato de os JBN servirem de esteira de umidade para a Bacia do Rio Prata principalmente entre os meses de novembro a fevereiro (Marengo et al., 2004).

Em se tratando da dissipação, aqui caracterizado pelas Figura 13 c, f e i, nota-se que complexos de curta duração (Figura 13c) praticamente não apresenta indícios de que houve alguma atuação do JBN na região de estudo. O comportamento apresentado para complexos com duração intermediária (Figura 13f), é praticamente o mesmo apresentado para complexos de 6 e 9 horas de duração, onde a pequenos resquícios de que havia a atuação do JBN na região em questão. Agora quando se trata de CCM de maior longevidade, constatou-se que houve uma diminuição na atuação do jato como fonte alimentadora de umidade, mas ao contrário dos complexos com duração inferior a 15 horas que apresentava resquícios, a média gerada por sistemas superiores a 18 horas apresentou um comportamento em sua área de atuação e velocidade bastante grande, comportamento parecido com a Figura 13e.

Figura 13: Campo médio do vento (m/s) em 850 hPa para a identificação dos Jatos de Baixos Níveis: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d)

Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.



5.2.7. Vento em 200 hPa

Os ventos em 200 hPa, que correspondem à alta troposfera, podem ter um impacto significativo na formação e evolução de um sistema convectivo de

mesoescala. A alta troposfera é uma região onde os ventos são fortes e frequentemente apresentam um padrão de fluxo de oeste para leste, conhecido como corrente de jato onde todas as imagens da figura 14 é possível observar esse padrão que foi descrito por Sakamoto (2009)

A formação e desenvolvimento de sistemas convectivos de mesoescala são afetados pelo posicionamento e intensidade da corrente de jato. Conforme observado por Cavalcanti et al. (2009), a corrente de jato pode alterar o padrão de ventos em níveis mais baixos da atmosfera, criando áreas de convergência ou divergência. Essa circulação transversa, conforme descrito por Uccellini e Johnson (1979), pode afetar a formação e intensidade de tempestades. Quando a corrente de jato está posicionada acima ou próximo de um sistema convectivo de mesoescala, ele ajuda a fortalecer a tempestade, fornecendo ventos fortes e ascendentes, que por sua vez aumentam a ascensão do ar e a formação de tempestades esse comportamento é observado nos eventos encontrados com duração acima de 12 horas de duração.

Por outro lado, se a corrente de jato estiver localizada longe do sistema convectivo de mesoescala (Figura 14a, 14b, 14c), a tempestade pode não ter o suporte necessário para se desenvolver e pode enfraquecer ou se dissipar.

Agora analisando apenas a fase de iniciação (Figura 14a, 15d e 15g), a velocidade do vento só excede a velocidade de 40 m/s em eventos com duração superior a 12 horas. Nos eventos de longa duração, essa velocidade excedida, fica em parte da orla da Argentina e Uruguai. Já para eventos com duração intermediária essa alta velocidade do vento ficou mais restrita ao alto mar. E para CCM de curta duração não foi possível detectar essa velocidade alta, que é tratada como Jatos de Altos Níveis, onde a velocidade máxima chegou a 34 m/s.

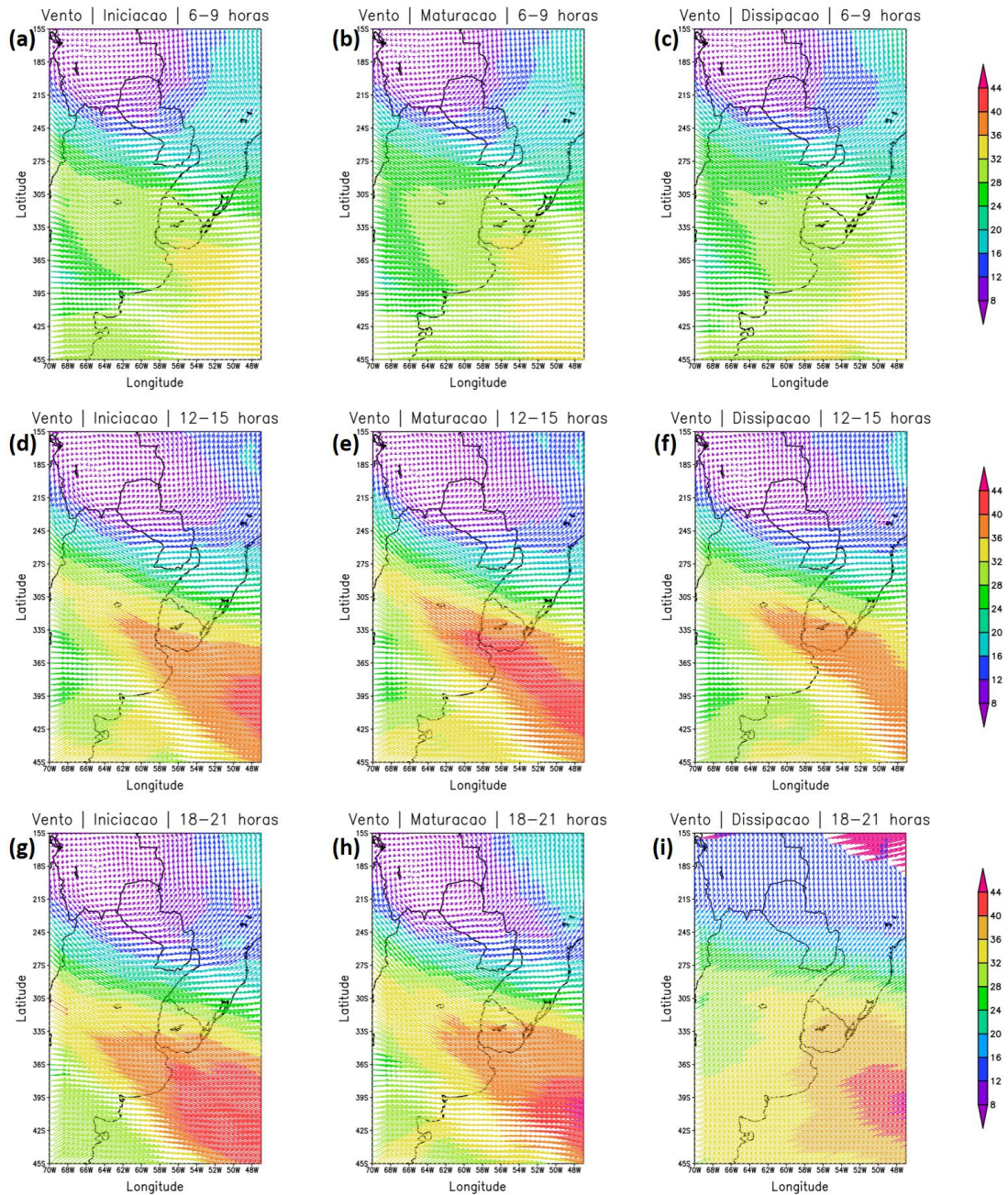
Na maturação (Figura 14b, 14e e 14h), a velocidade do vento vista na atmosfera em sistemas com duração entre 6 e 9 horas praticamente não tem alteração, a explicação disso é a pouca influência que a duração desses sistemas sofre em alta troposfera. Para eventos intermediários a intensidade dos jatos de altos níveis (JAN) e com a maior intensidade sobre a costa sul do Uruguai e costa oeste da Argentina com velocidade média acima de 40 m/s. Em relação aos casos observados

com duração entre 18 e 21 horas, observou-se que o jato subtropical incidindo sobre a troposfera do Uruguai e Argentina não tem tanta intensidade o dos casos intermediários, porém ele tem atuação com uma margem maior.

Em altos níveis da atmosfera, próximo à tropopausa, existe uma região onde a componente do vento zonal, de oeste, atinge valores máximos. Este componente aumenta com a altura devido à existência de gradientes meridionais de temperatura. O escoamento caracterizado por valores máximos é denominado Corrente de Jato ou simplesmente Jato (Pezzi, et al., 2018).

Em relação a fase de dissipação, o comportamento apresentado nas fases anteriores de sistemas com duração entre 6 e 9 horas praticamente se mantém, ou seja, eles praticamente não sofrem ou fazem diferença na alta troposfera, o que vai de oposto a ao trabalho de Cavalcanti et al., (2009). Já com relação a eventos com duração entre 12 e 15 horas a velocidade que era constatada acima dos 40 m/s na fase anterior, decai para 36 m/s e que fica restrita ao Uruguai e uma pequena parte no oeste da Argentina. Com relação ao evento de máxima duração, as altas velocidades só registradas no alto mar e as velocidades exercidas no continente não ultrapassam os 34 m/s.

Figura 14: Campo médio do vento (m/s) em 850 hPa: a) Iniciação 6-9 horas; b) Maturação 6-9 horas; c) Dissipação 6-9 horas; d) Iniciação 12-15 horas; e) Maturação 12-15 horas; f) Dissipação 12-15 horas; g) Iniciação 18-21 horas; h) Maturação 18-21 horas; i) Dissipação 18-21 horas.



5.3. Resultados do ISCCP.

5.3.1. Tamanho A

A primeira das variáveis avaliada da base de dados do ISCCP foi tamanho - raio - dos CCM, que foi utilizado para calcular o tamanho A (Figura 15). Segundo um dos critérios de Maddox (1980), um sistema convectivo é apontado CCM se o tamanho A for igual ou superior a 100.000 Km². Os CCM encontrados na base de dados do ISCCP alcançaram tamanho superior ao estabelecido na fase de Maturação, independentemente de sua duração.

Quando observamos os resultados para uma estatística analítica, observamos que em média os sistemas possuíam 190.541, 262.051 e 285.869 Km² para as Figuras 15a, 15b e 15c, respectivamente, onde foram superior aos critérios de Maddox (1980). Outro estudo de Houze et al. (2007) analisou a evolução temporal do tamanho A de CCM que ocorreu na região central dos Estados Unidos. Os resultados mostraram que esta variável tende a aumentar rapidamente durante a fase de organização dos CCM e atinge um máximo durante a fase de maturidade. Sistemas que têm duração entre 18 e 21 horas (Figura 15c) apresentam uma área de até 33,3% maior na parte da Maturação quando comparados com sistemas com duração entre 6 e 15 horas.

Em um trabalho de 1983, Maddox estabeleceu que a fase de iniciação seria relacionada quando houvesse o primeiro momento de tempestade, no qual foi adotado isto para este trabalho, por isso a iniciação dos sistemas apresenta valores menores do que o descrito no trabalho de Maddox (1980), onde a fase de iniciação é definida quando o sistema convectivo já está formado e a área que compreende o SC é igual ou maior ao seu limiar de tamanho (Cotton et al. 1989; Sakamoto, 2009) que equivale a 100.000 km.

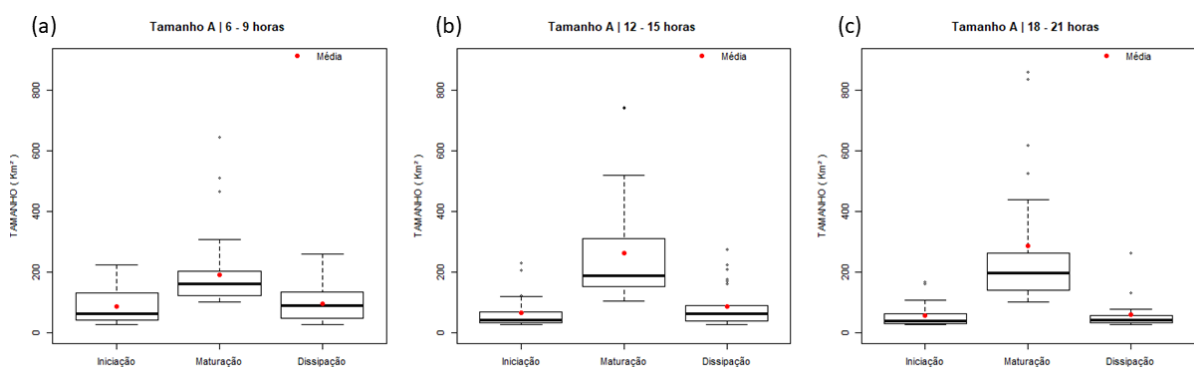
Fritsch e Forbes (2001) propõem que a velocidade de crescimento no início do desenvolvimento do sistema pode ser uma boa indicação do tamanho e duração do CCM. Machado et al. (1998), Morales et al. (2002) e Machado e Laurent (2004) também notaram esta relação para os CCM observados nas Américas. Segundo Machado et al. (1998), altas taxas de expansão iniciais que caracterizam sistemas grandes e com ciclo de vida mais longo.

Na fase de iniciação ocorre algo inverso, o grupo dos sistemas que duram entre 6 e 9 são os que apresentam a maior área, com média de 86.280 Km² isso é cerca de 36,1% maior que sistemas da Figura 15c. O comportamento se repete para a fase da dissipação, onde os sistemas com menos duração têm uma área 38,4% superior que sistemas com maior duração. Os sistemas com duração mediana, ou seja, entre 12 e 15 horas, sempre ficam no meio termo nas três fases em comparação aos que persistem por mais tempo e aos que duram pouco.

O comportamento apresentado pelos sistemas encontrados vai no caminho oposto, mas segundo Machado e Laurent (2004) embora a relação entre a taxa de expansão inicial e a duração do ciclo de vida tenha sido mais evidente para eventos de curta duração, os resultados sugerem que essa relação não é óbvia para sistemas com duração mais longa. Segundo os autores, a evolução de sistemas de maior duração sofre influência dos efeitos do ciclo diurno de aquecimento e outras forçantes externas e de grande escala de forma mais significativa, o que pode afetar os resultados.

Nota-se que em todos os blocos, as três fases apresentaram o mesmo comportamento, a Iniciação apresentava o menor valor, seguido do maior valor representado pela Maturação e por fim o valor “médio” retratado pela Dissipação. Isso não quer dizer que o comportamento seja sempre desta forma, mas em termos médios o banco de dados apresentou este comportamento.

Figura 15: Boxplot para Tamanho A: a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.



5.3.2. Tamanho B

O tamanho B de um sistema convectivo de mesoescala se refere à profundidade da nuvem, e é uma medida da estrutura vertical da nuvem. Sendo menor que o tamanho A, que se refere à área coberta pelo sistema. O tamanho B pode variar dependendo do tipo de sistema e da sua fase de desenvolvimento.

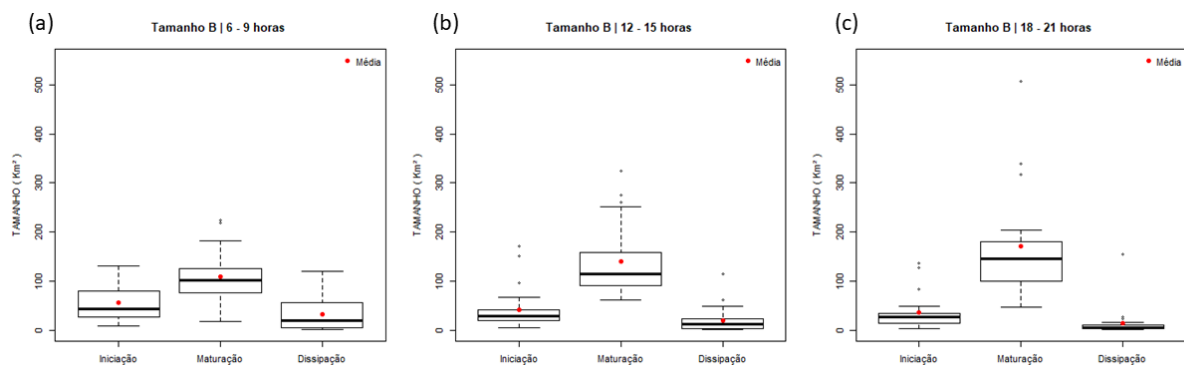
Sistemas convectivos de mesoescala de formação inicial tendem a ter um tamanho B menor do que sistemas convectivos maduros. Medido em quilômetros e geralmente é de alguns quilômetros. Esse tamanho é importante para entender a dinâmica do sistema convectivo, pois um sistema com profundidade vertical maior tende a ser mais estável e menos propenso à dissolução do que um sistema mais curto, onde em trabalho Machado et al. (1998) afirma que sistemas que apresentam uma maior taxa de expansão se caracterizam como sistemas grandes e com ciclo de vida mais longo. Além disso, a estrutura vertical também é importante para a previsão do potencial de precipitação e intensidade dos ventos associados ao sistema convectivo.

O tamanho B, região de convecção profunda, para uma CCM, necessariamente precisa de uma área igual ou superior do que 50.000 Km², segundo os critérios estabelecidos por Maddox (1980). A Figura 16 mostra o comportamento das 3 fases em diferentes horas de duração dos sistemas, onde é possível notar que independente da duração, todas apresentam o mesmo comportamento, valores mais altos para a maturação e valores mínimos para a dissipação.

A média do tamanho no que se refere à segunda fase para os três períodos avaliados ficou em torno de 108.593, 140.359, 171.551, respectivamente. Isso quer dizer que os sistemas que foram encontrados e avaliados chegaram a ser o dobro e às vezes o triplo do tamanho estabelecido. Dito isso, a ideia estabelecida por Machado et al. (1998) é devidamente confirmada através dos CCM com duração entre 18-21 horas, pois são eles que mostram que quanto maior o seu tempo de vida, maior é seu tamanho.

Outro ponto que favorece o tamanho B ser maior em sistemas com duração superior a 18h encontrados neste trabalho, foi explicado na literatura de Piva et al. (2021), no qual mostraram que o tamanho B estava positivamente correlacionado com a intensidade do vento em superfície, o que indica que o tamanho B pode ser um indicador da força dos ventos associados aos CCM. E analisando que a atuação dos JBN é mais intensa nesses tipos de eventos com duração mais longa (Figura 13), logo o resultado encontrado tende ao mesmo ponto.

Figura 16: Boxplot para Tamanho B: a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.



5.3.3. Temperatura A

Na Figura 17 é retratado o comportamento da Temperatura A, na qual segundo os parâmetros estabelecidos por Maddox (1980) para a caracterização de CCM a temperatura precisa estar inferior a 241 K.

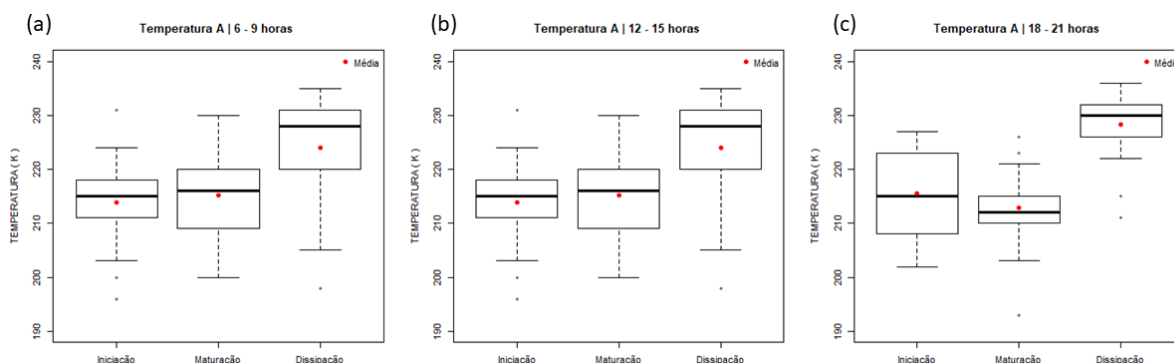
Na Figura 17a e 17b, nota-se que elas têm um comportamento parecido, pois se baseando nas médias (pontos vermelhos), percebe que a temperatura vai aumentando de acordo com o ciclo de vida. Ou seja, na iniciação com os valores mais baixos e na maturação com os valores mais altos, mas na Figura 17c ocorre um comportamento diferente, a média para dá Maturação é mais baixa do que a da Iniciação. Observou-se também que os resultados da média e mediana (linha preta) para a Figura 17b tiveram resultados parecidos para os três ciclos.

Foi observado que a temperatura nos três ciclos de vida e para todos os blocos foi menor que o estabelecido por Maddox, chegando a valores de média para Maturação em 215,26, 215,74 e 212,85 K, respectivamente. Machado et al. (2002)

mostrou que CCM que apresentaram temperaturas A mais baixas foram associados a eventos de precipitação mais intensos. Apesar da pesquisa mostrar que o pesquisador afirmou, a diferença entre as temperaturas é cerca de 2 K. Outros estudos realizados por Machado et al., (2002) e Carvalho et al., (2002), explicam que temperaturas A mais baixas apresentaram maior intensidade de precipitação, enquanto aqueles com temperaturas mais altas apresentaram menor intensidade de precipitação.

Notou-se também que a Iniciação para sistemas com duração entre 6 e 15 horas tem o mesmo valor e para Dissipação ocorreu o mesmo com casos que tem duração entre 12 e 21 horas.

Figura 17: Boxplot para Temperatura A: a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.



5.3.4. Temperatura B

A temperatura B mencionada no trabalho de Maddox em 1980 se refere ao conceito de "temperatura de convecção" em sistemas convectivos de mesoescala. No trabalho, o pesquisador propôs que a temperatura B é a temperatura média na parte superior do sistema, que geralmente se encontra na alta troposfera. A temperatura B é importante porque é usada para avaliar a intensidade e a evolução de um sistema convectivo de mesoescala.

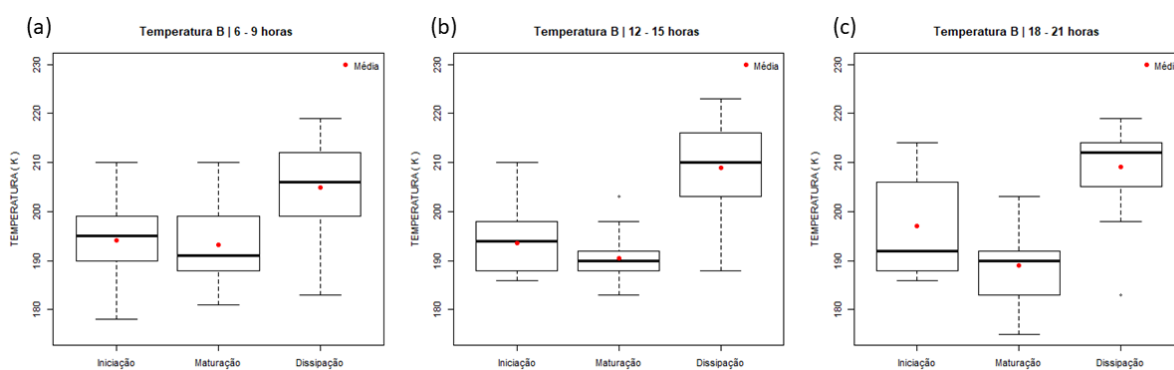
A temperatura B retratada pela Figura 18, pertence à região mais profunda de convecção, onde para atender às características de um CCM deve-se atingir uma

condição menor ou igual a 221 K. No estágio de maturação para todos os blocos, as menores médias nesta fase, indicando que o evento estava no seu auge. Vale observar também que as maiores temperaturas ficaram por conta da dissipação, visto que o sistema estava perdendo sua intensidade, logo não tinha “força” para se manter.

As médias para Maturação tiveram o seguinte comportamento, para sistemas com duração entre 6 e 9 horas atingiu 193,23 K, para sistemas com duração entre 12 e 15 horas foi atingido uma média de 190,48 K e para sistemas que tiveram sua existência entre 18 e 21 horas foi observado uma média de 188,95 K. Vale ressaltar que em todos os sistemas para o estágios de iniciação, maturação e dissipação ficaram abaixo dos 221K, isso equivale a -52°C . Com esta constatação e comparando com o resultado encontrado por Anabor et al. (2019), onde o pesquisador afirma que a temperatura B é um parâmetro importante para prever a ocorrência de tempestades severas em CCM, com valores abaixo de -60°C indicando maior probabilidade de ocorrência de granizo e chuvas intensas, pode-se afirmar que, possivelmente, a presença de granizo ocorria nos três estágios de vida do CCM.

Outros resultados que podemos verificar é a quase inexistência de outliers, eventos que têm maior duração e atingem temperaturas menores no seu ápice. Notou-se também que, a diferença de aumento da temperatura quando saímos da maturação para a dissipação tende a ser maior em eventos duradouros. Houve uma diferença de até 9,65% no crescimento da temperatura neste tipo de episódio.

Figura 18: Boxplot Temperatura B a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.



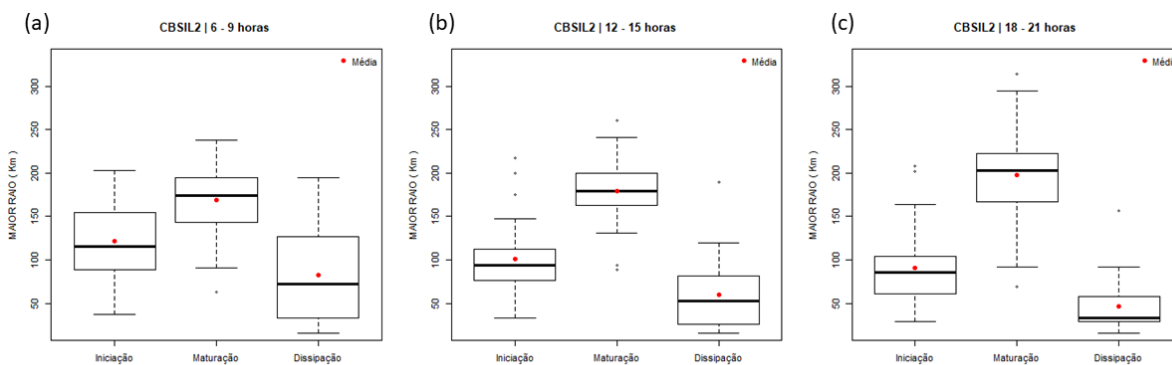
5.3.5. Raio dos Maiores Aglomerados Convectivos (CBSIL)

Segundo Freitas (2021), a variável está associada aos maiores raios dos aglomerados convectivos, logo quanto maior o raio, maior será a área de convecção profunda associada aos sistemas. O raio dos aglomerados (Figura 19) é importante pois pode ser usado para avaliar a intensidade e a evolução do sistema. Sistemas com raio de aglomerados mais largo tendem a ser mais intensos e mais propensos a se intensificarem, enquanto sistemas com raio de aglomerados mais estreitos tendem a ser menos intensos.

Nesse sentido, a variável apresentou o comportamento dos valores médios na Iniciação, valores mais altos dentro da Maturação e mínimos resultados ficaram para a Dissipação. As médias para cada período de tempo ficaram estabelecidas da seguinte maneira: 168,657, 179,259 e 192,190 Km para sistemas entre 6 e 9, 12 e 15 e 18 e 21 horas, na devida ordem. Notou-se também que sistemas com maior duração tendem a ter um tamanho maior. Estudos como o de Alves et al. (2016) analisaram os aglomerados convectivos em complexos convectivos de mesoescala no Sudeste do Brasil. Eles mostraram que a é um importante indicador da intensidade e evolução desses sistemas meteorológicos, estando relacionada à presença de correntes ascendentes intensas no interior das nuvens e à interação entre os aglomerados convectivos. Com esse estudo, fica perceptível que os aglomerados têm uma relação direta com a divergência que em altos níveis (Figura 9), onde é possível identificar que sistemas de maior duração, tem essa maior interação.

Observou que sistemas entre 18 e 21 horas apresentaram as menores médias em relação a Iniciação e a Dissipação. Essa colocação para os dois estágios citados anteriormente ficou para sistemas convectivos com duração entre 6 e 9 horas. Tais diferenças chegaram a ser com percentual de 25,2% para a iniciação e 43,8% para a dissipação.

Figura 19: Boxplot CBSIL2 a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.



5.3.6. Fração Convectiva (FRAC)

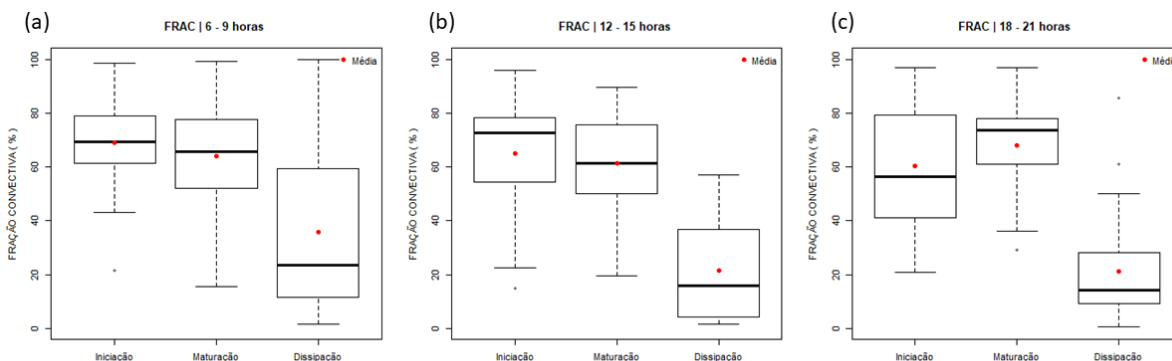
A fração convectiva (Figura 20) é importante porque pode ser usada para avaliar a intensidade e a evolução do sistema convectivo de mesoescala. Sistemas com fração convectiva mais alta tendem a ser mais intensos e mais propensos a se intensificarem, enquanto sistemas com fração convectiva mais baixa tendem a ser menos intensos. Assim como o raio dos aglomerados convectivos, a fração convectiva também pode ser usada para prever o tempo e identificar o potencial para tempestades severas.

Valores elevados de FRAC na iniciação indicam maior convecção no início do CCM do que na maturação. No entanto, só foi possível observar os maiores valores no estágio da iniciação para sistemas que tiveram duração entre 6 e 15 horas. Para sistemas com maiores durações notou-se que o ciclo da Maturação indica ser a maior fração convectiva desses sistemas.

Sendo assim, observou-se que as médias para Maturação (Figura 20) apesar de existirem valores que atingiram 100% as médias ficaram em torno de 63,96, 61,42 e 67,84% para os três blocos, respectivamente. Visto que, o maior valor foi encontrado em sistemas de longa duração, corrobora com o trabalho de Liu et al. (2018), onde os pesquisadores afirmam que fração convectiva está naturalmente ligada a intensidade dos CCM e que para Wang et al. (2019), a fração pode ser usada como um indicador da intensidade da precipitação. Um ponto que se destaca é a Dissipação para

sistemas que duram entre 6 e 9, pois a média foi até 40% maior do que os dois blocos, isso é um indicativo que a ocorrência de casos com períodos menores tem sua fração convectiva mais elevada do que outros.

Figura 20: Boxplot FRAC a) 6 - 9 horas; b) 12 - 15 horas; c) 18 - 21 horas.



6. Conclusões

O trabalho apresentado buscou analisar as condições físicas e morfológicas dos sistemas encontrados no banco de dados do ISCCP utilizando os critérios estabelecidos por Maddox (1980), na Bacia do Prata entre 1983 e 2008, totalizando 26 anos de informações em suas três fases do seu ciclo de vida: iniciação; maturação; e dissipação. Foram encontrados 86 casos caracterizados como CCM e que ao menos atendiam uma única vez os critérios estabelecidos por Maddox (1980).

Sobre as condições morfológicas, a divergência em altos níveis que serviu para indicar movimentos ascendentes (divergentes em alta troposfera), onde apresentou resultados interessantes sobre a perspectiva geral da análise e um resultado muito bom em sistemas de longa duração, onde foi possível detectar que esses sistemas com duração superior a 18 horas, apresentam um indicativo de uma convecção muito intensa.

Em relação a umidade específica apresentou valores bem expressivos na iniciação, exceto na em sistemas de duração intermediária. Foi possível notar que a medida vai mudando de fase em seu ciclo de vida, a umidade presente vai diminuindo

chegando ao ponto de a alta umidade está presente em apenas pontos isolados. Falando sobre o JBN, detectou-se que eles são um dos principais alimentadores levando umidade para este tipo de sistema nesta região, onde foi possível comprovar a sua atuação em relação à duração dos CCM. Fica evidente que a para CCM que teve duração superior a 18 horas, os JBN tiveram sua atuação mais intensa com ventos superiores a 16 m/s na iniciação atingindo a categoria de JBN do tipo 2 segundo a classificação de Bonner (1968).

Sobre as características físicas, foi possível observar seguintes parâmetros como o tamanho médio na sua maturação de 285.860 Km², em sistemas de longa duração, chegando a ser quase o triplo dos parâmetros estabelecidos para ser considerado um CCM. Outro ponto visto foi em sistemas que têm duração entre 18 e 21, eles sempre os maiores valores na maturação quando comparado a sistemas menores, seja no tamanho A ou B. Esse fato se deve principalmente aos JBN, pois é o principal sistema alimentador destes eventos de longa duração. Por outro lado, sistemas com menores tempos de duração, sempre tinha valores maiores em todos os aspectos no primeiro e terceiro estágio de vida deles.

Por fim, analisando as características dinâmicas pela gênese e manutenção dos CCM, este trabalho, proporcionou, apresentar uma climatologia das características físicas e morfológicas dos sistemas por meio da separação por duração dos complexos, assim se tornando uma maneira totalmente nova de se avaliar estes tipos de sistemas e que agora servirá de base para trabalhos futuros. Em uma perspectiva futura, pretende-se utilizar banco de dados mais atuais e associar os resultados deste e de trabalhos futuros com desastres naturais.

7. Referências

ABDOULAEV, S.; STAROSTIN, A.; CASARIN, D. P. Estudo Preliminar das Linhas de Instabilidade de Convecção Observadas no Rio Grande do Sul. Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET, v. 2, p. 301-304, 1994.

ADLER, R.F.; HUFFMAN, G. J.; CHANG, A.; FERRARO, A.; XIE, P. P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. The version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *Journal of Hydrometeorology*, v.4, p. 1147-1167, 2003.

ALVES, J. M. B.; FERREIRA, N. J.; PEREIRA FILHO, A. J. Análise da Excentricidade de Complexos Convectivos de Mesoescala no Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 1, p. 43-56, 2016.

AMBRIZZI, T.; SATYAMURTY, P.; AVILA, A. L. Temperature and humidity perturbations associated with the South American squall lines: A case study. *Weather and Forecasting*, v. 10, n. 2, p. 263-276, 1995.

BERNARDET, L. R.; NELSON, B. R.; FRITSCH, J. M. The role of the upper-level jet streak in the development of nocturnal convection over the central United States. *Monthly Weather Review*, v. 121, n. 7, p. 1989-2005, 1993.

BONNER, W. D. Climatology of the Low Level Jet. *Mon. Wea. Rev.*, v. 96, p. 833-850, 1968.

BONNER, W. D.; PAEGLE, J. Diurnal variations in boundary layer winds over the south-central United States in summer. *Monthly Weather Review*, v. 98, p. 735-744, 1970.

CARVALHO, L. M. V.; SILVA DIAS, M. A. F.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South American Monsoon System and the 1970s climate transition. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 22, n. 11, p. 1409-1425, 2002.

CARVALHO, L. M. V.; 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.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; SILVA DIAS, M. A. F. *Tempo e clima do Brasil*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CAVALCANTI, I. F. Um Estudo sobre Interações entre Sistemas de Circulação de Escala Sinótica e Circulações Locais. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1982.

CHAKRABORTY, S.; MOHAN, M.; MAITRA, A. Study of vertical velocity signatures of mesoscale convective systems over Indian region using TRMM data. *Atmospheric Research*, v. 152, p. 70-82, 2015.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos Climatológicos das Linhas de Instabilidade na Amazônia. *CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, 1989.

COTTON, W. R.; LIN, M.-S.; McANELLY, R. L.; TREMBACK, C. J. A Composite Model of Mesoscale Convective Complexes. *Mon. Wea. Rev.*, v. 117, p. 765-783, 1989.

DA SILVA, L. D. A.; CARVALHO, L. M. V.; FERREIRA, N. J. The relationship between mesoscale convective systems and precipitation in the Amazon region. *Monthly Weather Review*, v. 145, n. 2, p. 583-598, 2017.

DURKEE, J. D.; MOTE, T. L.; SHEPHERD, J. M. The Contribution of Mesoscale Convective Complexes to Rainfall across Subtropical South America. *J. Climate*, v. 22, p. 4590–4605, 2009.

ECMWF. IFS Documentation, editado por P. W. White, Reading, U.K., 2002. Disponível em: <http://www.ecmwf.int/research/ifsdocs/>. Acesso em: 16 fev. 2023.

FIGUEROA, S. N.; SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, P. L. Simulations of the Summer Circulation over the South American Region with an Eta Coordinate Model. *J. Atmos. Sci.*, v. 52, p. 1573-1584, 1995.

FREITAS, I. T. A. D. Avaliação dos Complexos Convectivos de Mesoescala na Bacia do Prata com o uso do ISCPP-Tracking. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

FRITSCH, J. M.; FORBES, G. S. Mesoscale Convective Systems. *Meteorological Monographs*, American Meteorological Society, vol. 28, n. 50, p. 323-357, 2001.

GANDU, A. W.; GEISLER, J. E. A Primitive Equations Model Study of the Effect of Topography on the Summer Circulation over Tropical South America. *J. Atmos. Sci.*, v. 48, p. 1822-1836, 1991.

GUEDES, R. L. Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul. 1985. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo.

HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., HIRAHARA, S., HORÁNYI, A., MUÑOZ-SABATER, J., THÉPAUT, J. The ERA5 Global Reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. (2020).

HERDIES, D. L., MARQUES FILHO, E. P., JONES, C., CARVALHO, L. M. V., & LIEBMANN, B. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D20), LBA 42-1-LBA 42-10, 2002.

HOUZE JR., R.A. Mesoscale convective systems. *Reviews of geophysics*, v. 25, n. 4, p. 595-622, 1987.

HOUZE JR, R. A. Mesoscale convective systems. *Reviews of Geophysics*, v. 42, n. 4, 2004.

HOUZE JR, R. A.; SMULL, B. F.; DODGE, P. D. Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma. *Monthly Weather Review*, v. 135, n. 6, p. 1938-1956, 2007.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification update. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

INTERNATIONAL SATELLITE CLOUD CLIMATOLOGY PROJECT - ISCCP. Disponível em: <https://isccp.giss.nasa.gov/describe/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LAING, A. G.; FRITSCH, J. M. The Global Population of Mesoscale Convective Complexes. *Q.J.R. Meteorol. Soc*, v. 123, p. 389-405, 1997.

LIEBMANN, B.; KILADIS, G. N.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; CARVALHO, L. M. V. Subseasonal Variations of Rainfall in South America in the Vicinity of the Low-Level Jet East of the Andes and Comparison to those in the South Atlantic Convergence Zone. *J. Climate*, v. 17, p. 3829-3842, 2004.

LIMA, M. A. Análise Objetiva em Mesoescala: a Rede de Observações e a Caracterização de Sistemas Organizados de Precipitação. Dissertação de Mestrado, IAG/USP, 1986.

LIU, L.; YUAN, J.; LI, J.; WANG, L. The relationship between convective fraction and the intensity of mesoscale convective systems in South America. *Climate Dynamics*, v. 51, n. 7-8, p. 2657-2670, 2018.

MACHADO, L. A. T., MORALES, C. A., & FISCH, G. Caracterização dos sistemas convectivos de mesoescala e sua relação com a precipitação na América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19(3a), 371-386, 2004.

MACHADO, L. A. T.; SILVA DIAS, M. A. F.; MORALES, C. A.; FISCH, G. Kinematic and microphysical evolution of a mesoscale convective system in the Brazilian southeast. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 55, n. 5, p. 757-774, 1998.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B.; GUEDES, R. L.; WALKER, A. W. Life cycle variations of convective systems over the Americas. *Monthly Weather Review*, v. 126, p. 1630-1654, 1998.

MACHADO, L. A. T.; ROSSOW, W. B. Structural characteristics and radiative properties of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, v. 121, n. 12, p. 3234-3260, 1993.

MACHADO, L. A. T.; et al. The Convective System Experiment (CSE): The meteorological perspective. *Atmosfera*, v. 15, n. 4, p. 185-200, 2002.

MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. The Convective System Area Expansion over Amazonia and Its Relationships with Convective System Life Duration and High-Level Wind Divergence. *Mon. Wea. Rev.*, v. 132, p. 714-725, 2004.

MADDOX, R. A.; PERKEY, D. J.; FRITSCH, J. M. Evolution of upper tropospheric features during the development of a mesoscale convective complex. *Journal of Atmospheric Sciences*, v. 38, n. 8, p. 1664-1674, 1981.

MADDOX, R. A. Large-scale Meteorological Conditions Associated with Midlatitude, Mesoscale Convective Complexes. *Mon. Wea. Rev.*, v. 111, p. 1475-1493, 1983.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 61, p. 1374-1387, 1980.

MADDOX, Robert A.; CHAPPELL, Charles F.; HOXIT, Lee R. Synoptic and meso- α scale aspects of flash flood events. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 60, n. 2, p. 115-123, 1979.

MARENGO, J. A.; AMBRIZZI, T.; SOARES, W. R. Jato de Baixos Níveis ao Longo dos Andes. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, p. 463-487, 2009.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. 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, p. 2261–2280, 2004.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Climatology of Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP Reanalyses. In: VAMOS/CLIVAR/WRCP Conference on South American Low-Level Jet, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 2002. (Disponível online em www-cima.at.fcen.uba.ar/sallj/sallj_conf_extabs.html)

MOHR, K. I.; ZIPSER, E. J. Mesoscale Convective Systems defined by their 85-GHz ice scattering signature: size and intensity comparison over tropical oceans and continents. *Mon. Wea. Rev.*, v. 124, p. 2417-2437, 1996.

MORALES, C. A.; MACHADO, L. A. T.; LAURENT, H. Resultados Preliminares das Características Estruturais Tridimensionais dos SCM observados na Amazônia durante o Experimento LBA. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, Brasil. Sociedade Brasileira de Meteorologia, p. 3287-3305, 2002.

Morettin, P. A., BUSSAB, W. O, 2017. *Estatística básica*. Editora Saraiva.

MOTA, G. V. Characteristics of Rainfall and Precipitation Features Defined by the Tropical Rainfall Measuring Mission over South America. Tese de Doutorado, Universidade de Utah, Estados Unidos, 215 pp., 2003.

NICOLINI, M., SAULO, A.C. Eta Characterization of the 1997-1998 Warm Season Chaco Jet Cases. Preprints of the 6th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Chile, p. 330-331, 2000.

NICOLINI, M., SAULO, A.C., TORRES, J.C. e SALIO, P. Enhanced Precipitation over Southeastern South America Related to Strong Low-Level Jet Events During Austral Warm Season. *Meteorologica*, v. 27, n° 1 e 2, p. 59-69, 2002.

NIETO FERREIRA, R., RICKENBACH, T.M., HERDIES, D.L. e CARVALHO, L.M.V. Variability o South American Convective Cloud Systems and Tropospheric Circulation during January-March 1998 and 1999. *Mon. Wea. Rev.*, v. 131, p. 961-973, 2003.

OPER. Como interpretar um boxplot. Disponível em: <<https://operdata.com.br/blog/como-interpretar-um-boxplot/>>. Acesso em: 12 de nov. de 2022.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 56, n.5, p. 527-530, 1975.

PIVA, G. P.; NASCIMENTO, L. B.; ALVES, J. M. Analysis of the relationship between mesoscale convective system size and surface wind gusts over Southern Brazil. *Atmospheric Research*, v. 253, p. 105561, 2021.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; AMBRIZZI, T.; SILVA DIAS, P. L.; ROCHA, R. P. Mesoscale convective systems in southeastern South America and their relationship with the South American low-level jet east of the Andes. *Monthly Weather Review*, v. 138, n. 5, p. 1978-1997, 2010.

ROZANTE, J. R.; CAVALCANTI, I. F. A. Estudo numérico e observacional de um complexo convectivo de mesoescala. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13, Fortaleza. Anais 2004.

ROSSOW, W. B.; SCHIFFER, R. A. Advances in understanding clouds from ISCCP. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 80, n. 11, p. 2261-2288, 1999.

SAKAMOTO, Meiry Sayuri. Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX. 2009. PhD Thesis. Universidade de São Paulo.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; ZIPSER, E. J. Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and Their Relationship with the South American Low-Level Jet. *Mon. Wea. Rev.*, v. 135, p. 1290-1309, 2007.

SANTOS, José Guilherme Martins dos; CAMPOS, Cláudia Rejane Jacondino de; LIMA, Kellen Carla. Análise de jatos de baixos níveis associados a um sistema convectivo de mesoescala na América do Sul: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Geofísica*, 2008, 26: 451-468.

SAULO, A. C.; NICOLINI, M.; CHOU, S. C. Model Characterization of the South American Low-Level Flow During the 1997-1998 Spring-Summer Season. *Climate Dyn.*, v. 16, p. 867-881, 2000.

SCAGLIONI, T. P.; DE SOUZA, D. O.; SARAIVA, J. M. B. Complexo Convectivo de Mesoescala, estudo de caso 10/01/2003. In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria. p. 1141-1142, 2003.

SILVA DIAS, M. A. F., CARVALHO, L. M. V., & SILVA DIAS, P. L. Convective complexes over southeastern Brazil during the rainy season: a preliminary report. *Monthly Weather Review*, 112(5), 905-910, 1984.

SILVA DIAS, M. A. F. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2(1), 133-150, 1987.

SILVA DIAS, M. A. F. Mesoescala meteorology – South American phenomena. In: *Mesoescala forecasting and its applications*. World Meteor. Org., n. 712, p. 21-47, 1989.

SIQUEIRA, J.R.; ROSSOW, W.B.; MACHADO, L.A.T.; PEARL, C. Structural Characteristics of Convective Systems over South America Related to Cold-Frontal Incursions. *Mon. Wea. Rev.*, 133, 1045-1064, 2005.

TALJAARD, J.J. Development, distribution and movement of cyclones and anticyclones in the Southern Hemisphere during IGY. *J. Appl. Meteor.*, 6, 973-987, 1967.

UCCELINI, L.W.; JOHNSON, D.R. The Coupling of Upper- and Lower-Tropospheric Jet Streaks and Implications for the Development of Severe Convective Storms. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 682-703, 1979.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convective complexes in the Americas, *J. Geophys. Res.*, v.92, p. 9591-9613, 1987.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; GUTZLER, D.; LETTENMAIER, D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C.R.; NOGUES-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P.L.; ZHANG, C. Toward a Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Climate*, 19, 4977- 5000, 2006b.

VIRJI, H. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from cloud winds. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 596-610, 1981.

WALLACE, M. J. and HOBBS, P. V. *Atmospheric Science: An Introductory Survey*. Academic Press, 467 pp, 1977.

WANG, X., XU, Y., ZHANG, Y., WEI, X., and LI, X. A case study on the characteristics of the convective and stratiform precipitation in mesoscale convective systems over China. *Journal of Meteorological Research*, 33(6), 1118-1131, 2019.

WEYKAMP, F. V. and AMBRIZZI, T. The Role of the Low-level Jet East of the Andes in Extreme Rainfall Events over Southern South America. *Proceedings 8th*

International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, Foz do Iguacu (PR), Amer. Meteor. Soc., 1231-1234, 2006.

WHITEMAN CD, BIAN X & ZONG S. 1997. Low-level Jet Climatology from Enhanced Rawinsonding Observations at a Site in the Southern Great Plains. *Journal of Applied Meteorology*, 36(10): 1363–1376.

ZHANG, Y., TAO, W. K., PETERS-LIDARD, C., LANG, S., and HOU, A. Evaluation of convection-permitting model simulations of cloud populations associated with the Madden-Julian Oscillation using data collected during the AMIE/DYNAMO field campaign. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D5), 2012.

ZHANG, C.; FU, R.; YU, H.; QIAN, Y.; DICKINSON, R. E. Impact of the Madden-Julian oscillation on summertime precipitation over southwest China. *Climate Dynamics*, v. 36, n. 9-10, p. 1947-1958, 2011.