

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Meteorologia
Programa de Pós-graduação em Meteorologia



Dissertação

**Características dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que
geraram granizo e atingiram o Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008**

Bruno Maon Fernandes

Pelotas, 2017

BRUNO MAON FERNANDES

**Características dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que geraram
granizo e atingiram o Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Cláudia Rejane Jacondino de Campos

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

F364c Fernandes, Bruno Maon

Características dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que geraram granizo e atingiram o Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008 / Bruno Maon Fernandes ; Cláudia Rejane Jacondino de Campos, orientadora. — Pelotas, 2017.

70 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Fortracc. 2. Eventos severos. 3. Satélite. 4. Defesa civil. I. Campos, Cláudia Rejane Jacondino de, orient. II. Título.

CDD : 551.554

Banca Examinadora:

Prof^a. Dra. Cláudia Rejane Jacondino de Campos (Orientadora). Doutora em Física da Atmosfera pela Universidade de Toulouse III – França.

Prof^a. Dra. Luciana Barros Pinto. Doutora em Meteorologia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - MG.

Prof. Dr. Júlio Renato Quevedo Marques. Doutor em Agronomia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - RS.

Dedicatória

À minha família, a meus amigos e a todos que de alguma forma contribuíram para a minha formação.

Agradecimentos

À minha família pelo apoio e incentivo em todas as horas.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Cláudia Rejane Jacondino de Campos, pela confiança, paciência e por seu bom humor contagiante.

Aos amigos que me proporcionaram bons momentos ao longo desta caminhada, Simone Hamada, Juliana Suleiman, Jéssica Lisandra, Gisele Vega, Sandro Pereira, Paulo Machado e Vinícius Lucyrio.

Aos colegas Marco Alves e Gustavo Raserá pela contribuição com a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Jonas Carvalho e Dr^a. Luciana Barros Pinto, pelas sugestões que auxiliaram o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Resumo

FERNANDES, Bruno Maon. **Características dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que geraram granizo e atingiram o Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008**. 2017. 70f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

O Rio Grande do Sul (RS), dada a sua localização numa área subtropical, está sujeito à atuação de diversos fenômenos meteorológicos capazes de gerar eventos severos (ES). Dentre estes fenômenos destacam-se os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), definidos como aglomerados de nuvens convectivas. Os SCM são responsáveis pela maior parte dos ES ocorridos no RS, dos quais o granizo é o mais destrutivo, uma vez que a economia do Estado é voltada à agroindústria, e este tipo de ES causa impactos diretos no setor agrícola. Por isso, este trabalho teve como objetivo analisar as características dos 34 SCM que atingiram o RS e geraram granizo (SCM_{GRA}) entre 2004 e 2008, a partir da distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA}, discriminados de acordo com a sua origem: continental ou oceânico, diurno ou noturno e frontal ou não-frontal. Para a seleção dos SCM_{GRA} foi utilizado o aplicativo ForTrACC (Forecasting and Tracking Active Cloud Clusters), imagens brutas do satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) do canal 4 (infravermelho termal) com resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4 km x 4 km e resolução temporal de 30 minutos, e os registros de ES e municípios atingidos notificados no banco de dados da DCRS (Defesa Civil do RS) do período de 01/01/2004 a 31/12/2008. Os resultados mostraram que os SCM_{GRA} foram mais numerosos no trimestre de julho a setembro. Com relação à origem dos sistemas, 91% dos SCM_{GRA} tiveram gênese sobre o continente, 56% foram classificados como diurnos, e 71% estavam associados à passagem de sistemas frontais. De maneira geral, os SCM_{GRA} formaram-se entre o oeste do RS, nordeste da Argentina, sul do Paraguai e noroeste do Uruguai, e apresentaram deslocamento preferencial para leste, similar à circulação de grande escala em latitudes médias. Dentre os SCM_{GRA} de maior ocorrência (continental, diurno e frontal – SCM_{GRA-CDF}), a formação ocorreu preferencialmente entre o oeste do RS e o nordeste da Argentina, com deslocamento para leste. Os SCM_{GRA-CDF} geraram perdas na agricultura em um terço dos municípios gaúchos atingidos.

Palavras-chave: ForTrACC, eventos severos, satélite, Defesa Civil.

Abstract

FERNANDES, Bruno Maon. **Characteristics of Mesoscale Convective Systems that generated hail and affected Rio Grande do Sul between 2004 and 2008.** 2017. 70f. Thesis (MA) – Post-graduate degree in Meteorology. Federal University of Pelotas, Pelotas.

The state of Rio Grande do Sul (RS), due to its subtropical location, is under the influence of various meteorological phenomena capable of generating severe weather condition (SW). Among these phenomena, highlight the Mesoscale Convective Systems (MCS), defined as convective cloud clusters. The MCS are responsible for the most SW in RS, which hail the most destructive, since the state's economy is focused on agribusiness and this type of SW directly impacts the agricultural sector. Therefore, this study aimed to analyze the characteristics of the 34 MCS that affected RS and caused hail (MCS_{HAIL}) between 2004 and 2008, from total and seasonal distribution of MCS_{HAIL}, differentiated according to their origin: continental or oceanic, diurnal or nocturnal and frontal or non-frontal. For the selection of MCS_{HAIL} was utilized the ForTrACC (Forecasting and Tracking Active Cloud Clusters) application, the rough images of the GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) 10 and 12 satellite of the channel 4 (thermal infrared) with space resolution in the subsatellite point of 4 km x 4 km and the time resolution of 30 minutes, and records of SW and municipalities affected obtained from the database of the State Civil Defense Coordination of RS (DCRS) of the period of 1/1/2004 to 12/31/2008. The results showed that the MSC_{HAIL} were more numerous in the quarter from July to September. With respect to the origin of the systems, 91% of MSC_{HAIL} had genesis on the continent, 56% were classified as diurnal, and 71% were associated with the passage of frontal systems. In general, the MCS_{HAIL} formed between the western RS, northeastern Argentina, southern Paraguay and northwestern Uruguay, and showed preferential displacement to eastward, similar to the large-scale circulation at mid-latitudes. Among the most frequent MCS_{HAIL} (continental, diurnal and frontal – MCS_{HAIL-CDF}) the formation occurred mainly between the western RS and the northeastern of Argentina, with displacement to eastward. The MCS_{HAIL-CDF} generated losses in agriculture in one third of RS cities affected.

Keywords: ForTrACC, severe weather, satellite, Civil Defense.

Lista de figuras

Figura 1	Imagem composta de refletividade dos radares de Canguçu/RS e Santiago/RS no dia 15 de novembro de 2013, mostrando um alinhamento de chuvas moderadas a fortes na região de fronteira do Brasil com o Uruguai.....	19
	Fonte: REDEMET (Rede de Meteorologia da Aeronáutica), 2016	
Figura 2	Imagem de satélite do GOES 13, mostrando um CCM sobre o norte da Argentina e sul do Paraguai no dia 03 de dezembro de 2013.....	20
	Fonte: DSA/CPTEC/INPE (2016)	
Figura 3	Imagem de satélite do GOES 13, mostrando um SCM sobre o norte da Argentina, noroeste do Uruguai, sul do Paraguai e oeste do RS no dia 08 de abril de 2016.....	21
	Fonte: DAS/CPTEC/INPE (2016)	
Figura 4	Corte vertical da simulação numérica de um SCM mostrando os seguintes campos: a) vento zonal u (ms^{-1}) e b) vento vertical w (ms^{-1}).....	24
	Fonte: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes (2010)	
Figura 5	Corte vertical de um SCM.....	25
	Fonte: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes (2010)	
Figura 6	Processo de formação do granizo.....	27
	Fonte: Encyclopedia Britannica (2011)	
Figura 7	Corte transversal de um granizo.....	28
	Fonte: Atlas Visual da Ciência (2007)	
Figura 8	Velocidade terminal de queda em função do tamanho do granizo.....	29
	Fonte: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes (2010)	

Figura 9	Distribuição espacial das REDECs e o total de municípios que compõem cada uma..... Fonte: Adaptado de DCRS (2016)	34
Figura 10	Distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} continentais e oceânicos.....	41
Figura 11	Distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} diurnos e noturnos.....	42
Figura 12	Distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} frontais e não-frontais.	43
Figura 13	Distribuição sazonal da região preferencial de formação dos SCM_{GRA} observados entre 2004 e 2008.....	44
Figura 14	Distribuição sazonal da região preferencial de formação de cada um dos tipos de SCM_{GRA} observados entre 2004 e 2008. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e) SCM_{GRA-F} , f) SCM_{GRA-NF}	46
Figura 15	Deslocamento médio preferencial (linha preta) total e sazonal dos SCM_{GRA} no período de 2004 a 2008 e os deslocamentos individuais de cada SCM_{GRA} (linhas cinzas). a) Total, b) JFM, c) AMJ, d) JAS e e) OND.....	50
Figura 16	Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre AMJ. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e) SCM_{GRA-F} e f) SCM_{GRA-NF}	52
Figura 17	Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre JAS. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e e) SCM_{GRA-F}	53
Figura 18	Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre OND. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-D} , c) SCM_{GRA-N} , d) SCM_{GRA-F} , e e) SCM_{GRA-NF}	54
Figura 19	Distribuição sazonal da região preferencial de formação dos $SCM_{GRA-CDF}$ observados entre 2004 e 2008.....	56
Figura 20	Deslocamento médio preferencial (linha preta) total e sazonal dos $SCM_{GRA-CDF}$ no período de 2004 a 2008 e os deslocamentos individuais de cada $SCM_{GRA-CDF}$ (linhas cinzas). a) Total, b) AMJ, c) JAS e d) OND.....	57

Figura 21	Distribuição geográfica total e sazonal do número de municípios atingidos por granizo durante a passagem de $SCM_{GRA-CDF}$ entre 2004 e 2008 em cada REDEC. a) Total, b) AMJ, c) JAS e d) OND.....	59
-----------	---	----

Lista de tabelas

Tabela 1	Direção e quadrante médio preferencial de deslocamento total e para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008.....	49
Tabela 2	Atuação dos $SCM_{GRA-CDF}$ no RS entre 2004 e 2008.....	58

Lista de abreviaturas

°C	Graus Celsius
AMJ	Abril-Maio-Junho
AN	América do Norte
AS	América do Sul
ASAS	Alta Subtropical do Atlântico Sul
Cb	Cumulunimbus
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CPTEC	Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos
DCRS	Defesa Civil do Rio Grande do Sul
DAS	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
ES	Eventos Severos
ForTrACC	Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
GrADS	Grid Analysis and Display System
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JBN	Jato de Baixos Níveis
JAS	Julho-Agosto-Setembro
JFM	Janeiro-Fevereiro-Março
L	Leste
LI	Linha de Instabilidade
NE	Nordeste
NO	Noroeste
OND	Outubro-Novembro-Dezembro

REDEC	Coordenadorias Regionais de Defesa Civil
RS	Rio Grande do Sul
S	Sul
SCM	Sistema Convectivo de Mesoescala
SCM _C	Sistema Convectivo de Mesoescala de origem continental
SCM _D	Sistema Convectivo de Mesoescala de origem diurna
SCM _{ES}	Sistema Convectivo de Mesoescala que atingem o Rio Grande do Sul e causam eventos severos
SCM _F	Sistema Convectivo de Mesoescala de origem frontal
SCM _{GRA}	Sistema Convectivo de Mesoescala
SCM _{GRA-CDF}	Sistema Convectivo de Mesoescala de origem continental, diurna e frontal
SCM _N	Sistema Convectivo de Mesoescala de origem noturna
SCM _{NF}	Sistema Convectivo de Mesoescala de origem não-frontal
SCM _O	Sistema Convectivo de Mesoescala de origem oceânica
SCM _{RS}	Sistema Convectivo de Mesoescala que afetam o Rio Grande do Sul
SE	Sudeste
SF	Sistemas Frontais
SO	Sudoeste
T _b	Temperatura de brilho do topo das nuvens
UTC	Universal Time Coordinated
W	Oeste
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

Sumário

1. Introdução.....	15
2. Revisão de Literatura.....	18
2.1. Sistemas Convectivos de Mesoescala.....	18
2.2. Granizo.....	26
3. Materiais e Métodos.....	33
3.1. Dados.....	33
3.1.1. Seleção dos SCM _{RS} entre 2004 e 2008.....	34
3.1.2. Seleção dos SCM _{GRA} entre 2004 a 2008.....	36
3.2. Metodologia.....	37
3.2.1. Análises realizadas.....	37
4. Resultados e Discussões.....	40
4.1. Distribuição total e sazonal dos SCM _{GRA}	40
4.2. Região preferencial de formação dos SCM _{GRA}	43
4.3. Deslocamentos dos SCM _{GRA}	47
4.4. Análise do tipo mais frequente de SCM _{GRA}	55
5. Conclusões.....	61
Referências.....	62

1. Introdução

Na região Sul do Brasil, em especial no Rio Grande do Sul (RS), um dos principais sistemas meteorológicos que atuam para a formação da precipitação são os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) (CAMPOS; EICHHOLZ, 2011). Estes SCM são constituídos por aglomerados de nuvens convectivas de variadas formas, com precipitação contínua na região de atuação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva (HOUZE, 1993). Eles podem ser classificados segundo a sua forma em: Linhas de Instabilidade (LI) os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) os que possuem forma circular e SCM, os que possuem formas irregulares.

A formação e o deslocamento dos SCM, na América do Sul (AS), sofre influência da atuação de sistemas frontais (SF) (SIQUEIRA et al., 2005, SIQUEIRA; MACHADO, 2004) que interagem com a convecção tropical de três diferentes formas: i) a mais comum consiste na propagação da convecção tropical da região subtropical da AS em direção ao norte; ii) a segunda forma é caracterizada pela propagação da convecção em direção ao sul; iii) e a terceira é identificada como a interação fraca ou inexistente entre os SF atuantes na região subtropical do continente e a convecção tropical. Os padrões de circulação dos ventos em vários níveis da atmosfera e o transporte de umidade nas três situações, citadas acima, atuam de maneiras bastante distintas, o que influencia de maneira direta no ciclo de vida dos SCM (SIQUEIRA; MARQUES, 2008; SIQUEIRA et al., 2005).

Os SCM ocorrem com maior frequência no período quente do ano (DIAS et al., 2009) e são de particular interesse para a meteorologia devido aos impactos que causam nas regiões onde atuam. Com bastante frequência, os SCM vêm

acompanhados de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo. São, portanto, um dos tipos de sistemas meteorológicos associados à ocorrência de episódios de desastres desencadeados por fenômenos meteorológicos severos, também conhecidos como Eventos Severos (ES), os quais podem causar desde danos na agropecuária, desastres naturais (ex: enchentes, granizo, vendaval) até perdas de vidas.

Como o RS possui sua economia voltada à agroindústria (SPMDR, 2016) e é um dos estados que mais sofre com quebra de safras causadas por ES (DCRS, 2016), é de fundamental importância o estudo de SCM que geram ES. Neste contexto, um ES típico que frequentemente acompanha os SCM, e que costuma causar grandes impactos econômicos e sociais nas regiões onde atua é o granizo. Este tipo de ES é um dos mais frequentes notificados pela Defesa Civil do RS (DCRS), além de ser também um dos mais frequentes gerados por SCM que atuam no Estado (CAMPOS; RASERA, 2014).

O granizo consiste em pedras de gelo arredondadas com um diâmetro que normalmente oscila entre 0,5 a 5 cm e podem pesar desde poucas gramas até 0,5 kg. Possui estrutura heterogênea com camadas alternadas de gelo transparente. Seu desenvolvimento ocorre na parte superior de nuvens convectivas do tipo cumulonimbus (Cb), onde as temperaturas mais baixas são encontradas, gerando condições propícias, agregadas a outros fatores, para a formação de partículas de gelo (MARCELINO et al., 2004). Os danos ocasionados por este fenômeno estão relacionados com o tamanho das pedras, duração da tempestade, velocidade de queda, entre outros fatores. Além disso, a composição dos granizos maiores, geralmente ocorre pela união de outros menores, podendo danificar a produção agropecuária e causar até a morte de animais (KULICOV; RUDNEV, 1980). Tempestades de granizo podem devastar plantações inteiras em pouco tempo, tornando as colheitas irrecuperáveis (EDEN; TWIST, 1997). Portanto, percebe-se a grande importância do estudo dos SCM que afetam o RS e que geram granizo, uma vez que ES deste tipo no RS, além de ser um dos mais frequentes, ocorrem em todos os períodos do ano (VARGAS Jr. et al., 2011a; CAMPOS; RASERA, 2014).

Com base no exposto, o objetivo geral deste trabalho é analisar as características e a atuação dos SCM que afetaram o RS e que geraram granizo

(SCM_{GRA}), entre 2004 e 2008. Mais especificamente analisou-se, para o período de 2004 a 2008:

1. a distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} de origem: continental (SCM_{GRA-C}), oceânica (SCM_{GRA-O}), diurna (SCM_{GRA-D}), noturna (SCM_{GRA-N}), frontal (SCM_{GRA-F}) e não frontal (SCM_{GRA-NF});
2. a distribuição total e sazonal da região preferencial de formação de todos SCM_{GRA} observados e em seguida a de cada tipo separadamente;
3. os deslocamentos dos SCM_{GRA-C}, SCM_{GRA-O}, SCM_{GRA-D}, SCM_{GRA-N}, SCM_{GRA-F} e SCM_{GRA-NF};
4. a região preferencial de formação, o deslocamento e a atuação (com base nos dados notificados pela DCRS) do tipo mais frequente de SCM_{GRA} observado.

2. Revisão de Literatura

2.1 Sistemas Convectivos de Mesoescala

A região Sul do Brasil é afetada durante todo o ano por fenômenos meteorológicos de diferentes escalas, que afetam diretamente o regime de chuvas e produzem condições para tempo severo. Dentre estes fenômenos destacam-se os SCM (SIQUEIRA, 2004; VIANA et al., 2009; EICHHOLZ, 2011). Embora sejam mais frequentes nas estações quentes, período em que a maior parte da precipitação no RS é associada à SCM, estes sistemas podem ocorrer em qualquer época do ano (NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003; CAMPOS; EICHHOLZ, 2011). A ocorrência dos SCM geralmente é acompanhada de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo, o que afeta diretamente a economia do Estado, voltada à agroindústria (SILVA DIAS, 1999; SIQUEIRA, 2004; ZIPSER et al., 2006; EICHHOLZ, 2011).

Como a região subtropical da AS é densamente povoada e também figura economicamente como a mais importante do continente, os impactos causados pelos SCM são muito significativos, tornando-os alvo de diversos estudos que visam melhorar a previsão destes fenômenos, cujo conhecimento devido às complexas interações entre diferentes escalas espaciais e temporais durante o ciclo de vida, ainda é um pouco limitado (VERA et al., 2006; ROZANTE, 2008; EICHHOLZ, 2011).

Os SCM são divididos em três tipos, classificados de acordo com o formato que possuem: Linhas de Instabilidade (LI) quando se apresentam em forma de linha ou alongados (Figura 1); Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) quando possuem formato circular (Figura 2) e simplesmente SCM aqueles que apresentam

formatos irregulares (Figura 3) (MADDOX, 1983; HOUZE, 1993; MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010).



Figura 1 – Imagem composta de refletividade dos radares de Canguçu/RS e Santiago/RS no dia 15 de novembro de 2013, mostrando um alinhamento de chuvas moderadas a fortes na região de fronteira do Brasil com o Uruguai.

Fonte: REDEMET (Rede de Meteorologia da Aeronáutica), 2016.

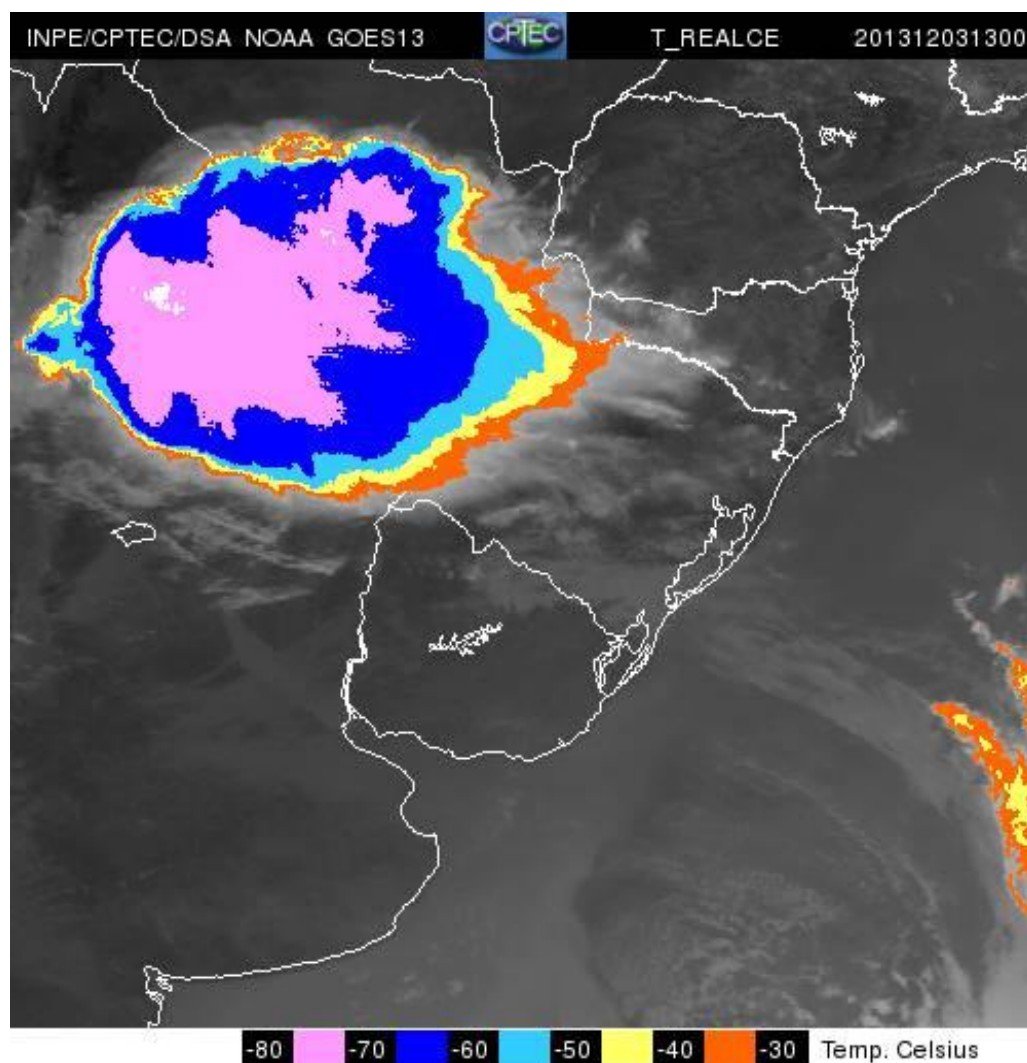


Figura 2 – Imagem de satélite do GOES 13, mostrando um CCM sobre o norte da Argentina e sul do Paraguai no dia 03 de dezembro de 2013.

Fonte: DSA/CPTEC/INPE (2016).

Zipser (1982) define SCM como um aglomerado de nuvens Cb, com duração que excede a de uma Cb individual, e que possua áreas com forte convecção e áreas com movimento subsidente. O Glossário de Meteorologia da Sociedade Americana de Meteorologia (MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010) caracteriza um SCM como um conjunto de tempestades que produza uma área de precipitação contínua com ordem de grandeza horizontal de 100 km ou mais em pelo menos uma direção.

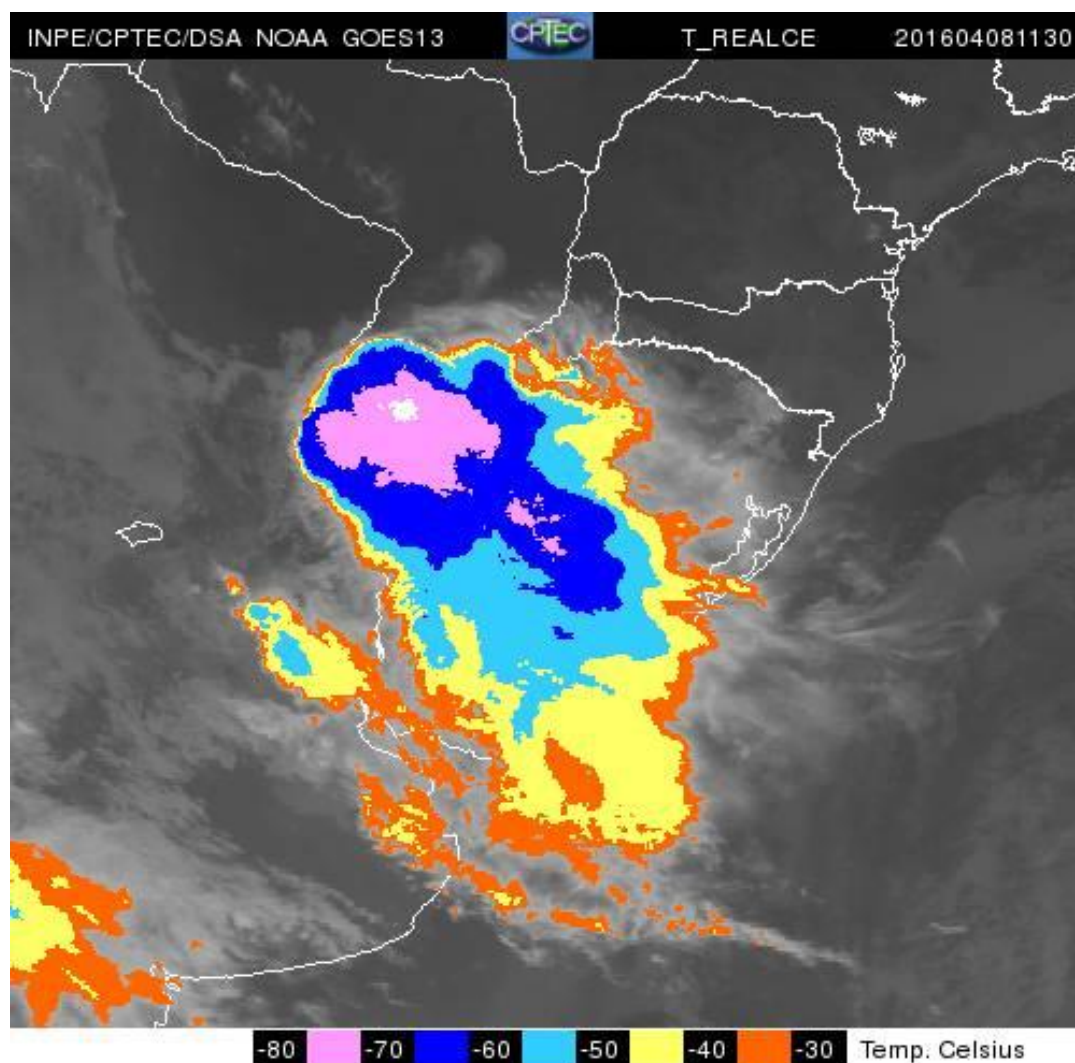


Figura 3 – Imagem de satélite do GOES 13, mostrando um SCM sobre o norte da Argentina, noroeste do Uruguai, sul do Paraguai e oeste do RS no dia 08 de abril de 2016.

Fonte: DSA/CPTEC/INPE (2016).

Houze (1993) define SCM como sendo um aglomerado de tempestades individuais e/ou linha de tempestades, com uma área de movimento ascendente e uma de movimento descendente, onde predomina nebulosidade estratiforme.

O ciclo de vida de um SCM é dividido em quatro etapas. A primeira, equivalente à formação, apresenta um grupo de células isoladas, distribuída de forma aleatória ou alinhada. Anabor (2004) cita que a maior parte dos eventos severos associados aos SCM ocorre nesta fase, quando há envolvida uma grande quantidade de energia consumida e liberada. A segunda etapa, que corresponde à

primeira fase do desenvolvimento, é caracterizada pelo crescimento das células isoladas, que se fundem gerando regiões de precipitação intensa conectadas por regiões de precipitação mais fraca. Na terceira etapa, correspondente à segunda fase do desenvolvimento, há o surgimento de uma grande área de precipitação estratiforme na retaguarda do sistema, associada aos movimentos subsidentes, enquanto novas células ainda se formam na dianteira do sistema. E por fim, na quarta etapa, a dissipação, apresenta diminuição da formação de novas células, causando o enfraquecimento do SCM e posteriormente a dissipação completa.

Muitos autores mostraram que o estágio inicial dos SCM ocorre preferencialmente durante a tarde, pois é o horário de máxima atividade convectiva sobre o continente. Há também um máximo secundário, detectado entre o fim da noite e o início da manhã, que pode estar relacionado com o máximo de convecção sobre o oceano, que é defasado em relação ao máximo verificado no continente, uma vez que possui menor calor específico e, portanto, aquece mais lentamente. A fase madura ocorre durante a noite, enquanto a dissipação é observada entre o final da manhã e o início da tarde (MACHADO et al., 1994; NICOLINI et al., 2002; TORRES, 2003; VILA, 2004; ZIPSER et al., 2004; PINTO; CAMPOS, 2007; ROZANTE, 2008).

Uma característica comum a todos os SCM é a presença de uma área de precipitação contínua, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva (HOUZE, 1993; WALLACE; HOBBS, 2006; MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010). Geralmente duram de 6 a 12 horas (EICHHOLZ, 2011), porém, em casos extremos, a parte estratiforme do SCM pode durar até 2 ou 3 dias (HOUZE, 1993). O tempo de vida do SCM está diretamente relacionado ao tamanho médio do sistema, quanto maior, mais duradouro (HOUZE, 1993; SALIO et al., 2007). Salio et al. (2007) estudaram as características dos SCM ocorridos na AS e a relação destes com o Jato de Baixos Níveis (JBN) no período de setembro de 2000 a maio de 2003, e observaram que os SCM subtropicais são espacial e temporalmente maiores que os SCM tropicais. Isto se deve as distintas fontes de calor e umidade que alimentam estes diferentes sistemas. Enquanto os SCM tropicais recebem calor e umidade principalmente do aquecimento diurno e estão

diretamente relacionados ao deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical, os SCM subtropicais recebem calor e umidade do JBN.

A formação dos sistemas é favorecida quando as condições ambientais se apresentam propícias, ou seja, quando há convergência de ar quente e úmido nos níveis mais baixos da atmosfera (MADDOX, 1983; ANABOR 2004; MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010). Diversos são os mecanismos que podem contribuir para a formação dessas forçantes responsáveis pelo disparo da convecção, entre elas destacam-se a circulação marítima/terrestre, a circulação vale/montanha, a convergência ao longo de superfícies frontais em médias latitudes, o gradiente de umidade no solo e o JBN (HOUZE, 1993; WALLACE; HOBBS, 2006; EICHHOLZ, 2011).

O JBN juntamente com uma advecção quente e úmida, segundo diversos autores são os responsáveis por uma convergência na média troposfera, condição dada como essencial para a formação, organização e manutenção de um SCM (FRANK, 1970; MADDOX, 1983; GUEDES et al., 1994, JIRAK; COTTON, 2004). Muitos estudos mostram que, tanto na AS quanto na América do Norte (AN), grande parte dos SCM está associada à presença do JBN. Enquanto na AN as Montanhas Rochosas contribuem para o escoamento do JBN advectando ar quente e úmido do Golfo do México sobre as Planícies Centrais, na AS de maneira análoga, a Cordilheira dos Andes desempenha este papel, transportando o ar quente e úmido da Amazônia em direção ao sudeste do continente, gerando condições ideais para o disparo da convecção e desenvolvimento dos SCM. As cadeias de montanha, nestes casos, estendem-se meridionalmente e exercem a função de bloquear a circulação zonal em baixos níveis, canalizando e realizando o transporte do ar mais aquecido das regiões tropicais em direção às regiões de latitudes médias (BONNER, 1966; GUEDES, 1985; MARENGO et al., 2004; SALIO et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

Salio et al. (2002) estudaram SCM associados a JBN que se estenderam ao sul de 25°S na AS no verão de 1997-1998. Os autores observaram que durante estes eventos, o fluxo de umidade e a convergência em baixos e médios níveis da atmosfera estiveram aproximadamente dez vezes mais intensos em relação a média

da estação, e a precipitação respondeu por até 55% do total verificado naquele verão no nordeste da Argentina.

Com relação aos movimentos verticais nos SCM, em baixos níveis tipicamente são caracterizados pela presença de uma região convectiva, onde a convergência de umidade alimenta o sistema e as ascendências convectivas. Atrás desse fluxo convergente, observa-se um fluxo divergente. Uma pequena parte deste fluxo é desviada para os níveis mais próximos da superfície, logo atrás do fluxo que adentra ao sistema, alimentando as subsidências convectivas (Figura 4). Esta subsidência de baixos níveis favorece a ocorrência de precipitações intensas, ocasionalmente com granizo, alimentando a piscina fria que se forma abaixo da região convectiva e que é responsável pela formação da frente de rajada do sistema (HOUZE, 1993). A outra parte do fluxo, a maior, é desviada em direção à região estratiforme do SCM. Nos médios e altos níveis o sistema é caracterizado pela presença de fluxos divergentes logo acima das células convectivas (HOUZE; BETTS, 1981; CHONG et al., 1987; ROUX, 1988) (Figura 5).

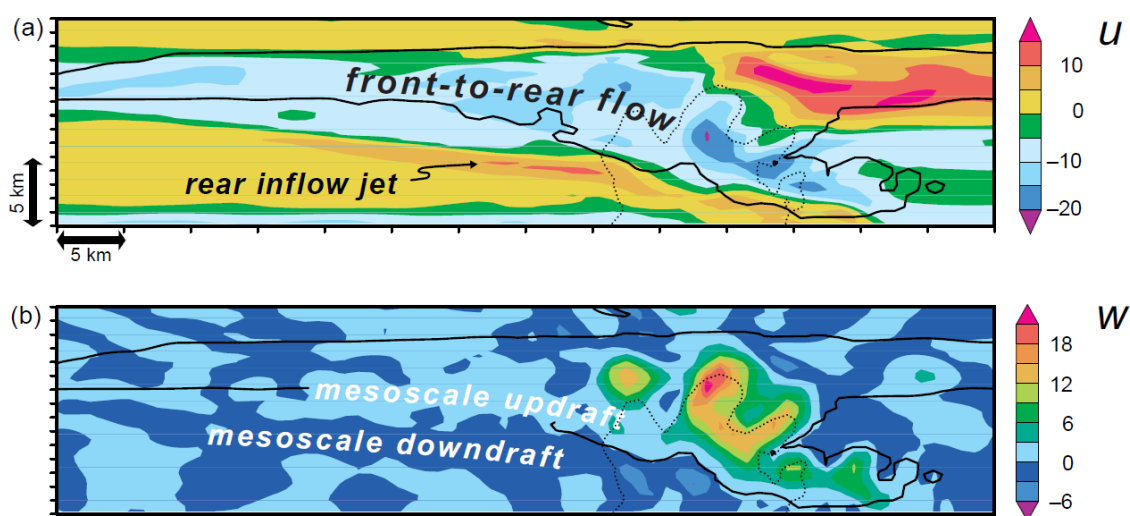


Figura 4 – Corte vertical da simulação numérica de um SCM mostrando os seguintes campos: a) vento zonal u (ms^{-1}) e b) vento vertical w (ms^{-1}).

Fonte: Meso-scale Meteorology in Midlatitudes, 2010, p.247.

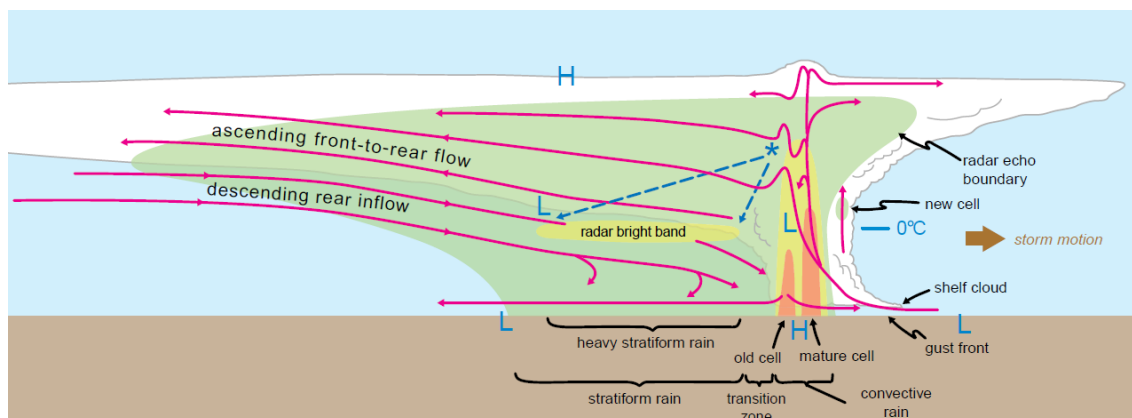


Figura 5 – Corte vertical de um SCM.

Fonte: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes, 2010, p.250.

Sakamoto (2009) estudou apenas SCM subtropicais (abaixo de 20°S), e observou que de todos os SCM de origem continental ocorridos durante o período de estudo (dezembro de 2002 a fevereiro de 2003), 78% apresentaram deslocamento para leste, e preferencialmente para o quadrante nordeste. Quando considerados os SCM de origem oceânica, o percentual de sistemas que apresentaram deslocamento para leste subiu para 93% do total, entretanto o quadrante preferencial observado foi para sudeste. Numa análise mais detalhada, a autora observou que embora o JBN fosse um fator determinante na formação dos sistemas continentais, seu efeito sobre a formação dos sistemas oceânicos era insignificante. Resultados semelhantes foram observados por Rasera et al. (2010), que utilizando o aplicativo ForTrACC (*Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters*, VILA et al., 2004), analisou a formação e o deslocamento dos SCM que ocorreram ao sul de 20°S, com ciclo de vida de no mínimo 6 horas, nascimento espontâneo e dissipação normal, e que afetaram o RS e que estavam associadas a ES. O autor verificou que as trajetórias médias desses SCM seguiram uma direção de oeste para leste em todos os trimestres daquele ano.

Numa análise a respeito do ciclo diurno de SCM subtropicais continentais e oceânicos, Sakamoto et al. (2009) observaram diferenças entre esses dois tipos de sistemas. Os continentais apresentaram gênese preferencialmente entre a tarde e o início da noite, maturação entre a noite a madrugada e dissipação ao longo do dia, enquanto os oceânicos mostraram iniciação e maturação mais tarde, entre a noite e

madrugada, e dissipação também ao longo do dia. Os autores também verificaram que os SCM continentais foram mais numerosos que os oceânicos.

Viana et al. (2009) identificaram 22 CCMs ocorridos sobre o RS no período de outubro a dezembro de 2003 utilizando o aplicativo ForTrACC e informações da DCRS e Jornal Correio do Povo. Associados a esses CCM foram observados 90 ocorrências de ES, dos quais quase metade foram vendavais. Do total de CCMs identificados, 75% causaram algum tipo de ES.

Diversos autores (BACELAR et al., 2011; RASERA et al., 2011a; RASERA et al., 2011b; VARGAS Jr. et al., 2011a), utilizando imagens brutas do satélite GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) 12 no canal infravermelho, o aplicativo ForTrACC e 12 estações meteorológicas de superfície no RS, estudaram a ocorrência de precipitação associada a SCM no RS durante o ano de 2006 e verificaram que a contribuição da precipitação associada a SCM comparada a precipitação total alcança até 51% no trimestre de julho a setembro, mostrando a importância desses sistemas no regime pluviométrico do RS.

2.2 Granizo

Como já mencionado anteriormente, o granizo é um dos principais tipos de evento severo associados à ocorrência de SCM no RS, e afeta diretamente o Estado, dada a importância da agroindústria no âmbito econômico do RS. Dependendo da dimensão e intensidade, a precipitação de granizo pode dizimar safras inteiras e provocar danos também na infraestrutura urbana (KOBAYAMA et al., 2006; DCRS, 2014). Glickman (2000) define granizo como um hidrometeoro de gelo, com formato esférico ou irregular e diâmetro de aproximadamente 5 mm. A formação do granizo ocorre na camada superior das nuvens do tipo Cb, uma vez que o congelamento da água na atmosfera ocorre apenas quando a temperatura fica abaixo dos -40°C (GRIMM, 1999; MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010). O congelamento é facilitado quando as gotículas super-resfriadas se agrupam sobre a superfície de uma partícula sólida, denominada de núcleo de congelamento, que desempenha papel semelhante ao representado pelos núcleos de condensação no processo de formação das gotas de chuva. As gotículas de água congelada são os

granizos embrionários. Pelos processos de colisão e coalescência, gotículas de água super-resfriadas se agrupam aos embriões, aumentando o tamanho do granizo (Figura 6).

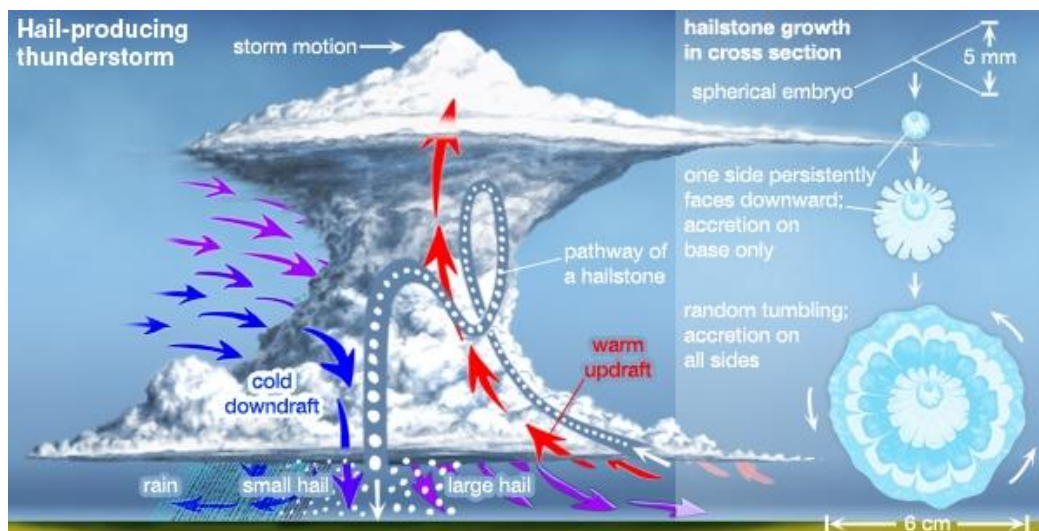


Figura 6 – Processo de formação do granizo.

Fonte: Encyclopedia Britannica, 2011.

As correntes de ar são fundamentais no processo de crescimento deste hidrometeoro, pois o mantém em suspensão no interior da nuvem, circulando entre diferentes níveis da Cb. Enquanto as correntes ascendentes elevam o granizo para a parte superior da nuvem, as correntes descendentes o forçam a percorrer o caminho contrário (KULICOV; RUDNEV, 1980; KNIGHT; KNIGHT, 2001; MARKOWSKI; RICHARDSON, 2010). As camadas irregulares do granizo evidenciam o transporte convectivo ao longo do processo de crescimento. O corte transversal apresenta uma estrutura interna de camadas de gelo claro a opaco (CHRISTOPHERSON, 2009) (Figura 7).

Apenas nuvens do tipo Cb possuem desenvolvimento vertical o suficiente para permitir que haja condições ambientais propícias à formação do granizo (SIMONS, 2009). As nuvens Cb possuem forma de torre e expandem-se lateralmente no topo, adquirindo o aspecto de uma bigorna. A base pode estar situada numa altitude de 300 metros a 3 quilômetros, enquanto o topo atinge entre 9 km usualmente nas latitudes mais altas até 18 km na região equatorial. Elas se

desenvolvem preferencialmente em ambientes com grande disponibilidade de calor e umidade. Podem se formar por diversos fatores, entre eles a convecção local, ascensão orográfica e/ou devido a sistemas meteorológicos de escalas maiores, como as frentes frias (VIANELO; ALVES, 2000). O ciclo de vida das Cb é formado por três etapas (WALLACE; HOBBS, 2006). A primeira corresponde ao desenvolvimento, ou estágio cumulus, caracterizada pela presença de fortes correntes ascendentes de ar, que elevam a nuvem verticalmente. A segunda etapa é a de maturação, quando coexistem as correntes ascendentes e descendentes, esta última associada a precipitação. A terceira etapa corresponde à dissipação, quando predominam as correntes descendentes, associada à chuva moderada a leve. Quando ocorre a formação de supercélula, o granizo associado a esse tipo de tempestade costuma ser maior do que o observado em nuvens Cb individuais ou imersas em SCM, com diâmetro médio de 5 cm. Este fato se deve às características próprias das tempestades supercelulares, que possuem correntes ascendentes excepcionalmente intensas, mantendo o granizo em suspensão na atmosfera por mais tempo, o que favorece o aumento do diâmetro das pedras de gelo (SIMONS, 2009).

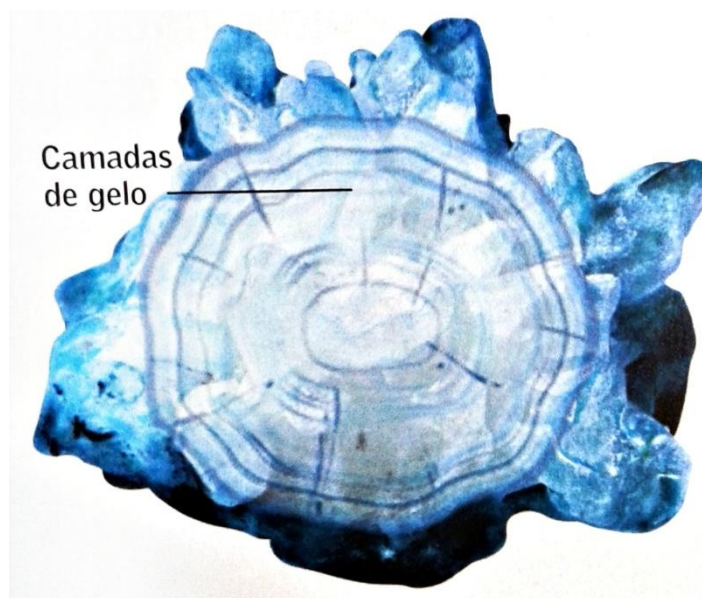


Figura 7 – Corte transversal de um granizo.

Fonte: Atlas Visual da Ciência, 2007, p.43.

Embora seja formado por gelo, o granizo ocorre comumente nos meses quentes do ano, e preferencialmente no horário entre 12h e 20h, especialmente entre 15h30min e 17h30min. Isto se deve a maior disponibilidade de calor nestes horários, que aliado à alta umidade favorece o processo convectivo, fundamental para a formação de nuvens do tipo Cb, responsáveis pela formação do granizo (RUBIN et al., 1989). A precipitação dura apenas poucos minutos, sendo raros os relatos de granizo que tenha precipitado por mais do que uma hora, visto que apenas uma pequena parte da nuvem oferece condições favoráveis à formação do granizo. Pelo mesmo motivo, as áreas atingidas por este tipo de precipitação são bem limitadas. A largura da faixa é de aproximadamente 16 km, enquanto o comprimento pode se estender por até 100 km, embora o mais comum seja entre 8 e 16 km (WILLIAM, 1997; CUNHA et al., 2001). E mesmo com elevada temperatura do ar na região de precipitação, o granizo não derrete, pois sua velocidade de queda é elevada, impedindo que ocorra o derretimento antes de atingir o solo. Quanto maior o diâmetro do granizo, maior sua velocidade de queda (Figura 8)

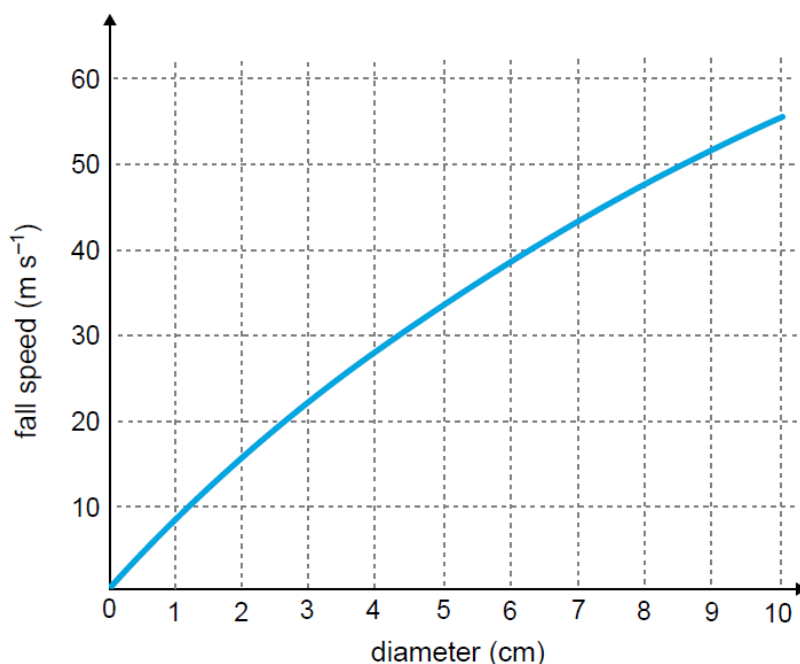


Figura 8 – Velocidade terminal de queda em função do diâmetro do granizo.

Fonte: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes, 2010, p.307.

Existem regiões conhecidas como cinturões de granizo (“hail belts”), onde a precipitação de granizo é mais frequente, destacando-se o norte da Índia e Bangladesh. De maneira geral as áreas mais atingidas por granizo situam-se nas regiões de latitudes médias e que possuam características sinóticas favoráveis a formação de grandes nuvens convectivas, como as grandes planícies dos Estados Unidos e Canadá, Europa central, sul da China, sudeste da Austrália e sudeste da AS, especialmente Argentina, Uruguai, Paraguai e sul do Brasil (CUNHA et al., 2001; SIMONS, 2009).

Devido aos grandes prejuízos causados pelas tempestades de granizo (estimados em mais de 23 bilhões de dólares entre 1996 e 2005), alguns métodos visando inibir ou dificultar a formação do hidrometeoro estão sendo aplicados em algumas regiões do mundo (PRETOR-PINNEY, 2006). A principal medida consiste na semeadura de nuvens de tempestade, com o objetivo de estimular o surgimento de um número maior de embriões, causando assim, uma menor densidade de gotículas super-resfriadas disponíveis para cada embrião, o que, em tese, tende a impedir a formação de granizos grandes o suficiente para provocar estragos quando precipitados (PRETOR-PINNEY, 2006). Entretanto, a eficácia desses procedimentos ainda não foi comprovada.

Diversos estudos (BERLATO et al., 2000a; ILIINE et al., 2010; FELIX; MARTINS, 2012; REIS et al., 2012) mostram que o período primavera/inverno é o mais propício a ocorrência de granizo no sul do Brasil. O que pode estar associado à passagem mais frequente de SF intensos durante o inverno e ao rápido aquecimento continental verificado na primavera, que instabilizam a atmosfera e favorecem a formação de SCM na região. Desta maneira, muitos autores (SILVA DIAS, 1996; BERLATO et al., 2000b; CUNHA et al., 2001; MARCELINO et al., 2004; FELIX; MARTINS, 2012) atribuíram à atuação conjunta de SCM e SF na região, as condições propícias à formação e precipitação do granizo.

Vargas Jr. et al. (2011b) utilizaram o banco de dados da DCRS para identificar os eventos severos ocorridos no Estado no período de 2004 a 2008, totalizando 257 ocorrências, sendo que 56% ocorreram no período quente do ano (outubro a março). Segundo os autores, durante os períodos quentes, os tipos de evento severo mais observados no RS foram granizo e vendaval. A maior

disponibilidade de calor nesta época gera condições mais favoráveis à formação dos SCM, que estão diretamente relacionados à ocorrência de eventos severos na porção subtropical da AS. No período frio se observaram além de granizo e vendaval, também enchentes.

Vargas Jr. et al. (2011c) estudaram a ocorrência de granizo no RS no período de 2004 a 2008 utilizando dados de notificação de eventos severos da DCRS. Eles observaram um total de 64 eventos, sendo que a maior concentração ocorreu no trimestre da primavera, de outubro a dezembro, período muito favorável à formação de SCM, responsáveis em grande parte pela ocorrência de granizo. Comparando o total de eventos registrados no período frio (abril a setembro) com o período quente (outubro a março), os autores notaram uma maior frequência nos períodos frios (55%) em relação aos períodos quentes (45%). O resultado era esperado, uma vez que os SF são mais comuns nos meses mais frios do ano, e ao longo destes sistemas ocorrem a propagação e intensificação da convecção, gerando condições propícias à formação de SCM, e consequentemente dos eventos severos a eles associados, tais como o granizo.

Com o objetivo de realizar um zoneamento das ocorrências de granizo e vendaval no RS durante o período de 1989 a 2009, Nedel et al. (2012) utilizaram os registros de ocorrência de eventos severos no banco de dados da DCRS. Os autores observaram que a primavera (290 eventos) foi o período mais favorável à ocorrência do granizo, seguida pelo inverno (132 eventos). As áreas mais propícias à ocorrência do fenômeno situaram-se na metade norte do Estado. Os autores notaram ainda que tanto as ocorrências de granizo quanto as de vendaval não foram afetadas significativamente pela atuação dos fenômenos El Niño e La Niña, pois foram registrados eventos intensos mesmo em anos considerados de neutralidade.

Rasera e Campos (2013) utilizando dados de ocorrência de eventos severos e os municípios por eles atingidos no banco de dados da DCRS, e as trajetórias dos SCM que atingiram o RS com informações fornecidas pelo aplicativo ForTrACC, bem como imagens do satélite GOES 10 e 12 no canal infravermelho, analisaram a distribuição sazonal das regiões atingidas por eventos severos associados à SCM que atingiram o RS no período de 2004 a 2008. Os autores observaram que granizo

e vendaval foram os tipos de evento severo que atingiram o maior número de municípios durante o período analisado.

3. Materiais e Métodos

3.1 Dados

Foram utilizados dados dos SCM_{GRA} que foram selecionados por Campos e Raseira (2014) para o período de 2004 a 2008. Para selecionar os SCM_{GRA} esses autores utilizaram dados dos SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}), definidos como sendo aqueles SCM que atingiram a grade que cobre o RS, compreendida entre as latitudes de 27° a 34° S e as longitudes de 58° a 49° W, obtidos por Campos e Eichholz (2011); e registros de ES e municípios atingidos, notificados no banco de dados da DCRS.

A DCRS a fim de melhor gerenciar os registros de eventos severos dividiu o Estado em 11 regiões denominadas REDECs (Coordenadorias Regionais de Defesa Civil, Figura 9) (DCRS, 2016). Cada uma das REDECs tem como sede um dos municípios que a compõe, que é o responsável por receber as informações da sua região e repassá-las à sede da DCRS. Assim, tem-se a REDEC 1 (Metropolitana) com 60 municípios; REDEC 2 (Passo Fundo) com 84 municípios; REDEC 3 (Santa Maria) com 50 municípios; REDEC 4 (Pelotas) com 27 municípios; REDEC 5 (Santo Ângelo) com 69 municípios; REDEC 6 (Santana do Livramento) com 13 municípios; REDEC 7 (São Luiz Gonzaga) com 45 municípios; REDEC 8 (Imbé) com 23 municípios; REDEC 9 (Caxias do Sul) com 51 municípios; REDEC 10 (Uruguaiana) com 14 municípios e REDEC 11 (Lageado) com 60 municípios.

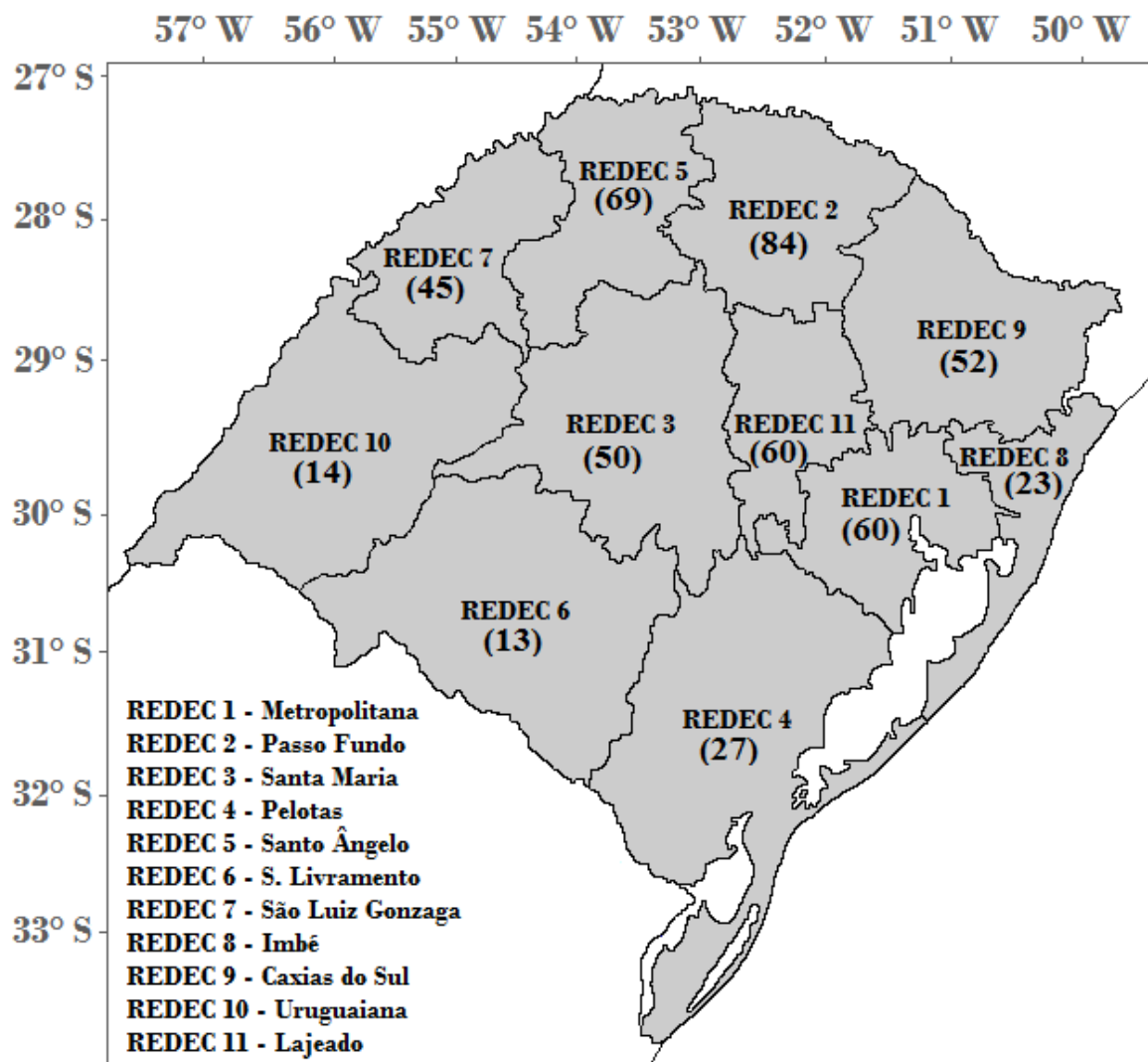


Figura 9. Distribuição espacial das REDECs e o total de municípios que compõe cada uma.

Fonte: Adaptado de DCRS (2016)

A seguir descreve-se como Campos e Eichholz (2011) e Campos e Raserá (2014) selecionaram para o período de 2004 a 2008 os SCM_{RS} e os SCM_{GRA} , respectivamente. E na sequência as análises realizadas no presente trabalho.

3.1.1 Seleção dos SCM_{RS} entre 2004 e 2008

Para selecionar os SCM_{RS} entre 2004 e 2008, Campos e Eichholz (2011) utilizaram o aplicativo ForTraCC no modo diagnóstico e como base de dados imagens brutas dos satélites GOES 10 e 12, no canal 4 (infravermelho termal), com

resolução espacial de 4 km x 4 km no ponto subsatélite e resolução temporal de ½ hora, fornecidas pela DSA/CPTEC/INPE (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

O ForTrACC é um método de identificação e acompanhamento de SCM, que fornece informações sobre as características físicas e morfológicas dos SCM identificados, durante o seu ciclo de vida. É importante ressaltar que uma das principais etapas do ForTrACC é a de formação das “famílias”. Nessa etapa, o programa acompanha os sistemas desde o seu surgimento até a sua dissipação, levando em consideração todas as fusões e divisões sofridas por ele ao longo do seu ciclo de vida e, a esse conjunto de sistemas (ou membros) dá-se o nome de família. Neste trabalho uma família é designada por sistema ou SCM. Portanto, cada SCM (ou família) detectado pelo ForTrACC tem seu ciclo de vida descrito pelo conjunto de características apresentadas por ele em cada instante, o qual corresponde a um membro do SCM (ou da família). O processo de identificação dos SCM pelo ForTrACC utiliza imagens brutas do satélite GOES e é baseado em limiares de tamanho (150 pixels, 1 pixel=16 Km²) e temperatura de brilho do topo das nuvens- T_b (235K para identificar os SCM e 210K para identificar as células convectivas mais profundas imersas nos SCM). Segundo alguns estudos (LAURENT et al., 2002; MACHADO; LAURENT, 2004; VILA, 2004) os limiares de T_b utilizados por Campos e Eichholz (2011) são aceitáveis para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da AS, permitindo assim, a detecção tanto do SCM quanto das células convectivas nele imersas.

De todos os SCM (ou famílias) identificados pelo ForTrACC, no período de 2004 a 2008, Campos e Eichholz (2011) consideraram em seu estudo somente aqueles SCM que: i) mantiveram seu centro de massa durante todo seu ciclo de vida abaixo de 20°S; ii) apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h. Esse critério foi adotado porque além de SCM mais longos tenderem a cobrir áreas maiores (MACHADO et al., 1994; NICOLINI et al., 2002; VILA, 2004) eles podem causar eventos com precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo (SILVA DIAS, 1999), podendo causar grandes impactos nas regiões onde atuam; iii) apresentaram iniciação espontânea e dissipação normal, isto é, tanto no momento de iniciação

quanto no de dissipação, não houve interação (fusão) com outros SCM nem a separação do SCM identificado. Porém, foi permitida a existência de fusões e separações durante o ciclo de vida de um determinado SCM, uma vez que de outra maneira, o conjunto de dados a analisar seria limitado. Esse critério foi o mesmo seguido por Vila (2004) para obter um conjunto de informações mais homogêneo para estudar as características físicas dos SCM. Além disso, utilizando essa condição garante-se que o crescimento inicial dos SCM selecionados esteja associado à sua própria dinâmica interna (MACHADO; LAURENT, 2004) e, iv) afetaram o RS. Foi determinado que um SCM afetou o RS quando pelo menos um dos membros do SCM analisado apresentava latitude e longitude que o localizava dentro da grade que cobre o RS, compreendida entre as latitudes de 27° a 34° S e as longitudes de 58° a 49° W.

Durante o período de 01/01/2004 a 31/12/2008 Campos e Eichholz (2011) selecionaram 626 SCM com as características citadas acima, denominando-os de SCM_{RS} , os quais estavam distribuídos da seguinte forma: 179 em JFM (Jan, Fev, Mar), 150 em AMJ (Abr, Mai, Jun) 142 em JAS (Jul, Ago, Set) e 155 em OND (Out, Nov, Dez).

3.1.2 Seleção dos SCM_{GRA} entre 2004 e 2008

Para selecionar os SCM_{GRA} Campos e Rasera (2014) utilizaram os seguintes dados do período de 2004 a 2008: i) tamanho máximo, tempo de vida e trajetórias dos SCM_{RS} , selecionados por Campos e Eichholz (2011) com o uso do ForTrACC; ii) registros de granizo e municípios atingidos, notificados no banco de dados da DCRS e iii) imagens brutas no canal infravermelho termal dos satélites GOES 10 e 12, com resolução espacial de 4 km x 4 km no ponto subsatélite e resolução temporal de ½ hora, fornecidas pela DSA/CPTEC/INPE.

Para verificar quais dos 626 SCM_{RS} no período de 2004 a 2008 geraram granizo (SCM_{GRA}), Campos e Rasera (2014) adotaram o seguinte procedimento. Primeiramente organizaram as informações sobre o tamanho máximo, tempo de vida e trajetória de cada SCM_{RS} em uma planilha eletrônica. Em seguida verificaram se no(s) dia(s) que foi observado cada um dos SCM_{RS} , houve registro de granizo

notificado no banco de dados da DCRS. Tendo sido verificada a ocorrência de granizo dentro do período compreendido pelo ciclo de vida do SCM_{RS} , então identificaram os municípios atingidos, e plotaram suas latitudes e longitudes em um mapa utilizando o aplicativo GrADS. Em seguida neste mesmo mapa plotaram a trajetória do SCM_{RS} em análise (utilizando para isso as latitudes e longitudes de todos os seus membros), para acompanhar a evolução do seu ciclo de vida e verificar se este sistema estava atuando sobre os municípios atingidos. Visando maior precisão na verificação dos municípios atingidos pelo SCM_{RS} em análise, no mesmo mapa foram sobrepostas as imagens dos satélites GOES com temperatura de brilho realçada abaixo de 235K (limiar utilizado para detectar SCM) de todo o ciclo de vida do SCM_{RS} . Quando foi constatado que o SCM_{RS} em análise afetou o(s) município(s) que registrou granizo, então este SCM_{RS} foi classificado como um SCM que afetou o RS e que gerou granizo (SCM_{GRA}). Esse mesmo procedimento foi utilizado por Campos e Rasera (2014) para selecionar os SCM que geraram além de granizo, os seguintes eventos severos (SCM_{ES}): vendaval, enxurrada, inundação, enchente, alagamento e deslizamento.

Utilizando a metodologia citada acima, Campos e Rasera (2014) observaram que dos 626 SCM_{RS} , 34 geraram granizo, sendo que 22 geraram apenas granizo e 12 granizo/vendaval (ocorrência simultânea dos dois eventos) (SCM_{GRA}). Além disso, estes autores observaram que os SCM_{GRA} estavam distribuídos da seguinte forma: 1 em JFM, 7 em AMJ, 15 em JAS e 11 em OND.

3.2 Metodologia

3.2.1 Análises realizadas

Visando aprofundar a análise dos SCM que atingiram o RS e que geraram ES (realizada por CAMPOS; RASERA, 2014), focou-se no estudo dos SCM que geraram granizo (SCM_{GRA}). Isso porque, conforme mencionado anteriormente, este evento é um dos mais frequentes e causador de danos à economia do Estado. Para tal, inicialmente classificou-se os 34 SCM_{GRA} selecionados em função de sua origem:

- 1) Continental (Oceânico) aqueles cuja gênese, definida por sua posição (latitude e longitude), ocorreu sobre o continente (oceano);
- 2) Diurno aqueles cuja gênese ocorreu entre as 12UTC e 00UTC, e Noturno aqueles que tiveram iniciação entre a 00UTC e 12UTC. Para esta classificação foram utilizados os horários de nascimento (iniciação) de cada SCM_{GRA} ;
- 3) Frontais e Não-Frontais, aqueles associados à incursão ou não de SF. Para esta classificação foram utilizadas as imagens de satélite relativas ao ciclo de vida de cada SCM_{GRA} .

Após essa classificação os SCM_{GRA} foram contabilizados e separados em trimestres representando as estações do ano: período quente (JFM – Janeiro, Fevereiro, Março), período temperado frio (AMJ – Abril, Maio, Junho), período frio (JAS – Julho, Agosto, Setembro) e período temperado quente (OND – Outubro, Novembro, Dezembro).

Na sequência, analisou-se a distribuição sazonal da região preferencial de formação de todos os SCM_{GRA} observados no período de estudo e também a distribuição sazonal de cada tipo separadamente, utilizando a posição (latitude, longitude) do instante de iniciação de cada SCM_{GRA} .

Em seguida, para analisar o deslocamento dos SCM_{GRA-C} , SCM_{GRA-O} , SCM_{GRA-F} , SCM_{GRA-NF} , SCM_{GRA-D} e SCM_{GRA-N} , utilizou-se a posição (latitude e longitude) dos SCM_{GRA} nos instantes de iniciação, maturação e dissipação. Os resultados foram plotados em mapas, contendo os deslocamentos individuais e também o deslocamento médio dos SCM_{GRA} por trimestre e por tipo.

Após analisou-se a distribuição total e sazonal da região preferencial de formação e do deslocamento do tipo mais frequente de SCM_{GRA} ($SCM_{GRA-CDF}$, Continental, Diurno e Frontal) observado durante o período de 2004 a 2008.

Para avaliar a atuação dos $SCM_{GRA-CDF}$, foram utilizados dados de notificação da DCRS. Para tal, separaram-se os municípios atingidos nas 11 regiões que compreendem as REDECs que compõem o RS.

Por fim, analisou-se a distribuição total e sazonal dos municípios e das regiões do RS atingidas pelos $SCM_{GRA-CDF}$. A severidade destes eventos foi avaliada total e sazonalmente, em função:

i) de a DCRS ter declarado situação de emergência nos municípios atingidos. Para isso contabilizou-se essas declarações para cada caso de granizo detectado. Como no período de estudo houve municípios que foram atingidos mais de uma vez por granizo, estes declararam sua situação mais de uma vez, sendo então consideradas todas as declarações para a análise dos resultados;

ii) de quais zonas dos municípios foram mais atingidas por granizo (Rural e/ou Urbana), contabilizando-se a distribuição das zonas atingidas em cada município;

iii) do número de pessoas atingidas. Para essa análise contabilizou-se o número de pessoas atingidas em cada declaração de ocorrência de granizo; e

iv) do número de municípios com registro de danos causados à agricultura. Para cada declaração de granizo, quando um município declarou ter sofrido danos em zonas rurais com áreas de cultivos, esse foi contabilizado como um município com dano na agricultura.

4. Resultados e Discussões

4.1 Distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA}

Os resultados apresentados referem-se à análise das características apresentadas pelos 34 SCM_{GRA} detectados no período de 2004 a 2008 em função de sua origem (SCM_{GRA-C}, SCM_{GRA-O}, SCM_{GRA-F}, SCM_{GRA-NF}, SCM_{GRA-D} e SCM_{GRA-N}). A distribuição total e sazonal do número de SCM_{GRA} continentais e oceânicos é mostrada na Figura 10. Observa-se que em todos os períodos o predomínio foi de SCM_{GRA} com gênese sobre o continente. Neste estudo, 91% dos SCM tiveram origem continental, enquanto apenas 9% tiveram origem sobre o Oceano Atlântico. Resultados semelhantes foram observados por Sakamoto (2009) e Durkee e Mote (2009), que encontraram valores de 76% e 85%, respectivamente, para estudos sobre SCM na América do Sul subtropical. Laing e Fritsch (1997), numa abordagem global, observaram que 92% dos SCM apresentaram origem continental. Uma das explicações para a predominância de sistemas continentais é a baixa capacidade térmica do solo em relação à água, que gera uma maior instabilidade atmosférica sobre o continente (DOSWELL; BOSART, 2001).

Observa-se também que o trimestre JAS foi o que apresentou maior número de SCM_{GRA}. Segundo Campos e Raseira (2014), este foi o trimestre com maior ocorrência de SCM_{GRA}, devido a maior atuação de SF na região costeira do sul do Brasil durante este período do ano, o que favorece a interação destes sistemas (SF) com a convecção, propiciando a formação de SCM maiores e mais duradouros (SIQUEIRA; MACHADO, 2004), gerando assim condições mais favoráveis a ocorrência de granizo. Isso ocorre, pois, as condições de baroclinia sobre o RS são

mais intensas nesta época, resultado do aumento do gradiente meridional de temperatura. Outro fator que justifica a maior ocorrência de SCM_{GRA} neste trimestre é a maior frequência de JBN ao sul de 20°S, um importante sistema de escala sinótica que influencia diretamente a formação e manutenção dos SCM.

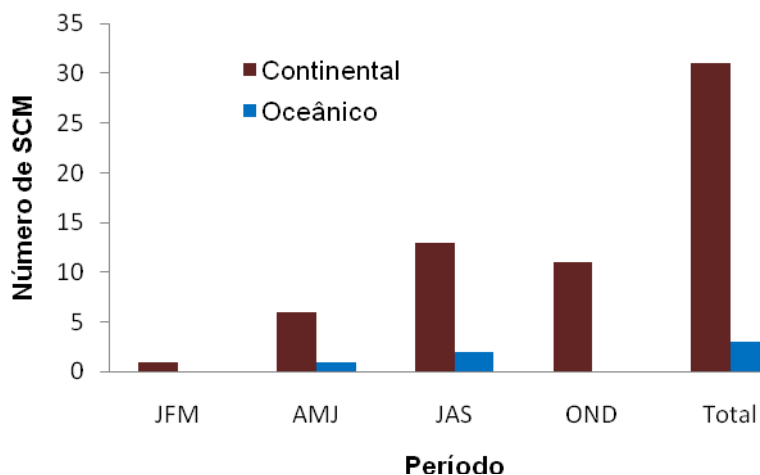


Figura 10. Distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} continentais e oceânicos.

No total, 56% dos SCM_{GRA} foram classificados como diurnos, e 44% como noturnos. Pode-se justificar a maior ocorrência de SCM_{GRA} diurnos devido ao aquecimento durante o dia, o que favorece a manutenção dos SCM. Na análise sazonal notou-se que os SCM_{GRA} observados nos períodos frios do ano (AMJ e JAS) apresentaram maior ocorrência no período noturno, enquanto os sistemas observados nos períodos quentes (JFM e OND) apresentaram maior ocorrência no período diurno (Figura 11). A maior insolação em JFM e OND, comparada a AMJ e JAS, explica este resultado, pois favorece a atividade convectiva nos meses mais quentes do ano. Em contrapartida, nos períodos frios, os SCM iniciam o ciclo de vida mais tarde, pois a radiação é menos intensa e a atmosfera se aquece mais lentamente (MATTOS, 2009).

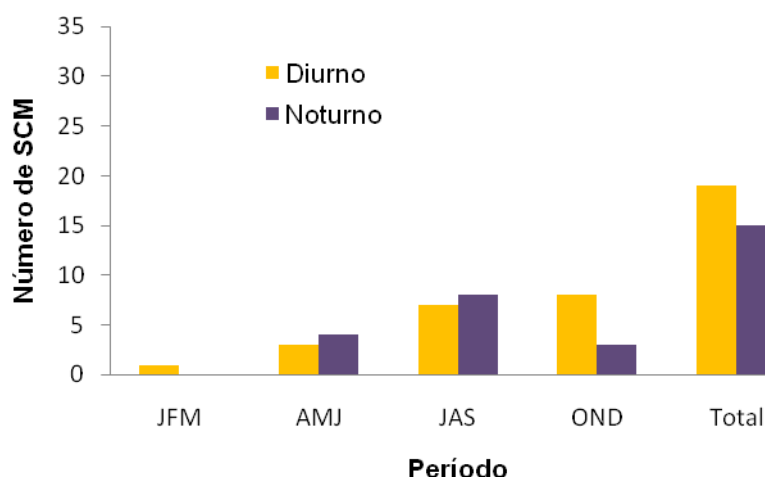


Figura 11. Distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} diurnos e noturnos.

A Figura 12 mostra a distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} associados ou não a passagem de sistemas frontais. De modo geral, os SCM_{GRA} frontais foram mais numerosos quando comparados aos não-frontais (71% e 29%, respectivamente). O resultado foi semelhante ao observado por Siqueira e Marques (2008), que num estudo sobre SCM no sudeste do Brasil de 1998 a 2000 notaram que cerca de 60% dos SCM apresentaram-se associados à passagem de SF. Nota-se ainda que nos períodos quentes do ano (JFM e OND) o predomínio é de SCM_{GRA} não-frontais, enquanto nos períodos frios do ano (AMJ e JAS) a maioria dos SCM_{GRA} estiveram associados a SF. Estes resultados são esperados, uma vez que a região subtropical da AS possui grande incidência de atuação de SF, principalmente nos períodos frios (AMJ e JAS) (HARTER, 2004).

Nota-se que, os SCM_{GRA} de origem continental, diurna e frontal ($SCM_{GRA-CDF}$) foram os mais frequentes observados no período de 2004 a 2008. Dentre os 34 SCM_{GRA} ocorridos neste intervalo, 10 foram classificados como $SCM_{GRA-CDF}$, equivalente a 29,4% do total, e distribuídos sazonalmente da seguinte forma: 2 em AMJ, 6 em JAS e 2 em OND.

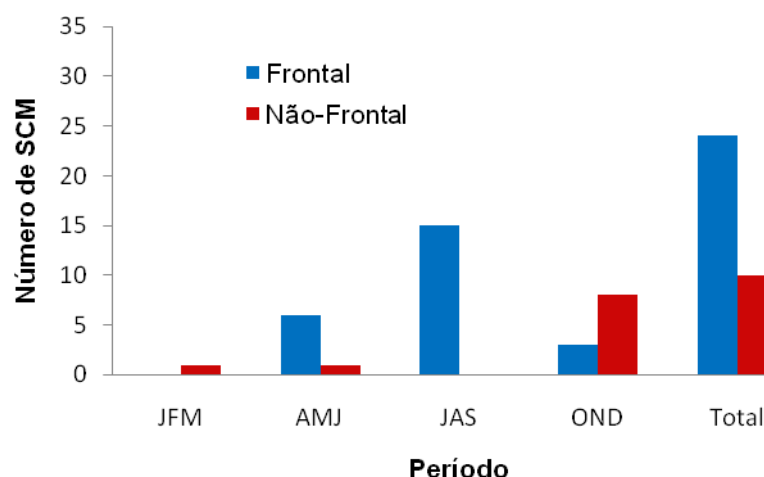


Figura 12. Distribuição total e sazonal dos SCM_{GRA} frontais e não-frontais.

4.2 Região preferencial de formação dos SCM_{GRA}

A distribuição sazonal da região preferencial de formação dos 34 SCM_{GRA} observados entre 2004 e 2008 é apresentada na Figura 13. Nota-se que, de maneira geral, os SCM_{GRA} se formaram entre o oeste do RS, noroeste do Uruguai, nordeste da Argentina e sul do Paraguai. Outros autores (ALVES et al., 2014; RASERA; CAMPOS, 2013; CAMPOS; RASERA, 2014) estudaram a ocorrência de ES associados à atuação de SCM no RS e observaram que esta mesma região é a mais propícia à formação de SCM.

Sazonalmente, observa-se pouca diferença entre as regiões preferenciais de formação dos SCM_{GRA} (Figura 13), porém, nos meses quentes (JFM e OND), a maior parte dos SCM_{GRA} se formou sobre o noroeste do RS e nordeste da Argentina, enquanto nos meses frios (AMJ e JAS) houve uma preferência maior de iniciação no sudoeste do RS.

A maior atividade de formação dos SCM_{GRA} no nordeste da Argentina e noroeste do RS entre JFM e OND, segundo Campos e Eichholz (2011), pode estar relacionada à topografia da região, que nesta época do ano favorece efeitos térmicos e orográficos que exercem um importante papel para a definição da região mais favorável a formação dos SCM. Além disso, os períodos quentes (primavera e verão) são os períodos caracterizados pela mínima estabilidade estática (DURKEE;

MOTE, 2009) e também pelo forte aquecimento diurno nos Andes, que podem gerar ondas de gravidade com propagação em direção ao sudeste do continente sul-americano, intensificando a convecção nas regiões preferenciais de formação dos SCM_{GRA} (MAPES et al., 2003).

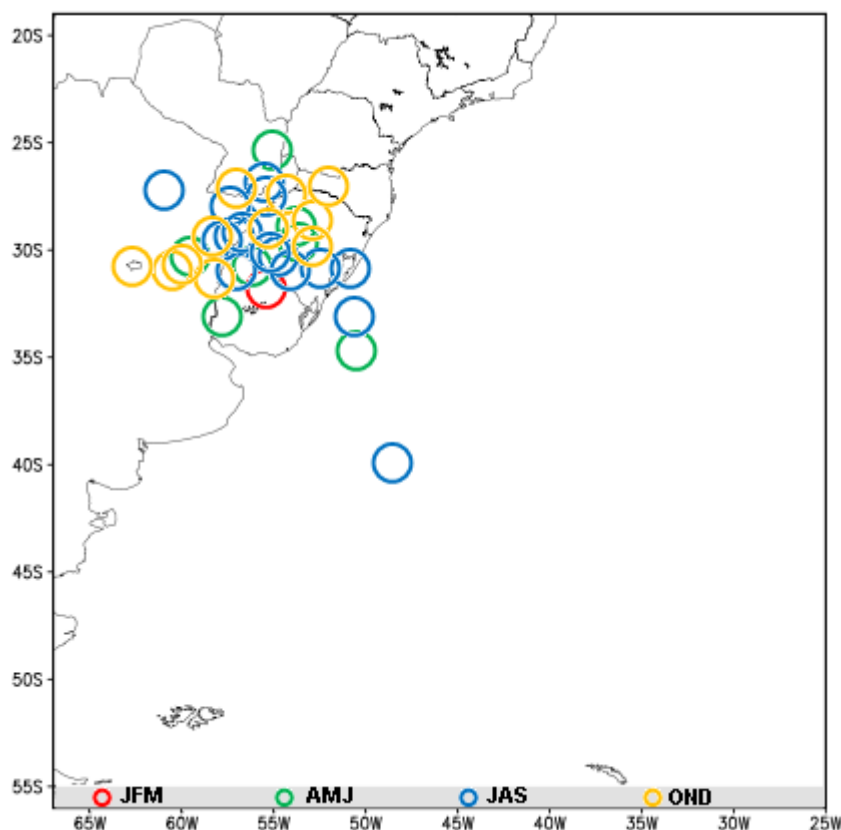


Figura 13. Distribuição sazonal da região preferencial de formação dos SCM_{GRA} observados entre 2004 e 2008.

Outro fator muito importante que justifica a ocorrência da formação dos SCM_{GRA} no nordeste da Argentina entre JFM e OND é o JBN, cuja atuação na região é mais intensa nesta época, fornecendo calor e umidade que potencializam a convecção (CAMPOS; EICHHOLZ, 2011). No noroeste do RS, além dos fatores já citados, há ainda a convergência noturna no vale do rio Paraná, o fluxo de umidade oceânica associado à circulação da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), as frentes frias e também a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) como possíveis causadores da máxima atividade convectiva (SAKAMOTO, 2009).

Quanto aos meses frios (AMJ e JAS), a principal causa para o deslocamento da região preferencial de formação dos SCM_{GRA} para o sudoeste do RS e noroeste do Uruguai, pode estar relacionada à passagem de SF. De acordo com Siqueira e Marques (2008) a propagação e a intensificação da convecção que ocorrem ao longo das frentes frias contribuem fortemente para o desenvolvimento de SCM.

Analizou-se também a distribuição sazonal das regiões preferenciais de formação dos SCM_{GRA} de acordo com cada tipo de sistema considerado neste estudo (Figura 14). Observa-se que, grande parte dos 31 SCM_{GRA-C} (Figura 14a) tiveram iniciação entre o oeste do RS e o nordeste da Argentina, o que já era esperado, uma vez que 92% de todos os SCM_{GRA} foram classificados como de origem continental. Os fatores que contribuem para o nascimento preferencial de SCM_{GRA-C} entre o oeste do RS e o nordeste da Argentina foram mencionados anteriormente, e envolve, em suma, a topografia local e também aspectos termodinâmicos favoráveis à formação de SCM.

Dentre os SCM_{GRA-O} (Figura 14b), o número reduzido de casos dificulta a análise de uma região preferencial, porém nota-se que dos três SCM_{GRA-O} observados entre 2004 e 2008, dois se formaram bem próximo à costa do sul do RS, que de acordo com Reboita (2008), trata-se de uma região ciclogênética. Ainda, Sakamoto (2009) num estudo sobre SCM no sul da AS no verão de 2002/2003, observou que a região costeira do RS era uma das mais propícias a formação de SCM oceânicos. As correntes marítimas quentes, associadas a corrente do Brasil, podem desempenhar o papel de fonte de calor latente e sensível, aumentando a transferência de calor do oceano para a atmosfera, e desta forma, reduzindo a estabilidade estática da atmosfera (SINCLAIR, 1996; DOSWELL; BOSART, 2001).

Os SCM_{GRA-D} (Figura 14c) formaram-se principalmente numa área concentrada no oeste do RS e regiões adjacentes, possivelmente associados a fatores locais, como a topografia e a convergência noturna no vale do rio Paraná (CAMPOS; EICHHOLZ, 2011; SAKAMOTO, 2009). Por outro lado, os SCM_{GRA-N} (Figura 14d) formaram-se em uma ampla área, sem uma região específica de maior concentração. Houve iniciações no centro do RS, noroeste do Uruguai, nordeste da Argentina, sul do Paraguai e no sul do Oceano Atlântico. Sakamoto (2009) observou

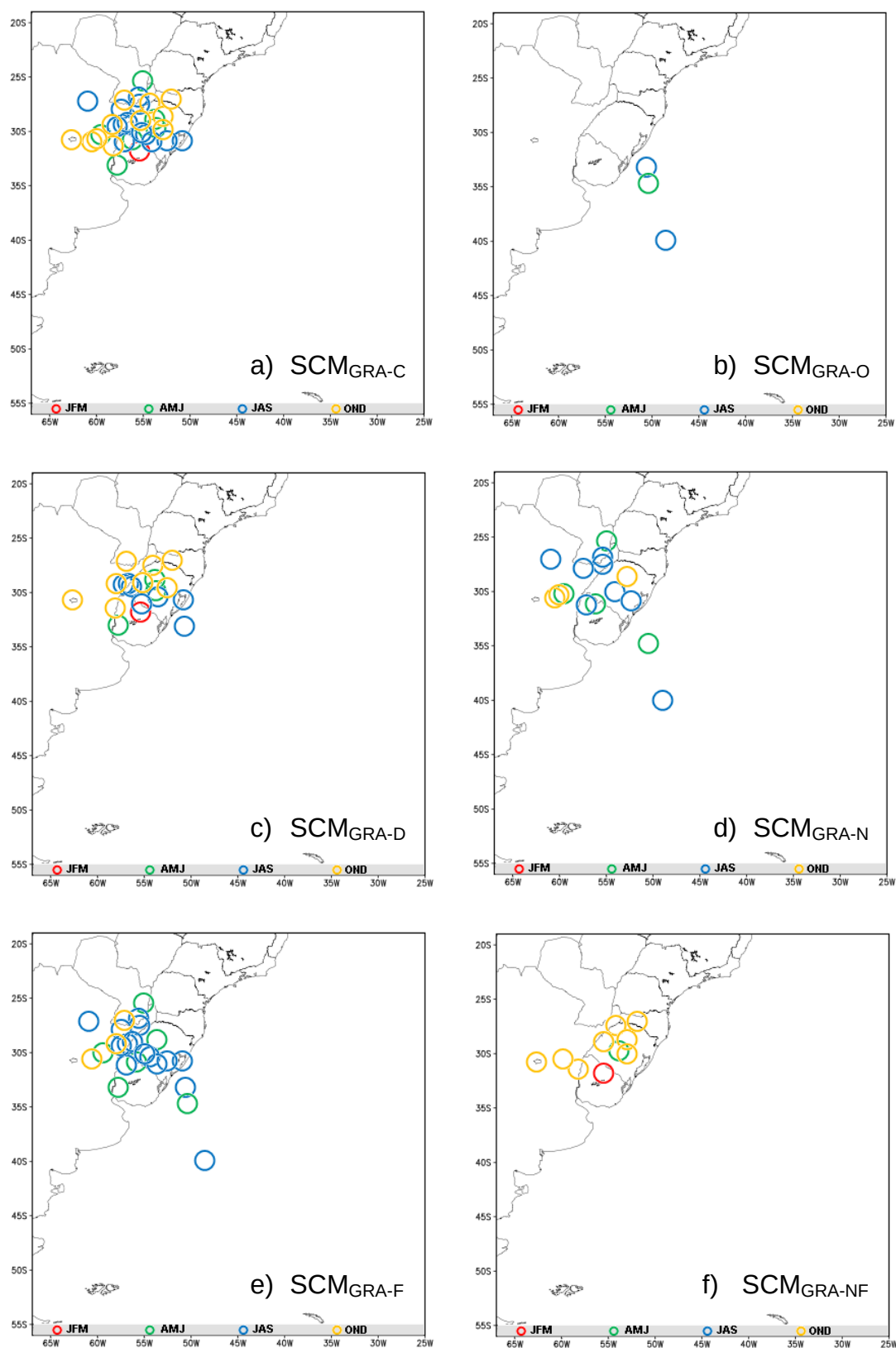


Figura 14. Distribuição sazonal da região preferencial de formação de cada um dos tipos de SCM_{GRA} observados entre 2004 e 2008. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e) SCM_{GRA-F} , f) SCM_{GRA-NF} .

que os fatores pré-condicionantes à formação de SCM noturnos no sudeste da AS estavam associados ao aquecimento diurno remanescente na camada limite convectiva, à presença do JBN, ao cavado em 500 hPa e à circulação transversa, enquanto para o disparo da convecção os principais elementos foram os SF e o fluxo catabático dos Andes. Todos esses fatores, de fato, são comuns na extensa região onde ocorreram as formações dos SCM_{GRA-N} .

Em relação aos SCM_{GRA-F} (Figura 14e), nota-se que a região com maior densidade de formação dos sistemas estende-se numa faixa diagonal de sudeste para noroeste, englobando principalmente a região de divisa do RS com o Uruguai, além do nordeste da Argentina, sul do Paraguai e sul do Oceano Atlântico, compatível com as áreas mais atingidas por SF no sudeste da AS (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009). Por outro lado, os SCM_{GRA-NF} (Figura 14f) tiveram como região preferencial de formação o noroeste do RS, além de casos isolados entre o nordeste da Argentina e o noroeste do Uruguai. O resultado era esperado, uma vez que os eventos de SCM não associados à SF são modulados por fatores termodinâmicos de escala local (SIQUEIRA; MARQUES, 2008) que, conforme mencionado anteriormente, estão mais presentes naquelas regiões.

4.3 Deslocamento dos SCM_{GRA}

A análise dos resultados mostrou que 85% dos SCM_{GRA} se deslocaram para leste (Tabela 1), sendo para nordeste o quadrante preferencial (55%). Em relação aos seis diferentes tipos de SCM_{GRA} considerados neste estudo, cinco (SCM_{GRA-C} , SCM_{GRA-D} , SCM_{GRA-N} , SCM_{GRA-F} e SCM_{GRA-NF}) apresentaram deslocamento preferencial para leste e apenas um (SCM_{GRA-O}) para oeste. O deslocamento médio total e sazonal e os deslocamentos individuais totais e sazonais dos 34 SCM_{GRA} são apresentados na Figura 15, corroborando os resultados apresentados na Tabela 1. De maneira geral (Figura 15a) nota-se que o deslocamento preferencial é de oeste para leste, similar à circulação de grande escala em latitudes médias. Vários autores (VELASCO, FRITSCH, 1987; GUEDES et al., 1994; NICOLINI et al., 2002; CAMPOS, EICHHOLZ, 2011; SIQUEIRA, MARQUES, 2008) mostram que esse deslocamento preferencial é explicado em grande parte pela incursão de SF, pela

atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e também pelo gradiente zonal de temperatura, que geram uma circulação neste sentido. Sazonalmente, apenas JFM (Figura 15b) apresentou deslocamento no sentido oposto, de leste para oeste. Porém, o trimestre JFM registrou a ocorrência de apenas um SCM_{GRA} durante os cinco anos compreendidos no estudo, o que não é suficiente para se determinar um deslocamento médio. Por este motivo, na análise detalhada de deslocamento sazonal, não serão avaliados os resultados do trimestre JFM. Os demais trimestres (Figuras 15c, 15d e 15e) apresentaram deslocamentos preferenciais para leste, sendo que no trimestre AMJ (Figura 15c) o deslocamento preferencial é para sudeste, enquanto nos trimestres JAS (Figura 15d) e OND (Figura 15e) os deslocamentos preferenciais são para nordeste. O deslocamento para sudeste no trimestre AMJ pode ser explicado pela atuação de SF estacionários, conforme observado por Sakamoto (2009) num estudo sobre SCM na região subtropical da América do Sul, em que a autora observou que 42% dos sistemas que se deslocaram para leste, tinham uma componente para sul. Camargo et al. (2014) observaram que os SCM_{ES} ocorridos no trimestre AMJ também apresentaram deslocamento médio para sudeste, o que segundo os autores ocorreu devido a incursão de SF estacionários. Nos trimestres JAS e OND, segundo Rasera (2013), os SCM podem ser modulados pela incursão de SF não estacionários (JAS) ou pelo aquecimento diurno (OND), o que explicaria o deslocamento preferencial para nordeste nestes períodos.

A análise sazonal para o trimestre AMJ dos seis diferentes tipos de SCM_{GRA} considerados neste estudo é apresentada na Figura 16. Pode-se observar que todos os tipos de SCM_{GRA} apresentaram deslocamento preferencial para leste, exceto o SCM_{GRA-O} (Figura 16b), com apenas uma ocorrência neste trimestre, que apresentou deslocamento para oeste. Embora haja uma preferência dos SCM na AS se deslocarem para leste por motivos já mencionados anteriormente, fatores termodinâmicos podem influenciar alguns SCM a deslocarem no sentido oposto (CAMPOS; MARIA, 2014). Dentre os tipos de SCM_{GRA} observados em AMJ que se deslocaram para leste, apenas os SCM_{GRA-N} tiveram deslocamento preferencial para o quadrante nordeste. Os demais apresentaram deslocamento preferencial para o quadrante sudeste. O fato de os SCM_{GRA-F} (Figura 16e) apresentarem deslocamento

preferencial para sudeste contraria o relatado por Siqueira e Marques (2008), que descrevem a preferência deste tipo de SCM se deslocar para nordeste em função da interação com os SF, que apresentam deslocamento preferencial neste mesmo sentido na AS. Uma possível explicação para o movimento em sentido contrário ao relatado por outros autores é a presença do JBN. Este fenômeno, comum em casos de SCM_{GRA}, transporta ar quente e úmido do norte do Brasil em direção ao sudeste da AS na direção noroeste-sudeste (MARENGO et al., 2004; SALIO et al., 2007; SANTOS et al., 2008).

Tabela 1. Direção e quadrante médio preferencial de deslocamento total e para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008.

SCM _{GRA}	Direção de deslocamento			
Total (34 casos)	Leste - 85%		Oeste - 15%	
	NE - 55%	SE - 45%	NO - 80%	SO - 20%
Continental (31 casos)	Leste - 90%		Oeste - 10%	
	NE - 56%	SE - 44%	NO - 100%	SO - 0%
Oceânico (3 casos)	Leste - 33%		Oeste - 67%	
	NE - 0%	SE - 100%	NO - 50%	SO - 50%
Diurno (19 casos)	Leste - 84%		Oeste - 16%	
	NE - 56%	SE - 44%	NO - 100%	SO - 0%
Noturno (15 casos)	Leste - 88%		Oeste - 12%	
	NE - 47%	SE - 53%	NO - 50%	SO - 50%
Frontal (24 casos)	Leste - 87%		Oeste - 13%	
	NE - 48%	SE - 52%	NO - 67%	SO - 33%
Não-frontal (10 casos)	Leste - 80%		Oeste - 20%	
	NE - 75%	SE - 25%	NO - 100%	SO - 0%

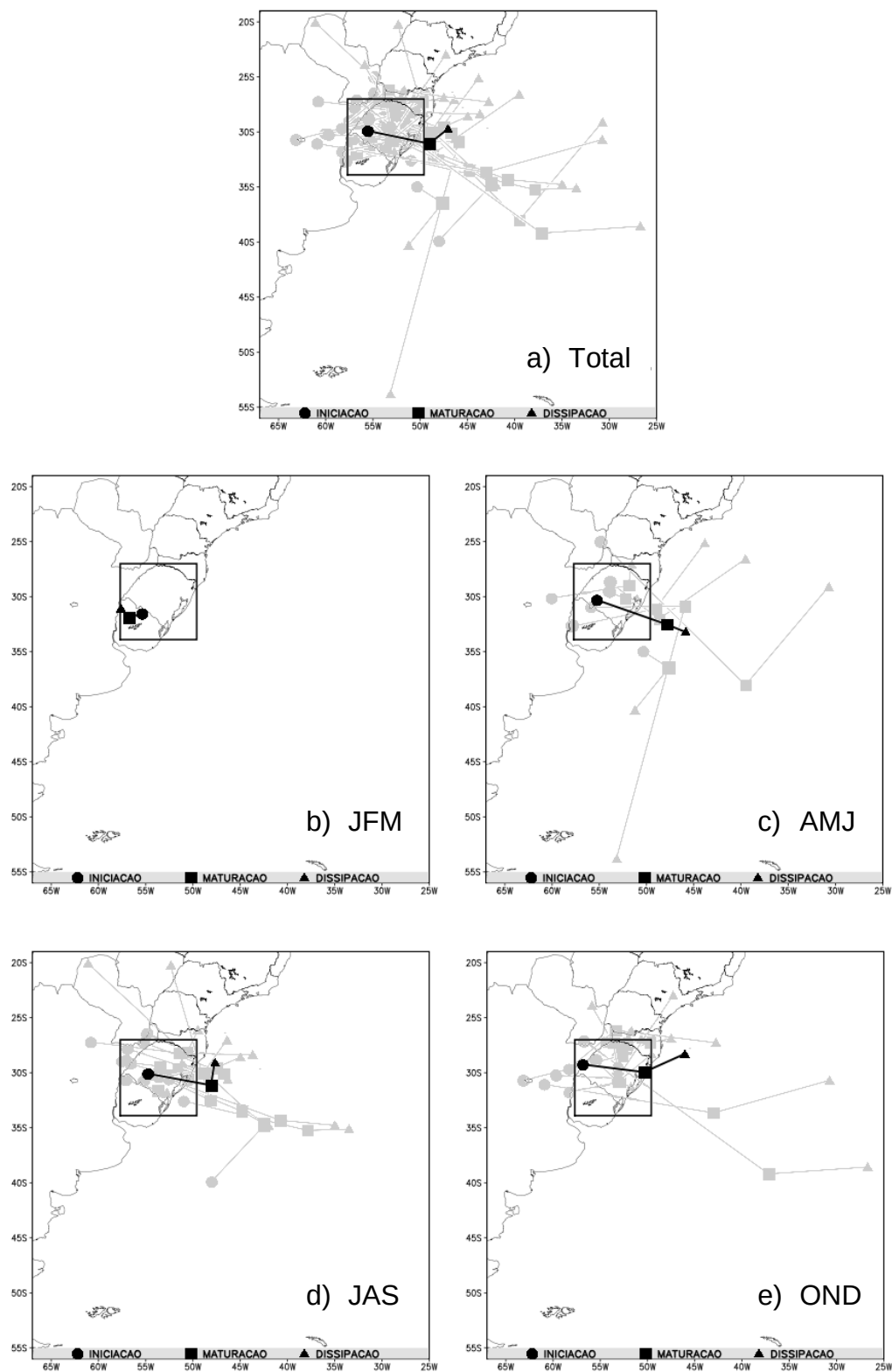


Figura 15. Deslocamento médio preferencial (linha preta) total e sazonal dos SCM_{GRA} no período de 2004 a 2008 e os deslocamentos individuais de cada SCM_{GRA} (linhas cinzas). a) Total, b) JFM, c) AMJ, d) JAS e e) OND.

A Figura 17 mostra os deslocamentos preferenciais dos diferentes tipos de SCM_{GRA} durante o trimestre JAS. Nota-se muita semelhança entre todos os tipos exceto o SCM_{GRA-O} (Figura 17b), que apresentou um comportamento diferente dos demais. Os SCM_{GRA-C} (Figura 17a), SCM_{GRA-D} (Figura 17c), SCM_{GRA-N} (Figura 17d) e SCM_{GRA-F} (Figura 17e) apresentaram deslocamento preferencial para leste, com predomínio da componente zonal nos deslocamentos médios. Os SCM_{GRA-O} , embora também tenham apresentado deslocamento preferencial para leste, mostraram-se com predomínio da componente meridional no deslocamento médio. Sakamoto (2009) num estudo sobre SCM de origem continental e oceânica na AS, observou que embora o JBN fosse de suma importância para a formação e deslocamento dos SCM de origem continental, ao mesmo tempo era pouco relevante para os SCM de origem oceânica, o que explica o resultado apresentado neste estudo. Não houve a ocorrência de SCM_{GRA-NF} neste trimestre.

Para o trimestre OND os resultados dos deslocamentos médios e individuais para cada tipo de SCM_{GRA} são apresentados na Figura 18. Novamente os deslocamentos são semelhantes para todos os tipos, sendo preferencialmente para o quadrante nordeste em todos os casos exceto para os SCM_{GRA-F} (Figura 18d), que apresentaram deslocamento médio para o quadrante sudeste. O gradiente térmico zonal é mais intenso nesta época do ano, quando o continente apresenta aquecimento enquanto o oceano e áreas adjacentes permanecem com temperaturas mais baixas, fator que segundo diversos autores (GUEDES et al., 1994; NICOLINI et al., 2002; SIQUEIRA, MARQUES; 2008) favorece o deslocamento dos SCM para leste. Não houve ocorrência de SCM_{GRA-O} neste trimestre.

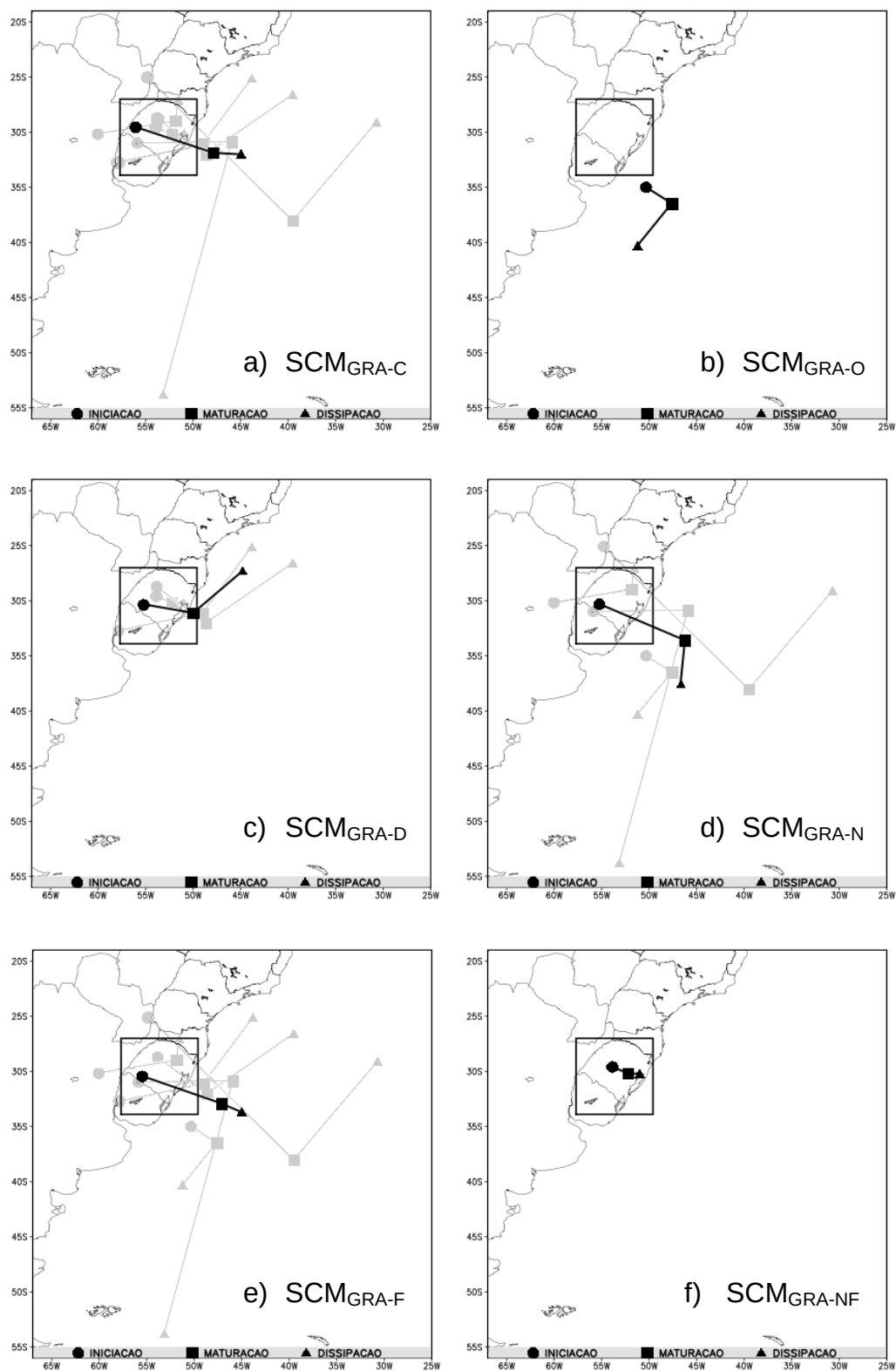


Figura 16. Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre AMJ. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e) SCM_{GRA-F} e f) SCM_{GRA-NF} .

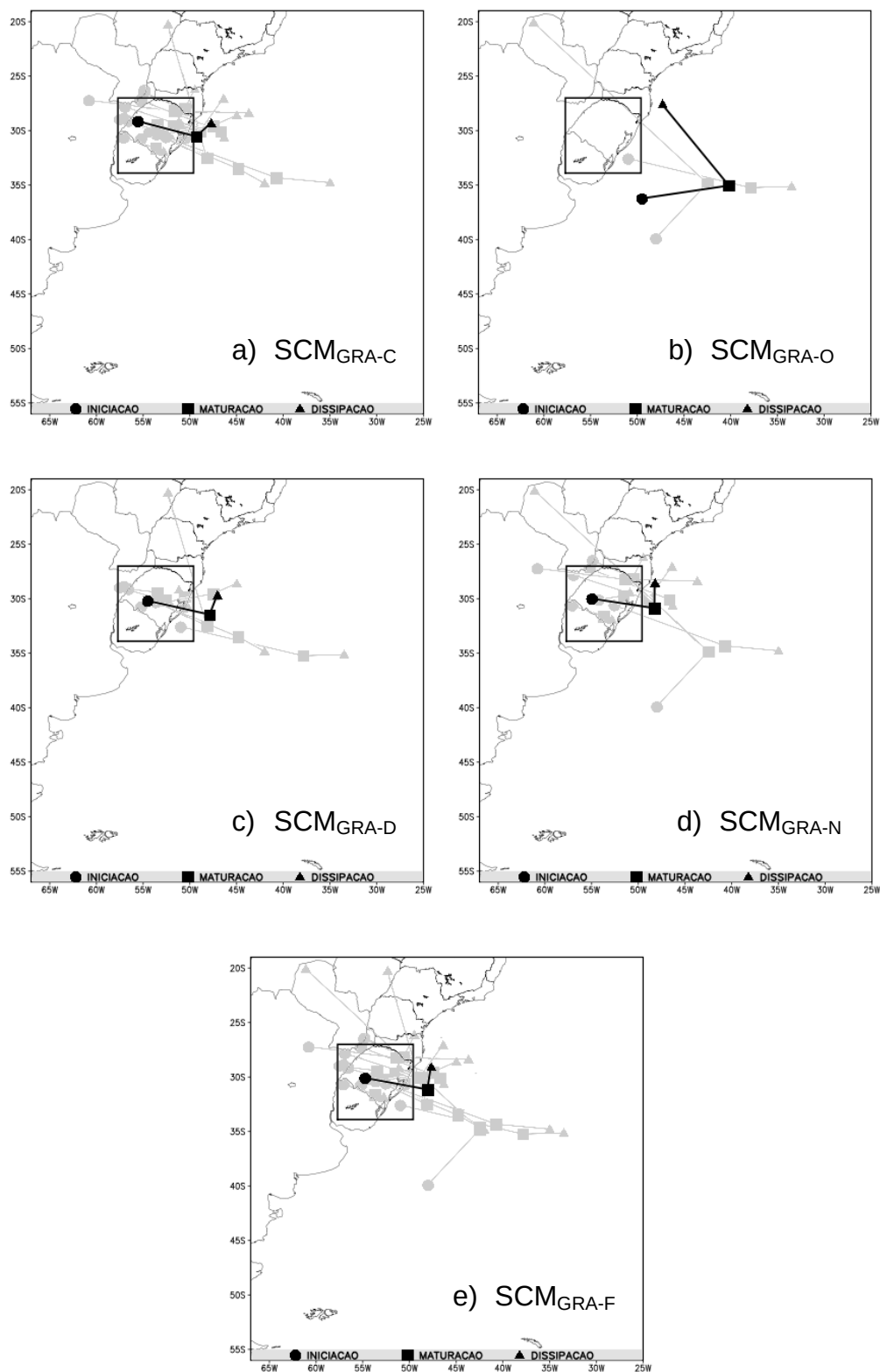


Figura 17. Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre JAS. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-O} , c) SCM_{GRA-D} , d) SCM_{GRA-N} , e e) SCM_{GRA-F} .

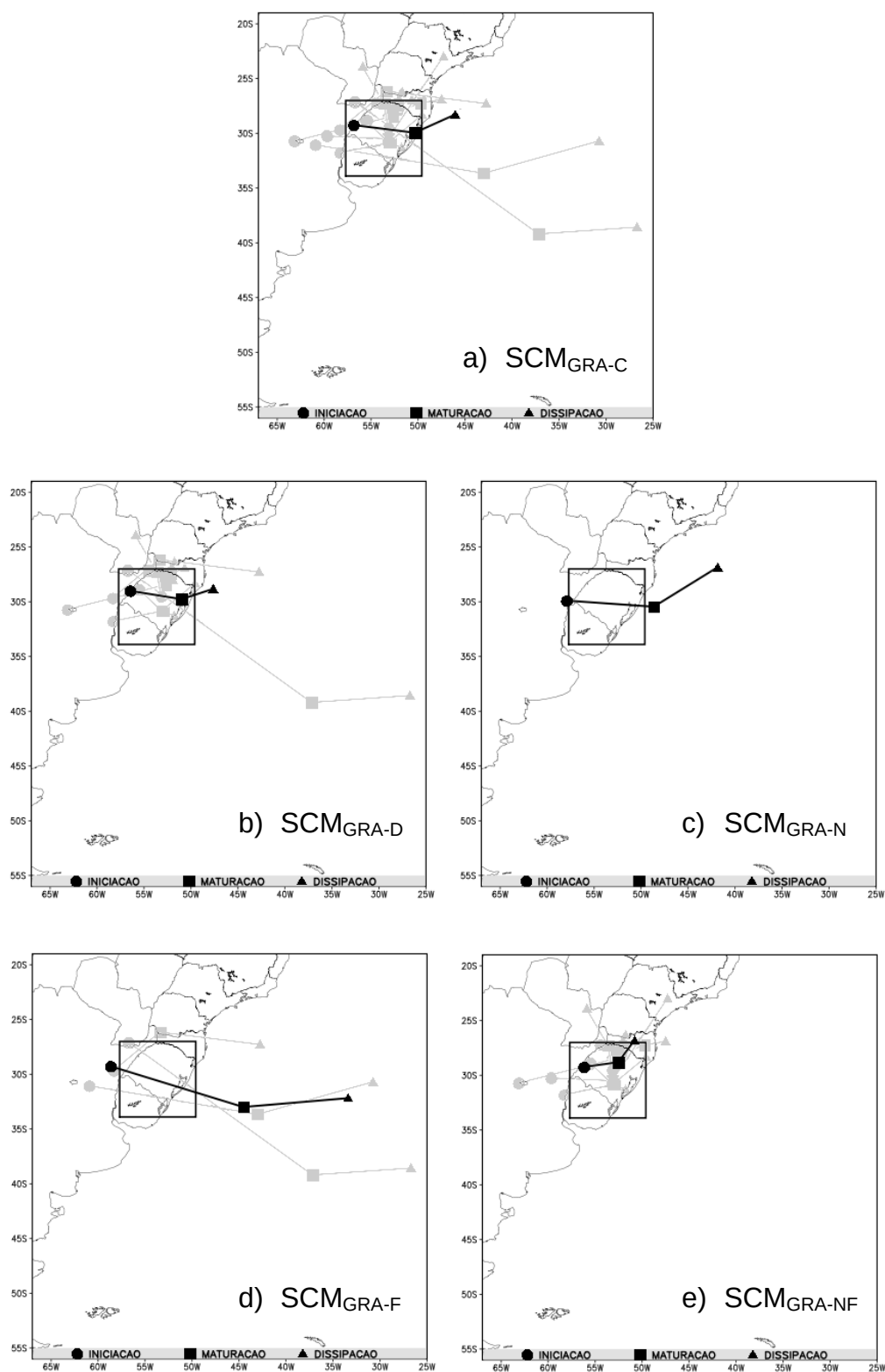


Figura 18. Deslocamento médio preferencial (linha preta) e deslocamentos individuais (linhas cinzas) para cada tipo de SCM_{GRA} observado entre 2004 e 2008 no trimestre OND. a) SCM_{GRA-C} , b) SCM_{GRA-D} , c) SCM_{GRA-N} , d) SCM_{GRA-F} , e e) SCM_{GRA-NF} .

4.4 Análise do tipo mais frequente de SCM_{GRA}

Conforme mencionado no item 4.1, o tipo mais frequente de SCM_{GRA} observado durante o período abordado no estudo foi continental, diurno e frontal ($SCM_{GRA-CDF}$), totalizando 10 casos. Neste item serão analisados a distribuição total e sazonal das regiões preferenciais de formação, os deslocamentos preferenciais e a atuação dos $SCM_{GRA-CDF}$.

A distribuição geográfica das regiões preferenciais de formação dos $SCM_{GRA-CDF}$ é apresentada na Figura 19. Observa-se que as formações ficaram concentradas principalmente entre o oeste do RS e o nordeste da Argentina, coincidindo com os locais preferenciais de formação dos SCM_{GRA-C} (Figura 14a), SCM_{GRA-D} (Figura 14c) e SCM_{GRA-F} (Figura 14e). Esta região é comumente afetada pelo JBN, que transporta o ar quente e úmido da região amazônica em direção ao sudeste da AS, estimulando a convecção e contribuindo assim para a formação de SCM (MARENGO et al., 2004). O maior aquecimento diurno típico de regiões mais continentais e a frequente passagem de SF também são fatores determinantes para a formação dos $SCM_{GRA-CDF}$ entre o oeste do RS e o nordeste da Argentina (MAPES et al., 2003; CAVALCANTI; KOUSKY, 2009).

Sazonalmente nota-se que nos trimestres frios (AMJ e JAS), as formações dos $SCM_{GRA-CDF}$ apresentaram uma organização ligeiramente diagonal, no sentido noroeste-sudeste, correspondente a posição preferencial dos SF que atingem a AS (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009). No trimestre temperado quente (OND) os dois $SCM_{GRA-CDF}$ observados no estudo formaram-se no interior do continente, sendo um no nordeste da Argentina e outro no sul do Paraguai, possivelmente associados ao JBN e ao aquecimento diurno, típicos daquela área.

A Figura 20 mostra o deslocamento médio total e sazonal e os deslocamentos individuais totais e sazonais dos $SCM_{GRA-CDF}$ observados entre 2004 e 2008. Pode-se notar que, de maneira geral, os $SCM_{GRA-CDF}$ deslocaram-se zonalmente de oeste para leste (Figura 20a), acompanhando o deslocamento preferencial verificado para os 34 SCM_{GRA} abordados neste estudo. Este comportamento é esperado, visto que corresponde à circulação em grande escala para latitudes médias. Outros fatores, embora de menor escala, que também contribuem para o deslocamento preferencial

de oeste para leste são a incursão de SF e o gradiente zonal de temperatura (VELASCO; FRITSCH, 1987; SIQUEIRA; MARQUES, 2008).

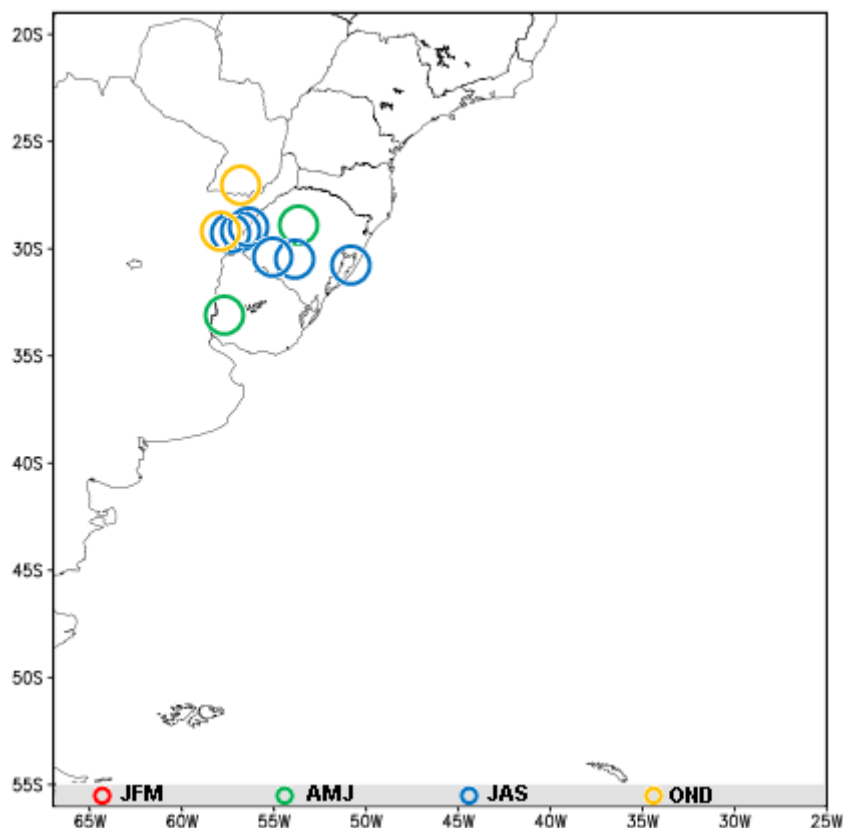


Figura 19. Distribuição sazonal da região preferencial de formação dos $SCM_{GRA-CDF}$ observados entre 2004 e 2008.

Durante os trimestres frios (AMJ e JAS, Figuras 20b e 20c), os $SCM_{GRA-CDF}$ deslocaram-se preferencialmente para o quadrante nordeste, possivelmente associados à passagem mais frequente de SF nestes períodos, pois estes deslocam-se preferencialmente de sudoeste para nordeste na AS (CAVALCANTI; KOUSKY, 2009). No entanto, para o trimestre OND (Figura 20d) foi observado deslocamento preferencial para sudeste, que pode ser explicado pela maior atividade do JBN nesta época do ano, atuando meridionalmente de norte para sul (MARENGO et al., 2004).

A descrição das áreas afetadas pelos $SCM_{GRA-CDF}$ durante os 5 anos de estudo estão detalhados na Tabela 2. No total foram 31 municípios gaúchos atingidos por granizo, sendo que 71% deste montante ocorreram no trimestre de JAS. Este foi também o trimestre de maior percentual de municípios que declararam

situação de emergência. Enquanto em AMJ e OND, 50% dos municípios atingidos por granizo declararam emergência, em JAS foi 83%, o que evidencia a severidade dos SCM_{GRA} ocorridos neste período. Porém, o resultado não surpreende, uma vez que Campos e Rasera (2014) observaram que o trimestre JAS reuniu o maior

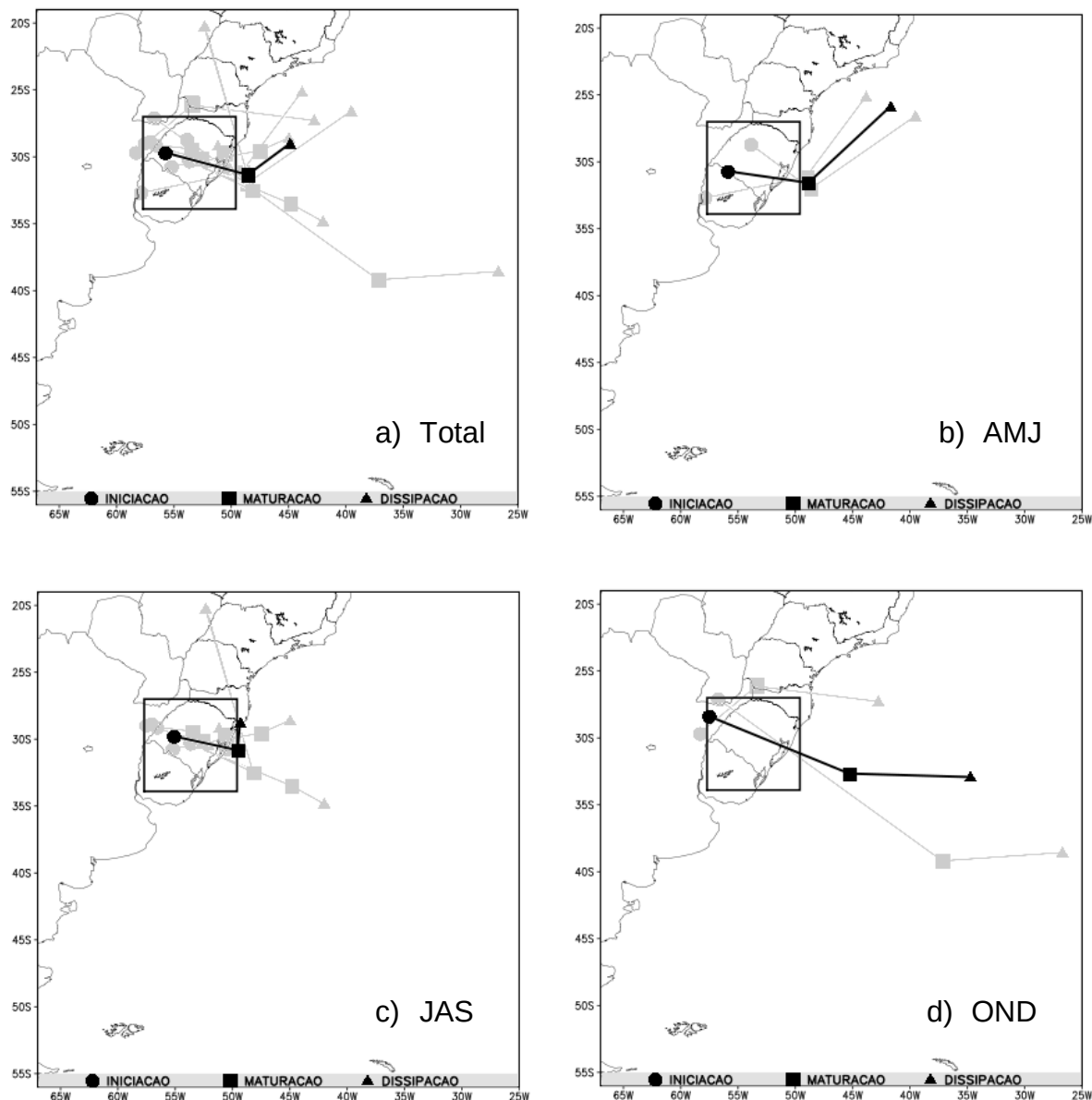


Figura 20. Deslocamento médio preferencial (linha preta) total e sazonal dos SCM_{GRA-CDF} no período de 2004 a 2008 e os deslocamentos individuais de cada SCM_{GRA-CDF} (linhas cinzas). a) Total, b) AMJ, c) JAS e d) OND.

Tabela 2. Descrição das áreas afetadas pelos SCM_{GRA-CDF} que atingiram o RS entre 2004 e 2008.

	Municípios atingidos por granizo	Declarou situação de emergência		Locais atingidos			Pessoas atingidas	Municípios com danos na agricultura
		Sim	Não	Rural	Urbana	Ambos		
Total	31	18	13	3	10	18	16559	10
AMJ	3	2	1	0	1	2	991	1
JAS	22	12	10	2	9	11	7733	4
OND	6	4	2	1	0	5	7835	5

Fonte: DCRS (2016)

número de SCM_{RS} associados a ES durante o período de 2004 a 2008 no RS. Nedel et al. (2012) em um estudo sobre zoneamento de desastres naturais ocorridos no RS entre 1989 e 2009, constatou que no trimestre JAS, juntamente com OND, concentrou-se o maior número de declarações de situação de emergência gerada por granizo.

Dos 31 municípios atingidos por SCM_{GRA-CDF} entre 2004 e 2008, em 18 (58% do total) tanto a área urbana quanto a rural foram afetadas. Em 10 municípios (32%) apenas a área urbana foi atingida e em 3 (10%) apenas a área rural sofreu danos. No total foram 16.559 pessoas diretamente afetadas pelo granizo durante os 5 anos abordados neste estudo, sendo a maior parte, desalojados. Na área urbana a ocorrência mais comum verificada foi destelhamento. Na zona rural os principais danos notificados foram perdas totais ou parciais em lavouras de fumo, milho, trigo, feijão, pessegueiro, parreiras e hortaliças, e também a destruição parcial de galpões e estufas. De acordo com o levantamento realizado, dos 31 municípios atingidos por SCM_{GRA-CDF}, 10 (32% do total) registraram danos na agricultura.

A distribuição geográfica total do número de municípios atingidos por granizo durante a passagem dos SCM_{GRA-CDF} pelo RS entre 2004 e 2008 (Figura 21a) mostra que a REDEC mais afetada foi a da Região Metropolitana de Porto Alegre, onde 11 municípios sofreram danos, ou 35% do total verificado nos 5 anos. As REDECs de Pelotas e Santa Maria tiveram 5 municípios atingidos cada. Na REDEC de Uruguaiana foram 4, Santo Ângelo 3 e Imbé, Lageado e São Luiz Gonzaga com 1 município cada. As demais REDECs não registraram nenhum município com danos por granizo decorrentes da passagem dos 10 SCM_{GRA-CDF}.

A maior ocorrência na REDEC Porto Alegre deve-se possivelmente, não apenas a maior densidade populacional daquela área, uma vez que abrange cerca

de 40% da população estadual, mas também a fatores termodinâmicos associados ao ciclo de vida dos $SCM_{GRA-CDF}$. Conforme mostrado na Figura 20a, a trajetória média dos 10 $SCM_{GRA-CDF}$ apresenta deslocamento sobre a região de Porto Alegre entre o período de iniciação e maturação, quando ocorre a maior parte dos ES associados a atuação de SCM (Anabor, 2004).

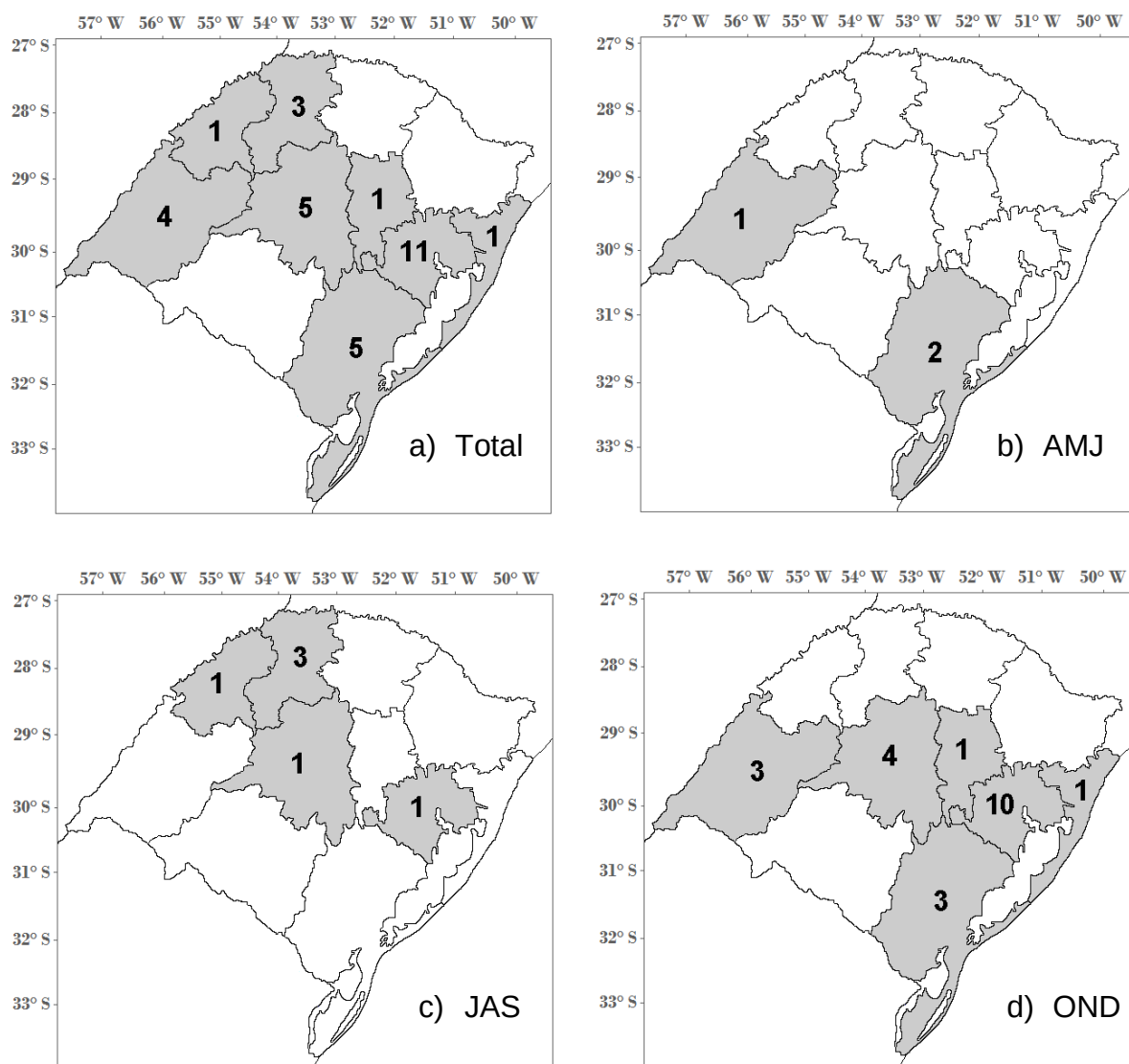


Figura 21. Distribuição geográfica total e sazonal do número de municípios atingidos por granizo durante a passagem de $SCM_{GRA-CDF}$ entre 2004 e 2008 em cada REDEC. a) Total, b) AMJ, c) JAS e d) OND.

A distribuição geográfica sazonal do número de municípios atingidos por granizo durante a passagem de $SCM_{GRA-CDF}$ é apresentada nas Figuras 21b, 21c e

21d. No trimestre AMJ (Figura 21b) apenas as REDECs de Pelotas e Uruguaiana foram atingidas, ambas na região de fronteira com o Uruguai. Em JAS (Figura 21c) as REDECs de Porto Alegre, Santa Maria, Santo Ângelo e São Luiz Gonzaga registraram danos. No último trimestre do ano (Figura 21d) as REDECs atingidas foram as de Porto Alegre, Pelotas, Santa Maria, Uruguaiana, Lajeado e Imbé.

Analisando-se a distribuição total e sazonal das REDECs atingidas (Figura 21), nota-se forte relação com a distribuição total e sazonal dos deslocamentos médios preferenciais dos $SCM_{GRA-CDF}$ entre 2004 e 2008 (Figura 20). No trimestre AMJ, quando o deslocamento médio preferencial esteve localizado sobre a metade sul gaúcha (Figura 20b), as REDECs atingidas foram Pelotas e Uruguaiana (Figura 21b), localizadas também na metade sul do RS. Por outro lado, nos trimestres de JAS e OND (Figuras 20c e 20d), o deslocamento médio preferencial esteve localizado sobre o centro do RS, e as REDECs atingidas nestes trimestres (Figuras 21c e 21d), estão também localizadas majoritariamente na região central gaúcha.

Destaca-se ainda que, todas as REDECs atingidas por granizo durante a passagem de $SCM_{GRA-CDF}$ entre 2004 e 2008, estavam na rota dos deslocamentos médios preferenciais na fase entre a iniciação e a maturação, que, conforme já mencionado anteriormente, é a fase em que ocorre grande parte dos ES associados à atuação de SCM (Anabor, 2004).

5. Conclusões

Os resultados deste trabalho mostraram que a maioria dos SCM_{GRA} são de origem continental, diurna e frontal. Nos períodos quentes (JFM e OND) os SCM_{GRA} de origem diurna e não-frontal são predominantes, enquanto nos períodos frios (AMJ e JAS) os SCM_{GRA} de origem noturna e frontal predominam. Os SCM_{GRA} de origem continental são mais frequentes em todos os períodos do ano.

Os SCM_{GRA} formam-se entre o oeste do RS, noroeste do Uruguai, nordeste da Argentina e sul do Paraguai. Sazonalmente, os meses quentes (JFM e OND) mostram-se mais propícios à formação de SCM_{GRA} entre o noroeste do RS e nordeste da Argentina, enquanto nos meses frios (AMJ e JAS) os SCM_{GRA} formam-se principalmente no sudoeste do RS e noroeste do Uruguai.

No total 85% dos SCM_{GRA} deslocam-se para leste, preferencialmente para o quadrante nordeste. Dos seis diferentes tipos de SCM_{GRA} analisados neste estudo (SCM_{GRA-C} , SCM_{GRA-O} , SCM_{GRA-D} , SCM_{GRA-N} , SCM_{GRA-F} e SCM_{GRA-NF}), apenas os SCM_{GRA-O} apresentam deslocamento preferencial para oeste.

O tipo mais frequente de SCM_{GRA} forma-se principalmente entre o oeste do RS e nordeste da Argentina, e apresenta deslocamento preferencial para leste. As REDECs mais atingidas por estes sistemas são as de Porto Alegre, Pelotas e Santa Maria. Um terço dos municípios gaúchos atingidos por estes sistemas registraram perdas na agricultura.

Referências Bibliográficas

ANABOR, V. **Análise descritiva dos Sistemas Convectivos de Mesoescala meso- α através das imagens de satélite GOES-8**. 2004, 78 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ALVES, M. A. A.; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G. Horário preferencial de iniciação, maturação e dissipação dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que geraram granizo no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008 e região preferencial de formação. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFPEL, 16.2014, Pelotas. **Trabalhos online...** Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/enpos/anais/anais2014/>> Acesso em: 03 mai. 2016

BACELAR, L. C.; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W. Mesoscale convective systems related to the occurrence of severe weather events in Rio Grande do Sul-Brazil, in JFM and JAS from 2004 to 2008. In: EUROPEAN CONFERENCE ON SEVERE STORMS, 6.2011, Palma de Mallorca, Balearic Islands, Spain. **Trabalhos online...** Disponível em: <<http://www.essl.org/ECSS/2011/programme/abstracts/178.pdf>> Acesso em: 28 set. 2015.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; PUCHALSKI, L. Precipitação pluvial normal e riscos de ocorrência de deficiência pluviométrica e deficiência hídrica no Rio Grande do Sul: ênfase para a metade sul do Estado. In: SEMINÁRIO SOBRE ÁGUA NA PRODUÇÃO DE FRUTÍFERAS, 68. 2000a, Pelotas. **Anais do...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2000a, p. 67-81.

BERLATO, M. A.; MELO, R. W.; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000b.

BONNER, W. D. Case Study of Thunderstorm Activity in Relation to the Low Level Jet. **Monthly Weather Review**, v. 94, n. 3, p. 167-178, 1966.

CAMARGO, F. J. C.; ALVES, M. A. A.; CAMPOS, C. R. J. Trajetória e forma dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o RS e dos que geraram eventos severos entre 2004 e 2008. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UFPEL, 23.2014, Pelotas. **Trabalhos online...** Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/cic/anais/anais2014/>> Acesso em: 02 mai. 2016

CAMPOS, C. R. J.; EICHHOLZ, C. W. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, p. 331-345, 2011.

CAMPOS, C. R. J.; MARIA, D. M. Ocorrência de granizo associada a um SCM que afetou o Rio Grande do Sul em Agosto de 2006. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 1, p. 46-60, 2014.

CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G. Análise sazonal dos SCM que geraram eventos severos no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008. **Ciência e Natura**, v. 36, n. 3, p. 481-491, 2014.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOWSKY, V. E. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. 1ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-146.

CHONG, M.; AMAYENC, P.; SCIALOM, G.; TESTUD, J. A tropical squall line during the COPT81 experiment in West Africa. Part 1: kinematic structure inferred from dual-Doppler radar data. **Monthly Weather Review**, v. 115, p. 670-694, 1987.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geosystems: An Introduction to Physical Geography**, Pearson Education, Inc, 7th ed, 2009.

CUNHA, G. R.; SCHEEREN, P. L.; SILVA, M. S. **Granizo e Cereais de Inverno no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 24 p. (Embrapa Trigo. Documento, 33) Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/granizo/>>. Acesso em: 12 set. 2015.

DCRS – DEFESA CIVIL DO RS. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

DIAS, M. A. F. S.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. **Tempo e clima no Brasil**. 1ªed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 181-194.

DOSWELL, C. A.; BOSART, L. F. Extratropical Synoptic-Scale Processes and Severe Convection. **Meteorological Monographs**, v. 28, n. 50, p. 27-69, 2001.

DURKEE, J. D.; MOTE, T. L. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. **International Journal of Climatology**, 2009.

Disponível em: < <http://www3.interscience.wiley.com/journal/122267214/abstract> >
 acesso em: 24 jun 2015.

EDEN, P.; TWIST, C. **Gran Enciclopedia de Bolsillo: Tiempo y Clima**. Barcelona: Editora Molino, 1997. 160p.

EICHHOLZ, C. W. **Características físicas dos sistemas convectivos de mesoescala que afetaram o RS no período de 2004 a 2008**. 2011, 102 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – UFPel, Pelotas.

FELIX, R. R.; MARTINS, J. A. Análise das tempestades severas relacionadas à ocorrência de granizo na região sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17. 2012, Gramado. **Anais do...** SBMET, 2012.

FRANK, W. M. Atlantic tropical systems of 1969. **Monthly Weather Review**, v. 98, p. 307-314, 1970.

GLICKMAN, T. S. **Glossary of meteorology**. Boston: American Meteorological Society. 2000, p. 855.

GRIMM, A. **Meteorologia Básica - Cap. 6: Condensação, nuvens e precipitação**, set. de 1999. Notas de Aula. Disponível em:
 <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/cap6/cap6-3-1.html>>. Acesso em: 6 out. 2015.

GUEDES, R. L. **Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a região central da América do Sul**. 1985, 89 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - IAG/Universidade de São Paulo, São Paulo.

GUEDES, R. L.; MACHADO, L. A. T.; SILVEIRA, J. M. B.; ALVES, M. A. S.; WALTZ, R. C. Trajetórias dos sistemas convectivos sobre o continente americano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8.1994. **Anais do...** Belo Horizonte/MG, 1994. v. 2, p. 77-80.

HARTER, I. B. **Análise de precipitação em Pelotas-RS utilizando transformada Wavelet de Morlet**. 2004, 85 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2004.

HOUZE, R. A.; BETTS, A. K. Convection in GATE. **Review Geophysical Space Physical**, v. 19, p. 541-576, 1981.

HOUZE, R. A. Mesoscale convective systems. In: HOUZE, R. A. **Cloud dynamics**. Academic Press, Inc, 1993, v. 53, p. 334-404.

ILIINE, V.; MINUZZI, R. B.; ROLIM, J. L. W. Climatologia da precipitação de granizo na região central do estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16.2010, Belém. **Anais do...** SBMET, 2010.

JIRAK, I. L.; COTTON, W. R. Environmental precursors to mesoscale convective system development. In: CONFERENCE ON AVIATION, RANGE, and AEROSPACE, 11 e CONFERENCE ON SEVERE LOCAL STORMS OPENING REMARKS, 22.2004, Hyannis, MA, USA. **Trabalhos online...** Disponível em: <<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/81530.pdf>>. Acesso em: 10 out 2015.

KNIGHT, C. A.; KNIGHT, N. C. Hailstorms. In: DOSWELL III, C. A. **Severe Convective Storms**. American Meteorological Society. Meteorological Monographs, 2001. v. 28, n. 50, p. 223-249.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de desastres: conceitos básicos**. Florianópolis: Editora Organic Trading, 2006. 109 p.

KULICOV, V. A.; RUDNEV, G. V. **Agrometeorologia tropical**. Havana: Científico Técnica, 1980.

LAING, A. G.; FRITSCH, J. M. The global population of mesoscale convective complexes. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 123, p. 2254-2263, 1997.

LAURENT H.; MACHADO, L. A. T.; MORALES, C.; DURIEUX, L. Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems Observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, n. 20, p. 8054, 2002.

MACHADO, L. A. T.; GUEDES, R. L.; SILVEIRA, J. M. B.; WALTZ, R. C.; ALVES, M. A. S. Ciclo de vida de sistemas convectivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8.1994, Belo Horizonte-MG, **Anais do...** Belo Horizonte, 1994, v. 2, p. 323-326.

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. **Monthly Weather Review**, v. 132, n. 4, p. 714-725, 2004.

MADDOX, R. A. Large-scale meteorological conditions associated with midlatitude, mesoscale convective complexes. **Monthly Weather Review**, v. 111, n. 7, p. 1475-1493, 1983.

MAPES, B. E.; WARNER, T. T.; XU, M. Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America. Part I: Observations and context. **Monthly Weather Review**, v. 131, n. 5, p. 799-812, 2003.

MARCELINO, I. P. V. O; MENDONÇA, M.; RUDORFF, F. M. Ocorrências de granizo no estado de Santa Catarina. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 1.2004, Florianópolis-SC. **Anais do...** Florianópolis, 2004. CDROM.

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, n. 12, p. 2261-2280, 2004.

MARKOWSKI, P.; RICHARDSON, Y. **Mesoscale Meteorology in Midlatitudes**. Wiley-Blackwell, 2010. 407p.

MATTOS, E. V. **Relações das propriedades físicas das nuvens convectivas com as descargas elétricas**. 2009, 244 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

NEDEL, A.; SAUSEN, T. M.; SAITO, S. M. Zoneamento dos desastres naturais ocorridos no estado do Rio Grande do Sul no período 1989 – 2009: Granizo e vendaval. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 2, p. 119-126, 2012.

NICOLINI, M.; SAULO, A. C.; TORRES, J. C.; SALIO, P. Enhanced precipitation over Southeastern South América related to strong low-level jet events during austral warm season. **Meteorologica, Special Issue for the South American Monsoon System**, v. 27, p. 59-69, 2002.

PINTO, L. B.; CAMPOS, C. R. J. Ambiente sinótico e perfis verticais de um Sistema Convectivo de Mesoescala. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, n. 1, p. 31-43; 2007.

PRETOR-PINNEY, G. **The Cloudspotter's Guide**. London: Hodder Headline, 2006. 320p.

RASERA, G. Eventos severos gerados por SCM que atingiram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. 2013, 94 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, 2013.

RASERA, G.; CAMPOS, C. R. J. Análise sazonal das regiões do Rio Grande do Sul atingidas por eventos severos gerados por SCM no período de 2004 a 2008. **Anuário do Instituto de Geociências (Online)**, v. 36, n. 2, p. 61-69, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11137/2013_2_61_69>. Acesso em: 19 mai. 2016.

RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C. R. J. Formação e deslocamento dos SCM que afetaram o RS em 2006. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 19, ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 12 e MOSTRA CIENTÍFICA, 2.2010, Pelotas. **Anais do...** Pelotas : Editora e Gráfica da UFPel, 2010. v. 1. p. 34-39.

RASERA, G.; EICHHOLZ, C.W.; CAMPOS, C. R. J. ; VARGAS Jr., V.R.. Precipitação associada à SCM que afetaram o Rio Grande do Sul em OND de 2006. In: CONVENCION INTERNACIONAL SOBRE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO, 8, CONGRESO SOBRE CAMBIO CLIMATICO, 2.2011a, Habana-Cuba. **Trabalhos online...** Disponível em:

<<http://www.cubambiente.com/memorias/2011/IICONGRESOSOBRECAMBIOCLIMATICO.pdf>> Acesso em: 27 nov. 2014.

RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C. R. J.; SILVA, M.V.. Precipitação associada à SCM que afetaram o RS em JFM de 2006. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15.2011b, Curitiba-PR. **Anais do...** CDROM.

REBOITA, M. S. **Ciclones Extratropicais sobre o Atlântico Sul: Simulação Climática e Experimentos de Sensibilidade**. 2008, 294 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – IAG/USP, São Paulo.

REIS, J. T.; MADRUGA, R. A.; NARVAES, I. S.; LIMA JR., E. R.; SAUSEN, T. M.; Avaliação dos desastres naturais ocorridos no Rio Grande do Sul de 2007 a 2011. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE DESASTRES NATURAIS. 2012, Rio Claro. **Anais do...** Rio Claro, 2012.

ROZANTE, J. R. **Experimentos com o modelo regional ETA em diferentes configurações durante o período SALLJEX e mecanismos de mesoescala associados ao desenvolvimento de SCM**. 2008, 206 p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos.

ROUX, F. The west-african squall line observed don 23 june 1981 during COPT81. Kinematics and thermodynamics of the convective region. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 45, p. 406-426, 1988.

RUBIN, L. D.; DUNCAN, J.; HERBERT, H. J.; SCHOENES, J. R. **The Weather Wizard's Cloud Book: How You Can Forecast the Weather Accurately and Easily by Reading the Clouds**. Algonquin Books, 1989. 228p.

SAKAMOTO, M. S. **Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX**. 2009, 243p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – USP, São Paulo.

SAKAMOTO, M. S; MACHADO L. A. T.; AMBRIZZI, T.; GIMENO, L. Life cycle analysis of the SALLJEX convective systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ONSOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 9.2009, Melbourne. **Anais do...** Melbourne. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/events/9icshmo/manuscripts/TH1215_Sakamoto.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2015.

SALIO, P.; NICOLINI, M.; SAULO, A. C. Chaco Low Level Jet Events Characterization during the Austral Summer Season. **Journal Geophysical**

Research, v. 107, 2002.

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

SANTOS, G. M.; CAMPOS, C. R. J.; LIMA, K. C. 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**, v. 26, n. 4, p. 451-468, 2008.

SILVA DIAS, M. A. F. **Complexos convectivos de mesoescala**. Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos. Cachoeira Paulista: CPTEC/INPE, 1996, p. 173-182.

SILVA DIAS, M. A. F. Storms In Brazil. In: PIELKE, R. SR.; PIELKE, R. JR. (Org.). **Storms - hazard and disasters series**. 1 ed. Londres: ROUTLEDGE, 1999, v. 1, p. 207-219.

SIMONS, P. **Radical climates**. Pleasantville/NY: The Reader's Digest Association, Inc, 2009. 160p.

SINCLAIR, M. R. Reply. *Monthly Weather Review*, v. 124, p. 2615-2618, 1996.

SIQUEIRA, J. R. **Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: a propagação meridional da convecção**. 2004, 186p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – INPE, São José dos Campos.

SIQUEIRA, J. R.; MACHADO, L. A. T. Influence of the frontal systems on the day-to-day convection variability over South America. **Journal of Climate**, v. 17, n. 9, p. 1754-1766, 2004.

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. **Monthly Weather Review**, v. 133, n. 5, p. 1045-1064, 2005.

SIQUEIRA, J. R.; MARQUES, V. S. Occurrence frequencies and trajectories of mesoscale convective systems over southeast Brazil related to cold frontal and non-frontal incursions. **Australian Meteorological Magazine**, v. 57, n. 4, p. 345, 2008.

SPMDR - SECRETARIA DO PLANEJAMENTO, MOBILIDADE E DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Disponível em: <<http://planejamento.rs.gov.br/>>. Acesso em: 30 mar. 2016.

TORRES, J. C. **Sistemas convectivos en mesoescala altamente precipitantes en El norte y centro de Argentina**. 2003, 130p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade de Buenos Aires, Buenos Aires.

VARGAS Jr., V. R.; CAMPOS, C. R. J.; EICHHOLZ, C. W.; RASERA, G. Precipitação associada à SCM que afetaram o RS em AMJ de 2006. In: ENCONTRO SUL BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 4.2011a, Pelotas/RS. **Anais do...** Pelotas: ESBMET, 2011a. v. 1, p. 85-95.

VARGAS Jr., V. R.; CAMPOS, C. R. J.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W. Eventos severos que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 7.2011b, Santa Maria/RS. **Trabalhos online...** Disponível em: <http://workshop.micrometeorologia.com/wpcontent/uploads/M%C3%93DULO_ANALIS.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2015.

VARGAS Jr., V. R.; RASERA, G.; EICHHOLZ, C. W.; CAMPOS, C. R. J. Análise da ocorrência de granizo no RS de 2004 a 2008. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 20 e MOSTRA CIENTÍFICA UFPEL, 3.2011c, Pelotas/RS. **Anais do...** Pelotas: CIC UFPEL, 2011c.

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

VERA, C.; BAEZ, J.; DOUGLAS, M.; EMANUEL, C. B.; MARENGO, J.; MITIN, J.; NICOLINI, M.; NOGUES-PAEGLE, J., PAEGLE, J., PENALBA, O., SALIO, P., SAULO, C., SILVA DIAS, M. A. F., SILVA DIAS, P.; ZIPSER E. The South American Low-Level Jet Experiment (SALLJEX). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 86, p. 63-77, 2006.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Editora da UFV, 2000. 448p.

VIANA, D. R.; AQUINO, F. E.; MUÑOZ, V. A. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a Complexos Convectivos de Mesoescala. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 21, n. 2, p. 91-105, 2009.

VILA, D. A. **Sistemas convectivos precipitantes de mesoescala sobre Sudamerica: Ciclos de vida y circulación en gran escala asociada (Rainy Mesoscale Convective Systems over South America: Life cycle and the associated large scale environment)**. 2004, 132p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

VILA, D. A.; MACHADO, L. A. T.; VELASCO, I.; MACEDO, S. R. Los sistemas convectivos de mesoescala sobre la cuenca Del Plata: La técnica FORTRACC. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8.2004, Brasília-DF. **Anais do...** Brasília-DF, 2004.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric science: an introductory survey**. Academic Press, Inc, 2nd ed., 2006.

WILLIAM, J. **The Weather Book – An easy-to-understand guide to the USA's weather**. Random House, Inc, 2nd ed., 1997.

ZIPSER, E. J. Use of a Conceptual Model of the Life Cycle of Mesoscale Convective Systems to Improve Very-Short-Range Forecasts. In: BROWNING, K. (org.) **Nowcasting**. Academic Press, 1982. p. 191-204.

ZIPSER, E. J.; SALIO, P.; NICOLI, M. Mesoscale Convective Systems activity during SALLJEX and the relationship with SALLJ events. **CLIVAR, Exchanges –Scientific Contributions**. n. 29, march 2004.

ZIPSER, E. J.; LIU, C.; DCECIL, D. J., NESBITT, S. W.; YORTY, D. P. Where are the Most Intense Thunderstorms on Earth? **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 87, p. 1057–1071, 2006.