

## Características dos Sistemas Convectivos de Mesoescala de origem continental, diurna e frontal que causaram granizo no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008

Bruno Maon Fernandes<sup>1</sup>  
Cláudia Rejane Jacondino de Campos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pelotas – Programa de Pós-graduação em Meteorologia  
Av. Eng. Ildefonso Simões Lopes, 2751 - Caixa Postal 354  
96001-970 - Pelotas - RS, Brasil  
bruno.maon@gmail.com  
cjcamos@ufpel.edu.br

**Abstract.** Due to the location in a subtropical region, Rio Grande do Sul state (RS) is under the influence of various meteorological phenomena capable of generating precipitation, among which stand out the Meso-scale Convective Systems (MCS). The MCS are defined as convective cloud clusters and are also responsible for most severe weather conditions in the RS. Hail is the most destructive of these events and cause direct impacts on the state's economy, mainly focused on agribusiness. Therefore the aim of this study was to evaluate the characteristics and impacts of MCS more frequent to affect RS from 2004 to 2008 and that have caused hail, using ForTrACC application, raw images from the GOES satellite and data from RS Civil Defense. Ten MCS of continental, diurnal and frontal origin ( $MCS_{HAIL-CDF}$ ) were analyzed and the results showed that  $MCS_{HAIL-CDF}$  were formed mainly between the western RS and northeastern Argentina, but there were seasonal differences. Generally was observed preferential displacement to eastward, however with seasonal variations in relation to the predominant quadrant, northeastward in the cold months and southeastward in the warm months. In total 31 municipalities were hit by hail generated by the  $MCS_{HAIL-CDF}$  between 2004 and 2008, and 10 of these reported damage in agriculture.

**Palavras-chave:** tempo severo, ForTrACC, severe weather.

### 1. Introdução

A região Sul do Brasil, em especial o Rio Grande do Sul (RS), é influenciada por diversos fenômenos meteorológicos que atuam para a formação da precipitação, dentre os quais se destacam os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Os SCM são constituídos por aglomerados de nuvens convectivas de formas variadas, com uma área contínua de precipitação na região de atuação, podendo ser parcialmente convectiva e parcialmente estratiforme (Houze, 1993).

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, pois são geralmente acompanhados de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo. São, portanto, um dos tipos de sistemas meteorológicos associados à ocorrência de desastres desencadeados por fenômenos meteorológicos severos, também conhecidos como Eventos Severos (ES).

O RS, por possuir uma economia voltada à agroindústria (SPMDR, 2016), é um dos estados que mais sofre com quebra de safras causadas por ES (DCRS, 2016), e por isso é de fundamental importância o estudo de SCM que geram ES. Dentre os diferentes tipos de ES, o granizo merece destaque, pois frequentemente acompanha os SCM e é responsável por causar grandes impactos econômicos e sociais nas regiões onde atua. Além disso, este tipo de ES é um dos mais frequentes notificados pela Defesa Civil do RS (DCRS), bem como um dos mais frequentes gerados por SCM que atuam no estado (Campos; Rasesa, 2014).

O granizo consiste em pedras de gelo arredondadas com diâmetro que normalmente oscila de 0,5 a 5 centímetros e podem pesar de 5 a 500 gramas. Seu desenvolvimento ocorre na parte superior de nuvens convectivas do tipo Cumulonimbus, onde as temperaturas mais baixas são

encontradas, o que agregada a outros fatores, gera as condições propícias para a formação deste hidrometeoro (Marcelino et al., 2004). Tempestades de granizo podem devastar plantações inteiras, tornando as colheitas irrecuperáveis (Eden; Twist, 1997). Portanto, percebe-se a grande importância do estudo dos SCM que afetam o RS e geram granizo ( $SCM_{GRA}$ ), uma vez que este tipo de ES no RS, além de ser um dos mais frequentes, ocorre em todos os períodos do ano (Campos; Rasesa, 2014).

Por isso o objetivo geral do trabalho foi analisar as regiões preferenciais de formação, os deslocamentos e os impactos (notificados pelo DCRS) causados pelo tipo mais frequente de  $SCM_{GRA}$ : aqueles de origem continental, diurna e frontal ( $SCM_{GRA-CDF}$ ) (Fernandes; Campos, 2015).

## 2. Material e Métodos

Foram utilizados dados dos  $SCM_{GRA}$  que foram selecionados por Campos e Rasesa (2014) para o período de 2004 a 2008. Para selecionar os  $SCM_{GRA}$  estes autores utilizaram dados dos SCM que afetaram o RS ( $SCM_{RS}$ ), definidos como sendo aqueles SCM que atingiram em algum momento de seu ciclo de vida a grade do 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.

Entre 2004 e 2008 Campos e Eichholz (2011) selecionaram 626  $SCM_{RS}$ . Para esta seleção utilizaram o aplicativo ForTraCC (*Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters*, Vila et al., 2004) no modo diagnóstico e como base de dados as imagens brutas do satélite GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) 10 e 12, no canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial de 4 km x 4 km no ponto subsatélite e resolução temporal de 30 minutos, fornecidas pela DSA/CPTEC/INPE (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

O ForTraCC é uma importante ferramenta de sensoriamento remoto para a identificação e acompanhamento dos SCM, que fornece informações sobre as características físicas e morfológicas dos SCM identificados, durante o seu ciclo de vida, utilizando imagens brutas de satélite.

Para selecionar os  $SCM_{GRA}$  Campos e Rasesa (2014) utilizaram os registros de granizo e municípios atingidos, notificados no banco de dados da DCRS, e observaram que dos 626  $SCM_{RS}$ , 34 geraram granizo. Os 34  $SCM_{GRA}$  selecionados foram classificados por Fernandes e Campos (2015) em função de sua origem: i) Continental ( $SCM_{GRA-C}$ ) aqueles cuja gênese, ocorreu sobre o continente e Oceânico ( $SCM_{GRA-O}$ ) aqueles cuja gênese ocorreu sobre o oceano; ii) Diurno ( $SCM_{GRA-D}$ ) aqueles cuja gênese ocorreu entre as 09UTC e 21UTC e Noturno ( $SCM_{GRA-N}$ ) entre 21UTC e 9UTC e; iii) Frontais ( $SCM_{GRA-F}$ ) e Não-Frontais ( $SCM_{GRA-NF}$ ) aqueles associados ou não à incursão de sistemas frontais. 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). Fernandes e Campos (2015) observaram que os  $SCM_{GRA}$  de tipo mais frequente estavam associados à origem continental, diurna e frontal ( $SCM_{GRA-CDF}$ ), somando 10 casos.

No presente trabalho foram analisadas as regiões preferenciais de formação de todos os  $SCM_{GRA-CDF}$ , utilizando-se a posição (latitude e longitude) do instante de iniciação de cada um deles. Para realizar a análise dos deslocamentos, utilizou-se a posição (latitude e longitude) nos instantes de iniciação, maturação e dissipação. Os resultados foram plotados

em mapas, contendo os deslocamentos individuais e também o deslocamento médio total e sazonal dos  $SCM_{GRA-CDF}$ .

Para avaliar os impactos causados pela ocorrência dos 10  $SCM_{GRA-CDF}$  foram utilizados dados de notificação da DCRS. Para tal, separaram-se os municípios atingidos nas 11 regiões que compreendem as Coordenadorias Regionais de Defesa Civil (REDECs) que compõem o RS (DCRS, 2016; Fig. 1). A DCRS, para melhor gerenciar os registros de eventos severos, dividiu o Estado em 11 regiões, denominadas REDECs. Cada REDEC possui como sede um dos municípios, 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); a REDEC 2 (Passo Fundo); a REDEC 3 (Santa Maria); a REDEC 4 (Pelotas); a REDEC 5 (Santo Ângelo); a REDEC 6 (Santana do Livramento); a REDEC 7 (São Luiz Gonzaga); a REDEC 8 (Imbé); a REDEC 9 (Caxias do Sul); a REDEC 10 (Uruguaiana) e a REDEC 11 (Lageado).

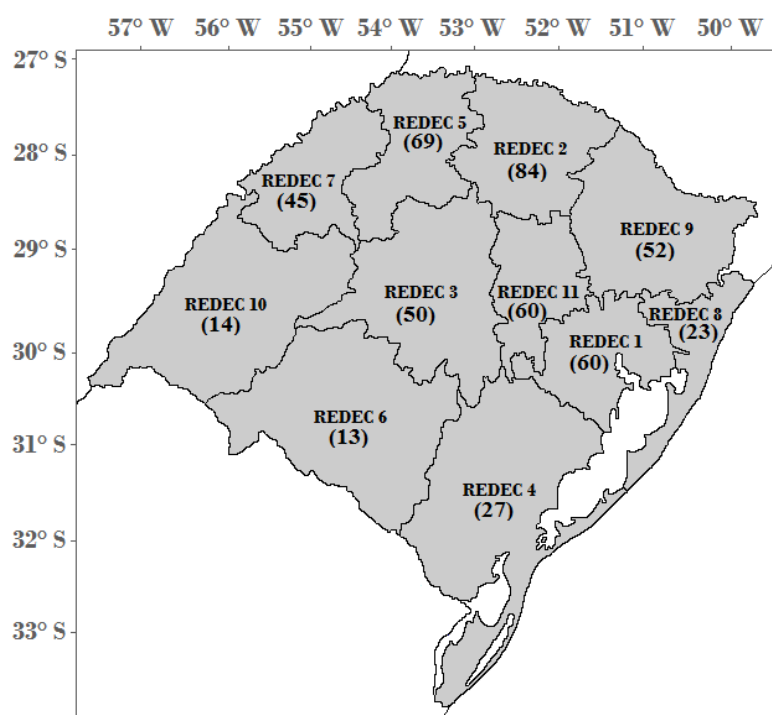


Figura 1. Distribuição espacial das REDECs e o total de municípios que as compõem.  
Fonte: Adaptado de DCRS (2016).

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 as declarações para cada caso de granizo detectado. Como no período de estudos houve municípios que foram atingidos mais de uma vez, estes declararam sua situação em mais de uma ocasião, 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 diretamente afetadas pelo granizo, conforme consta nas declarações de ocorrência; e iv) do número de municípios com registro de danos causados à agricultura. Para cada declaração de granizo, quando o município tenha declarado danos em zonas rurais com áreas de cultivo, contabilizou-se como um município com dano na agricultura.

### 3. Resultados e Discussão

A distribuição geográfica das regiões preferenciais de formação dos  $SCM_{GRA-CDF}$  é apresentada na Figura 2. Observa-se que as formações ficaram concentradas principalmente entre o oeste do RS e o nordeste da Argentina. Esta região é comumente afetada pelo Jato de Baixos Níveis (JBN), que transporta o ar quente e úmido da região amazônica em direção ao sudeste da América do Sul (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).

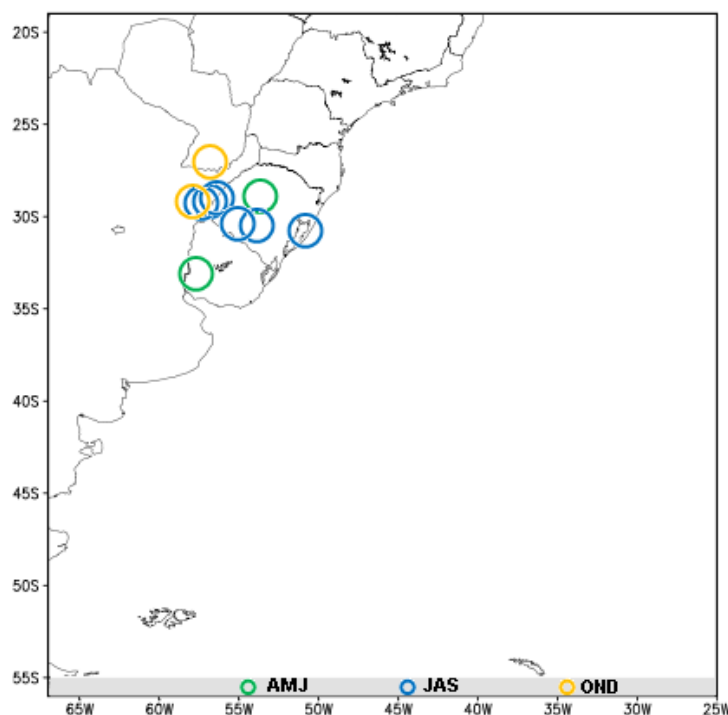


Figura 2. Distribuição sazonal da região preferencial de formação dos  $SCM_{GRA-CDF}$  observados entre 2004 e 2008.

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 3 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 3a), acompanhando o deslocamento preferencial verificado para os 34  $SCM_{GRA}$  abordados no 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 sistemas frontais (SF) e o gradiente zonal de temperatura (Velasco; Fritsch, 1987; Siqueira; Marques, 2008).

Durante os trimestres frios (AMJ e JAS, Figuras 3b e 3c), 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 3d) 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).

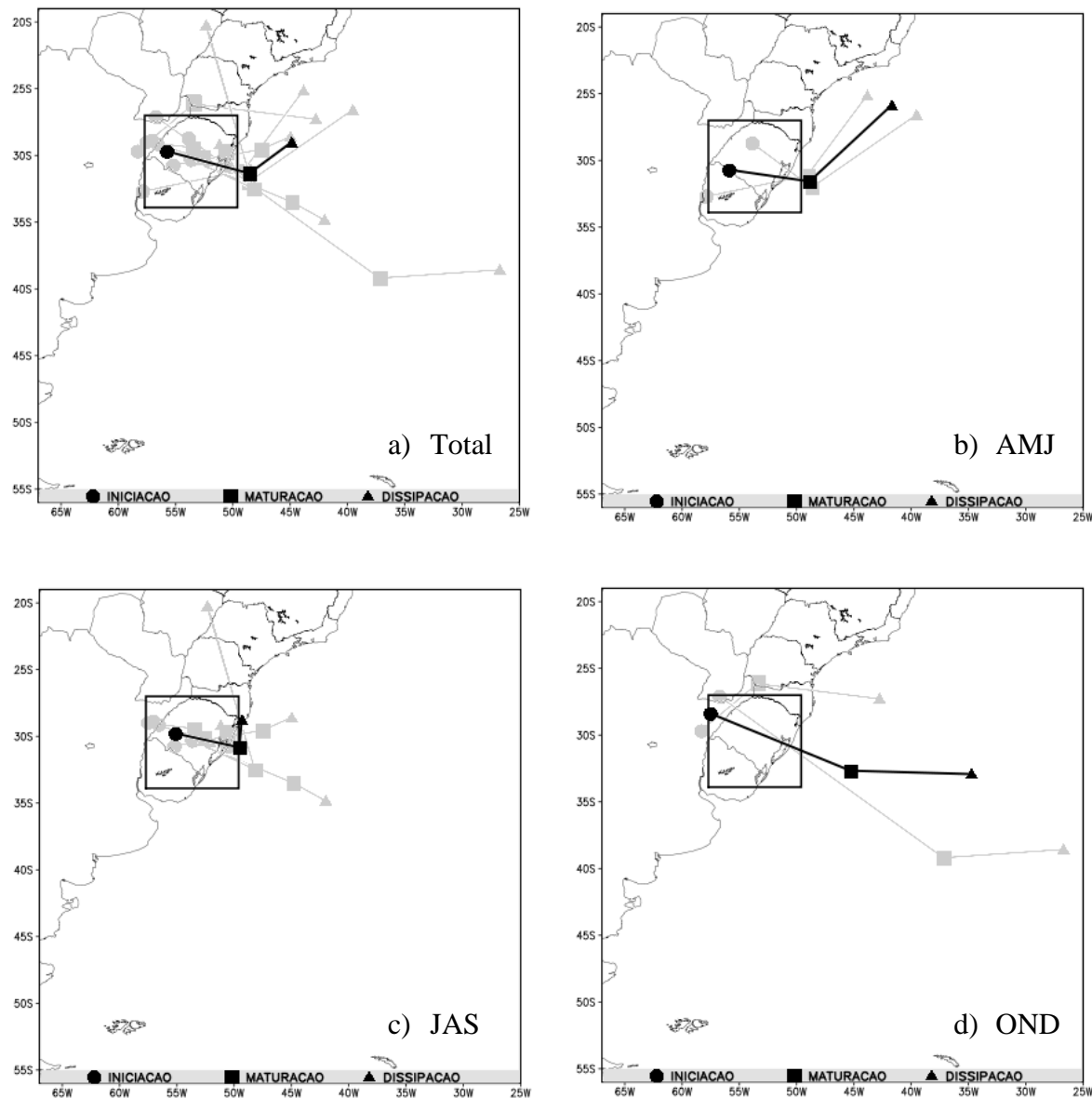


Figura 3. Deslocamento médio preferencial (linha preta) total e sazonal dos  $SCM_{GRA-CDF}$  no período de 2004 a 2008 e os deslocamentos individuais de cada  $SCM_{GRA-CDF}$  (linhas cinzas). a) Total, b) AMJ, c) JAS e d) OND.

Os impactos causados pela atuação dos  $SCM_{GRA-CDF}$  durante os 5 anos de estudo estão detalhados na Tabela 1. 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 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.

Tabela 1. Impactos causados pelos  $SCM_{GRA-CDF}$  no 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

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 4a) 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, Lajeado 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 3a, 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).

A distribuição geográfica sazonal do número de municípios atingidos por granizo durante a passagem de  $SCM_{GRA-CDF}$  é apresentada nas Figuras 4b, 4c e 4d. No trimestre AMJ (Figura 4b) apenas as REDECs de Pelotas e Uruguaiana foram atingidas, ambas na região de fronteira com o Uruguai. Em JAS (Figura 4c) as REDECs de Porto Alegre, Santa Maria, Santo Ângelo e São Luiz Gonzaga registraram danos. No último trimestre do ano (Figura 4d) 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 4), nota-se forte relação com a distribuição total e sazonal dos deslocamentos médios preferenciais dos  $SCM_{GRA-CDF}$  entre 2004 e 2008 (Figura 3). No trimestre AMJ, quando o deslocamento médio preferencial esteve localizado sobre a metade sul gaúcha (Figura 3b), as REDECs atingidas foram Pelotas e Uruguaiana (Figura 3b), localizadas também na metade sul do RS. Por outro lado, nos trimestres de JAS e OND (Figuras 3c e 3d), o deslocamento médio preferencial esteve localizado sobre o centro do RS, e as REDECs atingidas nestes trimestres (Figuras 4c e 4d), estão também localizadas majoritariamente na região central gaúcha.

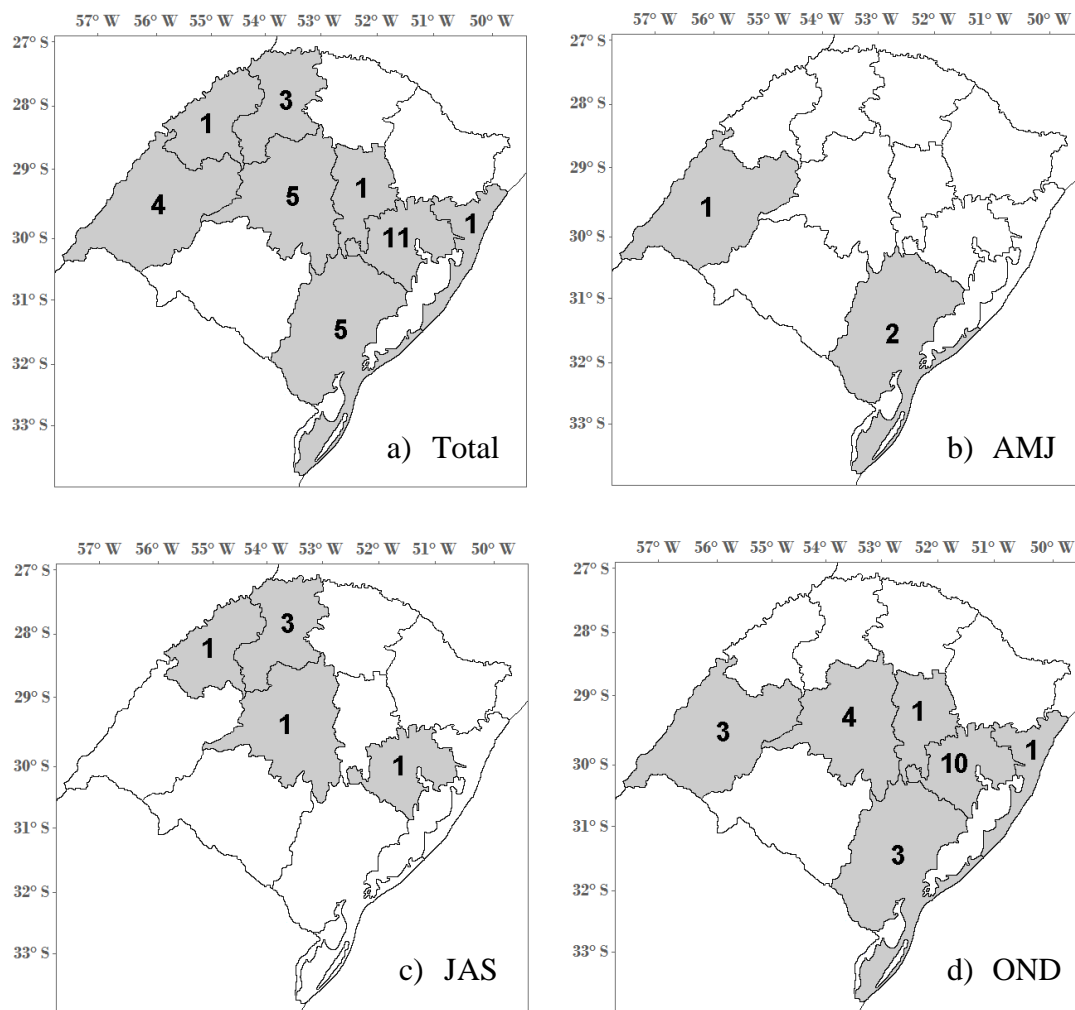


Figura 4. Distribuição geográfica total e sazonal do número de municípios atingidos por granizo durante a passagem de  $SCM_{GRA-CDF}$  entre 2004 e 2008 em cada REDEC. a) Total, b) AMJ, c) JAS e d) OND.

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, quando ocorre grande parte dos ES associados à atuação de SCM (Anabor, 2004).

#### 4. Conclusões

Os resultados deste trabalho mostraram que os  $SCM_{GRA-CDF}$  formaram-se principalmente entre o oeste do RS e o nordeste da Argentina, com predomínio de formações mais continentais nos meses quentes. Foi observado deslocamento preferencial para leste, com predomínio do quadrante nordeste nos meses frios e sudeste nos meses quentes. Os 10  $SCM_{GRA-CDF}$  atingiram 31 municípios gaúchos entre 2004 e 2008, afetando diretamente 16.559 pessoas. As REDECs mais atingidas foram as de Porto Alegre, Pelotas e Santa Maria, e dos 31 municípios afetados no estado, 10 reportaram danos na agricultura.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo auxílio financeiro.

## Referências Bibliográficas

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

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.; 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.; Kousky, 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.

DCRS – Defesa Civil do Rio Grande do Sul. 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.

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

Fernandes, B. M.; Campos, C. R. J. Origem dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que geraram granizo no Rio Grande do Sul entre 2004 e 2008. In: Encontro de Pós-Graduação UFPel, 17., 2015, Pelotas. **Anais do...** Pelotas: XVII ENPOS UFPel, 2015.

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

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. **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.

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.

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.

Velasco, I.; Fritsch, J. M. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. **Journal Geophysical Research**, v. 92, p. 9591-9613, 1987.

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. **Anais do...** Brasilia-DF, 2004.