



**Análise Sazonal das Regiões do Rio Grande do Sul Atingidas por
Eventos Severos Gerados por SCM no Período de 2004 a 2008**

Seasonal Analysis of Rio Grande do Sul Regions
Affected by Severe Events Generated by MCS from 2004 to 2008

Gustavo Rasera¹ & Cláudia Rejane Jacondino de Campos²

¹ Universidade Federal de Santa Maria / Programa de Pós-graduação em Meteorologia,
Avenida Roraima, 1000, CCNE, Prédio 13, sala 1129, 97105-900, Santa Maria-RS

² Universidade Federal de Pelotas / Programa de Pós-graduação em Meteorologia, C.P. 354, 96.001-970, Pelotas-RS
E-mails: gras1313@hotmail.com; cjc Campos@ufpel.edu.br

Recebido em: 13/5/2013 Aprovado em: 24/06/2013

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2013_2_61_69

Resumo

Os Episódios de desastre desencadeados por fenômenos meteorológicos severos, também conhecidos como Eventos Severos (ES), como por exemplo, vendaval, granizo e enchente, têm sido estudados com frequência devido à gravidade dos danos que estes causam à sociedade. Um dos sistemas meteorológicos que é bastante comum no Rio Grande do Sul (RS), e que frequentemente está associado aos ES são os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Como a economia do RS é voltada majoritariamente para a agricultura, que é bastante suscetível às mudanças do tempo, é frequente no Estado a ocorrência de prejuízos econômicos causados por ES. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição sazonal das regiões atingidas por ES gerados por SCM que afetaram o RS (ES_{SCMRS}) no período de 2004 a 2008. Foram utilizados, para o período de estudo, dados de ocorrências de ES e municípios atingidos por ES (MA_{ES}) obtidos no banco de dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS; trajetórias dos SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}) geradas a partir de informações fornecidas pela ferramenta ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) e imagens brutas do satélite GOES 10 e 12 do canal 4. Os resultados obtidos mostraram que: i) ~45% dos ES observados foram gerados por SCM_{RS} ; ii) ~58% dos MA_{ES} foram atingidos por SCM_{RS} ; iii) a porção norte do RS foi a mais atingida por ES_{SCMRS} ; iv) vendaval e granizo foram os tipos de ES_{SCMRS} que atingiram o maior número de municípios e v) JAS (jul-ago-set) foi o trimestre que apresentou o maior número de municípios atingidos por ES_{SCMRS} ($MA_{ES-SCMRS}$).

Palavras-chave: SCM; Eventos Severos; ForTrACC

Abstract

Disaster episodes caused by severe meteorological phenomena, also known as Severe Events (SE), such as windstorms, hail and flood have been studied extensively due to the hazard posed to society. One of the meteorological systems that is fairly common in Rio Grande do Sul state (RS), Brazil, and that is often associated with the SE are Mesoscale Convective Systems (MCS). Since the economy of RS is mostly based on agriculture, which is an activity very susceptible to changes in weather, economic losses caused by SE in RS are rather frequent. Given this point, the objective of this work was to analyze the seasonal distribution of regions affected by SE generated by MCSs that reached RS (SE_{MCSRS}) in the period from 2004 to 2008. For this study, different data sources were used: SE reports and municipalities affected by SE (MA_{SE}) obtained from RS Civil Defense data base; trajectories of the MCS that reached RS (MCS_{RS}) based on Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters (ForTrACC) analysis tool; and raw infra-red (channel 4) satellite imagery from GOES 10 and 12 satellites. The results showed that: i) about 45% of the reported SE in RS were associated to MCS_{RS} ; ii) 58% of the MA_{SE} were affected by MCS_{RS} ; iii) the north portion of RS was the most affected by SE_{MCSRS} ; iv) windstorm and hail were the types of SE_{MCSRS} that affected the largest number of municipalities and v) JAS (Jul-Aug-Sep) was the quarter that presented the largest number of municipalities affected by SE_{MCSRS} ($MA_{SE-MCSRS}$).

Keywords: MCS; Severe Events; ForTrACC

1 Introdução

Os Episódios de desastre desencadeados por fenômenos meteorológicos Severos, também conhecidos como Eventos Severos (ES), tais como: vendaval, granizo e enchente, estão cada vez mais em evidência na mídia, devido ao impacto que eles causam à sociedade.

No Rio Grande do Sul (RS) que tem sua economia em grande parte voltada para a agricultura, ou seja, à produção e exportação de alimentos, um dos fatores que mais preocupam governo e produtores é a ocorrência de ES. Isso porque o RS é um dos Estados que mais sofre com a quebra de safras causadas por esse tipo de evento, os quais geram grandes prejuízos à sua economia, incluindo danos à infraestrutura das cidades, ao meio ambiente e até perda de vidas humanas (CEDCRS, 2012).

As características topográficas, pluviométricas e de distribuição municipal do RS apresentam variação entre as metades norte (MN – Norte de 30°S) e sul (MS – Sul de 30°S) do Estado, o que contribui para que a ocorrência e os impactos dos ES sejam distintos nestas duas regiões. A MN do RS é mais acidentada, com altitudes que podem exceder 1.000 m e apresenta grande densidade de municípios, 432 dos 496 municípios que compõem o RS. Vale lembrar que a maior concentração de municípios na MN do RS deve-se a colonização e a influência de variadas etnias, principalmente, italianos e alemães, que desenvolveram colônias com agricultura familiar que fracionou o território em pequenas propriedades, as quais serviram como base para a criação de um maior número de municípios nesta porção do Estado. Por outro lado, a MS do RS é predominantemente formada por planícies com altitudes chegando a menos de 100 m e possui menor número de municípios (64 municípios), devido à colonização por espanhóis e portugueses, que praticavam atividades favorecidas pela topografia da região como agricultura (com destaque para a produção de arroz) e criação de gado em grandes latifúndios, os quais se tornaram municípios. (ASERS, 2012; FEE, 2012). Antes da colonização europeia a área do RS correspondia a vastas extensões de terra indígena (Monteiro, 1990; 1992).

Estudos mostram que os valores médios de precipitação pluvial no RS apresentam regularidade ao longo do ano, mas com variações espaciais e sazonais. Apesar de o relevo regional não interferir a ponto de criar grandes variações na pluviometria anual do RS, sua influência é sentida, uma vez que

na MS chove menos do que na MN do Estado. Ao sul de 30° S são registradas precipitações pluviárias anuais inferiores a 1.500 mm, enquanto que na MN do Estado são registrados totais anuais de precipitação superiores a 1.500 mm, com intensidade maior de chuvas no nordeste do RS (Berlato *et al.*, 2000; Matzenauer *et al.*, 2007).

Observa-se também que, os principais sistemas meteorológicos que atuam no RS são os Sistemas Frontais (SF) e os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), os quais contribuem fortemente para a intensificação da convecção na região (Siqueira, 2004) e, portanto, para a distribuição da precipitação e formação de ES. Os SCM que são constituídos por um aglomerado de nuvens convectivas e que apresentam área com contínua precipitação, que pode ser parcialmente estratiforme e parcialmente convectiva, possuem formas variadas (Houze, 1993; Machado & Rossow, 1993). Estes sistemas são responsáveis por 60% da precipitação registrada na região sul da América do Sul (AS) (Mota, 2003). No sul do Brasil os SCM ocorrem durante todo o ano, com maior frequência no período quente (Nicolini *et al.*, 2002; Torres, 2003; Silva Dias *et al.*, 2009; Campos & Eichholz, 2011) e são de particular interesse para a meteorologia, pois além de estarem associados a ES eles ainda não são bem previstos (Corfidi *et al.*, 1996). Geralmente os SCM vêm acompanhados de precipitações intensas, fortes rajadas de vento e granizo, que causam sérios danos à população e a economia da região onde atuam (Silva Dias, 1999; Zipser *et al.*, 2006).

Portanto, devido ao grande potencial destrutivo e à frequência relativamente comum no RS, o estudo dos ES gerados por SCM que atingem o RS é de suma importância, uma vez que o melhor conhecimento da distribuição sazonal das regiões mais afetadas por estes eventos permitirá a utilização, por parte dos órgãos competentes, de medidas que minimizem os danos causados à economia do RS e a população em geral.

Com base no exposto acima, o objetivo deste trabalho foi analisar a distribuição sazonal das regiões atingidas pelos ES gerados por SCM que afetaram o RS (ES_{SCMRS}) no período de 2004 a 2008.

2 Material e Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizados os seguintes dados do período de 2004 a 2008: i) trajetórias dos SCM selecionados por

Campos & Eichholz (2011); ii) ocorrências de ES e municípios atingidos pelos ES (MA_{ES}) obtidos no banco de dados da Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS (CEDCRS, 2012) e iii) imagens brutas no canal infravermelho termal do satélite GOES 10 e 12, com resolução temporal de ½ hora e resolução espacial de 4 km x 4 km (ponto subsatélite). Essas imagens foram fornecidas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DSA/CPTEC/INPE).

2.1 Seleção dos SCM que Atingiram o RS (SCM_{RS})

Neste trabalho foram considerados os SCM selecionados por Campos & Eichholz (2011) que utilizaram o aplicativo ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) (Vila *et al.*, 2008) no modo diagnóstico e como base de dados imagens brutas do satélite GOES 10 e 12 do canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4 km x 4 km e resolução temporal de ½ hora, do período de 01/01/2004 a 31/12/2008 (fornecidas pela DSA/CPTEC/INPE).

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. Cabe ressaltar que 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) e temperatura de brilho do topo das nuvens- T_b (235K para identificar os SCM e 210K para identificar as células convectivas imersas nos SCM). Segundo alguns estudos (Carvalho & Jones, 2001; Laurent *et al.*, 2002; Machado & Laurent, 2004; Vila, 2004) os limiares de T_b utilizados por Campos e Eichholz (2011) parecem aceitáveis para detectar nuvens associadas à convecção em diferentes regiões da AS permitindo assim, a detecção tanto do SCM quanto das células convectivas imersas nele.

Dos SCM 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. Apesar de considerar SCM com ciclo de vida longo (um dos critérios para definir CCM (Complexo Convectivo de Mesoescala), por exemplo), não foi feita nenhuma classificação destes. Um dos critérios adotados por Maddox (1980) para identificar CCM's foi considerado, o ciclo de vida mínimo de seis horas. Esse critério foi adotado porque além de SCM mais longos tenderem a cobrir áreas maiores (Machado *et al.*, 1994; Nicolini *et al.*, 2002; Torres, 2003; Vila, 2004; Zipser *et al.*, 2004) eles podem causar eventos com precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo (Silva Dias, 1996) 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 & Eichholz (2011) selecionaram 626 SCM com as características citadas acima, denominando-os de SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}). Esses SCM_{RS} estavam distribuídos da seguinte forma: 179 em JFM, 150 em AMJ, 142 em JAS e 155 em OND; e foram utilizados neste estudo e organizados em uma planilha de dados contendo as seguintes informações: dia, mês e ano de ocorrência de cada SCM_{RS} , número de identificação de cada SCM_{RS} (gerado pelo ForTrACC), horário (UTC), latitude e longitude do centro de massa dos membros

correspondentes a iniciação, maturação e dissipação de cada SCM_{RS} .

2.2 Seleção dos Municípios Atingidos pelos ES Gerados por SCM_{RS}

Para selecionar os Municípios Atingidos pelos ES gerados por SCM_{RS} ($MA_{ES-SCMRS}$) foi necessário selecionar os ES gerados pelos SCM_{RS} (ES_{SCMRS}). Assim, selecionou-se dentre todos os registros de ES notificados pela CEDCRS no período de estudo, apenas os eventos do tipo: granizo, granizo/vendaval (ocorrência de granizo acompanhado de vendaval), vendaval, enxurrada, inundação, enchente, alagamento, deslizamento, os quais podem ser gerados por SCM. Criou-se uma planilha digital com as seguintes informações: município atingido, data de ocorrência do ES e tipo de ES observado. Na sequência confrontaram-se as informações dos SCM_{RS} e dos ES a fim de selecionar os ES_{SCMRS} no período de 2004 a 2008. O confronto foi feito da forma que segue: inicialmente foi verificado se no(s) dia(s) que foi observado cada um dos SCM_{RS} selecionados por Campos & Eichholz (2011) houve ocorrência de algum ES. Tendo sido verificada a ocorrência de algum ES dentro do período compreendido pelo ciclo de vida do SCM_{RS} , então foram identificados os municípios atingidos pelo ES, e plotadas suas latitudes e longitudes em um mapa utilizando o aplicativo GrADS. Em seguida neste mesmo mapa plotou-se 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 do satélite GOES com temperatura de brilho realçada abaixo de 235K (limiar utilizado para detectar SCM) de todo o ciclo de vida do SCM_{RS} . Caso tenha sido constatado que o SCM_{RS} em análise afetou o(s) município(s) que registrou(ram) o ES detectado, então este ES foi considerado um ES_{SCMRS} e o município um $MA_{ES-SCMRS}$.

2.3 Análises Realizadas

Após a seleção dos ES_{SCMRS} e dos $MA_{ES-SCMRS}$ no período de 2004 a 2008, estes foram então separados por trimestres que representam cada uma das estações do ano (Araújo, 2005): período

quente (jan-fev-mar, JFM), período temperado frio (abr-mai-jun, AMJ), período frio (jul-ago-set, JAS) e período temperado quente (out-nov-dez, OND). Não foram usados os trimestres astronômicos, que definem as estações do ano, para facilitar as análises com dados dentro do mesmo ano. Em seguida, procedeu-se à análise da distribuição sazonal dos ES , ES_{SCMRS} , MA_{ES} e dos $MA_{ES-SCMRS}$.

Para analisar a distribuição sazonal das regiões atingidas pelos ES_{SCMRS} separaram-se os $MA_{ES-SCMRS}$ nas 11 regiões que compreendem as Coordenadorias Regionais de Defesa Civil (REDECs) que compõem o RS (CEDCRS, 2012, Figura 1). A CEDCRS a fim de melhor gerenciar os registros de ES dividiu o Estado em 11 regiões denominadas REDECs, as quais tem como sede um dos municípios que compõe cada região, o qual é o responsável por receber as informação da sua região e repassá-las à sede da CEDCRS. 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 (Lajeado) com 60 municípios.

Por fim, analisou-se sazonalmente o número de municípios atingidos por cada um dos tipos de ES_{SCMRS} considerados neste estudo.

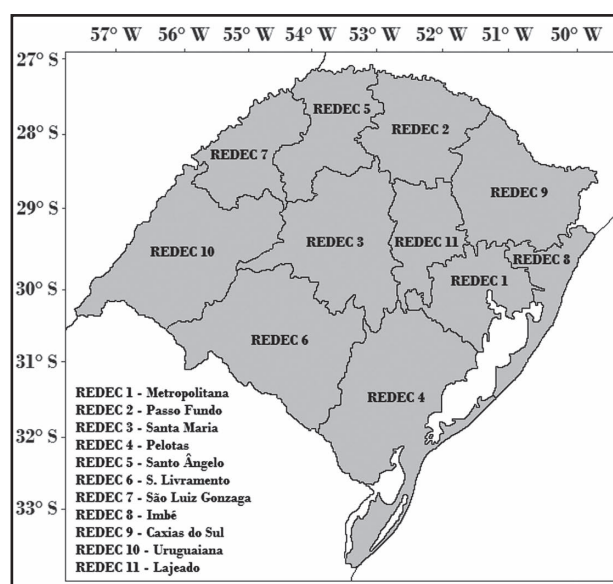


Figura 1 Distribuição espacial das Coordenadorias Regionais da Defesa Civil do RS-REDECs. Fonte: CEDCRS (2012).

3 Resultados e Discussão

A distribuição sazonal dos ES, ES_{SCMRS} , MA_{ES} e dos $MA_{ES-SCMRS}$ no período de 2004 a 2008, apresentada na Tabela 1, mostra que $\sim 55,6\%$ dos municípios que compõem o RS (276 MA_{ES}) foram atingidos por 246 ES e que $\sim 45,1\%$ dos ES (111 ES) foram gerados por SCM_{RS} e atingiram $\sim 58\%$ dos MA_{ES} (160 $MA_{ES-SCMRS}$).

Analisando cada trimestre do período de estudo pode-se notar que JFM (Tabela 1) foi o trimestre que apresentou o menor número de $MA_{ES-SCMRS}$ (20) e a menor porcentagem de $MA_{ES-SCMRS}$ em relação ao total trimestral de MA_{ES} (35,1%). Observou-se ainda que neste trimestre os $MA_{ES-SCMRS}$ ficaram mais concentrados no leste da MN do Estado na região coberta pela REDEC 8, com 11 municípios atingidos dos 20 registrados neste trimestre (Figura 2a). Já em AMJ (Tabela 1) observou-se que o número de $MA_{ES-SCMRS}$ subiu para 32, a contribuição destes em relação ao total trimestral de MA_{ES} foi de 48,5% e a maioria das REDECs registrou ocorrência de ES, exceto a 9 e a 11. A região mais atingida pelos ES_{SCMRS} neste trimestre se deslocou para o centro-norte da MN do RS nas REDECs 3 e 5, com 6 municípios atingidos cada (Figura 2b). No trimestre JAS (Tabela 1) foi observado o maior número de $MA_{ES-SCMRS}$ (77) e a maior contribuição de $MA_{ES-SCMRS}$ em relação ao total trimestral de MA_{ES} no período de estudo (56,6%). A região mais atingida pelos ES_{SCMRS} foi principalmente o noroeste da Lagoa dos Patos (REDEC 1, com 23 municípios atingidos), seguida pelas regiões cobertas pelas REDECs 2 e 11 (Figura 2c). Em OND (Tabela 1) houve um decréscimo no número de $MA_{ES-SCMRS}$ em relação à JAS, tendo sido observados 57 $MA_{ES-SCMRS}$ e a contribuição destes em relação ao total trimestral de MA_{ES} foi de 39,6%. Observou-se ainda que em OND o extremo norte do RS foi mais atingido pelos ES_{SCMRS} (REDECs 2 e 5, com 12 municípios atingidos cada). Neste trimestre apenas a REDEC 8 não registrou ocorrência de ES_{SCMRS} (Figura 2d). Pôde-se observar, portanto, que em todos os trimestres do período de estudo a região do Estado mais atingida foi a MN.

Observou-se ainda, analisando a Tabela 1, aumento de ES_{SCMRS} e $MA_{ES-SCMRS}$ de JFM até JAS. Em OND observou-se o mesmo número de ES_{SCMRS} que JAS e um decréscimo no número de $MA_{ES-SCMRS}$. Apesar de OND ter sido o trimestre com as maiores ocorrências de ES e MA_{ES} , a maior porcentagem de ES_{SCMRS} e $MA_{ES-SCMRS}$, respectivamente, em relação aos ES ($\sim 58,5\%$) e MA_{ES} ($\sim 56,6\%$) ocorreu em JAS. Uma possível explicação para este fato pode estar

relacionada ao maior número de SCM_{RS} que geraram ES (SCM_{RS-ES}) detectado em JAS comparado aos outros trimestres do período de estudo [24 dos 67 detectados no período (Rasera, 2013)]. Esses 24 SCM_{RS-ES} apesar de terem gerado o mesmo número de ES_{SCMRS} que em OND (38), foram os que apresentaram o maior tamanho máximo médio (Rasera, 2013), ou seja, foram os que cobriram maior área, possibilitando que um maior número de municípios fosse atingido. Além do tamanho, a intensidade dos SCM_{RS-ES} observados em JAS também pode ter influenciado no maior número de municípios atingidos. Além disso, como o vento médio da superfície até 500 hPa [nível que tende a direcionar o movimento dos SCM (Romatschke & Houze, 2010)] tende a ser mais forte em JAS (inverno) do que em OND (primavera) (Climanálise, 2004 a 2008; Cavalcanti *et al.*, 2009), os SCM observados em JAS tendem a se deslocar mais rápido, podendo atingir maior número de municípios, do que os SCM observados em OND que tendem a se deslocar mais lentamente. Portanto percebe-se que o número de $MA_{ES-SCMRS}$ pode estar relacionado tanto ao número de ES_{SCMRS} como também ao número de SCM_{RS-ES} e às suas características, tais como tamanho máximo, intensidade e época do ano em que atuam.

Logo, a análise da Tabela 1 mostra que para o período de estudo, os $MA_{ES-SCMRS}$ são observados em todos os períodos do ano, porém, os resultados evidenciam menor e maior número destes, durante os períodos quente (JFM) e frio do ano (JAS), respectivamente. Uma das explicações para esse fato pode estar nos resultados obtidos por Rasera (2013) quando analisou as características dos SCM_{RS-ES} no mesmo período deste estudo. Segundo este autor, no período de 2004 a 2008, em JFM os SCM_{RS-ES} na média foram os menores e os que duraram menos, por essa razão não atuaram por tanto tempo sobre o RS a ponto de causarem muitas condições meteorológicas extremas, o que pode explicar o menor número de $MA_{ES-SCMRS}$ neste trimestre.

Por outro lado, conforme colocado anteriormente Rasera (2013) observou que o maior número de SCM_{RS-ES} que ocorreu em JAS, apesar de não terem sido os que apresentaram na média a maior duração, foram os que cobriram a maior área. O maior tamanho máximo médio dos SCM_{RS-ES} que ocorreram em JAS pode estar relacionado com o maior número de SF, comuns nessa época do ano na região de estudo (Cavalcanti & Kousky, 2003). Isso ocorre porque neste trimestre as condições baroclínicas no RS são mais intensas, devido ao maior gradiente latitudinal de temperatura. Além

disso, as ondas baroclínicas nos ventos de oeste, mais intensos em JAS, produzem maior convergência de umidade, favorecendo a ciclogênese e a maior penetração no RS de SF mais intensos nesta época do ano (Grim, 2009). Portanto, a interação entre os SF e a convecção tende a ocasionar a formação de SCM_{RS-ES} maiores e mais intensos e com deslocamento mais rápido (Siqueira & Machado, 2004), o que pode ter favorecido a ocorrência de maior número de $MA_{ES-SCMRS}$ em JAS.

Outra observação interessante é que em todos os trimestres do período de estudo (Figura 2) verificou-se que a MN do RS foi mais atingida pelos ES_{SCMRS} . A maior concentração de municípios na MN do Estado (onde se localizam ~ 87,1% do total de municípios do RS, ou seja, 432 municípios) faz com que seja esperado que a maioria dos $MA_{ES-SCMRS}$ se localize também nessa região. Outro fator que pode influenciar a ocorrência de maior número de $MA_{ES-SCMRS}$ nessa porção do Estado é a maior quantidade de precipitação nela registrada devido a sua topografia mais acidentada quando comparada à MS, o que tende a gerar maior ocorrência de ES. Alguns autores relatam que apesar de o relevo regional não interferir

a ponto de criar grandes variações na pluviometria anual do RS, sua influência é sentida, uma vez que na MN chove mais do que na MS (Berlato *et al.*, 2000; Matzenauer *et al.*, 2007). Além disso, a MN do RS é uma região bastante favorável à ocorrência de SCM (Velasco & Fritsch, 1987; Vila, 2004; Durkee & Mote, 2009; Sakamoto, 2009), que podem ser causados pela convergência noturna no vale do rio Paraná, pelo fluxo de umidade oceânica associado à circulação da AAS (Alta do Atlântico Sul), pelas frentes frias e pela Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS (Sakamoto, 2009). Também, segundo Vargas Jr. *et al.* (2012) a MN do Estado é a região preferencial de transição entre as fases de iniciação e maturação dos SCM e mais especificamente dos CCM que foram observados no RS entre 2004 e 2008, mostrando relação com a topografia da região e também com a região de saída dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) onde há umidade e calor para a geração da convecção e por consequência, condições favoráveis à formação de ES_{SCM} . Portanto, como os SCM são bastante frequentes na MN do RS e este estudo refere-se a regiões do RS mais atingidas por ES gerados por SCM justifica-se que esta porção do Estado tenha sido a mais atingida.

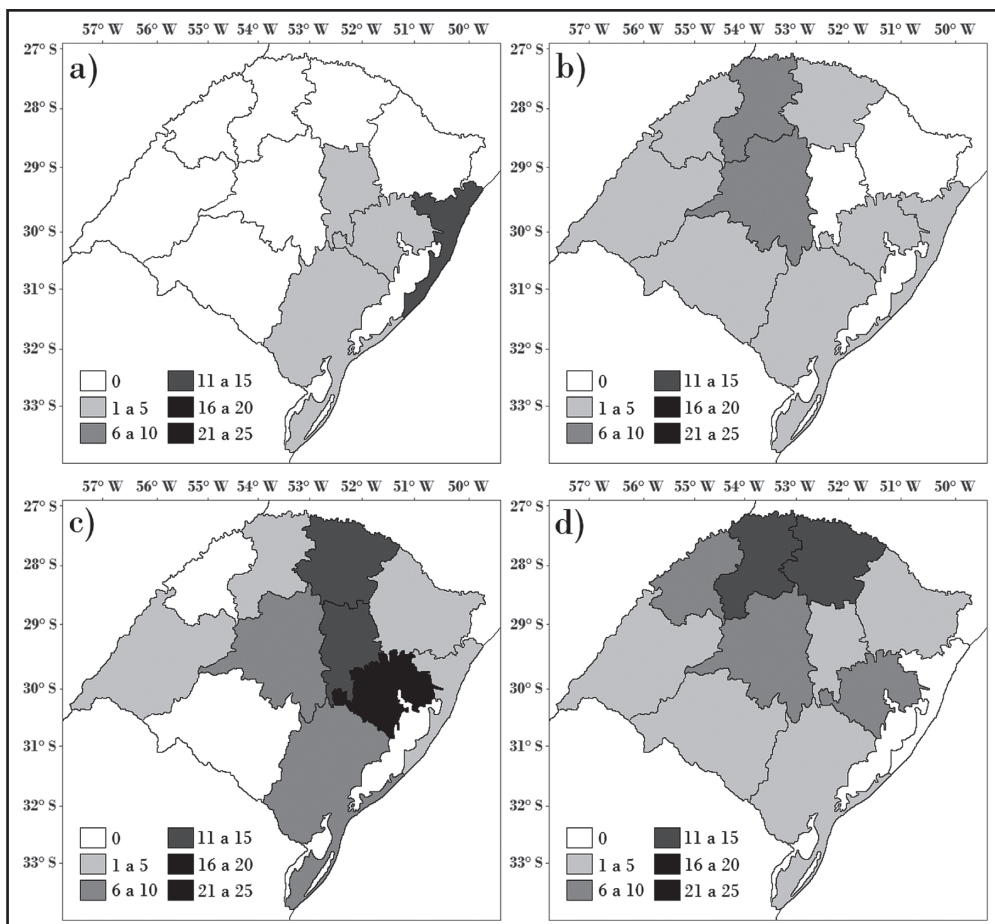


Figura 2 Distribuição geográfica sazonal do número de municípios atingidos por Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008, em cada REDEC. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).

Na sequência, foi analisada a distribuição sazonal dos diferentes tipos de ES_{SCMRS} entre 2004 e 2008 e dos municípios atingidos por estes (Figura 3). Analisando-se sazonalmente a relação entre os tipos de ES_{SCMRS} e o número de MA_{ES-SCMRS}, nota-se que os ES_{SCMRS} mais frequentes e que atingiram o maior número de MA_{ES-SCMRS} no período de estudo foram vendaval e granizo.

Cabe ressaltar que um mesmo município pode ter sido atingido por mais de um tipo de ES_{SCMRS} no mesmo trimestre, por isso os totais trimestrais de MA_{ES-SCMRS} na Tabela 1 podem não equivaler à soma

dos municípios atingidos pelos diferentes tipos de ES_{SCMRS} em cada trimestre na Figura 3.

A análise sazonal mostrou que os ES_{SCMRS} que atingiram o maior número de municípios em JFM (Figura 3a) foi vendaval (5 ES, 8 municípios), em AMJ (Figura 3b) foram granizo (6 ES, 11 municípios) e vendaval (6 ES, 9 municípios), em JAS (Figura 3c) foram granizo (13 ES, 30 municípios) e vendaval (9 ES, 24 municípios) e em OND (Figura 3d) foram vendaval (11 ES, 25 municípios) e granizo (10 ES, 12 municípios).

A maior frequência de vendaval e granizo no RS (Figura 3), que também foi observada por outros autores (Viana *et al.*, 2009; Vargas Jr. *et al.*, 2011), deve-se ao fato que, na região sul do Brasil em comparação à outras regiões observa-se condições baroclínicas mais intensas (Cavalcanti, *et al.*, 2009) e, portanto forte cisalhamento vertical do vento que favorece a formação de tempo severo, cuja definição tradicional inclui a ocorrência de vendaval e granizo. Por isso, a região sul do Brasil, e mais especificamente o RS, é bastante favorável à ocorrência destes tipos de ES, uma vez que as tempestades convectivas tendem a tornarem-se severas (com ocorrência de vendaval e granizo) quando se desenvolvem sob condição de forte cisalhamento vertical do vento, condição essa observada no RS.

Trimestre	Eventos Severos		Municípios RS	
	ES	ES _{SCMRS}	MA _{ES}	MA _{ES-SCMRS}
JFM	50	14	57	20
AMJ	45	21	66	32
JAS	65	38	136	77
OND	86	38	144	57
TOTAL	246	111	276*	160**

Tabela 1 Distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008, dos Eventos Severos que atingiram o RS (ES), dos ES gerados por SCM_{RS} (ES_{SCMRS}) e dos municípios do RS atingidos por ES (MA_{ES}) e por ES_{SCMRS} (MA_{ES-SCMRS}).

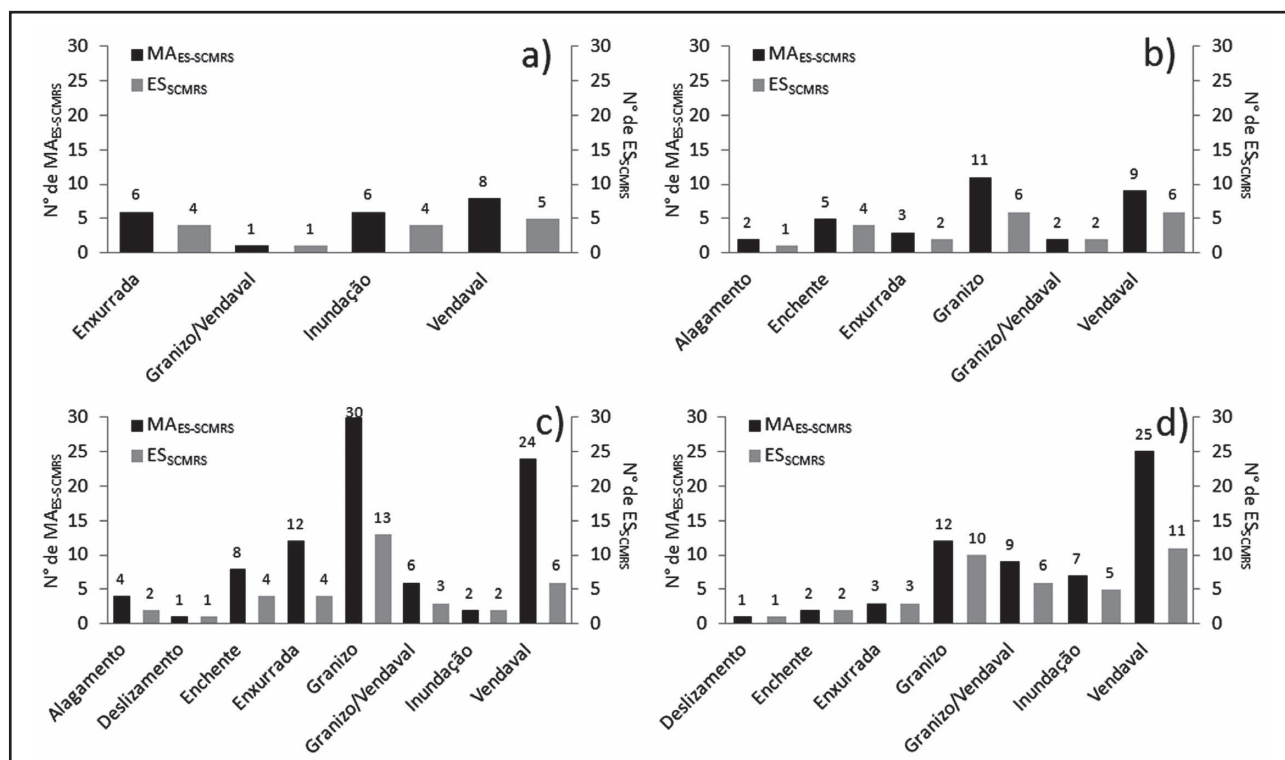


Figura 3 Distribuição sazonal dos diferentes tipos de Eventos Severos gerados por SCM que afetaram o RS entre 2004 e 2008 e dos municípios atingidos por estes. JFM (a), AMJ (b), JAS (c) e OND (d).

Apesar da região sul do Brasil apresentar condições favoráveis à formação de ES_{SCMRS} durante todo o ano, JAS é o trimestre mais favorável, conforme se pode notar na Tabela 1 e Figura 3, onde se observa o maior número de $MA_{ES-SCMRS}$, com predomínio de vendaval e granizo. As condições atmosféricas observadas neste trimestre favorecem a formação de ES_{SCMRS} conforme já mencionado anteriormente. Dentre elas pode-se destacar a condição baroclínica mais intensa que gera cisalhamento vertical do vento mais intenso e favorece a ciclogênese e, portanto, frequente passagem de SF mais intensos sobre a região (Cavalcanti & Kousky, 2003; Cavalcanti *et al.*, 2009). A propagação e a intensificação da convecção que ocorrem ao longo dos SF mais intensos que contribuem fortemente para intensificação da convecção e, portanto para a formação de SCM_{RS-ES} maiores, mais intensos e com deslocamento mais rápido (Siqueira & Machado, 2004). E a maior frequência ao sul de 20°S dos JBN (Salio *et al.*, 2002; Marengo *et al.*, 2004), que é outro sistema de escala sinótica que também pode influenciar diretamente a formação de SCM (devido principalmente ao transporte de umidade e calor) e conseqüentemente de ES_{SCMRS} .

4 Conclusões

A distribuição sazonal dos ES_{SCMRS} e $MA_{ES-SCMRS}$ no período de 2004 a 2008 foi analisada. Os resultados permitiram concluir que: i) ~45,1% dos ES observados foram gerados por SCM_{RS} ; ii) ~58% dos MA_{ES} foram atingidos por SCM_{RS} ; iii) a maioria dos $MA_{ES-SCMRS}$ estava localizada na MN do Estado; iv) vendaval e granizo foram os tipos de ES_{SCMRS} que atingiram o maior número de municípios e v) JAS foi o trimestre que apresentou o maior número de $MA_{ES-SCMRS}$.

Portanto, a ocorrência de ES gerados por SCM no RS é bastante comum, uma vez que a região apresenta condições atmosféricas favoráveis à formação de tempestades convectivas severas que geram estes eventos.

A elevada porcentagem de ocorrência de ES_{SCMRS} (mais de 45% do total observado no período) e de municípios atingidos por estes (mais de 58% do total atingido no período), mostra que estudos deste tipo são relevantes para um melhor conhecimento da atuação deste tipo de ES nos municípios do RS, uma vez que estes são responsáveis por grandes perdas econômicas e também humanas.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro (bolsa de mestrado 1º autor e Bolsa PQ 2º autor).

6 Referências

- ASRS, 2012. Atlas Socioeconômico Rio Grande do Sul. Porto Alegre: SCP/DEPLAN. Disponível em: <<http://www.seplag.rs.gov.br/atlas/default.asp#>>. Atualizado em: 23/09/2011. Acesso em: 07 dez. 2012.
- Araújo, S.M.B. 2005. *Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias do ar no Rio Grande do Sul*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado, 54 p.
- Berlato, M.A.; Fontana, D.C. & Puchalski, L. 2000. 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, Pelotas, 2000. *Anais*, Pelotas, Embrapa Clima Temperado, p. 67-81.
- Campos, C.R.J. & Eichholz, C.W. 2011. Características físicas dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que afetaram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008. *Revista Brasileira de Geofísica (Impresso)*, 29: 331-345.
- Carvalho, L. & Jones, C.A. 2001. Satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on the maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE). *Journal of Applied Meteorology*, 40: 1683-1701.
- Cavalcanti, I.F.A. & Kousky, V.E. 2003. Climatology of South American cold fronts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY, 7, Wellington, 2003. *Anais*, Wellington, New Zealand, American Meteorological Society, CD-ROM.
- Cavalcanti, I.F.A.; Ferreira, N.J.; Silva, M.G.A.J. & Silva Dias, M.A.F. 2009. *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo, Oficina de Textos. 463 p.
- Climanálise. 2004-2008. *Boletim de Monitoramento e Análise Climática*. São José dos Campos-SP, INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>>. Acesso em: 06 jan. 2013.
- CEDCRS, 2012. Coordenadoria Estadual de Defesa Civil do RS. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rs.gov.br/>>. Acesso em: 02 set. 2012.
- Corfidi, S.F.; Meritt, J.H. & Fritsch, J.M. 1996. Predicting the movement of mesoscale convective complexes. *Weather and Forecasting*, 11: 41-46.
- Durkee, J.D. & Mote, T.L. 2009. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. *International Journal of Climatology*. Disponível em: <<http://www3.interscience.wiley.com/journal/122267214/abstract>>. Acesso em: 24 fev. 2013.
- FEE. 2012. Fundação de Economia e Estatística. Disponível em: <http://www.fee.rs.gov.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_estado.php>. Acesso em: 20 dez. 2012.
- Grim, A.M. 2009. Variabilidade Anual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I.F.A. *et al.* (eds.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo, Oficina de textos. Cap. 22, p. 353-374.

- Houze, R.A. 1993. Mesoscale convective systems. In: HOUZE, R.A. (ed.). *Cloud dynamics*. Academic Press, Inc., v. 53, p. 334-404.
- Laurent H.; Machado, L.A.T.; Morales, C. & Durieux, L. 2002. Characteristics of Amazonian Mesoscale Convective Systems Observed from Satellite and radar during the WETAMC/LBA Experiment. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D20): 8054.
- Machado, L.A.T. & Rossow, W.B., 1993. Structural characteristics and radiative of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, 121 (12): 3234-3260.
- Machado, L.A.T. & Laurent, H. 2004. The convective system area expansion over Amazonia and its relationships with convective system life duration and high-level wind divergence. *Monthly Weather Review*, 132 (4): 714-725.
- Machado, L.A.T.; Guedes, R.L.; Silveira, J.M.B.; Waltz, R.C. & Alves, M.A.S. 1994. Ciclo de vida de sistemas convectivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8, Belo Horizonte, 1994. *Anais*, Belo Horizonte, SBMet, p. 323- 326.
- Maddox, R.A. 1980. An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in Meteorological data. *Monthly Weather Review*, 108: 1108-1121.
- Marengo, J.A.; Soares W.R.; Saulo C. & Nicolini M. 2004. Climatology of the Low- Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP-NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. *Journal of Climate*, 17 (12): 2261- 2280.
- Matzenauer R.; Viana D.R.; Bueno A.C.; Maluf J.R.T. & Carpenedo C.B. 2007. Regime Anual e Estacional De Chuvas No Rio Grande Do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, Aracaju-SE, 2007. *Anais*, Aracaju-SE, SBAGro.
- Monteiro, J.M. 1992. As Populações Indígenas do Litoral Brasileiro no Século XVII: Transformação e Resistência. In: DIAS, J. (Org.). *Brasil nas Vésperas do Mundo Moderno*. 1ed. Lisboa, Comissão Nacional para as Comemorações dos Descobrimientos Portugueses, p. 121-136.
- Monteiro, J.M. 1990. A População Indígena do Brasil Colonial. In: ENCONTRO REGIONAL DE HISTORIA, 10, Franca-SP, 1990. *Caderno de Resumos*, Franca, ANPUH-SP.
- Mota, G.V. 2003. *Characteristics of rainfall and precipitation features defined by the Tropical Rainfall Measuring Mission over South America*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, University of Utah, Tese de Doutorado, 215 p.
- Nicolini, M.; Saulo, A.C.; Torres, J.C. & Salio, P. 2002. 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*, 27: 59-69.
- Rasera, G. 2013. *Eventos severos gerados por SCM que atingiram o Rio Grande do Sul no período de 2004 a 2008*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Dissertação de Mestrado, 94 p.
- Romatschke, U. & Houze, R.A. 2010. Extreme Summer Convection in South America. *Journal of Climate*, 23: 3761–3791.
- Sakamoto, M.S. 2009. *Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 243p.
- Salio, P.; Nicolini, M. & Saulo, A.C. 2002. Chaco Low Level Jet Events Characterization during the Austral Summer Season. *Journal Geophysical Research*, 107 (D24): 4816, 10.1029/2001JD001315.
- Silva Dias, M.A.F. 1996. Complexos convectivos de mesoescala. In: NOBRE, C.A. (Ed.) 1996. *Climanálise Especial: edição comemorativa de 10 anos*. Cachoeira Paulista: MCT/INPE/CPTEC, p.173-182.
- Silva Dias, M.A.F. 1999. Storms in Brazil. In: PIELKE SR., R. & PIELKE JR., R. (Org.). *Storms- hazard and disasters series*. New York, Routledge, v. 2, p. 207-219.
- Silva Dias, M.A.F.; Rozante, J.R.; & Machado, L.A.T. 2009. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I.F.A., et al. *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo, Oficina de Textos. Cap. 12, p. 181-194.
- Siqueira, J.R. 2004. *Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: a propagação meridional da convecção*. Programa de Pós-graduação em Meteorologia, INPE, Dissertação de Mestrado, 186 p.
- Siqueira, J.R. & Machado, L.A.T. 2004. Influence of the Frontal Systems on the Day-to- Day Convection Variability over South America. *Journal of Climate*, 17: 1754- 1766.
- Torres, J.C. 2003. *Sistemas convectivos en mesoescala altamente precipitantes en El norte y centro de Argentina*. Programa de Pós-graduação em Ciências. Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade de Buenos Aires, Tese de doutorado, 130 p.
- Vargas Jr., V.R.; Campos, C.R.J.; Rasera, G. & Eichholz, C.W. 2011. Eventos severos que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 7, Santa Maria-RS, 2011. Disponível em: <http://workshop.micrometeorologia.com/wpcontent/uploads/M%3%93DULO_ANAIS.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- Vargas Jr., V.R.; Campos, C.R.J.; Rasera, G. & Eichholz, C.W. 2012. Formação e Deslocamento dos CCM que afetaram o RS entre 2004 e 2008. In: CONGRESSO ARGENTINO DE METEOROLOGIA, 11, Buenos Aires, 2012. Disponível em: <<http://www.congremet.prmarg.org/upload/vargasvanderlei2.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2013.
- Velasco, I. & Fritsch, J.M. 1987. Mesoscale convective complexes in the Americas. *Journal Geophysical Research*, 92: 9591-9613.
- Viana, D.R.; Aquino, F.E. & Muñoz, V.A. 2009. Avaliação de desastres no Rio Grande do Sul associados a Complexos Convectivos de Mesoescala. *Revista Sociedade & Natureza*, 21 (2): 91-105.
- Vila, D.A. 2004. *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)*. Programa de Pós-graduação em Ciências. Faculdade de Ciências Exatas e Naturais, Universidade de Buenos Aires, Tese de doutorado, 132 p.
- Vila, D.A.; Machado, L.A.T.; Laurent, H. & Velasco, I. 2008. Forecast and Tracking the Evolution of Cloud Clusters (ForTraCC) Using Satellite Infrared Imagery: Methodology and Validation. *Weather and Forecasting*, 23: 233–245.
- Zipser, E.J.; Salio, P. & Nicoli, M. 2004. Mesoscale Convective Systems activity during SALLJEX and the relationship with SALLJ events. *CLIVAR, Exchanges–Scientific Contributions*. (29), march 2004.
- Zipser, E.J.; Liu, C.; Cecil, D.J.; Nesbitt, S.W. & Yorty, D.P. 2006. Where are the Most Intense Thunderstorms on Earth? *Bulletin of American Meteorological Society*, 87: 1057–1071.