

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA QUE AFETARAM O RIO GRANDE DO SUL NO PERÍODO DE 2004 A 2008

Cláudia Rejane Jacondino de Campos¹ e Cristiano Wickboldt Eichholz²

Recebido em 7 dezembro, 2010 / Aceito em 15 julho, 2011
Received on December 7, 2010 / Accepted on July 15, 2011

ABSTRACT. In this work, using ForTrACC method (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters), were studied, from 2004 to 2008, the seasonal physics features of the Mesoscale Convective Systems (MCS), whose genesis and maintenance happened southward of 20°S, with life cycle longer than 6 hours, with spontaneous initiation and normal dissipation and that reached the Rio Grande do Sul (RS) State (MCS_{RS}). Channel 4 Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) images from 2004/01/01 to 2008/12/31, with 4 km × 4 km spatial resolution in the subsatellite point and 1/2 hour temporal resolution were used. These images were provided by DSA/CPTEC/INPE (*Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*) and were the data basis to the ForTrACC method. The results showed that from MCS_{RS}: i) the majority occurred in the warmest quarter and showed lifetime between 6 and 12 h; ii) those with higher lifetime covered larger areas; iii) the largest and most long were observed in JAS (Jul, Aug, Sept) due to higher occurrence of cold fronts in this quarter that favors greater convective activity; iv) presented the three phases of the life cycle distributed throughout the day; v) had their initiation inside and around the grid that covers RS, with preferential initiation over the continent; and vi) presented mean preferential trajectory from west to east.

Keywords: remote sensing, ForTrACC method, meteorological systems, mesoscale meteorology.

RESUMO. Neste trabalho, utilizando a técnica ForTrACC (*Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters*), foram estudadas, para o período de 2004 a 2008, as características físicas sazonais dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, no qual apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e afetaram o Estado do Rio Grande do Sul-RS (SCM_{RS}). Foram utilizadas as imagens brutas do satélite GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) do canal 4, com resolução espacial no seu ponto subsatélite de 4 km × 4 km e resolução temporal de 1/2 hora, do período de 01/01/2004 a 31/12/2008. 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) e serviram como base de dados para a utilização da técnica ForTrACC. Os resultados mostraram que dos SCM_{RS}: i) a maioria ocorreu nos trimestres mais quentes do ano e apresentou tempo de vida entre 6 e 12 h; ii) aqueles com maior tempo de vida cobriram áreas maiores; iii) os maiores e mais longos foram observados em JAS (jul, ago, set) devido à maior ocorrência de frentes frias neste trimestre o que favorece a maior atividade convectiva; iv) apresentaram as 3 fases do ciclo de vida distribuídas ao longo do dia; v) tiveram seus nascimentos dentro e em torno da grade que cobre o RS, com iniciação preferencial sobre o continente; e vi) apresentaram trajetória média preferencial de oeste para leste.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, técnica ForTrACC, sistemas meteorológicos, meteorologia de mesoescala.

¹Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, Departamento de Meteorologia, Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Caixa Postal 354, 96001-970 Pelotas, RS, Brasil. Tel./Fax: (53) 3277-6767 – E-mail: cjampos@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, Departamento de Meteorologia, Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Caixa Postal 354, 96001-970 Pelotas, RS, Brasil. Tel./Fax: (53) 3277-6767 – E-mail: cristianowe@gmail.com

INTRODUÇÃO

As atividades humanas são diretamente influenciadas pelas condições do tempo e do clima, uma vez que diversos setores da sociedade se mostram extremamente dependentes dos mais variados tipos de fenômenos meteorológicos. Esta dependência é explicada através da importância que os fenômenos meteorológicos têm frente à manutenção do regime hídrico e energético do planeta. Por outro lado, da mesma forma que os fenômenos meteorológicos contribuem para o equilíbrio do planeta, também podem afetar a sociedade de forma negativa, através de tempestades severas que comumente provocam muitos prejuízos aos diversos setores da sociedade, podendo causar até a perda de vidas. Por essa razão, o estudo dos SCM tem sido difundido entre os pesquisadores, devido ao impacto em superfície causado por sua passagem ou existência que é geralmente associada à precipitação intensa, fortes rajadas de vento e granizo.

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). Podem ser classificados como: Linhas de Instabilidade (LI), os que possuem forma de linha; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), os que apresentam um formato circular ou simplesmente, SCM, os de formas irregulares.

Diversos autores (Machado et al., 1994; Nicolini et al., 2002; Torres, 2003; Vila, 2004; Zipser et al., 2004) têm analisado vários SCM com o objetivo de determinar o seu tamanho e seu horário preferencial de formação e de maturação. Esses estudos mostram que o tamanho dos SCM está associado ao seu tempo de vida, ou seja, maiores SCM são os que apresentam maior duração.

Apesar de os SCM serem responsáveis pela maior parte da precipitação da estação quente nas regiões tropicais e temperadas da América do Sul-AS (Velasco & Fritsch, 1987; Vila, 2004), contribuindo para a geração de condições de tempo adverso, eles ainda não são bem previstos (Corfidi et al., 1996). Monitorar o deslocamento e a evolução dos SCM é de grande importância para a previsão do tempo e de fenômenos meteorológicos adversos. Por isso, com o objetivo de se obter um melhor conhecimento do ciclo de vida dos SCM, assim como um melhor entendimento de suas características físicas e morfológicas, são desenvolvidas técnicas de acompanhamento dos mesmos. Dentre essas técnicas, pode-se citar o ForTrACC (Vila et al., 2008), que utiliza limiares de tamanho e temperatura de brilho do topo das nuvens, nas imagens brutas do canal 4 do satélite GOES, para identificar e acompanhar os SCM. Atualmente, o ForTrACC é utilizado de forma operacional na DSA/CPTEC/INPE, onde também realiza o prognóstico da evolução de SCM para até duas horas. A

DSA disponibiliza a versão diagnóstica do aplicativo, que é utilizada nas atividades de pesquisa.

Os trabalhos que vêm sendo realizados, utilizando o ForTrACC, mostram a sua importância nas pesquisas sobre eventos severos. Estes estudos dão uma contribuição significativa para o entendimento do tempo e clima e para a previsão dos SCM reduzindo com isso a vulnerabilidade aos danos causados pelas condições de tempo severo gerados por estes sistemas.

Pelo exposto acima, fica claro que estudos sobre a variabilidade espacial e temporal das características morfológicas e radiativas dos SCM sobre a AS são de fundamental importância para se responder diversas questões que ainda estão em aberto sobre os SCM. Cabe ressaltar que a região onde o RS se localiza possui características ideais para o desenvolvimento de atividade convectiva e formação e manutenção de SCM. Isso porque essa região sofre a influência da passagem dos Sistemas Frontais (SF) e dos Jatos de Baixos Níveis (JBN), que transportam calor e umidade da Amazônia para o sul do Brasil. Dentro deste contexto, o objetivo deste trabalho foi estudar as características físicas sazonais dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, no qual apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e afetaram o RS (27° a 34°S e 49° a 58°W) durante o período de 2004 a 2008, utilizando a técnica ForTrACC.

METODOLOGIA

Foram utilizadas as imagens brutas do satélite GOES, do canal 4 (infravermelho termal), com resolução espacial em seu ponto subsatélite de 4 km × 4 km e resolução temporal de 1/2 hora, do período de 01/01/2004 a 31/12/2008. Esses dados foram fornecidos pela DSA/CPTEC/INPE e serviram como base de dados para a utilização da técnica ForTrACC.

Para a seleção dos SCM foi utilizado o aplicativo ForTrACC (Vila et al., 2008) no modo diagnóstico. Este aplicativo 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 (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 tempera-

tura de brilho do topo das nuvens utilizados neste estudo 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.

Inicialmente foram obtidas as características ao longo do ciclo de vida de todos os SCM identificados pelo ForTrACC, no período de 2004 a 2008, porém somente foram considerados nesse estudo 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. Embora considerando sistemas com ciclo de vida longo, não foi feita nenhuma classificação dos mesmos em SCM, CCM ou LI. Como a grade de estudo não se ajusta aos contornos do Estado do RS, os SCM pequenos podem afetar a grade de estudo, porém não afetá-lo. Por esta razão o limiar de 6 horas foi utilizado para garantir que os sistemas selecionados tenham afetado o RS, uma vez que quanto maior o tempo de vida de um SCM maior será sua área. A utilização do limiar de 6 horas também permite a comparação dos resultados, com estudos já realizados (Sakamoto, 2009). Da mesma forma permite o confronto dos resultados obtidos neste estudo com estudos de sistemas mais específicos, como por exemplo, CCM que também afetam a região de estudo e tem o limiar de 6 horas na sua definição (Maddox, 1980);
- 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 (retângulo na Fig. 1).

Destaca-se que a partir deste ponto os SCM com as características citadas acima são mencionados como os SCM que afetaram o RS (SCM_{RS}).

Após a seleção dos SCM_{RS}, os mesmos foram 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 analisou-se a distribuição sazonal normalizada para o período de 2004 a 2008 do total de SCM_{RS}. Para isso, foi realizada a normalização do total de SCM observados em cada mês de cada trimestre do período de estudo, visando evitar possíveis erros na totalização dos eventos, uma vez que existem falhas nas imagens de satélite e estas não são iguais para os meses e anos. Para a normalização foram utilizados de cada mês de cada trimestre do período de estudo, os totais de SCM_{RS}, o total de imagens disponíveis e o número máximo de imagens que poderiam estar disponíveis.

Na sequência foi feita a análise sazonal para o período de 2004 a 2008:

- i) do tempo de vida (ou duração do ciclo de vida) dos SCM_{RS}, isto é, o tempo decorrido entre a iniciação e a dissipação de cada SCM_{RS};
- ii) do tamanho máximo ou área máxima coberta pelos SCM_{RS} em função do seu tempo de vida;
- iii) dos horários mais frequentes de nascimento, maturação e dissipação dos SCM_{RS}, considerando os períodos do dia como segue: madrugada (das 03:00 às 09:00 UTC), manhã (das 09:00 às 15:00 UTC), tarde (das 15:00 às 21:00 UTC) e noite (das 21:00 às 03:00 UTC);
- iv) das regiões preferenciais de nascimento dos SCM_{RS}, cobrindo-se a área de estudo (Fig. 1) com uma malha regular de 2° × 2° e calculando-se a quantidade de SCM_{RS} em cada malha; e
- v) da trajetória média preferencial dos SCM_{RS}. Para isso foram utilizadas as latitudes e as longitudes do primeiro e do último membro de cada SCM_{RS}, que trazem as informações e/ou as características apresentadas pelo SCM_{RS} no momento de sua iniciação e dissipação, respectivamente. Além disso, também foram utilizadas a latitude e a longitude do membro correspondente à maturação de cada SCM_{RS}, ou seja, aquele que apresenta a máxima extensão. Com as informações da posição de todos os

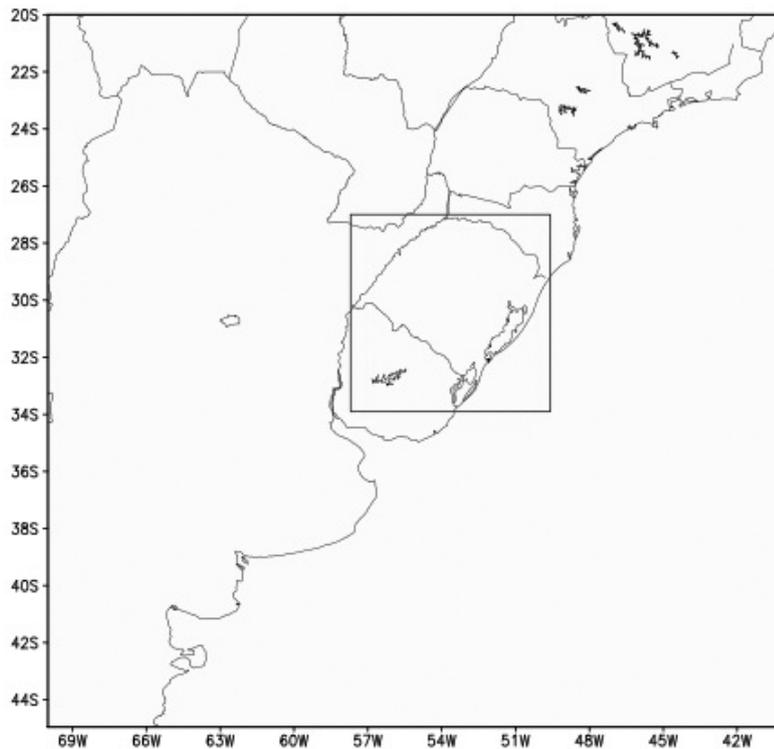


Figura 1 – Região que cobre o Rio Grande do Sul (retângulo entre as latitudes de 27° a 34°S e as longitudes de 58° a 49°W) e que foi afetada por SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h e que tiveram iniciação espontânea e dissipação normal.

SCM_{RS} em cada fase do seu ciclo de vida foi então construída a trajetória média dos SCM_{RS} em cada trimestre do período de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise sazonal dos SCM_{RS} no período de 2004 a 2008

a. Distribuição

A distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008 dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S em função do tempo de vida e do tipo de geração e dissipação e a distribuição dos SCM_{RS} é mostrada na Tabela 1.

Pode-se observar na Tabela 1 que foram detectados pelo ForTrACC, no período de estudo, 421.790 SCM que se formaram e se mantiveram ao sul de 20°S, sendo que destes, 10.714 apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h e tiveram geração espontânea e dissipação normal. Dos 10.714 SCM apenas 626 afetaram o RS (5,85% dos 10.714 SCM). Cabe ressaltar que as análises que seguem a partir deste ponto levaram em conta apenas os 626 SCM_{RS}.

Visando evitar possíveis erros na totalização dos eventos,

uma vez que existem falhas nas imagens de satélite e estas não são iguais para os meses e anos, foi realizada a normalização dos SCM_{RS}. A distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008 do total de SCM que afetaram o RS evidenciou, após a normalização, que os totais de SCM_{RS} detectados, distribuíram-se da seguinte forma: 27,35% em JFM, 24,44% em AMJ, 25,23% em JAS e 22,98% em OND.

A análise da Tabela 1 e da distribuição normalizada mostra que para o período de estudo, os SCM que afetaram o RS são observados em todos os períodos do ano. Porém, considerando os trimestres JFM e OND como períodos quentes e AMJ e JAS como períodos frios do ano, os resultados evidenciam maior ocorrência de SCM nos períodos quentes (50,33%), do que nos períodos frios (49,67%).

O predomínio de SCM durante os períodos quentes do ano pode ser explicado pelo estabelecimento de condições ambientais favoráveis ao seu desenvolvimento, tais como, condições sinóticas de grande escala, influência da topografia e processos dinâmicos e termodinâmicos que ocorrem em suas proximidades.

Em termos de grande escala, no verão, a Alta da Bolívia (AB, circulação quase-estacionária em altos níveis, dinâmica-

Tabela 1 – Distribuição sazonal para o período de 2004 a 2008 do total de SCM cuja gênese e manutenção ocorreram abaixo de 20°S em função do tempo de vida (<6 h ou ≥6 h) e do tipo de geração e dissipação (geração espontânea-GE e dissipação normal-DN ou outros) e daqueles SCM que afetaram o RS.

Trimestre	Tempo de vida ↓ 20°S			Tipo de geração e dissipação, <6 h ↓ 20°S		Tipo de geração e dissipação, ≥6 h, ↓ 20°S		↓ 20°S, ≥6 h, GE e DN, afetaram RS
	<6 h	≥6 h	Total	GE/DN	Outros	GE/DN	Outros	
JFM	77.180	4.446	81.626	47.287	29.893	2.779	1.667	179
AMJ	100.440	4.393	104.833	58.374	42.066	2.589	1.804	150
JAS	114.059	4.199	118.258	67.650	46.409	2.456	1.743	142
OND	112.260	4.813	117.073	65.890	46.370	2.890	1.923	155
TOTAL	403.939	17.851	421.790	239.201	164.738	10.714	7.137	626 (5,85%)

mente ligada a um cavado sobre o nordeste do Brasil) e a Baixa do Chaco (BC, área de baixa pressão de origem termo-orográfica localizada entre o Paraguai e Bolívia) atuam no sentido de gerar convergência, movimentos ascendentes e aquecimento em baixos níveis, condições necessárias para desencadear a convecção. As principais características dos escoamentos em baixos níveis (850 hPa) no verão na AS são a circulação da Alta do Atlântico Sul (AAS, associada à circulação média meridional da atmosfera, que surge devido à Célula de Hadley) e o JBN (escoamento de norte, a leste dos Andes), que contribuem para o transporte de calor e umidade da região amazônica para a região subtropical (Velasco & Fritsch, 1987; Robertson & Mechoso, 2000; Nieto Ferreira et al., 2003; Marengo et al., 2004; Vila, 2004; Mattos, 2009). Gandú & Geisler (1991) e Figueroa et al. (1995) mostram que os Andes exercem um papel fundamental no estabelecimento de um escoamento de norte, em baixos níveis, na sua encosta leste, na presença de fontes de calor na Amazônia, típicas no verão. Os Andes servem como uma parede para o escoamento zonal sobre a AS e geram impacto na circulação regional contribuindo ainda para a formação de ondas de montanha local e também para determinar a posição de ondas planetárias sobre o Hemisfério Sul (Berbery & Collini, 2000). Segundo Sugahara et al. (1994), o JBN é forçado pelas ondas baroclínicas, que provocam diminuição da pressão em baixos níveis na parte sul da AS, forçando o fluxo de noroeste a girar no sentido horário e tornar-se de norte dirigindo-se para latitudes mais altas, transportando calor e umidade para estas regiões. O estabelecimento deste escoamento de norte, em baixos níveis, do lado leste dos Andes (JBN) é uma situação climatológica típica e muito importante durante o verão na AS, porque além de representar um dos mecanismos dinâmicos responsáveis por transportar ar quente e úmido dos trópicos para os extratropicos, gera turbulência por meio do cisalhamento do vento e participa ativamente como me-

canismo de disparo da instabilidade potencial favorável para a formação de tempestades severas no Sul-Sudeste do Brasil, Norte da Argentina, Bolívia e Sul do Paraguai (Virji, 1981; Sugahara et al., 1994; Nogués-Paegle & Mo, 1997; Douglas et al., 1999; Seluchi & Marengo, 2000; Marengo et al., 2004). Esse fato foi também relatado por Salio et al. (2002) quando observaram que os eventos de JBN, que se estenderam ao sul de 25°, geram condições de instabilidade necessárias para o desenvolvimento da convecção na área subtropical e explicam 45% da precipitação de verão da região subtropical da AS.

Além disso, a variabilidade sazonal da insolação, que é maior nos períodos quentes e menor nos períodos frios, favorece a atividade convectiva em JFM e, portanto, maior ocorrência de SCM nestes trimestres (Mattos, 2009).

b. Duração do ciclo de vida

A duração do ciclo de vida ou tempo de vida dos SCM_{RS} em cada trimestre do período de 2004 a 2008 é mostrada na Figura 2.

Dos SCM_{RS} no trimestre JFM (Fig. 2a): a maioria (67% – 120 SCM_{RS}) apresentou tempo de vida entre 6 e 12 h; aqueles com tempo de vida entre 12 e 24 horas corresponderam a 27,4% do total detectado (49 SCM_{RS}) e, os que tiveram duração superior a 24 horas representaram 5,6% (10 SCM_{RS}) dos sistemas. Em AMJ, dos SCM_{RS} (Fig. 2b): 60% (90 SCM_{RS}) apresentou tempo de vida entre 6 e 12 h; os que apresentaram tempo de vida entre 12 e 24 horas corresponderam a 25,3% (38 SCM_{RS}) do total detectado e, 14,7% (22 SCM_{RS}) tiveram duração superior a 24 horas. Dos SCM_{RS} em JAS (Fig. 2c): 66,2% (94 SCM_{RS}) apresentou tempo de vida entre 6 e 12 h; 27,4% (39 SCM_{RS}) apresentou tempo de vida entre 12 e 24 horas e 6,4% (9 SCM_{RS}) duraram mais do que 24 horas. Dos SCM_{RS} em OND (Fig. 2d): 65,2% (101 SCM_{RS}) apresentou tempo de vida entre 6 e 12 h; 25,2% (39 SCM_{RS}) apresentou tempo de vida entre 12 e 24 horas

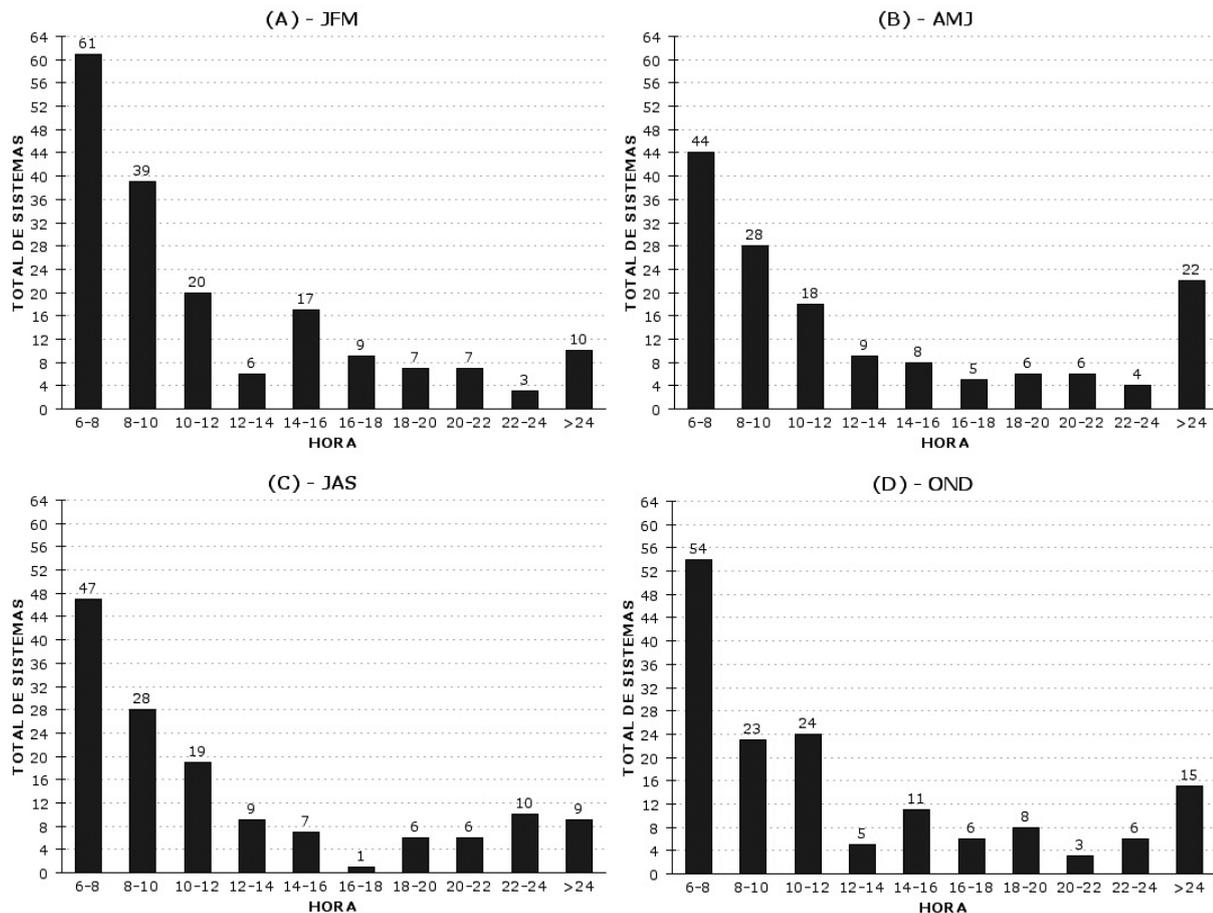


Figura 2 – Tempo de vida dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

e 9,6% (15 SCM_{RS}) tiveram uma duração superior a 24 horas.

Portanto, pode-se observar que nos quatro trimestres do período de estudo a maioria dos SCM_{RS} (64,7%) apresentou tempo de vida entre 6 e 12 h e uma pequena parcela destes (~9%) teve tempo de vida superior a 24 h. Características semelhantes às encontradas neste estudo foram obtidas por Machado et al. (1998), Mathon & Laurent (2001), Laurent et al. (2002) e Vila (2004) quando estudaram o ciclo de vida de SCM sobre as Américas, região de Sahel (África), sobre a região amazônica e sobre o sul da AS, respectivamente. Velasco & Fritsch (1987) afirmam que esta preferência dos SCM em apresentarem tempo de vida entre 6 e 12 h é um reflexo do forte ciclo diurno da radiação e do tamanho característico dos JBN que alimentam os SCM.

Observou-se ainda que o tempo de vida médio dos SCM_{RS} no período de 2004 a 2008 foi de aproximadamente 13,4 h com alguma variação entre os períodos quentes (OND: 13,3 h e JFM: 12,5 h) e os frios (AMJ: 14,3 h e JAS: 13,5 h). Comportamento semelhante foi observado por Durkee & Mote (2009) quando

analisaram a duração média dos CCM sobre a região subtropical da AS, durante o período quente (outubro - maio) de 1998 a 2007, que foi de aproximadamente 14 h.

c. Tamanho máximo

Analisou-se também para o período de estudo, o tamanho máximo ou área máxima (em pixels, 1 pixel = ~16 km²) atingida pelos SCM_{RS} em função do seu tempo de vida (Fig. 3 e Tab. 2). Pode-se observar que os SCM_{RS} com menor tempo de vida não chegam a ter grande extensão horizontal, por outro lado os SCM_{RS} com maior tempo de vida cobrem áreas maiores (Fig. 3). Autores têm verificado uma relação entre o ciclo de vida dos SCM e seu tamanho (Velasco & Fritsch, 1987; Machado et al., 1998; Machado et al., 2002; Vila, 2004), de forma que quanto maior for o tempo de vida do SCM maior será seu tamanho.

Também foi observado que os maiores SCM_{RS} foram observados em JAS e OND com um tamanho médio de ~20.791 pixels e ~17.788 pixels, respectivamente (Tab. 2). Por outro lado, os

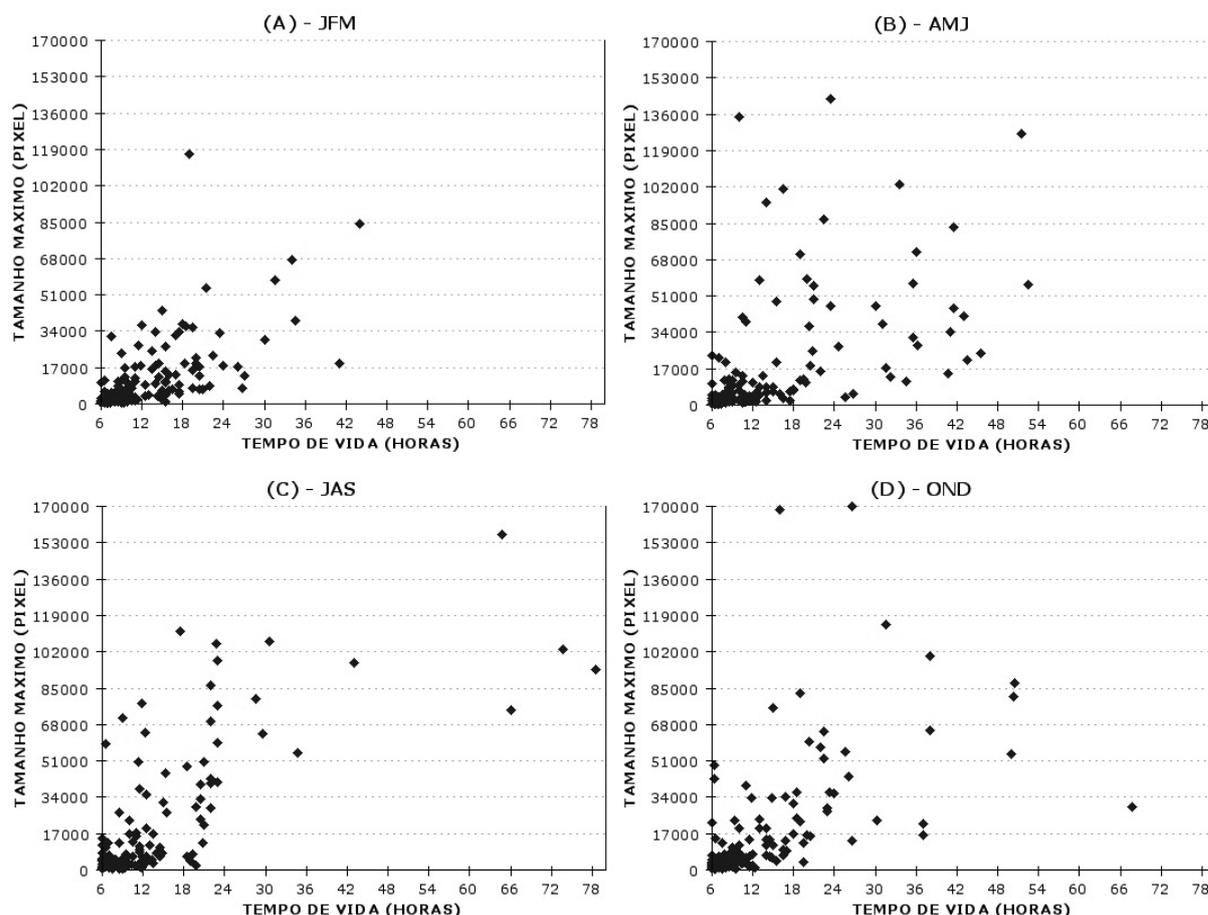


Figura 3 – Tamanho máximo dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008 em função do seu tempo de vida. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

menores SCM_{RS} foram observados em JFM e AMJ com um tamanho médio de ~ 12.976 pixels e ~ 15.976 pixels respectivamente (Tab. 2).

Tabela 2 – Tamanho médio (pixel) sazonal dos SCM que atingiram o RS, no período de 2004 a 2008, em função da duração: com ciclo de vida maior ou igual a 6 horas, entre 6 e 12 h, entre 12 e 24 h e com duração superior a 24 h.

Trimestre	≥ 6 h	6-12 h	12-24 h	> 24 h
JFM	12.976,34	5.580,26	23.559,50	34.307,96
AMJ	15.975,46	7.540,52	22.211,72	35.294,56
JAS	20.790,62	7.835,46	33.348,86	97.342,90
OND	17.787,70	5.546,64	27.880,46	54.431,50

Essas diferenças de duração (Fig. 2, Tab. 2) e tamanho (Fig. 3, Tab. 2) entre os SCM também foram detectadas por outros autores (Tollerud & Rodgers, 1991; Ashley et al., 2003; Siqueira, 2004; Palmeira, 2005). A hipótese sugerida por Ashley et al. (2003) para essas diferenças é que diferentes mecanismos dinâmicos podem causar grandes diferenças nos tamanhos e duração dos SCM. Tais processos incluem diferenças na

circulação diurna que estão frequentemente relacionados à cobertura do solo e topografia (Laing & Fritsch, 1997). Portanto não se pode ignorar o efeito da topografia nas circulações atmosféricas contribuindo para o levantamento das parcelas de ar e desestabilização do ambiente, tornando a atmosfera susceptível a convecção profunda (Sakamoto, 2009).

Além disso, segundo diversos autores (Oliveira & Nobre, 1986; Kousky, 1988; Machado & Duvel, 1998; Garraud, 1999; Vera & Vigliarolo, 2000), a propagação meridional da convecção na AS, gerada pela passagem de frentes frias e pelas incursões de ar frio das latitudes médias nos trópicos, contribui consideravelmente para a variabilidade total interdiurna da atividade convectiva e influi fortemente no regime de precipitação de diversas regiões do continente.

Em geral os SCM que se formam na região desse estudo se desenvolvem durante a ocorrência de frentes frias, o que estimula a atividade convectiva de forma distribuída ao longo do dia. Segundo Siqueira & Machado (2004), em JAS (inverno austral)

ocorrem dois tipos de frentes frias: as que exibem propagação quase-estacionária (com respeito à direção meridional) com a convecção nos subtropicais e/ou latitudes médias e as que organizam a atividade convectiva nos trópicos e propagam-se com a convecção em direção ao equador, as quais contribuem para pelo menos 50% da variabilidade total interdiurna da convecção nesta estação. Já em OND (primavera austral), segundo esses autores ocorrem penetrações de frentes frias que organizam a atividade convectiva nos trópicos e propagam-se com a convecção em direção ao equador, contribuindo para pelo menos 54% da variabilidade total interdiurna da convecção na AS durante esta estação. Portanto essa interação observada entre os Sistemas Frontais e a convecção favorece a formação de SCM_{RS} maiores e mais longos em JAS e OND.

d. *Horários mais frequentes de iniciações, maturações e dissipações*

A análise sazonal dos horários mais frequentes de nascimentos, maturações e dissipações dos SCM_{RS} no período de estudo (Fig. 4) foi feita considerando os períodos do dia como segue: madrugada (das 03:00 às 09:00 UTC), manhã (das 09:00 às 15:00 UTC), tarde (das 15:00 às 21:00 UTC) e noite (das 21:00 às 03:00 UTC).

O comportamento do ciclo diurno da atividade convectiva dos SCM_{RS} no período de 2004 a 2008, mostrado na Figura 4, indica que as 3 fases do ciclo de vida desses SCM podem ocorrer de forma distribuída ao longo do dia. Com algumas diferenças entre os quatro períodos do ano, conforme mostra a descrição a seguir.

Os SCM_{RS} em JFM (Fig. 4a) apresentaram maior ocorrência de iniciação nos períodos da manhã e tarde, maturações nos períodos da tarde e noite e a fase de dissipação ocorreu com maior frequência no período da noite. Em AMJ (Fig. 4b), os SCM_{RS} apresentaram preferência de iniciação nos períodos da madrugada e noite e maturações e dissipações no período da tarde. Os SCM_{RS} em JAS (Fig. 4c) apresentaram iniciação e dissipação mais frequentes no período da madrugada e o estágio de maturações foi observado de forma distribuída ao longo do dia. Em OND (Fig. 4d) os SCM_{RS} apresentaram iniciação mais frequente no período da tarde, a maturações foi observada com maior frequência nos períodos da tarde e noite enquanto que o estágio de dissipação apresentou maior ocorrência nos períodos da noite e madrugada.

Observam-se diferenças sazonais nos horários de iniciação, maturações e dissipações dos SCM_{RS} ao se analisar os quatro períodos do ano. Isso se deve à diferença de insolação recebida

em cada período do ano, ou seja, deve-se à variabilidade sazonal da insolação que é maior em JFM e OND e menor em AMJ e JAS, que faz com que os SCM_{RS} nos períodos frios iniciem seu ciclo de vida mais tarde do que aqueles observados nos períodos quentes, onde a atividade convectiva é favorecida (Mattos, 2009).

A iniciação ao entardecer e primeiras horas da noite (Silva Dias, 1987) indica que é necessário um mecanismo de modulação diurna para acionar esse gatilho desde que a atmosfera esteja condicionalmente estável do ponto de vista termodinâmico. Portanto, o aquecimento diurno parece ser um importante fator na formação dos SCM na região subtropical continental da AS (Sakamoto et al., 2009). Além disso, conforme mencionado por Velasco & Fritsch (1987) a convergência noturna no vale do Rio Paraná, fortalecida pelos ventos catabáticos dos Andes pode explicar a gênese dos SCM no período da noite. Associado a esse fato, segundo Romatschke et al. (2009), o forte cisalhamento do vento com ar úmido de leste nos baixos níveis limitado por ar seco de oeste acima, estimula a forte instabilidade e favorece a convecção na região de estudo. Nesse sentido, a existência de fluxo de ar úmido em baixos níveis e ar seco acima, em combinação com aquecimento diurno e forçantes topográficas e sinóticas levam à formação de SCM que podem ocorrer em diferentes horários do dia.

Com relação à fase de maturações, segundo Siqueira (2004), os SCM sobre os subtropicais/latitudes médias adquirem suas maiores porcentagens de cobertura de nuvens do tipo CCB (nuvens frias altas frequentemente associadas com a convecção) de forma distribuída ao longo do dia, exibindo horários de maturações principalmente no final da tarde, no início da noite e durante a madrugada. Este resultado está provavelmente relacionado com a forte atividade de frentes frias nos subtropicais e latitudes médias, favorecida pela intensa instabilidade baroclínica dessa região, o que acaba estimulando a atividade convectiva em diversos horários do dia sobre aquela região (Siqueira et al., 2005).

A ocorrência de maturações no período da madrugada pode ser explicada pela variação diurna e noturna do resfriamento radiativo troposférico entre áreas cobertas de nuvens e as áreas vizinhas com céu claro (Gray & Jacobson, 1977). Durante a noite o resfriamento atmosférico radiativo é maior em condições de céu claro do que em áreas com nebulosidade, assim, a divergência em baixos níveis seria menor em áreas com nebulosidade. Randall et al. (1991), por sua vez, sugerem que a estabilização em decorrência da absorção de radiação solar devido às nuvens tenderia a suprimir a convecção durante a tarde comparativamente ao período da madrugada.

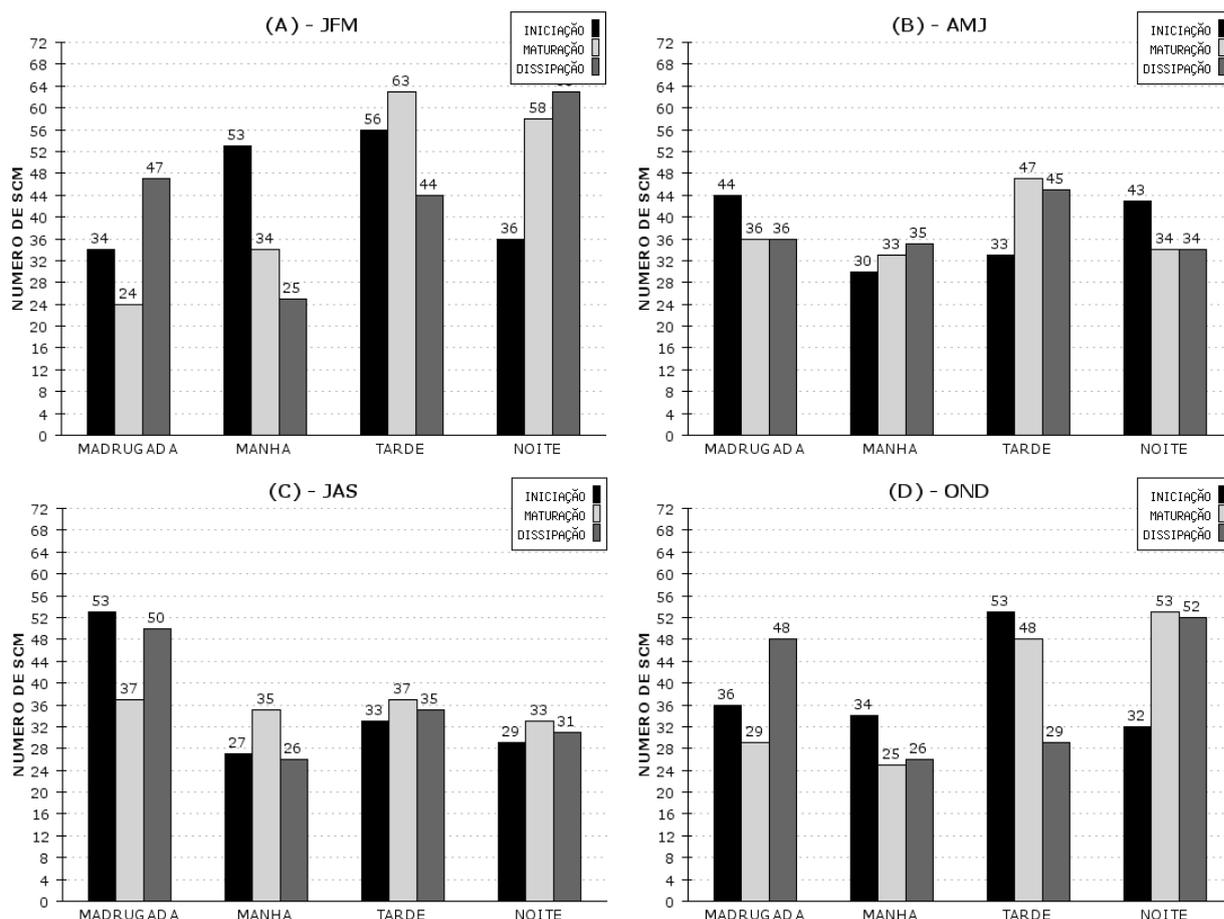


Figura 4 – Distribuição dos horários preferenciais de iniciação (preto), maturação (cinza claro) e dissipação (cinza escuro) dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram um comportamento dos horários de iniciação, maturação e dissipação dos SCM_{RS} semelhante aos encontrados por outros autores ao estudarem as características dos SCM na AS (Velasco & Fritsch, 1987; Machado et al., 1998; Siqueira, 2004; Vila, 2004; Salio et al., 2007; Durkee & Mote, 2009; Sakamoto, 2009; Sakamoto et al., 2009). Cabe lembrar que as diferenças encontradas devem-se ao fato de que os SCM analisados neste estudo são aqueles que se formaram e se mantiveram durante o seu ciclo de vida ao sul de 20°S, apresentaram tempo de vida de no mínimo 6 h, tiveram geração espontânea e dissipação normal e que atingiram a grade que cobre o RS.

e. *Regiões de nascimento preferenciais*

A distribuição geográfica dos nascimentos dos SCM_{RS} no período de 2004 a 2008 é mostrada na Figura 5. Observa-se nessa figura que em todos os períodos do ano os nascimentos dos SCM_{RS} ocorrem dentro e em torno da grade que cobre o RS,

com iniciação preferencial sobre o continente.

Pode-se notar que em JFM (Fig. 5a) o maior número de iniciações dos SCM_{RS} se concentrou no nordeste da Argentina, noroeste do Uruguai, no centro e norte do RS, no oeste de Santa Catarina e sul do Paraná. Em AMJ (Fig. 5b), foram observados picos de iniciação dos SCM_{RS} sobre o nordeste da Argentina, noroeste do Uruguai e sobre o oeste do RS. Já em JAS (Fig. 5c) a região mais frequente de iniciação de SCM_{RS} é observada sobre o centro e leste do Uruguai e também sobre uma pequena parte do extremo sul do RS. Em OND (Fig. 5d), foram observados picos de iniciação de SCM_{RS} sobre o centro do Uruguai, norte do RS, oeste de Santa Catarina e nordeste da Argentina. Observa-se ainda que a região de nascimento dos SCM_{RS} , neste trimestre se deslocou para oeste, conforme também havia verificado Velasco & Fritsch (1987).

Os máximos relativos de atividade convectiva observados em JFM e OND, no norte do RS e nordeste da Argentina, parecem indicar uma alta relação entre a ocorrência de nascimentos

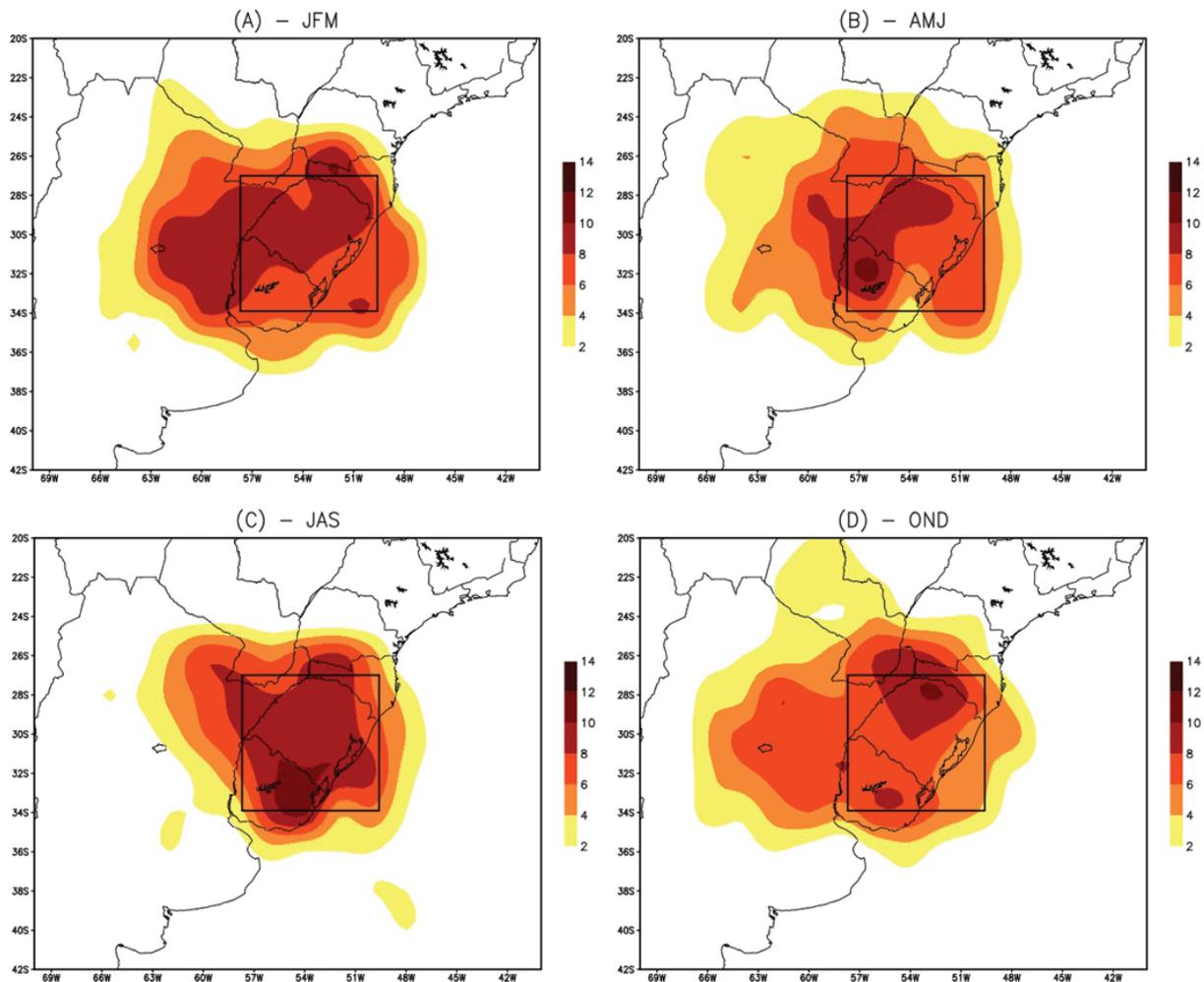


Figura 5 – Distribuição geográfica sazonal dos nascimentos dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

de SCM e a topografia, que pode estar relacionado aos efeitos térmicos e orográficos que geram este tipo de sistemas. Em geral, o tipo de convecção que se produz nessas regiões é do tipo local e de pequena escala (Vila, 2004). Segundo Velasco & Fritsch (1987), fatores de pequena escala como topografia e fontes de calor localizadas podem exercer importante papel para a definição da região mais provável de formação dos SCM.

Por outro lado, a frequência mensal e a distribuição espacial dos SCM sobre a AS são bem conectados a certos processos sinóticos e de mesoescala favoráveis ao seu desenvolvimento. Especificamente, os padrões de frequência e concentração dos SCM no Paraguai, norte da Argentina e sul do Brasil durante o verão são indicativos de estabilidade estática mínima comum nesta época do ano (Durkee & Mote, 2009). Também, o forte aquecimento diurno que ocorre sobre as regiões mais elevadas

dos Andes pode gerar ondas de gravidade que se propagam em direção ao continente, estimulando a convecção nas regiões preferências de iniciação dos SCM (Mapes et al., 2003).

Outro fator que justifica a ocorrência dos máximos de atividade convectiva em JFM e OND no norte/nordeste da Argentina está relacionado com a região de saída do JBN, onde há umidade e calor para a geração da convecção. No norte do RS a formação dos SCM pode ter como possíveis causadores a convergência noturna no vale do rio Paraná, o fluxo de umidade oceânica associado à circulação da AAS, as frentes frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul-ZCAS (Sakamoto, 2009).

Por outro lado, nos períodos frios (AMJ e JAS) os máximos relativos de atividade convectiva, mostram que a região favorável para a ocorrência de SCM_{RS} fica ao sul da grade que cobre o RS sobre o Uruguai e o oceano, podendo estar associados à pas-

sagem de frentes frias sobre a região nestes períodos. De acordo com Siqueira (2004), a propagação e a intensificação da convecção ocorrem ao longo das frentes frias que atingem a região, sendo que nos períodos frios (AMJ e JAS) elas contribuem fortemente para intensificação da convecção e, portanto para o desenvolvimento de SCM.

Outra característica observada foi a predominância de iniciações dos SCM_{RS} sobre o continente em comparação com o oceano, conforme pode ser observado na Figura 5. Esse comportamento também foi observado por Sakamoto (2009) ao analisar os SCM de longa duração (maior do que 6 h) observados entre 15/12/2002 e 15/02/2003 durante o Experimento SALLJEX – South American Low-Level Jet Experiment (Vera et al., 2006). Segundo Doswell & Bosart (2001), essa predominância de SCM sobre o continente pode ser consequência da baixa capacidade térmica do solo em relação à água, que faz com que a temperatura sobre o continente se eleve mais rapidamente do que sobre o oceano, favorecendo o desenvolvimento de maior instabilidade potencial sobre a região continental. Além disso, como a superfície continental é mais irregular do que a oceânica, a topografia e o maior aquecimento podem ser gatilhos para a formação de maior número de SCM sobre o continente.

f. *Trajatória média preferencial*

A trajetória média preferencial seguida pelos SCM_{RS} no período de 2004 a 2008 é mostrada na Figura 6. Pode-se notar que em todos os trimestres a trajetória média preferencial dos SCM_{RS} é de oeste para leste, semelhante à circulação de grande escala (Lau & Crane, 1995; Romatschke & Houze, 2010).

É possível observar que em JFM (Fig. 6a) as etapas de iniciação, maturação e dissipação dos SCM_{RS} ocorreram na média dentro da região de estudo sobre o continente, com iniciação no oeste, maturação no centro-sul e dissipação no leste do RS, respectivamente. Em AMJ (Fig. 6b) e OND (Fig. 6d) os estágios do ciclo de vida dos SCM_{RS} tiveram um comportamento médio semelhante, iniciação no oeste, maturação no leste e dissipação no oceano à leste do RS. Em JAS (Fig. 6c), apenas a etapa de iniciação dos SCM_{RS} ocorreu sobre o continente (oeste do RS), os demais estágios ocorreram na média no litoral sul do RS.

Cabe ressaltar que diferenças nas trajetórias de SCM estudados por diferentes autores podem ocorrer devido aos diferentes tamanhos de SCM selecionados, uma vez que a interação dos SCM com a circulação de grande escala difere em função do tamanho dos mesmos (Machado et al., 1998). Apesar dessa ressalva, os resultados obtidos neste trabalho vão ao encontro daqueles encontrados por diversos autores (Velasco & Fritsch, 1987;

Machado et al., 1998; Siqueira, 2004; Vila, 2004; Durkee & Mote, 2009; Sakamoto, 2009; Sakamoto et al., 2009, por exemplo), que mostraram que os SCM subtropicais sul-americanos tendem a se deslocar para leste desde sua gênese até sua dissipação. Isso ocorre porque o movimento do SCM é a soma de uma componente advectiva, dada pelo deslocamento médio das células convectivas, e uma componente de propagação, definida pela taxa de formação e localização de novas células (Newton & Katz, 1958; Newton & Newton, 1959; Bluestein & Jain, 1985). Quanto às células convectivas individuais imersas nos SCM, estas tendem a se mover a favor do fluxo médio na camada de nuvens. Contudo, a estrutura em mesoescala do SCM tende a se mover em direção oposta ao fluxo em baixos níveis que fornece ar quente e úmido (Corfidi et al., 1996; Fritsch & Forbes, 2001). Além disso, segundo Romatschke & Houze (2010), o movimento para leste dos SCM é esperado em função dos fortes ventos de oeste que são observados em altitude na região.

Outro estudo que corrobora os resultados deste trabalho é o de Siqueira & Marques (2008), no qual foi analisado o deslocamento dos SCM sobre o sudeste do Brasil, no período de janeiro de 1998 a dezembro de 2000. Foi observado neste estudo que as trajetórias desenvolvidas pelos SCM foram predominantemente, do continente para o oceano, modulados por frentes frias e forçantes associados a contrastes térmicos e à estratificação atmosférica em grande escala. Um pequeno número de SCM desenvolveu trajetória inversa, isto é, do oceano para o continente, aparentemente modulados por influências termodinâmicas da região de estudo, como a brisa marítima. Estes autores também observaram que a circulação predominantemente zonal acima de 500 hPa favorece o deslocamento zonal observado na maioria dos SCM, isso por que a influência dinâmica é mais forte do que influência termodinâmica na região de estudo.

CONCLUSÕES

As características físicas sazonais dos SCM cuja gênese e manutenção ocorreram ao sul de 20°S, que apresentaram ciclo de vida de no mínimo 6 h, que tiveram nascimento espontâneo e dissipação normal e que afetaram a região que cobre o RS, durante o período de 2004 a 2008, foram analisadas utilizando a técnica ForTrACC. Pode-se concluir para o período de estudo que:

- i) os SCM_{RS} apresentaram maior número de ocorrência no período mais quente do ano, devido ao aparecimento de condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de nuvens convectivas, geralmente associadas a um JBN que transporta calor e umidade da região amazônica para a região subtropical;

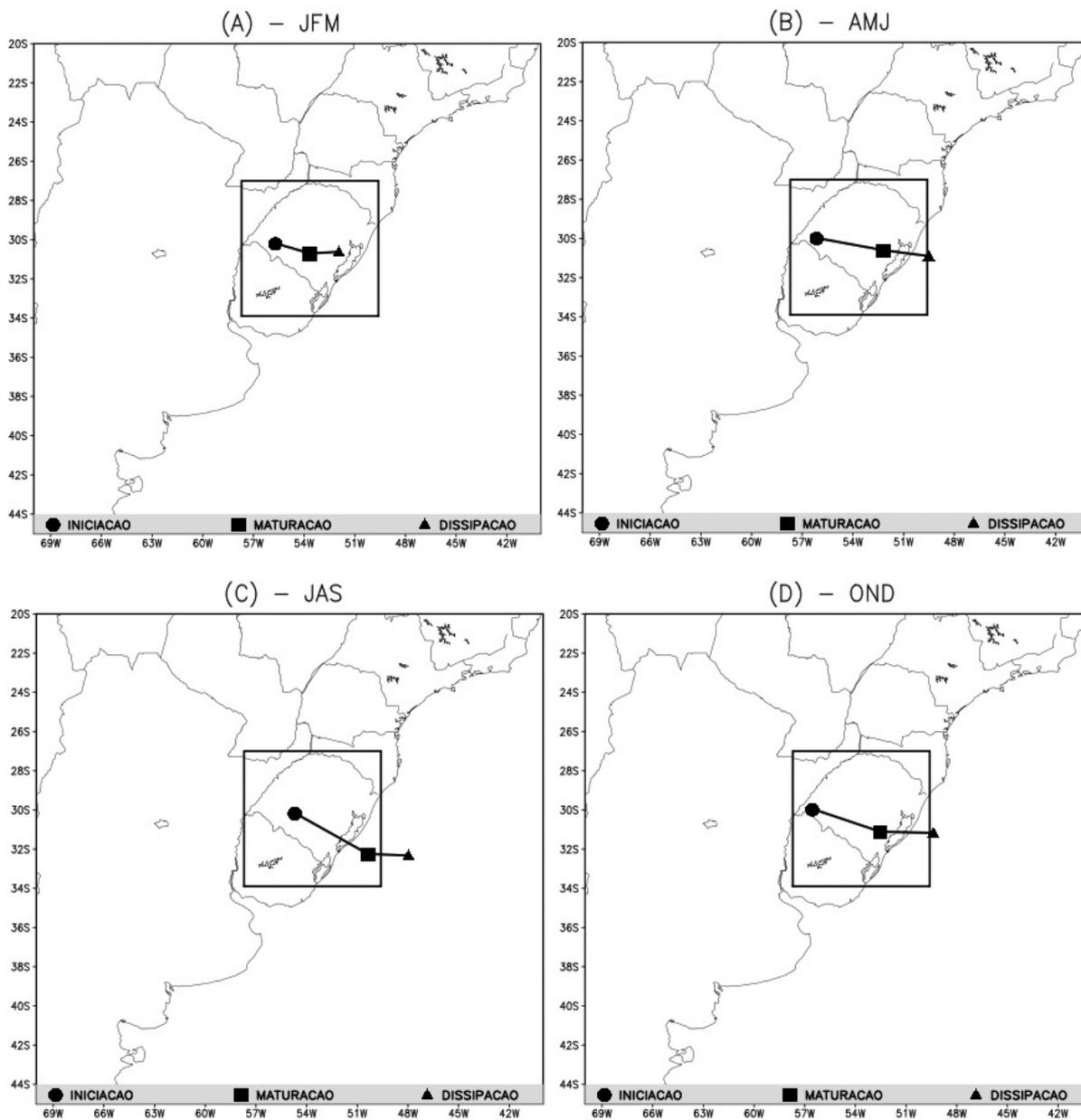


Figura 6 – Trajetórias médias preferenciais sazonais dos SCM que afetaram o RS no período de 2004 a 2008. (a) JFM, (b) AMJ, (c) JAS e (d) OND.

- ii) a maioria dos SCM_{RS} (64,7%) apresentou tempo de vida entre 6 e 12 h, o que parece ser uma característica intrínseca dos SCM;
- iii) dos SCM_{RS} aqueles que apresentaram maior tempo de vida cobriram áreas maiores;
- iv) os maiores e mais longos SCM_{RS} foram observados em JAS devido à maior ocorrência de frentes frias neste trimestre o que favorece a maior atividade convectiva;
- v) as 3 fases do ciclo de vida dos SCM_{RS} ocorreram de forma distribuída ao longo do dia;
- vi) os nascimentos dos SCM_{RS} ocorreram dentro e em torno da grade que cobre o RS, com iniciação preferencial sobre o continente;
- vii) há uma tendência para a trajetória média preferencial dos SCM_{RS} ser de oeste para leste.

A variabilidade sazonal das características dos SCM que afetaram o RS, bem como os mecanismos que podem contribuir para essas características, foi discutida neste trabalho, com a finalidade de se obter um melhor entendimento da influência deste tipo de sistema sobre o RS. Neste contexto, uma vez que os SCM influenciam de forma significativa as condições do tempo no RS, produzindo impactos em diversos setores da sociedade, sendo muitas vezes responsáveis por grandes prejuízos econômicos e também pela perda de vidas, os resultados obtidos neste estudo fornecem (a pesquisadores, previsores do tempo e tomadores de decisão) importantes informações sobre as principais características dos SCM que afetam o Estado.

Como o RS tem sua economia em grande parte baseada na agricultura, uma das causas de prejuízos e quebras de safras no Estado é a ocorrência de eventos de tempo severo (granizo, enxurrada, vendaval, entre outros), que estão associados aos SCM. Neste sentido, o estudo dos processos físicos envolvidos na formação e manutenção de SCM severos que afetam o RS é bastante relevante, isso porque o melhor entendimento deste tipo de sistema permitirá definir como prevê-los e com isso reduzir a vulnerabilidade aos danos causados pelas condições de tempo severo gerados por estes sistemas.

Aos pesquisadores e previsores do tempo este trabalho mostrou que o aplicativo ForTrACC contribui de forma significativa para o estudo dos SCM, podendo ser utilizado não somente no campo da pesquisa como também na área de previsão do tempo.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

ARAÚJO SMB. 2005. Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas média do ar no Rio Grande do Sul. Pelotas. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, UFPel, 54 pp.

ASHLEY WS, MOTE TL, DIXON PG, TROTTER SL, POWELL EJ, DURKEE JD & GRUNDSTEIN AJ. 2003. Distribution of Mesoscale Convective Complex Rainfall in the United States. *Monthly Weather Review*, 131: 3003–3017.

BERBERY EH & COLLINI EA. 2000. Springtime precipitation and water vapor flux over southeastern South America. *Monthly Weather Review*, 128: 1328–1346.

BLUESTEIN HB & JAIN MH. 1985. Formation of Mesoscale Lines of Precipitation: Severe Squall Lines in Oklahoma during the spring.

Journal of the Atmospheric Sciences, 42: 1711–1732.

CARVALHO LMV & JONES C. 2001. A 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.

CORFIDI SF, MERITT JH & FRITSCH JM. 1996. Predicting the movement of mesoscale convective complexes. *Weather and Forecasting*, 11: 41–46.

DOSWELL CA & BOSART LF. 2001. Extratropical Synoptic-Scale Processes and Severe Convection. *Meteorological Monographs*, 28(50): 27–69.

DOUGLAS MW, NICOLINI M & SAULO C. 1999. The Low-Level Jet at Santa Cruz, Bolivia during January–March 1998, pilot balloon observations and model comparisons. In: *Symposium on global change studies*, 10: 1999, Dallas, Texas, Extended Abstracts... Dallas, Texas: AMS, 1999, 223–226.

DURKEE JD & MOTE TL. 2009. A climatology of warm-season mesoscale convective complexes in subtropical South America. *International Journal of Climatology*, 30: 418–431. DOI: 10.1002/joc.1893. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1893/pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2010.

FIGUEROA SN, SATYAMURTY P & SILVA DIAS PL. 1995. Simulations of the summer circulation over the South American region with an Eta coordinate model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 52: 1573–1584.

FRITSCH JM & FORBES GS. 2001. Mesoscale Convective Systems. *Meteorological Monographs*, 28(50): 323–358.

GANDÚ AW & GEISLER JE. 1991. A primitive equation model study of the effect of topography on the summer circulation over tropical South America. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48: 1822–1836.

GARREAUD RD. 1999. Cold air incursions over subtropical and Tropical South America: A numerical case study. *Monthly Weather Review*, 127(12): 2823–2853.

GRAY WM & JACOBSON JR RW. 1977. Diurnal Variation of Deep Cumulus Convection. *Monthly Weather Review*, 105: 1171–1188.

HOUZE RA. 1993. Mesoscale Convective Systems. In: HOUZE RA. *Cloud Dynamics*. Academic Press Inc., 53: 334–404.

KOUSKY VE. 1988. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 3(1): 217–231.

LAING AG & FRITSCH JM. 1997. The global population of mesoscale convective complexes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123: 2254–2263.

LAU N-C & CRANE MW. 1995. A satellite view of the synoptic-scale organization of cloud properties in midlatitude and tropical circulation systems. *Monthly Weather Review*, 123: 1984–2006.

- LAURENT H, MACHADO LAT, 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 LAT & DUVEL JP. 1998. Propagação meridional da convecção na América do Sul. In: Congr. Bras. Meteor., 10: 1998, São José dos Campos-SP. Anais... São José dos Campos: INPE, 1998. CD-ROM.
- MACHADO LAT & 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(3): 714–725.
- MACHADO LAT & ROSSOW WB. 1993. Structural radiative and characteristics of tropical cloud clusters. *Monthly Weather Review*, 121(12): 3234–3260.
- MACHADO LAT, GUEDES RL, SILVEIRA JMB, WALTZ RC & ALVES MAS. 1994. Ciclo de vida de sistemas convectivos. In: Congr. Bras. Meteor., 8: 1994, Belo Horizonte-MG. Anais... Belo Horizonte-MG: SBMet, 1994, 2: 323–326.
- MACHADO LAT, ROSSOW WB, GUEDES RL & WALKER AW. 1998. Life cycle variations of mesoscale convective systems over the Americas. *Monthly Weather Review*, 126: 1630–1654.
- MACHADO LAT, LAURENT H & LIMA AA. 2002. Diurnal march of the convection observed during TRMM-WETAMC/LBA. *Journal of Geophysical Research*, 107(D20): 31.1–31.15.
- MADDOX RA. 1980. Mesoscale Convective Complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61(14): 1374–1387.
- MAPES BE, WARNER TT & XU M. 2003. Diurnal patterns of rainfall in northwestern South America. Part III: Diurnal gravity waves and nocturnal convection offshore. *Monthly Weather Review*, 131: 830–844.
- MARENGO JA, SOARES WR, 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.
- MATHON V & LAURENT H. 2001. Life Cycle of Sahelian Mesoscale Convective Cloud Systems. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 127: 377–406.
- MATTOS EV. 2009. Relações das propriedades físicas das nuvens convectivas com as descargas elétricas. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), INPE, 244 p.
- NEWTON CW & KATZ S. 1958. Movement of Large Convective Rain-Storms in Relation to Winds Aloft. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 39: 129–136.
- NEWTON CW & NEWTON HR. 1959. Dynamical Interactions between Large Convective Clouds and Environment with Vertical Shear. *J. Meteor.*, 16: 483–496.
- NICOLINI M, SAULO AC, TORRES JC & SALIO P. 2002. Enhanced precipitation over Southeastern South America related to strong low-level jet events during austral warm season. *Meteorologica, Special Issue for the South American Monsoon System*, 27: 59–69.
- NIETO FERREIRA R, RICKENBACH TM, HERDIES DL & CARVALHO LMV. 2003. Variability of South American Convective Cloud Systems and Tropospheric Circulation during January–March 1998 and 1999. *Monthly Weather Review*, 131: 961–973.
- NOGUÉS-PAEGLE J & MO KC. 1997. Alternating Wet and Dry Conditions over South America during Summer. *Monthly Weather Review*, 125: 279–291.
- OLIVEIRA AS & NOBRE CA. 1986. Interaction between frontal systems in South America and tropical convection over the Amazon. In: International Conference on Southern Hemisphere, 3: 1986, Wellington. Anais... São José dos Campos: INPE, 1986. p. 56–59. 1 CD-ROM.
- PALMEIRA FLB. 2005. Análise de características dos sistemas convectivos através de imagens do satélite GOES-12. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 96 pp.
- RANDALL D, HARSHVARDAN A & DAZLICH DA. 1991. Diurnal Variability of the hydrologic cycle in a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48: 40–62.
- ROBERTSON AW & MECHOSO CR. 2000. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. *Monthly Weather Review*, 128: 2947–2957. DOI: 10.1175/1520-0493(2000)128<2947:IAIVOT>2.0.CO;2.
- ROMATSCHKE U & HOUZE RA. 2010. Extreme Summer Convection in South America. *Journal of Climate*. 23: 3761–3791. DOI: 10.1175/2010JCLI3465.1.
- ROMATSCHKE U, MEDINA S, HOUZE RA & RASMUSSEN K. 2009. Topographic and diurnal effects on tropical and subtropical convection in South America. In: International Conference on Alpine Meteorology, 30: 2009, Rastatt, Germany. Anais... Rastatt: ICAM, 2009. Disponível em: <http://www.atmos.washington.edu/~ulli/RASTATT2009_Romatschke_et.al.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2010.
- SAKAMOTO MS. 2009. Sistemas Convectivos de Mesoescala observados na Região Subtropical da América do Sul durante o SALLJEX. Tese (Doutorado em Meteorologia), USP, 243 pp.
- SAKAMOTO MS, MACHADO LAT, AMBRIZZI T & GIMENO L. 2009. Life cycle analysis of the SALLJEX convective systems. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 9: 2009, Melbourne. Anais... Melbourne: AMS, 2009. Disponível em: <http://www.bom.gov.au/events/9icshmo/manuscripts/TH1215_Sakamoto.pdf>. Acesso em: 26 maio 2010.

- SALIO P, NICOLINI M & SAULO AC. 2002. Chaco Low-Level Jet Events Characterization during the Austral Summer Season. *Journal of Geophysical Research*, 107(D24): 4816. DOI: 10.1029/2001JD001315.
- SALIO P, NICOLINI M & ZIPSER EJ. 2007. Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and their Relationship with the South American Low-Level Jet. *Monthly Weather Review*, 135: 1290–1309.
- SELUCHI ME & MARENGO JA. 2000. Tropical-midlatitude Exchange of air masses during summer and winter in South America: Climatic aspects and examples of intense events. *International Journal of Climatology*, 20: 1167–1190.
- SILVA DIAS MAF. 1987. Sistemas de mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2: 133–150.
- SIQUEIRA JR. 2004. Variabilidade interdiurna da convecção na América do Sul: a propagação meridional da convecção. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)*, INPE, 186 pp.
- SIQUEIRA JR & MACHADO LAT. 2004. Influence of the Frontal Systems on the Day-to-Day Convection Variability over South America. *Journal of Climate*, 17: 1754–1766.
- SIQUEIRA JR & MARQUES VS. 2008. Occurrence frequencies and trajectories of mesoscale convective systems over southeast Brazil related to cold frontal and non-frontal incursions. *Australian Meteorological Magazine*, 57: 345–357.
- SIQUEIRA JR, ROSSOW WB, MACHADO LAT & PEARL C. 2005. Structural Characteristics of Convective Systems over South America related to Cold-Frontal Incursions. *Monthly Weather Review*, 133: 1045–1064.
- SUGAHARA S, ROCHA RP & RODRIGUES ML. 1994. Condições atmosféricas de grande escala associadas a jato de baixos níveis na América do Sul. In: *Congr. Bras. Meteor.*, 8: 1994, Belo Horizonte-MG, Anais... Belo Horizonte: SBMet, 1994, 2: 573–577.
- TOLLERUD EI & RODGERS DM. 1991. The seasonal and diurnal cycle of mesoscale convection and precipitation in the central United States: Interpreting a 10-year satellite-based climatology of mesoscale convective complexes. In: *Conf. on Applied Climatology*, 7: 1991, Salt Lake City, Utah, Preprints... Salt Lake City, Utah: AMS, 1991. 63–70.
- TORRES JC. 2003. Sistemas convectivos en mesoescala altamente precipitantes en el norte y centro de Argentina. Buenos Aires, Argentina. Tese (Doctorado en Meteorología), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 130 pp.
- VELASCO I & FRITSCH JM. 1987. Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal Geophysical Research*, 92: 9591–9613.
- VERA CS & VIGLIAROLO PK. 2000. A diagnostic study of cold-air outbreaks over South America. *Monthly Weather Review*, 128(1): 3–24.
- VERA C, BAEZ J, DOUGLAS M, EMMANUEL CB, MARENGO JA, MEITIN J, NICOLINI M, NOGUES-PAEGLE J, PAEGLE J, PENALBA O, SALIO P, SAULO C, SILVA DIAS MA, SILVA DIAS PL & ZIPSER E. 2006. The South American Low-Level Jet Experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(1): 63–77.
- VILA DA. 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). Buenos Aires, Argentina. Tese (Doctorado en Meteorología), Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, 132 pp.
- VILA DA, MACHADO LAT, 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.
- VIRJI H. 1981. A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from clouds winds. *Monthly Weather Review*, 109: 167–178.
- ZIPSER EJ, SALIO P & NICOLINI M. 2004. Mesoscale Convective Systems activity during SALLJEX and the relationship with SALLJ events. *CLIVAR (Exchanges – Scientific Contributions)*, 9(1): 14–18.

NOTAS SOBRE OS AUTORES

Cláudia Rejane Jacondino de Campos. Professora Associada do Departamento de Meteorologia, da Faculdade de Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas. Graduação em Meteorologia, pela Universidade Federal de Pelotas, UFPel (1984-1987), Mestrado em Agronomia (Meteorologia Agrícola) pela Universidade Federal de Viçosa, UFV (1988-1990) e Doutorado em Física da Atmosfera, pela Université de Toulouse III (Paul Sabatier), U.T. III, França (1993-1996). Áreas de interesse: meteorologia, meteorologia de mesoescala, sensoriamento remoto, climatologia e agrometeorologia.

Cristiano Wickboldt Eichholz. Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal de Pelotas, UFPel (2005-2008). M.Sc. em Meteorologia pelo Programa de Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas (2009-2011). Áreas de interesse: meteorologia, meteorologia de mesoescala e sensoriamento remoto.