



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Eventos extremos de precipitação no Estado de Minas Gerais associados com a ocorrência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul

Paola do Nascimento Silva¹, Gustavo Carlos Juan Escobar², Michelle Simões Reboita³

¹Mestranda em Meio Ambiente e Recursos Hídricos na Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, MG. paoola.silva@hotmail.com

²Centro de previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP. gustavo.escobar@inpe.br

³Professora doutora na Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá, MG. reboita@unifei.edu.br

Artigo recebido em 03/12/2019 e aceite em 27/03/2020.

RESUMO

Esse estudo teve como objetivo identificar os eventos extremos de precipitação diária na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte (MG) em dias de ocorrência de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Para tanto, utilizaram-se uma base de dados de episódios de ZCAS e dados diários de precipitação de 3 estações meteorológicas no período de outubro de 2006 a abril de 2017. Foram encontrados 15 casos de chuva extrema na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte. Com essa informação, foram elaborados campos compostos e de anomalias para identificar as características sinóticas da atmosfera em eventos com precipitação extrema em relação à climatologia dos eventos de ZCAS. Entre as principais características encontradas nas composições destaca-se a presença de anomalias negativas de pressão ao nível médio do mar e de altura geopotencial em 500 hPa, a oeste da anomalia em superfície, o que é indicativo de um sistema de baixa pressão e de um cavado em níveis médios/altos mais profundos nos dias com eventos extremos de chuva e que podem ser cruciais na canalização de umidade da Amazônia para o Sudeste do Brasil.

Palavras-chave: extremos de precipitação, ZCAS, Belo Horizonte, percentil

Precipitation extreme events in Minas Gerais State associated with episodes of South Atlantic Convergence Zone

ABSTRACT

This study aimed to identify the extreme events of daily precipitation in the metropolitan mesoregion of Belo Horizonte (MG) in days of occurrence of the South Atlantic Convergence Zone (SACZ). For this reason, database of episodes of SACZ and daily rainfall data from 3 meteorological stations from October 2006 to April 2017 were used. We found 15 cases of extreme rain in the metropolitan mesoregion of Belo Horizonte. Through these cases, composite and anomaly fields were elaborated to identify the synoptic characteristics of the atmosphere in events with extreme precipitation in relation to the climatology of SACZ events. Among the main characteristics of the composites are: the presence of negative anomalies of pressure at mean sea level and geopotential height at 500 hPa west of the surface anomaly, which is indicative of a deeper low pressure system and a trough at mid-high levels in the days with extreme rain events that can be crucial in channeling moisture from the Amazon to southeastern Brazil.

Keyword: precipitation extreme events, SACZ, Belo Horizonte, percentile

Introdução

No Estado de Minas Gerais (MG) há a atuação de fenômenos meteorológicos tanto de latitudes médias quanto tropicais, devido a sua localização geográfica, que contribuem para a ocorrência de precipitação (Reboita et al., 2015). Entretanto, a precipitação não é bem distribuída ao longo do ano, uma vez que o período chuvoso se concentra entre outubro a abril (Reboita et al., 2010; Durán-Quesada et al., 2012; Silva e Reboita, 2013), caracterizando um clima de monção (Reboita et al., 2015). Durante o período chuvoso é comum a ocorrência de eventos extremos de precipitação (Moura et al., 2013; Oliveira et al., 2017; Silva e Jardim, 2017; Nunes, 2018; Reis et al., 2018), que são responsáveis por diversos desastres naturais como, por exemplo, deslizamentos de terra, enchentes e inundações, que acabam afetando a população (Seluchi e Chou, 2009; Nery e Malvestio, 2017; Reboita et al., 2017).

Os episódios de chuva extrema em MG durante o período chuvoso, em geral, são ocasionados pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A ZCAS é caracterizada por uma banda persistente de nebulosidade e precipitação orientada no sentido noroeste-sudeste, que se estende da Amazônia, cruza a região Sudeste do Brasil e atinge o setor sudoeste do oceano Atlântico (Kodama, 1992; Quadro, 1999; Herdies et al., 2002; Carvalho et al., 2004; Ambrizzi e Ferraz, 2015; Silva et al., 2019; Rosa et al., 2020). Esse sistema atua durante os meses de primavera e verão, provocando elevados totais pluviométricos nas regiões afetadas (Grimm, 2011; Moura et al., 2013; Silva et al., 2019).

A ZCAS é formada devido à combinação de diferentes sistemas atmosféricos juntamente com a convecção que está mais ativa durante o período quente e úmido do ano (Todd et al., 2003; Tomaziello e Gandu, 2013; Pezzi et al., 2016; Rodrigues et al., 2016; Silva et al., 2019). Alguns dos sistemas atmosféricos que contribuem para a formação da ZCAS são: Jatos de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes, que transportam umidade da região Amazônica para o Sul e Sudeste do país (Santos e Reboita, 2018; Montini et al., 2019; Jones, 2019) e o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que se encontra nesta época do ano mais deslocado para leste, favorecendo o transporte de umidade do oceano Atlântico para o

continente (Sun et al., 2017; Reboita et al., 2019; Silva et al., 2019).

Como a ZCAS consiste da combinação de diferentes sistemas atmosféricos, sua identificação não é trivial. Nesse contexto, Escobar e Matoso (2018) definiram um conjunto de critérios para identificar a ZCAS através de cartas sinóticas: (a) o Jato Subtropical (JS) deve contornar um cavado e dar suporte ao sistema atuante na superfície (cavado ou frente subtropical); (b) o ramo norte do Jato Polar (JP) ocorre, em algumas ocasiões, acoplado ao JS nos casos em que aparece uma frente fria (clássica) no oceano; (c) existência de gradiente horizontal de temperatura potencial equivalente em 850 hPa, que se estende desde o oceano até o interior do continente; (d) presença de fluxo de umidade em 850 hPa bem estabelecido desde a região Amazônica até o oceano Atlântico, passando pelas regiões Centro-Oeste e Sudeste do país; (e) o campo ascendente (valores negativos) de velocidade vertical (ω) em 500 hPa aparece em fase com o escoamento convergente em 850 hPa; (f) a Alta da Bolívia (AB) e o cavado do Nordeste do Brasil estão, geralmente, bem definidos nos casos de ZCAS e (g) a zona de convergência em baixos níveis e a presença de nebulosidade devem persistir por pelo menos 3 dias consecutivos. A caracterização sinótica dos eventos de ZCAS (114 eventos) encontrados através desses critérios, no período de outubro a abril de 2006 a 2017, foi apresentada por Silva et al. (2019).

Como a ZCAS é um dos sistemas atmosféricos mais importantes para a precipitação na América do Sul no verão, tem-se que o objetivo desse estudo é identificar os casos de eventos extremos de precipitação na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte, MG, quando da ocorrência de ZCAS a fim de mostrar a diferença do padrão sinótico da ZCAS associado e não associado com eventos extremos. Esse estudo justifica-se pelo fato de que o padrão de circulação a ser obtido pode servir como um modelo conceitual para os previsores de tempo de forma a auxiliá-los nos prognósticos de precipitação extrema em MG.

Material e métodos

Área de estudo e Dados

O estudo foca-se nos eventos extremos de precipitação na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte (Figura 1), que ocorrem associados a

episódios de ZCAS, em virtude das consequências negativas que acarretam a este grande centro urbano. Para isso, são utilizados dados de 3 estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de outubro de 2006 a abril de 2017, sendo elas: Belo

Horizonte (BH; latitude: -19,93, longitude: -43,93 e altitude: 915 m), Sete Lagoas (latitude: -19,46, longitude: -44,25 e altitude: 732 m) e Ibitiré (latitude: -20,01, longitude: -44,05 e altitude: 814.54 m; Figura 1).

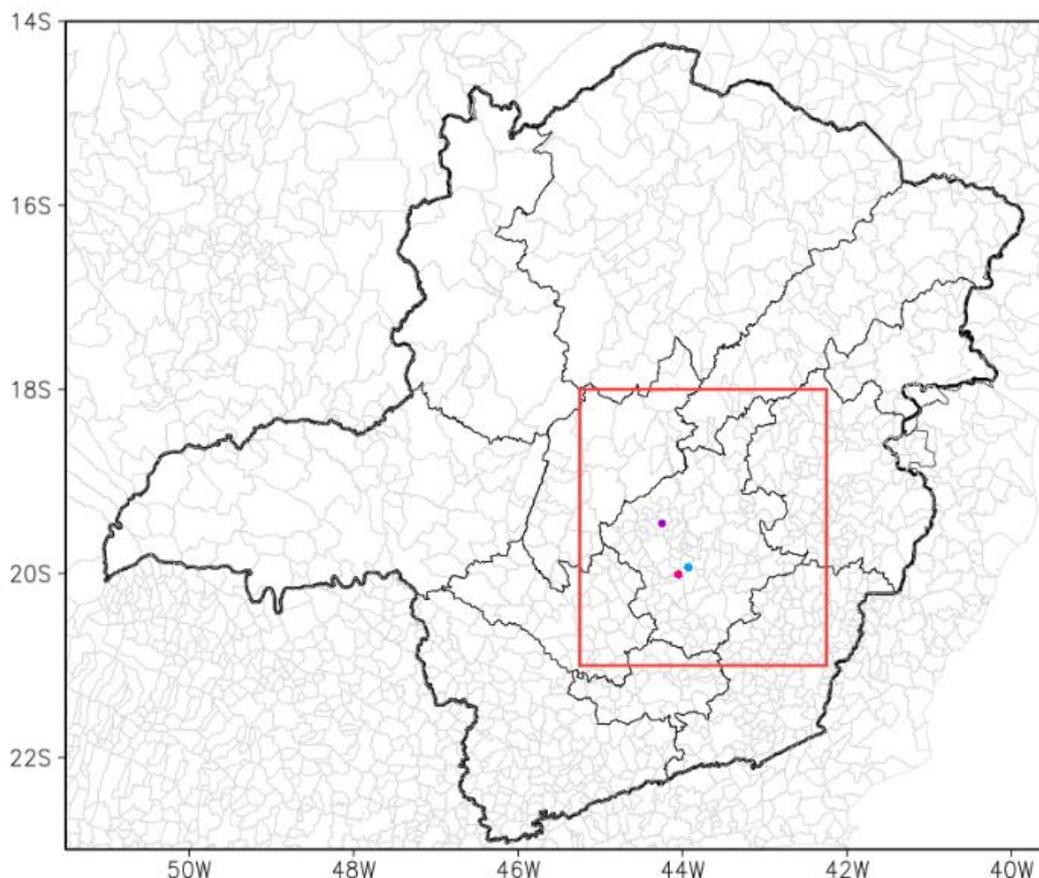


Figura 1 – Mapa contendo as mesorregiões do estado de Minas Gerais; onde o quadrado vermelho destaca a mesorregião metropolitana de BH (área de estudo) e os pontos coloridos as estações meteorológicas, sendo: BH (azul claro), Ibitiré (rosa) e Sete Lagoas (roxo).

Para a elaboração de campos médios de diferentes variáveis atmosféricas durante os eventos de chuva extrema são utilizados dados do *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR) do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP) (Saha et al., 2014). Esses dados foram obtidos com frequência diária e resolução espacial de 0,5° de latitude x longitude; o horário sinótico utilizado foi o das 1200 Z. As variáveis utilizadas compreendem: altura geopotencial nos níveis de 1000, 500 e 250 hPa; componentes zonal e meridional do vento nos níveis de 850 e 250 hPa; pressão ao nível médio do mar (PNMM); velocidade vertical (ω) em 500 hPa e umidade específica em 850 hPa.

Identificação dos eventos extremos de precipitação

Nesse estudo é utilizada a base de dados de ocorrência de ZCAS no Brasil, elaborada por Escobar e Matoso (2018), que aplicaram os critérios mencionados na introdução. Considerando todos os dias com eventos de ZCAS, foram calculados os percentis de 90%, 95% e 99% da série de precipitação diária de cada uma das 3 estações meteorológicas. Para o estudo do padrão sinótico, considerou-se o valor do percentil de 99% como limiar para a identificação dos eventos extremos, porém considerando a média do percentil encontrados nas 3 estações meteorológicas. A metodologia dos percentis tem sido empregada por diferentes autores, como Derezynski et al. (2009) e Silva e Reboita (2013), para a identificação de eventos extremos de tempo

e clima. Após a identificação das datas de ocorrência dos eventos extremos de precipitação na mesorregião de BH, foram gerados compostos (média de uma determinada variável nas datas identificadas como de extremos) e anomalias (composto de uma dada variável menos a média dessa considerando todo o período de ZCAS) a fim de descrever o padrão da atmosfera quando há extremos de precipitação associados à ZCAS.

Resultados e discussão

Identificação dos eventos extremos de chuva

Na primeira etapa do estudo, foram calculados os percentis de 90%, 95% e 99% das séries de precipitação diária das 3 estações meteorológicas da mesorregião de BH. O percentil de 90% corresponde a totais diários de precipitação variando entre 10 e 15 mm, enquanto que o percentil de 99% indica totais diários superiores a 50 mm (Tabela 1). Como o percentil de 99% mostra totais mais elevados de precipitação, foi o escolhido como limiar de extremo de chuva. Esse percentil indica que 1% dos dados da série temporal são considerados os casos mais intensos de chuva durante os eventos de ZCAS identificados.

Na mesorregião metropolitana de BH, o limiar encontrado para o percentil selecionado foi 55 mm considerando a média das 3 estações meteorológicas (Tabela 1). O passo seguinte foi identificar em cada uma das 3 séries temporais, considerando apenas os dias com ocorrência de ZCAS, os dias em que a precipitação foi maior ou igual a 55 mm. No caso de haver mais de um dia com ocorrência de chuva igual ou superior a 55 mm para cada período de ZCAS, selecionou-se o dia de maior valor. Deste modo, foram registrados 42 casos para BH, 39 para Sete Lagoas e 38 para Ibirité. Ao se comparar as datas de ocorrência desses casos, concluiu-se que 15 deles aconteceram no mesmo dia para pelo menos duas estações ou todas elas, como mostra a Tabela 2.

Composições

Após a identificação das datas dos eventos extremos de precipitação em pelo menos duas estações meteorológicas concomitantemente, utilizaram-se tais datas (Tabela 2) para gerar composições dos campos meteorológicos. Também foram construídos campos de anomalias (que corresponde à composição de uma dada variável menos a média dessa considerando todas

as ocorrências de ZCAS), no período entre outubro a abril de 2006 a 2017.

Tabela 1 – Valores (precipitação em mm) dos percentis de 90, 95 e 99% calculados para as 3 estações meteorológicas.

Cidades	Percentil 90	Percentil 95	Percentil 99
BH	14,8	28,4	57,4
Ibirité	13,2	26,4	56,9
Sete Lagoas	10,6	22,5	53,7

Tabela 2 – Ocorrência de eventos extremos de precipitação na Mesorregião Metropolitana de BH com base no percentil de 99%. A tabela mostra as datas quando há ocorrência de eventos extremos concomitante em pelo menos duas estações meteorológicas. * Ausência de dados

Datas	CASOS		
	BH	Sete Lagoas	Ibirité
30/01/2008	94,2	82,3	82,6
25/02/2008	74,3	32,6	75,6
13/03/2008	36,5	81,1	76,5
17/12/2008	72,7	57,6	39
22/10/2009	78,5	105,6	56,9
06/12/2009	60,2	66,4	52,1
23/11/2010	75,5	7,4	97,2
13/03/2011	24,2	67,8	81
27/11/2011	54,7	57,8	110,7
15/12/2011	91,4	86,6	78,2
01/01/2012	58,4	35,9	75,7
16/11/2012	80,6	12,7	67,6
12/12/2013	63,1	76,8	81,8
25/12/2013	84,3	0,8	58
17/01/2016	108,1	72,1	*

O padrão atmosférico nos dias com eventos extremos de chuva é apresentado na Figura 2. O campo de superfície e espessura 500/1000 hPa (Figura 2a) mostra um cavado invertido entre o sul de MG, passando por São Paulo e se estendendo até o oceano Atlântico. Esse sistema nas composições reflete o posicionamento médio dos sistemas baroclínicos (frentes frias, baixas, cavados) relacionados com os episódios de ZCAS. Nota-se, também, que o ASAS e o Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS) encontram-se bem configurados. Em relação ao campo de espessura 500/1000, o gradiente mais intenso se encontra ao sul do paralelo 30°S, indicando o posicionamento médio da região mais baroclínica durante a estação chuvosa. A Figura 2b ressalta a posição da ZCAS através dos elevados valores de umidade específica que ocorrem do Amazonas a MG. Além disso, na mesma região com máximos de umidade, há convergência dos ventos em 850 hPa, o que é inferido pelo encontro dos vetores que representam a direção do vento. Em relação à divergência de massa e altura geopotencial em 250 hPa (Figura 2c), há maiores valores de divergência orientados no sentido noroeste-sudeste (posição da ZCAS), concordando com a posição dos máximos de umidade específica mostrados na Figura 2b. Também há um cavado com eixo sobre os Estados de São Paulo (SP) e Paraná (PR), e uma crista no oceano Atlântico, próxima à costa da região Sudeste, padrão que é similar ao da climatologia dos eventos de ZCAS apresentado por Silva et al.

(2019). Na mesorregião metropolitana de BH há divergência de massa em altos níveis (Figura 2c), o que é um indicativo da ocorrência de convergência em baixos níveis e movimento vertical ascendente na atmosfera; fatores que favorecem o desenvolvimento de nuvens e, conseqüentemente, de chuva. De fato, a Figura 2e mostra a presença de movimentos ascendentes na mesorregião de BH.

Na Figura 2d, através das linhas de corrente, nota-se a (1) AB bem configurada, com seu centro entre a Bolívia e o Peru, (2) a presença de um cavado no Sudeste, com eixo estendendo-se do oeste de MG ao sul do Brasil, (3) uma crista no oceano Atlântico e sobre a Bahia (BA), e (4) um cavado entre o Nordeste do país e o oceano Atlântico conhecido como cavado das cercanias do Nordeste. Essa configuração é bem típica dos episódios de ZCAS como mostra Silva et al. (2019). Com relação ao nível de 500 hPa, a Figura 2e apresenta valores mais expressivos de ômega negativo (movimento vertical ascendente) orientados, também, no sentido noroeste-sudeste, que é a região da ZCAS. Ainda na mesma figura há um cavado no Sudeste, sobre os estados de MG e SP. A Figura 2f também mostra a circulação atmosférica em 250 hPa, mas se diferencia da Figura 2e por mostrar os ventos associados aos jatos (ventos com intensidade superior a 20 m/s). O jato subtropical (latitude entre 25° e 30° S) tem sua maior intensidade ao sul da AB (30 m/s), enquanto os ventos mais intensos ocorrem na região do jato polar em latitudes médias.

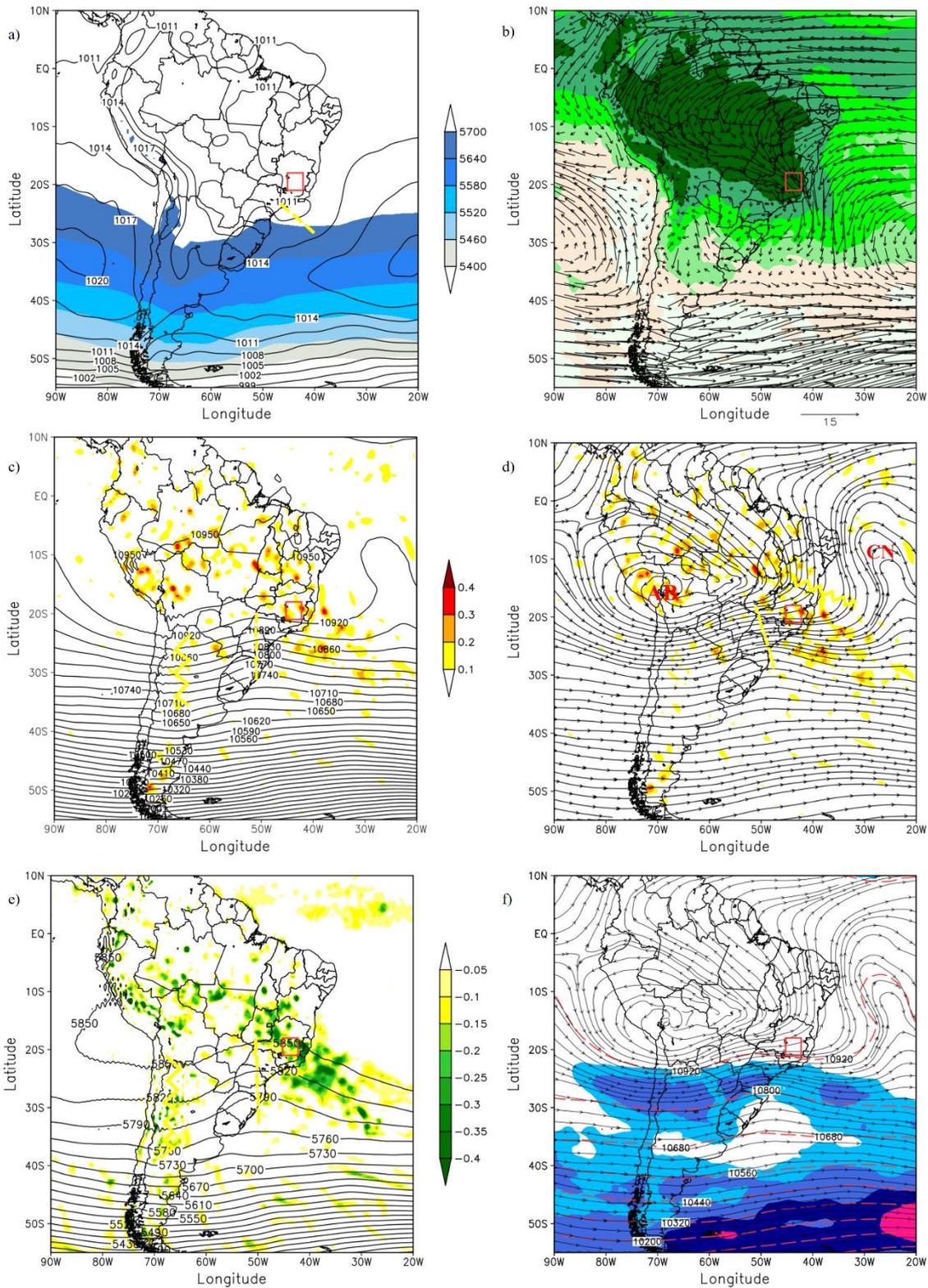


Figura 2 – Composições para os 15 casos de ZCAS relacionado com os episódios de chuva extrema na mesorregião metropolitana de BH (caixa vermelha) no período de 2008 a 2016: a) PNMM (hPa; linhas contínuas), espessura da camada 500/1000 hPa (m geopotencial; sombreado) e posição do cavado invertido indicada com a linha tracejada amarela; b) umidade específica (kg/kg; sombreado) e vento (m/s; setas) em 850 hPa; c) divergência de massa (s^{-1} ; sombreado) e altura geopotencial (m; linhas contínuas) em 250 hPa, cavado é representado pela linha tracejada amarela e a crista pela linha zig zag amarela; d) divergência de massa (s^{-1} ; sombreado) e linhas de corrente em 250 hPa (AB: Alta da Bolívia, CN: cavado do Nordeste, cavado: linha tracejada amarela e crista: linha zig zag amarela); e) ômega ($Pa s^{-1}$; sombreado) e altura geopotencial (m; linhas contínuas) em 500 hPa (cavado: linha tracejada amarela e crista: linha zig zag amarela); f) intensidade do vento acima de 20 m/s (sombreado), altura geopotencial (m; linha tracejada) e linhas de corrente em 250 hPa.

Anomalias

Nessa seção é realizada uma análise da evolução temporal das anomalias de alguns campos atmosféricos desde 2 dias antes ao dia do evento extremo de precipitação. Estes dias serão classificados como: dia-2 para 2 dias antes do evento; dia-1 para 1 dia antes e dia-0 para o dia em questão. Nessa análise são apresentados resultados para os níveis atmosféricos de 1000, 850, 500 e 250 hPa.

Nível de 850 hPa

A anomalia de umidade específica e linhas de corrente em 850 hPa para os dias -2, -1 e 0 encontra-se na Figura 3a-c. No dia-2 (Figura 3a), há anomalias positivas de umidade específica no Sudeste e entre o Centro-Oeste e Sul do país, indicando valores maiores que a média climatológica dos eventos de ZCAS. Este padrão permanece também nos outros dois dias. As anomalias positivas de umidade específica junto às anomalias negativas de pressão e altura geopotencial em 500 hPa e 250 hPa, observadas no Sudeste (Figura 3d-i), contribuem para intensificar ainda mais às chuvas extremas. Um resultado semelhante foi encontrado por Nogués-Paegle e Mo (1997), quando estudaram a relação da ZCAS e a chuva no Sudeste, e por outros autores como Silva et al. (2019). Em relação às anomalias de linhas de corrente em 850 hPa, no dia-2 observa-se uma ampla área de anomalia ciclônica centrada entre o oeste de SP e Mato Grosso do Sul (MS) que se amplifica conforme se propaga para leste durante os dias seguintes, indicando que a circulação é mais intensa do que a média dos eventos totais de ZCAS. No dia da ocorrência da ZCAS (dia-0), esta anomalia ciclônica está centrada no litoral do Estado de SP, favorecendo o escoamento desde o norte do Tocantins (TO) e o interior do Nordeste em direção ao oceano Atlântico.

Níveis de 1000 e 500 hPa

A anomalia de PNMM e altura geopotencial em 500 hPa para a sequência de dias analisados encontra-se na Figura 3d-f. Há valores negativos de anomalia de PNMM sobre a região Sudeste e o oceano Atlântico adjacente, que se intensificam conforme se aproxima o dia de ocorrência do evento extremo de chuva. Nesse dia (dia-0), observam-se anomalias mais negativas do

que -3 hPa cobrindo grande parte dos Estados do RJ e SP, e o sul do Estado de MG. Portanto, pode-se concluir que a pressão nessa região se encontra mais baixa durante os eventos extremos de chuva do que na média de eventos totais de ZCAS. Um outro ponto a se destacar é que há valores negativos de anomalia de altura geopotencial a oeste das anomalias negativas de pressão. Essa relação de anomalias negativas de altura geopotencial e PNMM indica que os cavados em níveis médios dão suporte para os sistemas de baixa pressão em superfície, favorecendo o aumento da convergência de massa em superfície. Também se destaca que esse padrão mais intenso em relação à climatologia da ZCAS pode ser o responsável pelos eventos extremos de chuva.

Níveis de 1000 e 250 hPa

Com relação às anomalias de PNMM e altura geopotencial em 250 hPa (Figura 3g-i) têm-se resultados similares aos obtidos na Figura 3d-f. Nota-se, também, um padrão de alternância entre anomalias positivas e negativas de altura geopotencial para os três dias, com anomalias positivas de altura geopotencial sobre parte da Argentina e o oceano Atlântico Sul adjacente, e anomalias negativas de altura geopotencial sobre grande parte do sul do Brasil. No dia-2, observa-se claramente a atuação de um dipolo, com um mínimo de anomalia centrado sobre o sul do Rio Grande do Sul (RS) e o máximo de anomalia localizado no oceano, aproximadamente em 50°S, 60°W. Este padrão de anomalia observado na troposfera média e alta (Figura 3d-i), geralmente, está associado com uma configuração de tipo bloqueio que favorece a atuação da ZCAS por vários dias, e como este padrão é observado na anomalia, significa que o mesmo se encontra ainda mais intenso. Este comportamento encontrado na altura geopotencial representa a atuação de um cavado mais intenso durante os episódios de extremos em relação à climatologia da ZCAS.

As anomalias de circulação em 250 hPa (Figura 3j-l) mostram resultados similares aos obtidos na Figura 3g-i. Há um dipolo na circulação atmosférica, onde sobre os estados de SP e PR a circulação anômala é anticiclônica e sobre o Uruguai ciclônica, que é praticamente estacionário ao longo de toda a sequência de dias. Em relação ao vento em altitude, destaca-se a presença de ventos anômalos mais intensos contornando a circulação ciclônica anômala observada sobre o Sul do Brasil. O máximo de vento anômalo observado

na borda norte da circulação ciclônica anômala, indica a intensificação do jato subtropical (dia-1) e se posiciona aproximadamente entre Santa Catarina (SC) e o RS. Sobre o oceano Atlântico tropical, a leste da região Nordeste do Brasil, há, também, uma circulação ciclônica anômala, associada provavelmente à intensificação do

vórtice ciclônico nas vizinhanças do Nordeste (dia-0). A sudoeste deste sistema, observa-se a presença de um centro anticiclônico anômalo, mencionado no padrão dipolo. Entre ambos os sistemas, encontra-se um máximo anômalo de vento em 250 hPa, superior a 9 m/s, relacionado com o aumento do gradiente de altura geopotencial.

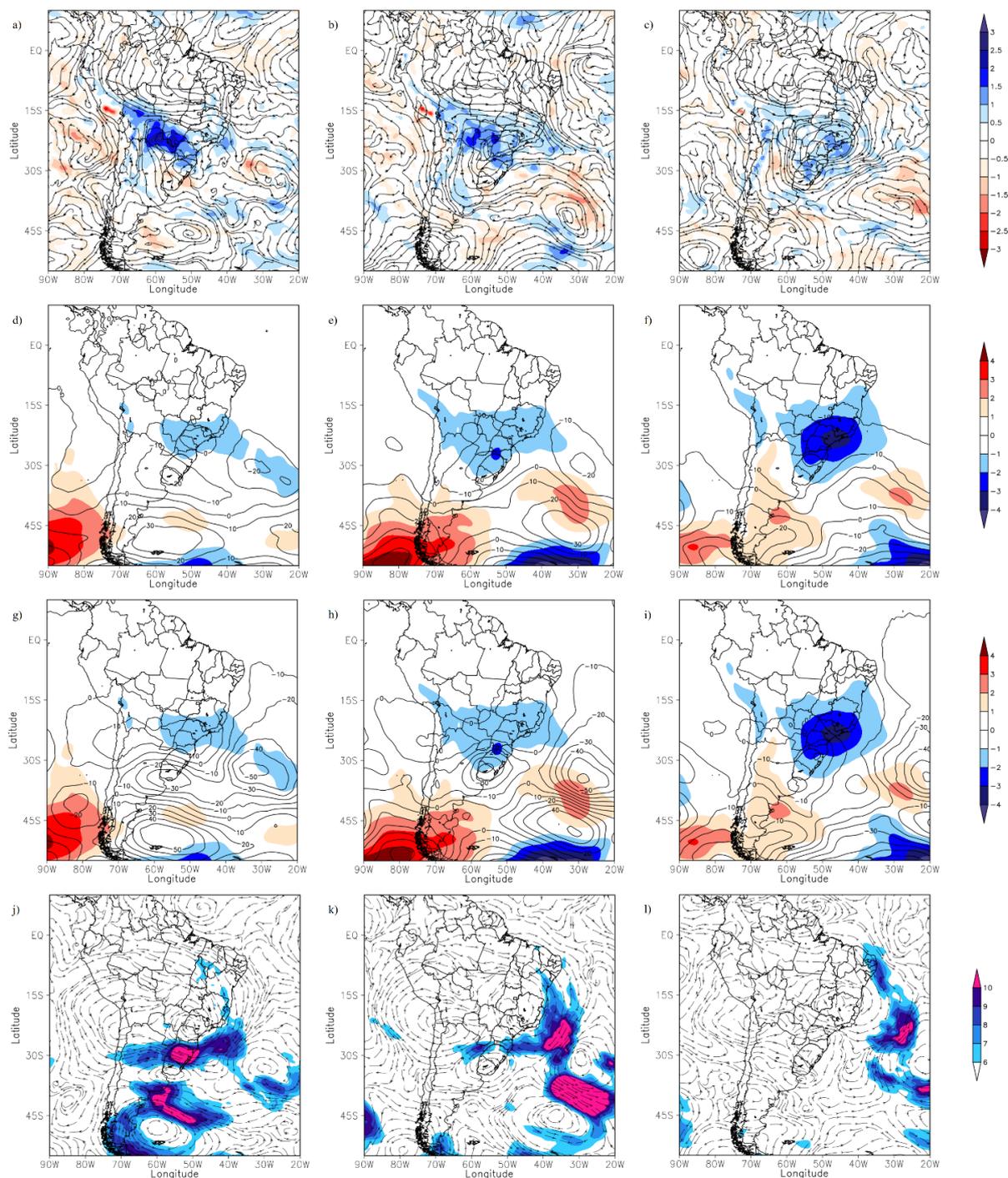


Figura 3 – Campos de anomalias: a-c: anomalia de umidade específica (kg/kg; sombreado) e linhas de corrente em 850 hPa para dia-2, dia-1 e dia-0; d-f: anomalia de PNMM (hPa; sombreado) e altura geopotencial (m; linhas contínuas) em 500 hPa para dia-2, dia-1 e dia-0; g-i: anomalia de PNMM (hPa; sombreado) e altura geopotencial (m; linhas contínuas) em 250 hPa para dia-2, dia-1 e dia-0; 3j-l: anomalia de vento acima de 6 m/s (sombreado) e linhas de corrente em 250 hPa para dia-2, dia-1 e dia-0.

Conclusão

Este estudo analisou as características sinóticas da atmosfera quando da ocorrência de eventos extremos de precipitação na mesorregião metropolitana de Belo Horizonte em episódios de ZCAS. Com base nos eventos de ZCAS identificados por Escobar e Matoso (2018), selecionaram-se os dados diários desses eventos em 3 estações meteorológicas convencionais da mesorregião metropolitana de Belo Horizonte e aplicou-se o método do percentil para estabelecer um valor considerado limiar para seleção dos casos de eventos extremos de chuva. Foi definido o percentil de 99% para identificação dos casos de chuva extrema. Portanto, após identificar o valor de precipitação associado com tal percentil em cada estação meteorológica, foi calculada a média desses e, com isso, o valor de 55 mm foi o limiar empregado no estudo. Consideraram-se como eventos de chuva extrema os acumulados diários superiores a 55 mm e, quando isso era registrado, concomitantemente, em pelo menos 2 das 3 estações existentes. Nessas condições, foram encontrados 15 casos de chuva extrema relacionados com episódios de ZCAS. A análise de composição para esses 15 eventos mostrou convergência dos ventos em 850 hPa que se estende desde a Amazônia até o oceano Atlântico; valores mais altos de umidade específica em baixos níveis relacionados à posição da ZCAS; divergência de massa em altos níveis bem como as demais características típicas de eventos de ZCAS. Porém, a maior distinção entre as composições dos eventos extremos e da média dos casos de ZCAS é a ocorrência de um sistema de baixa pressão e de um cavado em níveis médios/altos a oeste do sistema em superfície mais profundos (isto é com anomalia mais negativa indicando maior intensidade dos sistemas) que podem ser cruciais na canalização de umidade da Amazônia para o Sudeste do Brasil.

Conhecer o padrão de diferentes variáveis atmosféricas na ocorrência de eventos extremos de precipitação associados a eventos de ZCAS pode auxiliar às práticas de previsão do tempo.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Brasil, pelo apoio financeiro através do projeto Universal N°424157/2016-0, e ao INMET e NCEP pelos dados utilizados.

Referências

- Ambrizzi, T., Ferraz, S. E. T., 2015. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. *Frontiers in Environmental Science* 3, 23. Disponível: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00023>.
- Carvalho, L. M. V., Jones, C., Liebmann, B., 2004. The South Atlantic Convergence Zone: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal activity. *Journal of Climate* 17, 88-108. Disponível: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2004\)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2).
- Dereczynski, C. P., de Oliveira, J. S., Machado, C. O., 2009. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 24, 24-38. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000100003>.
- Durán-Quesada, A. M., Reboita, M. S., Gimeno, L., 2012. Precipitation in tropical America and the associated sources of moisture: a short review. *Hydrological Sciences Journal* 57, 1-13. Disponível: <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.673723>.
- Escobar, G. C. J., Matoso, V., 2018. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): Definição prática segundo uma visão operacional. In: XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2018, Maceió. Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia.
- Grimm, A. M., 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25, 537-554. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00477-010-0420-1>.
- Herdies, D. L., Silva, A., Silva Dias, M. A. F., Ferreira, R. N., 2002. Moisture budget of the bimodal pattern of the summer circulation over South America. *Journal of Geophysical Research* 107, 8075. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2001JD000997>.
- Jones, C., 2019. Recent changes in the South America low-level jet. *npj Climate and Atmospheric Science* 2, 1-8. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41612-019-0077-5>.
- Kodama, Y., 1992. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) Part I: Characteristics of subtropical frontal zones.

- Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II, 70, 813-836.
- Montini, T. L., Jones, C., Carvalho, L. M. V., 2019. The South American Low-Level Jet: A New Climatology, Variability, and Changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124, 1200-1218. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2018JD029634>.
- Moura, C. R. W., Escobar, G. C. J., Andrade, K. M., 2013. Padrões de circulação em superfície e altitude associados a eventos de chuva intensa na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* 28, 267-280. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300004>.
- Nery, J. T., Malvestio, L., 2017. Natural Disasters in Southeastern Brazil Associated with the South Atlantic Convergence Zone. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions* 2017, 1-24. Disponível: <https://doi.org/10.5194/nhess-2015-33>.
- Nunes, A. A., 2018. Tendências em eventos extremos de precipitação na Região Metropolitana de Belo Horizonte: detecção, impactos e adaptabilidade. Tese (Doutorado). Belo Horizonte, UFMG.
- Oliveira, D. E., de Ferreira, C. D. C. M., Assis, D. C., Pimentel, F. O., 2017. Geo-localização de eventos extremos de chuva na bacia hidrográfica do Rio Preto–MG/RJ. *Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento* 1, 2467-2478. Disponível: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2391>.
- Pezzi, L. P., Souza, R. B., Quadro, M. F. L., 2016. A review on the ocean-atmosphere interaction processes in regions of strong sea surface temperature gradients of the South Atlantic Ocean based on observational data. *Revista Brasileira de Meteorologia* 31, 428-453. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0102-778631231420150032>.
- Quadro, M. F. de L., 1999. Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. *Revista Brasileira de Geofísica* 17, 210-232. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X1999000200009>.
- Reboita, M. S., Gan, M. A., da Rocha, R. P., Ambrizzi, T., 2010. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 25, 185-204. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004>.
- Reboita, M. S., Rodrigues, M., Silva, L. F., Alves, M. A., 2015. Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). *Revista Brasileira de Climatologia* 17, 206-226. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.41493>.
- Reboita, M. S., Marietto, D. M. G., Souza, A., Barbosa, M., 2017. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 21, 20-37. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.47577>.
- Reboita, M. S., Ambrizzi, T., Silva, B. A., Pinheiro, R. F., da Rocha, R. P., 2019. The South Atlantic subtropical anticyclone: present and future climate. *Frontiers in Earth Science* 7, 8. Disponível: <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00008>.
- Reis, A. L., Silva, M. S., Regis, M. V., da Silveira, W. W., de Souza, A. C., Reboita, M. S., Silveira, V., 2018. Climatologia e eventos extremos de precipitação no estado de Minas Gerais (Climatology and extreme rainfall events in the state of Minas Gerais). *Revista Brasileira de Geografia Física* 11, 652-660. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11i2.p652-660>.
- Rodrigues, L. P., Senna, M. C. A., Cataldi, M., 2016. Representation of Atmospheric Patterns Related to the South Atlantic Convergence Zone by an Atmosphere-Biosphere Coupled Model. *Ciência e Natura* 38, 281-289. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X17179>.
- Rosa, E. B., Pezzi, L. P., Quadro, M. F. L., Brunzell, N., 2020. Automated Detection Algorithm for SACZ, Oceanic SACZ and their Climatological Features. *Frontiers in Environmental Science* 8, 18. Disponível: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00018>.
- Saha, S., Moorthi, S., Wu, X., Wang, J., Nadiga, S., Tripp, P., Behringer, D., Hou, Y., Chuang, H., Iredell, M., Ek, M., Meng, J., Yang, R., Mendez, M. P., Dool, H. V. D., Zhang, Q., Wang, W., Chen, M., Becker, E., 2014. The NCEP climate forecast system version 2. *Journal of Climate* 27, 2185-2208. Disponível: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>.
- Santos, D. F., Reboita, M. S., 2018. Jatos de Baixos Níveis a leste dos Andes: Comparação entre duas reanálises. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, 423-445. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.47595>.
- Seluchi, M. E., Chou, S. C., 2009. Synoptic patterns associated with landslide events in the Serra do Mar, Brazil. *Theor Appl Climatol* 98, 67-77. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s00704-008-0101-x>.
- Silva, E. D., Reboita, M. S., 2013. Estudo da Precipitação no Estado de Minas Gerais - MG. *Revista Brasileira de Climatologia* 13, 120-136.

- Silva, J. L. M., Jardim, C. H., 2017. O episódio de chuva concentrada do dia 17 de janeiro de 2016 em Belo Horizonte (MG). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento 1, 2562-2566. Disponível: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2462>.
- Silva, J. P. R., Reboita, M. S., Escobar, G. C. J., 2019. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Campos Atmosféricos recentes. Revista Brasileira de Climatologia 25, 355-377. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64101>.
- Sun, X., Cook, K. H., Vizy, E. K., 2017. The South Atlantic subtropical high: climatology and interannual variability. Journal of Climate 30, 3279-3296. Disponível: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0705.1>.
- Todd, M. C., Washington, R., James, T., 2003. Characteristics of summertime daily rainfall variability over South America and the South Atlantic Convergence Zone. Meteorology and Atmospheric Physics 83, 89-108. Disponível: DOI 10.1007/s00703-002-0563-9
- Tomaziello, A. C. N., Gandu, A. W., 2013. Impact of sea surface temperature in the simulation of South Atlantic Convergence Zone. Revista Brasileira de Meteorologia 28, 291-304. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000300006>