



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**CLASSIFICAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONAS DE
CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS) ASSOCIADOS
COM A OCORRÊNCIA DE CHUVA EXTREMA NO ESTADO DO
ESPÍRITO SANTO**

Juliano dos Reis Monteiro

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIC, orientado pelo Dr. Gustavo Carlos Juan
Escobar e coorientado pela Dr^a. Michelle Simões
Reboita.

INPE

Cachoeira Paulista

2021



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

CLASSIFICAÇÃO SINÓTICA DE EPISÓDIOS DE ZONAS DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS) ASSOCIADOS COM A OCORRÊNCIA DE CHUVA EXTREMA NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Juliano dos Reis Monteiro

Relatório de Iniciação Científica do programa
PIBIC, orientado pelo Dr. Gustavo Carlos Juan
Escobar e coorientado pela Dr^a. Michelle Simões
Reboita.

INPE

Cachoeira Paulista

2021

RESUMO

A fase úmida do sistema monçônico da América do Sul é caracterizado pela presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) que é caracterizada como uma persistente banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste que se estende desde a Amazônia até ao Oceano Atlântico. Esse fenômeno causa grandes volumes pluviométricos sobre o Sudeste do Brasil ocasionando em diversos danos socioeconômicos. O estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, é afetado por deslizamentos de terra e enchentes todos os anos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho é analisar casos de chuva extrema associados a episódios de ZCAS sobre a cidade de Vitória - ES. Para isso, foram obtidos dados de precipitação do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) a fim de selecionar os casos de chuva extrema. Além disso, foram usados dados de precipitação do *Climate Prediction Center* (CPC/NOAA), dados de variáveis atmosféricas provenientes do modelo numérico ERA-5 do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio Prazo (da sigla em inglês, ECMWF) e cartas sinóticas de superfície, médios e altos níveis a partir do banco de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A partir da filtragem e eliminação de dados errôneos e da seleção de casos de precipitação por meio do método dos percentis, foram feitos mapas acerca das composições (média dos dias selecionados) e anomalias que mostram as principais componentes e padrões atmosféricos nos dias que houveram episódios de chuva extrema relacionados a ocorrência de ZCAS. Sendo assim, para a cidade de Vitória foi escolhido o percentil 95% (27,1 mm) como limiar de chuva extrema. As composições evidenciaram a presença de padrões de circulação, como: em altos níveis, a Alta da Bolívia e cavado do Nordeste brasileiro; em baixos níveis, sistema frontal sobre o Sudeste associado a um cavado invertido, escoamento e transporte de umidade no sentido noroeste-sudeste vindo da Amazônia Central e escoamento de leste promovido pela Alta Subtropical do Atlântico Sul. A precipitação se mostrou mais intensa sobre a área de atuação da ZCAS, principalmente sobre o leste do estado de Minas Gerais, norte do Rio de Janeiro e todo o Espírito Santo. Os campos de anomalia mostraram valores positivos de umidade e valores negativos de pressão na área de abrangência da ZCAS subsidiados por valores anômalos expressivos referentes as correntes de jato. Conclui-se que a configuração da ZCAS depende de diversos mecanismos atmosféricos que atuam desde níveis superiores até níveis inferiores, os quais promovem processos de liberação de calor latente e convecção ajudando na autoalimentação do sistema. A melhor compreensão do comportamento deste tipo de sistema meteorológico poderá contribuir na melhoria na previsão de eventos extremos de chuva.

Palavras-chave: ZCAS, Espírito Santo, Precipitação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios do estado do Espírito Santo.	9
Figura 2: Compostos de ZCAS relacionados com eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Divergência (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 250 hpa; D-E-F) Ômega (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 500 hpa; G-H-I) Convergência (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) PNMM (linhas contínuas) e espessura da camada 500/1000 hPa (sombreado).	15
Figura 3: Compostos de ZCAS relacionados com eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0): A-B-C) Vento acima de 20 m/s (sombreado), altura geopotencial (linha tracejada) e linhas de corrente em 250 hPa; D-E-F) Umidade específica (g/kg) (sombreado) e vento em m/s (linhas de corrente) em 850 hpa; G-H-I) Campo de precipitação (mm/dia).	17
Figura 4: Corte vertical de Ômega (sombreado e linhas contínuas) dos compostos de ZCAS relacionados a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução da variável (B) um dia antes (Dia -1) e (C) dois dias antes (Dia -2) da (C) configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0).	18
Figura 5: Campos de anomalia, ou seja, diferença entre a composição dos casos e a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) evidenciando a evolução das variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Anomalia de ventos acima de 6 m/s (sombreado) e linhas de corrente em 250 hpa; D-E-F) Anomalia de PNMM (sombreado) e altura geopotencial em 250 hpa (linhas contínuas); G-H-I) Anomalia de umidade específica (g/kg) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) Anomalia de convergência (sombreado) em 850 hpa.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis atmosféricas e níveis de pressão utilizados.	10
Tabela 2: Limiares de precipitação (mm/dia) encontrados nos percentis	11
Tabela 3: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Vitória – ES.	12

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Objetivo geral	7
2. DESENVOLVIMENTO.....	7
2.1 Revisão da literatura.....	7
2.2 Material e métodos.....	8
2.2.1 Dados de precipitação (BDMEP)	8
2.2.2 Cartas sinóticas	9
2.2.3 Dados de precipitação (<i>Climate Prediction Center</i>)	10
2.2.4 Dados meteorológicos	10
2.2.5 Metodologia	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	11
3.1 Percentis.....	11
3.2 Composições.....	12
3.3 Corte vertical de ômega.....	18
3.4 Anomalias.....	18
4. CONCLUSÃO.....	21
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22

1. INTRODUÇÃO

O verão no Sudeste do Brasil é caracterizado por apresentar volumes de chuva consideráveis entre os meses de outubro a março (NETO, 2005; REBOITA; 2012). O estado do Espírito Santo (ES), com área de 46.074 km² e localizado na costa leste da região (IBGE, 2021), sofre com intempéries causadas por fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais inferindo em estações bem definidas, sendo uma delas chuvosa (verão) e outra seca (inverno) (CUPOLILLO, 2008).

A caracterização de um clima monçônico é definida como uma reversão sazonal no sentido dos ventos em baixos níveis da atmosfera em resposta ao aquecimento diferencial entre continente e oceano. No continente Sul Americano, os trabalhos de Marengo et al. (2012) e Reboita et al. (2010), os quais denominam esse fenômeno como Monção Sul-Americana (MSA), mostram que não há, de forma clara, uma inversão no sentido dos ventos. Esse padrão só é observado quando se calcula a anomalia das componentes dos ventos (ZHOU e LAU, 1998).

Durante o período de atividade do sistema monçônico na América do Sul, observa-se a formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Essa é definida como uma extensa banda de nebulosidade orientada no sentido noroeste-sudeste que perdura por dias desde a Região Amazônica até o Oceano Atlântico, podendo causar grandes volumes pluviométricos em sua área de atuação (CARVALHO et al., 2004; KOUSKY, 1988). Os impactos socioeconômicos derivam, em consequência, de deslizamentos de terra, enchentes, ventos fortes e relâmpagos ocasionados pelas tempestades formadas.

O Sudeste do Brasil é a região que mais sofre influência da ZCAS devido a sua localização, fato este, que está relacionado com a presença de sistemas baroclínicos próximos a região que favorece a configuração da ZCAS. Além disso, outros elementos atmosféricos como: Alta da Bolívia, correntes de jato, Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Jatos de Baixos Níveis, entre outros, são responsáveis por propiciar condições favoráveis ao surgimento da ZCAS. Desse modo, compreender as características desse sistema é de suma importância para mitigar os danos à sociedade.

A topografia do estado do ES difere-se bastante ao longo das mesorregiões de sua extensão territorial. As porções Norte e Central é predominantemente formada pelas planícies litorâneas e o tabuleiro costeiro possuindo, uma pequena fração à oeste,

regiões de serra. Já as seções territoriais Metropolitana e Sul apresentam, à leste, uma estreita faixa de planícies costeiras, no entanto, é composta predominantemente pelo relevo serrano, onde se encontra o Pico da Bandeira (marca a divisa entre os municípios de Ibitirama/ES e Alto do Caparaó/MG) com altimetria de 2891,32 metros (terceiro maior pico do Brasil) (IBGE, 2016). Dessa maneira, a atuação de eventos meteorológicos determina um regime de precipitação que possui grande variação espacial devido aos fatores físicos presentes no estado capixaba.

1.1 Objetivo geral

A atuação da ZCAS atua diretamente no regime pluviométrico do ES podendo acarretar em casos de chuva extrema e, conseqüentemente, desastres naturais que impactam tanto a sociedade quanto a economia regional. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é estudar e analisar as condições atmosféricas relacionadas a episódios de ZCAS, a fim de identificar os principais padrões sinóticos em superfície e altitude responsáveis por causar casos de chuva extrema na cidade de Vitória (ES). A melhor compreensão do comportamento deste tipo de sistema meteorológico poderá contribuir na melhoria na previsão de eventos extremos de chuva.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão da literatura

O sistema de monção da América do Sul demarca o período chuvoso (outubro-abril) no Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Os trabalhos de Zhou e Lau (1998) e Marengo et. al (2001) mostram que seu início ocorre durante a primavera e persiste até o final do verão aproximadamente, tendo em vista que, as principais características observadas no sistema são: intensificação dos ventos alísios do Atlântico Norte que cruzam a linha do Equador em direção às maiores latitudes austrais; aumento do escoamento de noroeste do lado oriental da Cordilheira dos Andes e configuração da ZCAS, a qual é caracterizada por causar grande atividade convectiva sobre a porção sul/sudeste do continente. Além disso, outros sistemas meteorológicos participam do complexo que auxilia a circulação monçônica sul-americana, tais como: Baixa do Chaco, Baixa do Noroeste da Argentina, Alta Subtropical do Atlântico Sul, escoamento de oeste em latitudes médias, Alta da Bolívia, sistemas frontais, entre outros (GUN, RODRIGUES e RAO, 2009; MECHOSO et al., 2004).

Através da junção dos padrões atmosféricos citados anteriormente, durante as estações úmidas do continente sul-americano, há a configuração da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Esse fenômeno é caracterizado como uma banda de nebulosidade orientada na direção noroeste-sudeste que persiste por mais de 3 dias (ESCOBAR, 2019) podendo abranger desde o Norte do Paraná, região Sudeste e Centro-Oeste, centro sul da Bahia e centro sul da Amazônia (DO NASCIMENTO SILVA, 2020; FERREIRA et al., 2004; SANTOS E FIALHO, 2016; SARAIVA et. al, 2015; SILVA et. al, 2019; QUADRO, 1999). Sua ocorrência é observada durante a estação chuvosa do Brasil (outubro a abril), período esse que apresenta condições meteorológicas favoráveis a configuração do sistema. De forma geral, a ocorrência de ZCAS, em altos níveis, é associada à divergência de massa provocada pela Alta da Bolívia (AB) e desvio meridional do Jato Subtropical (JS), o qual pode fomentar a formação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis do Nordeste Brasileiro (VCAN-NEB). Ao mesmo tempo, em baixos níveis, o avanço de sul de sistemas sinóticos, como as frentes frias ou cavados baroclínicos (ESCOBAR et al., 2019), fornece condições para a convergência de ventos e umidade contribuindo, dessa forma, para movimentos ascendentes de ar e formação de nebulosidade. Sendo assim, com a atuação de sistemas meteorológicos na alta e baixa troposfera, a liberação de calor latente subsidiada pela forte convecção fomenta a autoalimentação do complexo, assegurando sua continuidade por vários dias.

2.2 Material e métodos

Nesta seção serão apresentados os métodos e os dados utilizados nesse trabalho a fim de classificar e analisar eventos de precipitação extrema associados a ocorrência de ZCAS no estado do Espírito Santo entre o período de 2006 à 2020.

2.2.1 Dados de precipitação (BDMEP)

Em primeiro lugar, verificou-se a existência de dados históricos de precipitação provenientes da estação automática da cidade de Vitória (Figura 1) a partir do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).



Figura 1: Municípios do estado do Espírito Santo.

Dessa forma, foi constatado séries horárias completas (de 2006 à 2020) das estações localizadas na cidade de Vitória, Alegre, Alfredo Chaves, Linhares e São Mateus (ES). No entanto, para este presente estudo foi utilizado apenas os dados provenientes da estação de Vitória. Sendo assim, após a essa verificação, foi realizada a filtragem dos dados a fim de eliminar dados faltantes ou aqueles que foram medidos erroneamente. Em seguida, com os dados de precipitação já organizados, esses foram transformados em escala diária.

2.2.2 Cartas sinóticas

De forma semelhante, a fim de identificar os dias que houveram a ocorrência de ZCAS no estado do ES, foram obtidas as cartas sinóticas de superfície e altitude referentes aos horários sinóticos (00Z, 06Z, 12Z e 18Z) a partir do banco de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Dessa maneira, foi realizada uma análise manual e identificou-se os principais sistemas meteorológicos de escala sinótica que podem ter contribuído para os casos de chuva extrema identificados.

2.2.3 Dados de precipitação (*Climate Prediction Center*)

Os dados de precipitação utilizados nos mapas da seção 3.2 foram obtidos da plataforma do *Climate Prediction Center* (da sigla, CPC), a qual fornece dados diários de precipitação a partir de uma análise global pertencente ao Projeto de Precipitação Unificada da agência americana *National Oceanic and Atmospheric Administration* (da sigla, NOAA). Os dados podem ser obtidos no site: <<https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.cpc.globalprecip.html>>.

2.2.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados nessa pesquisa foram obtidos através da plataforma *Climate Data Store* (CDS) do Centro Europeu de Previsão do Tempo de Médio Prazo (da sigla em inglês, ECMWF) o qual fornece dados de reanálise do ERA-5 com resolução de 0,25° x 0,25° de latitude/longitude e 37 níveis de pressão. Neste trabalho, as variáveis atmosféricas e os níveis de pressão utilizados se encontram na Tabela 1.

Tabela 1: Variáveis atmosféricas e níveis de pressão utilizados.

Variáveis atmosféricas	Unidades	Níveis de Pressão
Altura geopotencial	m ² /s ²	1000, 500 e 250 hPa
Componente zonal e meridional do vento	m/s	850 e 250 hPa
Pressão a nível médio do mar (PNMM)	Pa	-
Velocidade vertical (Ômega)	Pa/s	500 hPa
Umidade específica	kg/kg	850 hPa

*As unidades mostradas na tabela são referentes aos dados iniciais e não aos plotados nos mapas encontrados na seção 3.

2.2.5 Metodologia

O método utilizado neste trabalho para selecionar os casos de chuva extrema no ES associados a eventos de ZCAS foi o critério de percentis. Esse critério divide a amostra de dados em porcentagens de ocorrência que permite identificar seus valores extremos evidenciando, dessa forma, os limiares a serem utilizados. Em uma primeira etapa do projeto, foram calculados os percentis 90, 95 e 99 para a cidade de Vitória (Tabela 2). No entanto, na análise final foram aplicados somente os percentis 95 e 99. Por fim,

foram gerados mapas médios espaciais de diferentes variáveis meteorológicas associados com episódios de ZCAS e chuva extrema na cidade de Vitória. Além disso, com o propósito de ressaltar as principais características sinóticas destes eventos de ZCAS, foram gerados campos de anomalia utilizando-se a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) entre os anos de 2006 à 2020. A metodologia utilizada para realizar esta climatologia sinótica foi o método de composição de casos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos no presente estudo. Desse modo, serão mostradas tabelas com os limiares dos percentis (90, 95 e 99), com as datas selecionadas (dias de chuva extrema com a presença de ZCAS em Vitória (ES), e também, mapas espaciais evidenciando a evolução dos principais campos e sistemas atmosféricos quando houveram episódios de ZCAS relacionados à eventos de chuva extrema na cidade de Vitória (ES).

3.1 Percentis

Após os cálculos dos percentis como mencionado na seção 2.2.5 encontrou-se os limiares de precipitação (mm/dia) observados na Tabela 2. Para este estudo optou-se por utilizar o percentil 95 (5% dos casos mais extremos do total de eventos de ZCAS identificados) como limiar de interesse.

Tabela 2: Limiares de precipitação (mm/dia) encontrados nos percentis

Cidade	Percentil 90	Percentil 95	Percentil 99
Vitória	13,7	27,1	83,0

A partir desses valores, foram selecionados os casos de chuva extrema, ou seja, os casos de precipitação que apresentaram valores iguais ou maiores que esse valor. Para a cidade de Vitória, o limiar encontrado para o percentil 95 foi de 27,1 mm (Tabela 2) e, com isso, foram selecionados 27 casos de precipitação extrema. A Tabela 3 apresenta os dias de chuva extrema com a presença de ZCAS em Vitória (ES), notando-se que o valor máximo de precipitação registrado (126,4 mm) foi no dia 28/10/2009.

Tabela 3: Casos de chuva extrema selecionados a partir do valor do percentil 95 para a cidade de Vitória (ES).

CASOS PARA A CIDADE DE VITÓRIA - ES			
Datas	Precipitação (mm)	Datas	Precipitação (mm)
09/01/2008	99,2	23/03/2014	31,4
22/11/2008	86,4	18/01/2016	40,4
05/01/2009	49,8	20/01/2016	47,8
23/01/2009	61,8	05/12/2016	27,8
09/10/2009	36,2	01/12/2017	92,8
28/10/2009	126,4	09/11/2018	90
05/12/2009	89,6	02/12/2018	57
05/03/2010	124,2	28/12/2018	33,8
02/11/2010	51,4	07/02/2019	49
29/12/2010	112,2	07/12/2019	40,2
29/12/2011	51,6	24/12/2019	35,2
05/01/2012	110,2	03/01/2020	67,6
12/12/2013	132	23/01/2020	51,2
18/01/2014	35		

3.2 Composições

A Figura 2 mostra a evolução temporal de compostos de variáveis meteorológicas realizados com os 27 casos de chuva extrema relacionadas com episódios de ZCAS. A evolução temporal da altura geopotencial e da divergência em 250 hPa (Figura 2A, 2B e 2C), mostra ao longo de todo o período, uma evolução positiva dos valores de divergência sobre o ES e o aparecimento de um cavado estendido sobre o centro-sul do Brasil localizando na porção nordeste de São Paulo, sul de Minas Gerais e norte do Rio de Janeiro. Além disso, nota-se também que os maiores valores de divergência em 250 hPa estão compreendidos na área de abrangência da ZCAS (sentido noroeste-sudeste). Esse fato está associado aos mecanismos de formação da ZCAS, os quais promovem a convergência de ventos em baixos níveis gerando, conseqüentemente, a divergência em altos níveis.

Os campos de altura geopotencial e ômega em 500 hPa (Figura 2D, 2E e 2F) mostram que os valores mais negativos de ômega se orientam no sentido noroeste-sudeste, indicando forte ascendência de ar na região de ZCAS, principalmente sobre o sul e centro do Espírito Santo e a porção leste de Minas Gerais. Associado a isso, o campo de geopotencial em 500 hPa também mostra a presença de um cavado sobre esses estados indicando que, em médios níveis, há fortes processos de levantamento de ar que irão fomentar a produção de nebulosidade e, conseqüentemente, a ocorrência de chuva. Em 850 hPa (Figura 2G, 2H e 2I), observa-se valores mais expressivos de convergência sobre o sul do ES, onde houveram os casos de chuva extrema observados na Tabela 3. Por outro lado, nota-se o transporte e a convergência de ventos e umidade (provindos da Amazônia e do Oceano Atlântico) sobre o Sudeste do Brasil. Esses fatores contribuem para a formação e alimentação do sistema, pois a convergência de ventos associada aos movimentos ascendentes de ar e o escoamento relacionado ao transporte de umidade até essa região fomenta o desenvolvimento de nuvens convectivas profundas, que muitas vezes, podem gerar grandes volumes de precipitação. Neste mesmo nível, é possível observar o deslocamento de um sistema frontal pelo oceano, que no DIA -1 chega ao estado de SP e no DIA 0 se estabelece no sul do estado do RJ. Este transiente é determinante na intensificação da convergência de massa e de umidade na região da ZCAS. Por fim, em superfície (Figura 2J, 2K e 2L) nota-se a presença de um cavado invertido sobre o Oceano Atlântico, próxima a faixa latitudinal dos estados da região Sudeste (~ 20° S). O posicionamento desse cavado infere a localização média dos sistemas frontais que, por sua vez, são responsáveis por subsidiar a formação da ZCAS. O campo de espessura da camada 500/1000 hPa também mostra o posicionamento médio dos sistemas frontais referidos no campo bórico, através da presença de um máximo gradiente de espessura localizado aproximadamente em torno de 25° S.

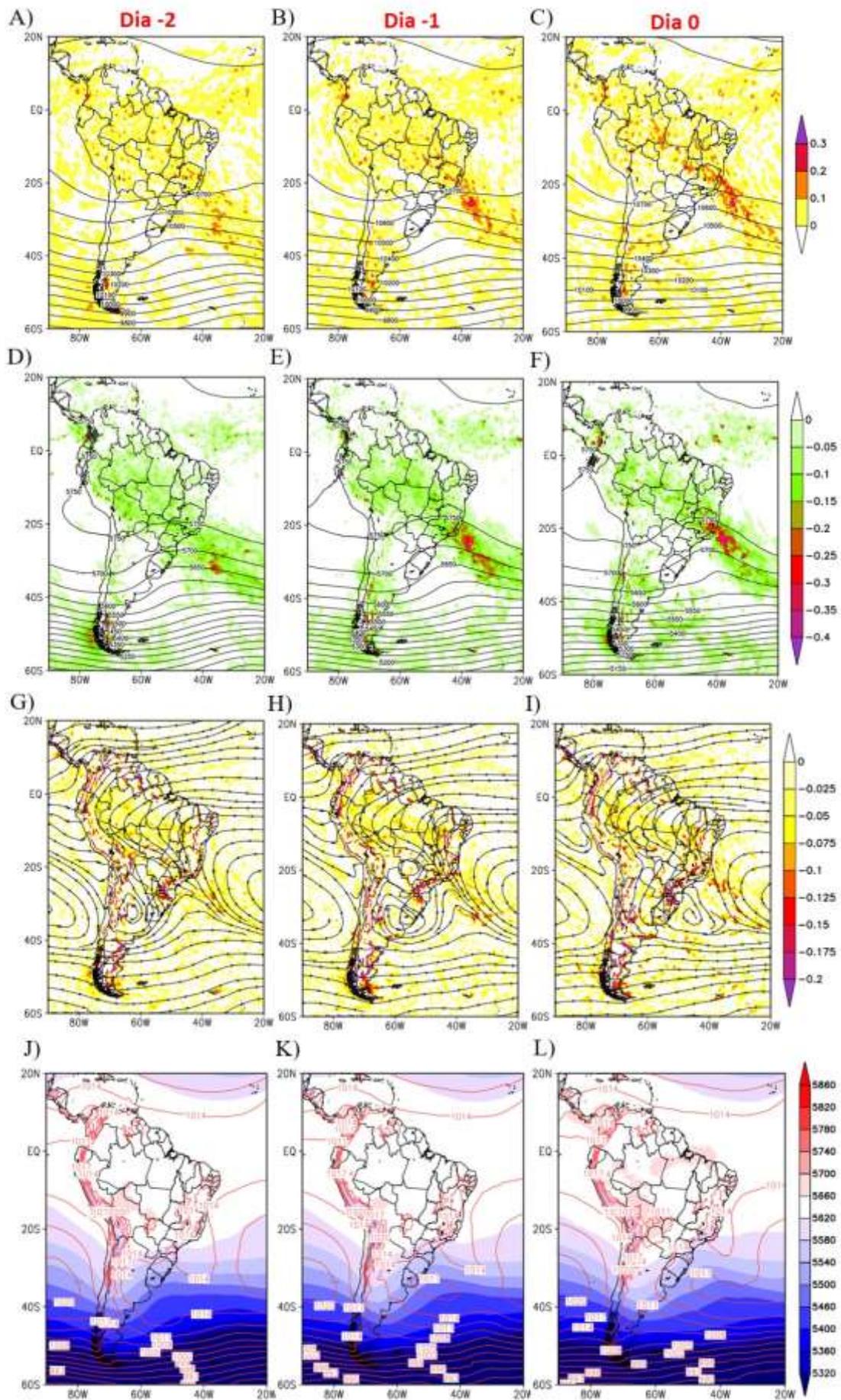


Figura 2: Compostos de ZCAS relacionados com eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Divergência (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 250 hpa; D-E-F) Ômega (sombreado) e altura geopotencial (linhas contínuas) em 500 hpa; G-H-I) Convergência (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) PNMM (linhas contínuas) e espessura da camada 500/1000 hPa (sombreado).

A figura 3 mostra a evolução temporal de compostos de outras variáveis meteorológicas realizados com os 27 casos de chuva extrema relacionadas com episódios de ZCAS.. As primeiras figuras (3A, 3B e 3C) mostram, em altos níveis (250 hPa), a altura geopotencial, o escoamento do vento, e a intensidade do vento superior à 20 m.s^{-1} , denotando assim, os fluxos das correntes de jato. Em primeiro lugar, observa-se que, em dias de ZCAS, a Alta da Bolívia está bem configurada sobre a Bolívia e parte do Peru em função do aquecimento do altiplano boliviano. Esse escoamento anticiclônico deflete meridionalmente o Jato Subtropical (zona mais intensa de ventos próxima a latitude de 25° S) e gera a formação do cavado do nordeste brasileiro, o qual está presente à leste da costa da região Nordeste nas figuras. Além disso, pode-se notar a presença de um cavado em altos níveis próximo a costa sul e sudeste do Brasil indicando o posicionamento médio dos sistemas baroclínicos. O Jato Subtropical pode ser identificado na faixa de latitude de 25° S , aproximadamente, onde são encontrados valores de velocidade do vento acima de 25 m.s^{-1} e valores de altura geopotencial entre 10440 e 10680 mgp. De forma semelhante, o Jato Polar pode ser identificado próximo a latitude de 45° S , onde a velocidade do vento se encontra mais significativa (maior que 25 m.s^{-1}) e valores de altura geopotencial entre 9960 e 10200 mgp. As figuras 3D, 3E e 3F apresentam os campos de umidade específica (g/kg) e o escoamento do vento (m.s^{-1}) em 850 hPa. Ao observar as figuras, nota-se um fluxo de umidade orientado no sentido noroeste-sudeste, com valores mais altos sobre o estado do Amazonas e noroeste do Mato Grosso, ao mesmo tempo que, também há valores expressivos sobre o noroeste de Goiás, Minas Gerais e o centro-norte do Espírito Santo. Já o campo de escoamento do vento mostra ventos de leste, em latitudes equatoriais, carregados de umidade provinda do Oceano Atlântico associados aos ventos de noroeste saturados com umidade amazônica convergindo sobre a região Sudeste e parte da região Centro-Oeste do Brasil.

Por último, o campo de precipitação (mm/dia) é mostrado nas figuras G, H e I. Primeiramente, a evolução temporal mostra o aumento da precipitação à medida que o dia do evento de chuva extrema no estado do Espírito Santo se aproxima. Além disso, é possível notar que, na área de abrangência da ZCAS geralmente há valores mais relevantes de precipitação, compreendendo desde o estado do Amazonas até a região Sudeste, onde os valores máximos são observados sobre o leste de Minas Gerais, norte do Rio de Janeiro e praticamente todo o Espírito Santo.

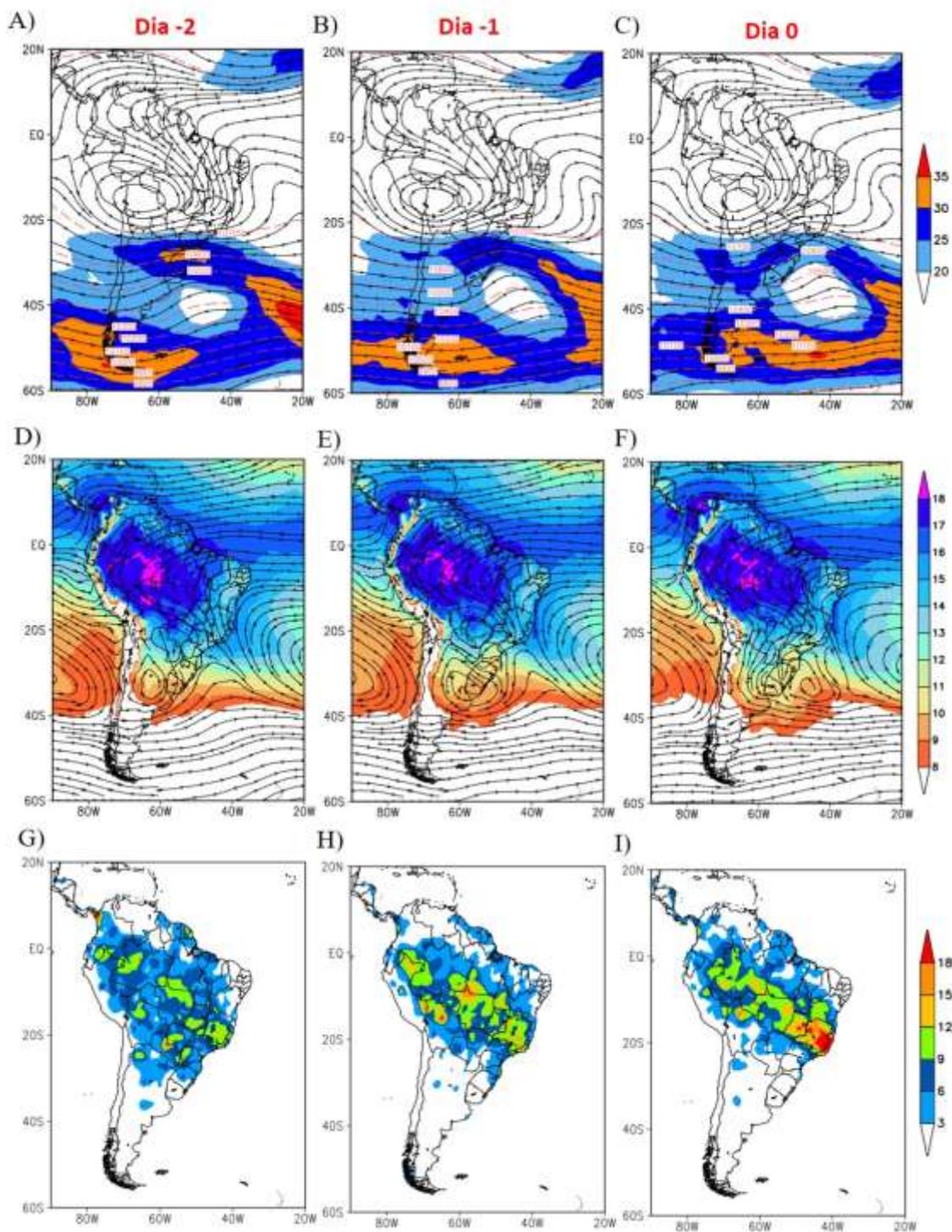


Figura 3: Compostos de ZCAS relacionados com eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução das principais variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0): A-B-C) Vento acima de 20 m/s (sombreado), altura geopotencial (linha tracejada) e linhas de corrente em 250 hPa; D-E-

F) Umidade específica (g/kg) (sombreado) e vento em m/s (linhas de corrente) em 850 hpa; G-I) Campo de precipitação (mm/dia).

3.3 Corte vertical de ômega

A figura 4 mostra o comportamento da variável ômega nos níveis que compreende desde 250 hPa até à superfície (~1000 hPa). Ao analisar as imagens, é possível perceber a evolução e intensificação do sistema até chegar o dia do evento (DIA 0), os quais os valores de ômega são mais significativos (em torno de -0.3 Pa.s^{-1}) e representam a movimentação ascendente das parcelas de ar em razão da convecção de massa e liberação de calor latente;

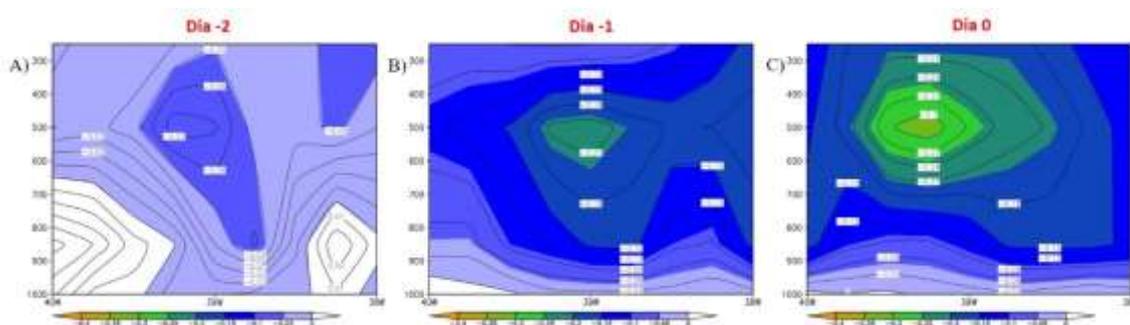


Figura 4: Corte vertical de Ômega (sombreado e linhas contínuas) dos compostos de ZCAS relacionados a eventos de chuva extrema em Vitória evidenciando a evolução da variável (B) um dia antes (Dia -1) e (C) dois dias antes (Dia -2) da (C) configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0).

3.4 Anomalias

A figura 5 mostra a evolução dos campos de anomalia das variáveis atmosféricas evidenciando o comportamento anômalo da atmosfera quando há a configuração da ZCAS. Em vista disso, as figuras 5A, 5B e 5C revelam a anomalia de ventos acima de 6 m.s^{-1} e linhas de corrente em 250 hPa. Dessa forma, observa-se um escoamento ciclônico anômalo sobre as regiões Sul e Sudeste, o qual é contornado, por uma região de ventos anômalos intensos indicando, assim, a presença do Jato Subtropical em dias de ZCAS. Semelhantemente, é possível notar um escoamento ciclônico anormal e com ventos relativamente intensos próximo ao nordeste brasileiro. Tal fato está associado à configuração do VCAN-NEB promovido pela deflexão do Jato Subtropical. Outro sistema anômalo existente nas figuras é a alta migratória pós-frontal à sul da região de máxima advecção ciclônica próxima ao Sul do Brasil. As figuras 5D, 5E e 5F mostram

a anomalia de PNMM e altura geopotencial em 250 hPa. Os centros positivos (vermelho) e negativos (azul) de PNMM formam um dipolo de pressão, o qual é caracterizado por pressões anômalas negativas na área de atuação da ZCAS, principalmente sobre o Espírito Santo onde observa-se valores de entre -20 e -30, e pressões anômalas positivas mais ao sul caracterizando a passagem da alta migratória pós-frontal em superfície. O campo de geopotencial revela núcleos anômalos negativos à oeste dos centros anômalos de pressão negativa. Esse fato sugere que os sistemas baroclínicos associados a ZCAS são mais intensos e, conseqüentemente, propiciam condições favoráveis à convergência de massa em superfície e divergência em altitude, processos esses, fundamentais para a manutenção do sistema. As anomalias de umidade específica e linhas de corrente em 850 hPa são observados nos mapas 5G, 5H e 5I. Nessas imagens, percebe-se a existência de uma faixa anômala positiva de umidade específica marcando o domínio de influência da ZCAS. Associado a direção desse fluxo de umidade está o escoamento anômalo do vento em 850 hpa indicando a sua contribuição no transporte de umidade para a Região Sudeste do Brasil. Na figura 5G (DIA -2), nota-se a entrada de ventos anômalos de quadrante sul promovidos pelo sistema frontal em superfície ligado ao movimento ciclônico observado sobre o Oceano Atlântico (próximo a latitude 30° S). Com a evolução dos dias, percebe-se que o conteúdo de umidade aumenta e se concentra sobre parte do Centro-Oeste e Sudeste do país. Por outro lado, com o adentro da massa de ar frio e seca sobre o continente anomalias negativas de umidade são observadas principalmente sobre a Região Sul do Brasil, observadas nas figuras 5H e 5I. Já as figuras 5J, 5K e 5L mostram a evolução das anomalias de convergência em 850 hPa revelando, dessa forma, que há movimentos ascendentes de ar anômalos que auxiliam a formação e continuidade do sistema em dias de ZCAS. Os valores anômalos negativos mais expressivos, ou seja, aqueles que representam convergência mais intensa são observados no centro do estado de São Paulo e do Paraná, centro-leste de Minas Gerais, oeste do Espírito Santo e sul da Bahia.

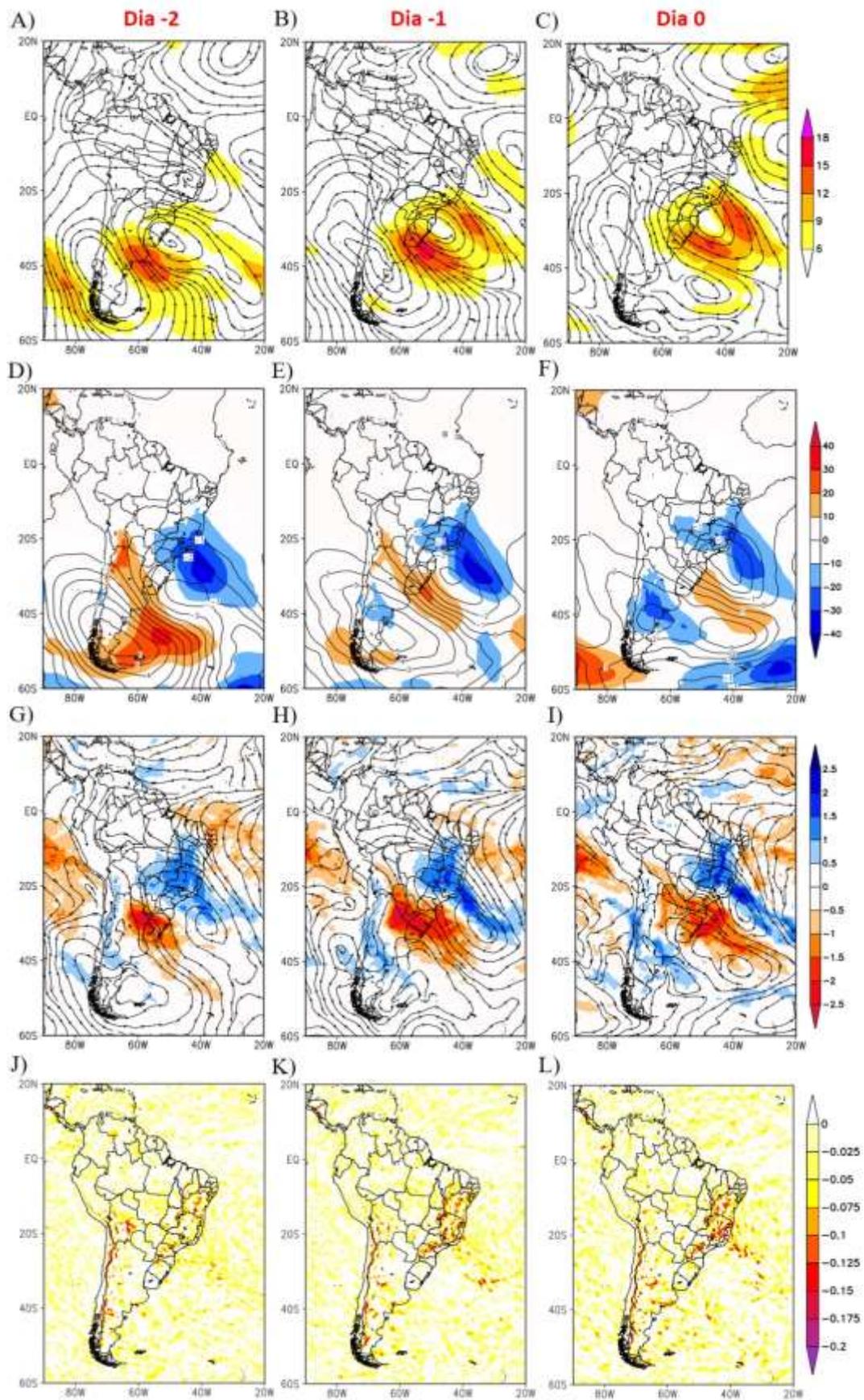


Figura 5: Campos de anomalia, ou seja, diferença entre a composição dos casos e a média climatológica da estação chuvosa (outubro-abril) evidenciando a evolução das variáveis atmosféricas dois dias antes (Dia -2) e um dia antes (Dia -1) da configuração de ZCAS sobre o Espírito Santo (Dia 0), sendo: A-B-C) Anomalia de ventos acima de 6 m/s (sombreado) e linhas de corrente em 250 hpa; D-E-F) Anomalia de PNMM (sombreado) e altura geopotencial em 250 hpa (linhas contínuas); G-H-I) Anomalia de umidade específica (g/kg) (sombreado) e linhas de corrente em 850 hpa; J-K-L) Anomalia de convergência (sombreado) em 850 hpa.

4. CONCLUSÃO

Este estudo analisou e classificou as principais características sinóticas dos eventos de ZCAS relacionados a casos de chuva extrema na cidade de Vitória (ES) entre o período de 2006 à 2020. Foram constatados 27 episódios, ou seja, aqueles que excederam o limiar de precipitação encontrado através do método dos percentis ao mesmo tempo que se observou a configuração da ZCAS sobre o estado do Espírito Santo.

A partir das análises dos resultados acerca das variáveis atmosféricas, foram notados alguns padrões atmosféricos associados a eventos de ZCAS, os quais ocorrem em diversos níveis da atmosfera, tais como: Em 250 hPa foi observado a presença da Alta da Bolívia e do Jato Subtropical bem configurados, fortes processos de divergência sobre o Sudeste, sugerindo mecanismos de convergência em baixos níveis, e a existência do cavado na costa do Nordeste brasileiro; em 500 hPa, nota-se fortes movimentos ascendentes de ar (ômega negativo) na região de abrangência da ZCAS; em 850 hPa, percebe-se o escoamento do vento no sentido noroeste-sudeste associado ao fluxo de umidade provindo da Amazônia, o escoamento de leste associado ao transporte de umidade oceânica promovido pela ASAS e a convergência de massa sobre a região de ZCAS; por fim, em superfície, constatou-se no campo de pressão, a configuração de um cavado invertido no Oceano Atlântico à leste do cavado observado no campo de espessura da camada 500/1000 hPa, sugerindo a presença de uma região de baixa pressão. Em razão dos fatores supracitados, foram encontrados valores expressivos de precipitação diária nos locais afetados pela ZCAS, principalmente sobre o estado do Espírito Santo.

Os campos de anomalia, por sua vez, mostraram as características predominantes quando houve a configuração de ZCAS associada à chuva extrema, sendo as mais notáveis: escoamento ciclônico em altos níveis sobre o Oceano Atlântico com intensos valores de velocidade do vento em suas bordas; valores anômalos negativos de pressão na área de atuação da ZCAS associado há a presença de um núcleo anômalo de geopotencial à oeste; valores positivos de umidade e prevalência do sentido noroeste-sudeste (leste) dos ventos provindos da Amazônia (Oceano Atlântico); e, por último, valores anômalos de convergência em 850 hPa sobre a região da ZCAS.

A partir dos resultados encontrados no presente estudo, é possível concluir que a gênese e estabelecimento da ZCAS é em consequência do encadeamento de mecanismos atmosféricos presentes em diversos níveis atmosféricos (desde 250 hPa até à superfície) que fomentam processos de formação de nuvens de chuva e a autoalimentação do sistema, fator esse, que promove a longa duração dos processos convectivos e a permanência do fenômeno por vários dias. A melhor compreensão do comportamento deste tipo de sistema meteorológico poderá contribuir na melhoria na previsão de eventos extremos de chuva.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic convergence zone: Intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88–108, 2004.

CUPOLILLO, F.; DE ABREU, M. L.; VIANELLO, R. L. Climatologia da bacia do rio Doce e sua relação com a topografia local. **Revista Geografias**, p. 45-60, 2008.

DO NASCIMENTO SILVA¹, P.; ESCOBAR, G.C.J; REBOITA, M.S. Eventos extremos de precipitação no Estado de Minas Gerais associados com a ocorrência de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1013-1023, 2020.

ESCOBAR G.C.J; REBOITA, M.S; SOUZA, A. Climatology of surface baroclinic zones in the coast of Brazil. **Atmosfera** 32: 129-141, 2019 DOI: <https://dx.doi.org/10.20937/ATM.2019.32.02.04>

ESCOBAR, G.C.J. Zona de convergência do atlântico sul (ZCAS): critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2019.

FERREIRA, N.J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M.A.F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, 89-98, 2004.

GADGIL, S. 2003. The Indian monsoon and its variability. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 31, n. 1, p. 429-467, 2003.

GAN, M. A.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. Monção na américa do sul. **Chapter**, v. 19, p. 297-312, 2009.

GARCIA, S. R. Variabilidade do sistema de monção da América do Sul: relações com a oscilação decadal do Pacífico. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE**, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, acessado em 28 de Maio de 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/es/>>.

KOUSKY, V. E. Pentad outgoing longwave radiation climatology for the South American sector. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 3, p. 217-231, 1988.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N. WAINER, I. On the onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v.14, p. 833-853, 2001.

MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V. SILVA DIAS, P. L.; CALVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Review recente developments on the South American monsoon system. **International journal of Climatology**, v. 32, n. 1, p. 1-21, 2012.

MECHOSO, C. R., ROBERTSON, A. W., ROPELEWSKI, C. F., GRIMM, A. M. The American monsoon systems. In: **Proceeding of the 3rd international workshop on monsoons. Hangzhou, China, November. 2004.** p. 2-6.

NETO, J. L. S. Decálogo da climatologia do sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

QUADRO, M. F. L. Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, n. 2-3, p. 210-210, 1999.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. da. Entendendo o tempo e o clima na América do Sul. **Terrae Didatica**, Campinas, SP, v. 8, n. 1, p. 34–50, 2015.

SANTOS, V. J.; FIALHO, E. S. Zona de convergência do atlântico sul (zcas) e impactos pluviiais intensos: o caso da cidade de Ubá/MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.

SARAIVA, G. D. S. Z., DOS SANTOS, E. V., COELHO, J. O. M., EGAS, H. M., & CASAGRANDE, L. A. Atuação da ZCAS no Desastre de Dezembro de 2013 no Sudeste do Brasil. In **Workshop ZCAS/Monçao. July. 2015**

SILVA, J. P.R; REBOITA, M. S; ESCOBAR, G. C. J. Caracterização da Zona de Convergência do Atlântico Sul em campos atmosféricos recentes. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, 2019.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a monsoon climate exist over South America?. **Journal of climate**, v. 11, n. 5, p. 1020-1040, 1998.

