



ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO NO CENTRO SUL DO BRASIL, ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL (ZCAS) E CICLONES.

*Primeiro-Tenente Jonatan de Souza Cavalcante¹
D. Sc. Fabíola Valéria Barreto Teixeira²*

RESUMO

Muitos sistemas climatológicos típicos da América do Sul têm sido estudados para associar a estação chuvosa do continente com episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e ciclones do Atlântico Sul. Os objetivos deste trabalho foram: analisar o regime de precipitação do centro-sul do Brasil nos meses em que ocorre a ZCAS e verificar características dos ciclones no Atlântico Sul que se formaram em associação com episódios de ZCAS. Os principais resultados mostraram que os eventos de ZCAS mais longos tiveram mais ciclones associados em seu ramo oceânico. Contudo, não foi possível concluir a respeito da duração do ciclo de vida dos ciclones associados à ZCAS. Outro resultado obtido foi a que a precipitação na região Centro-Sul do país foi maior quando o Jatos de Baixos Níveis teve orientação noroeste-sudeste.

¹ Primeiro-Tenente, Hidrógrafo (CA). Atualmente exerce a função de Ajudante da Divisão de Hidrografia do NPqHo Vital de Oliveira.

² Professor Associado-Meteorologia. Graduada na UFRJ, com mestrado em Ciências Atmosféricas pela COPPE e doutorado em Modelagem Computacional no Laboratório Nacional de Computação Científica.



Palavras-chave: ZCAS; América do Sul; Ciclones; Precipitação; Estado do Mar.

ABSTRACT

Many typical South American climatological systems have been studied to associate the continent's rainy season with episodes of South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and South Atlantic cyclones. The objectives of this work were to analyze the precipitation of center-south Brazil in the months in which the SACZ occurs and verify the characteristics of cyclones in the South Atlantic that formed in association with episodes of SACZ. The main results showed that more extended SACZ events had more associated cyclones in their oceanic branch. However, it was not possible to conclude about the life cycle duration of cyclones associated with SACZ.

Another result was that precipitation in the center-south region of the country was higher when the Low Level Jets had a north-west-southeast orientation.

Keywords: SACZ; South America; Cyclones; Precipitation; Sea Conditions.

1. INTRODUÇÃO

A América do Sul possui uma climatologia influenciada por sistemas meteorológicos típicos das regiões tropical e extratropical, o que proporciona uma diversidade de climas com características distintas de precipitação e temperatura. Neste continente, é possível observar a atuação de fenômenos de diferentes escalas, além do importante papel da interação oceano-atmosfera, o que torna o estudo da climatologia sinótica da região muito interessante. Diversos estudos anteriores abordaram o desenvolvimento e as características dos sistemas meteorológicos da

América do Sul, entre eles estão Figueroa *et al.* (1995), Reboita *et al.* (2010), Marengo *et al.* (2010), Cavalcanti (2012), Satyamurty e Rosa (2019). Mais recentemente, Silva *et al.* (2019) mostraram eventos de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) acoplados a ciclones no Oceano Atlântico Sul, que contribuíram para a manutenção da ZCAS por meio do transporte de umidade. Então, conhecer melhor os mecanismos que favorecem a formação e a manutenção destes sistemas pode contribuir significativamente para suas previsões.

2. OBJETIVO

Neste trabalho foram estudados eventos de ZCAS, descrevendo sua formação e atuação. Também foram avaliadas as ocorrências de ciclones associados à presença da ZCAS, bem como as condições para formação e características do ciclo de vida dos referidos ciclones. Nesta análise buscou-se identificar padrões meteorológicos da associação entre eventos de ZCAS com a ocorrência de ciclones no Atlântico Sul. Ou seja, o objetivo geral deste trabalho foi analisar a associação da ZCAS com a formação de ciclones no Oceano Atlântico Sul, o regime de precipitação do Centro-Sul do Brasil e as características dos ciclones que se formaram no oceano em períodos de ZCAS.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Reboita *et al.* (2010) a precipitação anual na região Centro-Oeste do Brasil excede o valor de 1.400 mm por ano. Na região Sudeste, esta marca é atingida ou superada, como é possível visualizar na Figura 1, que representa a média da precipitação anual para a América do Sul entre os anos de 1979 e 1995.

Ainda com base na Figura 1, percebe-se uma extensa banda de maiores totais



de precipitação com orientação Noroeste-Sudeste e origem na Região Amazônica se estendendo até o Centro-Sul do país. Segundo Reboita *et al.* (2010), sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste, o escoamento de Noroeste do Jato de Baixos Níveis (JBN) pode convergir com o de Nordeste, induzido pela circulação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) durante o verão. Isto causa uma intensa atividade convectiva nesta faixa de convergência e possui grande relevância na circulação de verão na América do Sul, contribuindo também para os totais anuais conforme visto na Figura 1. Este fato é extremamente importante para a estação chuvosa das regiões Centro-Oeste, Sul e Sudeste do Brasil. Esta região de convergência corresponde a posição climatológica da ZCAS.

Durante o verão, os ventos alísios de Nordeste transportam mais umidade do Oceano Atlântico para a Amazônia, e uma parte desta umidade é transportada para Sudeste pelo JBN. De acordo com Marengo e Soares (2002), o JBN é um escoamento intenso na baixa troposfera (acima de 10 m/s), cuja velocidade máxima ocorre entre 1 e 2 km de altura (máximo em aproximadamente 850 hPa). Na América do Sul, o JBN é formado pela convergência dos ventos alísios e do escoamento do setor oeste do ASAS. Essa convergência é gerada pela barreira montanhosa da Cordilheira dos Andes, produzindo um intenso escoamento na direção N-S (REBOITA *et al.* 2012).

Segundo Silva *et al.* (2019), a associação dos sistemas citados no parágrafo

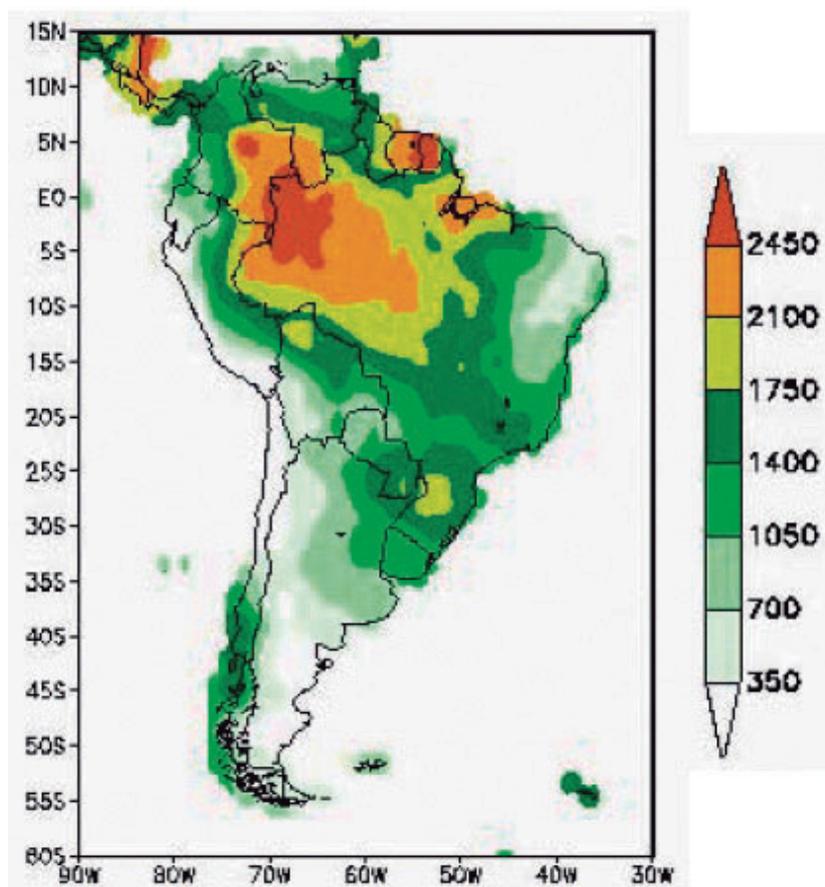


Figura 1: Precipitação média anual (mm) calculada entre 1979 e 1995 com base em análises diárias de precipitação no Brasil e em médias mensais para o restante da América do Sul. Fonte: Reboita et al. (2010)



anterior com a convecção típica do período quente provoca o transporte vertical do ar. Adicionalmente, na circulação de ventos da América do Sul, também é possível identificar a presença de um anticiclone em altos níveis, conhecido como Alta da Bolívia, e um cavado próximo à costa da região Nordeste do Brasil, que pode aparecer como um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN). A associação destes fatores, descreve Reboita *et al.* (2012), permite a formação de ZCAS. Conforme Kodama (1992), Reboita *et al.* (2012) e Escobar (2019), a ZCAS é definida como uma extensa banda de nebulosidade e precipitação orientada no sentido Noroeste-Sudeste desde o Sul/Sudeste da Amazônia até o sudoeste do Oceano Atlântico Sul.

Como a ZCAS se forma em um ambiente instável e com convergência de umidade em baixos níveis e divergência em altitude, pode se esperar que ela possibilite um ambiente favorável ao fornecimento de energia para que ciclones se desenvolvam ou se desloquem em suas proximidades.

O padrão sinótico mais frequente da ocorrência de ZCAS indica que o ramo oceânico do sistema se acopla a um ciclone. Estudos recentes têm indicado a associação da umidade proveniente do continente com ciclones formados na costa sudeste do Brasil, principalmente em eventos de ciclones subtropicais (GOZZO *et al.*, 2017; REBOITA *et al.*, 2018). Somam-se a isto os estudos de Silva *et al.* (2019) que demonstram a associação entre ZCAS e ciclones em 30% dos casos de ZCAS registrados entre os anos de 2006 e 2017.

Além disso, de acordo com Campanella & Vera (2002), os sistemas de baixa pressão induzem o escoamento do JBN para a região dos ciclones de modo que o calor e a umidade transportados pelo jato favorecem os ciclones. Simultaneamente, o ciclone ajuda o JBN a se intensificar, formando um mecanismo de retroalimentação que, associado ao lento deslocamento do ciclone, dificultado

pela presença do ASAS, contribui para a manutenção da ZCAS (SILVA *et al.*, 2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a relação entre ZCAS e ciclones no Atlântico Sul, foram selecionados os anos de 2006 e 2017, que fazem parte da climatologia de ZCAS usada como base de informações neste estudo e obtida por Silva *et al.* (2019). Esta climatologia calculou o número de eventos usando o método proposto por Escobar e Matoso (2018) para a identificação dos sistemas. Como os eventos de ZCAS são típicos do período de primavera-verão da América do Sul, foram avaliados os meses de janeiro a abril e de outubro a dezembro dos anos selecionados. Uma recontagem dos eventos de ZCAS foi realizada, considerando alguns ajustes em relação à climatologia usada como base. A recontagem levou em consideração as informações do Boletim Climanálise, do Boletim Infoclima e de cartas sinóticas, todos produtos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Optou-se por estes produtos para uniformização dos critérios de identificação da ZCAS, pois, entre 2006 e 2017, houve variação dos critérios usados na representação deste fenômeno nas cartas sinóticas do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Assim, após a recontagem, obteve-se um total de 9 eventos de ZCAS, em 2006, e 11 eventos em 2017. De acordo com a climatologia de ZCAS do estudo de Silva *et al.* (2019), a média de ocorrência é de 9,5 eventos por ano/temporada.

Para a identificação de ocorrência de ciclones no Atlântico Sul, foram usadas as cartas sinóticas do CHM. Foram contabilizados como ciclones os centros de baixa pressão representados por isóbaras fechadas na região de interesse, que persistiram por mais de 24 horas. A contagem foi realizada de forma visual, ou seja, cada vez que se identificava a

existência de um centro de baixa pressão sobre a área de interesse, o dia e horário eram anotados em uma planilha.

A área selecionada para a análise dos ciclones foi delimitada pelas coordenadas geográficas 050°W-020°W e 35°S-15°S, como demonstrado na Figura 2, englobando desde a área ALFA até a área ECHO da METAREA V¹.

A seleção da presente área se justifica por sofrer influência de eventos de ZCAS, com importante transporte de umidade do continente para o oceano, além de ser uma área relevante à navegação marítima.

Vale ressaltar que estudos como Murray e Simmons (1991) e Rocha *et al.* (2016) já verificaram que muitos dos ciclones que se formam no Atlântico Sul, afetando a METAREA V, se formam ao sul do paralelo de 20° S.

Após a contabilização dos ciclones, o intervalo de tempo entre a formação e a dissipação de cada um também foi anotado na planilha para organização e posterior análise.

Uma variável importante considerada na descrição dos casos de ZCAS foi a precipitação. Os totais de precipitação do Centro-Sul do Brasil foram obtidos por intermédio de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Além destes, dados complementares de precipitação foram obtidos por meio das reanálises ERA-5 do European Centre of Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Os dados de precipitação do INMET e das reanálises não são diretamente comparáveis. Entretanto, uma avaliação isolada de cada um destes bancos de dados pode auxiliar a compreensão da distribuição da precipitação sobre o continente e o Oceano Atlântico próximo à costa sul-sudeste do Brasil. Os dados de precipitação anuais e mensais do INMET foram usados junto com as normais climatológicas para auxiliar na identificação de áreas com anomalias positivas ou negativas de precipitação sobre o território brasileiro. Já os dados de precipitação

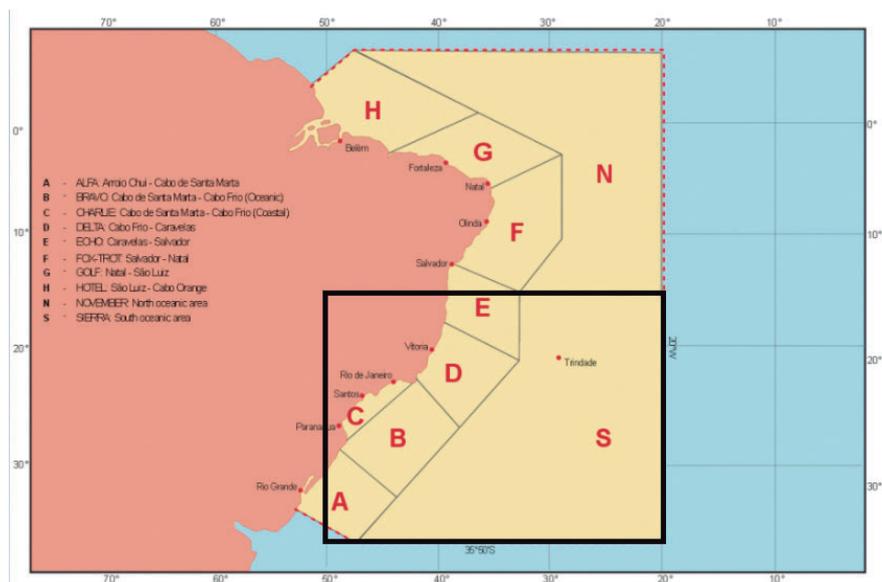


Figura 2: Área selecionada para a contagem de ciclones. Fonte: site do CHM²

¹ De acordo com a NORMAM-19 (2018), a METAREA V é a área de responsabilidade da Marinha do Brasil subdividida em dez áreas, sendo oito delas costeiras, nomeadas de ALFA a HOTEL e duas oceânicas, Norte e Sul.

² Disponível em: < <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-informacoes-gerais/areas-maritimas>>.



total das reanálises foram usados para calcular a precipitação média dos anos estudados e de um período de 30 anos entre 1991 e 2020. Assim, por meio da comparação entre a média de 30 anos e os anos de interesse pretendeu-se identificar variações relevantes que possam ser associadas à ocorrência de ZCAS e dos ciclones relacionados a elas.

Dados de médias mensais de linhas de corrente em altitude (200 hPa) e baixos níveis (850 hPa) também foram obtidos das reanálises do ECMWF e usados nas avaliações.

Na análise dos dados, buscou-se estabelecer relações entre os eventos de ZCAS e ciclones ao longo de seus ciclos de vida, para os dois anos selecionados. Os totais de precipitação foram comparados, determinando padrões entre ocorrência de ciclones, eventos de ZCAS e regime de precipitação do Centro-Sul do Brasil. De forma complementar, os campos de médias mensais de vento e precipitação, assim como os campos de pressão ao nível do mar (cartas sinóticas do CHM e CPTEC), foram usados na caracterização dos sistemas meteorológicos discutidos neste trabalho.

O processamento das reanálises ERA-5, o cálculo das médias nas áreas e os campos para análise foram realizados no Grid Analysis and Display System (GrADS), versão 2.0.2 (DOTY, 1995).

Por fim, as análises destacaram características atmosféricas dos eventos de ZCAS com ciclones acoplados, que possam ser úteis no dia a dia da previsão do tempo aplicada à navegação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ZCAS e Precipitação

Inicialmente, foi realizada uma contagem dos episódios de ZCAS dos anos escolhidos para a análise. Após a contabilização, foi organizada a Tabela 1 que apresenta o número de eventos de ZCAS e a soma do total de dias com atuação da ZCAS para os meses avaliados em cada ano. É importante lembrar que apenas os meses de janeiro a abril e outubro a dezembro foram avaliados, seguindo a metodologia de Silva *et al.* (2019).

De acordo com a Tabela 1, foram contabilizados um total de 9 eventos de ZCAS em 2006. Já em 2017, foram totalizados 11 eventos e, entre eles, observou-se o evento mais longo deste estudo no mês de dezembro, com aproximadamente 16 dias de duração. Contudo, no ano de 2017 foram registrados mais eventos de curta duração. O tempo de vida médio de um evento ZCAS em 2017 foi de 5,2 dias. Entretanto, excluindo o

Tabela 1: Ocorrências de ZCAS em 2006 e 2017

	JAN		FEV		MAR		ABR		OUT		NOV		DEZ		TOTAL	
	Eventos	Dias	Eventos	Dias	Eventos	Dias	Eventos	Dias	Eventos	Dias	Eventos	Dias	Eventos	Dias	Eventos	Dias
2006	2	13	1	7	1	10	0	0	1	4	2	10	2	17	9	61
2017	3	14	2	6	1	4	0	3 ³	1	2	2	10	2	19	11	58

Fonte: Elaborada pelo autor

³ Os três dias de ocorrência de ZCAS registrados na tabela referem-se ao evento contabilizado em março que se estendeu pelo início de abril



evento mais longo, essa média cai para mais ou menos 4 dias. No ano de 2006, notou-se maior regularidade no tempo de vida dos eventos, além de um valor maior do tempo médio de vida para os eventos, que foi de aproximadamente 6, 7 dias por evento.

Os meses com mais eventos de ZCAS, no ano de 2006, foram janeiro, novembro e dezembro, empatados com 2 ocorrências cada um, e o mês com menos eventos foi abril, sem nenhuma ocorrência. Já para o ano de 2017, janeiro foi o mês com a maior quantidade de ocorrências, e abril foi, novamente, o mês com a menor quantidade de eventos.

Vale destacar que, nos dois anos estudados, abril foi o mês com a menor quantidade de dias com ZCAS, e os meses de janeiro e dezembro têm mais dias associados a ocorrências de ZCAS. O resultado para o mês de abril era esperado, pois a circulação atmosférica que favorece a ocorrência de ZCAS já não está bem configurada neste período.

Seguindo com as análises, embora dezembro de 2006 tenha o maior número de dias com ZCAS nesse ano (Tabela 1), as maiores anomalias positivas de precipitação ocorreram no mês de março (Figura 3 ao centro), podendo-se observar que quase todo o território brasileiro aparece na cor azul. Também é possível destacar a faixa de umidade que se estende do norte ao sudeste do país observando a normal climatológica para este mês (Figura 3 à esquerda). Na região Sudeste, o destaque é o leste de São Paulo e o norte e noroeste da região (Figura 3 ao centro), onde as anomalias superam os 100 mm e com alguns núcleos maiores que 200 mm.

Na Tabela 1, observa-se que março de 2006 teve apenas um evento de ZCAS, mas com 10 dias de duração. A persistência do evento favoreceu os acumulados de chuva. Além disso, foram contabilizados 4 ciclones em março de 2006, sendo 2 associados à ocorrência de ZCAS, conforme a Tabela 2. Analisando o tempo médio de

vida dos ciclones de março de 2006, os dois associados ao episódio de ZCAS tiveram duração igual ou superior a 48 h.

Avaliando as anomalias de precipitação para 2017, nos meses associados à ZCAS, não foi identificado um mês com predominância de anomalias positivas. Este ano apresentou meses mais secos que a média, principalmente na região da ZCAS (Figura 3 à direita). Na verdade, perceberam-se anomalias positivas e negativas espalhadas por todas as regiões do país, ao longo dos meses. No entanto, para todos os meses, com exceção de novembro e dezembro, a precipitação ficou acima dos valores climatológicos no sul do Brasil. É interessante comentar que, no ano em questão, ocorreram episódios de ZCAS mais deslocadas para o norte da posição climatológica no mês de dezembro. Além disso, apesar de 2017 ter apresentado maior número de eventos de ZCAS, o tempo de vida médio dos episódios foi menor que em 2006.

Para permitir avaliar a relação da precipitação continental com a oceânica, os dados das reanálises ERA-5 foram acrescentados aos dados do INMET, que são exclusivamente continentais. É importante comentar que os valores de precipitação média dos dados da reanálise são bem inferiores aos acumulados observados pelo INMET, o que não possibilita uma análise quantitativa. Entretanto, foi elaborada uma análise qualitativa da evolução deste campo para os anos estudados.

Foram definidas três áreas ao longo de uma faixa com orientação noroeste-sudeste desde a região norte do Brasil até o Oceano Atlântico Sul, conforme mostrado na Figura 4. Estas áreas foram denominadas como: área 1 (Continental Norte), área 2 (Continental Centro-Sul) e área 3 (Oceânica), em que foram calculadas a precipitação média por área para um período de 30 anos (1991 a 2020), e para cada mês analisado

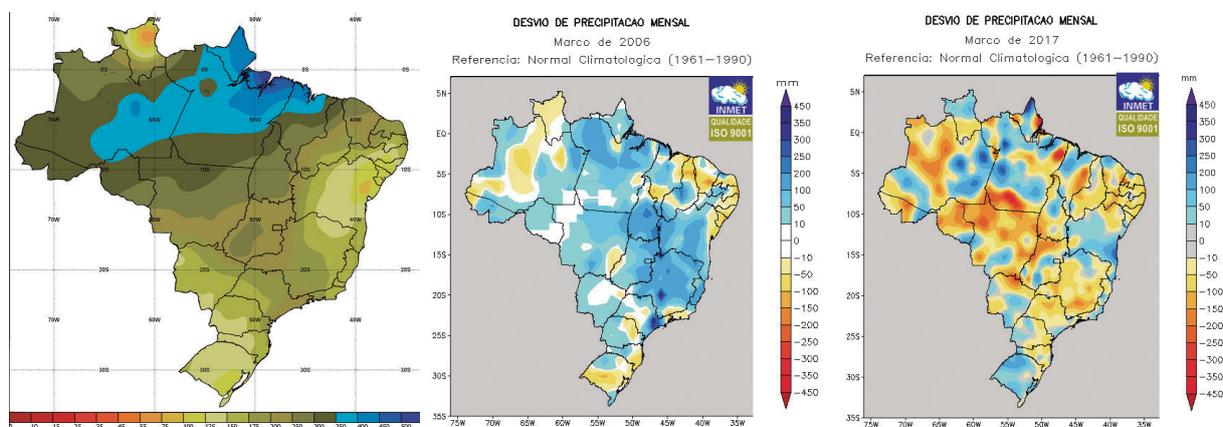


Figura 3 – Normal climatológica do acumulado mensal de precipitação (figura à esquerda) e anomalias mensais de precipitação nos anos de 2006 (figura ao centro) e 2017 (figura à direita) para o mês de março. Todos os valores encontram-se em mm/mês. Fonte: INMET

dos anos 2006 e 2017. A área 1 é delimitada pelas latitudes 15°S a 5°S e longitudes 65°W a 45°W, a área 2, pelas latitudes 25°S a 15°S e longitudes 60°W a 40°W e a

área 3, pelas latitudes 35°S a 25°S e longitudes 50°W a 35°W. O conjunto de gráficos da Figura 5 apresenta os valores das médias da precipitação nas áreas definidas na Figura 4.

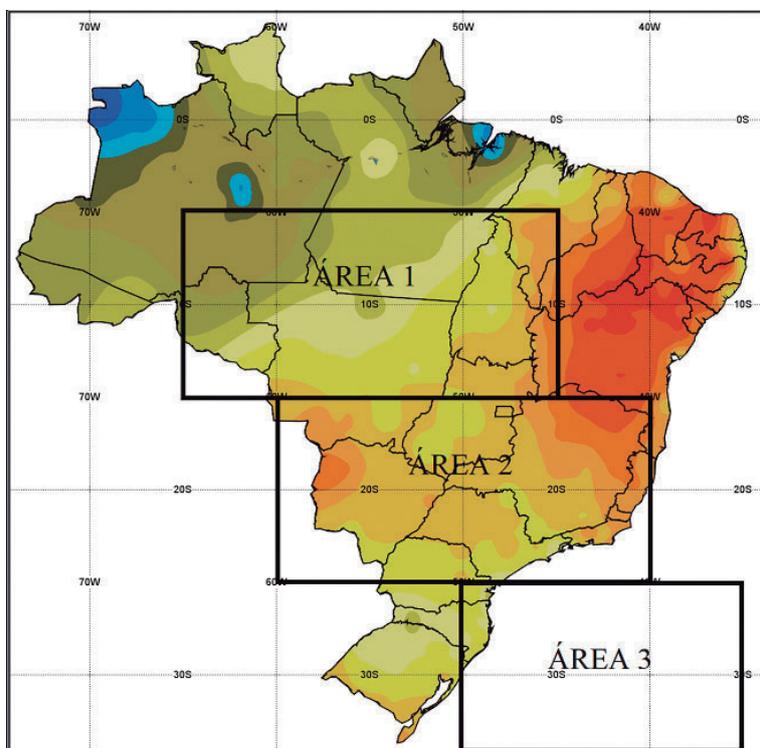


Figura 4: Áreas definidas para cálculo da precipitação média a partir dos dados das reanálises ERA-5/ECMWF. Fonte: INMET

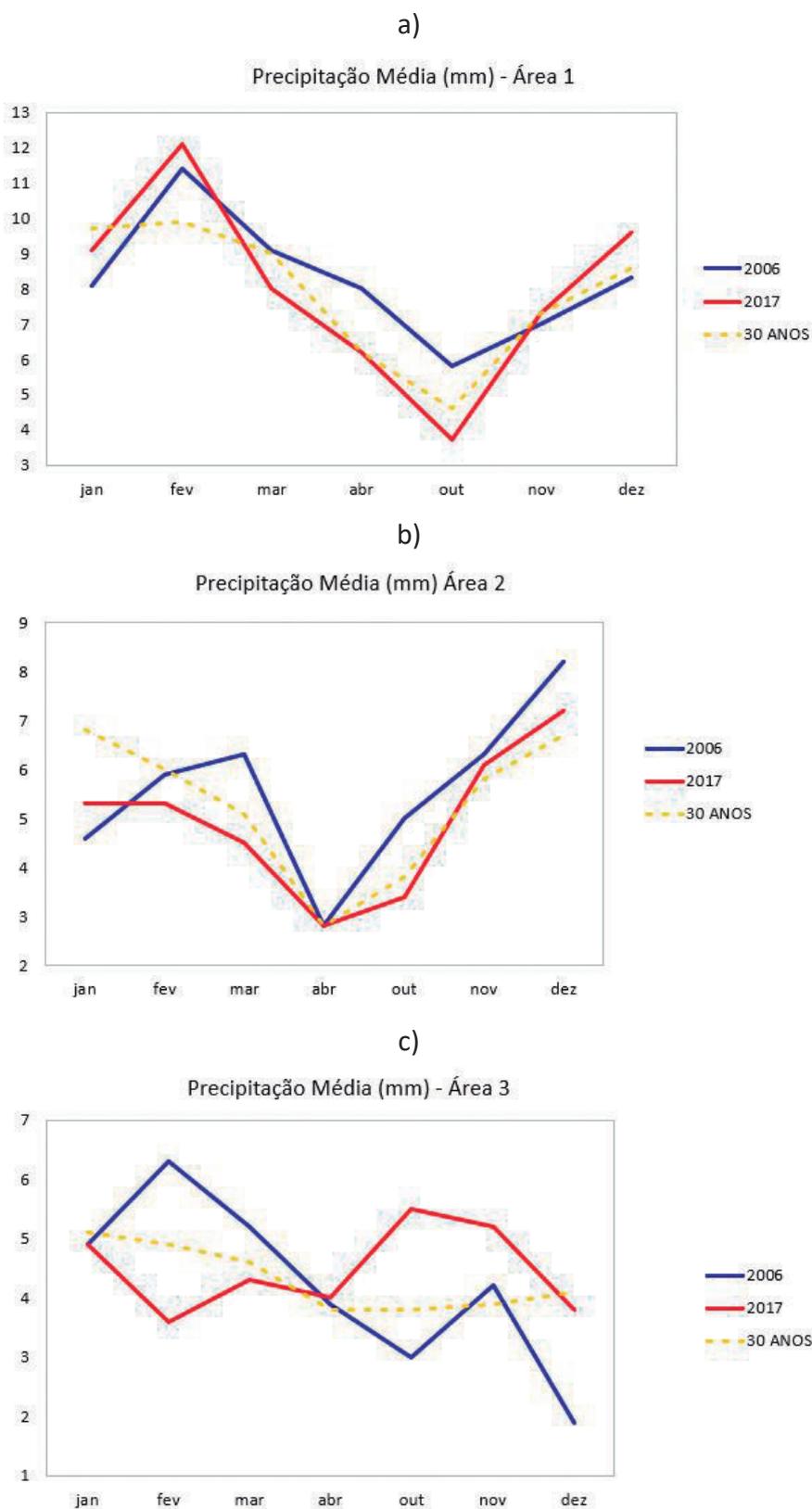


Figura 5: Precipitação média mensal para as áreas: 1 (a), 2 (b) e 3 (c), em mm. A linha tracejada amarela refere-se à média de 30 anos (1991-2020), a linha cheia azul ao ano de 2006, e a linha cheia vermelha ao ano de 2017. Fonte: ERA5



Na área continental norte (Figura 5-a), observa-se que a tendência de evolução da precipitação ao longo de todos os meses analisados, para os anos de 2006 e 2017, é semelhante à variação observada na média de 30 anos. O mês de fevereiro tem os maiores valores da média, e o mês de outubro, os menores em ambos os anos. De acordo com os boletins Climanálise e Infoclima do CPTEC, a ZCIT e as perturbações na alta troposfera foram os principais responsáveis pela precipitação acima da média em fevereiro. Quanto ao mês de outubro, é interessante observar que ele está entre os meses com a menor quantidade de dias com ocorrência de ZCAS (Tabela 1). Além disso, nos dois anos estudados, o mês de outubro registrou precipitação abaixo da média na região norte do Brasil com base nos boletins do CPTEC.

Observa-se na figura 5-b uma queda significativa da média de precipitação em abril e outubro na área 2 (continental centro-sul), correspondente aos meses de início e término da estação seca, típica desta região, respectivamente. No ano de 2017, os valores ficaram abaixo da média de 30 anos entre janeiro e março, e dentro da média em abril, outubro, novembro e dezembro. Já em 2006, na maior parte dos meses, os valores superam a média de 30 anos. A principal exceção é o mês de janeiro, com metade da média. Vale ressaltar que janeiro de 2006 foi o segundo em quantidade de dias com ZCAS neste ano. Nos boletins climatológicos do CPTEC, as regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil tiveram chuva abaixo da média no período em questão, e os principais acumulados foram associados aos episódios de ZCAS.

Por fim, observa-se na área oceânica (Figura 5-c) que a média de 30 anos tem

pouca variação ao longo dos meses estudados, mas com uma leve tendência de queda nos meses do último trimestre anual. Já as médias dos anos estudados apresentam um comportamento interessante. Em 2006, a precipitação apresenta valores acima da média de 30 anos no primeiro trimestre e abaixo da média de 30 anos no último trimestre. Em 2017, o comportamento da precipitação é o oposto. Analisando o total de dias com episódios de ZCAS (Tabela 1), o total mensal de ciclones (Tabela 2) e a duração dos ciclones (Tabela 3), não houve diferença significativa entre 2006 e 2017 ao longo do primeiro e do último trimestre que explique a média da precipitação. Também foi verificado que no ano de 2006, devido à condição de La Niña no primeiro trimestre e El Niño no último, esperava-se que a estação seca fosse o contrário do observado. Os baixos valores do índice ONI⁴ para os trimestres citados foi uma provável razão para a pequena influência dos eventos de El Niño e La Niña.

5.2 ZCAS e ciclones no Atlântico Sul

Para organizar os dados da associação entre ZCAS e ciclones, foi criada a Tabela 2. Nesta tabela constam os totais mensais e anuais de ocorrências de ciclones associados ou não a eventos de ZCAS, para a área já definida na Figura 2 e apresentada na seção anterior.

Os dados utilizados para a elaboração da tabela foram obtidos a partir das cartas sinóticas do CHM (ciclones) e dos dados do Boletim Climanálise (ZCAS) correspondente ao período do estudo. A metodologia completa foi descrita na seção anterior.

⁴Em inglês ONI (Oceanic Niño Index): indica a variação da temperatura média de três em três meses, em graus celsius, das águas do Oceano Pacífico em relação à média dos últimos 30 anos. Para variações entre $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, é considerada a configuração neutra do sistema ENSO, com variações positivas acima de 0.5°C , é considerada a ocorrência do El Niño e, para variações negativas abaixo de -0.5°C , é considerada a ocorrência da La Niña. Fonte: NWS / NOAA.



Tabela 2: Contabilização de ciclones em área específica do Atlântico Sul e de ciclones associados com episódios de ZCAS, nos anos de 2006 e 2017.

		JAN	FEV	MAR	ABR	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2006	Ciclones	4	6	4	6	4	5	4	33
	ZCAS + Ciclones	2	1	2	0	1	2	4	12
2017	Ciclones	1	1	5	4	2	1	4	18
	ZCAS + Ciclones	1	0	1	0	0	1	3	6

Fonte: Cartas Sinóticas do CHM/Boletins Climanálise

A partir da Tabela 2, obteve-se o percentual de ocorrências de ciclones associados com eventos de ZCAS, sendo 36,4% para o ano de 2006 e 33,3% para o ano de 2017. No estudo de Silva *et al.* (2019), usado aqui como climatologia de base, calculou-se que cerca de 30% do total de ciclones estavam associados a episódios de ZCAS. Ou

seja, neste trabalho, o total de associações ZCAS-ciclones foi ligeiramente superior à climatologia.

Prosseguindo às análises, foi realizada a organização dos ciclones de acordo com o tempo médio de vida. Na Tabela 3, são apresentados estes tempos de vida para cada mês dos anos selecionados.

Tabela 3: Tempo de vida dos ciclones, por mês, nos anos de 2006 e 2017.

	Tempo de Vida Aproximado	Número de Ciclones		Total	
		2006	2017	2006	2017
JAN	24 h	2	0	4	1
	36 h	1	0		
	≥ 48 h	1	1		
FEV	24 h	1	0	6	1
	36 h	0	1		
	≥ 48 h	5	0		
MAR	24 h	1	3	4	5
	36 h	1	1		
	≥ 48 h	2	1		
ABR	24 h	1	0	6	4
	36 h	1	1		
	≥ 48 h	4	2		
OUT	24 h	0	1	4	2
	36 h	0	1		
	≥ 48 h	4	0		
NOV	24 h	0	1	5	1
	36 h	1	0		
	≥ 48 h	4	0		
DEZ	24 h	2	1	4	4
	36 h	0	1		
	≥ 48 h	2	2		

Fonte: Cartas Sinóticas do CHM



Utilizando as Tabelas 2 e 3, foi avaliada a relação entre a quantidade de ciclones associados à ZCAS e o prolongamento de seu tempo de vida. Em 2006, os meses de fevereiro, abril, outubro e novembro, tiveram o maior número de ciclones com duração maior ou igual a 48 horas. Em 2017, apenas abril e dezembro tiveram ciclones com mais de 48 horas de vida. Também foi observado que, em 2006, todos os meses analisados tiveram algum ciclone com mais de 48 horas de duração, totalizando 57%. Em 2017, além do total de ciclones contabilizados ser pouco mais da metade de 2006, ainda tiveram um ciclo de vida mais curto, com apenas 33,3% dos ciclones tendo mais de 48 horas de vida. Ou seja, o ano de 2017 apresentou menos ciclones e menor tempo médio de atuação da ZCAS que 2006.

Os meses de abril e outubro de 2006 são meses com grande quantidade de ciclones duradouros (tempo de vida igual ou maior que 48 horas). Entretanto, são os que apresentam menor número de dias de vida dos episódios de ZCAS (Tabela 1) em comparação com os outros meses daquele ano. Por isso, são os meses que possuem a menor quantidade de ciclones associados à ZCAS, conforme visto na Tabela 2.

O mês de dezembro de ambos os anos é o de maior associação de ZCAS e ciclones (Tabela 2). Inclusive, todos os ciclones de dezembro de 2006 estiveram associados a episódios de ZCAS. E, em 2017, apenas um dos ciclones de dezembro não estava associado à ZCAS. Conforme já foi comentado, nos meses de janeiro e dezembro de ambos os anos, observou-se a maior quantidade de dias com eventos de ZCAS (Tabela 1). Porém, em 2006, estes meses não são os que apresentam maior quantidade de ciclones duradouros (Tabela 3). Entretanto, um dos ciclones de maior duração, em dezembro de 2017 (Tabela 3), ocorreu durante o período mais longo de ZCAS registrado no mês.

Outro aspecto relevante é que houve uma diferença significativa do total de ciclones com duração maior ou igual a 48 horas entre os dois anos analisados (Tabela 3). Foram contabilizados 22 e 6 ciclones desse tipo para os anos de 2006 e 2017, respectivamente. Mas a maioria deles ocorreu sem associação com eventos de ZCAS.

Apesar de não ser possível relacionar o aumento do tempo de vida dos ciclones com sua associação à ZCAS a partir dos dados aqui compilados, constatou-se que os episódios mais longos observados em janeiro e dezembro tiveram algum ciclone com mais de 48 horas associado. Ou seja, mais eventos de ZCAS não implicam diretamente em mais ciclones. Por exemplo, o ano de 2006 possui mais que o triplo de ciclones duradouros que o ano de 2017, porém o último possui mais ocorrências de ZCAS.

Entretanto, os episódios de ZCAS com duração maior que dez dias nos anos estudados, tiveram ao menos um ciclone associado com mais de 48 horas de vida. Então, é possível que ZCAS mais longas propiciem um ambiente favorável à formação/manutenção de ciclones em seu ramo oceânico.

5.3 ZCAS, ciclones e padrões atmosféricos de vento em altitude e em baixos níveis

Entre as características que definem a ZCAS está o fornecimento de umidade para o sistema por meio do JBN. Estes ventos ocorrem na camada de 850 hPa da atmosfera e promovem o transporte de umidade do Atlântico Tropical e Região Amazônica para o centro-sul da América do Sul. O JBN também pode auxiliar a formação de ciclones e o aumento da precipitação no sudeste e sul do Brasil.

Adicionalmente, a existência da Alta da Bolívia e do Cavado do Nordeste na circulação de ventos sobre a América do Sul no nível de 200 hPa também é fator



característico de eventos de ZCAS, segundo Silva *et al.* (2019). Como dito anteriormente, a associação destes sistemas meteorológicos possibilita a divergência em altitude que, aliada à disponibilidade de umidade através do JBN, produz um ambiente favorável à formação de ciclones.

Ademais, dados das médias mensais de linhas de corrente em 850 hPa e 200 hPa foram cruzados com as informações condensadas nas Tabelas 1, 2 e 3, buscando obter algum tipo de relação entre os padrões de circulação com a precipitação associada à ZCAS e à formação de ciclones.

Nesta análise, observou-se que, na maioria dos casos, o posicionamento e intensidade do escoamento médio em 850 hPa influenciou a precipitação da região Centro-Sul, representada pela Área 2 na Figura 5b, apresentada anteriormente. Quando o eixo do escoamento apresenta orientação noroeste-sudeste bem definida (figuras não mostradas), a média da precipitação tende a aumentar, conforme observado de janeiro a março e de outubro a dezembro em 2006. No ano de 2017, esta relação foi observada entre outubro e dezembro. No entanto, quando o eixo do escoamento apresenta orientação norte-sul (figuras não mostradas), a tendência é de redução da precipitação na Área 2. Do mesmo modo, se não ocorrem variações significativas na configuração das linhas de corrente entre os anos, a precipitação é semelhante.

Na Figura 6, são mostradas as linhas de corrente de 850 hPa e 200 hPa para o mês de dezembro. Este mês foi escolhido

por ter apresentado maior associação entre eventos de ZCAS e ciclones.

Neste mês, não houve diferença significativa nas configurações de linhas de corrente médias em 850 hPa, entre 2006 (Figura 6-a) e 2017 (Figura 6-b). Entretanto, pode-se observar uma intensificação no ano de 2006 a oeste das regiões Norte e Centro-Oeste do Brasil, próximo à fronteira. Outra ligeira diferença é a presença de uma circulação anti-horária ao sul do Rio Grande do Sul no ano de 2017 (Figura 6-b).

Neste estudo, os máximos de intensidade média do fluxo meridional em 850 hPa localizados a oeste do domínio foram associados a persistência da configuração do JBN ao longo mês. Portanto, foi possível observar na Figura 6-a que a configuração média do escoamento associado ao JBN mostrou eixo com orientação noroeste-sudeste (seta vermelha), transportando umidade do norte da América do Sul para a área de estudo, no centro-sul e costa sul-sudeste.

A combinação da orientação do fluxo médio associado ao JBN (Figuras 6-a e 6-b) com a divergência em altitude, devido à Alta da Bolívia e ao Cavado do Nordeste (Figuras 6-c e 6-d), criou o ambiente propício ao transporte de umidade do norte da América do Sul para o centro-sul do Brasil e oceano adjacente, o que favorece a ocorrência de ciclones. Já a presença dos ciclones auxilia a intensificação do JBN. Esta combinação produz o mecanismo de retroalimentação citado por Campetella e Vera (2002), que ajuda na manutenção da ZCAS. Não por acaso, a maior quantidade de dias com episódios de ZCAS foram observados em dezembro nos dois anos estudados.

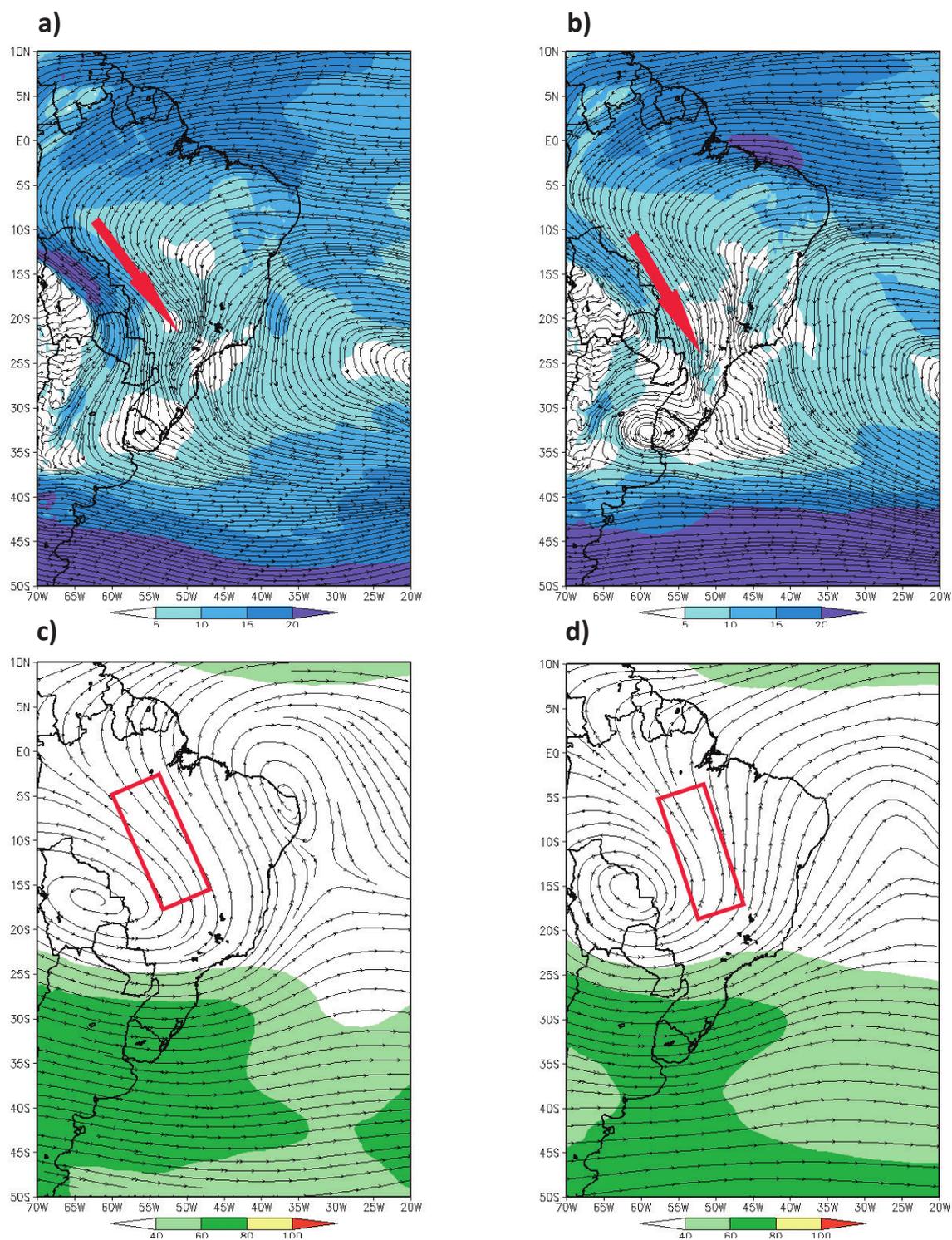


Figura 6: Linhas de corrente e magnitude do vento (nós), para o mês de dezembro, em 850 hPa no ano de 2006 (a) e 2017 (b) e em 200 hPa no ano de 2006 (c) e 2017 (d). A seta vermelha nas figuras indica o sentido do escoamento médio associado ao JBN e o retângulo vermelho nas figuras inferiores indica a região de difluência em altitude associada à circulação da Alta da Bolívia e do Cavado do Nordeste. Fonte: ERAS



6. CONCLUSÕES

O estudo realizado ajudou a compilar informações relevantes a respeito da associação chuva-ZCAS-ciclones no centro-sul do Brasil e que podem contribuir para uma maior compreensão e para a previsão dos eventos meteorológicos analisados.

Com base nas análises realizadas, foi observado que os meses com menores valores absolutos de associações entre eventos de ZCAS e ciclones, nos dois anos estudados, foram os meses de abril e outubro. Além disso, dezembro foi o mês com maior ocorrência de ciclones em ambos os anos. Este mês é também o que possui a maior quantidade relativa de ciclones que ocorrem em dias de ZCAS, quando cerca de 87% estavam associados à ZCAS.

Outro aspecto observado na análise do desenvolvimento dos ciclones foi que a associação destes com eventos de ZCAS não

resultou em um tempo de vida maior para os ciclones. Informações mais específicas dos mecanismos de formação e evolução dos ciclones associados às ZCAS são necessárias para estabelecer relações sobre a durabilidade de seu ciclo de vida. Porém, eventos de ZCAS com persistência superior a 10 dias parecem mais propensos a ter um ciclone associado em seu ramo oceânico.

Por fim, concluiu-se que, na maioria dos meses analisados, o posicionamento e a intensidade do escoamento de baixos níveis influenciaram a precipitação da região Centro-Sul. A precipitação na região Centro-Sul do país é maior quando a orientação do eixo do escoamento de baixos níveis se mostrou noroeste-sudeste. Este fato se mostra relevante para proporcionar subsídios de auxílios à navegação em caso de navios que operam em águas fluviais, pois auxiliam na definição do aumento da vazão de rios em associação com os períodos chuvosos típicos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, Marinha do. Diretoria de Hidrografia e Navegação, 2021. Cartas sinóticas do CHM. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/chm/dados-dosmm-cartas-sinoticas/cartas-sinoticas>>. Acesso em: 31 mai, 2021.

CAMPETELLA, C. M.; VERA, C. S. The influence of the Andes mountains on the South American low-level flow. *Geophysical Research Letters*, v. 29, 2002.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research (Print)*, v.118, p. 27-40, 2012.

CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática INPE/CPTEC. Número especial. CPTEC-INPE, 125p., 1986. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf01/out01.pdf>>. Acesso em: 17 mai, 2021.

DOTY, B.E. and J.L. KINTER III, Visualization Techniques in Space and Atmospheric Sciences. 1995. *Geophysical Data Analysis and Visualization using GrADS*. eds. E.P. Szuszcwicz and J.H. Bredekamp, NASA, Washington, D.C., 209-219.



ECMWF, C. C. S. ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis=er5a-single-levels?tab-form>>. Acesso em: 29 mar. 2022.

ESCOBAR G. Zona De Convergência Do Atlântico Sul (ZACS): Critério De Detecção Para Uso Em Centros Operacionais De Previsão De Tempo 2019. Disponível em:< <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.07.12.08?metadatarpository=sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.07.12.08.32&ibiurl.backgroundlanguage=pt&ibiurl.requiredsite=mtc-m21c.sid.inpe.br+806&requiredmirror=urllib.net/www/2017/11.22.19.04.03&searchsite=bibdigital.sid.inpe.br:80&searchmirror=sid.inpe.br/bibdigital@80/2006/11.11.23.17&choice=briefTitle-AuthorMisc>>. Acesso em: 02 nov, 2021.

ESCOBAR, G. C. J., MATOSO, V. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): Definição prática segundo uma visão operacional. In: XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Maceió. Anais do XX Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2018.

FIGUEROA, S. N., SATYAMURTY, P. & SILVA DIAS, P. L. Simulations of the Summer Circulation over the South American Region with an Eta Coordinate Model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, v. 52, nº10, p. 1573-1584, 1995.

GOZZO, L. F.; ROCHA, R. P.; GIMENO L.; DRUMOND, A. Climatology and numerical case study of moisture sources associated with subtropical cyclogenesis over the southwestern Atlantic Ocean. *J. Geophys Res-Atmos.* v. 122, p.5636-5653, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normais Climatológicas (1961/1990). Brasília - DF, 1992. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas/19611990/precipitacao_acumulada_mensal_anual>. Último acesso em: 2 jun, 2021.

INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Cartas de Superfície. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/cartas.php?tipo=Superficie>> Acesso em 02 jun. 2021.

KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ) part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *J. Meteorol. Soc. Japan* 70, 813–836, 1992.

MARENGO J.A., LIEBERMANN B., GRIMM, A.M., MISRA V., SILVA DIAS P.L., CAVALCANTI I. F. A., CARVALHO L. M. V., BERBERY H., AMBRIZZI T., VERA C.S., SAULO, A.C., NOGUES PAEGLE J., ZIPSER E., SETH A., ALVES L. M. Recent Developments on the South American monsoon System; Wiley; *Int. Journal of Climatology*, 32:1-21, 2010.

MARENGO J.A. & SOARES W.R. Episódios de Jatos de Baixos Níveis ao Leste dos Andes durante 13-19 de abril de 1999. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 17(1): 35–52, 2002.



MARINHA DO BRASIL. Normas da Autoridade Marítima para as Atividades de Meteorologia Marítima – NORMAM 19. 1ª Rev. 2018. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dhn/sites/www.marinha.mil.br.dhn/files/normam/NORMAN-19-REV-1--Ed2018-CHM.pdf>>. Acesso em: 30 de junho de 2021.

MURRAY, R.J.; SIMMONDS, I.: A numerical scheme for tracking cyclone centres from digital data. Part I: Development and operation of the scheme. Australian Meteorological Magazine, v. 39, p. 155-166, 1991.

NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. Tropical Cyclone Climatology. Disponível em: <<https://www.nhc.noaa.gov/climo/>>. Acesso em: 21 set. 2021.

REBOITA, M. S., GAN, M. A., DA ROCHA, R. P., AMBRIZZI, T. Regimes de Precipitação na América do Sul: Uma Revisão Bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia 25, 185-204, 2010.

REBOITA, M.S., ROCHA, R.P., OLIVEIRA, D.M. Key Features and Adverse Weather of the Named Subtropical Cyclones over the Southwestern South Atlantic Ocean, Atmosphere Journal, 2018. doi:10.3390/atmos10010006.

REBOITA, M. S., KRUSCHE, N., AMBRIZZI, T. e DA ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. Revista Terra & Didática, v.8, n.1, p-34-50, 2012. Disponível em:<<https://www.ige.uni camp.br/terraedidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf>> Acesso em: 16 mai. 2021.

DA ROCHA, F. P.; ARAVEQUIA, J. A.; RIBEIRO, B. Z. Estudo de Ciclones e de Padrões de Circulação Atmosférica no Oceano Atlântico Sul Próximo à Costa das Regiões Sul e Sudeste do Brasil Usando Dados da Reanálise do Era-Interim. Rev. Bras. Meteorol., São Paulo, v. 31, n. 2, p. 141-156, jun. 2016. Disponível em: <<http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/04.14.21.33/doc/publicacao.pdf?metadataarepository=&mirror=iconet.com.br/banon/2006/11.26.21.31>>. Acesso em: 02 nov, 2021.

SATYAMURTY, P., ROSA, M. B. Synoptic climatology of tropical and subtropical South America and adjoining seas as inferred from geostationary operational environmental satellite imagery. Int. J. Climatol. 40, 378–399, 2019. doi: 10.1002/joc.6217.

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 25, 355-377, 2019.