



Variabilidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul em relação a eventos ENOS de 2000 a 2021

South Atlantic Convergence Zone variability in relation to ENSO events from 2000 to 2021

Ian Verdan* , Maria Elisa Siqueira Silva 

Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH),
Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

E-mail: elisasiq@usp.br

*E-mail para correspondência: ianverdan2@gmail.com

Recebido (Received): 03/12/2021

Aceito (Accepted): 09/08/2022

Resumo: A Zona de Convergência do Atlântico Sul, ZCAS, se estabelece sobre a faixa noroeste-sudeste da América do Sul, no verão, e contribui para grande parte da precipitação observada na região, sendo influenciada por padrões de teleconexão e variações da temperatura da superfície do oceano Pacífico. O objetivo deste estudo foi analisar a associação entre a ZCAS e o Índice Niño Oceânico, ONI, entre 2000 e 2021, com base nos dados da reanálise cinco do ECMWF, ERA-5. A identificação da ZCAS foi realizada com base nos dados diários de radiação de onda longa, água precipitável e circulação atmosférica. Os dados de ONI foram correlacionados à ocorrência mensal de ZCAS através dos coeficientes de correlação linear e de contingência. Os resultados apontam para a maior (menor) frequência de ZCAS na fase negativa (positiva) do ONI, indicando 42 eventos de ZCAS durante eventos de La Niña e 24 eventos de ZCAS durante períodos de El Niño. Embora o coeficiente de correlação linear calculado entre o número de ZCAS e ONI seja baixo para o período considerado ($r = -0,20$, $p < 0,10$), o coeficiente de contingência apresentou associação moderada, com valor igual a $-0,46$.

Palavras-chave: Zona de Convergência do Atlântico Sul; ONI; Variabilidade Climática; ERA-5.

Abstract: The South Atlantic Convergence Zone, SACZ, is established over the northwest-southeast strip of South America, in the austral summer, and contributes to a large part of the precipitation observed in the region, being influenced by teleconnection patterns and variations in the surface temperature of the Pacific Ocean. The aim of this study was to analyze the association between SACZ and the Oceanic Niño Index, ONI, between 2000 and 2021, based on data from ECMWF reanalysis five, ERA-5. SACZ identification was performed based on daily data on longwave radiation, precipitable water and atmospheric circulation. ONI data were correlated to the monthly occurrence of SACZ through linear and contingency correlation coefficients. The results point to the highest (lower) frequency of SACZ in the negative (positive) phase of ONI, indicating 42 SACZ events during La Niña events and 24 SACZ events during El Niño periods. Although the linear correlation coefficient between the number of ZCAS and ONI is low for the period considered ($r = -0.20$, $p < 0.10$), the contingency coefficient showed a moderate association, with a value equal to -0.46 .

Keywords: South Atlantic Convergence Zone; ONI; Climate Variability; ERA-5.

1. Introdução

O sistema climático da Terra é alimentado pela radiação solar, seja ela emitida diretamente pelo Sol, em forma de radiação de onda curta, ou emitida pela superfície terrestre, como ondas longas. Assim sendo, pequenas alterações no balanço radiativo, como a absorção de calor por moléculas de carbono, por exemplo, funcionam como forçantes para o surgimento de mudanças climáticas (IPCC, 2021). Desde a década de 1980, as evidências científicas acerca da possibilidade de haver mudanças no clima global por efeito antrópico estão cada vez mais presentes no nosso cotidiano (MARENGO, 2001). O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabeleceram

em 1988 o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), solidificando os esforços para avaliar o conhecimento científico sobre o tema, determinando as associações entre a variabilidade climática e as atividades humanas e buscando elaborar distintos cenários para o século XXI. Com base no IPCC (2021), há projeção de aumento da temperatura média da superfície global entre 2,0 °C e 4,5 °C, com estimativa média de 3 °C até o final do século XXI em relação ao período de 1980 a 1999, variando de acordo com as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera.

Em relação à mudança climática global, no quinto relatório do IPCC afirma-se que o planeta aquecerá pelo menos 1,5 °C até o final do século XXI, com base em todos os cenários elaborados. Tem-se verificado também aquecimento dos oceanos, inclusive do oceano Pacífico, em particular, nas áreas tropicais. O aumento da temperatura dos oceanos é uma questão preocupante devido à sua maior capacidade térmica e à sua associação com a variabilidade climática. Os resultados de Silva *et al.* (2020) mostram a tendência de aumento de fenômenos oceânicos de mais baixa frequência no período de 1900 a 2014, indicando a prevalência de climas mais estáveis no decorrer do tempo. Tais constatações, sendo persistidas em períodos futuros, devem impactar mais fortemente os componentes climáticos que dependem diretamente da precipitação na América do Sul, como os recursos hídricos e a biodiversidade, influenciando também diretamente a atividade agropecuária e o abastecimento de energia hidrelétrica.

Os eventos extremos, como secas, enchentes, ondas de calor e de frio, furacões e tempestades, têm sido mais frequentes ou mais intensos no decorrer do tempo, produzindo enormes perdas econômicas e de vidas em várias partes do planeta (EMANUEL, 2005; MARENGO *et al.*, 2015). No Brasil, como exemplos de eventos extremos recentes, pode-se mencionar a ocorrência do furacão Catarina em março de 2004, a seca da Amazônia em 2005, e as secas na região sudeste do país em 2014 e 2015 (VALVERDE, 2007; MARENGO *et al.*, 2015). Acredita-se que tais eventos não estejam associados apenas à variabilidade natural do clima, mas também ao aquecimento global (VALVERDE, 2007). Fenômenos de seca como os mencionados podem ser resultantes do acoplamento entre o oceano e a atmosfera. Quando a energia dos oceanos é suficientemente intensa, como no caso de eventos El Niño–Oscilação Sul (ENOS), a transferência de energia para regiões remotas fica mais evidente, sendo identificada na perturbação da célula zonal de Walker e na propagação de ondas de grande escala para várias regiões do globo (PEZZA, AMBRIZZI, 2003), modificando as condições atmosféricas em regiões e trajetórias específicas, estabelecendo as teleconexões climáticas.

A seca ocorrida na região sudeste do Brasil entre 2014 e 2015 foi marcada pelo enfraquecimento da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (MARENGO *et al.*, 2015). Segundo Kodama (1992), a ZCAS caracteriza-se pela presença de uma banda persistente de nebulosidade localizada na América do Sul na direção noroeste-sudeste, estendendo-se desde a Amazônia até o oceano Atlântico Sul, influenciando os valores de precipitação desde o sul do estado do Amazonas até o Paraná, incluindo as regiões Centro-Oeste, Sudeste e o sul do Nordeste do Brasil. Grande parte do regime de chuvas na região Sudeste do Brasil é influenciada pela atuação da ZCAS no período da estação chuvosa (outubro-março) (COELHO *et al.*, 2016; MARENGO *et al.*, 2015), tendo sido observado apenas um evento de ZCAS no ano de 2014, implicando em uma redução significativa do impacto pluviométrico na região, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET.

Uma série de trabalhos evidencia a relação entre a precipitação da América do Sul e o eventos ENOS (CARVALHO *et al.*, 2002; CERÓN *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2020); outros sugerem traçar a conexão entre ZCAS e os padrões de temperatura da superfície do oceano Atlântico Sul (BOMBARDI *et al.*, 2014), obtendo como resultado mais (menos) eventos de ZCAS em decorrência de TSM mais elevada no Atlântico Norte (Sul) tropical. Em relação ao ENOS, Carvalho *et al.* (2004) identificaram mais ZCAS sobre o continente durante os períodos frios e neutros do ONI, entre 1979 e 2000, enquanto que Barreiro *et al.* (2002) reconheceram redução da precipitação nos eventos de ZCAS durante os períodos quentes do ENOS. Com base nestas considerações, o presente estudo tem por objetivo avaliar a associação entre a ocorrência de ZCAS no Brasil com eventos ENOS no período de janeiro a março, de 2000 a 2021.

Durante a ocorrência de um evento de ZCAS, as condições sinóticas mais comuns em superfície são a convergência do ar e um sistema frontal estacionário, ocupando principalmente áreas do oceano Atlântico, na altura da região Sudeste do Brasil (**Figura 1A**) (ESCOBAR, 2019). A circulação atmosférica típica associada a eventos de ZCAS indica a ocorrência de um padrão em altos níveis atmosféricos, incluindo a presença da Alta da Bolívia (AB) e do cavado no Nordeste do Brasil (**Figura 1B**). Em situações em que o cavado do Nordeste se fecha, o sistema é denominado de Vórtice Ciclônico de Altos Níveis no Nordeste (VCAN-NE) (ESCOBAR, 2019). Por se caracterizar como uma zona de convecção ativa e profunda, valores expressivos de precipitação estão associados à ocorrência de eventos de ZCAS, elevando a frequência e magnitude de eventos extremos de chuva. Os valores de radiação de onda longa emergente (ROL) são fundamentais para a

identificação desta banda de nebulosidade, uma vez que valores menores que 200 W m^{-2} indicam a presença de nuvens com forte desenvolvimento vertical, do tipo *Cumulonimbus* (CARVALHO *et al.*, 2002).

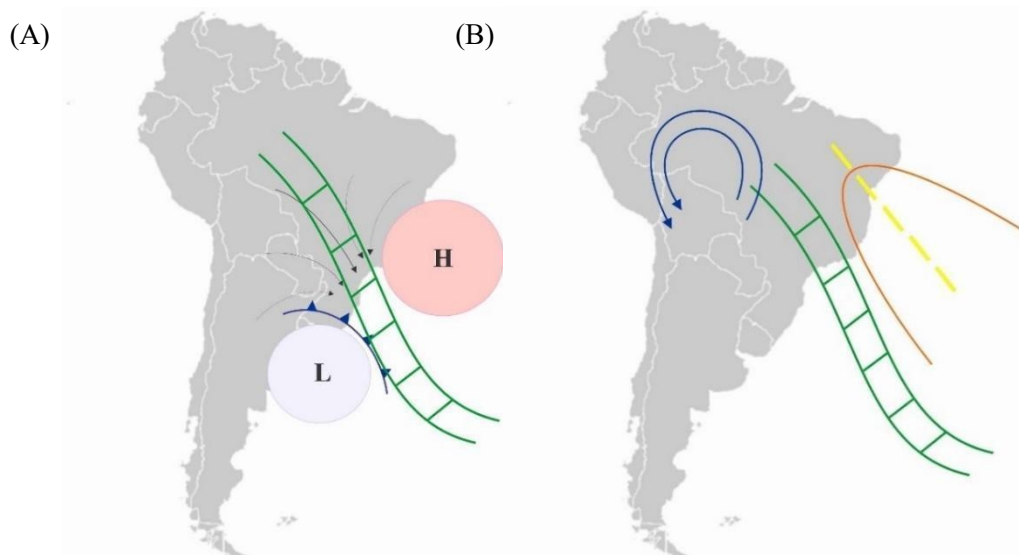


Figura 1: A) posição típica da ZCAS (verde), o sistema quase-estacionário (baixa pressão, L) e frente fria em superfície, linha azul com triângulos) e a convergência de ventos de baixos níveis (setas em preto); B) configuração típica da circulação em altos níveis, circulação anticiclônica da Alta da Bolívia (linhas azuis) e o cavado do Nordeste (linhas laranja e amarela). Fonte: *Conceptual Models for Southern Hemisphere*, 2015.

Os episódios de ZCAS possuem uma gama variada de padrões sinóticos associados, sendo três os principais: o primeiro caracteriza-se pela presença do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) em superfície, adquirindo função de bloqueio atmosférico; o segundo, pela atuação de uma frente fria clássica em superfície, estendendo-se desde o oceano Atlântico Sul até o Mato Grosso do Sul, passando pelo Rio de Janeiro; por fim, o terceiro caracteriza-se pela aproximação de uma baixa pressão atmosférica que se desloca sobre o oceano Atlântico, favorecendo a intensificação dos ventos dos quadrantes norte e noroeste e contribuindo para o aumento da advecção de ar quente e úmido para sul (ESCOBAR, 2019).

Segundo estudos realizados entre 1989 e 2017, aproximadamente 60% dos episódios de ZCAS ocorreram entre os meses de janeiro e março (AMBRIZZI; FERRAZ, 2015; SILVA; REBOITA; ESCOBAR, 2019), meses em que a atividade convectiva local está mais ativa na região sudeste do Brasil. A variabilidade dos episódios de ZCAS depende de fatores externos, como a influência da temperatura da superfície dos oceanos em áreas próximas ou remotas, e de fatores internos, com as interações não-lineares inerentes à própria dinâmica atmosférica, apresentando variações desde a escala mensal até a decadal (ROSA, 2017). Oscilações de maior escala, como as interanuais (por exemplo, ENOS) e decadais, podem ter a influência dos fenômenos observados no oceano Pacífico, devido ao acoplamento oceano-atmosfera.

As trocas de energia entre oceano e atmosfera induzem o deslocamento e intensificação de células atmosféricas convectivas zonais (célula de Walker) na região equatorial e tropical, e, a propagação de ondas de Rossby entre o Pacífico equatorial e áreas de latitudes maiores (PEZZI *et al.*, 2005). Desta forma, a temperatura da superfície do mar influencia a circulação da atmosfera: regiões com maior TSM aquecem o ar sobrejacente induzindo a intensificação do movimento vertical ascendente, sendo o oposto observado em regiões de temperaturas mais baixas. Segundo Barreiro *et al.* (2002), entre 1950 e 1994, aproximadamente 60% da variabilidade da precipitação associada a eventos ZCAS foi explicada pela variabilidade da atmosfera local, enquanto que a TSM de áreas remotas se relacionou aos 40% restantes. Outros estudos apontam que eventos ZCAS se formam independentemente da TSM do Pacífico, estando as condições oceânicas associadas apenas à posição e à intensidade da ZCAS (CHAVES; SATYAMURTY, 2006).

O ENOS, constituído pela alternância temporal de eventos El Niño (EN), La Niña (LN) e fases neutras, é um fenômeno que ocorre no Oceano Pacífico Equatorial, com o aumento da temperatura das águas oceânicas, durante eventos EN, e a diminuição da temperatura, durante eventos LN. Os eventos ENOS podem ser tratados como uma oscilação contínua entre aquecimento e resfriamento das águas do Pacífico leste equatorial com fases de intensificação e enfraquecimento entre os períodos extremos (LIN; QIAN, 2019).

As alterações ocasionadas pela presença de um ou outro padrão oceânico no Pacífico Equatorial contribuem para a modificação da célula de Walker. A célula de Walker é uma célula tropical de circulação média zonal, sendo seus ramos ascendentes localizados comumente sobre a Amazônia, região tropical da África e Indonésia, e, os descendentes, sobre a Península Arábica e o centro do oceano Pacífico (BARRY; CHORLEY, 2013). Com a ocorrência de eventos EN, o ramo ascendente da célula de Walker se desloca para áreas de águas mais aquecidas no Pacífico equatorial central enquanto que ramos com anomalias de movimentos subsidentes ficam localizados sobre a região centro-norte da América do Sul, provocando, respectivamente, mais e menos convecção e precipitação nestas duas regiões. A ocorrência de eventos LN está associada, em geral, a menos precipitação na costa do Equador e Peru, e, a mais precipitação no centro-norte da América do Sul (CUNHA, 1999).

2. Dados e métodos

Os eventos de ZCAS foram identificados segundo os critérios propostos por Escobar (2019), sendo que a AB e o VCAN-NE devem estar presentes na alta troposfera, assim como valores baixos de radiação de onda longa. Os dados de vento em 850 hPa foram considerados para se identificar as áreas de convergência associadas aos eventos de ZCAS. A convergência do ar é o fator responsável pela ascensão e condensação do vapor de água. Os dados diários de água precipitável foram também considerados na identificação da ZCAS. Os sistemas sinóticos devem persistir, no mínimo, por três dias consecutivos, para que o evento possa ser identificado como ZCAS (ESCOBAR, 2019). Para complementar a identificação, os dados de radiação de onda longa também foram analisados, buscando a identificação de grandes áreas convectivas na América do Sul (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2002).

Os dados diários referentes à água precipitável, vento e radiação de onda longa foram obtidos da quinta reanálise do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), ERA-5, no site <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/search?type=dataset>>, para os meses de janeiro, fevereiro e março, de 2000 a 2021. Os campos destas variáveis, elaborados com o auxílio do *software Grid Analysis and Display System* (Grads), foram analisados para cada dia de ocorrência de ZCAS.

A caracterização de eventos ENOS pode ser feita a partir da anomalia da TSM nas áreas de Nino1+2, Nino3, Nino3.4 localizadas no Pacífico Equatorial. Outros índices climáticos auxiliam na determinação de ocorrência de eventos ENOS. Neste estudo é usado o Índice Niño Oceânico (ONI) como indicador de ENOS, elaborado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>. A NOAA considera que as condições de El Niño estão presentes quando o ONI é igual ou maior que + 0,5, enquanto que as condições de La Niña são caracterizadas quando os valores são inferiores a - 0,5. Os períodos com valores entre - 0,5 e + 0,5 são classificados como normais ou neutros. Para a obtenção dos valores de ONI, a NOAA calcula a anomalia de TSM para três meses consecutivos frente aos últimos trinta anos de dados.

A associação entre variáveis climáticas é comumente estabelecida através dos cálculos do coeficiente de correlação linear de Pearson e de contingência. A associação entre os dados mensais de ONI e a ocorrência mensal de ZCAS é analisada neste estudo. O cálculo do coeficiente de correlação linear pode ser escrito como em Rodgers e Nicewander (1988):

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad \text{Eq. 1}$$

em que, r representa a correlação de Pearson, n o número de observações, x e y são as variáveis a serem associadas.

Visando o estudo de uma possível associação qualitativa entre as variáveis, foi adicionado o cálculo do coeficiente de contingência. Para tanto, foi necessário construir a tabela de contingência para o número de eventos ZCAS e em cada uma das classes de eventos ENOS. O coeficiente de contingência é calculado para a obtenção do grau de associação entre duas variáveis, refletindo a força e possivelmente a direção de uma dependência estatística de escala nominal. O coeficiente de contingência pode ser escrito, de acordo com LARSON e FARBER (2015), como:

$$C = \sqrt{\frac{k \cdot \chi^2}{(k-1) \cdot (n + \chi^2)}} \quad \text{Eq. 2}$$

em que, C representa o coeficiente de contingência, χ^2 consiste no qui-quadrado, a relação entre o resultado observado e o esperado, k é o menor valor entre as dimensões da tabela de contingência e n o número de observações. O qui-quadrado é obtido pela somatória da diferença entre os valores observados (O) e os esperados (E) (LARSON; FARBER, 2015), de acordo com a seguinte equação:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad \text{Eq. 3}$$

3. Resultados

A identificação de ZCAS nos meses de janeiro a março de 2000 a 2021 foi feita com base nos dados espacializados das variáveis atmosféricas ROL, água precipitável, vento em 850 hPa e 250 hPa, tal como descrito na seção anterior.

Nas **Figuras 2 e 3** são ilustradas as ocorrências de dois eventos de ZCAS nos dias 01- 02/01/2000 e 18-19/01/2021, com base nas variáveis ROL, água precipitável e vento. Em cada um dos eventos, os padrões atmosféricos apresentados nas **Figuras 2 e 3** persistiram por seis dias consecutivos. Nos mapas de ROL (Fig. 2), a isolinha de 200 W m^{-2} está destacada em azul, mostrando áreas com convecção profunda em tons de vermelho. A AB e o vórtice ciclônico do nordeste estiveram presentes em todos os dias nos dois eventos, condições necessárias para a identificação de evento ZCAS. No primeiro evento, de janeiro de 2000, o cavado do nordeste apresentou seu eixo alinhado meridionalmente e a AB apresentou seu centro sobre o norte do Chile. No evento de 2021 (quadros inferiores na **Figura 2**), o cavado do nordeste esteve fechado, com seu eixo alongado zonalmente sobre o Oceano Atlântico, atingindo a região Nordeste do Brasil. Neste caso, a AB esteve com centro sobre o oeste boliviano.

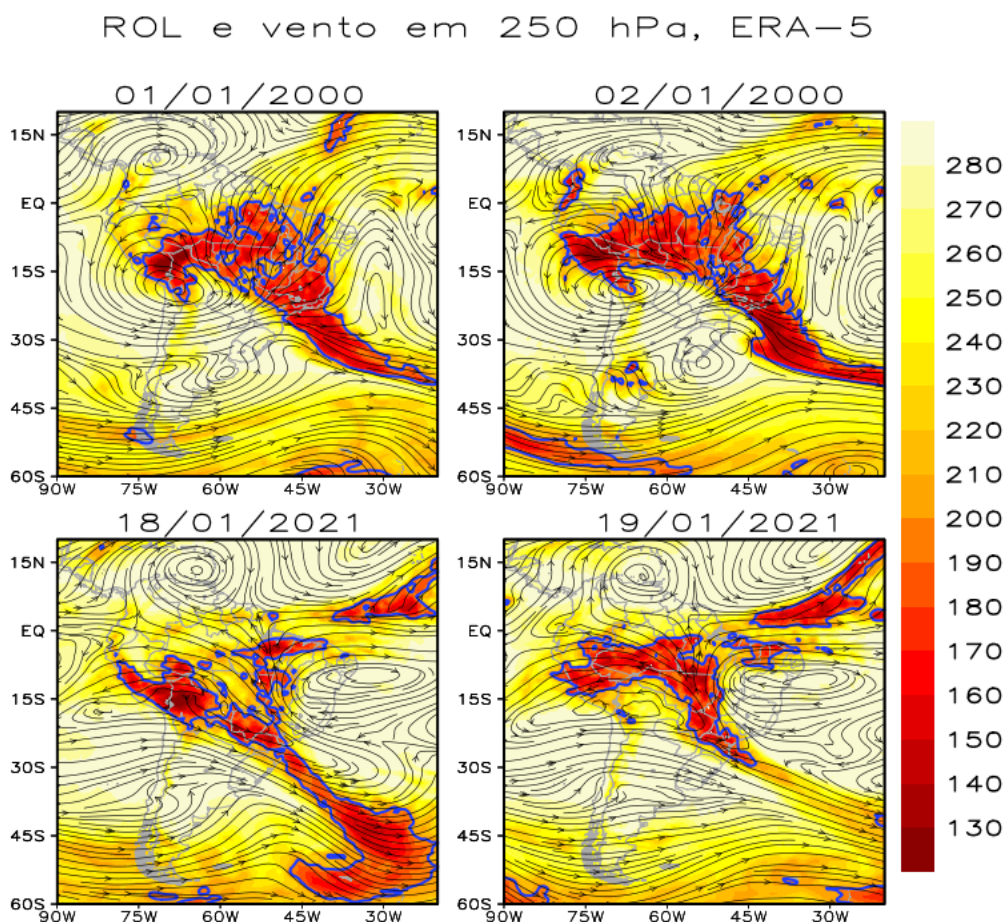


Figura 2: Identificação de ZCAS por meio do vento (m s^{-1}) (linha de corrente) em 250 hPa e da radiação de onda longa (W m^{-2}) para dois casos, em 01-02/01/2020 e em 18-19/01/2021. Valores menores do que 200 W m^{-2} estão indicados pelo sombreamento em vermelho, delimitado pela isolinha azul.

Água precipi. e vento em 850 hPa, ERA-5

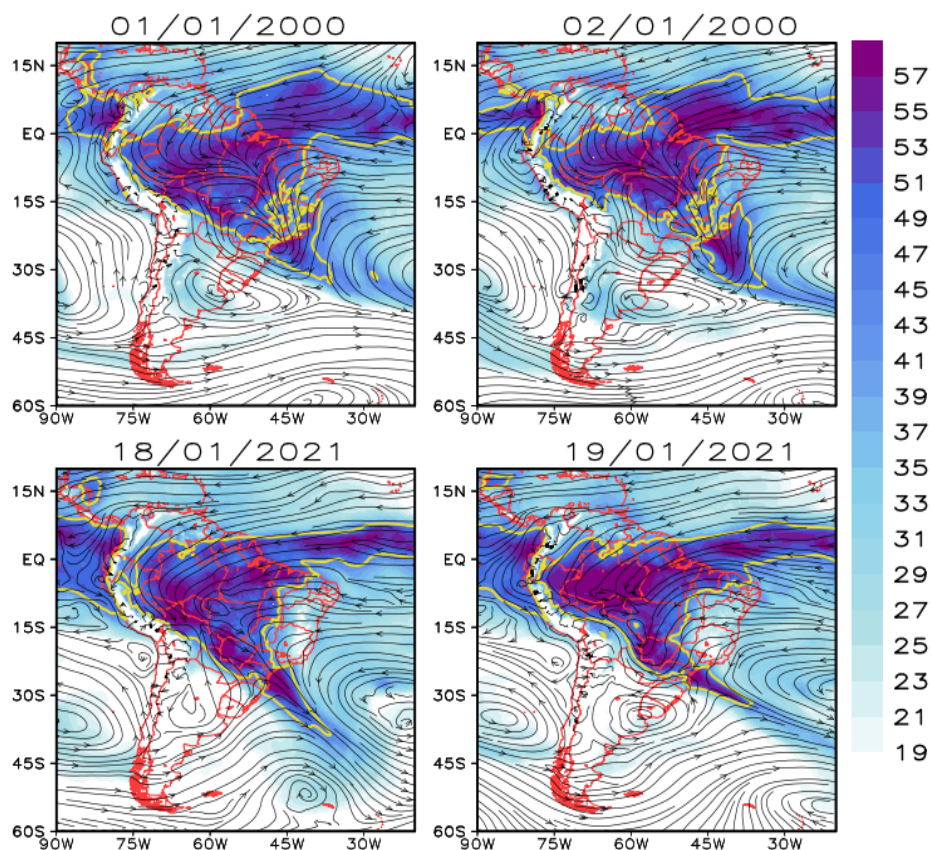


Figura 3: Identificação de ZCAS por meio do vento em 850 hPa (m s^{-1}) (linha de corrente) e água precipitável (kg m^{-2}). Valores superiores a 45 kg m^{-2} estão destacados pela isolinha amarela.

Na **Figura 3** está ilustrada a identificação de ZCAS com base na água precipitável e vento em baixos níveis nos dias 01-02/01/2000 e 18-19/01/2021. Os campos de água precipitável para os dois eventos mostrados na **Figura 2** mostram valores superiores a 45 kg m^{-2} na área delimitada pelas isolinha amarela, coincidindo com as áreas de valores baixos de ROL mostradas na **Figura 2**. Juntamente à água precipitável, a circulação atmosférica em baixos níveis (850 hPa) indica a confluência dos ventos na região da ZCAS. A convergência de ar úmido em baixos níveis na região da ZCAS significa o aumento da probabilidade de ocorrência de tempestades.

A caracterização de eventos de ZCAS baseada em Escobar (2019) e Carvalho (2002) permitiu a identificação de 86 eventos ocorridos em 465 dias distribuídos nos meses de verão, janeiro a março, de 2000 a 2021 (**Figura 4**). O ano com mais ocorrência de ZCAS foi 2008, com seis episódios nos meses de janeiro a março. Os anos de 2001, 2002, 2017 e 2019 apresentaram as menores ocorrências, sendo observados apenas dois episódios de ZCAS em cada um dos anos. Em 2008 e em 2020, foram observados 32 dias com episódios de ZCAS. Por outro lado, os anos de 2001 e 2017 apresentaram sete e oito dias com ZCAS, respectivamente.

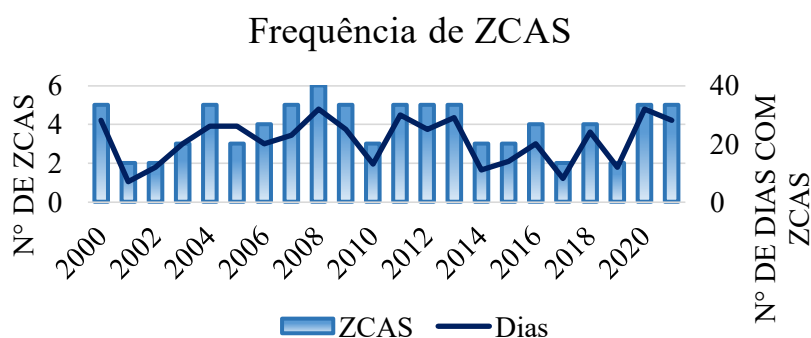


Figura 4: Frequência de episódios de ZCAS e número de dias com ZCAS nos meses de janeiro a março de 2000 a 2021.

O cálculo do coeficiente de correlação linear entre ONI, a frequência mensal de ZCAS e o número de dias com ZCAS indica associações negativas, com valores iguais a - 0,205 e - 0,170 (**Tabela 1, Figura 5 a, b**), respectivamente. A associação linear entre a ocorrência mensal de ZCAS, o número de dias com ZCAS com o ONI evidencia que eventos de ZCAS são mais presentes nas fases negativas do índice, períodos em que as anomalias de TSM na porção equatorial do Pacífico assumem valores inferiores a - 0,5, caracterizando eventos de La Niña. O coeficiente de correlação é significativo apenas para $p < 0,10$ e $p < 0,18$, respectivamente, para o número de ZCAS e o número de dias com ZCAS, uma vez que apresentam valores de t maiores que o valor obtido para o t crítico, considerando o total de 66 observações nos meses de janeiro, fevereiro e março, de 2000 a 2021.

Tabela 1: Resultados da correlação linear entre ONI, o número de ZCAS e o número de dias com ZCAS, nos meses de janeiro a março de 2000 a 2021.

	Nº de ZCAS	Nº de dias com ZCAS
r	-0,205	-0,170
t	1,676	1,377
t crítico	1,657 ($p < 0,10$)	1,348 ($p < 0,18$)
n	66	66

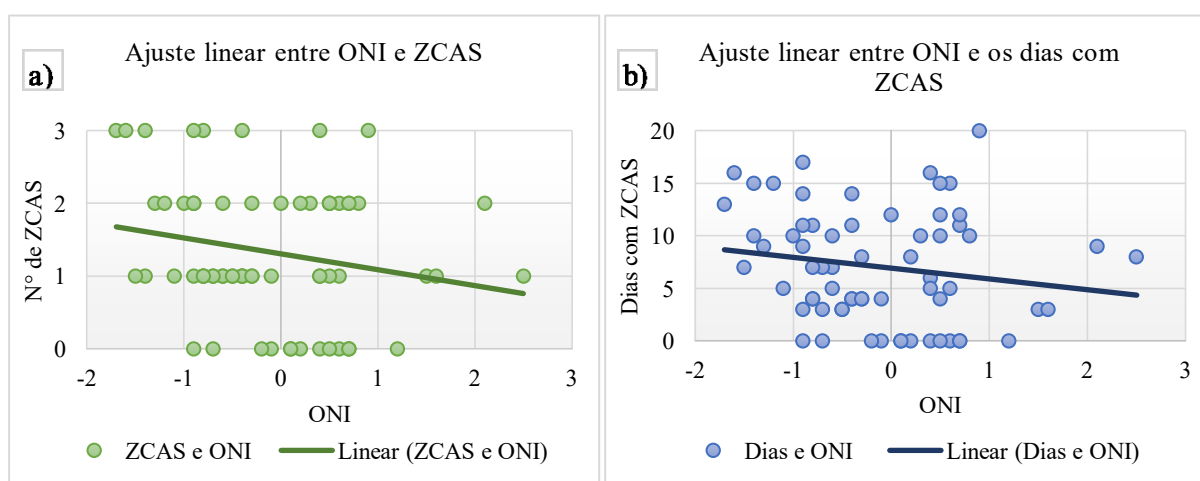


Figura 5: Diagrama de dispersão entre ONI e a ocorrência mensal de ZCAS. A figura da esquerda mostra a associação de ONI com o número de dias com ZCAS e a da direita, a associação de ONI com a frequência de ZCAS, para os meses de janeiro a março de 2000 a 2021.

Para o valor negativo de ONI igual a - 1,5, estima-se hipoteticamente, através da aplicação de regressão linear, a ocorrência média mensal de 1,63 ZCAS entre janeiro e março, estendendo-se, em média, por 8,45 dias, sendo este o cenário que resulta em eventos de ZCAS mais prolongados. Quando o ONI está em estágio de neutralidade, com valor igual a 0, estima-se a ocorrência mensal de 1,31 ZCAS, persistindo, em média, por 6,92 dias. Para valor positivo de ONI igual a + 1,5, estima-se a ocorrência média mensal de 0,98 ZCAS entre janeiro e março, com duração média de 5,38 dias cada.

Com base nos baixos valores de correlação linear entre ONI e a ocorrência de ZCAS e o número de dias com ZCAS, optou-se por calcular o coeficiente de contingência entre as variáveis consideradas. O teste de contingência mostra o grau de dependência (ou independência) entre as variáveis, que permite determinar se a ocorrência de uma afeta a ocorrência da outra. A tabela de contingência, vista na **Tabela 2**, mostra a segmentação da ocorrência de ZCAS em cada uma das fases do ONI, evidenciando a concentração de ocorrência de ZCAS nos períodos de La Niña o que é constatado pela maior presença de ZCAS durante períodos com ONI inferior a - 0,5 e à menor ocorrência de ZCAS em períodos com valores de ONI superiores a + 0,5. O coeficiente de contingência, considerando-se as três fases de ENOS (EN, LN e neutro), para o período de 2000 a 2021, foi de 0,46, indicando uma associação moderada entre ONI e a frequência de episódios de ZCAS.

Tabela 2: Tabela de contingência entre ONI e a ocorrência de ZCAS para os meses de janeiro a março de 2000 a 2021.

ONI	El Niño	La Niña	Neutro	Total
ZCAS (Sim)	24	42	22	88
ZCAS (Não)	5	2	6	13
Total	29	44	28	202

4. Conclusões

Neste artigo, buscou-se compreender as associações estatísticas entre os eventos ENOS e a ocorrência de ZCAS na América do Sul, para os meses de janeiro a março, entre 2000 e 2021. A partir da análise de contingência conclui-se que o Pacífico Equatorial pode apresentar papel modular físico para a ocorrência de eventos de ZCAS e para o número de dias com ZCAS. A fase negativa do ONI esteve associada à maior presença de ZCAS (42 eventos) enquanto que sua fase positiva esteve relacionada à menor presença de ZCAS (24 eventos). O coeficiente de contingência calculado para o período foi de 0,46, representando uma associação moderada entre a ocorrência de ZCAS e ONI. Ao mesmo tempo, é calculada correlação linear baixa, mas negativa, entre as duas variáveis. Este resultado corrobora o obtido por Cai (2020) que também obteve associação negativa entre ENOS e a frequência de precipitação, para o período de 1948 a 2016. Assim, tal como sugerem Barreiro *et al.* (2002) e Carvalho *et al.* (2002), a ocorrência de eventos ZCAS pode estar fisicamente associada à ocorrência de eventos ENOS.

Conclui-se, em consonância com Barreiro *et al.* (2002) e Carvalho *et al.* (2004), que em períodos de La Niña os eventos de ZCAS e de precipitação são mais frequentes sobre a América do Sul, em comparação com os resultados obtidos para os períodos quentes e neutros do ONI. A comparação dos resultados obtidos para o período de 2000 até 2021 em relação ao obtido para períodos anteriores permitir indicar a tendência de longo prazo da associação entre ZCAS e ENOS.

Os resultados apresentados neste estudo permitem concluir apenas que há uma associação matemática entre os dados mensais do índice ONI, a frequência mensal de ZCAS e o número de dias com eventos ocorridos na América do Sul, no período de 2000 a 2021, sem a definição da relação causa-efeito entre os fenômenos analisados, como padrões de circulação atmosférica, por exemplo. As anomalias da circulação em baixos e altos níveis atmosféricos para períodos específicos devem permitir identificar os padrões de teleconexões associados à maior e à menor ocorrência de ZCAS, estudo que deverá ser desenvolvido futuramente.

Referências

AMBRIZZI, T.; FERRAZ, S. E. T. An objective criterion for determining the South Atlantic Convergence Zone. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, 23 abr. 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.3389/fenvs.2015.00023> >.

BARREIRO, M.; CHANG, P.; SARAVANAN, R. Variability of the South Atlantic Convergence Zone Simulated by an Atmospheric General Circulation Model. **Journal of Climate**, v. 15, n. 7, p. 745–763, abr. 2002. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0745:VOTSAC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0745:VOTSAC>2.0.CO;2) >.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosfera Tempo e Clima**. 9. ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2013.

BOMBARDI, R. J. *et al.* Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics**, v. 42, n. 5–6, p. 1553–1568, 15 mar. 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1007/s00382-013-1832-7> >.

CAI, W. *et al.* Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, p. 215–231, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3> >.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. Extreme Precipitation Events in Southeastern South America and Large-Scale Convective Patterns in the South Atlantic Convergence Zone. **Journal of Climate**, v. 15, n. 17, p. 2377–2394, set. 2002. Disponível em: < [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<2377:EPEISS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<2377:EPEISS>2.0.CO;2) >.

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, n. 1, p. 88–108, 2004. Disponível em: < [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) >.

CERÓN, W. L. *et al.* Recent intensification of extreme precipitation events in the La Plata Basin in Southern South America (1981–2018). **Atmospheric Research**, v. 249, p. 105299, 1 fev. 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105299> >.

CUNHA, G. R. Oscilação do Sul e perspectivas climáticas aplicadas no manejo de culturas no sul do Brasil. **EMBRAPA**, 1999.

EMANUEL, K. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. **Nature**, v. 436, n. 7051, p. 686–688, 31 ago. 2005. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/nature03906> >.

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 - INPE**, p. 19, 2019.

KASZNAR, I. K.; GONÇALVES, B. M. L. REGRESSÃO MÚLTIPLA: uma digressão sobre seus usos. **IBCI – Institutional Business Consultoria Internacional**, 2007.

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. **Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II**, v. 70, n. 4, p. 813–836, 1992. Disponível em: < https://doi.org/10.2151/jmsj1965.70.4_813 >.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. 2. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

LIN, J.; QIAN, T. A New Picture of the Global Impacts of El Niño-Southern Oscillation. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 17543, 26 dez. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54090-5> >.

MANTUA, N. J. *et al.* A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1069–1079, jun. 1997. Disponível em: < [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2) >.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2001.

MARENGO, J. A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31, 2 set. 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44> >.

MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, 2007.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. Hidrologia Estatística. **CPRM**, v. 1, 2007. Disponível em: < <https://doi.org/978-85-7499-023-1> >.

PEZZA, A. B.; AMBRIZZI, T. Variability of Southern Hemisphere Cyclone and Anticyclone Behavior: Further Analysis. **Journal of Climate**, v. 16, n. 7, p. 1075–1083, abr. 2003. Disponível em: < [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1075:VOSHCA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1075:VOSHCA>2.0.CO;2) >.

PEZZI, L. P. *et al.* Ocean-atmosphere in situ observations at the Brazil-Malvinas Confluence region. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 22, p. n/a-n/a, nov. 2005. Disponível em: < <https://doi.org/10.1029/2005GL023866> >.

ROSA, E. B. Desempenho de um método automático de detecção de episódios de ZCAS [dissertação]. **2017**, p. 218, 2017.

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, n. 2237–8642, 9 set. 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.64101> >.

SILVA, M. E. S. *et al.* South America Climate During the 1970–2001 Pacific Decadal Oscillation Phases Based on Different Reanalysis Datasets. **Frontiers in Earth Science**, v. 7, p. 19, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.3389/feart.2019.00359> >.

SILVA, M. E. S.; SILVA, C. B. Variabilidade Climática – Processos Físicos e Dinâmicos nos Oceanos e Atmosfera. **Geography Department, University of Sao Paulo**, p. 372–406, 2012. Disponível em: < <https://doi.org/10.7154/RDG.2012.0112.0016> >.



BY



NC



SA

Este artigo é distribuído nos termos e condições do *Creative Commons Attribution/Atribuição- NãoComercial-CompartilhaIgual* (CC BY-NC-SA).