



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Correlação entre a Salinidade da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Tropical e a Precipitação da Quadra Chuvosa do Estado do Ceará

Mércio Bruno Dantas Aranha¹; Enio Pereira de Souza²; Enilson Palmeira Cavalcanti²; Ranyére Silva Nóbrega³; Geber Barbosa de Albuquerque Moura⁴; José Ivaldo Barbosa de Brito².

¹Doutorando em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (CAPES), Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Paraíba, Brasil, mercio.bruno123@gmail.com. ²Professores Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil. ³Professor Unidade Acadêmica de Geografia da UFCG, Campina Grande, Paraíba, Brasil. ⁴Professor Departamento de Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

Artigo recebido em 02/09/2024 e aceito em 21/02/2025

RESUMO

A variabilidade da Salinidade da Superfície do Mar (SSM) é modulada principalmente pela evaporação (aumenta a SSM) e precipitação (diminui a SSM). Estas alterações na SSM são capazes de prever a qualidade da precipitação terrestre através de uma teleconexão entre oceanos e continentes. Esta pesquisa é uma das primeiras a utilizar a SSM como preditora da precipitação em áreas do Brasil. O principal objetivo deste estudo é investigar uma possível influência da Salinidade da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Tropical com a precipitação da estação chuvosa do Ceará (Brasil). Neste trabalho foram utilizados dados da SSM oriundos do Met Office Hadley Centre. Os dados de precipitação do Estado do Ceará foram obtidos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), através de 31 postos pluviométricos durante o período de 1991 a 2020. A relação entre a anomalia da SSM do Atlântico Tropical e a precipitação no Ceará foi realizada por meio da análise do coeficiente de correlação de Pearson, enquanto, a significância estatística do coeficiente de correlação obtido, foi realizada por meio do teste t de Student. Esta pesquisa apresentou indicativos que a SSM no Atlântico Tropical de primavera, verão e outono apresenta correlação estatisticamente significativa com a estação chuvosa do Ceará. Os valores de correlação mais significativos foram observados próximos à região equatorial do Atlântico. Sendo assim, a SSM no Atlântico Equatorial pode ser utilizada como uma variável adicional na previsão da estação chuvosa do Ceará.

Palavras-Chave: Salinidade da Superfície do Mar, Variabilidade, Teleconexão, Evaporação.

Correlation between Sea Surface Salinity in the Tropical Atlantic Ocean and Rainfall in the State of Ceará

ABSTRACT

Sea Surface Salinity (SSS) variability is mainly modulated by evaporation (increases SSS) and precipitation (decreases SSS). These changes in SSS are able to predict the quality of terrestrial precipitation through a teleconnection between oceans and continents. This research is one of the first to use SSS as a predictor of precipitation in areas of Brazil. The main objective of this study is to investigate a possible influence of Sea Surface Salinity in the Tropical Atlantic Ocean on the precipitation of the rainy season in Ceará (Brazil). In this work, SSS data from the Met Office Hadley Centre were used. Precipitation data for the State of Ceará were obtained from the Ceará Foundation for Meteorology and Water Resources (Funceme), through 31 rainfall stations during the period from 1991 to 2020. The relationship between the SSS anomaly of the Tropical Atlantic and precipitation in Ceará was performed through the analysis of the Pearson correlation coefficient, while the statistical significance of the correlation coefficient obtained was performed through the Student's t-test. This research presented indications that the SSS in the Tropical Atlantic in spring, summer and autumn presents a statistically significant correlation with the rainy season in Ceará. The most significant correlation values were observed close to the equatorial region of the Atlantic. Therefore, the SSS in the Equatorial Atlantic can be used as an additional variable in the forecast of the rainy season in Ceará.

Keywords: Sea Surface Salinity, Variability, Teleconnection, Evaporation.

Introdução

O Estado do Ceará, assim como grande parte da Região Nordeste do Brasil (NEB), apresenta grande variação na precipitação durante as estações chuvosas. Variações anômalas no Oceano Atlântico conseguem explicar parte dessa variabilidade nas chuvas nestas regiões do Brasil, como tem sido bastante estudado (Gorenstein et al., 2023; Hastenrath & Lamb, 1977; Moura & Shukla, 1981; Moura et al., 2020; Pereira et al., 2020). No entanto, outros fatores de grande escala, como teleconexões (Oscilação do Atlântico Norte - NAO, Oscilação Multidecadal do Atlântico - AMO e Oscilação Decadal do Pacífico - ODP), variações no El Niño Oscilação Sul (ENOS) e a Salinidade da Superfície do Mar (SSM) podem influenciar na variabilidade climática de diversas regiões do planeta, contribuindo para flutuações nos índices de precipitação, temperatura e outras variáveis meteorológicas, isso porque, mudanças no comportamento de uma variável, em determinada área, pode alterar outras variáveis mesmo estando a centenas ou milhares de quilômetros de distância, resultando numa influência na circulação local ou geral e também como uma conexão entre continentes e oceanos.

Esta pesquisa é uma das primeiras na literatura a fazer uma investigação da relação entre a Salinidade da Superfície do Mar nos índices de precipitação em áreas do Brasil, com foco específico para o Estado do Ceará. No entanto, estudos anteriores têm indicado a SSM como uma variável eficiente para previsão da qualidade de estações chuvosas em diversas partes do Globo (Arcodia et al., 2025; Li et al., 2016; Rathore et al., 2021; Zeng et al., 2019). A Salinidade da Superfície do Mar é influenciada principalmente pela evaporação e precipitação. À medida que a umidade oceânica evapora, ela torna o oceano local mais salino, processo inverso é observado quando ocorre aumento da precipitação em grandes áreas oceânicas, como por exemplo, em grande parte da região equatorial do Globo, onde está situada a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). No entanto, outros fatores são capazes de influenciar nos índices da SSM, como demonstrado por Bingham et al. (2023), em que a variabilidade do alto teor da SSM em parte do Oceano Índico Sul é influenciada, principalmente, por mudanças no campo do vento e por variações da força do giro da Alta Subtropical do Oceano Índico (situada próximo à costa oeste da Austrália). Semelhante ao encontrado por Wang et al. (2020), em que variações da SSM em áreas do Oceano Índico

Meridional, são influenciadas, basicamente, por grandes ondulações sazonais da profundidade da Camada de Mistura. Além disso, também foi identificado que a dinâmica oceânica desempenha um papel fundamental. Essencialmente, a atividade de redemoinhos de mesoescala é um fator relevante que regula a variabilidade da SSM em áreas específicas do Oceano Índico Meridional.

Chen et al. (2019) investigaram a relação entre a anomalia de SSM de primavera no Noroeste do Pacífico Asiático (NPA) e as chuvas de verão da Região de Monções do Leste Asiático (RMLA) usando conjunto de dados de observação e reanálise. Foi mostrado que a variabilidade interanual da SSM de primavera do NPA está altamente correlacionada com as chuvas de verão da RMLA. Foi identificado que a anomalia da circulação anticiclônica (ciclônica) sobre o NPA pode levar um aumento (diminuição) da evaporação e o transporte de vapor de água do oceano para o continente na primavera, claramente relacionado pelo alto (baixo) índice de SSM. Situação semelhante ao encontrado anteriormente por Li et al. (2016), em que a anomalia de SSM da primavera sobre o Atlântico Norte subtropical funciona como um preditor fisicamente significativo para a precipitação do Sahel durante a estação das monções de verão. Um dos principais processos físicos explicados no estudo é a Divergência do Fluxo de Umidade (DFU). Durante a primavera, a alta salinidade de partes do Oceano Atlântico Norte é acompanhada por forte DFU, por consequência, a convergência ocorre em outras áreas, principalmente sobre o Sahel, onde há um aumento na precipitação no verão.

A correlação estatisticamente significativa entre SSM e precipitação em regiões continentais e os processos físicos associados, também foi estudada por Li et al. (2022); Rathore et al. (2020). Constatou-se, que em regiões oceânicas de alto índice de SSM ocorre aumento da Divergência do Fluxo de Umidade, resultando em convergência de umidade em regiões mais afastadas, provocando aumento da precipitação nestas áreas. Gimeno et al. (2020) também demonstraram a importância do transporte de umidade oceânica para o regime da precipitação em áreas continentais.

É importante destacar que alterações nos índices do ENOS no Oceano Pacífico Equatorial também podem explicar variações nas condições anômalas de outras variáveis no Oceano Atlântico, inclusive na SSM, como será mostrado nesta pesquisa. Um dos fatores que poderiam explicar esta situação, é que por se tratar do maior oceano da Terra, variação de temperatura do Oceano

Pacífico Equatorial pode modificar a circulação geral da atmosfera, e como consequência influenciar no comportamento de outras variáveis meteorológicas em outras partes do Globo. O estudo pioneiro da flutuação da TSM do Pacífico Equatorial e sua relação com a chuva no Nordeste (Ceará) é o de Walker (1928). A partir daí, houve uma vasta quantidade de pesquisas que buscaram entender de maneira mais focada, como que variações no ENOS são capazes de provocar influência nas condições da circulação atmosférica global e, com isso, causarem modificações nos índices pluviométricos em diversas regiões do Planeta (Bjerknes 1969; Cai et al., 2020; Pacheco et al., 2022; Ranaweera, & Kamae, 2024; Wang et al., 2022).

Por tanto, é válido considerar que tanto alterações nos índices de SSM e TSM no oceano Atlântico e o ENOS no Pacífico são capazes de explicar variações nos valores de precipitação sobre a estação chuvosa em áreas da região Nordeste do Brasil, especialmente, no Estado do Ceará. Estas variáveis, principalmente a SSM, podem servir como preditores entre uma estação do ano atual e uma estação futura, melhorando a previsibilidade para estas áreas do Brasil. Logo, o principal objetivo desta pesquisa é verificar a relação entre anomalias da Salinidade da Superfície do Mar (SSM) no oceano Atlântico Tropical na variabilidade da precipitação no Estado do Ceará (Brasil), e até que ponto existe uma dependência entre a SSM do Atlântico Tropical e a TSM do Pacífico Equatorial Central. São poucos estudos, até o presente momento, que abordaram a correlação entre SSM e precipitação no Brasil. Esta análise se faz necessária, pois aumenta o número de variáveis de estudo, que apresenta de alguma forma, um indicativo na contribuição da variabilidade da chuva no Estado do Ceará.

Material e métodos

Área geográfica e período de estudo

A área de estudo da influência da Salinidade da Superfície do Mar (SSM) sobre a variabilidade da precipitação é o Estado do Ceará, localizado na Região Nordeste do Brasil (NEB). O Ceará faz divisa com os Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte (a leste), Pernambuco (a sul), Piauí (a oeste) e com o Oceano Atlântico (a norte e nordeste). O Estado apresenta clima semiárido, com grande variação da precipitação, tanto de forma espacial quanto temporal. A Figura 1 apresenta o Mapa do Ceará com os principais postos pluviométricos monitorados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme). O conjunto de dados de precipitação reúne 31 postos pluviométricos distribuídos por todas as regiões do Estado. Os dados de precipitação são diários e foram utilizados nesta pesquisa para avaliar as flutuações da precipitação do período chuvoso do Ceará, entre 1991 e 2020. A estação chuvosa do Estado, também denominada de Quadra Chuvosa, compreende os meses de fevereiro, março, abril e maio (FMAM).

A área de estudo da influência da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Pacífico sobre a variabilidade da Salinidade da Superfície do Mar (SSM) no Atlântico Tropical é a região central do Pacífico Equatorial (Figura 2a), área conhecida como índice Niño 3.4 (05°N - 05°S; 170°W - 120°W). Já a área que apresenta relação da SSM do Atlântico sobre a precipitação da estação chuvosa do Estado do Ceará é região do Atlântico situada na faixa equatorial (05°N - 05°S; 35°W - 05°E), como pode ser visto na Figura 2b. Ressalta-se, que o período de estudo para todas as análises entre as variáveis é de 30 anos, se estendendo entre 1991 e 2020.

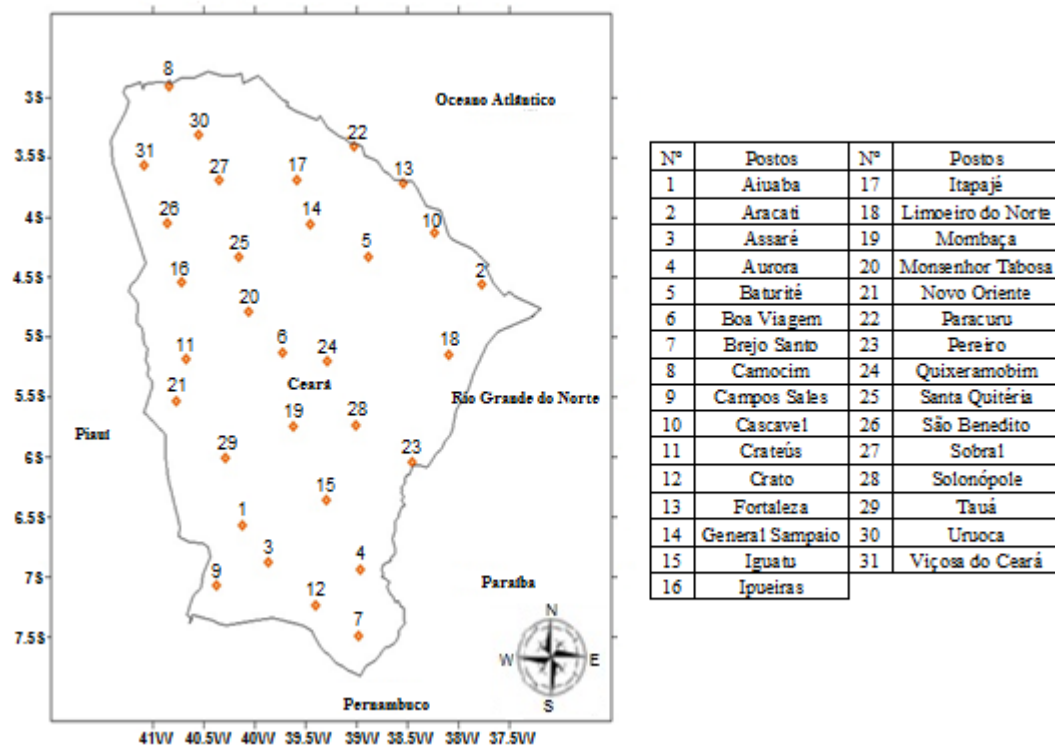
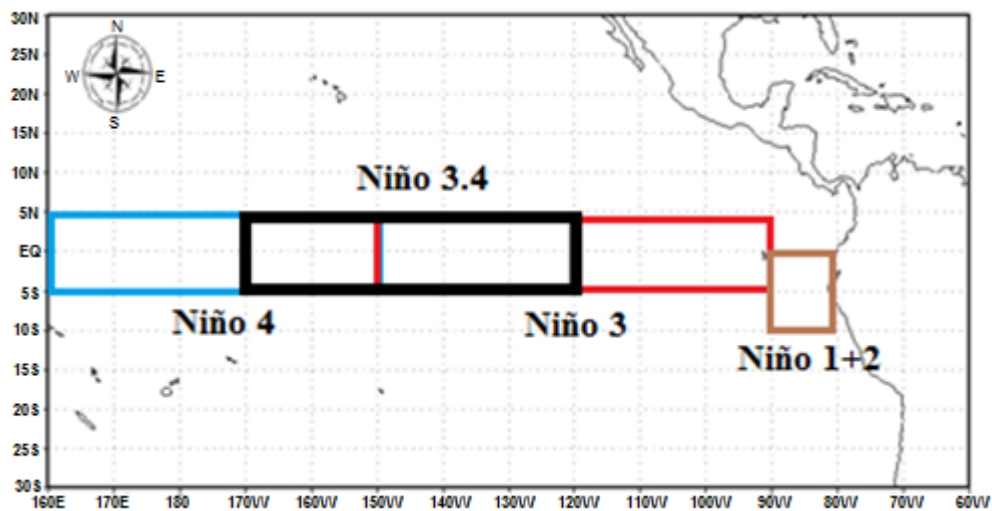
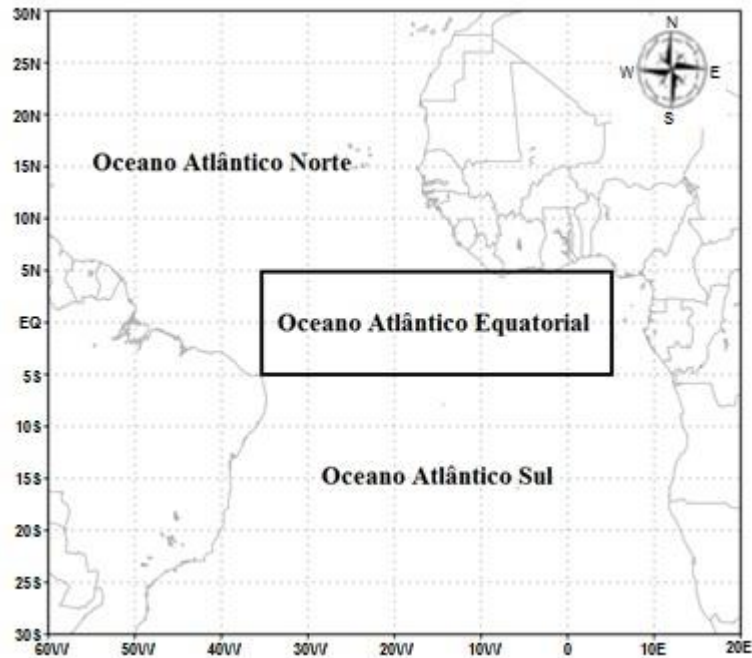


Figura 1. Mapa do Estado do Ceará com os principais postos pluviométricos monitorados pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (à esquerda), e identificação numérica dos 31 postos distribuídos pelo Estado (à direita).



(a)



(b)

Figura 2. Área de estudo da influência da TSM do Oceano Pacífico Equatorial (índice Niño 3.4 - 05°N - 05°S; 170°W - 120°W) sobre a SSM do Atlântico Tropical (a), e área de estudo da correlação entre a SSM no Oceano Atlântico Tropical (30°N-30°S, 60°W-20°E) sobre a variabilidade da precipitação no Estado do Ceará (b).

Dados da Salinidade da Superfície do Mar (SSM)

Os dados de Salinidade da Superfície do Mar (SSM) foram obtidos do Met Office Hadley Centre observations datasets (EN4 quality controlled ocean data: Download EN.4.2.1.). Este conjunto de dados é um dos mais completos para o estudo da SSM e está disponível de janeiro de 1900 até o presente em dados mensais, em uma grade de resolução de 1° x 1°. Foi feita uma climatologia entre janeiro de 1991 a dezembro de 2020, totalizando 30 anos de dados. Detalhes deste conjunto de dados podem ser obtidos em Good et al. (2013).

Dados da Temperatura da Superfície do Mar (TSM)

Os dados de Temperatura da Superfície do Mar são oriundos do Climate Prediction Center - Monthly ERSSTv5 (1991-2020 base period). Mais detalhes deste conjunto de dados podem ser obtidos na Internet através do site da National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>). No presente estudo, a análise da relação entre o ENOS e a SSM do Atlântico Tropical é feita de forma

instantânea e com uma estação de antecedência, ou seja, com a TSM do Pacífico Equatorial antecedendo a SSM do Atlântico Tropical em até três meses.

Dados de precipitação do Estado do Ceará (Brasil)

Os dados de precipitação do Estado do Ceará foram obtidos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) em dados diários, onde foram obtidas as médias da Quadra Chuvosa (precipitação de FMAM) de todos os anos desde 1991 até 2020. Após a coleta de dados, utilizou-se o Software Surfer para gerar os mapas das áreas de correlação estatisticamente significativas entre as variáveis.

Análise da relação entre as variáveis

A análise da relação entre a anomalia de TSM da superfície do Oceano Pacífico Equatorial e a SSM do Atlântico Tropical, bem como a análise da relação entre a precipitação do Estado do Ceará (Brasil) e a SSM do Atlântico Tropical foram realizadas por meio da análise do coeficiente de correlação de Pearson, enquanto, a significância

estatística, do coeficiente de correlação obtido, foi realizada por meio do teste t de Student.

O Coeficiente de correlação de Pearson é calculado pela seguinte equação:

$$r_{xyj} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(y_{ij} - \bar{y}_j)}{\left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}\right)\left(\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_j)^2}\right)} \quad (1)$$

em que r_{xyj} é o coeficiente de correlação do mês, estação ou semestre j, y_{ij} é a precipitação do mês, estação ou semestre j do ano i de uma determinada área homogênea, $\bar{y}_j$ é a precipitação média do mês, estação ou semestre j, x_{ij} é a TSM ou SSM do mês, estação ou semestre j do ano i e $\bar{x}_j$ é a SSM ou TSM média climatológica do mês estação ou semestre j de um determinado ponto de grade e n é o número de anos utilizados. Para valores mensais e sazonais também são realizadas correlações com lag, por exemplo, precipitação do mês j e TSM ou SSM dos meses j-1; j-2 e j-3, nestes casos os valores totais de pares de dados torna-se, n-1, n-2 e n-3, respectivamente.

Um teste estatístico muito utilizado, nos estudos de climatologia, para verificar a significância estatística de coeficiente de correlações, é o teste t de Student. Para tanto, calcula-se o t observado (t_{obs}) e o compara com t de um determinado nível de significância, em geral, de 95% (p-valor = 0,05) e 99% (p-valor = 0,01), para o mesmo número de grau de liberdade do t_{obs} . Caso, o valor absoluto de t_{obs} seja superior ao t do nível de significância, às vezes denominado de t tabelado, rejeita-se a hipótese nula, e aceita a hipótese alternativa, ou seja, as variáveis estão correlacionadas, caso contrário, aceita a hipótese nula. A propósito, o t_{obs} é obtido pela seguinte equação:

$$t_{obs} = \frac{r_{xy}\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}} \quad (2)$$

em que n é o tamanho da amostra, no caso específico desta pesquisa 30 (30 anos de dados), n-2 graus de liberdade e r_{xy} coeficiente de correlação de Pearson.

Ressalta-se que, na presente pesquisa, determinaram-se os coeficientes de correlação de Pearson, em pontos de grade de $1^\circ \times 1^\circ$, no Oceano Atlântico, entre as latitudes de 30°S e 30°N . Portanto, é conveniente determinar o valor do coeficiente de correlação crítico para um determinado nível de significância, no caso específico de 95% (p-valor = 0,05), $t_{0,05}$ para n-2 grau de liberdade, e 99% (p-valor = 0,01), $t_{0,01}$ para n-2 graus de liberdade, cujos coeficientes de correlações críticos são dados pelas seguintes expressões:

$$r_{c0,05} = \frac{t_{0,05}}{\sqrt{n-2+t_{0,05}^2}} \quad (3)$$

$$r_{c0,01} = \frac{t_{0,01}}{\sqrt{n-2+t_{0,01}^2}} \quad (4)$$

em que $r_{c0,05}$ e $r_{c0,01}$, são os valores críticos do coeficiente de correlação de Pearson para significância estatística de 95% e 99%, respectivamente. Se o valor absoluto do r_{xy} seja superior a $r_{c0,01}$, o coeficiente de correlação tem significância estatística de 99% (p-valor = 0,01), se for inferior a $r_{c0,01}$ e superior a $r_{c0,05}$ tem significância estatística de 95% (p-valor = 0,05).

Ressalta-se que na presente pesquisa o tamanho da amostra é de 30 anos, ou seja, tem-se 28 graus de liberdade, nestas condições, o $t_{0,01}$ é igual a 2,7633 e o $r_{c0,01}$ é igual a 0,463, e o $t_{0,05}$ é igual a 2,0484 e o $r_{c0,05}$ é igual a 0,361. Então, os coeficientes de correlação observados superiores a 0,463 e inferiores a -0,463 são estatisticamente significativos ao nível de significância de 99%, já aqueles superiores 0,361 ou inferiores a -0,361, mas inferiores a 0,463 e superiores a -0,463 são estatisticamente significativos ao nível de significância de 95%. É oportuno mencionar que não é usual, mas também é utilizado o nível de significância de 90% (p-valor = 0,1), para 28 graus de liberdade $t_{0,1}$ é igual a 1,6991 e $r_{c0,1}$ é igual 0,306, sendo $t_{0,1}$ e $r_{c0,1}$ o t de student e o coeficiente de correlação para o nível de significância de 90%.

Tabela 1. Valores de t de Student e valores limites para os coeficientes de correlação estatisticamente significativos, para os p-valores de 0,01, 0,05 e 0,1 e grau de liberdade de 28.

p-valor (α)	t de Student	coeficiente positivo	coeficiente negativo
0,01	2,7633	$r > 0,463$	$r < -0,463$
0,05	2,0484	$0,361 < r \leq 0,463$	$-0,463 \leq r < -0,361$
0,10	0,306	$0,306 < r \leq 0,361$	$-0,361 \leq r < -0,306$

Resultados e discussão

As regiões de correlação estatisticamente significativas entre a SSM do Atlântico Tropical durante o inverno austral e a Quadra Chuvosa no Estado do Ceará (precipitação de FMAM) são apresentadas na Figura 3. São identificadas áreas com significância estatística positiva para os níveis de confiança de 90%, 95% e 99%, principalmente no Atlântico Tropical norte (acima de 15°N). Os valores de correlação positivos indicam que à medida que a SSM em partes do Atlântico norte aumenta (diminui) a precipitação da estação chuvosa no Ceará também deve aumentar (diminuir). Esta descoberta está coerente com estudos como o de Li et al. (2022), onde foi mostrado que valores positivos de anomalia da SSM em regiões oceânicas do Atlântico Norte subtropical tende a deslocar o fluxo de umidade para áreas mais afastadas do ponto de origem dos índices da alta salinidade, provocando aumento das chuvas em determinadas regiões continentais. Em contra partida, anomalia negativa da SSM deve

provocar convergência de umidade em áreas adjacentes ao ponto de origem, fato este, que ajudaria a explicar o aumento da precipitação no Estado do Ceará nos momentos de redução da SSM no Atlântico Equatorial (área do Atlântico mais próxima ao Ceará). No entanto, apesar da variabilidade da SSM da região equatorial do Atlântico apresentar a maior relação com a Quadra Chuvosa do Estado do Ceará, os índices de correlação significativos, para valores negativos, só começam a surgir durante a primavera, e se intensificando no verão e outono (como será visto posteriormente). Sendo assim, a SSM do Atlântico Equatorial durante o inverno (aproximadamente seis a oito meses de antecedência) ainda não consegue servir como uma variável estatisticamente significativa para a previsão da estação chuvosa do Ceará, não apresentando áreas homogêneas com significância estatística nesta região do Atlântico (Figura 3).

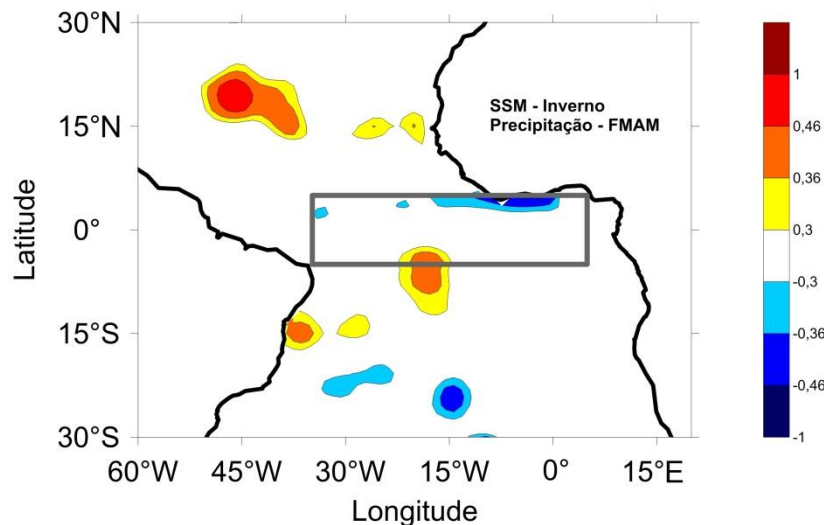


Figura 3. Correlação estatisticamente significativa entre a SSM do Atlântico Tropical para o inverno e a Quadra Chuvosa no Ceará. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (azul claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (azul médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (azul escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (laranja); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho).

A Figura 4 apresenta as áreas de correlação estatisticamente significativas entre a Salinidade da Superfície do Mar (SSM) durante a primavera austral e a Quadra Chuvosa no Ceará. Durante a primavera é possível identificar uma área abrangente de significância estatística, para valores negativos, na região equatorial do Atlântico. O coeficiente de correlação é de -0,55, representando um nível de confiança de 99% (especialmente na região do Atlântico Equatorial próximo à costa

norte da NEB). Esta situação fornece um indicativo que a SSM do Atlântico equatorial antecipa a Quadra Chuvosa no Ceará já durante a primavera (até duas estações de antecedência), e pode servir como preditor da estação chuvosa do Estado. Os valores de correlação negativos mostram que à medida que a SSM do Atlântico Equatorial diminui (aumenta) a precipitação da estação chuvosa no Ceará deve aumentar (diminuir). Valores positivos de correlação estatisticamente significativa

também são vistos em áreas do Atlântico sul, principalmente próximo à costa leste da NEB, e no Atlântico norte, junto à costa do continente africano, o nível de confiança, para estes casos, varia entre 90%, 95% e 99% (Figura 4). Pontua-se

que, estudos como o de Arcodia et al. (2025); Rathore et al. (2021) também indicaram a influência significativa da variabilidade da SSM sobre a precipitação em outras partes do Globo.

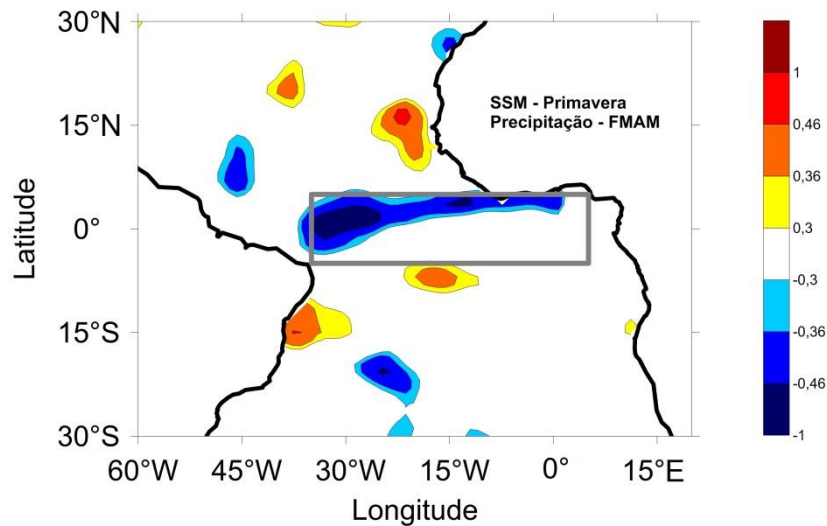


Figura 4. Correlação estatisticamente significativa entre a SSM do Atlântico Tropical para a primavera e a Quadra Chuvosa no Ceará. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (azul claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (azul médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (azul escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (laranja); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho).

A variabilidade temporal (1991 a 2020) da SSM do Atlântico Equatorial (35°W - 05°E; 05°N - 05°S) durante a primavera e a precipitação da Quadra Chuvosa do Estado do Ceará é apresentada na Figura 5. Verifica-se uma relação, em geral, inversamente proporcional entre a SSM (primavera) e a precipitação (FMAM no Ceará), coerente com os índices de correlação negativos encontrados nesta pesquisa para esta região do Atlântico. De modo geral, quando a SSM do Atlântico Equatorial de primavera diminui (aumenta) a precipitação da Quadra Chuvosa do Estado do Ceará, deve aumentar (diminuir). No

entanto, a Salinidade da Superfície do Mar, ao longo dos últimos 150 anos, tem apresentado um aumento crescente, como foi demonstrado por Gould e Cunningham (2021). O estudo fornece indicativos que a SSM dos oceanos aumenta devido à elevação da TSM, causada em grande parte, por consequência da elevação da temperatura média global ao longo das últimas décadas. Uma análise semelhante, da variabilidade da SSM ao longo do tempo, foi encontrado por Cheng et al. (2020). Em ambos os estudos, as consequências de atividades humanas (ação antrópica), é apontada como uma das principais causas destas alterações.

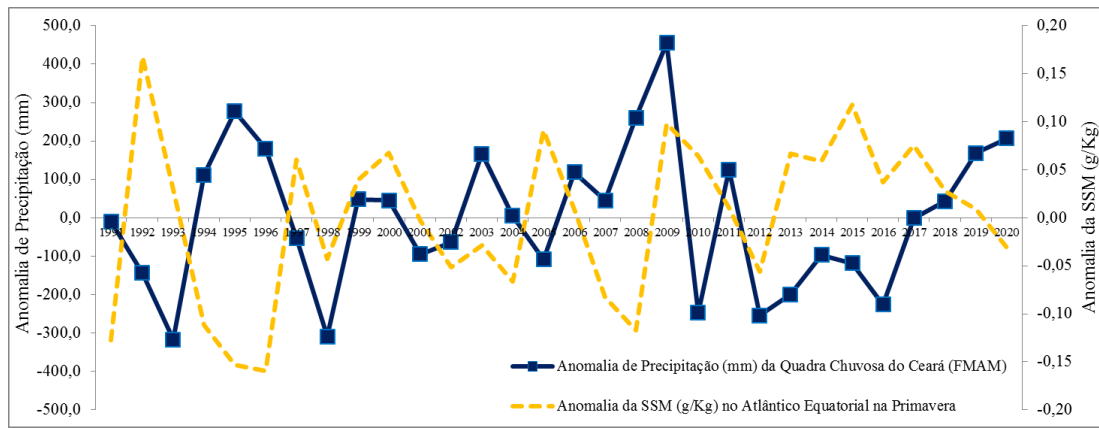


Figura 5. Anomalia de Precipitação da Quadra Chuvosa do Estado do Ceará (eixo vertical à esquerda) e Anomalia da Salinidade da Superfície do Mar no Oceano Atlântico Equatorial (eixo vertical à direita) entre 1991 e 2020. A precipitação está representada pela linha contínua e a Salinidade da Superfície do Mar pela linha tracejada.

Os índices de correlação estatisticamente significativos entre a SSM durante o verão austral e a precipitação da Quadra Chuvosa no Estado do Ceará são apresentados na Figura 6. A situação é semelhante ao que foi observado durante a primavera (correlação negativa e estatisticamente significativa em áreas do Atlântico Equatorial). O valor do coeficiente de correlação chega a $-0,57$ (aproximadamente na região central do oceano Atlântico Equatorial), representando um nível de confiança de 99%. Durante o verão, é observado que regiões estatisticamente significativas para o nível de confiança de 95% e 99% aumentam sua abrangência sobre o Atlântico Equatorial. Indicando uma persistência do que foi verificado durante a primavera, ou seja, relação inversa entre a SSM da região equatorial do Atlântico e a precipitação no Ceará. Outras áreas com valores

estatisticamente significativos, para valores positivos, são vistas no Atlântico sul, próximo à costa leste da NEB e no Atlântico norte, próximo à costa do continente africano, para estes casos, o nível de confiança oscila entre 90% e 95%. Ressalta-se que, Arcodia et al. (2025) mostraram a contribuição do alto índice da SSM do Atlântico Norte (em áreas do Mar do Caribe e Golfo do México) com eventos de chuvas intensas no Centro Oeste dos Estados Unidos, associando o aumento da evaporação oceânica ao transporte de umidade para o continente. Esta situação poderia explicar os valores positivos de correlação significativa entre a SSM em áreas do Atlântico Norte e a precipitação da Quadra Chuvosa no Ceará (ou seja, se houver aumento da SSM nestas áreas, também deverá haver aumento das chuvas no Estado).

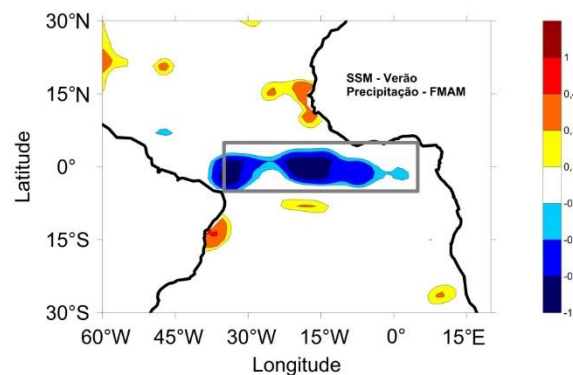


Figura 6. Correlação estatisticamente significativa entre a SSM do Atlântico Tropical para o verão e a Quadra Chuvosa no Ceará. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (azul claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (azul médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (azul escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (laranja); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho).

A Figura 7 apresenta os valores de correlação estatisticamente significativos entre a SSM do Atlântico Tropical durante o outono austral e a Quadra Chuvosa do Estado do Ceará. Assim como foi observado anteriormente, é vista uma área homogênea de significância estatística entre a SSM do Atlântico Equatorial e a precipitação de fevereiro a maio (FMAM) no Estado do Ceará, especialmente junto à costa norte da NEB. São valores significantes para correlação negativa, mostrando uma evolução do que já era observado entre a primavera e o verão, indicando que nesta região do oceano Atlântico a SSM apresenta um sinal invertido em relação aos índices de precipitação da Quadra Chuvosa do Estado do Ceará. O valor mínimo do coeficiente de correlação é de $R = -0,80$ (próximo à costa norte da NEB), representando um nível de confiança de 99%. Além disso, durante o outono, as duas variáveis (SSM e precipitação) estão aproximadamente na mesma época do ano, indicando uma relação direta entre

diminuição (aumento) da SSM do Atlântico Equatorial e aumento (diminuição) da precipitação sobre o Estado do Ceará. Um resultado muito semelhante ao encontrado nesta pesquisa foi mostrado por Byrne et al. (2023), os autores identificaram uma correlação negativa significativa ($R = -0,78$) entre a SSM da costa sul da Califórnia (Scripps Pier em La Jolla) e a precipitação de inverno no Estado da Califórnia. Estes pesquisadores constataram que redução da SSM na costa sul da Califórnia, aumenta as chances de eventos extremos de chuva no Estado durante o inverno. Em contrapartida, eventos de chuva extrema ocorrem com menos frequência em anos de aumento da SSM sobre a costa. Este resultado apresenta forte semelhança ao encontrado nesta pesquisa entre a relação da SSM do Atlântico Equatorial de primavera, verão e outono e a precipitação no Ceará (Brasil), especialmente ao apresentado na Figura 7.

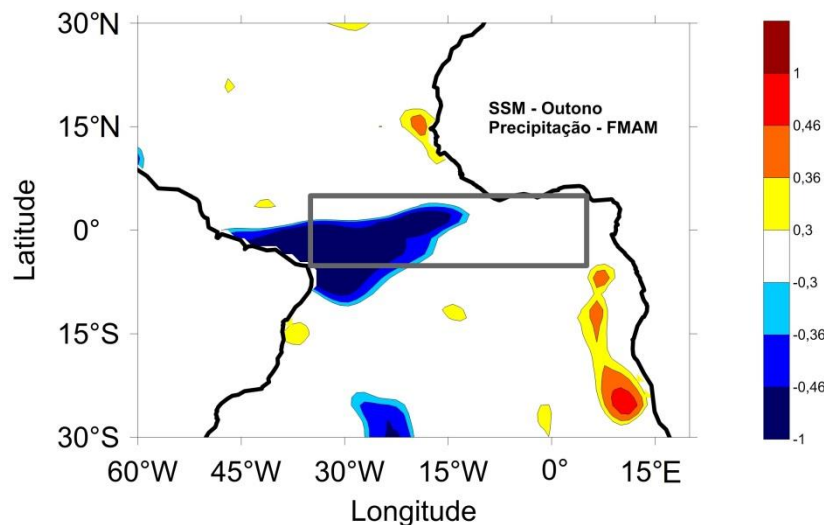


Figura 7. Correlação estatisticamente significativa entre a SSM do Atlântico Tropical para o outono e a Quadra Chuvosa no Ceará. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (azul claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (azul médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (azul escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (laranja); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho).

Ressalta-se que um resultado interessante no presente estudo é a observação de uma correlação negativa na faixa equatorial do Atlântico, ou seja, uma relação inversa entre a SSM dessa área do Atlântico e a precipitação no estado do Ceará. Assim, uma redução (aumento) da SSM no Atlântico Equatorial a partir da primavera (até duas estações de antecedência) está associada ao aumento (redução) da precipitação da estação chuvosa seguinte no Estado do Ceará. Enquanto,

outros pesquisadores, como por exemplo, Moura e Shukla (1981), verificaram uma correlação tipo dipolo (positivo no sul e negativo no norte) entre a TSM do Atlântico Tropical e a Precipitação no Ceará.

É importante descrever que Moura et al. (2009) encontram correlações estatisticamente significativas entre a precipitação do leste da NEB e a anomalia de TSM no Atlântico Tropical com até quatro meses antes da estação chuvosa. Enquanto,

Pereira et al. (2020) descreveram sobre a influência das condições das anomalias de TSM no Pacífico Equatorial e no Atlântico Tropical durante o verão sobre a precipitação da NEB no outono. No presente estudo, como mostrado anteriormente, verificou-se correlação estatisticamente significativa entre a precipitação do Ceará e anomalias de SSM com até duas estações (seis meses) antes da Quadra Chuvosa. Portanto, é salutar verificar se esta antecedência, de duas estações, é decorrente da atuação do ENOS na anomalia de SSM do Atlântico Tropical.

A influência do ENOS na SSM já foi abordada por outros pesquisadores, como por exemplo, Byrne et al. (2023); Guo et al. (2021); Nie et al. (2020). Identificou-se que o El Niño Oscilação Sul (nos índices Niño 3, Niño 4 e Niño 3.4) apresenta elevados valores de correlação com a SSM da costa Ocidental da Austrália, região conhecida como Niño de Ningaloo (Guo et al., 2021). Já Pinheiro et al. (2021) descreveram como o ENOS impacta a circulação no Atlântico Tropical norte durante o inverno e primavera boreal, e as consequências desse impacto, na precipitação da estação chuvosa do norte da NEB.

A Figura 8 apresenta áreas de significância estatística entre a TSM do Pacífico Equatorial Central (Niño 3.4) durante o inverno e a SSM do

Atlântico Tropical durante o inverno (Figura 8a) e primavera (Figura 8b). As regiões onde se encontram os valores estatisticamente significativos, para valores negativos, ocorrem principalmente na costa leste do Atlântico sul, entre a TSM do Pacífico Equatorial de inverno e a SSM do Atlântico Tropical de inverno (Figura 8a), com índices de confiança que variam entre 90%, 95% e 99%. Para a TSM do Pacífico Equatorial de inverno e a SSM do Atlântico Tropical de primavera (Figura 8b), o nível de confiança, nesta mesma região do Atlântico, é mais baixo, variando entre 90% e 95%. A TSM do Pacífico Equatorial durante o inverno ainda não apresenta relação significativa com a SSM do Atlântico Equatorial, exceto, para a SSM do Atlântico Equatorial de primavera (Figura 8b), em que ocorre o surgimento de uma área de correlação positiva e estatisticamente significativa para o nível de confiança de 99%. No entanto, durante as próximas estações (especialmente primavera e verão), a TSM do Pacífico Equatorial deve apresentar correlação significativa com a SSM do Atlântico Equatorial. Esta relação ocorrerá de forma instantânea e também com até três meses de antecedência, indicando que a variabilidade da TSM do Pacífico Equatorial pode influenciar nas flutuações da SSM do Atlântico Tropical, especialmente na região equatorial.

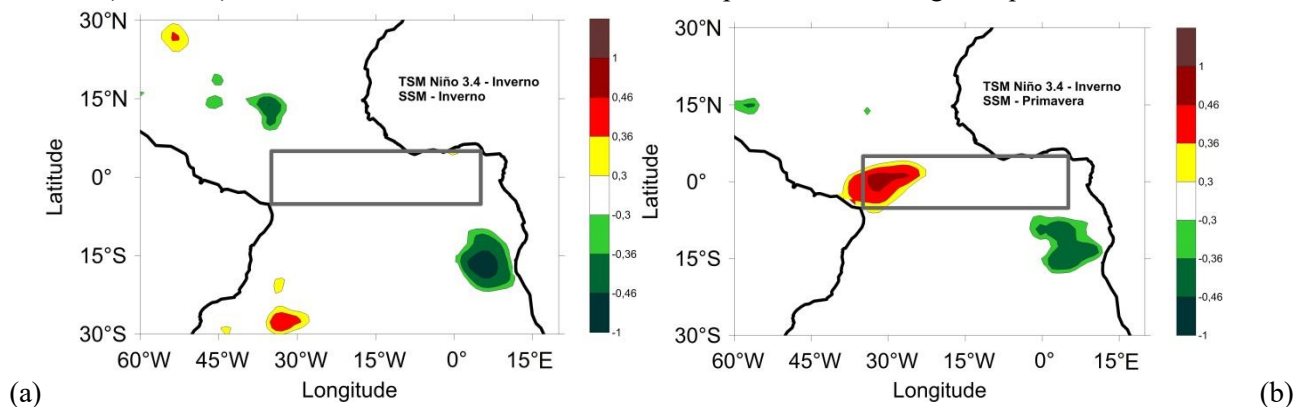


Figura 8. (a) Correlação estatisticamente significativa entre a TSM do Oceano Pacífico Equatorial e a SSM do Atlântico Tropical para o inverno e inverno e (b) inverno e primavera. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (verde claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (verde médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (verde escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (vermelho); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho escuro e marrom).

No nosso estudo, foi identificado que a SSM da região equatorial do Atlântico está significativamente relacionada com a TSM do Pacífico Equatorial Central (Niño 3.4), especialmente a partir da primavera e verão, e se prolongando até o outono. Um dos principais fatores que ajudam a explicar uma relação positiva e estatisticamente significativa entre a SSM do

Atlântico Equatorial e a TSM do Pacífico Equatorial Central é a Circulação de Walker. A Célula de Walker é uma circulação termicamente direta com movimento ascendente no Pacífico Equatorial oeste e movimento descendente no Pacífico Equatorial leste (Bjerknes, 1969). Entretanto, em anos de El Niño (anomalia positiva da TSM do Pacífico Equatorial), o ramo ascendente

se desloca para o Pacífico Equatorial Central e o ramo descendente se desloca para o nordeste da América do Sul e Atlântico Equatorial (Hounsou-Gbo et al., 2020). Portanto, pode-se concluir que este movimento descendente sobre o Atlântico Equatorial diminui a umidade da atmosfera, que por sua vez produz maior evaporação das águas da superfície do Atlântico Equatorial forçando um aumento da SSM. Estas condições favorecem uma correlação positiva entre as anomalias de TSM no Pacífico Equatorial Central e de SSM no Atlântico Equatorial, em geral, o sinal da anomalia de SSM afetado pelo El Niño continua até a estação seguinte.

A Figura 9 apresenta os mapas de correlação entre a TSM de primavera no Pacífico equatorial e a SSM de primavera no Atlântico Tropical (Figura 9a) e entre a TSM de primavera no Pacífico Equatorial e SSM de verão no Atlântico Tropical (Figura 9b). Durante a TSM de primavera no oceano Pacífico Equatorial é possível identificar uma área mais abrangente de correlação positiva e estaticamente significativa em relação à SSM do Atlântico Equatorial, especialmente com até três meses de antecedência (Figura 9b). Para este caso, o valor de correlação é de $R = 0,54$, representando

o nível de confiança de 99%. Esta condição fornece um indicativo que a partir da primavera, a TSM do Pacífico Equatorial consegue prever, com até três meses de antecedência, a variabilidade da SSM do Atlântico Equatorial. O sinal positivo de correlação entre as variáveis indica que à medida que a TSM de primavera do Pacífico Equatorial Central (Niño 3.4) aumenta (diminui) a SSM do Atlântico Equatorial de verão também aumenta (diminui). Pontua-se, que a relação entre TSM e SSM foi estudado anteriormente por Kido et al. (2021). Estes autores forneceram a primeira imagem global da covariabilidade entre a TSM e a SSM e os processos físicos associados em escalas de tempo interanuais através de uma análise de dados observacionais. Constatou-se que em pequenas escalas espaciais, as covariações entre a TSM e a SSM aparecem principalmente por mudanças da circulação oceânica, enquanto em grandes escalas espaciais, o oceano e a atmosfera são responsáveis pela covariação entre estas variáveis. Esta descoberta está alinhada aos resultados de nossa pesquisa, em que analisamos a grande escala, pois relacionamos a TSM e SSM em áreas muito distantes, porém com grande influência da Circulação de Walker.

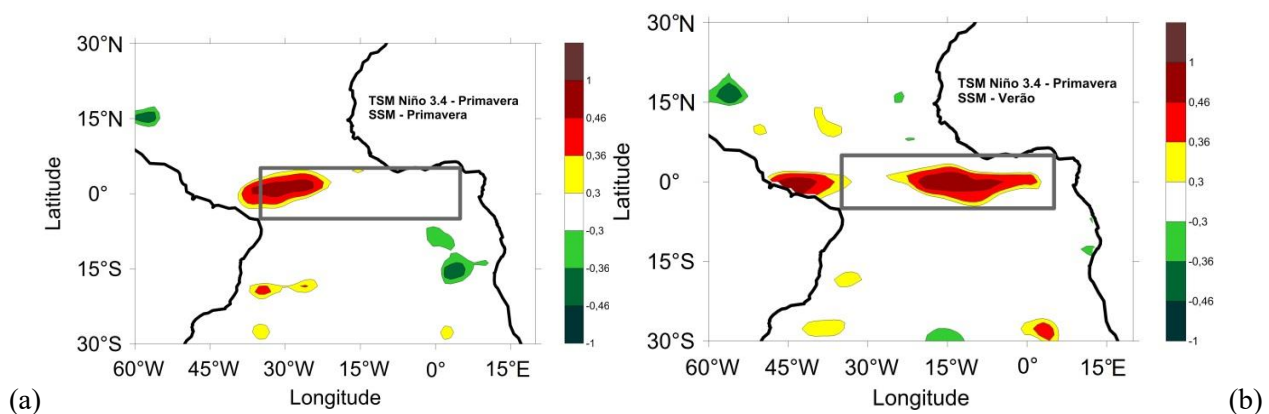


Figura 9. (a) Correlação estatisticamente significativa entre a TSM do Oceano Pacífico Equatorial e a SSM do Atlântico Tropical para a primavera e primavera e (b) primavera e verão. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (verde claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (verde médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (verde escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (vermelho); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho escuro e marrom).

A persistência de uma correlação significativa entre a SSM do Atlântico Equatorial e a TSM do Pacífico Equatorial Central (Niño 3.4) se estende durante o verão. Os valores máximos de correlação são de $R = 0,66$, de forma instantânea,

ou seja, para a TSM de verão e SSM de verão (Figura 10a), e $R = 0,59$, para a TSM de verão e a SSM de outono (Figura 10b). Para ambos os casos, o nível de confiança é de 99%. Esta condição fornece um indicativo que a TSM do Pacífico

Equatorial Central de verão consegue prever a SSM do Atlântico Equatorial de outono com até três meses de antecedência, assim como foi identificado com a TSM do Pacífico Equatorial Central de primavera e a SSM do Atlântico Equatorial de verão. Logo, o desenvolvimento do fenômeno El Niño (La Niña) durante a primavera e verão é um indicador significativo do aumento (diminuição) da SSM no Atlântico Equatorial nas estações seguintes (verão e outono). Durante a TSM do Pacífico Equatorial de verão e a SSM do Atlântico Tropical de outono (Figura 10b), identificamos o surgimento de uma região mais

abrangente de correlação estatisticamente significativa para valores negativos, especialmente em áreas do Atlântico sul próximo ao continente africano, em que o nível de confiança é de até 99%. É conveniente destacar que a intensidade e assimetria do ENOS é afetada pela variabilidade da SSM do Pacífico Tropical, como foi mostrado por Guan et al. (2021). Os resultados indicaram que as amplitudes do El Niño e La Niña são dependentes dos padrões zonais de salinidade, com a maior mudança de TSM ocorrendo quando as anomalias máximas de SSM estão localizadas em cerca de 170°W.

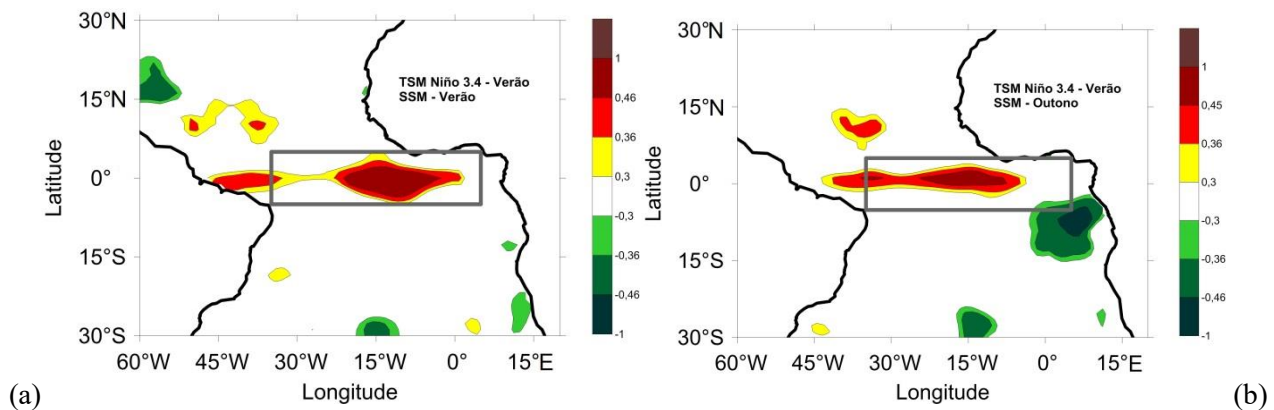


Figura 10. (a) Correlação estatisticamente significativa entre a TSM do Oceano Pacífico Equatorial e a SSM do Atlântico Tropical para o verão e verão e (b) verão e outono. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (verde claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (verde médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (verde escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (vermelho); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho escuro e marrom).

Durante o outono, a TSM do Pacífico Equatorial Central (Niño 3.4) apresenta correlação estatisticamente significativa, para valores positivos, apenas com a SSM do Atlântico Equatorial também no outono (Figura 11a). Para a TSM do Pacífico Equatorial de outono e a SSM de inverno (Figura 11b), os valores de correlação estatisticamente significativos, para valores positivos, ocorrem em áreas adjacentes ao Atlântico Equatorial, com nível de confiança de até 99%. Logo, a TSM do Pacífico Equatorial Central durante o outono não funciona como um preditor estatisticamente significativo para a SSM do Atlântico Equatorial de inverno, em contraste ao que foi identificado com a TSM de primavera e a SSM de verão e com a TSM de verão e a SSM de outono. Áreas com valores negativos de correlação estatisticamente significativos são vistas no leste do Atlântico Tropical sul, próximo à costa do continente africano, o nível de confiança varia entre 90%, 95% e 99% (Figura 11a e Figura 11b).

Destaca-se, que estes valores de correlação negativos entre a TSM do Pacífico Equatorial e a SSM do leste do Atlântico Tropical sul começam a surgir no verão, continua no outono e se prolonga até o inverno. Nesta área, a relação entre a TSM e a SSM são inversamente proporcionais, em contraste ao que é observado no Atlântico Equatorial.

A influência que a SSM no Oceano Atlântico Tropical sofre nas alterações no ENOS, como visto nesta pesquisa, favorece a previsibilidade da estação chuvosa no Estado do Ceará, isso porque a SSM do Atlântico Tropical, especialmente na região equatorial, está significativamente correlacionada com a variabilidade da precipitação do Estado. Uma das principais causas da correlação significativa entre SSM e precipitação é o transporte de umidade, através de uma teleconexão entre o oceano e continente, como identificado por Arcodia et al. (2025); Rathore et al. (2021). No entanto, com o

processo crescente das Mudanças Climáticas, o transporte de vapor d'água entre oceanos e continentes tem sofrido alterações ao longo das últimas décadas, causado especialmente pela elevação global da temperatura do ar (Skliris, et al., 2020; Wang et al., 2023; Yu et al., 2020). Desse

modo, o aquecimento global afeta diretamente os índices de SSM e transporte de umidade, que por sua vez, deve provocar alterações significativas nos índices de precipitação sobre os continentes, aumentando as chances de eventos extremos.

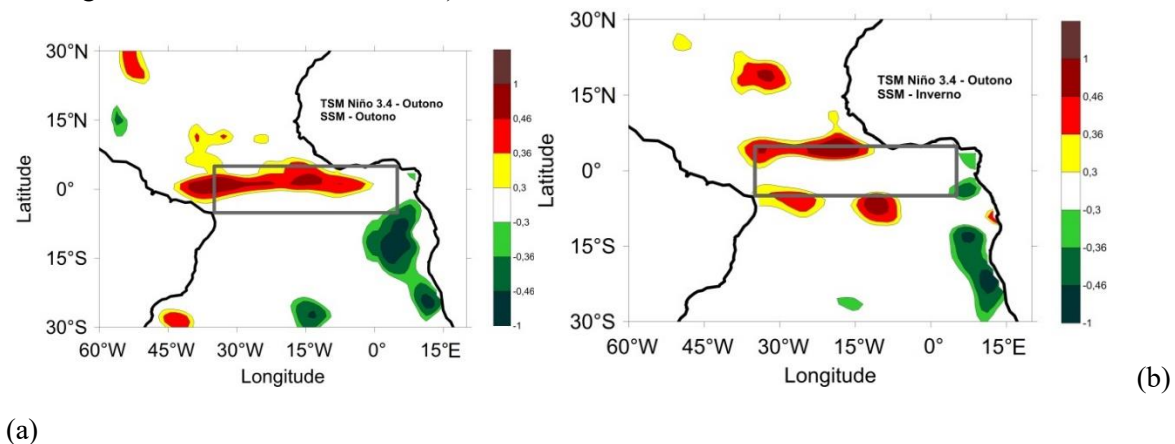


Figura 11. (a) Correlação estatisticamente significativa entre a TSM do Oceano Pacífico Equatorial e a SSM do Atlântico Tropical para o outono e outono e (b) outono e inverno. A significância estatística está representada na barra de cores da seguinte forma: $-0,36 \leq r < -0,30$, significância estatística de 90% (verde claro); $-0,46 \leq r < -0,36$, significância estatística de 95% (verde médio); $r < -0,46$, significância estatística de 99% (verde escuro); $0,30 < r \leq 0,36$, significância estatística de 90% (amarelo); $0,361 < r \leq 0,46$, significância estatística de 95% (vermelho); e $r > 0,46$, significância estatística de 99% (vermelho escuro e marrom).

Conclusões

1. Neste trabalho foi constatado que a TSM do Pacífico Equatorial Central (área do Niño 3.4) correlaciona-se significativamente com a SSM do Atlântico Equatorial, simultaneamente, e com antecipação de até uma estação (aproximadamente três meses de antecedência). Por sua vez, a SSM do Atlântico Equatorial também está correlacionada significativamente com a precipitação da Quadra Chuvosa no Estado do Ceará. Mostrando um indicativo de uma teleconexão entre as variáveis.

2. Em anos de ocorrência de El Niño (La Niña) no Oceano Pacífico Equatorial, a atuação do ramo descendente (ascendente) da circulação de Walker sobre o Atlântico Equatorial favorece o (a) aumento (diminuição) da SSM, principalmente durante a primavera, verão e outono.

3. Valores de correlação estatisticamente significativos entre a SSM do Oceano Atlântico e a Quadra Chuvosa no Estado do Ceará ocorrem em quase toda a faixa equatorial do Atlântico, desde a

costa norte da Região Nordeste do Brasil até a África. Esta área, com significância estatística de até 99%, começa na primavera, e se intensifica durante o verão e o outono.

4. Contudo, é possível concluir que a SSM do Atlântico Equatorial é uma variável que pode ser utilizada para previsão da qualidade da Quadra Chuvosa no Estado do Ceará (Brasil), exceto para a SSM do Atlântico Equatorial de inverno. Além disso, também é possível concluir que a SSM do Atlântico Equatorial apresenta algum grau de dependência da TSM do Pacífico Equatorial Central.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos. Esta pesquisa teve a colaboração do professor efetivo da Universidade Federal de Campina Grande, professor Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito.

Referências

- Arcodia, M. C., Barnes, E. A., Durack, P. J., Keys, P. W., & Rocha, J. (2025). Sea surface salinity provides subseasonal predictability for forecasts of opportunity of U.S. summertime precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 130(6), e2024JD042402. <https://doi.org/10.1029/2024JD042402>
- Bingham, F. M., Brodnitz, S. K., & Gordon, A. L. (2023). Seasonal and Interannual Variability of the Subtropical South Indian Ocean Sea Surface Salinity Maximum. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 128(2), e2022JC018982. <https://doi.org/10.1029/2022JC018982>
- Bjerknes, J. (1969). Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific, *Monthly Weather Review*, 97(3), 163–172. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0163:ATFTEP>2.3.CO;2)
- Byrne, S.M., Merrifield, M.A., Carter, M.L. Cayan, D., R., Flick, R., E., Gershunov, A., & Giddings, S., N. (2023). Southern California winter precipitation variability reflected in 100-year ocean salinity record. *Commun Earth Environ* 4(143). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00803-8>
- Cai, W., McPhaden, M. J., Grimm, A. M., Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Garreaud, R. D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., Santoso, A., Ng, B., Anderson, W., Wang, G., Geng, T., Jo, H.-S., Marengo, J. A., Alves, L. M., Osman, M., Li, S., Wu, L., Karamperidou, C., Takahashi, K., & Vera, C. (2020). Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Atmospheric Environment*, 1(4), 215–231. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3>
- Chen, B., Qin, H., Chen, G., & Xue, H. (2019). Ocean Salinity as a Precursor of Summer Rainfall over the East Asian Monsoon Region. *Journal of Climate*, 32(17), 5659–5676. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0756.1>
- Cheng, L., Trenberth, K. E., Gruber, N., Abraham, J. P., Fasullo, J. T., Li, G., Mann, M. E., Zhao, X., & Zhu, J. (2020). Improved estimates of changes in upper ocean salinity and the hydrological cycle. *Journal of Climate*, 33(23), 10357–10381. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0366.1>
- Gimeno, L., Nieto, R., & Sori, R. (2020). The growing importance of oceanic moisture sources for continental precipitation. *npj Climate and Atmospheric Science*, 3(27). <https://doi.org/10.1038/s41612-020-00133-y>
- Good, S.A., Martin, M.J., & Rayner, N.A. (2013). EN4: quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(12), 6704–6716. <https://doi.org/10.1002/2013JC009067>
- Gorenstein, I., Wainer, I., Pausata, F.S.R., Prado, L., F., Khodri, M., & Dias, P., L., S. (2023). A 50-year cycle of sea surface temperature regulates decadal precipitation in the tropical and South Atlantic region. *Commun Earth Environ* 4(427). <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01073-0>
- Gould, W.J. & Cunningham, S.A. (2021). Global-scale patterns of observed sea surface salinity intensified since the 1870s. *Commun Earth Environ*, 2(76). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00161-3>
- Guan, C., Tian, F., McPhaden, M. J., Wang, F., Hu, S., & Zhang, R. (2022). Zonal structure of tropical Pacific surface salinity anomalies affects ENSO intensity and asymmetry. *Geophysical Research Letters*, 49(1), e2021GL096197. <https://doi.org/10.1029/2021gl096197>
- Guo Y., Li Y., Wang F., & Wei Y. (2021). Ocean salinity aspects of the ningaloo niño. *Journal of Climate*, 34(15), 6141–6161. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0890.1>
- Hastenrath, S., & Lamb, L. (1977). Some aspects of circulation and climate over the eastern equatorial Atlantic. *Monthly Weather Review*, 105(8), 1019–1023. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1977\)105<1019:SAOCAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1977)105<1019:SAOCAC>2.0.CO;2)
- Hounsou-Gbo, A., Servain, J., Junior, F. das C. V., Martins, E. S. P. R., & Araújo, M. (2020). Summer and winter Atlantic Niño: connections with ENSO and implications. *Climate Dynamics*, 55(11–12), 2939–2956. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05424-x>
- Kido, S., Nonaka, M., & Tanimoto, Y. (2021). Sea surface temperature–salinity covariability and its scale-dependent characteristics. *Geophysical Research Letters*, 48(24), e2021GL096010. <https://doi.org/10.1029/2021gl096010>
- Li, L., Schmitt, R. W., & Ummenhofer, C. C. (2022). Skillful long-lead prediction of summertime heavy rainfall in the US Midwest from sea surface salinity. *Geophysical*

- Research Letters*, 49(13).
<https://doi.org/10.1029/2022gl098554>
- Li, L., Schmitt, R., W., Ummenhofer, C.C., & Karnauskas, K.B. (2016). North Atlantic salinity as a predictor of Sahel rainfall. *Science Advances*, 2(5).
<https://doi.org/10.1126/sciadv.1501588>
- Moura, A.D., & Shukla, J. (1981). On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. *Journal of Atmospheric Science* 38(12), 2653–2675.
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<2653:OTDODI>2.0.CO;2)
- Moura, G., B., A., Brito, J., I., B., Sousa, F., A., S., Cavalcanti, E., P., Silva, J., L., B., Nascimento, C., R., & Lopes, P., M., O. (2020). Identificação de preditores para as chuvas do setor leste do Nordeste do Brasil utilizando análise de correlação canônica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(4), 1463–1482. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>
- Moura, G.B.A., Aragão, J.O.R., Melo, J.S.P., Silva, A.P.N., Giongo, P.R., & Lacerda, F.F. (2009). Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13(4).
<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400014>
- Nie, X., Wei, Z., & Li, Y. (2020). Decadal Variability in Salinity of the Indian Ocean Subtropical Underwater During the Argo Period. *Geophysical Research Letters*, 47(22), e2020GL089104.
<https://doi.org/10.1029/2020GL089104>
- Pacheco, J., Solera, A., Avilés, A., & Tonón, M., D. (2022). Influence of ENSO on Droughts and Vegetation in a High Mountain Equatorial Climate Basin. *Atmosphere*, 13(12), 2123.
<https://doi.org/10.3390/atmos13122123>
- Pereira, M. P. S., Mendes, K. R., Justino, F., Couto, F., Da Silva, A. S., Da Silva, D. F., & Malhado, A. C. M. (2020). Brazilian dry forest (Caatinga) response to multiple ENSO: the role of Atlantic and Pacific Ocean. *Science of The Total Environment*, 705(135717).
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135717>
- Pinheiro, E., Rocha, R.P., & Drummond, A. (2021). Assessment of 20th-century reanalysis circulation patterns associated with El Niño–Southern Oscillation impacts on the tropical Atlantic and northeastern Brazil rainy season. *International Journal of Climatology* 41(7), 3824–3840. <https://doi.org/10.1002/joc.6750>
- Ranaweera, K. R. K. D. N., & Kamae, Y. (2024). Impact of El Niño Southern Oscillation on the first inter-monsoon rainfall over Sri Lanka in the post-El Niño years. *Front. Clim.* 6, 1361322.
<https://doi.org/10.3389/fclim.2024.1361322>
- Rathore, S., Bindoff, N. L., Ummenhofer, C. C., Phillips, H. E., & Feng, M. (2020). Near-surface salinity reveals the oceanic sources of moisture for Australian precipitation through atmospheric moisture transport. *Journal of Climate*, 33(15), 6707–6730.
<https://doi.org/10.1175/jcli-d-19-0579.1>
- Rathore, S., Bindoff, N. L., Ummenhofer, C. C., Phillips, H. E., Feng, M., & Mishra, M. (2021). Improving Australian rainfall prediction using sea surface salinity. *Journal of Climate*, 34(7), 2473–2490.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0625.1>
- Skliris, N., Marsh, R., Mecking, J. V., & Zika, J. D. (2020). Changing water cycle and freshwater transports in the Atlantic Ocean in observations and CMIP5 models. *Climate Dynamics*, 54, 4971–4989. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05261-y>
- Walker, G.T. (1928). Ceará (Brazil) famines and the general air movement. *Beitrag zur Physik der freien Atmosphäre*, 14, 88–93.
- Wang, J., Pan, F., An, P., Han, G., Jiang, K., Song, Y., Huang, N., Zhang, Z., Ma, S., Chen, X., & Pan, Z. (2023). Atmospheric Water Vapor Transport between Ocean and Land under Climate Warming. *Journal of Climate*, 36(17), 5861–5880. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-22-0106.1>
- Wang, J., Pan, F., Li, H., An, P.; Han, G., Jiang, K., Chen, X., Zhang, Z., Song, Y., Huang, N., Ma, S., Zhang, Z., Men, J., Lv, X., & Pan, Z. (2022). Impacts of El Niño–Southern Oscillation on tropical precipitation via triggering anomaly water vapour transport from ocean to land. *International Journal of Climatology* 43(4), 1839–1852. <https://doi.org/10.1002/joc.7948>
- Wang, Y., Li, Y., & Wei, C. (2020). Subtropical sea surface salinity maxima in the South Indian Ocean. *J. Ocean. Limnol.* 38(1), 16–29.
<https://doi.org/10.1007/s00343-019-8251-5>
- Yu L., Josey S. A., Bingham F. M., & Lee T. (2020). Intensification of the global water cycle and evidence from ocean salinity: a synthesis review. *Ann. New York Acad. Sci.* 1472(1), 76–94. doi: 10.1111/nyas.14354
<https://doi.org/10.1111/nyas.14354>

Zeng, L., Schmitt, R. W., Li, L., Wang, Q., & Wang, D. (2019). Forecast of summer precipitation in the Yangtze River Valley based

on South China Sea springtime sea surface salinity. *Climate Dynamics*, 53, 5495–5509. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04878-y>