UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRENO TRAMONTINI STEFFEN

ACOPLAMENTO OCEANO-ATMOSFERA NO SETOR ATLÂNTICO OESTE DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL EM ESCALA SINÓTICA

PONTAL DO PARANÁ 2023

BRENO TRAMONTINI STEFFEN

ACOPLAMENTO OCEANO-ATMOSFERA NO SETOR ATLÂNTICO OESTE DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL EM ESCALA SINÓTICA

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção de Bacharel, do Curso de Oceanografia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Almeida Noernberg Coorientador: Prof. Dr. Ronald Buss de Souza



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ COORDENAÇÃO DO CURSO DE OCEANOGRAFIA Avenida Deputado Aníbal Khury, 2033, - Bairro Balneário Pontal do Sul, Pontal do Paraná/PR, CEP 83255-976 Telefone: (41) 3511-8626 - http://www.ufpr.br/

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Breno Tramontini Steffen

"ACOPLAMENTO OCEANO-ATMOSFERA NO SETOR ATLÂNTICO OESTA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL EM ESCALA SINÓTICA"

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:



Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg

Prof. Orientador - Centro de Estudos do Mar (CPP-CEM) - UFPR



Prof. Dr. Ronald Buss de Souza

Coorientador - Pós-Graduação em Meteorologia no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE -

CPTEC) Documento assinado digitalmente ROSE ANE PEREIRA DE FREITAS Data: 01/03/2023 16:12:45-0300 Verifique em https://verificador.iti.br

Profa. Dra. Rose Ane Pereira de Freitas

Graduação e Pós-graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Pelotas (UFPel)

Documento assinado digitalmente MARCELO FREITAS SANTINI Data: 01/03/2023 16:25:45-0300 Verifique em https://verificador.iti.br

Dr. Marcelo Freitas Santini

Pós-Doutorando na Divisão de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas espaciais (INPE)

Pontal do Paraná, 01 de março de 2023

RESUMO

A zona de convergência intertropical é uma banda nebulosa posicionada na região equatorial, cuja variabilidade sazonal é responsável pelos máximos de precipitação observados no noroeste africano e no nordeste brasileiro. Abaixo das nuvens há o encontro dos ventos alísios de nordeste e sudeste, que promovem a divergência equatorial do Atlântico e espera-se que nesta região a termoclina se torne mais rasa. A região em que a faixa de nuvens se encontra é constantemente estudada em termos meteoceanográficos pelo projeto PIRATA, sendo o Brasil responsável por realizar amostragens de campo e a manutenção de boias dispostas ao longo do meridiano de 38° O. Assim, neste trabalho foram utilizados dados de cruzeiro batitermógrafos descartáveis e de radiossondas, coletados em oceanográfico, para estudar o acoplamento oceano-atmosfera da região da divergência oceânica para um período entre os dias 17 de outubro e 8 de novembro de 2018. Os dados, coletados entre as latitudes de 4° S e 15° N, foram comparados também com dados de temperatura e salinidade de reanálises e climatologias oceânicas que são disponibilizados online, para analisar a acurácia desses bancos de dados em representar a realidade do oceano. A região abaixo das nuvens mostrou baixos valores de salinidade na superfície do oceano, enquanto as reanálises e climatologias mostraram que, apesar de representarem bem o oceano, superestimam os valores de temperatura da base da camada de mistura em aproximadamente 13 °C. A zona de convergência intertropical estava em sua posição climatológica mais ao norte e apresentou uma clara variabilidade na escala sinótica, indo de uma forma mais esparsa para outra mais concentrada e intensa dentro de 10 dias. A mudança nos ventos e a intensificação das nuvens dentro desse período mostrou também alterações na termoclina da região, indicando a sensibilidade do oceano a alterações na atmosfera. Assim, a divergência oceânica abaixo da região nebulosa se posicionou e se tornou mais rasa ao norte guando houve a predominância dos alísios de sudeste, enquanto que com a entrada dos alísios de nordeste, a divergência se deslocou levemente para sul. As águas superficiais do oceano ao sul da divergência estavam mais quentes, provavelmente devido à proximidade com o equador. Os dados de campo expostos aqui são inéditos e têm potencial para auxiliar a previsão do tempo no Brasil e na África, assim como podem auxiliar futuros trabalhos que utilizem dados de reanálises e climatologias oceânicas para estimar o conteúdo e os fluxos de calor entre o oceano e a atmosfera.

Palavras-chave: Projeto PIRATA. Termoclina. Camada de mistura. Ventos alísios. Reanálise oceânica.

ABSTRACT

The intertropical convergence zone is a cloudy band positioned at the equatorial region, whose seasonal variability is responsible for the precipitation maxima seen in northeastern Brazil and northwestern Africa. Below the cloud formation there's the trade winds convergence, that promote the Atlantic equatorial divergence, where it is expected for the thermocline to be shallower. The region where the cloudy band is found is constantly studied in meteoceanographic terms by the PIRATA Project, with Brazil being responsible for field sampling and buoy maintenance along the 38° W meridian. Thus, in this work data from expendable bathythermographs and radiosondes were used to study the ocean-atmosphere coupling in the oceanic divergence region for the period between the days of October 17th and November 8th, 2018. The data, collected between the latitudes of 5° S and 15°N were also compared to temperature and salinity data from oceanic reanalysis and climatologies, available online, to assess the accuracy of these datasets in representing the ocean's reality. The region below the clouds showed low salinity values in the ocean surface, while the reanalysis and climatologies showed that, while they can represent the ocean, they also overestimate the temperature of the mixed layer base by approximately 13 °C. the intertropical convergence zone was at its most northern climatological position and showed a clear synoptic variability, going from a disperse form to a more intense and concentrated one within 10 days. The wind changes and the cloud intensification in this time period also showed shifts in the region's thermocline, indicating the ocean's sensibility to atmospheric changes. Hence, the oceanic divergence below the cloudy region positioned itself and became shallower to the north when there was a predominance of the south hemisphere trade winds, while it shifted slightly southward once the north hemisphere trade winds became more present. The surface water was warmer south to the divergence, probably due to the proximity to the equator. The field data here presented are unprecedented and have potential to aid weather forecasting in Brazil and Africa, just as much as it can help future works that use oceanic reanalysis and climatologies to estimate heat content and fluxes between the ocean and the atmosphere

Keywords: PIRATA Project. Thermocline. Mixed layer. Trade winds. Oceanic reanaly-

sis.

SUMÁRIO

| 1.1 OBJETIVOS 7 2 REVISÃO DA LITERATURA | 1 INTRODUÇÃO | 4 |
|--|---|----|
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 1.1 OBJETIVOS | 7 |
| 2.1 OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL82.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL92.3 DIVERGÊNCIA EQUATORIAL DO ATLÂNTICO113 MATERIAIS E MÉTODOS133.1 ÁREA DE ESTUDO133.2 METODOLOGIA163.2.1 Atmosfera163.2.1.1 Radiossondas163.2.2.2 Oceano183.2.2.2 Diagramas T-S193.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera204 RESULTADOS E DISCUSSÃO214.1 ATMOSFERA214.1.2 Radiação de onda longa214.1.2 Radiação de onda longa214.1.4 TMOSFERA214.1.1 Radiossondas214.1.2 Radiação de onda longa244.2 OCEANO264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S354.3 OCEANO264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S354.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 2 REVISÃO DA LITERATURA | 8 |
| 2.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL 9 2.3 DIVERGÊNCIA EQUATORIAL DO ATLÂNTICO 11 3 MATERIAIS E MÉTODOS 13 3.1 ÁREA DE ESTUDO 13 3.2 METODOLOGIA 16 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1.1 Radiossondas 16 3.2.1.2 Radiação de onda longa 17 3.2.2 Oceano 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.2 Radiação de onda longa 24 4.2 OCEANO 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S 35 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.1 Radiossondas 21 4.1.2 Radiação de onda longa 24 4.2 OCEANO 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S 35 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47 | 2.1 OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL | 8 |
| 2.3 DIVERGÊNCIA EQUATORIAL DO ATLÂNTICO 11 3 MATERIAIS E MÉTODOS 13 3.1 ÁREA DE ESTUDO 13 3.2 METODOLOGIA 16 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1 Radiossondas 16 3.2.1.2 Radiação de onda longa 17 3.2.2 Oceano 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.1 Radiossondas 21 4.1.2 Radiação de onda longa 24 4.2 OCEANO 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S 35 4.2.3 Correntes oceânicas 39 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA 39 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47 | 2.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL | 9 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS 13 3.1 ÁREA DE ESTUDO. 13 3.2 METODOLOGIA. 16 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1.1 Radiossondas. 16 3.2.1.2 Radiação de onda longa. 17 3.2.2 Oceano. 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S. 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera. 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.1 Radiossondas. 21 4.1.2 Radiação de onda longa. 24 4.2 OCEANO. 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S. 35 4.2.3 Correntes oceânicas 39 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA. 26 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA. 40 5 CONCLUSÕES. 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47 | 2.3 DIVERGÊNCIA EQUATORIAL DO ATLÂNTICO | 11 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO. 13 3.2 METODOLOGIA. 16 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1 Radiossondas. 16 3.2.1.1 Radiossondas. 16 3.2.1.2 Radiação de onda longa. 17 3.2.2 Oceano. 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S. 19 3.2.3 Correntes oceânicas. 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera. 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.1 Radiossondas. 21 4.1.2 Radiação de onda longa. 24 4.2 OCEANO. 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S. 35 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA. 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47 | 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 13 |
| 3.2 METODOLOGIA | 3.1 ÁREA DE ESTUDO | 13 |
| 3.2.1 Atmosfera 16 3.2.1.1 Radiossondas 16 3.2.1.2 Radiação de onda longa 17 3.2.2 Oceano 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S 19 3.2.3 Correntes oceânicas 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.2 Radiação de onda longa 24 4.2 OCEANO 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S 35 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA 39 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47 | 3.2 METODOLOGIA | 16 |
| 3.2.1.1 Radiossondas. 16 3.2.1.2 Radiação de onda longa. 17 3.2.2 Oceano. 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S. 19 3.2.3 Correntes oceânicas. 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera. 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.2 Radiação de onda longa. 24 4.2 OCEANO. 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S. 35 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA. 39 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA. 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 47 | 3.2.1 Atmosfera | 16 |
| 3.2.1.2 Radiação de onda longa. 17 3.2.2 Oceano 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S. 19 3.2.2.3 Correntes oceânicas 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.1 Radiossondas 21 4.1.2 Radiação de onda longa 24 4.2 OCEANO 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S. 35 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47 | 3.2.1.1 Radiossondas | 16 |
| 3.2.2 Oceano. 18 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S. 19 3.2.2.3 Correntes oceânicas. 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera. 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO. 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.1 Radiossondas. 21 4.1.2 Radiação de onda longa. 24 4.2 OCEANO. 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S. 35 4.2.3 Correntes oceânicas 39 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA. 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 47 | 3.2.1.2 Radiação de onda longa | 17 |
| 3.2.2.1 Temperatura da água 18 3.2.2.2 Diagramas T-S. 19 3.2.2.3 Correntes oceânicas. 19 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera. 20 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 21 4.1 ATMOSFERA 21 4.1.1 Radiossondas. 21 4.1.2 Radiação de onda longa. 24 4.2 OCEANO 26 4.2.1 Temperatura da água 26 4.2.2 Diagramas T-S. 35 4.2.3 Correntes oceânicas 39 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA. 40 5 CONCLUSÕES 45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS. 47 | 3.2.2 Oceano | 18 |
| 3.2.2.2 Diagramas T-S.193.2.2.3 Correntes oceânicas.193.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera.204 RESULTADOS E DISCUSSÃO.214.1 ATMOSFERA214.1.1 Radiossondas.214.1.2 Radiação de onda longa.244.2 OCEANO.264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S.354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.405 CONCLUSÕES.45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.47 | 3.2.2.1 Temperatura da água | 18 |
| 3.2.2.3 Correntes oceânicas.193.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera.204 RESULTADOS E DISCUSSÃO.214.1 ATMOSFERA214.1.1 Radiossondas.214.1.2 Radiação de onda longa.244.2 OCEANO.264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S.354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.47 | 3.2.2.2 Diagramas T-S | 19 |
| 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera.204 RESULTADOS E DISCUSSÃO.214.1 ATMOSFERA214.1.1 Radiossondas.214.1.2 Radiação de onda longa.244.2 OCEANO.264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S.354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 3.2.2.3 Correntes oceânicas | 19 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO214.1 ATMOSFERA214.1.1 Radiossondas214.1.2 Radiação de onda longa244.2 OCEANO264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera | 20 |
| 4.1 ATMOSFERA214.1.1 Radiossondas214.1.2 Radiação de onda longa244.2 OCEANO264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 21 |
| 4.1.1 Radiossondas214.1.2 Radiação de onda longa244.2 OCEANO264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 4.1 ATMOSFERA | 21 |
| 4.1.2 Radiação de onda longa.244.2 OCEANO.264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S.354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 4.1.1 Radiossondas | 21 |
| 4.2 OCEANO.264.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S.354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 4.1.2 Radiação de onda longa | 24 |
| 4.2.1 Temperatura da água264.2.2 Diagramas T-S.354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 4.2 OCEANO | 26 |
| 4.2.2 Diagramas T-S.354.2.3 Correntes oceânicas394.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA405 CONCLUSÕES45REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 4.2.1 Temperatura da água | 26 |
| 4.2.3 Correntes oceânicas | 4.2.2 Diagramas T-S | 35 |
| 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA40 5 CONCLUSÕES | 4.2.3 Correntes oceânicas | 39 |
| 5 CONCLUSÕES45 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA | 40 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS47 | 5 CONCLUSÕES | 45 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 47 |

1 INTRODUÇÃO

O oceano tem papel fundamental no controle do clima global, atuando em diferentes escalas de tempo e espaço (CAVALCANTI et al., 2009). Ele absorve, transporta e armazena calor, além de realizar trocas de energia e massa com a atmosfera (SMITH et al., 1996). As interações com a atmosfera ocorrem nas águas oceânicas de superfície e subsuperfície (HASTENRATH; MERLE, 1987; SOUZA e PEZZI, 2020) e seu entendimento é essencial para compreensão da variabilidade climática em escalas de tempo curtas e longas (PEZZI et al., 2016).

Exemplos de acoplamento oceano-atmosfera podem ser encontrados em diversas regiões como a Confluência Brasil-Malvinas (PEZZI et al., 2016; SOUZA et al., 2021; SOUZA e PEZZI, 2020), o Oceano Pacífico equatorial devido ao fenômeno El-Niño-Oscilação Sul (ENOS) (CAPOTOLDI et al., 2015; WANG, 2018), a Corrente Circumpolar Antártica (CONSTANTIN e JOHNSON, 2016; YANG et al., 2018) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (HASTENRATH e HELLER, 1977; HAS-TENRATH e LAMB, 1977; HASTENRATH e MERLE, 1987).

O entendimento do comportamento da ZCIT e seu acoplamento com o oceano é imprescindível para previsões climáticas, regionais e globais, baseadas em modelagem numérica, necessárias para a elaboração de políticas de mitigação ambiental. Segundo Uvo (1989) a ZCIT é formada pela interação de outros sistemas meteorológicos equatoriais, como o Cavado Equatorial, Zona de Convergência dos Alísios (ZCA), a banda de máxima nebulosidade, a zona de máxima TSM e a zona de máxima convergência. Esses sistemas não estão localizados nas mesmas latitudes, mas estão próximos e apresentam correlações fortes entre suas migrações meridionais. Por isso, a autora também afirma que diversos pesquisadores utilizam diferentes sistemas, dentre os citados, como representativos da posição da ZCIT e escolheu utilizar a banda de máxima nebulosidade em seu trabalho. O presente trabalho irá utilizar tanto a cobertura de máxima nebulosidade como a localização da ZCA para observar a presença da ZCIT.

A ZCIT geralmente se encontra deslocada para o hemisfério norte, variando sobre o Oceano Atlântico entre as latitudes de 2º S e 15º N. Ao seu norte, os ventos

dominantes são os alísios de nordeste, ao seu sul são os de sudeste e, entre essas duas regiões, há um enfraquecimento no regime de ventos (CAVALCANTI et al., 2009). Entre os meses de verão e outono austral, a ZCIT se encontra em sua posição mais ao sul, resfriando a TSM do Atlântico Tropical Norte devido à presença dos ventos alísios de nordeste. Já entre os meses de inverno e primavera austral os ventos alísios de sudeste se tornam mais presentes, aumentando o gradiente de TSM para norte (HASTENRATH, HELLER, 1977; NOGUEIRA NETO et al., 2018). Esse gradiente em direção ao norte, em conjunto com o transporte meridional oceânico de calor promovido pela Circulação de Revolvimento Meridional do Atlântico (AMOC) aquecem o hemisfério norte mais do que o sul, o que desloca a posição média da ZCIT para norte do Equador (NOGUEIRA NETO et al., 2018; SCHNEIDER et al., 2014). Apesar de apresentar uma migração sazonal, Goswami et al. (1984) já observaram, por meio de modelo climático, oscilações na posição da ZCIT na escala de 10 a 20 dias. Porém dados observacionais acerca das variações da ZCIT na escala

A precipitação da região equatorial é fortemente influenciada pela presença da ZCIT, o que já foi amplamente estudado para os continentes sul-americano, africano e asiático (CABOS et al., 2019; CARVALHO e OYAMA, 2013; CITEAU et al., 1988; FOLTZ et al., 2019; FONTAINE et al., 2011; HASTENRATH e HELLER, 1977; DE MELO et al., 2000; MOURA e SHUKLA, 1982; NÓBREGA et al., 2014; SIKKA e GADGIL, 1980; UVO, 1989). No Brasil, a região mais afetada pela presença desse sistema é o nordeste brasileiro, que apresenta seus máximos de pluviosidade (entre março e abril) quando a ZCIT se apresenta em sua posição mais ao Sul (FOLTZ et al., 2019; UVO, 1989). A ZCIT costuma se posicionar sobre zonas oceânicas com maiores TSMs (MOURA, SHUKLA, 1982), fazendo com que, em situações de anomalias de TSM positivas no Atlântico Tropical Norte, a banda de nebulosidade se desloque para o norte, causando um período de seca no nordeste brasileiro (MA-RENGO et al., 2016; HASTENRATH e HELLER, 1977; MOURA e SHUKLA, 1982). Em regiões com presença dos ventos alísios a mistura vertical das águas superficiais aumenta, aprofundando a termoclina, enquanto em condições de convergência atmosférica a termoclina se torna mais rasa (FOLTZ et al., 2003; FOLTZ et al., 2020). Na escala atmosférica sinótica é esperado o enfraquecimento nos ventos e uma termoclina mais rasa no oceano imediatamente abaixo da ZCIT.

A região da ZCIT no Oceano Atlântico Tropical é constantemente amostrada pelo projeto PIRATA (*Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic*), que busca compreender os processos acoplados oceano-atmosfera que ocorrem no Oceano Atlântico Tropical, através de uma colaboração internacional entre Brasil, Estados Unidos da América e França. O PIRATA mantém um conjunto de boias fundeadas em águas profundas com sensores meteorológicos e oceanográficos, além de cruzeiros anuais para coleta e armazenamento de dados (BOURLÈS et al., 2019, FOLTZ et al., 2019). O Brasil é responsável pela manutenção das boias presentes ao longo do paralelo 38°O, região alvo deste estudo. Além dos dados usuais do projeto, durante a pernada 3 da comissão PIRATA-XVIII que ocorreu entre os dias 16 de outubro e 10 de novembro de 2018, coletou-se uma série de dados inéditos de oceano e atmosfera em alta resolução espacial ao longo do meridiano 38° O que serviram de base ao presente estudo.

Neste contexto, este trabalho analisa, a partir de dados *in situ*, a variabilidade do acoplamento oceano-atmosfera na região da ZCIT do Atlântico dentro do período de 21 dias, além de comparar dados oceanográficos com bancos de dados de livre acesso. Assim, o estudo pode, no futuro, contribuir para a previsão climática regional do nordeste brasileiro, assim como para o noroeste africano.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é analisar o comportamento da ZCIT e das camadas superficiais e subsuperficiais do Oceano Atlântico Tropical Oeste a partir de dados observacionais tomados *in situ* entre 16 de outubro e 10 de novembro de 2018 ao longo do meridiano 38°O.

Os objetivos específicos são:

- Comparar os dados de XBTs (eXpendable bathythermographs batitermógrafos descartáveis) coletados *in situ* com dados de reanálises e climatologia oceanográficas;
- II) Descrever a posição e o deslocamento da ZCIT no Oceano Atlântico Tropical Oeste com base em dados de vento obtidos por radiossondas, e de nebulosidade (radiação de ondas longas) obtidos por reanálises meteorológicas;
- III) Descrever o comportamento da TSM e da profundidade da termoclina a partir de dados de XBTs dentro e fora da ZCIT ao longo do meridiano 38°O;
- IV) Descrever as características sinóticas do acoplamento oceanoatmosfera ao longo do meridiano 38°O considerando as variáveis TSM e temperatura do ar, vento e umidade relativa do ar ao nível do mar.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 OCEANO ATLÂNTICO TROPICAL

O Oceano Atlântico Tropical (OAT) possui uma variabilidade conhecida em diversas escalas de tempo (intra e intersazonal, interanual e multidecadal) e espaço (locais, regionais, entre hemisférios e entre bacias oceânicas). Porém, apesar de conhecida, ainda há muito a avançar sobre a previsibilidade da variabilidade do OAT, devido a seu impacto na sociedade. Essa variabilidade se apresenta na forma de diferentes modos, já bem estudados, como o Modo Zonal do Atlântico (MZA), o Modo Meridional do Atlântico (MMA), o Niño de Benguela (NB), a Variabilidade Multidecadal do Atlântico (VMA), além de conexões entre bacias oceânicas, entre os polos e variabilidades de mesoescala e intrasazonais (LÜBBECKE et al., 2022).

A FIGURA 1 ilustra os modos de variabilidade do OAT e como os mesmos podem interagir entre si e com outros fenômenos fora do OAT, governando o clima dos continentes próximos. As principais conexões entre o OAT e o resto do oceano ocorre por teleconexões atmosféricas com o Oceano Pacífico, principalmente com o fenômeno EI-Niño – Oscilação Sul (ENOS) e a Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), e com o Atlântico Norte, por meio da AMOC e da VMA (HUMMELS, et al., 2022; RODRIGUES e RODRIGUEZ-FONSECA, 2022).

A variabilidade do OAT ainda interfere na sociedade, principalmente da América do Sul e da África ocidental. Com feedbacks oceano-atmosfera o OAT tem o potencial de causar períodos de seca ou enchente em ambos os continentes que o rodeiam, principalmente na região amazônica. Assim como a variabilidade da TSM pode controlar o estoque pesqueiro, principalmente no oeste africano (RODRIGUES e RODRIGUEZ-FONSECA, 2022; SPEICH et al., 2022). Assim, é possível entender como o OAT tem potencial de influenciar as condições socioeconômicas da sociedade que depende dele e a importância do Sistema Observacional do Atlântico para a sua previsibilidade.



FIGURA 1 - Mapa do principais processos de variabilidade do Oceano Atlântico Tropical. Imagem adaptada de Speich et al. (2022).

2.2 ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL

A ZCIT possui uma variabilidade sazonal no Oceano Atlântico já conhecida, atingindo sua posição mais ao norte na primavera austral (setembro-outubronovembro - SON) (CABOS et al., 2019; NORRIS, 1998; UTIDA et al., 2018; VILELA et al., 2018; WILSON et al., 2011), quando há um enfraquecimento na monção do oeste africano (CABOS et al., 2019; FOLTZ et al., 2019). Nesse momento, há na região equatorial uma predominância dos ventos alísios de sudeste. Já no momento em que a ZCIT está em sua posição mais ao sul, no outono austral (março-abrilmaio - MAM), há uma predominância dos alísios de nordeste na região equatorial (FIGURA 2).



FIGURA 2 - Correntes superficiais e subsuperficiais do Atlântico tropical e sua relação com a posição sazonal da ZCIT (ITCZ) para o verão austral (fevereiro – mapa de cima) e para o inverno austral (agosto – mapa de baixo). Corrente Norte Equatorial (North Equatorial Current), Corrente Norte do Brasil (North Brazil Current), Corrente Subsuperficial Equatorial (Equatorial Undercurrent), Corrente de Guiné (Guinea Current), Corrente Sul Equatorial (South Equatorial Current), Corrente do Brasil (Brazil Current), Contracorrente Norte Equatorial (North Equatorial Current) e Ressurgência na Bacia de Guiné (Guinea Basin Upwelling). Imagem retirada de NORRIS (1998).

A ZCIT pode ter sua posição regida pela variabilidade do OAT, sendo que quando a mesma se encontra em sua posição mais ao sul há um forte acoplamento oceano-atmosfera devido ao MZA (LÜBBECKE et al., 2022). Da mesma forma, quando há uma fase negativa (positiva) do MMA a ZCIT pode se posicionar anomalamente ao sul (norte), causando períodos de chuvas e enchentes (secas) no norte e nordeste do Brasil (noroeste africano) (LÜBBECKE et al., 2022; RODRIGUES e RODRIGUEZ-FONSECA, 2022).

A variabilidade da ZCIT é responsável pelos máximos de precipitação no nordeste brasileiro e no noroeste africano e está diretamente atrelada aos ventos alísios. Assim, uma das maneiras de se identificar a sua posição é identificando a ZCA (CAVALCANTI et al. 2009; UVO, 1989), onda há tanto um enfraquecimento dos alísios de nordeste e de sudeste quanto uma banda de máximos de nebulosidade.

As nuvens da região são formadas a partir do seguinte mecanismo: a convergência dos alísios em baixos níveis gera um movimento vertical, ascendendo ar quente, que então é condensado devido ao resfriamento vertical da atmosfera.

Os máximos de nebulosidade também nos permitem identificar a posição da ZCIT através de dados de radiação de onda longa (ROL). ROL é a radiação emitida pela superfície do planeta, que pode ser impedida de chegar ao topo da atmosfera pela presença de nuvens (CAVALCANTI et al., 2009). Logo, na posição onde ocorrem as menores médias de ROL nos indica uma maior concentração nebulosa e, consequentemente, os valores máximos da razão de mistura atmosférica. A razão de mistura atmosférica, uma das maneiras de se quantificar a umidade do ar, por definição, é a razão da massa de vapor de água pela massa de ar seco em uma dada porção da atmosfera (UCAR, 2023).

Dados de ROL e de conteúdo de vapor atmosférico também são importantes para obtermos valores do conteúdo de calor global, o que pode se tornar ainda mais interessante em locais de grande acoplamento oceano-atmosfera como a região da ZCIT. O conteúdo de calor é o balanço entre a radiação solar que é absorvida pela superfície terrestre e a radiação que o planeta emite, na forma de ROL, assim como outros fatores, como as trocas de calor (sensível e latente) entre o oceano e a atmosfera (RWU, 2023). Esse conceito é importante porque nos permite calcular as trocas de calor que ocorrem no acoplamento entre o oceano e a atmosfera. Atualmente, isso pode ser realizado a partir de dados de satélite, reanálises e outros bancos de dados meteoceanográficos, porém mesmo com os avanços tecnológicos atuais, as medições *in situ* ainda são a maneira mais confiável de se conseguir tais medições.

2.3 DIVERGÊNCIA EQUATORIAL DO ATLÂNTICO

A divergência equatorial é um fenômeno encontrado nos Oceanos Pacífico e Atlântico (CABOS et al., 2019). A mesma ocorre devido as correntes superficiais criadas pelos ventos alísios e pelo Efeito de Coriolis. As correntes superficiais criadas pelos ventos alísios de ambos os hemisférios são direcionadas para oeste, enquanto o transporte de Ekman ocorre para a direita dos ventos no hemisfério norte e para a esquerda no hemisfério sul. Dessa maneira, as águas superficiais se movem em direção aos polos, fazendo com que águas subsuperficiais ascendam, tornando a termoclina da região mais rasa (TALLEY et al., 2011) (FIGURA 3).



FIGURA 3 - a) Divergência equatorial, resultante do transporte de Ekman forçado pelos ventos alísios. b) Efeito da divergência equatorial na termoclina e na altura da superfície do mar. Ventos alísios (Trade Winds), transporte de Ekman para norte e para sul (Ekman transport – northward e southwadr, respectivamente), hemisfério norte (Northern Hemisphere), Equador (Equator), Hemisfério Sul (Southern Hemisphere), superfície do mar quente e fria (Sea Surface – warm e cold, respectivamente), ressurgência (Upwelling). Imagem retirada de TALLEY et al. (2011).

O transporte líquido da região equatorial é, então, em direção aos polos, o que faz com que dependendo da posição da ZCA e, consequentemente, da ZCIT, as correntes superficiais logo abaixo desses sistemas se encontrem mais fracas do que as demais correntes do Oceano Atlântico Tropical. As principais correntes da região são a Corrente do Norte do Brasil (CNB), a Corrente do Brasil (CB), a Corrente Norte Equatorial (CNE), a Corrente Sul Equatorial (CSE), a Corrente Subsuperficial Equatorial (CSSE) e a Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) (FIGURA 2).

A CCNE é fortalecida pela migração para norte da ZCIT, pois o enfraquecimento dos alísios de nordeste permite uma maior retroflexão da CNB, que alimenta a CCNE. Durante a primavera austral a CCNE fortalece a Corrente de Guiné, favorecendo a ressurgência costeira no Golfo de Guiné (NORRIS,1998). A água fria e rica em nutrientes que ascende a superfície nesta ocasião tem origem da CSSE (FIGURA 2).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área a ser estudada é o Atlântico Tropical Oeste, especificamente um transecto percorrido por navio ao longo do meridiano de 38° O, entre as latitudes 5° Sul e 15° Norte (FIGURA 4).



FIGURA 4 - Mapas da Pernada 3 da Comissão PIRATA-XVIII. A subida do navio está representada no mapa da esquerda e a descida no mapa da direita. Em vetores azuis estão represeentadas as correntes superficiais do Oceano Atlântico, a partir do Projeto OSCAR, enquanto os pontos pretos e vermelhos representam, respectivamente, os XBTs e as radiossondas coletadas no meridiano 38° Oeste para ambos os trajetos do navio. Imagens de autoria própria.

Para a Pernada 3 da Comissão PIRATA-XXVIII o navio de Pesquisa Hidroceanográfico (NPqHo) Vital de Oliveira partiu do porto de Natal (RN) no dia 16 de outubro de 2018, sentido Norte para percorrer o meridiano 38°O. O navio retornou para terra no dia 10 de novembro de 2018 no porto de Fortaleza (CE). Durante a Pernada, foram amostrados perfis verticais do oceano e da atmosfera a partir de XBTs e radiossondas, respectivamente, além de outros, durante a subida (sentido sul-norte) e a descida (sentido norte-sul) do navio no mar. A subida do navio ocorreu entre os dias 17 e 27 de outubro, enquanto a descida ocorreu entre os dias 27 de outubro e 8 de novembro. A FIGURA 4 mostra as estações de coleta de dados meteorológicos e oceanográficos realizadas durante a Pernada 3, divididas entre a subida e a descida do navio. A TABELA 1**Error! Reference source not found.** apresenta todas as estações oceanográficas e meteorológicas que foram realizadas durante a Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII, assim como suas respectivas datas e coordenadas.

TABELA 1 - Lista de todas as estações oceanográficas e meteorológicas em ordem cronológica, com suas respectivas datas e localizações de amostragem, da Pernada 3 da PIRATA-XVIII. As células em cinza representam a subida e as células azuis representam a descida. Tabela de autoria própria.

| | | | | • • • | | | |
|---------------|------------|----------|-----------|----------------|------------|----------|-----------|
| Instrumento | Data | Latitude | Longitude | Instrumento | Data | Latitude | Longitude |
| XBT-1 | 17/10/2018 | -3,4904 | -36,3996 | Radiossonda-22 | 31/10/2018 | 11,9779 | -37,8169 |
| XBT-2 | 18/10/2018 | -2,5005 | -37,1003 | XBT-33 | 31/10/2018 | 11,6726 | -38,0132 |
| XBT-3 | 18/10/2018 | -2,0102 | -37,4187 | Radiossonda-23 | 31/10/2018 | 11,9729 | -37,9719 |
| XBT-4 | 18/10/2018 | -1,4941 | -37,466 | Radiossonda–24 | 31/10/2018 | 11,6943 | -38,0142 |
| Radiossonda-1 | 18/10/2018 | -1,2357 | -38 | XBT-34 | 01/11/2018 | 11,334 | -38,0077 |
| XBT-5 | 18/10/2018 | -0,6969 | -37,777 | XBT-35 | 01/11/2018 | 10,6657 | -38,0111 |
| XBT-6 | 19/10/2018 | 0,31426 | -37,8702 | Radiossonda-25 | 01/11/2018 | 10,64 | -38,0109 |
| Radiossonda-2 | 19/10/2018 | 0,92648 | -38 | XBT–36 | 01/11/2018 | 10,2997 | -38,0036 |
| XBT-7 | 19/10/2018 | 1,28765 | -37,9923 | Radiossonda–26 | 01/11/2018 | 10,01 | -38,0176 |
| XBT-8 | 19/10/2018 | 2,29752 | -37,9829 | XBT-37 | 02/11/2018 | 9,689 | -38,0091 |
| XBT–9 | 20/10/2018 | 3,08861 | -37,9822 | Radiossonda-27 | 01/11/2018 | 9,68 | -38,0096 |
| Radiossonda-3 | 20/10/2018 | 3,6887 | -38 | XBT–38 | 02/11/2018 | 9,30298 | -37,9965 |
| XBT-10 | 21/10/2018 | 5,00982 | -37,943 | Radiossonda-28 | 02/11/2018 | 9 | -38,01 |
| Radiossonda–4 | 21/10/2018 | 5,57833 | -38 | XBT-39 | 02/11/2018 | 8,65549 | -37,9931 |
| XBT-11 | 21/10/2018 | 6,00703 | -37,9701 | Radiossonda–29 | 02/11/2018 | 8,65 | -38,9954 |
| XBT-12 | 21/10/2018 | 7,00465 | -38,0187 | XBT-40 | 02/11/2018 | 8,31388 | -37,9758 |
| Radiossonda–5 | 22/10/2018 | 7,94808 | -38 | Radiossonda-30 | 02/11/2018 | 8 | -38,0189 |
| XBT-13 | 23/10/2018 | 8,97602 | -38,0111 | Radiossonda–31 | 03/11/2018 | 7,67 | -38,0009 |
| Radiossonda–6 | 23/10/2018 | 9,2877 | -38 | XBT-41 | 03/11/2018 | 7,66611 | -37,9982 |
| XBT-14 | 23/10/2018 | 10,0310 | -38,0123 | XBT-42 | 03/11/2018 | 7,34322 | -37,9981 |

| XBT-15 | 24/10/2018 | 11,0246 | -38,0001 | Radiossonda-32 | 03/11/2018 | 7,01 | -37,9982 |
|----------------|------------|----------|----------|----------------|------------|---------|----------|
| Radiossonda-7 | 24/10/2018 | 11,5125 | -38 | XBT-43 | 03/11/2018 | 7,00563 | -37,9984 |
| XBT-16 | 24/10/2018 | 12,0392 | -37,9605 | XBT-44 | 04/11/2018 | 6,64170 | -37,9872 |
| XBT-17 | 25/10/2018 | 12,9905 | -38,0086 | Radiossonda-33 | 04/11/2018 | 6,64 | -37,9883 |
| Radiossonda-8 | 25/10/2018 | 13,2003 | -38 | XBT-45 | 04/11/2018 | 6,33764 | -37,994 |
| XBT-18 | 25/10/2018 | 14,0138 | -38,0167 | Radiossonda-34 | 04/11/2018 | 6 | -38,0314 |
| XBT-19 | 25/10/2018 | 14,6665 | -38,0125 | XBT–46 | 04/11/2018 | 5,66831 | -38,0056 |
| Radiossonda-9 | 26/10/2018 | 14,9951 | -38 | Radiossonda-35 | 04/11/2018 | 5,63 | -38,005 |
| Radiossonda-10 | 26/10/2018 | 14,99 | -38,0075 | XBT-47 | 04/11/2018 | 5,34165 | -37,9852 |
| Radiossonda-11 | 27/10/2018 | 14,99 | -37,9944 | XBT-48 | 05/11/2018 | 5,02741 | -37,9999 |
| XBT-20 | 27/10/2018 | 14,3332 | -37,9987 | Radiossonda-36 | 05/11/2018 | 5,02 | -37,9964 |
| Radiossonda-12 | 27/10/2018 | 14,33 | -37,9989 | XBT-49 | 05/11/2018 | 4,67215 | -37,982 |
| Radiossonda-13 | 27/10/2018 | 14 | -37,0007 | XBT-50 | 05/11/2018 | 4,33080 | -37,9625 |
| XBT-21 | 27/10/2018 | 13,6743 | -38,0002 | Radiossonda–37 | 05/11/2018 | 4,31 | -37,9625 |
| XBT-22 | 28/10/2018 | 13,326 | -38,0088 | Radiossonda–38 | 05/11/2018 | 3,99 | -37,9463 |
| Radiossonda-14 | 28/10/2018 | 12 | -38,0093 | XBT-51 | 05/11/2018 | 3,67353 | -37,9785 |
| Radiossonda-15 | 28/10/2018 | 12,98 | -38,0574 | Radiossonda-39 | 05/11/2018 | 3,66 | -37,9769 |
| XBT-23 | 28/10/2018 | 12,6706 | -38,0626 | XBT-52 | 06/11/2018 | 3,34346 | -37,9991 |
| Radiossonda-16 | 29/10/2018 | 12,67 | -37,9464 | Radiossonda–40 | 06/11/2018 | 3,02 | -38,0149 |
| XBT-24 | 29/10/2018 | 12,3153 | -38,0639 | Radiossonda-41 | 06/11/2018 | 2,67 | -38,0185 |
| XBT-25 | 29/10/2018 | 11,9958 | -37,9332 | XBT-53 | 06/11/2018 | 2,66982 | -38,0192 |
| Radiossonda-17 | 30/10/2018 | 12,02 | -37,7059 | XBT-54 | 06/11/2018 | 2,34054 | -38,0053 |
| Radiossonda-18 | 30/10/2018 | 12 | -37,7658 | Radiossonda-42 | 06/11/2018 | 2 | -38,0023 |
| XBT-26 | 30/10/2018 | 11,989 | -37,6136 | XBT-55 | 07/11/2018 | 1,65930 | -38,0208 |
| XBT-27 | 30/10/2018 | 12,0182 | -37,6961 | Radiossonda-43 | 07/11/2018 | 1,62 | -38,0191 |
| XBT-28 | 30/10/2018 | 11,96921 | -37,9079 | XBT-56 | 07/11/2018 | 1,32494 | -38,0214 |
| XBT-29 | 30/10/2018 | 11,9946 | -37,7605 | Radiossonda-44 | 07/11/2018 | 1,01 | -37,9853 |
| Radiossonda–19 | 30/10/2018 | 11,98 | -37,373 | XBT-57 | 07/11/2018 | 0,67224 | -37,9967 |
| Radiossonda-20 | 30/10/2018 | 11,98 | -37,9109 | Radiossonda-45 | 07/11/2018 | 0,66 | -37,9955 |
| XBT-30 | 31/10/2018 | 11,9768 | -37,7326 | XBT-58 | 07/11/2018 | 0,33283 | -38,0095 |
| XBT-31 | 31/10/2018 | 11,9822 | -37,8095 | Radiossonda-46 | 08/11/2018 | -0,01 | -38,0063 |
| XBT-32 | 31/10/2018 | 11,969 | -37,9857 | Radiossonda-47 | 08/11/2018 | -1 | -37,9981 |
| Radiossonda-21 | 31/10/2018 | 11,9675 | -37,7466 | | | | |

3.2 METODOLOGIA

As rotinas de códigos para gerar os perfis médios de acoplamento oceanoatmosfera ao longo do meridiano de 38°O foram disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e foram apenas adaptadas. Já as rotinas para gerar os demais resultados foram desenvolvidas no próprio software pelo autor desse trabalho. Os dados utilizados serão separados entre: Atmosfera, Oceano e Interação oceano-atmosfera. Para as análises, os mapas plotados todos estão entre as latitudes de 5° Sul e 20° Norte e as longitudes de 50° oeste e 15° oeste, enquanto os perfis meridionais gerados estão entre as latitudes de 5° sul e 15° norte. Para esses últimos, a profundidade máxima utilizada foi de 200 m (a qual foi multiplicada por 10 para melhor visualização da estrutura vertical da temperatura) e altitude máxima de 2000 m.

3.2.1 Atmosfera

3.2.1.1 Radiossondas

Os dados *in situ* utilizados para representar a atmosfera neste trabalho foram coletados por radiossondas, durante a Comissão PIRATA – XVIII. As radiossondas são instrumentos meteorológicos descartáveis, presos a um balão, que coletam dados como temperatura do ar e direção e intensidade dos ventos, pressão e umidade relativa do ar durante sua ascensão na atmosfera, enquanto enviam estes dados para um computador.

Um total de 47 radiossondas (9 na subida e 38 na descida) lançadas pelo projeto PIRATA ao longo do meridiano 38° O foram utilizadas neste trabalho (TABELA 1). Assim, foram utilizados dados de temperatura do ar, direção e intensidade do vento e razão de mistura do ar para representar a atmosfera, especialmente sobre a camada de mistura atmosférica marinha (SOUZA e PEZZI, 2021).

A razão de mistura não é uma variável que pode ser coletada diretamente, mas pode ser encontrada através das equações 1) (pressão de vapor de saturação) e 2) (razão de mistura):

$$e_z = 6,112 * e^{\left(\frac{17,67*T}{T+243,5}\right)}$$
 1)

$$q_{z} = \left(\frac{rh_{z} * 0.622 * e_{z}}{P - e_{z}}\right) * 10$$
²⁾

em que e_z é a pressão de vapor (hPa), T é a temperatura do ar em Kelvin, q_z é a razão de mistura atmosférica (g/Kg), rh_z é a umidade relativa (%) e P é a pressão atmosférica (hPa).

As variáveis atmosféricas temperatura, direção e intensidade de ventos foram representadas em perfis meridionais acoplados com o oceano, para facilitar a descrição do acoplamento entre os dois compartimentos. Já a razão de mistura teve perfis meridionais próprios confeccionados para auxiliar na determinação da posição da ZCIT durante a subida e a descida, assim como foi feito um perfil da diferença da variável entre ambos os trajetos.

3.2.1.2 Radiação de onda longa

Segundo Cavalcanti et al. (2009), a ZCIT está associada à zona de mínimos valores de ROL, logo, dados de reanálises meteorológicas ERA5 horários de ROL (*Top Thermal Radiation*) também serão usados. Esses dados são disponibilizados por Hersbach et al. (2018) em uma resolução de 0,25° x 0,25° diária na plataforma online do programa de observação espacial da União Europeia Copernicus (<u>https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form</u>). As imagens geradas correspondem aos dias da subida e da descida e à diferença na emissão de ROL entre ambos os trajetos.

3.2.2 Oceano

3.2.2.1 Temperatura da água

Para representar a temperatura do mar neste trabalho foram utilizados dados coletados *in situ*, assim como outros disponíveis em dois bancos de dados *online*, uma reanálise oceânica e uma climatologia feita através de dados coletados em campo. Os dados *in situ* serão utilizados para descrever o acoplamento oceano-atmosfera na ocasião da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Já os dados retirados *online* serão comparados com os dados do Projeto PIRATA para avaliar sua capacidade de representar o conteúdo de calor do oceano.

Os dados *in situ* supramencionados foram coletados por XBTs do tipo *Deep Blue*, equipamentos oceanográficos descartáveis que são lançados ao mar e enviam dados de temperatura da água aproximadamente a cada 0,6 metro percorrido, chegando a alcançar a profundidade de 760 m (SANTOS, 2016). Um total de 58 XBTs estão com dados viáveis e foram utilizados, sendo 19 coletados durante a subida e 39 durante a descida (TABELA 1).

As reanálises oceânicas ORAS5 (*Ocean Reanalysis System 5* – Sistema de Reanálises Oceânicas 5) foram as escolhidas e estão disponíveis em uma resolução espacial de 0,25° x 0,25°, com 75 níveis verticais, na plataforma *online* do programa de observação espacial da União Europeia, Copernicus, (<u>https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/10.24381/cds.67e8eeb7?tab=for</u> <u>m</u>) (Zuo et al., 2018), com uma resolução temporal mensal. Foi calculada também uma climatologia dos meses de outubro e novembro, para os anos 1981 – 2010, que também será comparada com os dados do Projeto PIRATA.

Já os dados climatológicos escolhidos pertencem ao World Ocean Atlas (WOA), disponibilizados por Boyer et al. (2018) (<u>https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-atlas</u>) com uma resolução espacial de 0,25° x 0,25° e uma resolução temporal mensal. A climatologia utilizada para o WOA foi realizada entre os anos 2005 – 2017.

As comparações ocorreram após um redimensionamento de grade de ambos os bancos de dados, para que se equiparassem aos dados de XBT. A subida

(descida) do navio foi comparada com o mês de outubro (novembro) de 2018 e com a climatologia de outubro (novembro) da reanálise oceânica, e da mesma forma com a climatologia WOA. As comparações se deram de três maneiras: gráficos de dispersão, cálculos de viés e RMSE (*Root Mean Squared Error – raíz do erro qudrático médio*) e plots de viés. As equações de viés e RMSE utilizadas estão representadas abaixo, respectivamente como:

$$Viés (^{\circ}C) = \hat{T} - T$$
³

RMSE (°C) =
$$\sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(\hat{T}_i - T_i)^2}{n}}$$
 4)

onde, \hat{T} é a temperatura coletada pelos XBTs e T é a temperatura a ser comparada, ou seja, os dados de reanálise ou do WOA.

3.2.2.2 Diagramas T-S

Ainda foram usados dados de salinidade de ambos os bancos de dados ORAS5 e WOA para gerar diagramas T-S das climatologias citadas e observar a estrutura interna do oceano para as datas da Pernada 3. Os diagramas foram confeccionados ao longo do meridiano de 38° O e divididos em quatro bandas latitudinais: entre 5° S e 0°, entre 0° e 5° N, entre 5° N e 10° N e entre 10° N e 15° N. Não foi possível gerar diagramas TS com dados *in situ* visto que os dados trabalhados aqui foram coletados por XBTs, ou seja, representam apenas a temperatura da água.

3.2.2.3 Correntes oceânicas

Dados de correntes superficiais do projeto OSCAR (*Ocean Surface Current Analysis Real-Time*) também foram utilizados. Esses dados são produtos de observações *in situ* e de satélites, e são oferecidos numa resolução espacial de 0,33° x 0,33° latitude/longitude e uma resolução temporal de 5 dias (Bonjean et al., 2002) e estão disponibilizados na plataforma do Physical Oceanoraphy Distributed Active NASA Archive Center (PODAAC) da (https://podaacwww.jpl.nasa.gov/dataset/OSCAR_L4_OC_third-deg). 0 mapa de correntes (FIGURA 2) superficiais foi gerado para os dias que compreendiam tanto a subida quanto a descida, com médias a cada 1,65° x 1,65°. A observação das correntes pode ajudar na determinação da ZCIT, como já mencionado na seção 2.3.

3.2.3 Acoplamento Oceano-Atmosfera

A descrição do acoplamento entre o oceano e a atmosfera foi feita para a subida e da descida do navio ao longo do meridiano 38°O através de perfis acoplados oceano-atmosfera na escala sinótica, conforme metodologia descrita em PEZZI et al. (2016) e SOUZA e PEZZI (2020). Esses perfis ilustram a temperatura da água do mar e do ar, direção e intensidade dos ventos, posição das radiossondas e posição dos XBTs. A direção e a intensidade dos ventos ajudaram na determinação da posição sinótica da ZCIT.

A partir dos perfis de subida e descida do navio foi possível comparar os mesmos, levando em conta que a ZCIT possui uma variabilidade na escala de dias, que altera as condições do oceano adjacente. Também foi gerado um perfil acoplado da diferença entre as datas de subida e descida do navio, para evidenciar as amplitudes e locais das maiores mudanças entre a temperatura do ar e da água na escala sinótica entre as datas amostradas.

Após a determinação da posição da ZCIT foram elaborados perfis de temperatura da água do mar com médias e desvios padrão seguindo a metodologia proposta por RABELO et al. (2012). Isso foi realizado para as regiões dentro e fora da ZCIT, de acordo com sua posição observada nas imagens de satélite de ROL, nos dados de vento e de razão de mistura coletados nos dias de amostragem. Assim, foram determinadas a profundidade e a temperatura médias da termoclina e da camada de mistura para os setores dentro e fora da ZCIT, para a subida e a descida do navio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATMOSFERA

4.1.1 Radiossondas

A fim de determinar a posição da ZCIT a partir dos dados de radiossondas, foram plotados perfis meridionais de razão de mistura, direção e intensidade de ventos. Para tal é preciso considerar apenas valores acima de 1000 m de altitude, visto que próximo à superfície do mar há altas concentrações de vapor d'água. Durante a subida (FIGURA 5) é possível observar dois picos nos valores de razão de mistura atmosférica, um entre 5° N e 8° N e outro próximo de 14° N, ambos na casa de 12 g/Kg. Como a razão atmosférica representa o conteúdo de vapor no ar, podese afirmar que esses valores altos indicam a presença de duas grandes concentrações nebulosas, com nuvens esparsas entre as mesmas.



FIGURA 5 - Plot meridional para subida e descida do navio da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII com valores de razão de mistura e vetores com direção e intensidade da componente meridional dos ventos. Imagem de autoria própria.

Há um domínio de ventos alísios de sudeste durante a subida, os quais se mostraram enfraquecidos entre 0° e 14° N. Os ventos mais fortes são observados em 1° S e em 15° N, com velocidades máximas de 10,64 m/s e 10,78 m/s respectivamente. Há de se pontuar que durante a subida foram lançadas apenas 9 radiossondas, o que talvez não seja um número ótimo para representar um trajeto de aproximadamente 15° de latitude.

Durante a descida (FIGURA 5), novamente o acúmulo nebuloso está com valores próximos de 12 g/Kg, porém agora entre as latitudes de 5° N e 12° N, mostrando a variabilidade da atmosfera, capaz de alterar suas propriedades em um intervalo de 10 dias (entre o início da subida e da descida). Isso confirma o observado pelo modelo aplicado por Goswani et al. (1984), que a ZCIT possui uma variabilidade na escala sinótica, o que não foi observado por dados *in situ* até o momento.

Ao norte (sul) da concentração nebulosa os ventos predominantes são os de nordeste (sudeste), com velocidades máximas de 10,48 m/s (12 m/s), ainda que de modo geral os ventos predominantes sejam os de sudeste. A resolução dos dados para a descida está melhor do que para a subida, visto que nessa ocasião foram lançadas 47 radiossondas, contra as 9 utilizadas na subida. Isso pode ser observado na FIGURA 5, que demonstra uma continuidade no tempo durante o percurso do navio. Na imagem é possível observar que o mesmo trajeto percorrido na subida e na descida, em períodos de tempo similares, foi representado por números amostrais muito discrepantes.

A FIGURA 6 permite observar as principais diferenças na razão de mistura atmosférica entre a subida e a descida do navio. As imagens a) e b) representam a a subida e a decida, respectivamente. Na imagem c) as regiões em azul representam uma diminuição de 4 g/Kg e estão exatamente onde os picos de concentração nebulosa estavam na ocasião da subida. Assim é possível entender que, com a intensificação dos alísios de nordeste dentro dos 10 dias entre a subida e a descida, os ventos de ambos os hemisférios acumularam as nuvens entre 5° N e 12° N.



FIGURA 6 - a) Plot meridional de razão de mistura atmosférica durante a subida do navio. b) Plot meridional de razão de mistura atmosférica durante a descida do navio. c) Plot meridional da diferença entre a descida e a subida, ilustrando as principais regiões atmosféricas em que houveram alterações na concentração de vapor de água. Imagem de autoria própria.

4.1.2 Radiação de onda longa

A ROL, emitida pela superfície do mar pode ser impedida de chegar ao topo da atmosfera pela barreira formada por nuvens. Desta forma, em locais com os mínimos valores de ROL representam os locais com máximo acúmulo de nuvens (UVO, 1989).

Assim, podemos complementar o observado pelos dados de radiossonda com dados de ROL de reanálises atmosféricas ERA5, a fim de definir a posição da ZCIT durante a subida e a descida da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Na imagem a) da FIGURA 7 é possível observar que a ZCIT se encontrava esparsa na ocasião da subida, com dois máximos nebulosos: um entre 6° N e 8° N e outro entre 14° N e 15° N. Como visto na seção 4.1.1, durante a subida há uma predominância de ventos sudeste na região de estudo, porém sabe-se que ao norte da mesma há de se encontrar os alísios de nordeste. Assim, espera-se encontrar a divergência equatorial entre os dois picos de nebulosidade encontrados.

Entre a subida e a descida houve uma diminuição de 38 W/m², indicando um aumento na intensidade da cobertura de nuvens. As duas bandas de nuvens observadas na subida se acumularam, na descida, em uma única banda entre 6° N e 13° N (FIGURA 7 - b).

Assim, estabelece-se a partir dos dados de radiossondas e ROL que durante a subida a ZCIT estava, de forma mais representativa, entre 6° N e 12° N, mesmo que de forma esparsa. Enquanto isso, durante a descida, a mesma se apresentou entre 6° N e 13° N, porém de forma mais condensada e intensa.



FIGURA 7 - Mapas de radiação de onda longa (ROL) para a subida (a), descida (b) e a diferença entre ambas (c). Em preto estão representadas locais de amostragem dos XBTs, para ilustrar o trajeto realizado pelo navio. Imagem de autoria própria.

4.2 OCEANO

4.2.1 Temperatura da água

Comparando os XBTs da subida com o mês de outubro da ORAS5 (FIGURAS 8 e 9) é possível observar que há uma boa concordância entre os dados, principalmente nas camadas superficial e de subsuperfície. Essa concordância geral é, nos gráficos de dispersão, de 63% (R²=0,63), e de -3,48 °C e 3,64 °C, nos valores médios de viés e RMSE, respectivamente. Os dados que não estão em concordância se devem às maiores diferenças, de viés e de RMSE, na base da camada de mistura oceânica (na casa de 13 °C), indicando que a temperatura dessa região está superestimada nos dados mensais das reanálises oceânicas. Todos os viés e RMSEs calculados podem ser visualizados na forma de perfis meridionais (FIGURAS 8, 10, 12, 14, 16 e 18) ou de média, na 02.

Agora, ao compararmos os XBTs da subida com as médias climatológicas do mês de outubro das reanálises e do WOA (FIGURAS *10 - 13*), o gráfico de dispersão mostra que as reanálises explicam 59% (R²=0,59) dos dados de XBTs, enquanto o WOA explica 67% (R²=0,67) (FIGURAS *11* e *13*). O viés médio entre os XBTs e as reanálises foi de -3,61 °C e RMSE médio de 3,85 °C, enquanto que entre os XBTs e o WOA o viés médio foi de -3,61 °C e o RMSE de 3,54 °C (FIGURAS *10* e *12*). Apesar dos baixos valores médios de viés e RMSE, as maiores discrepâncias seguem sendo na camada de mistura, com diferenças de até 13° C.



FIGURA 8 - a) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados coletados pelos XBTs durante a subida do navio da comissão PIRATA – XVIII. b) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados mensais de reanálises ORAS5 para o mês de outubro. c) Perfil meridional do Viés entre a) e b). d) Perfil meridional do RMSE entre a) e b). Imagem de autoria própria.



FIGURA 9 - Gráfico de dispersão entre o mês de outubro das reanálises ORAS5 e os XBTs da subida da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Imagem de autoria própria.

TABELA 2 – Médias para os perfis meridionais de viés e RMSE, entre os XBTS da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII e as reanálises oceânicas ORAS5 e dados climatológicos WOA. Tabela de autoria própria.

| Banco de | Período | Viés (°C) | | Viés (°C) | | RMS | SE (°C) |
|----------|--------------|-----------|----------|-----------|----------|-----|---------|
| dados | | Outubro | Novembro | Outubro | Novembro | | |
| ORAS5 | Climatologia | -3,61 | -3,89 | 3,85 | 4,25 | | |
| | (1981 -2010) | | | | | | |
| | Mês | -3,48 | -3,83 | 3,64 | 4,10 | | |
| WOA | Climatologia | -3,61 | -3,89 | 3,54 | 3,87 | | |
| | (2005 -2017) | | | | | | |

As reanálises oceânicas são produtos obtidos a partir de dados reais, que são passados por modelos numéricos, a fim de representar o clima global de forma mais realista possível (ECMWF, 2020). Já o WOA compreende um conjunto de dados coletados in *situ*, ao longo de vários anos (BOYER et al., 2018). Desta forma, a climatologia WOA, por não passar por modelos numéricos, se aproxima mais da realidade e explica os dados reais de XBTs coletados com um R² mais significativo.

Já ao compararmos os XBTs da descida com o mês de novembro das reanálises, obtemos um R² de 58% (0,58) (FIGURA 15), com viés e RMSE médios de -3,83 °C e 4,10 °C, respectivamente (FIGURA 14). Novamente as maiores discrepâncias são encontradas da base da camada de mistura oceânica, onde as reanálises superestimam os valores de temperatura em cerca de 13 °C.

A concordância entre os XBTs da descida e as climatologias ORAS5 e WOA foi de 56% (R²=0,56) e 64% (R²=0,64), respectivamente (FIGURAS *17* e *19*). As médias de viés e RMSE para as reanálises foram de -3,89 °C e 4,25 °C, respectivamente, e para os dados WOA foram de -3,89 e 3,87, respectivamente (FIGURAS *16* e *18*), com os valores máximos encontrados (acima de 13°C) também na camada de mistura. As médias de viés e RMSE feitas entre a descida e o mês de novembro ou as climatologias de novembro se mostraram maiores do que aquelas feitas para o mês de outubro. Isso porquê a descida não ocorreu somente durante o mês de novembro, tendo 5 de seus 13 dias de coleta dentro do mês de outubro, enquanto a subida teve seus 11 dias dentro do mês de outubro.



FIGURA 10 - a) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados coletados pelos XBTs durante a subida do navio da comissão PIRATA – XVIII. b) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados climatológicos de reanálises ORAS5 para o mês de outubro. c) Perfil meridional do Viés entre a) e b). d) Perfil meridional do RMSE entre a) e b). Imagem de autoria própria.

Da mesma forma, as médias de viés e RMSE também se mostraram maiores nas climatologias das reanálises do que nos dados dos meses de outubro de novembro de 2018. Novamente, isso se deve ao maior intervalo de tempo que as médias climatológicas representam.

Os dados WOA, por não terem sido tratados da mesma forma que as reanálises ORAS5, apresentaram uma concordância levemente maior com os dados de XBTs, na forma de R². Essa observação não elimina a importância das reanálises

para os estudos do clima e do oceano global, visto que as mesmas também são excelentes para representar as águas oceânicas.



FIGURA 11 – Gráfico de dispersão entre a climatologia do mês de outubro das reanálises ORAS5 e os XBTs da subida da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Imagem de autoria própria.

De forma geral, tanto a reanálise, quanto a climatologia WOA superestimam a temperatura da base da camada de mistura, na ordem de 13° C, em todas as comparações feitas. Essa superestimação pode implicar em erros na magnitude de cálculos de troca de calor entre o oceano e atmosfera que sejam realizados a partir desses bancos de dados, demonstrando a importância que os dados *in situ* ainda têm atualmente.



FIGURA 12 - a) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados coletados pelos XBTs durante a subida do navio da comissão PIRATA – XVIII. b) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados climatológicos WOA para o mês de outubro. c) Perfil meridional do Viés entre a) e b). d) Perfil meridional do RMSE entre a) e b). Imagem de autoria própria.



FIGURA 13 - Gráfico de dispersão entre a climatologia do mês de outubro dos dados WOA e os XBTs da subida da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Imagem de autoria própria.



FIGURA 14 - a) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados coletados pelos XBTs durante a descida do navio da comissão PIRATA – XVIII. b) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados mensais de reanálises ORAS5 para o mês de novembro. c) Perfil meridional do Viés entre a) e b). d) Perfil meridional do RMSE entre a) e b). Imagem de autoria própria.



FIGURA 15 - Gráfico de dispersão entre o mês de novembro das reanálises ORAS5 e os XBTs da descida da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Imagem de autoria própria.



FIGURA 16 - a) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados coletados pelos XBTs durante a descida do navio da comissão PIRATA – XVIII. b) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados climatológicos de reanálises ORAS5 para o mês de novembro. c) Perfil meridional do Viés entre a) e b). d) Perfil meridional do RMSE entre a) e b). Imagem de autoria própria.



FIGURA 17 - Gráfico de dispersão entre a climatologia do mês de novembro das reanálises ORAS5 e os XBTs da descida da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Imagem de autoria própria.



FIGURA 18 - a) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados coletados pelos XBTs durante a descida do navio da comissão PIRATA – XVIII. b) Perfil meridional de temperatura da coluna d'água ao longo do meridiano de 38° O com dados climatológicos WOA para o mês de novembro. c) Perfil meridional do Viés entre a) e b). d) Perfil meridional do RMSE entre a) e b). Imagem de autoria própria.



FIGURA 19 - Gráfico de dispersão entre a climatologia do mês de novembro dos dados WOA e os XBTs da descida da Pernada 3 da Comissão PIRATA – XVIII. Imagem de autoria própria.

4.2.2 Diagramas T-S

Os diagramas T-S do mês de outubro das reanálises ORAS5 e do WOA estão representados nas FIGURAS 20 e 21, respectivamente. Já as FIGURAS 22 e 23 apresentam os diagramas T-S para o mês de novembro. Os dois bancos de dados apresentam grande similaridade, apesar de pequenas diferenças de resolução e outras causadas pela pequena interferência dos modelos nas reanálises. O mesmo vale para os diferentes meses, que não apresentam diferenças significativas entre si, permitindo que a análise das bandas latitudinais seja feita em conjunto para ambos.



FIGURA 20 - Diagramas T-S para o mês de outubro, com dados das reanálises oceânicas ORAS5. As isolinhas de fundo representam a densidade da água, subtraída de 1000 Kg/m³ para melhor visualização. a) Banda latitudinal entre 5° S e 0°. b) Banda latitudinal entre 0° e 5° N. c) Banda latitudinal entre 5° N e 10° N. d) Banda latitudinal entre 10° N e 15° N. A cor vermelha corresponde aos pontos que se encontram entre as profundidades de 0 m e 50 m, a cor amarela aos pontos entre as profundidades de 50 m e 100 m, a cor verde entre as profundidades de 100 m e 150 m e a cor azul entre as profundidades de 150 m e 200 m. Imagem de autoria própria.

Em ambas imagens é possível notar que a banda latitudinal entre 5° S – 0° possui pouca variação de temperatura ($\approx 23 - 27$ °C), salinidade ($\approx 36 - 37\%$) e densidade ($\approx 1024,5 - 1025$ Kg/m³), nas duas camadas superficiais (0 – 50 m e 50 – 100 m), indicando que a mesma está fora do efeito da ZCIT. As mesmas camadas, para a banda de 0° – 5° N também não apresentam uma grande variação de temperatura ($\approx 25 - 28$ °C), porém já começam a mostrar efeitos da ZCIT, com uma maior variação (35,2 – 36,5‰) e menores valores de salinidade na superfície, principalmente. Isso porque esta banda, apesar de não estar diretamente abaixo da ZCIT, é influenciada pela precipitação da região, que diminui o conteúdo de sal de sua superfície.



FIGURA 21 - Diagramas T-S para o mês de outubro, com dados climatológicos WOA. As isolinhas de fundo representam a densidade da água, subtraída de 1000 Kg/m³ para melhor visualização. a) Banda latitudinal entre 5° S e 0°. b) Banda latitudinal entre 0° e 5° N. c) Banda latitudinal entre 5° N e 10° N. d) Banda latitudinal entre 10° N e 15° N. A cor vermelha corresponde aos pontos que se encontram entre as profundidades de 0 m e 50 m, a cor amarela aos pontos entre as profundidades de 50 m e 100 m, a cor verde entre as profundidades de 100 m e 150 m e a cor azul entre as profundidades de 100 m. Imagem de autoria própria.

As camadas de 100 – 150 m e 150 – 200 m representam o comportamento da base da camada de mistura e do início da termoclina. Na banda de 5° S – 0° ambas as camadas apresentam grande variação de temperatura (\approx 13 - 25 °C), salinidade (\approx 35 – 37‰) e, consequentemente, densidade (\approx 1025,5 – 1027,5 Kg/m³), indicando que a termoclina se estende até os 200 m. Já na banda de 0° – 5° N a camada de 100 – 150 m também apresenta grande variação de temperatura (\approx 15 – 25 °C), salinidade (\approx 35 – 36,7‰) e densidade (\approx 1027,5 – 1024 Kg/m³), enquanto a camada de 150 – 200 m apresentou pouca variação de temperatura (\approx 11 – 17 °C) e salinidade (\approx 35 – 35,8‰).Isso indica que nesta banda já é possível encontrar a divergência equatorial, com a termoclina se posicionando em uma profundidade levemente mais rasa, na camada de 100 – 150 m.



FIGURA 22 - Diagramas T-S para o mês de novembro, com dados das reanálises oceânicas ORAS5. As isolinhas de fundo representam a densidade da água, subtraída de 1000 Kg/m³ para melhor visualização. a) Banda latitudinal entre 5° S e 0°. b) Banda latitudinal entre 0° e 5° N. c) Banda latitudinal entre 5° N e 10° N. d) Banda latitudinal entre 10° N e 15° N. A cor vermelha corresponde aos pontos que se encontram entre as profundidades de 0 m e 50 m, a cor amarela aos pontos entre as profundidades de 50 m e 100 m, a cor verde entre as profundidades de 100 m e 150 m e a cor azul entre as profundidades de 150 m e 200 m. Imagem de autoria própria.

As camadas superficiais das bandas de 5° N – 10° N e 10° N – 15° N demonstram as maiores variações de temperatura ($\approx 13 - 28$ °C) e salinidade (34,5 – 37‰) entre as quatro bandas observadas. A camada de 0 -50 m entre 5° N – 10° N, por estar diretamente abaixo da ZCIT, apresenta os menores valores de salinidade entre todas as bandas. Isso porque ambas estão sendo diretamente influenciadas pelas intensas tempestades (UVO, 1989) que ocorrem na região da ZCIT. Os valores mínimos observados nessa camada se devem à presença da divergência equatorial, que torna a camada de mistura rasa, trazendo a termoclina à subsuperfície. Isso também é evidenciado na camada de 50 – 100 m, de ambas as bandas, mas principalmente da banda de 5°N – 10° N.

As camadas mais fundas da banda de 5° N – 10° N, indicam que a termoclina está rasa (entre 100 – 150 m), visto que a temperatura nesta camada apresenta grande variação ($\approx 12 - 24$ °C), enquanto a temperatura da camada de 150 – 200 m varia entre 10 – 15 °C. Já na banda de 10° N – 15° N, a presença da divergência equatorial começa a diminuir, o que é evidenciado pela grande variação de temperatura ($\approx 11 - 17$ °C), salinidade ($\approx 35 - 36,5\%$), indicando uma termoclina mais que atinge os 200 m.

Em todos diagramas apresentados foi possível encontrar três massas de água, baseando-se em Costa da Silva et al. (2021): A Água Tropical Superficial (ATS), a Água Subtropical de Subsuperfície (ASS) e a Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A ATS pode ser encontrada entre 0 – 100 m, com temperaturas acima de 26 °C e salinidades abaixo de 37‰. Logo abaixo da ATS (entre 100 – 150 m) estava a ASS, com os maiores valores de salinidade (≈ 37‰) de todos os gráficos, principalmente das regiões sem a influência da divergência.

Abaixo de 150 m, nas regiões fora da divergência equatorial, estava a ACAS com temperaturas entre \approx 10 – 23 °C e salinidades entre \approx 35 – 36,5‰. A ACAS se apresentou mais próxima à superfície na banda de 0 – 5° N devido à influência da divergência equatorial, que forçou sua ascensão (STRAMMA e SCOTT, 1999).



FIGURA 23 - Diagramas T-S para o mês de novembro, com dados climatológicos WOA. As isolinhas de fundo representam a densidade da água, subtraída de 1000 Kg/m³ para melhor visualização. a) Banda latitudinal entre 5° S e 0°. b) Banda latitudinal entre 0° e 5° N. c) Banda latitudinal entre 5° N e 10° N. d) Banda latitudinal entre 10° N e 15° N. A cor vermelha corresponde aos pontos que se encontram entre as profundidades de 0 m e 50 m, a cor amarela aos pontos entre as profundidades de 50 m e 100 m, a cor verde entre as profundidades de 100 m e 150 m e a cor azul entre as profundidades de 150 m e 200 m. Imagem de autoria própria.

4.2.3 Correntes oceânicas

O mapa apresentado na FIGURA 4 mostra as correntes superficiais oceânicas durante os dias da subida e da descida do navio. Nele é possível observar uma forte corrente zonal leste (≈ 1 m/s) entre as latitudes de 0° e 5° N, que tem início entre as longitudes de 45° O e 50° O.

Essa corrente se trata da CCNE, que segundo NORRIS (1998) se torna mais forte durante a primavera austral, quando a ZCIT se encontra em sua posição mais ao norte. Sua origem entre as latitudes de 45° O e 50° O pode ser evidenciada como uma retroflexão, de uma corrente que não é mostrada na imagem, favorecida devido à forte presença dos alísios de sudeste, como já discutido na seção 4.1.1. A corrente que dá origem à CCNE é a CNB, que não pode ser evidenciada na imagem já que satélites não conseguem captar correntes superficiais costeiras na mesma resolução que correntes oceânicas.

A partir dessa imagem podemos observar também que as correntes superficiais ao norte de 5° N, incluindo a CNE, estão fracas. Isso se deve à presença da divergência equatorial, que faz com que o transporte de massa superficial líquido da região seja em direção ao polo sul. Entre os dias da subida e da descida não houve diferença nos padrões das correntes superficiais, exceto um leve enfraquecimento na CCNE.

4.3 INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA

Durante a subida, os ventos predominantes eram de sudeste, o que está de acordo com a época do ano em que a Pernada 3 ocorreu (CABOS et al., 2019; NORRIS, 1998; UTIDA et al., 2018; VILELA et al., 2018; WILSON et al., 2011), deslocando a ZCIT para sua posição mais ao norte. Assim, foi definido que para a data da subida, a ZCIT estava entre as latitudes de 6° N e 12° N, apesar da banda de nebulosidade ter se apresentado de forma esparsa. Já a descida mostrou uma ZCIT forte e marcada entre as latitudes de 6° N e 13° N.



FIGURA 24 - Perfil acoplado oceano-atmosfera de temperatura para a subida do navio. Triângulos brancos indicam posição de lançamento de XBTs, enquanto os vetores de ventos estão na posição de lançamento das radiossondas. Imagem de autoria própria.

No perfil de temperatura apresentado na FIGURA 24 é possível observar o efeito da divergência equatorial nas águas oceânicas. Nas latitudes imediatamente abaixo da ZCIT águas frias sobem para a subsuperfície, tornando a camada de mistura e a termoclina mais rasas.

Durante a subida a profundidade da camada de mistura na região da ZCIT estava entre 20 – 21 m, enquanto que nas regiões ao norte e ao sul da mesma a profundidade estava entre 42 – 43 m (FIGURA 26). É interessante notar que nesta ocasião a divergência equatorial se encontrava levemente deslocada para norte, apresentado uma termoclina mais rasa entre as latitudes de 10° N e 12° N. Isso provavelmente se deve à predominância dos alísios de sudeste, que, na subsuperfície, deslocam a divergência para norte.



FIGURA 25 - Perfil acoplado oceano-atmosfera de temperatura para a descida do navio. Triângulos brancos indicam posição de lançamento de XBTs, enquanto os vetores de ventos estão na posição de lançamento das radiossondas. Imagem de autoria própria.

Para a descida a profundidade da camada de mistura abaixo da ZCIT era de 24 – 25 m, enquanto as regiões ao norte e ao sul da mesma apresentavam uma termoclina em 43 – 44 m (FIGURA 26). Aqui, com a entrada dos alísios de nordeste, a divergência equatorial não apresenta mais uma região mais rasa deslocada para o

norte, e sim dois picos de profundidade igual, um entre 7° N – 10° N e outro entre 10° N – 12° N (FIGURA 25). Esses picos podem refletir o equilíbrio encontrado na atmosfera, com a presença dos alísios de nordeste, como também pode refletir a inércia do oceano, representando as duas bandas nebulosas que delimitavam a ZCIT durante a subida.

Ao observarmos a TSM média das regiões da ZCIT e fora da mesma, percebemos que não há uma diferença significativa entre as mesmas, tanto na subida quanto na descida. Durante a subida (descida) a região oceânica da ZCIT apresentou uma TSM média de 28,61 \pm 0,36 °C (28,53 \pm 0,60 °C), enquanto as regiões ao norte e ao sul da mesma apresentaram uma TSM média de 28,02 \pm 0,55 °C (28,59 \pm 0,44 °C).



FIGURA 26 - Perfis de temperatura x profundidade para: a) região da ZCIT durante a subida. b) Região da ZCIT durante a descida. c) Região fora da ZCIT durante a subida. d) Região fora da ZCIT durante a descida. A região da ZCIT está representa por 5 XBTs para a subida e 23 XBTs para a descida. A região fora da ZCIT está representada por 14 XBTs para a subida e 16 XBTs para a descida. Imagem de autoria própria.

Algo a ser pontuado é que tanto na subida quanto na descida, a região ao sul da ZCIT apresentou uma camada de mistura mais quente do que a região ao norte. Isso pode ser melhor visualizado nas FIGURAS 8, 10, 12, 14, 16 e 18, em que

as isolinhas de 28 °C se encontram na porção sul da divergência equatorial. Essa ocorrência aparenta ser algo comum, visto que pode ser observado em ambas climatologias ORAS5 e WOA, e provavelmente se deve à maior proximidade dessa região com o equador.

Entre a subida e a descida houve o acúmulo de nuvens entre as latitudes de 6° N – 13° N, o que aumentou a precipitação nesta região (FIGURA 27 – imagem c). Consequentemente, a temperatura do ar imediatamente abaixo da ZCIT diminuiu em cerca de 1,7 °C. Enquanto isso, as regiões ao norte e ao sul da banda nebulosa apresentaram um aumento da atmosfera, devido à ausência de chuvas nas mesmas.

| TABELA 3 - | Tabela d | com médias | e desvios | padrões | para a | TSM das | regiões da | a ZCIT | e fora | da Z | CIT. |
|--------------|------------|------------|-----------|---------|--------|---------|------------|--------|--------|------|------|
| Tabela de au | utoria pró | ópria. | | | | | | | | | |

| | S | Subida | Descida | | |
|--------------|------------|---------------|------------|---------------|--|
| Zona | Média (°C) | Desvio Padrão | Média (°C) | Desvio Padrão | |
| | | (°C) | | (°C) | |
| ZCIT | 28,61 | ±0,36 | 28,53 | ±0,60 | |
| Fora da ZCIT | 28,02 | ±0,55 | 28,59 | ±0,44 | |

A FIGURA 27 também ilustra a mudança na divergência equatorial, com as águas superficiais entre as latitudes de 7° N – 10° N resfriando ($\approx 4 - 5$ °C), indicando a ascensão das águas devido à entrada dos alísios de nordeste. Assim, entre as latitudes de 11° N – 12° N há um aquecimento de subsuperfície ($\approx 4 - 5$ °C), indicando que a região mais rasa da divergência observada durante a subida se tornou mais profunda.

Ainda, ao norte e ao sul da divergência ocorreram mudanças na base da camada de mistura oceânica entre as datas da subida e da descida. A base da camada de mistura entre 0° - 5° N se tornou mais fria ($\approx 4 - 6$ °C), indicando uma termoclina mais rasa, enquanto entre 4° N – 7° N a mesma se tornou mais quente ($\approx 4 - 6$ °C), indicando uma termoclina mais profunda (FIGURA 27). Já entre as latitudes de 13° N – 15° N houve um aquecimento na subsuperfície, indicando um aprofundamento da termoclina.



FIGURA 27 Perfis meridionais acoplados oceano-atmosfera de temperatura para: a) subida; b) descida; c) diferença entre a) e b). Imagem de autoria própria.

5 CONCLUSÕES

As amostragens do Projeto PIRATA durante o ano de 2018 ocorreram entre os meses de outubro e novembro, ou seja, durante a primavera austral. Assim, como previsto pela literatura, ZCIT estava posicionada em sua posição mais ao norte, evidenciado pela predominância dos ventos alísios de sudeste, pela retroflexão da CNB que fortalece a CCNE e pelas fracas correntes superficiais ao norte de 5° N, devido à presença da divergência equatorial.

A ZCIT é uma banda nebulosa que é formada pela interação de diversos fenômenos atmosféricos. Assim, em situações como a demonstrada durante a subida do navio definir sua posição pode se tornar, além de desafiador, algo subjetivo. Desta maneira, é importante pontuar que se deve sempre utilizar mais de uma variável ou feição atmosférica para identificar sua posição.

Como esperado a região da ZCIT, devido ao encontro dos alísios de nordeste e sudeste, força o oceano adjacente a apresentar uma termoclina mais rasa (FOLTZ et al., 2003; FOLTZ et al., 2020). A presença da ZCIT não causou alterações na TSM, porém pode ser interessante observar se alterações assim podem ocorrer quando a ZCIT se encontra em sua posição mais ao sul.

A divergência equatorial mostrou que responde de forma rápida às mudanças ocorridas na atmosférica na escala sinótica. Isso foi evidenciado por seu posicionamento mais ao norte quando há maior presença dos alísios de sudeste e por suas alterações quando os alísios de nordeste entram na região.

As mudanças no oceano observadas com os dados de XBT são bem representadas pelas reanálises ORAS5 e pela climatologia WOA. Porém ao que aparenta, ambos os bancos de dados superestimam a temperatura da base da camada de mistura oceânica, o que pode ocasionar em erros de cálculos de trocas de calor entre o oceano e a atmosfera. Porém há de se pontuar que essa superestimação pode ser um evento isolado, assim como podem haver erros nas medições dos XBTs (RIBEIRO et al., 2018), apesar de pouco provável para esta situação.

Recomenda-se que futuros trabalhos realizem comparações interanuais do acoplamento oceano-atmosfera na região da ZCIT, para obter ainda mais informações de como a sua variabilidade impacta o oceano.

Este trabalho apresenta descrições inéditas da variabilidade sinótica da ZCIT e seus efeitos no oceano adjacente. Assim, apesar de apresentar descrições simples, há aqui muito a contribuir para a modelagem climática, para a previsão do tempo no nordeste brasileiro e no noroeste africano e para a melhoria de bancos de dados disponíveis de livre acesso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONJEAN, F., AND G. S. E. LAGERLOEF. Diagnostic model and analysis of the surface currents in the tropical Pacific Ocean. **J. Phys. Oceanogr**., vol. 32, p. 2938-2954, 2002.

BOURLÈS, B.; ARAUJO, M.; MCPHADEN, M. J.; et al. PIRATA: A Sustained Observing System for Tropical Atlantic Climate Research and Forecasting. **Earth and Space Science**, Wiley-Blackwell Publishing Ltd, v. 6, n. 4, p. 577–616, 2019.

BOYER, TIM P.; GARCIA, HERNAN E.; LOCARNINI, RICARDO A.; ZWENG,MELISSA M.; MISHONOV, ALEXEY V.; REAGAN, JAMES R.; WEATHERS,KATHARINE A.; BARANOVA, OLGA K.; SEIDOV, DAN; SMOLYAR, IGOR V. WorldOcean Atlas 2018. Temperature and Salinity.NOAA National Centers for Environ-mentalInformation,2018.Disponívelem<https://www.ncei.noaa.gov/access/metadata/landing-page/bin/iso?id=gov.noaa.nodc:NCEI-WOA18>. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

CABOS, W., DE LA VARA, A., & KOSEKI, S. Tropical Atlantic variability: Observations and modeling. **Atmosphere**, v. *10, n.* 9, p. 502-526, 2019.

CAPOTONDI, A., WITTENBERG, A.T., NEWMAN, M., DI LORENZO, E., YU, J.Y., BRACONNOT, P., COLE, J., DEWITTE, B., GIESE, B., GUILYARDI, E. e JIN, F.F. Understanding ENSO diversity. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. *96, n.* 6, p. 921-938, 2015.

CARVALHO, M. Â. V. DE; OYAMA, M. D. VARIABILIDADE DA LARGURA E INTEN-SIDADE DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL ATLÂNTICA: ASPEC-TOS OBSERVACIONAIS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 3, p. 305– 316, 2013. CAVALCANTI, I. F. DE A.; FERREIRA, N. J.; DA SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. DA S. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CITEAU, J.; BERGÉS, J. C.; DEMAREQ, H.; MAHÉ, G. The Watch of ITCZ Migrations over the Tropical Atlantic Ocean as an Indicator in Drought Forecast over the Sahelian Area. **Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter**, v. 45, 1988.

CONSTANTIN, A. e JOHNSON, R.S. An exact, steady, purely azimuthal flow as a model for the Antarctic Circumpolar Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. *46, n.* 12, p.3585-3594, 2016.

DE MELO, A. B. C.; NOBRE, P.; DE MELO, M. L. D.; SANTANA, S. C. ESTUDO CLIMATOLÓGICO DA POSIÇÃO DA ZCIT NO ATLÂNTICO EQUATORIAL E SUA INFLUÊNCIA SOBRE O NORDESTE DO BRASIL. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, v. 12, p. 1142–1147, 2000.

ECMWF. OCEAN5: ECMWF Ocean Reanalysis System and its Real-Time analysis componente https://www.ecmwf.int/en/elibrary/80763-ocean5-ecmwf-oceanreanalysis-system-and-its-real-time-analysis-component>. Acesso em 12 de janeiro de 2023.

ECMWF. **Fact sheet: Reanalysis**. Novembro, 2020. Disponível em: < <u>https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2020/fact-sheet-reanalysis</u>>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2023.

FOLTZ, G. R.; GRODSKY, S. A.; CARTON, J. A. Seasonal mixed layer heat budget of the tropical Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, American Geophysical Union (AGU), v. 108, n. C5, 2003.

FOLTZ, G. R.; BRANDT, P.; RICHTER, I.; et al. The tropical Atlantic observing system. **Frontiers in Marine Science**. Frontiers Media S.A, 2019. FOLTZ, G. R.; HUMMELS, R.; DENGLER, M.; PEREZ, R. C.; ARAUJO, M. Vertical Turbulent Cooling of the Mixed Layer in the Atlantic ITCZ and Trade Wind Regions. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Blackwell Publishing Ltd, v. 125, n. 2, 2020.

FONTAINE, B.; ROUCOU, P.; GAETANI, M.; MARTEAU, R. Recent changes in precipitation, ITCZ convection and northern tropical circulation over North Africa (1979-2007). **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 5, p. 633–648, 2011.

GOSWAMI, B. N.; SHUKLA, J.; SCHNEIDER, E. K.; SUD, Y. C. Study of the Dynamics of the Intertropical Convergence Zone with a Symmetric Version of the GLAS Climate Model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 41, n. 1, p. 5–19, 1984.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n. 435, p. 77–92, 1977.

HASTENRATH, S.; LAMB, P. Some Aspects of Circulation and Climate over the Eastern Equatorial Atlantic. **Monthly Weather Review**, v. 105, n. 8, p. 1019–1023, 1977.

HASTENRATH, S.; MERLE, J. Annual Cycle of Subsurface Thermal Structure in the Tropical Atlantic Ocean. **Journal of Physical Oceanography**, v. 17, n. 9, p. 1518–1538, 1987.

HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., BIAVATI, G., HORÁNYI, A., MUÑOZ SABATER, J., NICOLAS, J., PEUBEY, C., RADU, R., ROZUM, I., SCHEPERS, D., SIMMONS, A., SOCI, C., DEE, D., THÉPAUT, J-N. **ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)**, 2018. HUMMELS, R.; JOHNS, B.; SPEICH, S.; PEREZ, R.; BRANDT, P.; LANKHORST, M.; SEND, U. Theme 3: The AMOC in the Tropical Atlantic. *In*: CLIVAR. **CLIVAR Exchanges – Special Issue: Tropical Atlantic Ocean Observing System (TAOS)**, n. 82, p. 22 – 28, 2022.

LÜBBECKE, J.; RICHTER, I.; NNAMCHI; H. Theme 1: Dynamics of the Tropical Atlantic Variability. *In*: CLIVAR. CLIVAR Exchanges – Special Issue: Tropical Atlantic Ocean Observing System (TAOS), n. 82, p. 9 – 14, 2022.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the Dynamics of Droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a General Circulation Model. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 38, n. 12, p. 2653–2675, 1982.

NÓBREGA, N. J. DA; SANTOS, C. A. C. DOS; GOMES, O. M.; et al. EVENTOS EX-TREMOS DE PRECIPITAÇÃO NAS MESORREGIÕES DA PARAÍBA E SUAS RE-LAÇÕES COM A TSM DOS OCEANOS TROPICAIS. 2014.

NOGUEIRA NETO, A. V.; GIORDANI, H.; CANIAUX, G.; ARAUJO, M. Seasonal and Interannual Mixed-Layer Heat Budget Variability in the Western Tropical Atlantic From Argo Floats (2007–2012). **Journal of Geophysical Research: Oceans**, Blackwell Publishing Ltd, v. 123, n. 8, p. 5298–5322, 2018.

NORRIS, R. D. Miocene-Pliocene surface-water hydrography of the eastern equatorial Atlantic. **Proceedings of the Ocean Drilling Program: Scientific Results**, v. 159, p. 539 – 555, 1998.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. DE; QUADRO, M. F. L. Uma Revisão dos Processos de Interação Oceano-Atmosfera em Regiões de Intenso Gradiente Termal do Oceano Atlântico Sul Baseada em Dados Observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 428–453, 2016. RABELO, L. B., SOUZA, R. B., MATA, M. M. E SANTINI, M. F. Estrutura termal em alta resolução das águas da frente polar na região da passagem de Drake durante as operações Antárticas XXII e XXIII (verão Austral de 2003 e 2004). **Atlântica**, *34* (2), 189-201, 2012.

RIBEIRO, N.; MATA, M. M.; DE AZEVEDO, J. L. L.; CIRANO, M. Na assessment of the XBT fall-rate equation in the Southern Ocean. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 35, n. 4, p. 911 – 926, 2018.

RODRIGUES, R. R.; RODRIGUEZ-FONSECA; B. Theme 2: Impacts of Tropical Atlantic Variability. *In*: CLIVAR. CLIVAR Exchanges – Special Issue: Tropical Atlantic Ocean Observing System (TAOS), n. 82, p. 15 – 21, 2022.

RWU. **8.1 Earth's Heat Budget – Introduction to Oceanography**. Disponível em < <u>https://rwu.pressbooks.pub/webboceanography/chapter/8-1-earths-heat-budget/</u>>. Acesso em 10 de janeiro de 2023.

SANTOS, N. R. Universidade Federal do Rio Grande-FURG Instituto de Oceanografia. Estudo da performance das sondas tipo xbt no oceano austral natalia ribeiro santos, Rio Grande, 2016.

SCHNEIDER, T.; BISCHOFF, T.; HAUG, G. H. Migrations and dynamics of the intertropical convergence zone. **Nature**, v. 513, n. 7516, p. 45–53, 2014.

SIKKA, D. R.; GADGIL, S. On the Maximum Cloud Zone and the ITCZ over Indian Longitudes during the Southwest Monsoon. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 1840–1853, 1980.

SMITH, S. D.; FAIRALL, C. W.; GEERNAERT, G. L.; HASSE, L. Air-Sea Fluxes: 25 Years of Progress. **Boundary-Layer Meteorology 25th Anniversary Volume, 1970** – 1995, p. 247 – 290, 1996. SOUZA, R. B. DE; PEZZI, L. P. Processos de interação oceano-atmosfera no Atlântico Sul. **Fronteiras do Conhecimento em Ciências do Mar**. 1st ed., p.53–92, FURG, 2020.

SOUZA, R.; PEZZI, L.; SWART, S.; OLIVEIRA, F.; SANTINI, M. Air-sea interactions over eddies in the Brazil- Malvinas Confluence. **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1335, 2021.

SPEICH, S.; ARAUJO, M.; BALMASEDA, M.; BOURLÈS, B.; FOLTZ, G.; MCPHADEN, M., J.; RODRIGUES, R., R. Na Introduction to The Tropical Atlantic Ocean Observing System: Past and Present. *In*: CLIVAR. **CLIVAR Exchanges – Special Issue: Tropical Atlantic Ocean Observing System (TAOS)**, n. 82, p. 3 – 8, 2022.

STRAMMA, L., SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. *46, n* 1-2, p. 279-303, 1999.

UTIDA, G.; CRUZ, F. W.; ETOURNEAU, J. et al. Tropical South Atlantic influence on Northeastern Brazil precipitation and ITCZ displacement during the past 2300 years. **Scientific Reports**. V. 9, n. 1, 2019.

UCAR. **CEOP Derived Parameter Equations**. Disponível em < <u>https://archive.eol.ucar.edu/projects/ceop/dm/documents/refdata_report/eqns.html</u>>. Acesso em 10 de janeiro de 2023.

UVO, C. R. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região norte do nordeste brasileiro. **Dissertação de Mestrado - INPE**, 1989. VELEDA, D.; ARAUJO, M.; VILELA, I., et al. EMPIRICAL ORTHOGONAL FUNC-TION ANALYSIS OF SATELLITE-DERIVED CURRENTS IN THE TROPICAL AT-LANTIC. **Tropical oceanography**. V. 46, n. 2, p. 1 – 24, 2018.

WANG, C. A review of ENSO theories. **National Science Review**, v. *5, n.* 6, p. 813-825, 2018.

WILSON, K. E.; MASLIN, M. A.; BRUNS, S. J. Evidence for a prolonged retroflection of the North Brazil Current during glacial stages. **Paleoceanography, Paleoclima-tology, Paleoecology**, v. 301, n. 1 – 4, p. 86 – 96, 2011.

YANG, P., JING, Z. e WU, L. An assessment of representation of oceanic mesoscale eddy-atmosphere interaction in the current generation of general circulation models and reanalyses. **Geophysical Research Letters**, v. *45, n.* 21, p.11-856, 2018.