



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

VICTOR SOUSA VIEGAS

**RESPOSTA DA ESTRUTURA TERMOHALINA À VARIABILIDADE SAZONAL E
INTERANUAL DO ATLÂNTICO TROPICAL LESTE**

Recife

2019

VICTOR SOUSA VIEGAS

**RESPOSTA DA ESTRUTURA TERMOHALINA À VARIABILIDADE SAZONAL E
INTERANUAL DO ATLÂNTICO TROPICAL LESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Departamento de
Oceanografia da Universidade Federal
de Pernambuco, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do
título de Oceanógrafo.

Orientadora: Profa. Dra. Dóris Regina Aires Veleda.

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

V656r Viegas, Victor Sousa.
Resposta da estrutura termohalina à variabilidade sazonal e interanual do
Atlântico tropical leste / Victor Sousa Viegas. – 2019.
35 folhas, il., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Dóris Regina Aires Veleda.
TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Oceanografia, 2019.
Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Atlântico tropical Leste. 3. Salinidade. 4. Rio
Congo. 5. Niño do Atlântico. 6. Variabilidade Sazonal. 7. Variabilidade
Interanual. I. Veleda, Dóris Regina Aires. (Orientadora). II. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-253

VICTOR SOUSA VIEGAS

**RESPOSTA DA ESTRUTURA TERMOHALINA À VARIABILIDADE SAZONAL E
INTERANUAL DO ATLÂNTICO TROPICAL LESTE**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado ao Departamento de
Oceanografia da Universidade Federal
de Pernambuco, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do
título de Oceanógrafo.

Aprovado em: 29/05/2019.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Dóris Regina Aires Veleza (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Carmen Medeiros Limongi (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Thiago Luiz do Vale Silva (Examinador Externo)
Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC

Dedico a Deus por ter me dado a capacidade da escrita e raciocínio para desenvolver esse trabalho da melhor forma possível. Também dedico a todos os meus professores da graduação, que foram de fundamental importância na construção da minha vida acadêmica. Em especial à professora Dóris, por ter sido capaz de me orientar com paciência, conselhos e ensinamentos fundamentais para o desenvolvimento do TCC, principalmente por não ter permitido que o trabalho travasse nos momentos mais desafiadores. Dedico também este projeto à minha família e amigos que estiveram presentes direta ou indiretamente ao longo minha formação. Em especial ao meu pai Marcelo, que me ensinou a trabalhar e estudar independente das circunstâncias impostas pela da vida, ao meu irmão Celo e as minhas duas mães Marias de Fátima.

AGRADECIMENTOS

Quando começo a pensar em todas as pessoas às quais gostaria de expressar minha gratidão pela ajuda, sugestões e trabalho árduo para tornar essa monografia possível, a lista não para de crescer. Primeiro gostaria de agradecer a minha família, por me ajudar a criar um ambiente em que pude deixar o fluxo criativo correr a qualquer hora do meu dia ou noite, onde minhas ideias eram recebidas por ouvidos compreensivos.

Obrigado a minha orientadora Profa. Dra. Dóris Veleda do Laboratório de Oceanografia Física, Estuarina e Costeira (LOFEC) e do Grupo de estudos climáticos e interação oceano-atmosfera - CLIMOCEAN, pela constante ajuda nos meus textos, gráficos, figuras, discussão e principalmente pela parte da comunicação durante a disciplina de Interação Oceano-Atmosfera que despertou meu interesse pela área e também ao Dr. Pedro Tyaquiçã pela ajuda na elaboração das figuras e discussão do texto.

Os professores cujas personalidades, métodos e amizades mais me afetaram, desde meus primeiros desenvolvimentos oceanográficos, em especial os Professores Pedro Pereira, Mario Barletta, Mônica Costa, Beatrice Padovani, Carlos Schettini e Marcus Silva.

Meus agradecimentos também aos meus amigos de turma, de secretaria e pesquisa que muito trabalharam sob pressão de prazo e me ajudaram a desenvolver diversas questões, apresentações e provas: André Conceição, Pedro Noto, Andressa Montebello, Diogo Durand, Túlio Silas, Júlia Griz e Lays Conde.

E, por último, mas não menos importante, especiais agradecimentos ao pessoal da Universidade Federal de Pernambuco, técnicos dos laboratórios, atendentes das Bibliotecas, pessoas responsáveis pela limpeza, segurança e refeições.

RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é identificar e descrever a resposta da estrutura termohalina à variabilidade sazonal e interanual do Atlântico tropical leste, na área de influência da descarga do rio Congo. A área de estudo (14°O - 30°L , 14°S - 10°N) abrange a bacia do rio Congo e a área oceânica sob influência da descarga do rio. Neste trabalho foram utilizados 15 anos de dados mensais de 2003 a 2017 de precipitação, descarga fluvial, índice do Niño do Atlântico, temperatura, salinidade e camada de mistura. A análise consiste na climatologia mensal e anomalias das variáveis oceânicas como temperatura, e salinidade, e hidrológicas, como a precipitação sobre a bacia e a descarga do rio Congo. Os principais resultados deste trabalho consistiram na identificação de uma relação interanual de causa e efeito entre o Niño do Atlântico e as variáveis oceânicas do Atlântico Leste e as hidrológicas da bacia do rio Congo. Identificou-se que a fase positiva do Niño do Atlântico favoreceu anos com anomalias positivas de precipitação, as quais contribuíram para maior vazão do Rio Congo e, conseqüentemente, anomalias negativas de salinidade no Atlântico Leste. Além disso, a Camada de Mistura no Leste do Atlântico mostrou-se mais rasa nos anos de fase positiva do Niño do Atlântico. A fase negativa do Niño do Atlântico foi responsável por resultados opostos, com menor precipitação, menor vazão e maior salinidade, conseqüentemente, uma Camada de Mistura mais profunda.

Palavras-chave: Atlântico tropical Leste. Salinidade. Rio Congo. Niño do Atlântico. Variabilidade Sazonal. Variabilidade Interanual.

ABSTRACT

The main objective of this work is to identify and describe the space-time variability of the oceanic and hydrological variables in the eastern tropical South Atlantic, in the area under influence of the Congo River discharge, Africa. The study area covers hidrological basin of the Congo River and the oceanic area under the influence of the river discharge (14°W - 30°E, 14°S - 10°N). In this work were used 15 years of monthly data, from 2003 to 2017. The analysis consists of monthly climatology and anomalies of oceanic variables such as temperature and salinity and hydrologic, such as precipitation over the basin and the Congo River discharge. The main results of this work is the identification of an interannual cause and effect relationship between the oceanic variables in eastern tropical South Atlantic Ocean and the hydrological variables of the Congo River basin. It was identified that the positive phase of the Atlantic Niño favored years with positive precipitation anomalies, which contributed to the positive anomalies of discharge and, consequently, negative salinity anomalies in the Eastern Atlantic. In addition, the Eastern Atlantic Mixed Layer was shallower during the positive phase of the Atlantic Niño. The negative phase of the Atlantic Niño presented opposite results, with lower precipitation over the Congo Basin, lower discharge and higher salinity, consequently a deeper Mixing Layer.

Keywords: Eastern tropical Atlantic. Salinity. Congo River. Atlantic Niño. Seasonal variability. Interannual variability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Área de Estudo com a média climatológica da clorofila de satélite Modis-Aqua, período de dezembro 2002 a 2018.....	17
Figura 2 – Precipitação sobre a bacia do Rio Congo (mm/hh), dos dados de TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission, na posição 10°S – 5°N, 14°O – 30°L de 2003 a 2017.....	19
Figura 3 – Descarga mensal do Rio Congo (m^3s^{-1}), da Estação Beach Brazza- ville, na posição 4,28°S - 15,3°E, de 2003 a 2017.....	20
Figura 4 – Climatologia da precipitação do Rio Congo (mm/hh), construída sobre uma base de 15 anos, de 2003 a 2017	21
Figura 5 – Climatologia da vazão do Rio Congo (m^3s^{-1}), construída sobre uma base de 15 anos, de 2003 a 2017.....	21
Figura 6 – Temperatura mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017	22
Figura 7 – Salinidade mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017	22
Figura 8 – Anomalia da temperatura mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017.....	23
Figura 9 – Anomalia da Salinidade mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017.....	23
Figura 10 – Anomalia da descarga mensal do Rio Congo de 2003 a 2017.....	24
Figura 11 – Anomalia da descarga mensal sobre a Bacia do Rio Congo na posi- ção 6°S 10°L de 2003 a 2017.....	24
Figura 12 – Índice do Niño do Atlântico estimado para área entre as longitudes 20°W - 0°W e as latitudes 3°S - 3°N.....	25
Figura 13 – Anomalia da profundidade da camada de mistura 6S°10L°.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEO	Atlântico Equatorial Oeste
AMS	American Meteorological Society
AT	Atlântico Tropical
ATL	Atlântico Tropical Leste
ATS	Atlântico Tropical Sul
CM	Camada de Mistura
CO ₂	Dióxido de Carbono
COADS	Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
CSE	Corrente Sul Equatorial
DA	Domo da Angola
ENOS	El Niño-Oscilação Sul
GG	Golfo da Guiné
GODAS	Global Ocean Data Assimilation System
GWFS	Global Climate Forecasting System
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
LF	Língua Fria
MCGA	Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NE	Nordeste
SSM	Salinidade da Superfície do Mar
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
VOS	Voluntary Observing Ships
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivo	14
2	ATLÂNTICO TROPICAL LESTE.....	15
2.1	Variabilidade da vazão do Rio Congo	15
2.2	Variabilidade da salinidade	16
2.3	Variabilidade da temperatura	17
2.4	Variabilidade da precipitação.....	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1	Área de estudo	20
3.2	Dados e análise.....	20
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1	Climatologia e sazonalidade	22
4.2	Variabilidade interanual.....	26
5	CONCLUSÃO.....	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A região leste do Atlântico tropical tem sido objeto de diversos estudos devido a sua importância global na dinâmica das águas oceânicas (Lagerloef et al, 2010). O Atlântico Tropical Leste (ATL) localizado em 8°O – 12°L, 6°N – 20°S é uma região de afloramento fluvial intenso onde a descarga do rio Congo, o qual tem a segunda maior vazão do mundo, deságua no oceano juntamente com os rios Níger, Volta e outros rios menores. Além disso, intensas precipitações também diminuem a salinidade da superfície do mar (SSM) na corrente da Guiné e no nordeste do golfo da Guiné (Hisard 1980). O ATL é, portanto, caracterizado por um sistema hidrográfico altamente complexo, em grande parte influenciado pelo rio Congo, precipitação intensa e forte ressurgência sazonal costeira e equatorial no inverno austral. A evaporação nessa região também é importante. Ela possui um efeito, provavelmente, único em todo o globo devido justamente aos efeitos de deságue do rio do Congo e da ressurgência. Inclusive esse efeito ocasiona precipitações no Leste do Nordeste.

Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA) mostram limitações ao representar as principais características do Atlântico tropical. Os modelos falham em capturar a Língua Fria (LF) no Atlântico Equatorial Leste (AEL), induzindo a uma reversão do gradiente climático da temperatura da superfície do mar (TSM) (Richter e Xie 2008). A LF é uma grande porção de água fria que se desenvolve na primavera logo ao sul do equador, o que reflete a ressurgência de águas frias profundas pela ação dos ventos alísios de sudeste. Embora o ciclo sazonal da salinidade da superfície do mar (SSM) do Atlântico tropical esteja bem documentado, pouco se sabe sobre sua variabilidade interanual devido à falta de registros observacionais relativamente longos no Atlântico tropical (Friedman et al., 2017). A SSM também carrega a assinatura do ciclo da hidrologia marinha (Schanze et al., 2010).

O rio Congo possui uma extensão total de 4.700km, sua bacia de drenagem abrange 4 milhões de km² na África Central. Também é tido como o rio mais profundo, com profundidades de mais de 220m. Sua descarga na foz varia de 23.000 a 75.000 m³/s, com uma média de 41.000 m³/s. Todos os anos despeja 1.270 km³ de água doce no oceano, que é o segundo maior fluxo no mundo perdendo apenas para o Rio Amazonas (Weldeab, et al. 2007).

Em um ano típico ocorrem dois máximos de descarga, um primeiro em dezembro e um segundo em abril-maio, enquanto que a mínima descarga ocorre durante junho a agosto (Chao, et al. 2015). Intensas quantidades de água doce no ATS provocam um aquecimento da água em maio e se estende sobre o golfo da Guiné (GG) durante junho e julho. Essa anomalia de TSM está relacionada à estação chuvosa altamente úmida na África Ocidental. Por outro lado, baixas descargas na primavera estão associadas a anomalias de TSM positivas sobre o ATS no inverno, com máximos em torno de 20-25° C, e as temperaturas quentes persistem durante o verão. Nestes anos, em abril, a costa africana começa a ser submetida a TSMs anormalmente frias que se estendem ao longo do GG durante os meses seguintes, com a anomalia mais fria registrada em junho (Materia, et al. 2012). A temperatura é considerada um parâmetro físico importante na avaliação da qualidade da água não apenas por representar as variações locais e sazonais do ambiente, mas também por influenciar a densidade da água e, como consequência, alterar os processos de transporte. O conhecimento prévio e monitoramento da temperatura e salinidade oceânica são de extrema importância, pois, ambas além de afetar diretamente no clima global, também influencia na distribuição dos organismos. Diversos fatores podem influenciar a temperatura e salinidade locais e provocar anomalias, entre eles: a descarga de rios em regiões costeiras e fenômenos climáticos globais. Em análises dos campos de fluxos de superfície local dos dados de COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set), foi mostrado que os aquecimentos do Atlântico relacionados ao ENOS (El Niño Oscilação Sul) ocorrem como resultado de reduções nas velocidades do vento de NE em superfície, que reduzem as perdas de calor sobre a região em questão (Enfield, et al. 1997).

As TSMs no Golfo da Guiné possuem valores elevados no verão, depois de uma descarga do rio Congo anormalmente alta na primavera. Quando o Rio Congo descarrega pouca água doce, uma anomalia fria aparece no Golfo (Materia, et al. 2012). A resposta da TSM não é linear, as anomalias de temperatura são consideráveis e duradouras no caso de grande fluxo de água doce, enquanto nos anos secos eles são menos notáveis, embora ainda significativos. Outros processos podem contribuir para a variabilidade da TSM, entre os quais a entrada líquida de água doce da atmosfera caindo sobre o Atlântico Equatorial Oriental. Da mesma forma, no caso do escoamento continental do Rio Congo, as anomalias quentes

ocorrem depois de estações anormalmente chuvosas e de baixas temperaturas, sendo seguidas de estações secas, confirmando o efeito da água doce na TSM.

Usando observações recolhidas de navios de investigação do Projeto Voluntary Observing Ships (VOS), foi descoberto que a variabilidade do SSM é principalmente controlada pela precipitação devido à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no leste do Atlântico. Através de um modelo oceânico pode-se dizer que no GG, mudanças na SSM são primeiramente dirigidas por mudanças na precipitação devido a migração da ZCIT e segundo pelas mudanças forçadas pelo vento nas correntes que afetam a advecção horizontal e vertical, bem como a difusão vertical devido ao cisalhamento (Da-Allada e Du Penhoat, et al. 2014). As fortes descargas de água doce pelos rios Amazonas, Congo e Níger criam plumas rasas de SSM. O ciclo sazonal SSM é máximo em torno dessas plumas, com uma fase oposta na região amazônica e na região do Congo-Níger, parcialmente controlada apenas por entrada de água doce na região amazônica (Tzortzi, et al. 2013).

A precipitação na costa da Guiné depende da variabilidade do oceano Atlântico, e particularmente a TSM do AEO uma vez que taxa de evaporação da superfície do ATL é menor porque uma parte desta região oceânica é afetada pela enorme descarga de água doce do rio Congo, diminuindo a SSM e a TSM (Giannini, et al. 2005). Existe boa correlação mensal entre a descarga do rio Congo e a salinidade da superfície do mar (SSM), usando dados de salinidade do satélite AQUARIUS e boias ARGO, sistema de boias oceânicas que consiste de um enorme conjunto de pequenas sondas (Chao et al 2015). A variabilidade sazonal da SSM para a região do GG, usando dados de modelagem de 1995 a 2006, mostrou que a contribuição sazonal da descarga explica a advecção da pluma do rio Congo (Berger, et al. 2014).

As climatologias de SSM e a descarga foram analisadas com o intuito de comparar os rios no leste do Atlântico Sul com os rios do oeste do Atlântico Tropical (Tzortzi, et al. 2013). Na parte oeste, os fortes ciclos sazonais são evidentes na SSM, precipitação e descarga dos rios. Nesta região a SSM varia em fase com a precipitação e é defasada em um ou dois meses da descarga dos rios. A clara relação em fase entre SSM e precipitação observada no Atlântico ocidental já não é tão evidente na parte oriental. No ATL o máximo de SSM ocorre de julho a setembro, período em que a precipitação está no mínimo. No entanto, o mínimo de SSM em

fevereiro ocorre no momento em que a precipitação está aumentando e próxima da média anual. A diferença da relação de fase entre SSM e descarga entre as duas sub-regiões surge das taxas de saída consideravelmente menores no sistema fluvial do Congo / Níger (cerca de 1.500 km³/ano) em relação a Amazônia / Orinoco (cerca de 7.000 km³/ano) que provavelmente resultará em um impacto mais fraco na SSM. Em particular, o Rio Congo descarrega uma enorme quantidade de água doce no oceano, afetando a SSM no leste equatorial do Atlântico, estratificando as camadas superficiais (Materia, et al. 2012). A hipótese é que um excesso de escoamento do rio intensifica a estratificação, influenciando a temperatura do oceano. Os processos de interação entre o escoamento do rio, a salinidade da superfície do mar e a temperatura desempenham um papel efetivo na variabilidade interanual no ATL.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste trabalho é identificar e descrever a resposta da estrutura termohalina à variabilidade sazonal e interanual do Atlântico tropical leste, na área de influência da descarga do rio Congo. Para atingir este propósito três objetivos específicos foram estipulados: 1) estimar as climatologias de precipitação, descarga do rio Congo, temperatura, salinidade e profundidade da camada de mistura; 2) estimar e analisar a variabilidade interanual dos mesmos parâmetros; 3) identificar possíveis respostas destes parâmetros à sinais climáticos no oceano Atlântico tropical leste.

2 ATLÂNTICO TROPICAL LESTE

Nessa sessão serão introduzidas as variabilidades dos parâmetros, vazão, salinidade, temperatura e precipitação que exercem influência sobre o rio Congo.

2.1 Variabilidade da vazão do Rio Congo

A vazão do Rio Congo é caracterizada por um volume médio de água de 41.000 m³/s, essa pluma de água doce se espalha pelo sudeste do Atlântico tropical e difere significativamente de plumas formadas nas regiões temperadas e polares. As diferenças primárias são que em baixas latitudes há relativamente alta e estável radiação solar, temperatura, precipitação e escoamento dos rios. Em adição, a região está sob influência dos ventos alísios (Nittrouer, 1996). A mínima superfície da pluma é alcançada entre setembro/outubro, coincidindo com a mínima descarga do rio Congo e a diminuição dos ventos da região (Hopkins et al., 2013; Chao et al., 2015) entre junho e agosto. Sua descarga é responsável por grande variabilidade (Dai e Trenberth, 2002). Sua máxima vazão ocorre nos meses de novembro e dezembro e a mínima ocorre da salinidade superficial do Golfo da Guiné (Signorini, et al. 1999). O escoamento de um volume grandioso de água para o Atlântico leste produz uma vasta pluma de água doce, cuja assinatura superficial é identificada até 700-800 km da foz do rio. O rio Congo entra no sudeste do Atlântico a 6° S, 12,3°L, ao norte da frente oceânica Angola-Benguela, a qual é identificada pela confluência entre a Corrente de Angola, um fluxo geostrófico rápido e estreito para o sul de água salgada quente e a Corrente de Benguela, um fluxo frio e menos salino para o norte (Stramma & England, 1999). A Corrente de Angola forma o lado oriental de um giro ciclônico, o Domo de Angola (centrado em 10° S, 5° L). O Domo de Angola é mantido principalmente pela elevação dinâmica da termoclina em seu lado oeste, impulsionada pelo sistema Corrente de Benguela e Corrente Sul Equatorial (CSE) e acredita-se que seja responsável por grande parte da ressurgência na área (Signorini et al., 1999). Ao norte do Congo, no Cabo Lopez, outra frente separa as águas quentes da baía de Biafra das águas mais frias da Corrente Sul Equatorial. A ampla CSE é o braço norte do grande giro subtropical do sul. Esta corrente geostrófica zonal é impulsionada por gradientes meridionais na força dos ventos alísios e da força de Coriolis. As condições

meteorológicas na área são dominadas por mudanças sazonais na posição da zona de convergência intertropical e na monção da África Ocidental.

2.2 Variabilidade da salinidade

A descarga do Rio Congo é responsável por grande variabilidade da salinidade superficial do Golfo da Guiné (Signorini et al. 1999). A precipitação somada a descargas dos pequenos rios poderiam formar a região semipermanente de baixa salinidade no Golfo da Biafra, Leste do Golfo da Guiné e ao norte do Equador (Berger et al., 2014). Já a região de baixa salinidade ao sul do equador foi atribuída diretamente ao rio Congo (Chao et al., 2015). A foz do Rio Níger fica próximo ao centro de baixa salinidade, contudo sua descarga é uma ordem de grandeza menor que o Congo e é pouco provável que o rio Níger seja o único a contribuir para sua variabilidade. Já a região de baixa salinidade ao sul do equador foi atribuída diretamente ao rio Congo (Chao et al., 2015).

No início dos anos noventa, alguns estudos apontaram que o impacto da descarga de água doce continental através de um mecanismo conhecido como a camada de barreira devido à baixa salinidade da água que entra no oceano pela precipitação ou pela descarga do rio, uma camada isotérmica com forte estratificação de salinidade se forma entre o topo da termoclina e o parte inferior da camada mista (Lukas & Lindstrom 1991; Sprintall e Tomczak 1992). Através de um modelo oceânico diversas fontes de água doce foram avaliadas em todo o Atlântico tropical, a ausência do fluxo de água doce acarreta uma instabilidade da região de ressurgência, impulsionada pelo aumento de salinidade (Carton 1991).

Durante a maior parte do ano, o principal eixo da pluma de água doce associado à descarga do rio Congo se estende a noroeste entre 400 e 1.000 km ao longo da costa (Hopkins et al. 2013). Isso sugere que existe uma extensão da pluma para perto ou ao norte do Equador. Através de dados de salinidade do satélite Aquarius foram encontrados dois centros de baixa salinidade, um na foz do rio Congo e outro ao norte do Equador, no Golfo da Biafra. Os dois centros têm alta correlação com a descarga do rio Congo, porém devido à distância, não está claro que o centro no Golfo da Guiné tenha uma relação direta com a vazão do rio. No Golfo da Guiné (centro norte), tanto a precipitação quanto o escoamento do rio são necessários para

produzir os baixos valores de salinidade superficial semipermanentes, mas a descarga do rio tem o impacto mais forte sobre as variações sazonais na SSM (Berger et al. 2014).

A pluma do rio Congo se estende para noroeste durante a maior parte do ano, exceto no período de fevereiro a março, quando a pluma tem uma grande extensão para o oeste (Denamiel et al. 2013). A orientação desse cânion (em direção ao noroeste) é um fator crucial na determinação da direção inicial do movimento da pluma de água doce do rio. Utilizando dados de salinidade do satélite Aquarius foram encontrados dois centros de baixa salinidade, um na foz do rio Congo e outro no Golfo de Biafra. Entre as primeiras simulações do modelo numérico realista da dinâmica da pluma do rio Congo, foi constatado que essa pluma se estende para noroeste durante a maior parte do ano, exceto no período de fevereiro a março, quando a pluma tem uma grande extensão para o oeste.

2.3 Variabilidade da temperatura

A superfície do oceano explica uma parte considerável da variabilidade interanual do Atlântico Tropical. As TSMs no golfo da Guiné são mais elevadas no verão depois de uma descarga do rio Congo anormalmente alta na primavera. O contrário ocorre, quando a vazão do rio é reduzida, uma anomalia fria aparece no Golfo. A resposta da TSM não é linear: as anomalias de temperatura são consideráveis e duradouras no caso de grandes fluxos de água doce, enquanto nos anos secos elas são menos notáveis. Uma camada de barreira é formada a partir de um excesso de água doce, essa barreira inibe a mistura vertical. A temperatura superficial também possui uma variabilidade relacionada a processos como a entrada de água doce da chuva que cai sobre o ATL (Atlântico Tropical Leste). Não se pode atribuir variações da TSM somente à descarga do rio Congo, uma vez que nem sempre as variações de temperatura são grandes após descargas anômalas.

As TSMs no golfo da Guiné afetam a precipitação em parte da África Ocidental. Os padrões pluviométricos na região estão relacionados à média da circulação meridional, descrita por uma monção de superfície que transfere a água evaporada sobre o Golfo da Guiné para o continente africano (Hourdin et al. 2010). Anomalias da TSM no Golfo da Guiné desempenham um importante papel na condução dos padrões

de precipitação. A precipitação na costa da Guiné depende da variabilidade do Oceano Atlântico, e particularmente da TSM do ATL. Como consequência, as anomalias da TSM no Golfo desempenham um papel importante na condução de padrões de precipitação, especificamente na região do Golfo (Giannini et al. 2005).

A variabilidade da TSM no ATL é dominada pelo ciclo anual (Xie e Carton 2004). O máximo de temperatura é atingido durante os meses de março a junho, nesse instante a radiação do sol é alta e os ventos são fracos. Basicamente em toda área do Golfo da Guiné a TSM excede 28°C durante esse período. Conduzido por ventos do sul, a ressurgência ou “upwelling” se intensifica e ocorre um declínio das TSMs. Forma-se assim a chamada Língua Fria (LF) equatorial que se desenvolve no final do outono austral (maio-junho) e persiste até setembro, com TSMs em torno de 23° C em agosto. Além disso, o inverno austral (junho a setembro) acaba sendo a temporada com a maior variabilidade interanual (Joly e Voldoire 2009), uma vez que a queda na TSM não ocorre ao mesmo tempo e intensidade a cada ano (Marin et al. 2009).

2.4 Variabilidade da precipitação

A climatologia sobre a bacia do Congo é impulsionada por três anticiclones permanentes localizados a noroeste (Açores), a sudoeste (Santa Helena) e a sudeste (Mascarene) (Samba et al. 2008). As massas de ar originadas destes anticiclones convergem ao longo da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que separa os ventos de baixa latitude do sul dos ventos do norte, e a Zona de Confluência Interoceânica, separando os ventos de oeste dos de leste na parte sul da África. Um fluxo de monção de baixo nível de ar úmido dirigido pela alta de St. Helena é preso ao longo das zonas de convergência pelo ar quente de alta altitude originário do norte e do sudeste. O fluxo de monção quente produz uma grande zona de nuvens convectivas delimitada pela ZCIT e confluência interoceânica. Portanto, a mudança na posição da ZCIT e confluência interoceânica, durante o ano, determina os diferentes regimes de precipitação.

A migração meridional da ZCIT afeta a climatologia da região de setembro a abril, permitindo que toda a bacia do Congo permaneça relativamente úmida neste período. Contudo, o ano é dividido em dois principais períodos, o seco, de junho a

agosto (JJA) e de dezembro a fevereiro (DJF). O período úmido vai de setembro a novembro (SON) e de março a maio (MAM).

A variabilidade de precipitação é mais forte na escala sazonal, apresentando baixa variabilidade interanual (Hua et al. 2019 e Samba et al. 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

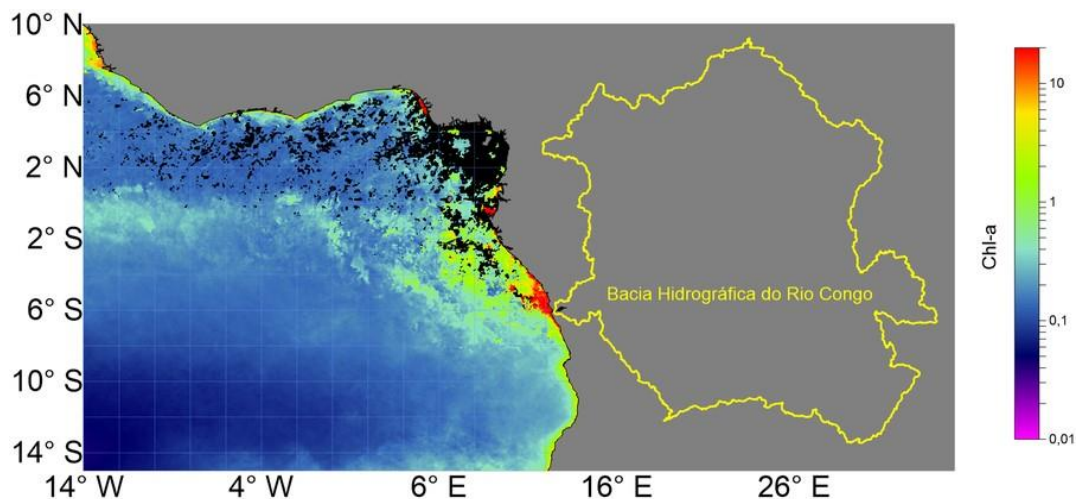
Neste trabalho foram utilizados 15 anos de dados mensais de 2003 a 2017 de precipitação, descarga fluvial, índice do Niño do Atlântico, temperatura, salinidade e camada de mistura. A análise consiste na climatologia mensal e anomalias das variáveis oceânicas como temperatura, e salinidade, e hidrológicas, como a precipitação sobre a bacia e a descarga do rio Congo.

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a região sob influência da bacia do rio Congo, latitude 14°S, 10°N e longitude 14°O, 36°L. A área escolhida abrange toda a bacia do rio Congo, assim como a área do leste do Atlântico adjacente.

A figura 1 ilustra a área de estudo, onde a bacia hidrográfica do rio Congo é delineada pelo contorno amarelo no mapa.

Figura 1 – Área de Estudo com a média climatológica da clorofila de satélite Modis-Aqua, período de dezembro 2002 a 2018



Fonte: O Autor (2019).

3.2 Dados e análise

Neste trabalho foram utilizados 15 anos de dados mensais de temperatura, salinidade de 2003 a 2017. Estes dados são provenientes do conjunto de dados operacionais produzidos rotineiramente pelo Sistema Global de Assimilação de Dados do Oceano (GODAS), desenvolvido nos Centros Nacionais de Previsão Ambiental (NCEP). O novo sistema GODAS foi desenvolvido para substituir o RA6 e fornecer

condições oceânicas iniciais para o Sistema Global de Previsão do Clima (CFS), recentemente desenvolvido no NCEP (Saha et al. 2006). O GODAS tem uma resolução de 1° por 1° aumentada para 1/3° na direção N-S dentro de 10° do equador. O modelo tem 40 níveis com uma resolução de 10 metros nos 200 metros superiores.

Os dados mensais de descarga do rio Congo foram analisados para o mesmo período da base GODAS. Os valores de descarga foram obtidos da Estação Beach Brazzaville, 4,28°S - 15,3°L, disponíveis através do Environmental Research Observatory-Geodynamical, hydrological and biogeochemical control of erosion/alteration and material transport in the Amazon basin (ORE-HYBAM:<http://www-ore-hybam.org>).

Para análise interanual foram obtidos os dados do índice do Atlantic Niño (Dippe et al, 2017), referente a área 20°O-0°O, 3°S-3N. No entanto, a série só é disponível até 2012 (<http://www.jamstec.go.jp>).

Os dados utilizados neste estudo referente a precipitação foram retirados da base de Precipitação Tropical (TRMM - Tropical Rainfall Measuring Mission), a qual é uma missão espacial conjunta entre a NASA e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) projetada para monitorar e estudar as chuvas tropicais (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>). A área escolhida foi baseada na bacia hidrográfica do rio Congo sendo delimitada pela seguinte região 14°O, 30°L, 10°S, 5°N do ano de 2003 a 2017.

A análise aplicada neste trabalho consiste de climatologia das variáveis temperatura, salinidade, descarga do rio Congo e precipitação, assim como a sazonalidade. Além disso, foi aplicado o cálculo de anomalia para cada variável, o qual consiste em remover a sazonalidade, ou seja, a média climatológica mensal para todo o período de estudo. Esta análise permite identificar as variações interanuais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa sessão serão discutidas a variabilidade anual e interanual da precipitação, descarga fluvial, temperatura e salinidade. Bem como suas climatologias mensal e anomalias das variáveis temperatura, salinidade, camada de mistura, índice do Niño do Atlântico, precipitação e descarga do rio Congo.

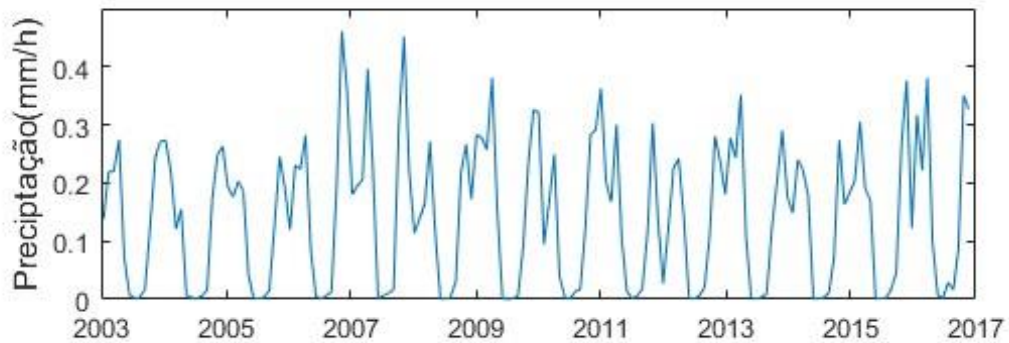
4.1 Climatologia e sazonalidade

As análises aqui apresentadas são referentes ao leste do Atlântico Sul, na posição 6°S – 10°L , próximas da descarga do rio Congo na África. Os resultados consistem da climatologia e variabilidade interanual dos perfis de temperatura e salinidade até a profundidade de 160 metros, ao longo dos anos de 2003 a 2017. Além dos perfis de T e S, foram também analisadas a descarga do rio Congo e comparadas com o Índice do Niño do Atlântico e precipitação.

A figura 2 ilustra a precipitação mensal sobre a bacia do rio Congo (mm/h), obtidos dos dados de TRMM, na posição 10°S – 5°N , 14°O – 30°L de 2003 a 2017. Percebe-se que a sazonalidade da precipitação é bem definida ao longo dos anos, com alguns picos de máximo que se destacam em relação aos outros anos, atingindo valores superiores a 0,4 mm/h, especificamente entre os anos de 2006 a 2008. Os mínimos valores ocorrem na metade de cada ano, caracterizando os períodos de seca.

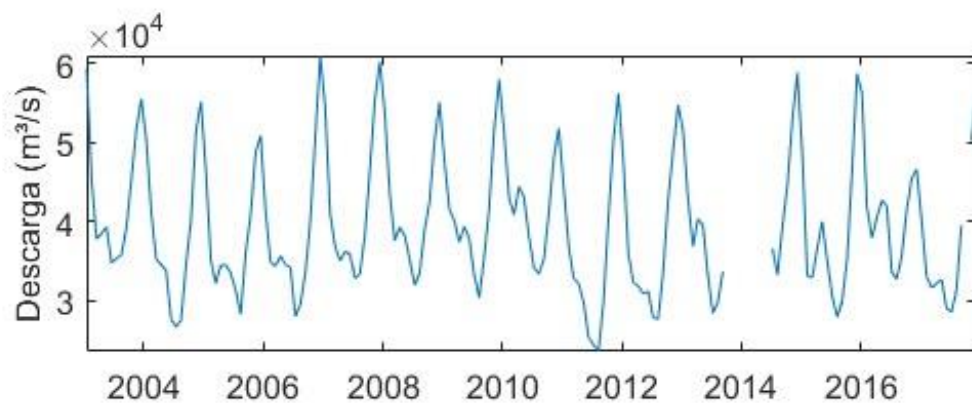
A figura 3 ilustra a variabilidade mensal da descarga do rio Congo nos anos de 2003 a 2017. Os dados apresentaram uma falha de dezembro de 2013 a maio de 2014. No entanto, é possível identificar a variabilidade sazonal da descarga do rio. Entre os anos de 2006 a 2008 ocorreram dois picos de descarga atingindo valores em torno de $6 \times 10^4 \text{m}^3/\text{s}$, já durante 2010 a 2012 o valor mínimo foi de $2,5 \times 10^4 \text{m}^3/\text{s}$. A variação sazonal da descarga do rio acompanha a mesma variação da precipitação (Figura 2), ou seja, é evidente a relação de resposta da variabilidade da descarga em relação a precipitação na bacia do rio Congo.

Figura 2 – Precipitação sobre a bacia do Rio Congo (mm/hh), dos dados de TRMM Tropical Rainfall Measuring Mission, na posição 10°S – 5°N, 14°O – 30°L de 2003 a 2017.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 3 – Descarga mensal do Rio Congo (m^3s^{-1}), da Estação Beach Brazzaville, na posição 4,28°S - 15,3°E, de 2003 a 2017.



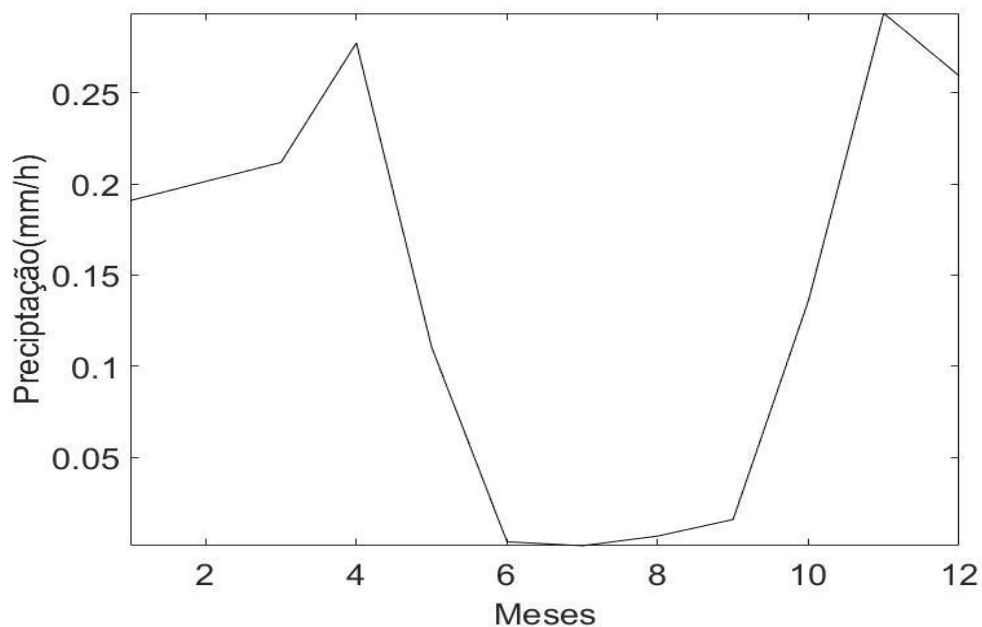
Fonte: O Autor (2019).

A figura 4 mostra a climatologia da precipitação sobre a bacia do rio Congo, essa apresenta valores máximos nos meses de outubro a abril e valores mínimos nos meses de maio a setembro. Ao comparar com a climatologia da descarga apresentada na figura 5 é perceptível um comportamento semelhante uma vez que a climatologia

da descarga tende a apresentar valores máximos nos meses de outubro a dezembro e mínimos de junho a agosto.

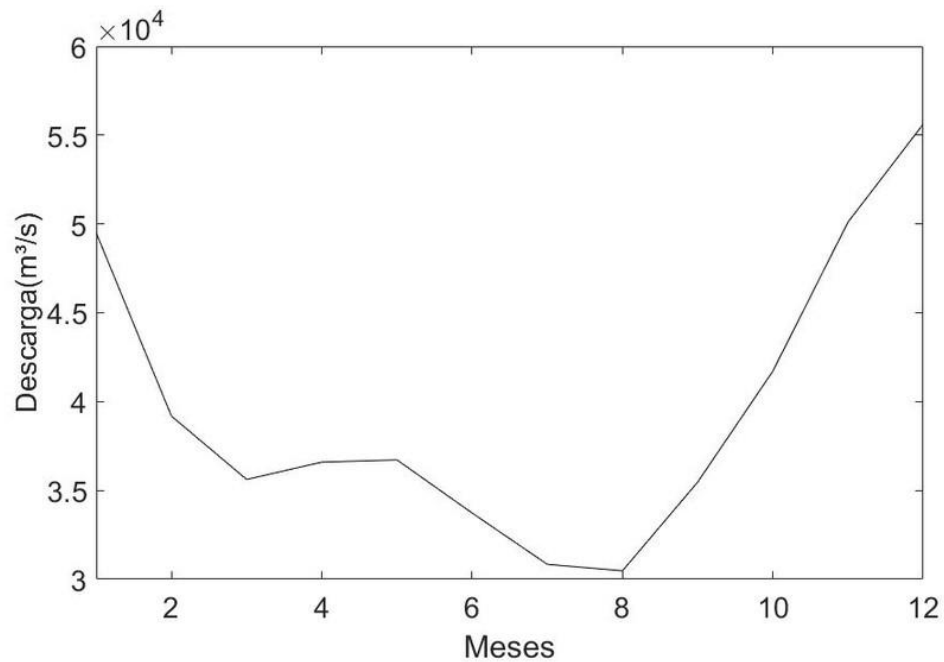
A figura 5 mostra a climatologia da descarga do rio Congo, a qual apresenta máximos de outubro a fevereiro e mínimos de março a agosto. Espera-se assim que esta sazonalidade influencie nas massas d'água adjacentes. A máxima vazão ocorre nos meses de novembro e dezembro e a mínima ocorre entre junho e agosto (Dai e Trenberth (2002). O rio Congo exibe um pico principal de descarga em dezembro, defasado em dois meses após o máximo de chuva na bacia (Materia et al. 2012). O segundo pico de descarga ocorre em maio sendo conduzido pela precipitação de fevereiro a abril, a qual é influenciada pelo movimento da ZCIT.

Figura 4 – Climatologia da precipitação do Rio Congo (mm/hh), construída sobre uma base de 15 anos, de 2003 a 2017



Fonte: O Autor (2019).

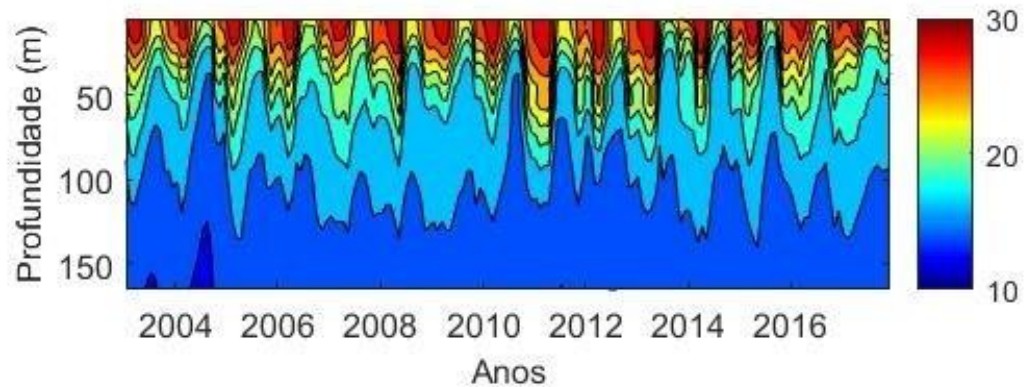
Figura 5 – Climatologia da vazão do Rio Congo (m^3s^{-1}), construída sobre uma base de 15 anos, de 2003 a 2017.



Fonte: O Autor (2019).

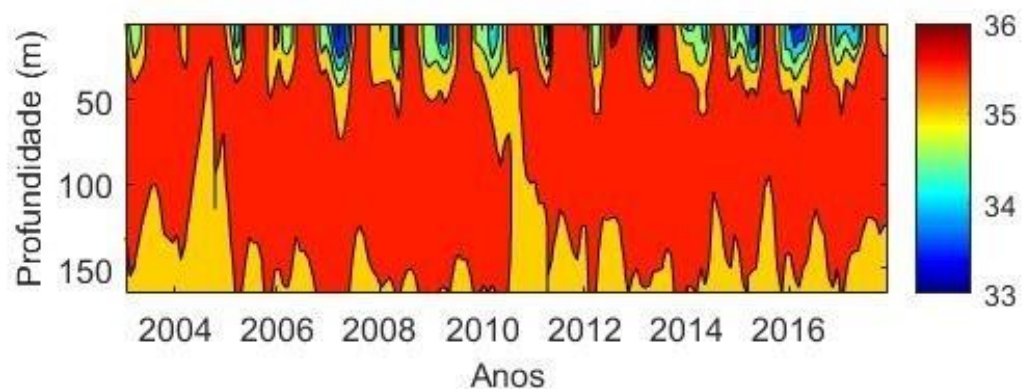
Nas figuras 6 e 7, os perfis de T e S foram analisados nos primeiros 160m da coluna d'água, através de diagramas Hovmöller, e ilustram a variabilidade desde a escala sazonal até interanual. Percebe-se que a sazonalidade de temperatura (Figura 6) é bem definida na coluna d'água, com alguns picos de máxima ou mínima temperatura atingindo extremos no perfil. No ano de 2011 foi registrado um pico de temperatura até meados de 80m de profundidade. Já na figura 7, a sazonalidade da salinidade não é expressiva em cada ano observado, apresentando alguns anos com baixa variação. A sazonalidade da salinidade está presente na porção superficial da coluna d'água (prof<50m), porém em alguns anos os mínimos aparecem mais fracos que em outros. A variação interanual pode ser analisada nos próximos resultados, nas figuras 8 e 9, através dos gráficos de anomalias.

Figura 6 – Temperatura mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017



Fonte: O Autor (2019).

Figura 7 – Salinidade mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017



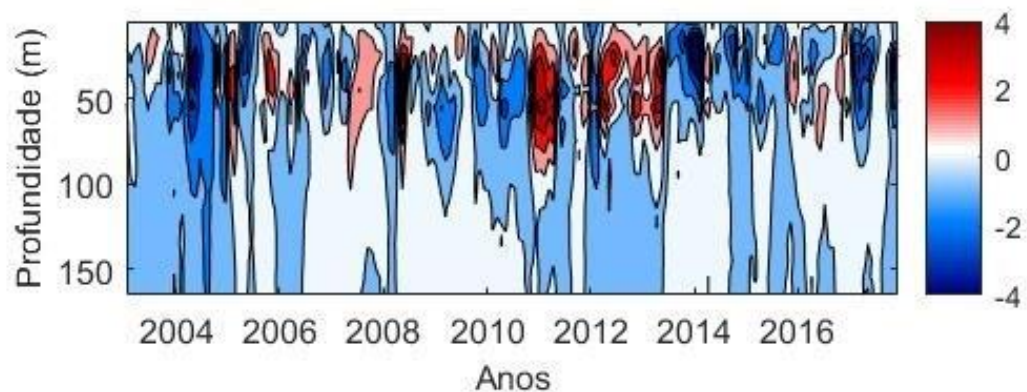
Fonte: O Autor (2019).

4.2 Variabilidade interanual

Nas figuras 8 e 9, os perfis de anomalia de T e S foram analisados através de diagramas Hovmöller, e ilustram a variabilidade interanual. Percebe-se que as anomalias de temperatura (Figura 8) se destacam na coluna d'água, mostrando alguns anos de anomalia positiva, como em 2005, 2007, 2008, sendo mais intensos e frequentes nos anos de 2011 a 2013. Já na figura 9, a anomalia positiva da salinidade

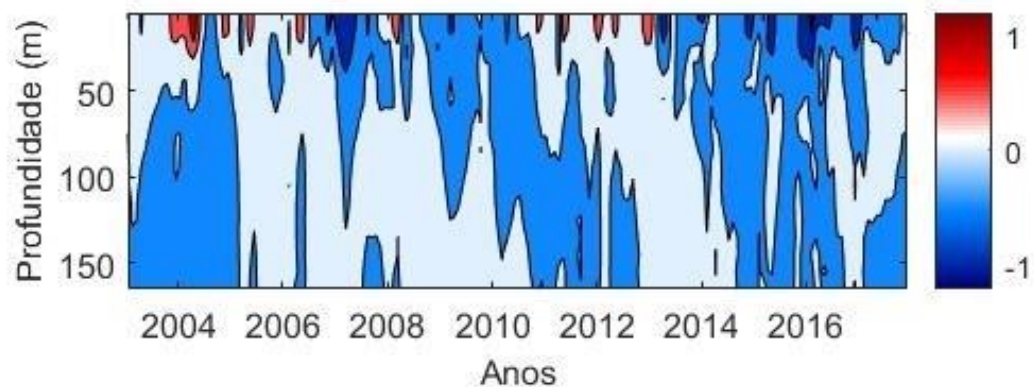
é destacada principalmente na superfície em média até 30m, apresentando maior intensidade no ano de 2004, e torna-se negativa de 2007 a 2010 e 2014 a 2017. Esse padrão de anomalia negativa pode ser explicado pela maior vazão em períodos interanuais.

Figura 8 – Anomalia da temperatura mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017



Fonte: O Autor (2019).

Figura 9 – Anomalia da salinidade mensal da coluna d'água na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017

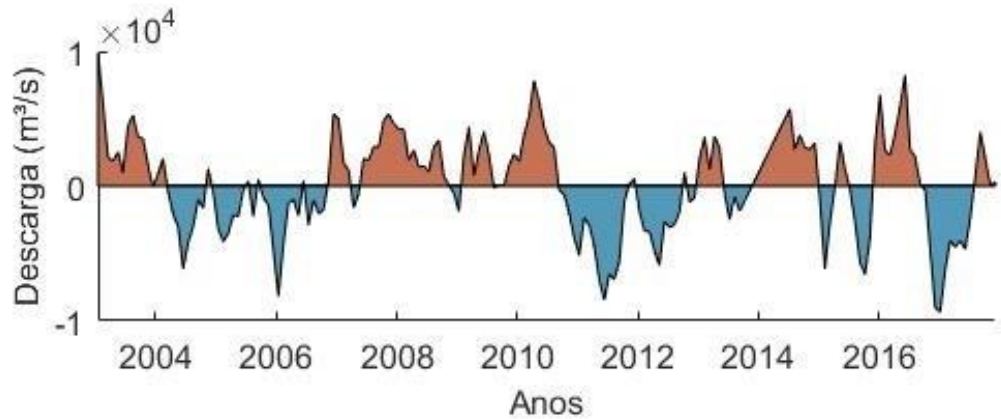


Fonte: O Autor (2019).

Para compreender a variabilidade interanual de T e S na coluna d'água, verifica-se a anomalia da descarga do rio Congo. A figura 10 mostra a variabilidade interanual da descarga do rio Congo, destacando que houve anomalias positivas de descarga no ano de 2003, uma sequência positiva de 2007 a 2011 e 2013 a 2016. Tal fato pode ser relacionado com as anomalias negativas de salinidade (figura 9), na

salinidade dos primeiros 30m entre os anos de 2007 a 2011 e nos anos de 2013 a 2017.

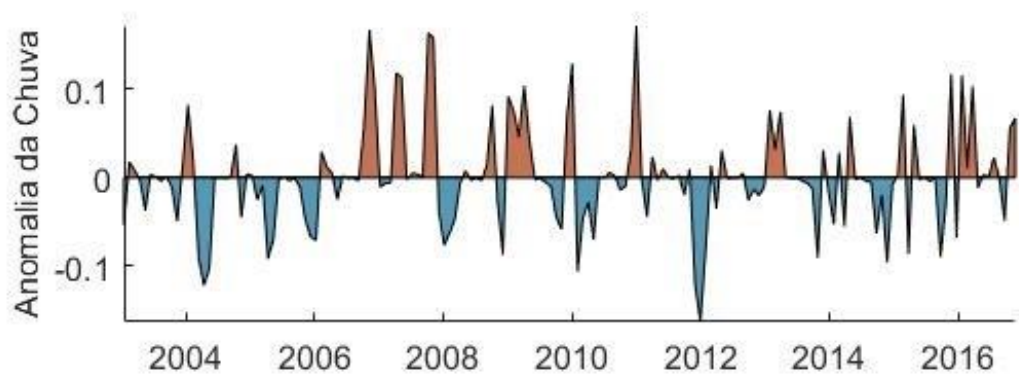
Figura 10 – Anomalia da descarga mensal do Rio Congo de 2003 a 2017



Fonte: O Autor (2019).

A figura 11 apresenta a anomalia de precipitação na bacia do rio Congo. Anomalias positivas de precipitação ocorreram com mais intensidade principalmente entre 2007 e 2011 e 2013 e 2017, o que corresponde aos anos de mais fortes anomalias positivas de vazão (Figura 10).

Figura 11 – Anomalia da descarga mensal sobre a Bacia do Rio Congo na posição 6°S 10°L de 2003 a 2017



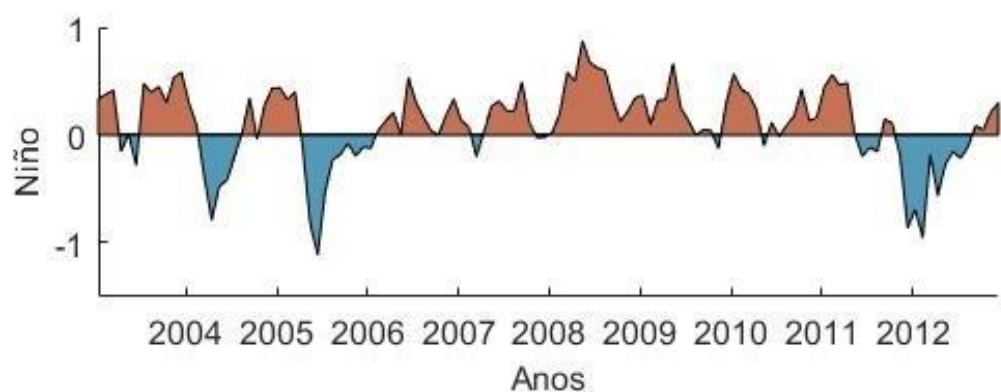
Fonte: O Autor (2019).

Uma parte da contribuição das chuvas na bacia do rio Congo deve-se à influência da ZCIT (Materia et al. 2012). Sendo assim, a bacia do rio Congo está sob influência dos ventos Alísios na parte leste do Atlântico, que também são responsáveis por variabilidades interanuais no leste do Atlântico equatorial. Um dos sinais que poderia indicar uma influência dos Alísios e sua relação com a parte leste do Atlântico seria o sinal do Niño do Atlântico, uma vez que o mesmo está relacionado ao início da monção da África ocidental (Lübbecke and McPhaden, 2017; Brandt et al, 2011).

A figura 12 apresenta o sinal do Niño do Atlântico, para se averiguar possíveis relações com as chuvas na bacia do Congo. Anos de fase positiva do Niño do Atlântico correspondem a um enfraquecimento dos ventos Alísios de sudeste e aumento da TSM, o contrário pode ser verificado na fase negativa do sinal, que corresponde a Niña do Atlântico.

Verifica-se que os anos de fase positiva do Niño do Atlântico foram principalmente de 2006 a 2011, o que está em fase com anos de anomalias positivas de chuva e descarga e, ao mesmo tempo, de anomalias negativas de salinidade. Nos anos de 2011 e 2012 o sinal do Niño do Atlântico foi negativo e, associado a isso, as mais intensas anomalias negativas de chuva ocorreram no final de 2011 para início de 2012. No mesmo período ocorreram anomalias negativas de descarga (Figura 10), nos anos 2011 e 2012, causando assim anomalias positivas de salinidade, nos anos de 2011 a 2013, conforme pode ser identificado na figura 9. Estes resultados sugerem uma relação oposta entre Niño do Atlântico e salinidade no Atlântico leste.

Figura 12 – Índice do Niño do Atlântico estimado para área entre as longitudes 20°W - 0°W e as latitudes 3°S - 3°N



Fonte: O Autor (2019).

Comparando também a precipitação diretamente com os padrões de salinidade na borda leste do Atlântico equatorial, respectivamente anomalias da salinidade e precipitação, é perceptível que durante os anos de 2004 a 2007 houve predomínio de anomalias positivas para salinidade, enquanto que valores de anomalias negativas foram predominantes para precipitação. Já entre os anos de 2007 a 2011 o comportamento inverso é notado, anomalias negativas de salinidade apresentando valores abaixo de -1 na coluna d'água, já a chuva apresentou picos anômalos positivos atingindo valores superiores a 0,15 mm/h. Períodos alternativos de anomalia são encontrados entre 2011 a 2017, tendo destaque o ano de 2016 o qual apresentou também um pico negativo de anomalia salina, penetrando pouco mais que 40m na coluna d'água com valores menores do que -1.

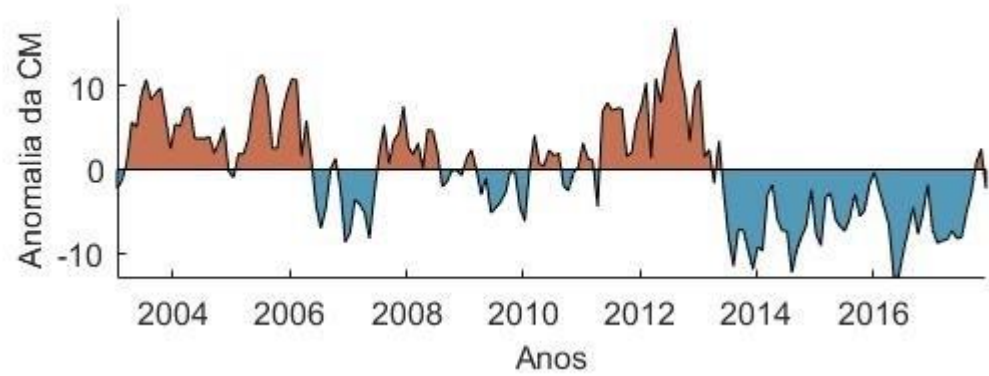
De uma maneira geral o índice apresentado na figura 12 demonstra que houve um período de 2006 a 2011 com fase positiva do El Niño do Atlântico. Durante os eventos positivos do Niño do Atlântico as TSMs no centro e na porção oriental equatorial do Atlântico tornaram-se mais quentes que a média.

Em consequência das relações encontradas na variabilidade interanual, investiga-se também a influência da variabilidade de temperatura e salinidade na coluna d'água na variabilidade da profundidade da camada de mistura (CM). A figura 10, mostra as anomalias de profundidade da CM.

Em 2011 e 2012 as anomalias de precipitação e vazão estiveram mais negativas, com anomalias de salinidade positiva. Associado a isso, a profundidade da CM ficou mais profunda do que a média (Figura 13).

Com relação a anomalia da CM entre os anos de 2006 e 2010 houve uma anomalia negativa de menor intensidade, especificamente para 2006, 2007 e 2009 (figura 13). Apesar de ter uma anomalia positiva no ano de 2008, esses anos de camada de mistura rasa também correspondem a anos de anomalias negativas de salinidade (Figura 9) e anos de anomalias positivas de vazão do Rio Congo (Figura 10). Em 2013 a 2017 a CM ficou mais rasa do que a média histórica, esses anos correspondem ao período de anomalias máximas de precipitação e vazão associado com anomalias negativas de salinidade.

Figura 13 – Anomalia da profundidade da camada de mistura 6S°10L°



Fonte: O Autor (2019).

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo principal identificar e descrever a variabilidade espaço temporal das variáveis oceânicas e hidrológicas no leste do Atlântico Tropical Sul, na área de influência da descarga do Rio Congo na África.

Para o leste do Atlântico Sul, na posição 6S°10L°, a sazonalidade de temperatura é bem definida na coluna d'água e apresenta um pico de temperatura no ano de 2009 e de 2011 a 2013, já a sazonalidade da salinidade apresenta máximos no ano de 2004 e de 2011 a 2013 e mínimo no ano de 2007 e de 2014 a 2017.

As análises deste trabalho identificam uma relação de causa e efeito entre o Niño do Atlântico e as variáveis meteo-oceanográficas da bacia do rio Congo e Atlântico Leste. Através dos resultados aqui obtidos foi possível identificar que a fase positiva do Niño do Atlântico favoreceu anos com anomalias positivas de precipitação, as quais contribuíram para maior vazão do Rio Congo e, consequentemente, anomalias negativas de salinidade no Atlântico Leste. Além disso, a Camada de Mistura no Leste do Atlântico mostrou-se mais rasa nos anos de fase positiva do Niño do Atlântico.

A fase negativa do Niño do Atlântico foi responsável por resultados opostos, com menor precipitação, menor vazão e maior salinidade, consequentemente, uma Camada de Mistura mais profunda.

Este trabalho apresentou a sazonalidade e variabilidade interanual predominante na região oceânica sob influência da vazão do rio Congo relacionando-os com o Niño do Atlântico. Verificou-se uma variabilidade interanual de baixa frequência, frente a isso, sugere-se para trabalhos futuros uma análise histórica de longo prazo, para melhorar a confiabilidade estatística da influência de sinais climáticos nesta região.

REFERÊNCIAS

- BERGER, H., A. TRÉGUIER, N. PERENNE, AND C. TALANDIER. Dynamical contribution to sea surface salinity variations in the eastern Gulf of Guinea based on numerical modeling. **Clim. Dyn.**, v.43 n.11, 3105–3122, 2014.
- BRANDT, A, *et al.* Maud Rise - a snapshot through the water column. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 58, 1962-1982, 2011.
- CARTON, J. A. Effect of seasonal surface freshwater ux on sea surface temperature in the Tropical Atlantic Ocean. **J Geophys Res**, v. 64, p. 12593 – 12598, 1991.
- CHAO, Y., JOHN D. FARRARA, GUY SCHUMANN, KONSTANTINOS M. ANDREADIS, DELWYN MOLLER. Sea surface salinity variability in response to the Congo river discharge. **Continental Shelf Research**, v. 99, 2015, p. 35-45, ISSN 0278-4343, doi: 10.1016/j.csr.2015.03.005.
- DA-ALLADA, C. Y, DU PENHOAT *et al.* Modeled mixed-layer salinity balance in the Gulf of Guinea: seasonal and interannual variability. **Ocean Dynamics**, v. 64, p. 1783–1802, Dec. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10236-014-0775-9>.
- DAI, A. AND TRENBERTH, K. E. Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. **J. Hydrol.** n. 3, p. 660-687, 2002.
- DENAMIEL, CLÉA, W. PAUL BUDGELL, AND RALF TOUMI. The Congo river plume: impact of the forcing on the far-field and near-field dynamics. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 2, n. 118, p. 964-989, 2013.
- DIPPE, T., GREATBATCH, R.J. & DING, H. On the relationship between Atlantic Niño variability and ocean dynamics. **Clim Dyn.** 2017.
- ENFIELD, DAVID B., AND DENNIS A. MAYER. Tropical Atlantic sea surface temperature variability and its relation to El Niño-Southern Oscillation. **Journal of Geophysical Research**, v. 102 n. C1, p. 929-945, 1997.
- FRIEDMAN, A. R., REVERDIN, G., KHODRI, M., AND GASTINEAU, G. A new record of Atlantic sea surface salinity from 1896 to 2013 reveals the signatures of climate variability and long-term trends. **Geophys. Res. Lett.**, v. 44, n. 4 2017, p. 1866–1876.
- GIANNINI, A., SARAVANAN, R., CHANG, P. Dynamics of the boreal summer African monsoon in the NSIPP1 atmospheric model. **Clim Dyn**, v. 25, p. 517–535, 2005.
- JOLY, M., VOLDOIRE, A. Influence of ENSO on the West African monsoon: temporal aspects and atmospheric processes. **Journal of Climate**, v. 22, p. 3193-3210, 2009.
- HISARD, P. Observation de réponses de types “El Niño” dans l’Atlantique tropical oriental Golfe de Guinée. **OCEANOLOGICA ACTA, COB/ORSTOM, B.P**, v. 3, n. 1, p. 69 – 78, 1980.

- HOPKINS, J., M. LUCAS, C. DUFAU, M. SUTTON, J. STUM, O. LAURET, AND C. CHANNELLIER. Detection and variability of the Congo River plume from satellite derived sea surface temperature, salinity, ocean color and sea level. **Remote Sens. Environ.** p. 365–385, 2013.
- HOURDIN F, et al. AMDMA-model intercomparison project. **BullAm Meteorol Soc**, p. 95–104, 2010.
- HUA, W., LIMING ZHOU, SHARON E. NICHOLSON, HAISHAN CHEN, MINHUA QIN. Assessing reanalysis data for understanding rainfall climatology and variability over Central Equatorial Africa. **Clim Dyn**, 2019.
- LÜBBECKE, J. F.; MCPHADEN, M. J. Symmetry of the Atlantic Niño mode. **Geophysical Research Letters**, n. 44, p. 965 – 973, 2017.
- LAGERLOEF, GARY, RAYMOND SCHMITT, JULIAN SCHANZE, and HSUN-YING KAO. The Ocean and the Global Water Cycle. **Oceanography** **23**, v. 4, p. 82-93, 2010.
- LUKAS, R., AND E. LINDSTROM. The mixed layer of the western equatorial Pacific Ocean. **J. Geophys. Res.** p. 3343-3357, 1991.
- MARIN F, CANIAUX G, GIORDANI H, BOURLÈS B, GOURIOU Y, KEY E. Why were Sea Surface Temperatures so different in the Eastern Equatorial Atlantic in June 2005 and 2006?. **J. Phys. Oceanogr**, p. 1416-1431, 2009.
- MATERIA, S., S. GUALDI, A. NAVARRA, AND L. TERRAY. The effect of Congo River freshwater discharge on Eastern Equatorial Atlantic climate variability. **Clim. Dyn.** p. 2109–2125, 2012.
- NITTROUER, C. A.; KUEHL, S. A.; FIGUEIREDO, A. G.; ALLISON, M. A.; SOMMERFIELD, C. K.; RINE, J. M.; FARIA, L. E. C.; SILVEIRA, O. M. The geological record preserved by Amazon shelf sedimentation. **Continent. Shelf Res.** v. 16, p: 817-841, 1996.
- RICHTER, I.; XIE, S. On the origin of equatorial Atlantic biases in coupled general circulation models. **Clim Dyn**, v. 31, p. 587 – 598.
- SCHANZE, J. J.; SCHMITT, R. W.; YU, L. L. The global oceanic freshwater cycle: A state-of-the-art quantification. *Journal of Marine Research*, n. 68, p. 569 – 595, 2010.
- SAMBA, G.; NGANGA, D.; MPOUNZA. Rainfall and temperature variations over Congo-Brazzaville between 1950 and 1998. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 91, p. 85 – 97, 2008.
- SIGNORINI, S., MURTUGUDDE, R., MCCLAIN, C., CHRISTIAN, J., PICAUT, J. AND BUSALACCHI, A. Biological and physical signatures in the tropical and subtropical atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, p. 18367-18382, 1999.
- SPRINTALL, J. & TOMCZAK, M. Evidences of the barrier layer in the surface layer of the tropics. **J. geophys. Res.**, p. 7305-7316, 1992

STRAMMA, L., AND ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **J. Geophys. Res.** p. 20863– 20883, 1999.

TZORTZI, E., JOSEY, S. A., SROKOSZ, M., & GOMMENGINGER, C. Tropical Atlantic salinity variability: New insights from SMOS. **Geophysical Research Letters**. p. 2143–2147, 2013.

UNGANAI, LEONARD. Historic and future climatic change in Zimbabwe. **Climate Research - CLIMATE RES.** p. 137-145. 1996.

XIE S. P., CARTON J. A. Tropical Atlantic Variability: Patterns, Mechanisms, and Impacts. To appear in Earth Climate: The Ocean-Atmosphere Interaction. **Geophysical Monograph**, 2004.

WELDEAB, S., DAVID W. LEA, RALPH R. SCHNEIDER, NILS ANDERSEN. 155,000 Years of West African Monsoon and Ocean Thermal Evolution. **Science**, v. 316, p.1303-1307, 2007.