



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Trabalho de Licenciatura

**ANÁLISE DO TRANSPORTE DE SAL NO CANAL DE  
MOÇAMBIQUE A PARTIR DE DIFERENTES ESTIMATIVAS**

**Autor**

Jaime Celestino Faz-ver



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia submetida para Obtenção do Grau de Licenciatura em  
Oceanografia

**Análise do Transporte de sal no Canal de Moçambique a partir de  
diferentes estimativas**

Autor:

*Jaime Celestino Faz-ver*

Supervisor:

*[Handwritten signature]*

Avaliador:

*Nelio das Neves Oliveira*

Presidente da mesa de Juri:

*Yolanda Narciso Teles*

Quelimane, 8 de Dezembro de 2023

### **Dedicatória**

Primeiro de tudo, dedico este trabalho à Deus, pois este triunfo não é apenas meu, mas antes ele é Seu.

**Celestino Mauzo Faz-ver e Verónica Julião Chume**, Pai e Mãe, honrar-vos para que se prolonguem os meus dias na Terra será para sempre o meu maior mandamento, meus irmãos **Faz-ver, Gina, Laércio, Osvaldo, Huxley, Luzley, Larrey e Nunes**, dedico-vos pois ao longo da caminhada, vocês estiveram sempre no meu coração, portanto, essa vitória é nossa.

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus por me ter dado forças para concluir mais essa etapa de minha vida.

Agradeço a meu pai e à minha mãe (Celestino Faz-ver e Verónica Chume) por serem sempre os melhores pais do mundo, por sempre estarem presentes, por sempre acreditarem em mim, por sempre me darem os conselhos mais úteis, por se orgulharem de mim do jeito que eu sou e por sempre me incentivarem a pesquisar. Amo muito vocês, para sempre.

Faz-ver e Gina, vosso mais novo conseguiu, obrigado por terem feito parte da minha formação humana e por terem sido incentivo e apoiantes da formação acadêmica. Laércio, Osvaldo, Huxley, Luzley e Larcy, vosso mano conseguiu, costume dizer sempre: "Antes de pisar em espinhos, pense naquele que segue os seus passos", esse grau é mesmo a pensar em vocês.

Lurdes José Mbofana (mamã), muito obrigado pelo suporte dado por si e pelos meus irmãos (Yassimin, Chelsia, Igor, Anastácia e Wanga) vosso apoio estará escrito em tinta indelével na história da minha formação acadêmica e no desenvolvimento do meu ser atual.

Ao meu orientador, Teófilo Ferraz, muito obrigado pelo acompanhamento, pelo suporte e por permitir, através da vossa orientação que este feito fosse possível, muito obrigado eterno mestre.

A classe dos docentes da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, por me terem feito beber das melhores fontes de conhecimento em matéria de ciências marinhas e costeiras, ética e por acima de tudo, transformarem a minha maneira de ver o mundo.

Aos colegas e companheiros do curso de 2018: Kassnga Goba, Almiro Monjane, Orlando Nhatuguês, Milena Yassimim, Ivaldo Fumo, Evandro Armindo, Yula Cristina, Josefa Joicy, Ana Cristina, meu muito obrigado, vosso contributo foi indispensável para este feito, agradeço amizade e companheirismo dentro e fora da ESCMC, por todos os momentos e risadas que juntos compartilhamos.

A Edna Teasse Rodrigues Pelembe obrigado por nos momentos em que a minha navegação no mar da vida esteve condicionada à forçantes teres sido meu porto seguro.

Ao meu eterno melhor amigo, quem soube fazer a pressão necessária, quem sempre quis isso mais do que Eu, muito obrigado Agnaldo de Jesus Jocene, a meta ainda é correr atrás dos sonhos e parece que a corrida mal acaba de iniciar-se.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o alcance deste grau acadêmico, muito obrigado.

*"Somos o que fazemos, mas somos, principalmente, o que fazemos para mudar o que somos."*

*Ad augusta per angusta!*

## **Declaração de honra**

Eu, **Jaime Celestino Faz-ver**, declaro por minha honra que esta monografia nunca foi apresentada a uma outra Universidade para obtenção de qualquer grau académico e que ela constitui o resultado do labor individual. Cada ideia trazida de outros trabalhos foi devidamente citada e referenciada. Esta monografia é apresentada na sequência do cumprimento dos requisitos para obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia, na Universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, 8 de Dezembro de 2023

Autor:

---

(Jaime Celestino Faz-ver)

## Resumo

As características das massas de água transferida, ou seja, as concentrações de sal, temperatura e outros elementos químicos, dependem da contribuição relativa das águas oriundas das outras bacias. Alterações no volume total ou na proporção dessa mistura de águas podem ter reflexos significativos no processo de formação de águas profundas no norte do Atlântico, afectando a intensidade da corrente termohalina (Flutuabilidade). No entanto a circulação de vórtices de meso escala no Canal de Moçambique e ao sul de Madagáscar propagando-se em direcção à Corrente das Agulhas e tem uma dinâmica característica e são importante para a circulação oceânica regional e global, entretanto, a região retroflexão da Corrente das Agulhas faz com que parte das águas desta corrente entre no Oceano Atlântico, é o chamado vazamento das Agulhas. Projecções em modelos climáticos para o século 21, prevêem o aumento deste vazamento e conseqüentemente a MOC. Desta forma, a partir de diferentes fontes de dados (observação por satélite ARMOR3D, e os modelos GLORYS e SODA) buscou-se estimar o transporte de sal no canal de Moçambique para o sistema de correntes das agulhas, entretanto antes das estimativas do transporte analisou-se a distribuição da salinidade superficial no MZC a partir do modelo GLORYS, os resultados demonstraram uma sazonalidade na distribuição SSM influenciadas por altas taxas de evaporação, precipitação e descargas de rios nas regiões costeiras e na circulação, após a aplicação das EOF's, também demonstram altas frequência na variabilidade das correntes superficiais na região norte e centro MZC associados a corrente e vórtice de meso escala. Os resultados das estimativas do transporte de sal a partir de dados de AMOR3D, SODA e GLORY (3.10<sup>4</sup> tons. s<sup>-1</sup>, 3,8.10<sup>4</sup> tons. s<sup>-1</sup> 4. 10<sup>4</sup> tons. s<sup>-1</sup> de médias) não mostram similaridades no seu comportamento ao longo dos anos. Com tendências a aumentar o volume de água menos salina, afectando a formação de águas profundas, e conseqüentemente um desequilíbrio no clima regional e global.

**Palavras-chave:** salinidade, EOF's, correntes superficiais, transporte de sal e Canal de Moçambique

## Abstract

The characteristics of the transferred water masses, that is, the concentrations of salt, temperature and other chemical elements, depend on the relative contribution of water from other basins. Changes in the total volume or proportion of this water mixture can have significant impacts on the process of formation of deep waters in the north of the Atlantic, affecting the intensity of the thermohaline current (Buoyancy). However, the circulation of mesoscale vortices in the Mozambique Channel and south of Madagascar propagating towards the Agulhas Current and has a characteristic dynamics are important for regional and global oceanic circulation, however, the retroflection region of the The Agulhas Current causes part of the waters of this current to enter the Atlantic Ocean, called the Agulhas leak. Projections in climate models for the 21st century predict an increase in this leak and consequently the MOC. In this way, from different data sources (ARMOR3D satellite observation, and the GLORYS and SODA models) we sought to estimate the transport of salt in the Mozambique channel for the needle current system, however, before transport estimates, we analyzed -the distribution of surface salinity in the MZC from the GLORYS model, the results demonstrated a seasonality in the SSM distribution influenced by high rates of evaporation, precipitation and river discharges in coastal regions and in the circulation, after the application of EOF's, also demonstrate high frequency in the variability of surface currents in the northern and central MZC region associated with mesoscale current and vortex. The results of salt transport estimates from data from ARMOR3D, SODA and GLORY ( $3.10^4 \text{ tons. s}^{-1}$ ,  $3.8.10^4 \text{ tons. s}^{-1}$   $4.10^4 \text{ tons. s}^{-1}$  of averages) do not show similarities in their behavior over the years. With tendencies to increase the volume of less saline water, affecting the formation of deep waters, and consequently an imbalance in the regional and global climate.

**Keywords:** salinity, EOF's, surface currents, salt transport and Mozambique Channel

## Lista de Figuras

<b>Figura 1:</b> Célula de Revolvimento meridional do Atlântico (AMOC). .....	18
<b>Figura 2:</b> Mapa batimétrico do Canal de Moçambique. A secção latitudinal no interior do Canal indica a região Sul (MCE-South), onde foram analisadas as estimativas do transporte, adaptado de Júnior, (2023). .....	21
<b>Figura 3:</b> Variação sazonal (verão [DEZ, JAN e FER]; Inverno [JUN, JUL e AGO]) da salinidade superficial do Canal Moçambique simulados pelo modelo GLORYS. ....	28
<b>Figura 4:</b> série temporal da salinidade da superfície do mar de 2011 – 2015 simulados pelo modelo GLORYS, feita a partir da secção MCE-S (sul) do canal de Moçambique. ....	29
<b>Figura 5:</b> Mapas de distribuição espacial das EOF 1, do modulo das intensidades da corrente superficial do ARMOR3D e simuladas pelos modelos GLORYS e SODA. ....	30
<b>Figura 6:</b> Mapas de distribuição espacial dos EOF do segundo e terceiro modo de Variabilidade do Campo de Velocidade dos produtos ARMOR3D, GLORYS e SODA. ....	31
<b>Figura 7:</b> Mapas apresentando os erros da raiz quadrática media (RMSE) do primeiro modo de variabilidade de EOF entre os dados das intensidades das correntes geradas por GLORYS - ARMOR e SODA - ARMOR3D. ....	32
<b>Figura 8:</b> Evolução temporal das Componentes Principais (PC) associadas a cada modo de variabilidade do campo de velocidade dos produtos ARMOR3D, GLORYS e SODA. ....	33
<b>Figura 9:</b> Série temporal referente ao transporte de sal na região Sul do canal de Moçambique na secção de controle MCE-South 25°S. ....	34
<b>Figura 10:</b> Variação sazonal (2011 a 2015) dos campos de SSM obtidos na simulação do GLORYS e SODA (primeira coluna) e dados observacionais do ARMOR3D (segunda coluna). ....	42
<b>Figura 11:</b> Resultado das diferenças variação sazonal (2011 a 2015) dos campos de SSM, GLORYS-ARMOR3D; SODA-ARMOR3D (primeira coluna, verão) e GLORYS-ARMOR3D; SODA-ARMOR3D (segunda coluna, inverno). ....	43
<b>Figura 12:</b> Evolução temporal das Componentes Principais (PC) associadas a cada modo de variabilidade do campo de velocidade dos produtos, GLORYS e SODA. ....	44
<b>Figura 13:</b> Mapas apresentando os erros da raiz quadrática media (RMSE) do segundo e terceiro modo de variabilidade de EOF entre os dados das intensidades das correntes geradas por GLORYS - ARMOR e SODA - ARMOR3D. ....	45

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1</b> - Resumo descritivo dos dados usados. ....	21
<b>Tabela 2</b> - Coordenada da secção de controle. ....	25
<b>Tabela 3</b> - Variância (%) determinada por cada modo de variabilidade. ....	31
<b>Tabela 4</b> - Coeficiente de determinação (R <sup>2</sup> ) entre os produtos para os três primeiros modos de variabilidade. ....	33
<b>Tabela 5</b> - Estatísticas dos Transportes de Sal em tons/s no Canal de Moçambique determinada na secção de controle MCE-S (25°S).....	34

### Abreviaturas, Símbolos e Unidades

Abreviaturas		Símbolos e Unidades	
AC	Corrente de Agulhas	M	Metros
AMOC	<i>Atlantic Meridional Overturning Circulation</i>	$kg \cdot m^{-3}$	Quilograma por metros cubico
APDRC	<i>Asia-Pacific Data-Research Center</i>	U	Velocidade da corrente Zonal
ARMOR3D	<i>Multi Observation Global Ocean 3D</i>	V	Velocidade corrente Meridional
CM	<i>Camada de mistura</i>		
CMEMS	<i>Copernicus Marine Environmental Monitoring Service</i>	Vg	Velocidade geostrófica Meridional
CRMA	Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico	$ton^{-1} \cdot s$	Toneladas por segundo
CSM	Correntes superficiais e/ou geostrofica		
EMC	Corrente Este de Madagascar	$\rho$	Densidade da água do mar
EOF	<i>Empirical Orthogonal Functions</i>		
GLORYS	<i>Global Ocean Reanalysis and Simulation</i>	Ug	Velocidade geostrófica zonal
MCE-S	<i>Mozambique Channel eddy – South</i>	$m \cdot s^{-1}$	Metros por segundos
MZC	<i>Mozambique Channel</i>	$^{\circ} C$	Graus Celcius
NCEP	Centro Nacional de Previsão Ambiental	$^{\circ} S$	Graus de latitude Sul
SEC	Corrente Sul Equatorial	Z	Profundidade
SEMC	Sudeste de Madagascar	$N \cdot m^{-2}$	Newton por metros quadrado
SLA	<i>Sea Level Anomaly</i>	$H(x, y)$	Transporte de Sal horizontal
SODA	<i>Simple Ocean Data Assimilation</i>	$^{\circ} E$	Graus de latitude Este
SSM	salinidade Superficial do Mar	$w \cdot m^{-2}$	Watt por metros quadrado
RMSE	Raiz quadrada do erro quadrático médio	Sv	Servdrup

## Índice

Dedicatória .....	II
Agradecimentos.....	III
Declaração de honra .....	V
Resumo .....	VI
Abstract.....	VII
Lista de Figuras .....	VIII
Abreviaturas, Símbolos e Unidades .....	X
CAPÍTULO I:.....	13
1.1. Introdução .....	13
1.2. Problematização e Justificativa .....	14
1.3. Objectivos .....	15
1.3.1. Geral:.....	15
1.3.2. Específicos: .....	15
2. Revisão bibliográfica .....	16
2.1. Vórtices e correntes Oceânicas.....	16
2.2 Salinidade da Superfície do Mar, transporte de sal e AMOC .....	16
2.3. Funções Ortogonais Empíricas.....	18
3. Metodologia .....	20
3.1. Caracterização da Área de Estudo .....	20
3.2. Descrição dos dados.....	21
3.2.1. Serviço de Monitorização do Ambiente Marinho Copernicus .....	22
3.2.2. SODA - Dado de reanálise .....	23
3.3. Processamento e análise de dados .....	23
3.3.1. Variabilidade espacial e sazonal da salinidade superficial no Canal de Moçambique .....	23
3.3.2. EOF aplicado ao módulo das correntes superficiais .....	24
3.3.3. Cálculo de Transportes de sal no Canal de Moçambique .....	25
4. RESULTADOS .....	26

4.1. Variação sazonal da salinidade da superfície do Mar no Canal de Moçambique .....	26
4.2. EOF aplicado ao módulo das correntes superficiais no Canal de Moçambique .....	29
4.2.1. Comparação dos modos de variabilidade do campo de correntes superficiais do ARMOR3D com as do Modelo GLORYS e SODA. ....	29
4.3. Transporte de Sal no Canal de Moçambique .....	33
4.4. Discussão.....	35
5. Conclusão .....	38
5.2. Recomendações .....	38
5.3. Referencias Bibliográficas .....	39
6. Anexos .....	42
6.1. Erro sistemático aplicado aos mapas sazonais da variação sazonal de salinidade superficial....	42
6.1. Serie temporal das componentes principais e RMSE aplicado aos mapas sazonais das EOF's do modulo das correntes superficial.....	44

## CAPÍTULO I:

### 1.1. Introdução

As variações de longo prazo da Circulação de Revolvimento Meridional (*Meridional Overturning Circulation* - MOC) (Carvalho, 2022), podem levar a mudanças regionais na distribuição da temperatura da superfície do mar (TSM) e salinidade da superfície do mar (SSM) (Haarsma et al., 2008; Garzoli et al., 2011). No entanto, a variação da salinidade da superfície marinha é uma importante variável, junto com a temperatura, na circulação termohalina.

A Salinidade da Superfície do Mar (SSM) é indicadora de mudanças no ciclo hidrológico do sistema climático acoplado, uma vez que resulta do saldo líquido dos processos de evaporação, precipitação, congelamento e derretimento de gelo, escoamento superficial terrestre, advecção oceânica, mistura vertical turbulenta e molecular (Machado, 2019).

Os vórtices de mesoescala têm sido atribuídos como contribuinte chave no transporte de sal, calor, carbono dissolvido e outros marcadores biogeoquímicos (Chelton *et al.*, 2011). Entretanto, existe um aumento no transporte de águas do oceano Índico para o Atlântico (Biaostoch *et al.* 2009, Backenberg *et al.* 2012). Catellanos *et al.* (2016) utilizaram simulações numéricas oriundas do modelo HYCOM para estudar a dinâmica do oceano Atlântico Sul e sua relação com o fluxo entre os oceanos Atlântico e Índico. Eles encontraram uma tendência de aumento no vazamento das Agulhas nas duas últimas décadas, que os autores sugerem estar relacionado a uma tendência de aquecimento e de baixa salinidade das águas de termoclina do Oceano indico, em acordo com outros trabalhos (Biaostoch *et al.* 2009, Backenberg et al. 2012).

No entanto A circulação de vórtices de mesoescala no Canal de Moçambique e ao sul de Madagáscar propagando-se em direção à Corrente das Agulhas é complexa e tanto os vórtices ciclônicos e anticiclônicos tem uma dinâmica característica e são importantes para os ecossistemas marinhos (Halo *et al.*, 2014).

Por outro lado, a região retroflexão da Corrente das Agulhas faz com que parte das águas desta corrente entre no Oceano Atlântico, é o chamado Vazamento das Agulhas. Projeções em modelos climáticos para o século 21, prevêm o aumento deste vazamento devido a mudança no cisalhamento dos ventos de oeste na região austral ocasionando a migração da Frente Subtropical para o sul. Uma maior entrada de águas pelo vazamento das Agulhas faz com que a circulação no Atlântico Sul se intensifique ocasionando a aceleração do degelo no Atlântico Norte e, conseqüentemente, o enfraquecimento da circulação local (Beal et al., 2011). Portanto, as conseqüências não são apenas para a circulação regional em volta da África, mas também para a circulação adjacente entre as bacias e conseqüentemente para o clima global (BÖNING, 2013).

Desta forma, dada a escassez de observações na região do Canal de Moçambique, a modelagem numérica e os dados de altimetria de satélite veem-se necessária para melhorar a compreensão da circulação oceânica no sudoeste tropical do Oceano Índico (Collins, *et al.*, 2012) e na compreensão da dinâmica e o transporte de sal no Canal de Moçambique.

Diante da importância e complexidade da variabilidade climática dos campos oceânicos superficiais para o clima dos continentes adjacentes, a principal motivação deste estudo é explorar a variabilidade da distribuição da Salinidade e corrente superficial no Canal de Moçambique.

## **1.2. Problematização e Justificativa**

No contexto das mudanças climáticas, o aquecimento global e trocas de massas de águas interoceânicas tem impactado numa possível redução ou interrupção da circulação meridional de revolvimento (MOC), afectando significativamente no clima regional e global. As características dessa massa de água transferida, ou seja, as concentrações de sal, temperatura e outros elementos químicos, dependem da contribuição relativa das águas oriundas das outras bacias. Alterações no volume total ou na proporção dessa mistura de águas podem ter reflexos significativos no processo de formação de águas profundas no norte do Atlântico, afectando a intensidade da corrente termohalina (Flutuabilidade). Estudos baseados em modelos numéricos reportam que o Vazamento das Agulhas vem aumentando nos últimos decénios (Biastoch *et al.*, 2009; Giddy *et al.*, 2015). Por outro lado, os vórtices de meso escala originários do MZC e a variabilidade em larga escala do Oceano Índico Sul têm implicado na geração de distúrbios do sistema de corrente das Agulhas, que afetam a troca interoceânica indo-atlântica ao sul de África, desencadeando o aumento de vazamento de anéis da retroflexão da corrente das Agulhas, considerando que o vazamento das Agulhas desempenha um papel importante na manutenção da circulação e do clima meridional do Oceano Atlântico e global. Assim sendo, a circulação termohalina, superficial e as variações climáticas, podem estar conectadas a modos de variabilidade em larga escala no Oceano Índico.

Desta forma, apesar do recente aumento dos esforços nas pesquisas, ainda há défice de investigação sobre o transporte e distribuição do sal no Canal de Moçambique. Por outro lado, este estudo irá contribuir cientificamente para a compreensão da dinâmica do sal no Canal de Moçambique, uma vez que a dinâmica ajuda a compreender os diversos processos da vida marinha e do clima (Schott, *et al.*, 2009), e também apoiar nas aplicações de gestão ambiental.

As mudanças da SSM têm um papel importante na dinâmica regional, global e nos feedbacks entre oceano e atmosfera, influenciando a estratificação da coluna de água e, conseqüentemente, a profundidade da camada de mistura e os gradientes de densidade em grande escala permitirá a análise de forma exploratória a distribuição e transporte de sal no Canal de Moçambique tendo

em conta que, as alterações ocorridas ao longo dos anos é importante para compreensão das condições actuais do clima e suas mudanças futuras. Portanto, o fluxo no Canal de Moçambique conecta o sistema das correntes das Agulhas e forma um controle a montante do vazamento das Agulhas, entretanto, uma vez que a troca interoceânica Indo-Atlântica de volume, calor e sal afecta o clima global, é importante simular e controlar com precisão a combinação de processos locais e a montante. Contudo, foi elaborada a seguinte questão que guia a presente pesquisa:

*Os dados de reanálise reproduzem de forma similar o transporte de sal quando comparadas as estimativas de observação por satélite?*

### **1.3. Objectivos**

#### **1.3.1. Geral:**

O objectivo principal deste estudo é analisar Transporte de sal no Canal de Moçambique a partir de diferentes estimativas.

#### **1.3.2. Específicos:**

- Analisar distribuição sazonal da salinidade na superfície do mar no Canal de Moçambique;
- Comparar os modos de variabilidade a partir das EOF do campo das correntes geostrofica do ARMOR3D com as correntes superficiais dos modelos GLORYS e SODA;
- Estimar o transporte de sal integrado de acordo com o fluxo regional, a partir de diferentes fontes de dados.

## 2. Revisão bibliográfica

### 2.1. Vórtices e correntes Oceânicas

Vórtices oceânicos podem ser definidos como feições de circulação fechada relativamente persistente que carregam as propriedades físicas e biológicas da região de formação (Pilo, 2013). Essas estruturas têm origem na formação de instabilidades na dinâmica da larga escala, como a formação de meandros em correntes de larga escala e sua eventual oclusão. Vórtices têm grande importância em transportar calor, sal e vorticidade potencial e, por consequência, na mistura dos oceanos (Barros, 2016). No hemisfério Sul (Norte), os vórtices ciclônicos apresentam sentido de giro horário (anti-horário) enquanto os anticiclônicos apresentam sentido anti-horário (horário). Vórtices anticiclônicos (ciclônicos) são ainda caracterizados por suas águas interiores serem mais quentes (frias) do que aquelas que circunvizinha a feição, ou seja, estes vórtices são também reconhecidos por possuírem núcleo quente (frio). Seus centros são de alta (baixa) pressão, possuindo anomalias positivas (negativas) da superfície livre do mar. Em termos de estrutura vertical, os vórtices anticiclônicos são também caracterizados por um afundamento dos isotermas em seu interior, enquanto nos vórtices ciclônicos os isotermas são elevados, tendo-se então águas frias profundas mais próximas da superfície (Freitas A. C., 2018).

As correntes oceânicas são fluxos contínuos de água marinha que possuem trajetórias bem definidas e conhecidas, conectando as diferentes bacias oceânicas e transportando calor, elementos químicos, organismos e sedimentos. As correntes superficiais possuem como principal forçante a ação do vento. Já as correntes profundas, que compõem a circulação termohalina, são impulsionadas por diferenças de temperatura e salinidade (Carvalho, 2022).

### 2.2 Salinidade da Superfície do Mar, transporte de sal e AMOC

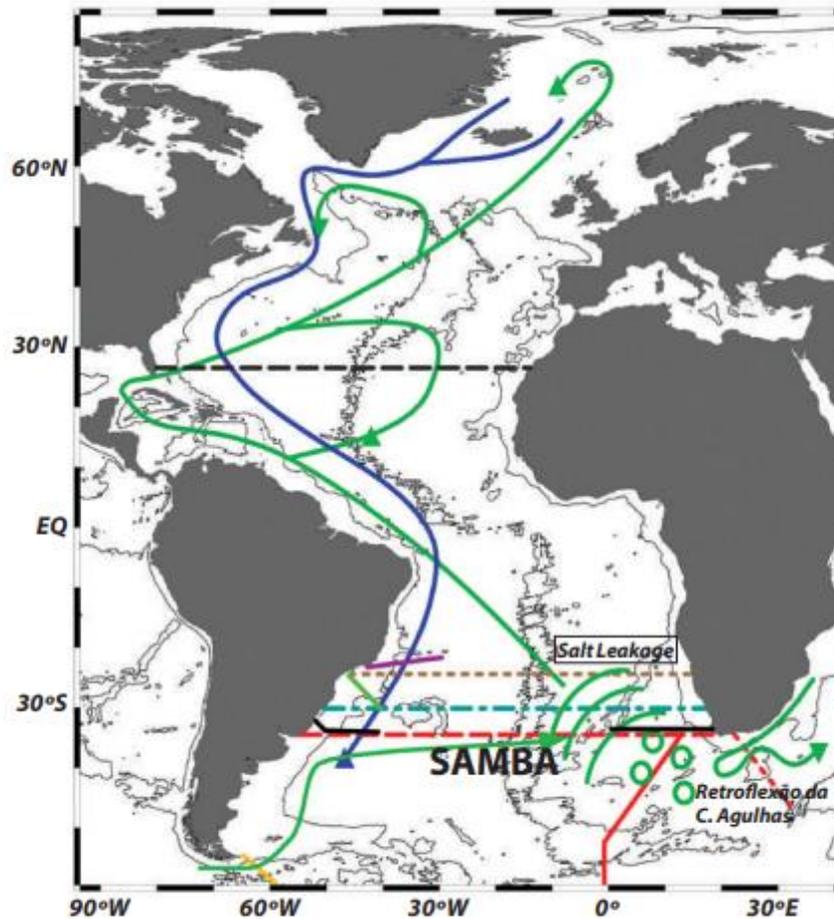
Salinidade é a concentração de sal dissolvido na água marinha. Sua unidade de medida é o PSU (do inglês *Practical Salinity Unit*) de acordo com a escala de salinidade prática de 1978 (pss-78), que expressa uma taxa de condutividade (Kerr *et al.* 2010). A variação da salinidade da superfície marinha é uma importante variável, junto com a temperatura, na circulação termohalina. As Propriedades adquiridas em uma determinada região são transportadas horizontal e verticalmente pela circulação oceânica em grande escala, reduzindo as diferenças regionais e contribuindo para atenuar ainda mais os efeitos de alterações na atmosfera.

AMOC é constituída por duas células de circulação, horizontal e vertical. A componente da circulação termohalina é uma célula vertical na direção norte-sul (meridional) denominada de Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico (CRMA), mas mais conhecida pela sigla do nome em inglês: *Atlantic Meridional Overturning Cell* (AMOC). Essa célula é ilustrada esquematicamente pela Figura 1, a qual inclui também informação sobre o programa internacional

SAMOC (*South Atlantic Meridional Overturning Circulation*), estruturado para monitorar a CRMA no Atlântico Sul o Atlântico Sul e eventualmente são transportadas para o Atlântico Norte. Ao passar pela região equatorial do Atlântico, essas águas se aquecem e se tornam mais salinas devido à evaporação. Ao atingir altas latitudes no hemisfério norte, particularmente no Mar da Noruega, as águas mais quentes vindas do Sul liberam calor para a atmosfera e, em virtude da maior concentração de sal em comparação com as águas locais, tornam-se mais pesadas e afundam. A massa de água resultante desse afundamento, denominada Água Profunda do Atlântico Norte (APN), flui de volta para o Atlântico Sul, de onde é exportada para as outras bacias (Campos, 2014).

O ramo superior da circulação termohalina global é formado no Atlântico Sul por águas mais frias e menos salinas, provenientes do Oceano Pacífico via Passagem de Drake, e águas mais quentes e mais salinas do Oceano Índico (Figuras 1). Ao sul da África, águas oriundas do Índico adentram o Atlântico por meio do processo conhecido como Vazamento das Agulhas: enormes quantidades de águas mais quentes e salinas do Índico aprisionadas em anéis, formados e destacados da Corrente das Agulhas (Figura 1). O laço formado pela retroflexão da Corrente das Agulhas tem em média 340 km de diâmetro e é encontrado entre 16°E e 20°E.

## CÉLULA DE REVOLVIMENTO MERIDIONAL DO ATLÂNTICO (AMOC)



**Figura 1:** Célula de Revolvimento meridional do Atlântico (AMOC). Na região superior do oceano (primeiros mil metros), mistura de águas oriundas de outras bacias e do Atlântico Sul flui para o Atlântico Norte (verde). Próximo à Groenlândia, após ceder calor para a atmosfera, essas águas afundam e retornam para o hemisfério sul (azul). A AMOC, o Vazamento das Agulhas e outros processos estão sendo estudados pelo programa internacional Samoc (*South Atlantic Meridional Overturning Circulation*), na rede Samba (*Samoc Basin-wide Array*). O Brasil contribui com o Samoc através de projeto do Programa *Fapesp* de Pesquisas em Mudanças Climáticas Globais, coordenado pelo IO-USP (Campos, 2014)

### 2.3. Funções Ortogonais Empíricas

Para análise dos padrões de correntes oceânicas utilizou-se a técnica de Funções Ortogonais Empíricas, ou em Inglês, *Empirical Orthogonal Functions* (EOF). Essa técnica tem finalidade de reduzir, eficientemente um grande grupo de variâncias dos dados originais em poucas e novas variáveis. Ou seja, o EOF é uma análise estatística que representa bem a variância de um longo conjunto de dados reduzindo o número de variáveis (WILKS, 1995). Esse método foi utilizado para extrair características intrínsecas que variam temporal e espacialmente, transformando várias

dimensões em poucas. Segundo Preisendorfer (1988), é possível reduzir para escalares complexos empregados no método EOF complexo e maximizar a projeção dos dados nas estruturas. Essa análise estatística é usada por meteorologistas e oceanógrafos, uma vez que o EOF é de grande utilidade para estudar a variação espacial e temporal dos campos de extensas bases de dados oceânicos e atmosféricos. (GHOSHAL, 2013). O EOF decompõe um conjunto de dados multivariado em modos, os quais representam a variabilidade no tempo e no espaço a partir dos dados originais, sendo EOF o método baseado na análise multivariada em modos de variabilidade (Delcourt, F.T; Chapron, B.; Alonso, 2013). A técnica estatística EOF gera como resultados modos, onde para o primeiro modo estima-se a primeira componente principal (PC), a qual é representada pela máxima fração da variância relacionada àquele modo. No segundo modo, ocorre uma combinação linear não relacionada com o primeiro, representada a maior variância do conjunto de dados que restaram. Do terceiro modo em diante, de forma similar, não existe combinação linear relacionado ao modo anterior. As séries temporais estão associadas aos padrões temporais referente a cada modo, representando a evolução de modos espaciais no tempo (Yoder, J.A., Kennely, 2003). O conjunto de EOF foi calculado a partir da matriz covariância construído a partir do produto da matriz pela transposta da mesma. O cálculo do EOF é estimado a partir do cálculo dos autovetores, de uma matriz diagonal representando a porcentagem dos modos e do cálculo dos autovalores. Esse método mostra como as principais covariâncias, forçando um agrupamento de mesma variabilidade temporal, porém com diferentes padrões de variabilidade espacial (Wilson E Adamec, 2001). Para calcular o EOF é necessário transformar a matriz de dados de três em duas dimensões, resultando em uma matriz espacial x temporal. Consideramos N mapas de tempos  $t=1... N$ , onde cada mapa contém medidas de localização  $m=1... M$ , uma vez que, todas as localizações contribuem igualmente para as análises. A matriz espacial M possui latitudes e longitudes, formando uma matriz de três dimensões com a matriz temporal N:  $f = [\text{latitudes longitudes tempos}]$ , sendo necessário realizar análise combinatória na matriz f entre latitudes e longitudes, a fim de gerar outra matriz F com duas dimensões.

A matriz F com duas dimensões,  $M \times N$ , onde M linhas (representando a localização m) e N colunas (representando o tempo t).

Tempo

Tempo

$$F = \begin{bmatrix} F1(1) & F2(2) \dots & F1(N) \\ F2(1) & F2(2) \dots & F2(N) \\ FM(1) & FM(2) \dots & Fm(N) \end{bmatrix} \text{Localização}$$

Foi calculada a matriz de covariância  $Cov$  através do cálculo da matriz  $F$  multiplicada a sua transposta  $F'$ .

$$Cov = F * F'$$

Os cálculos da matriz de covariância são:

$$Cov = \begin{bmatrix} \langle F1F1 \rangle & \langle F1F2 \rangle & \dots & \langle F1FM \rangle \\ \langle F2F1 \rangle & \langle F2F2 \rangle & \dots & \langle F2FM \rangle \\ \langle FNF1 \rangle & \langle FNF2 \rangle & \dots & \langle FNFN \rangle \end{bmatrix}$$

A combinação linear  $\langle FiFj \rangle$  é a covariância entre as séries temporais  $Fi$  e  $Fj$ , sendo  $i, j = 1 \dots M$  a localização na matriz, calculado pela equação:

$$\langle FiFj \rangle = \langle FjFi \rangle = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N Fi(t) Fj(t)$$

Cada autovalor  $\lambda_k$  é proporcional à percentagem da variância de  $F$ , sendo representada pelo modo  $K$ . Essa percentagem é calculada:

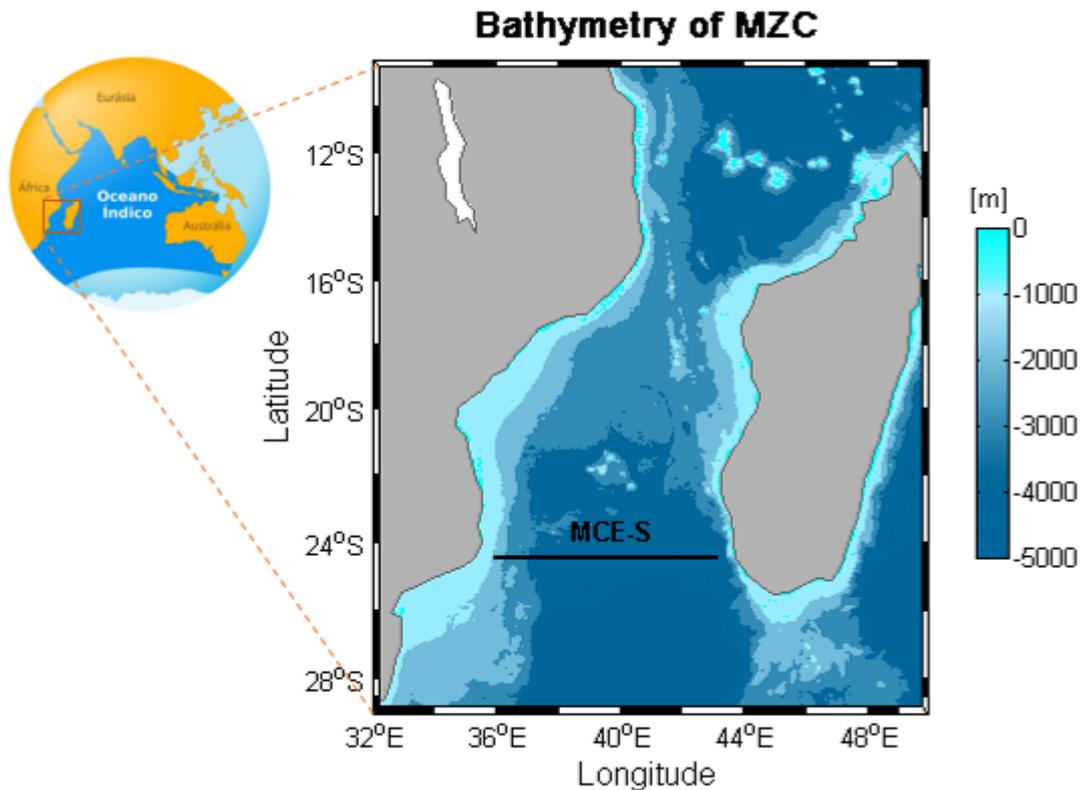
$$\% \text{ variância do modo } K = \frac{\lambda_k}{\sum_{i=1}^k \lambda_k} * 100$$

Estes valores de percentagem da variância são expressos como a “Fração do Quadrado da Covariância (FQC)” ou *Squared Covariance Fraction* (SCF)

### 3. Metodologia

#### 3.1. Caracterização da Área de Estudo

O Canal de Moçambique (CM) situa-se no Sudoeste do Oceano Índico (Figura 2) entre as latitudes 12° Sul á 26° Sul e longitudes 33° Este á 40° Este (Fernando, 2019). Sendo delimitado ao norte pelo arquipélago de Cômoros, a Este por Madagáscar e ao oeste por Moçambique. No Sul, pela Corrente do Sudeste de Madagáscar (SEMC), e assim, conectando ao sistema de Correntes das Agulhas. A Costa Moçambicana a sua fronteira ocidental é relativamente complexa, rica em ecossistema marinho e importante para a pescaria, recreativa, turística e navegação.



**Figura 2:** Mapa batimétrico do Canal de Moçambique. A seção latitudinal no interior do Canal indica a região Sul (MCE-South), onde foram analisadas as estimativas do transporte, adaptado de Júnior, (2023).

A circulação superficial é caracterizada por forte atividade de mesoescala. O escoamento é descontínuo e dominado essencialmente por vórtices (Schouten *et al.*, 2003 e Ridderinkhof *et al.*, 2010), tanto ciclônicos quanto anticiclônicos (Halo, *et al.*, 2014), que se propagam para o sul e eventualmente juntam-se à corrente das Agulhas (Schouten *et al.*, 2003). As temperaturas e salinidades das massas de água encontradas ao longo de todo o Canal de Moçambique variam entre 20°C e 30°C e entre 34 *PSU* a 36 *PSU* na superfície do mar (Júnior, 2023). Os vórtices de mesoescala no Canal de Moçambique também desempenham um papel fundamental na regulação do clima global, através da transferência de calor e sal da zona tropical do Índico para o Oceano Atlântico.

### 3.2. Descrição dos dados

No presente trabalho, recorreu-se ao uso de diferentes fontes de dados, que são: GLORYS, ARMOR, SODA para o período de 5 anos (2011 a 2015), para alcance dos objetivos traçados, no entanto a descrição detalhada dos dados e os métodos empregados no processamento utilizados neste trabalho é efetuada em seguida.

**Tabela 1** - Resumo descritivo dos dados usados.

Provedor	Tipo	Parâmetros	Resolução	
			Espacial	Temporal
<b>Copernicus - ARMOR3D</b>	Observação	SSM e CSM	0.25°x.0.25°	Mensal
<b>Copernicus - GLORYS</b>	Reanalise	SSM e CSM	0.08°x0.08°	Mensal
<b>APDRC-SODA</b>	Reanalise	SSM e CSM	0.25°x.0.4°	Mensal

### 3.2.1. Serviço de Monitorização do Ambiente Marinho Copernicus

#### 3.2.1.1. ARMOR3D – Observação oceânica global

ARMOR3D é um produto oriundo da combinação de perfis de temperatura e salinidade *in situ* e dados de altimetria e TSM obtidos por satélite. Os dados *in situ*, de elevada acurácia e baixa resolução espacial, e remotos, de menor acurácia e alta resolução, foram relacionados através do método de regressão linear simples/múltiplo e originaram os campos globais de temperatura e salinidade de elevada resolução espacial e temporal (GUINEHUT et al., 2012). ARMOR está incorporado ao sistema da CMEMS, e foi desenvolvido pela Unidade de Produção CLS (*Multiobscls-Toulouse-Fr*), que fornece análises globais de Nível 4 (L4) de temperatura 3D, salinidade, anomalia da superfície do mar e corrente geostrófica para ( $U_g$  e  $V_g$ ), da superfície até 5500 m de profundidade e 2D profundidade de camada de Mistura (MLD) em uma grade regular de  $1/4^\circ$ . O produto é obtido através de uma combinação entre dados de satélite e *in situ*. Os conjuntos de dados reprocessados são estendidos no tempo pelo menos uma vez por ano, para cobrir 1993 até 12 a 24 meses até o presente. Os conjuntos de dados REP se beneficiam das entradas de observações oceânicas da mais alta qualidade e são produzidos com um sistema único (sem alteração no tempo no *setup*, estendido no tempo usando o mesmo sistema) para minimizar o risco de perda de qualidade ou sinais espúrios que aparecem a tempo. Usou-se o mesmo dado como base de teste para fazer a comparação e analisar o desempenho dos dados do modelo GLORYS e SODA.

#### 3.2.1.2. GLORYS – Modelo Numérico

É um modelo numérico de circulação geral do oceano incorporado no sistema (CMEMS *em inglês*), que simula a evolução das propriedades físicas do oceano. Tais propriedades são objetivamente combinadas com observações para gerar uma estimativa sintetizada do estado do oceano. Assim, o modelo representa uma reanálise de resolução global oceânica (resolução horizontal de  $1/12^\circ$ , e 50 níveis verticais) cobrindo o intervalo de tempo com disponibilidade de dados de altimetria por

satélites (1993 em diante). O conjunto de dados é produzido pelas instituições francesas: *National Center for Spacial Studies* (CNES), *Collecte Localls Satellites* (CLS) e distribuição gratuita *online*, disponíveis no seguinte endereço eletrônico: <https://marine.copernicus.edu/>. É amplamente baseado no atual sistema CMEMS (Serviço de Monitorização do Ambiente Marinho Copernicus) de previsão global em tempo real, e a componente numérica do modelo é a plataforma NEMO (Núcleo de Modelagem Europeia do Oceano), que é forçado à superfície por campos do ECMWF ERA, e em seguida as reanálises ERA5 nos últimos anos. As observações são assimiladas por meio de um filtro de *Kalman* de ordem reduzida. O modelo GLORYS fornece arquivos médios diários e mensais de temperatura potencial da água do mar (T), velocidade da água do mar para (U e V), e altura da superfície do mar exibidos em uma grade regular padrão a  $1/12^\circ$  (aproximadamente 9 km) de resolução.

### 3.2.2. SODA - Dado de reanálise

O *Simple Ocean Data Assimilation* – SODA, em inglês. Corresponde ao dado de reanálise que integra campos hidrodinâmicos como por exemplo a temperatura, salinidade e as componentes zonal e meridional (u e v) da velocidade. Os dados do SODA são obtidos através do modelo de circulação oceânica denominado *Parallel Ocean Program* simulados a uma resolução horizontal média de  $0,25^\circ \times 0,4^\circ$  e 40 níveis verticais (Carton & Giese, 2008). Os dados do SODA usados neste estudo correspondem à versão 2.2.4. Os dados estão ordenados em médias mensais do período de 2001 a 2010, das variáveis: salinidade, velocidade total zonal, velocidade total meridional. Esses dados podem ser obtidos gratuitamente na Ásia-Pacífico, <http://apdrc.soest.hawaii.edu/>.

### 3.3. Processamento e análise de dados

O processamento dos dados foi feito através da linguagem de programação do *software MATLAB®* R2018b. Em que consistiu em cálculos, produção de mapas e gráficos contendo série temporais, procedimentos estes que são descritos a seguir.

#### 3.3.1. Variabilidade espacial e sazonal da salinidade superficial no Canal de Moçambique

A análise sazonal da salinidade considerou-se duas estações do ano, todas as medições disponíveis de salinidade superficial do ARMOR3D foram comparadas com os valores mensais climatológicos provenientes do GLORYS e SODA, em que posteriormente fez-se a diferença (erro de viés) (Equação 1) entre os dados de ARMOR com as reanálises, onde foram seleccionados três meses, da seguinte forma:

**Verão** → dezembro, janeiro e fevereiro;

**Inverno** → junho, julho e agosto;

O MBE indica a diferença média dos valores previstos e os valores observados. Este destina-se a indicar se existe uma sub-estimação ou uma sobre-estimação (Kleissl, 2013) dos dados observados. é uma medida amplamente utilizada para medir o desempenho de modelos de previsão provenientes de estudos de investigação oceanográfica e climática. Na prática, este erro quantifica o viés do modelo e é dado pela seguinte expressão:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)}{n} \quad \text{Eq. 1: Erro de viés}$$

### 3.3.2. EOF aplicado ao módulo das intensidades das correntes superficiais

Com o propósito de comparar os três produtos de dados simultaneamente, foram calculados os campos mensais das intensidades das correntes resultante (equação 4) das componentes meridional (V) e zonal (U) do ARMOR3D, SODA e do GLORYS2V3, em forma de mapas horizontais e as componentes principais associadas a cada modo, num período de janeiro de 2011 a Dezembro de 2015. Para tal comparação, foi aplicada a técnica estatística de Funções Ortogonais Empíricas (EOF), determinando e comparando assim os principais modos de variabilidade dos campos da velocidade (equação 2) dos três produtos.

A técnica estatística de EOF tem por objectivo decompor o conjunto de dados em modos ortogonais que representem a maior parte da variância presente nos dados originais, reduzindo-se de forma eficiente o número de variáveis (Wilks, 2011) Para cada modo de variabilidade (1º, 2º e 3º). O coeficiente de determinação, igual a  $r^2$ , representa o percentual da variância de uma das variáveis que pode ser explicado a partir do comportamento da outra.

$$v = \sqrt{(U^2 + V^2)} \quad \text{Eq. 2: Intensidade da corrente}$$

A fim de se avaliar o grau de ajuste entre os dados observados por satélite ARMOR3D e do modelo GLORYS e SODA ao representar as variâncias calculadas pelo EOF's, foram gerados mapas dos erros através das medidas do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Squared Error* - RMSE). Comparou - se um conjunto de n dados observados ( $O_i$ ) ao conjunto correspondente de n dados simulados ou preditos ( $P_i$ ).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (p_i - o_i)^2}{n}} \quad \text{Eq. 3}$$

Utilizam-se também o parâmetro estatístico para quantificar a semelhança entre os dois e o parâmetro estatístico usado é coeficiente de determinação. O Coeficiente de determinação ou  $R^2$  descreve a fracção da variância total nos dados observados que pode ser explicada pelo modelo. Seu

valor fica entre 0 e 1, e quanto maior o valor, melhor a concordância entre modelo e observação (Peredo, 2022). A fórmula para seu cálculo é:

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (p_i - \bar{p})^2}} \right\}^2 \quad \text{Eq. 4}$$

**Onde:**  $O_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) é o conjunto de dados observados disponíveis e  $P_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) o conjunto de resultados do modelo interpolado linearmente para o ponto da observação,  $O$   $P$  e  $\sigma$  e o desvio-padrão dos valores observados (do modelo interpolado para o ponto das observações).

### 3.3.3. Cálculo de Transportes de sal no Canal de Moçambique

O cálculo do transporte de Sal foi feita para todo Canal de Moçambique, considerando as regiões norte, centro e sul, onde foram definidas secções latitudinais para uma melhor análise do comportamento da circulação da corrente de Moçambique (MC) (Figura 2), que tem o sentido norte-sul. As coordenadas (Tabela 2) foram definidas de acordo com bibliografias (Ansorge *et al.*, 2014; Dong; Garzoli; Baringer, 2011; Santos, 2014) de forma a fechar um volume de controle composto pelo sentido norte para sul.

**Tabela 2** - Coordenada da secção de controle.

Secção	Coordenadas
MCE-S	25°S; 36°E – 43°E

A latitude de 16°S é considerada crucial para o estudo da corrente de Moçambique e Formação de vórtices na região norte (Backeberg & Reason, 2010). De acordo com Halo, *et al.* (2014) e Collins, *et al.* (2014) destacam as regiões centro e sul do Canal, como zona de alta variância de vórtices.

De acordo com Freitas (2018) e Santos (2014), o transporte de sal na camada superficial do oceano pode ser determinado a partir da seguinte relação:

$$H_{(x,y)} = \int_{-z}^0 (\rho V S x) dz \quad \text{Eq. 5: Transporte de sal}$$

**Onde:** ( $H_{(x,y)} = [ton. s^{-1} = 10^3 . kg. s^{-1}]$ ) é a transporte de sal, ( $\rho = 1027 kg/m^3$ ), é a densidade da água do mar,  $x$  é a distância das secções de controle,  $V$  e  $S$  representam a velocidade horizontal (modulo da velocidade) e a salinidade na coluna da água, respectivamente. Por simplificação, considera-se que na camada de mistura superficial, tanto a salinidade como a velocidade horizontal são constantes, a Camada de Mistura (CM) é a região superficial do oceano onde as propriedades

físicas, como temperatura e salinidade, tendem a ser quase uniformes ao longo da profundidade (e.g., Pickard e Emery, 1992; Monterey e Levitus, 1997). Essa camada é o resultado do balanço entre os fatores que geram turbulência (ex., ação da tensão de cisalhamento do vento) e os que contribuem para estratificação (ex., ganho de calor pelo oceano). As forçantes que determinam as características da CM podem variar suas intensidades tanto espacial quanto temporalmente (Kantha e Clayson, 2003) de modo que a profundidade da CM pode variar em várias escalas de tempo e espaço. Entretanto, o transporte de Sal no mar foi integrado para a camada de Ekman (25 metros), no canal de Moçambique, a camada de Ekman variam de acordo com as condições locais, mais em geral é relativamente rasa em que a sua espessura varia de 10 – 30 metros, de acordo com as condições locais (regime de vento) (Paloschi (2016); Júnior (2023)).

E por último analisou-se estatisticamente a mínima, máximo, média e o desvio padrão do transporte de sal estimados por AMOR3D GLORYS e SODA, foram calculados usando as seguintes fórmulas:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Eq.6: Média aritmética de longo período}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \text{Eq.7: Desvio padrão}$$

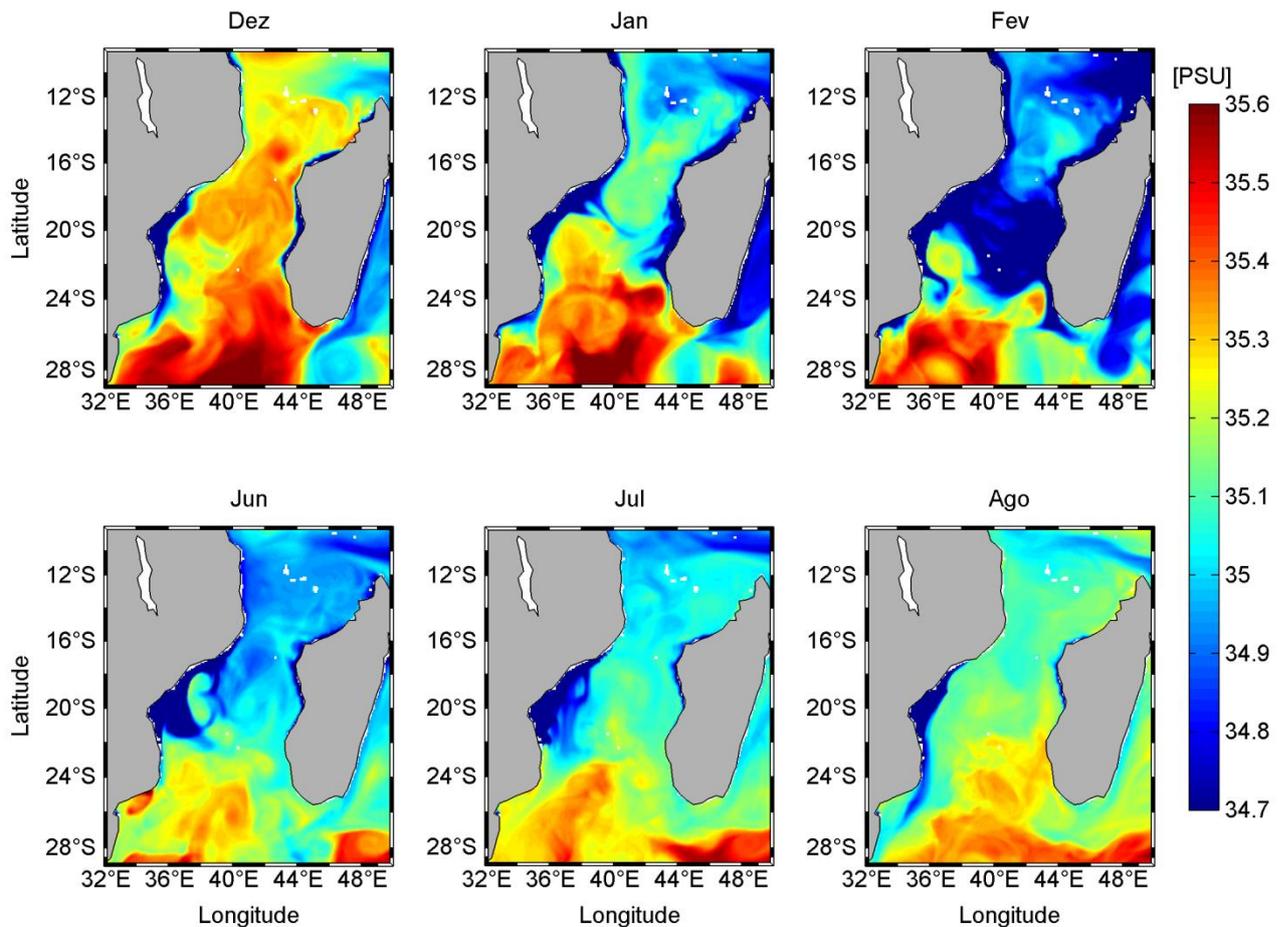
## 4. RESULTADOS

### 4.1. Variação sazonal da salinidade da superfície do Mar no Canal de Moçambique

Com o intuito de avaliar a habilidade da base de dados observacionais do ARMOR3D em representar a variabilidade sazonal da salinidade superficial (SSM), e com isso classificá-la como uma boa fonte de dados para alimentação de modelos oceânicos regionais na região do canal de Moçambique, abrangendo o período de 2011 a 2015, foi comparada ao ciclo sazonais dos dados dos

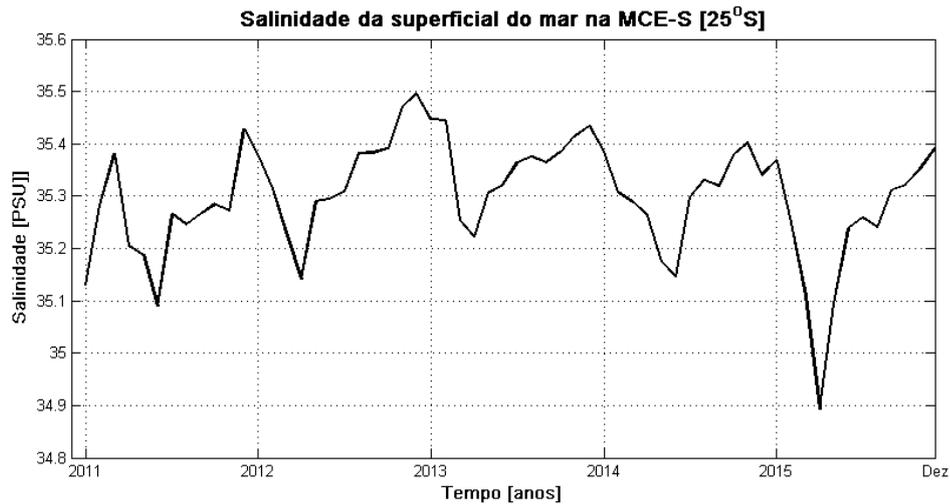
modelos GLORYS e SODA. Entretanto, uma vez avaliada a base de dados (figura 10, em anexo), o ARMOR3D mostrou-se concordante com o modelo GLORYS, portanto usou-se o mesmo para análise da distribuição da salinidade superficial. Os resultados das simulações do modelo GLORYS (Figura 3) apresentaram valores altos de salinidade da superfície do mar (SSM) no sul do canal que vai decrescendo ao dos meses do final do verão, outro facto notório e a distribuição alta e uniforme nos meses de início do verão (e.g. Dezembro), e quanto a adjacência (na costa oeste e este do MZC) na desembocadura do delta do Zambeze e do rio Save na região central do Canal existe uma alta taxa de entrada de águas continentais por outro lado estatisticamente (figura 12, em anexo), mostrou uma alta media da concentração da salinidade superficial na região sul do Canal de Moçambique e apresentou maior desvio padrão na região costeira de Moçambicana. Durante o verão, assim como o inverno há um transporte da pluma de água doce (*fresh water plum*) em direcção a sul do canal de Moçambique com água de baixa salinidade notavelmente nos meses de verão (Janeiro e Fevereiro) visivelmente nas simulações do modelo GLORYS quando comparado às observações do ARMOR3D e SODA. Também é notável que no verão apresenta variação alta de salinidade superficial quando comparado com inverno que apresenta baixas variações, ou seja a distribuição do sal na superfície do mar é mais dinâmica no verão quando comparado ao inverno.

Também com base nos dados do modelo SODA e AMOR3D foi possível elaborar mapas da variação sazonal e de distribuição espacial dos campos de salinidade da superfície do mar para o Canal de Moçambique (figura 10, em anexo). E a alta concentração de salinidade na superfície é apresentada no verão quando comparado ao inverno, tanto para o ARMOR3D assim como os modelos GLORYS e SODA.



**Figura 3:** Variação sazonal (verão [DEZ, JAN e FER]; Inverno [JUN, JUL e AGO]) da salinidade superficial do Canal Moçambique simulados pelo modelo GLORYS.

A figura 4 apresenta uma variação anual resultante das médias mensais da salinidade superficiais extraída na MCE-S (Sul) do canal de Moçambique, em geral, este gráfico também ajuda a descrever/analisar a distribuição da salinidade superficial, no entanto, o mesmo apresentou tendência sazonal a cada 6 meses do ano. Com picos máximos e mínimos chegando a atingir 35.5ppm a 34.7ppm respectivamente.



**Figura 4:** série temporal da salinidade da superfície do mar de 2011 – 2015 simulados pelo modelo GLORYS, feita a partir da secção MCE-S (sul) do canal de Moçambique

#### 4.2. EOF aplicado ao módulo das correntes superficiais no Canal de Moçambique

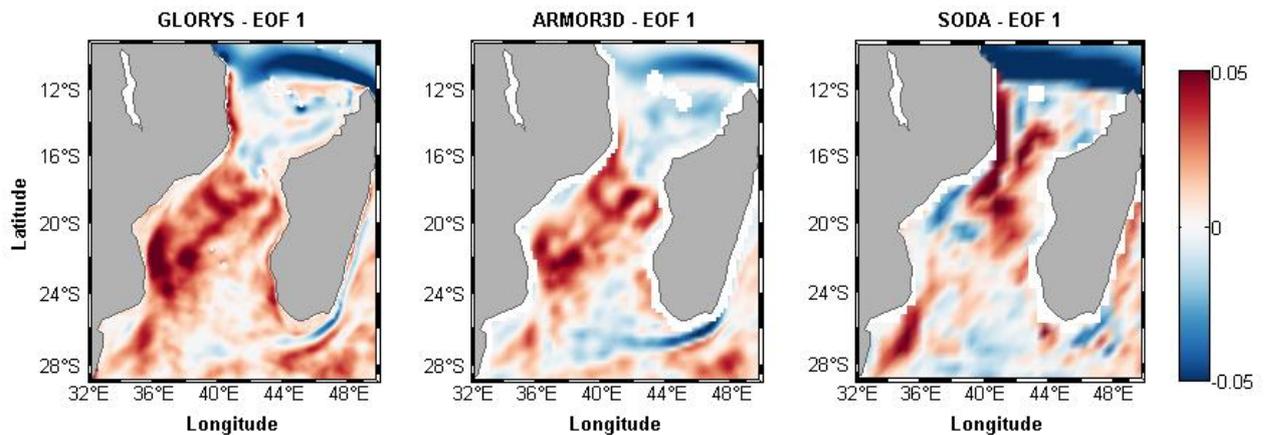
A análise das Funções Ortogonais Empíricas (EOF) para o módulo das principais correntes superficiais do canal de Moçambique mostrou modos de variabilidade espacial, com a respectivas “Fracção do Quadrado da Co-variância (FQC)”. A partir daqui será referenciado como FQC, e a série temporal descrito na Componente Principal (PC) (Figura 7). O modelo GLORYS, foi que apresentou altas variâncias. Para o primeiro modo (EOF 1) retém ~38.5% da variância total (Figura 6), sendo esta a maior variância. O segundo modo (EOF2) retém ~18.7% (Figura 6) e o terceiro (EOF3) ~ 11.6%, (Figura 9) da variância total. Os três primeiros modos explicam eficientemente a maior parte da variabilidade espaço temporal das variáveis, pois somam quase ~ 68% do sinal.

##### 4.2.1. Comparação dos modos de variabilidade do campo de correntes superficiais do ARMOR3D com as do Modelo GLORYS e SODA.

Com o propósito de comparar os três produtos de dados simultaneamente, foram calculados os campos mensais de velocidade da corrente do ARMOR3D, GLORYS e do SODA no canal de Moçambique de Janeiro de 2011 a Dezembro de 2015. Para tal comparação, foi aplicada a técnica estatística de Funções Ortogonais Empíricas (EOF), determinando e comparando assim os principais três modos de variabilidade dos campos de velocidade dos três produtos e as respectivas componentes principais. A técnica estatística de EOF tem por objectivo decompor o conjunto de dados em modos ortogonais que representem a maior parte da variância presente nos dados originais, reduzindo-se de forma eficiente o número de variáveis.

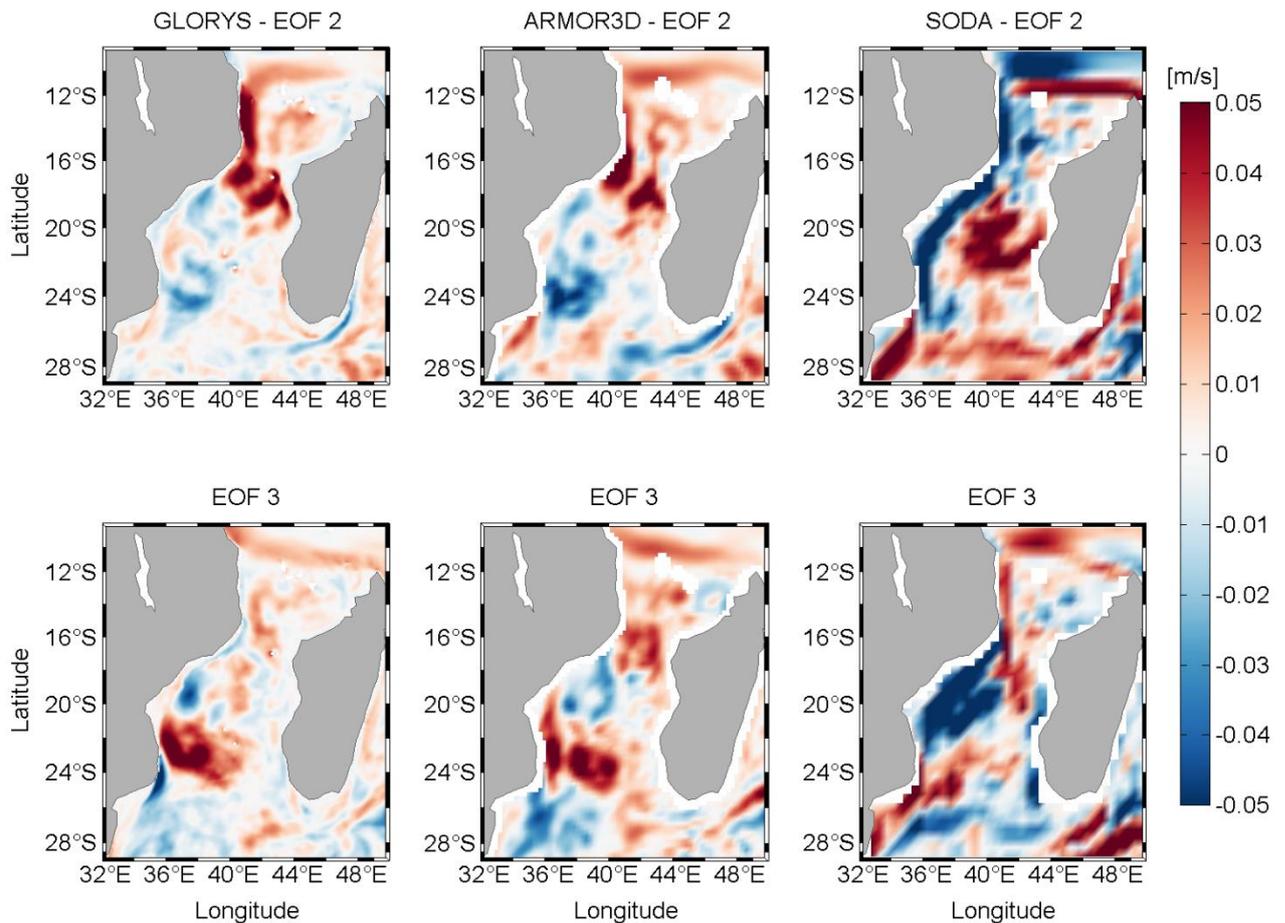
O primeiro modo de variabilidade do ARMOR3D apresentou semelhanças com o primeiro modo do GLORYS (Figura 5). No interior do Canal (centro de MZC), os dois produtos mostraram possuir velocidades com a mesma posição geográfica e mesma magnitude, apresentando uma alternância de

bandas de velocidade positiva e negativa. Na costa norte (Corrente Equatorial sul) e sul (Corrente do Sudeste de Madagascar) de Madagascar, o ARMOR e GLORYS representaram variabilidades de forma similar, que se propaga em direção a correntes das Agulhas, com bandas de velocidade negativas de  $0.05 \text{ m. s}^{-1}$ . Em contrapartida SODA apresentou discrepâncias na sua variabilidade quando comparado ao ARMOR3D, assim como ao GLORYS.



**Figura 5:** Mapas de distribuição espacial das EOF 1, do modulo das intensidades da corrente superficial do ARMOR3D e simuladas pelos modelos GLORYS e SODA.

O segundo e o terceiro modo de variabilidade também apresentaram semelhanças elevadas entre o ARMOR3D e o GLORYS principalmente no interior d canal de Moçambique e ao largo da costa de norte e sul de Madagascar (Figura e). A variância explicada pelo segundo modo do ARMOR3D foi de 11,1% e do GLORYS foi de 18,7%. Já o SODA apresentou variância significativamente inferior ao dos dois produtos, igual a 9.2%. O coeficiente de correlação entre o ARMOR3D e o GLORYS também foi elevado com ARMOR e SODA.



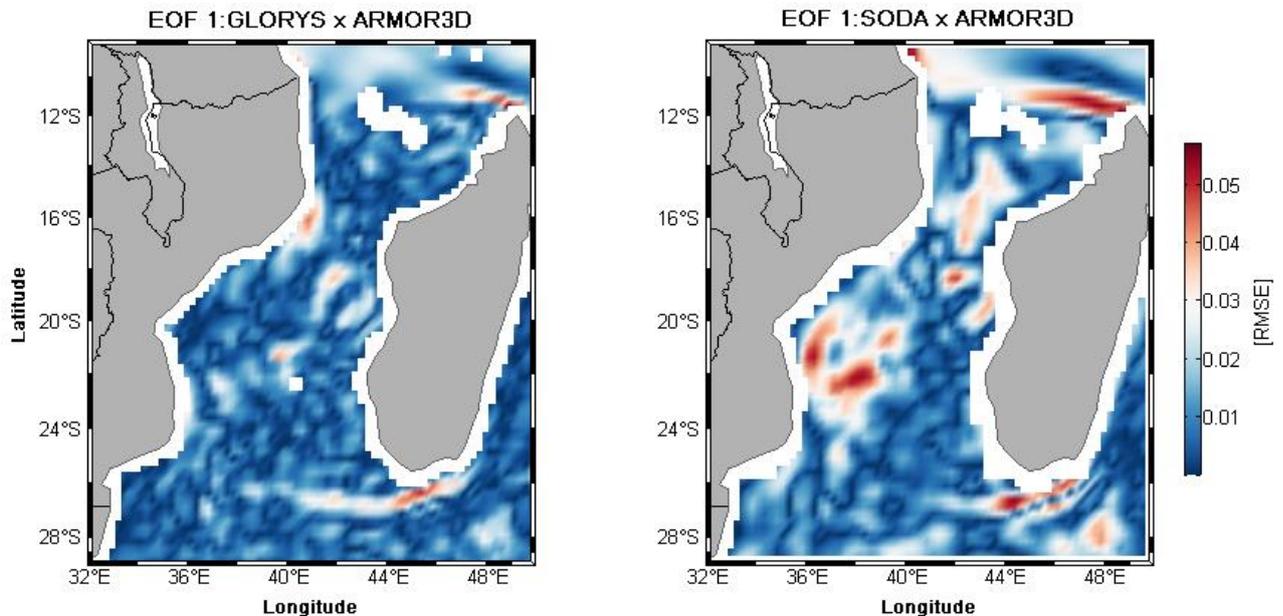
**Figura 6:** Mapas de distribuição espacial dos EOF do segundo e terceiro modo de Variabilidade do Campo de Velocidade dos produtos ARMOR3D, GLORYS e SODA.

**Tabela 3 -** Variância (%) determinada por cada modo de variabilidade.

Modos	ARMOR3D	GLORYS	SODA
<b>EOF 1</b>	35.3 %	38.5 %	22.2 %
<b>EOF 2</b>	11.1 %	18.7 %	9.4 %
<b>EOF 3</b>	3.5 %	11.6 %	2.9 %

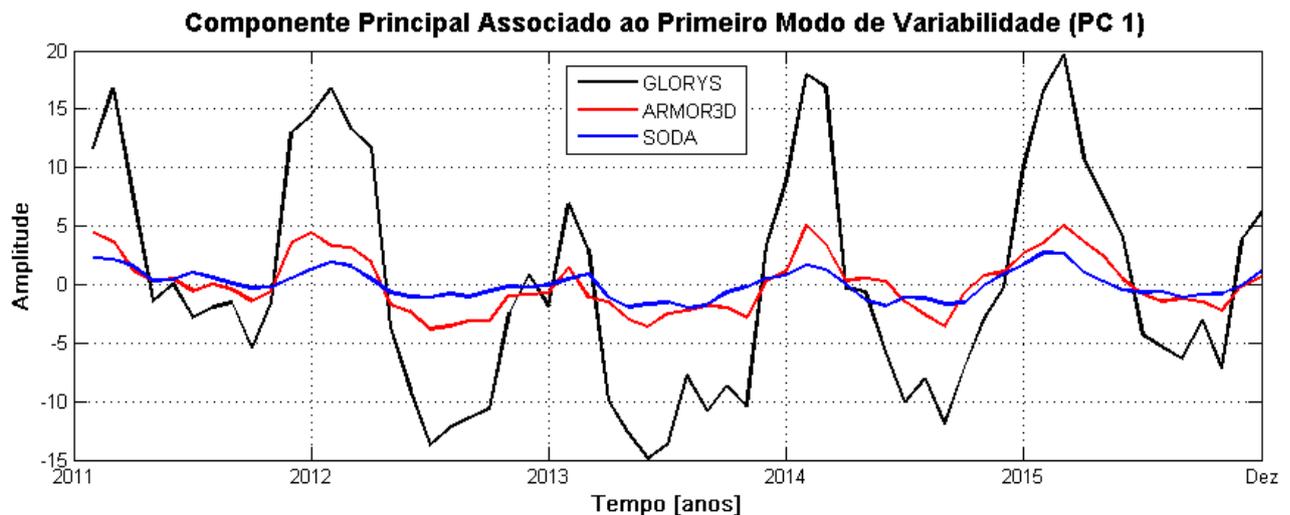
A Figura 7 (ver a figura 21 em anexo), ilustra o desempenho em termos de ajuste estatístico entre os dados de observação por satélite e de modelos através do erro da raiz quadrática média (RMSE) da diferença (ARMOR-GLORIS e ARMOR-SODA) do primeiro modo da EOF's da variabilidade das intensidades das correntes para todo período de análise. Os resultados de RMSE obtidos, ilustram valores ( $\sim 0.02\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) satisfatórios e bem próximos para ARMOR e GLORYS em quase todo o Canal, em contraste de ARMOR e SODA que apresentam diferenças consideráveis, com valores altos de  $\sim 0.03\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . O que significa que existe uma boa aproximação entre os dado do modelo

GLORYS e do ARMOR3D. Tendo em conta que, o valor mais próximo a zero da RMSE, é considerado como tendo boa aproximação entre os dados (observados e modelados), sendo assim, o desempenho do Produto de reanálise SODA é relativamente menor em relação ao desempenho do modelo GLORYS, tanto a qualidade representativa dos modos das EOF's da variabilidade das intensidades e estatisticamente.



**Figura 7:** Mapas apresentando os erros da raiz quadrática media (RMSE) do primeiro modo de variabilidade de EOF entre os dados das intensidades das correntes geradas por GLORYS - ARMOR e SODA - ARMOR3D

A série temporal dos dois produtos (ARMOR e GLORYS) também variou de forma análoga, contrariamente ao SODA (Figura 8). A variância explicada pelo primeiro modo de variabilidade e a correlação entre os produtos corroboram essa semelhança embora o GLORYS apresenta amplitudes altas quando comparado com ARMOR3D. O GLORYS e assim como o ARMOR3D apresentaram amplitude altas e positivas nos meses de verão e amplitude baixas e negativas para os meses de inverno por ano o que sugere para a uma sazonalidade na variabilidade das correntes. O primeiro modo de variabilidade explica  $\sim 35\%$  da variância (Tabela 3) do campo de velocidade do ARMOR3D e  $\sim 38\%$  da variância do GLORYS, enquanto que a variância do SODA explicada pelo primeiro modo  $\sim 22\%$  de variabilidade.



**Figura 8:** Evolução temporal das Componentes Principais (PC) associadas a cada modo de variabilidade do campo de velocidade dos produtos ARMOR3D, GLORYS e SODA.

Para cada modo de variabilidade (1º, 2º e 3º), foram calculados os coeficientes de determinação entre as séries temporais dos três produtos para analisar a relação entre eles que são apresentados na tabela 4. O coeficiente é a razão entre a covariância de duas variáveis pelo produto dos desvios-padrão de cada uma delas. O coeficiente de determinação, igual a  $r^2$ , representa o percentual da variância de uma das variáveis que pode ser explicado a partir do comportamento da outra. A correlação entre o ARMOR3D e o GLORYS foi de 0.78 com um intervalo de confiança de 95% (Tabela 4). Em contrapartida, a correlação entre o ARMOR3D e SODA foi de 0.29. Os dois produtos (ARMOR e GLORYS) apresentaram correlação de 0.69 para o segundo modo e de 0,63 para o terceiro modo. Já a correlação entre o ARMOR3D e o SODA foi de 0.22 e 0.17 para o segundo modo, e para o terceiro modo, respectivamente.

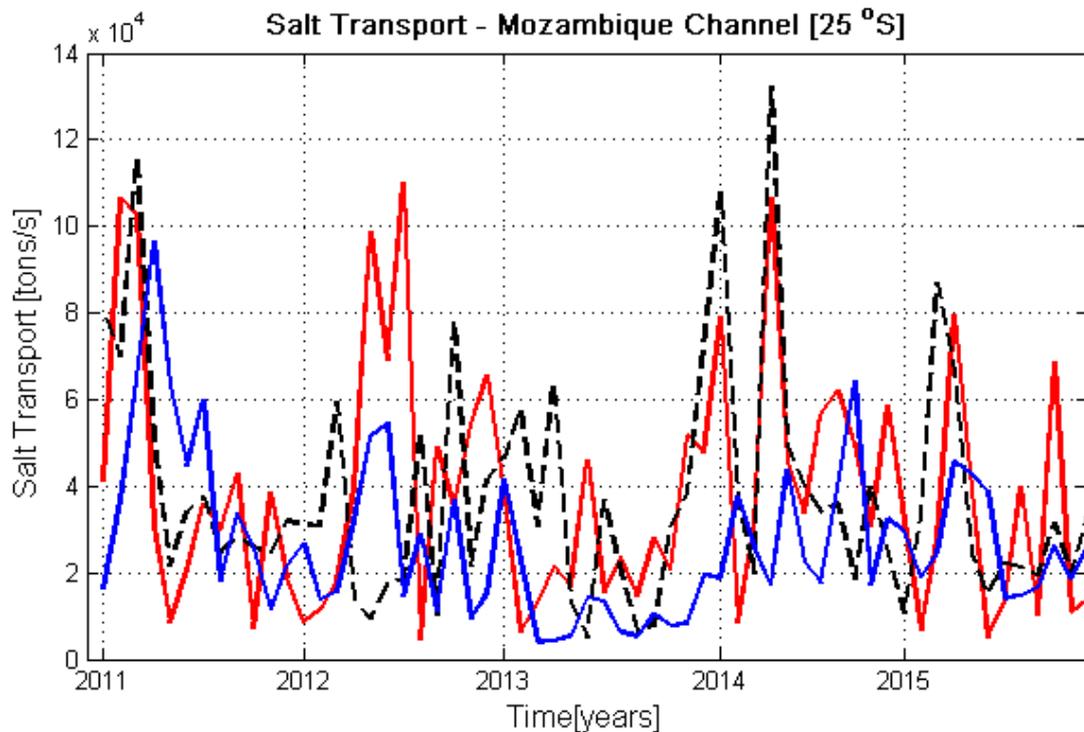
**Tabela 4** - Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os produtos para os três primeiros modos de variabilidade.

Modos	ARMOR3D x GLORYS	ARMOR3D x SODA
EOF 1	0.78	0.29
EOF 2	0.69	0.22
EOF 3	0.63	0.17

### 4.3. Transporte de Sal no Canal de Moçambique

A figura 9 ilustra o comportamento do transporte de sal controlados pela secção sul (MCE-S) no Canal de Moçambique. O transporte médio de sal do ARMOR3D também oscilou não de forma similar ao transporte do GLORYS ao SODA ao longo de todo período em análise. O transporte de sal do ARMOR3D variou de  $-11.10^4$  tons.  $s^{-1}$  a  $1.10^3$  tons.  $s^{-1}$ , com uma média de  $\pm 3,6.10^3$  tons.

$s^{-1}$ , enquanto que o GLORYS2V3 variou de  $\sim 12 \cdot 10^4$  tons.  $s^{-1}$  a  $1 \cdot 10^3$  tons.  $s^{-1}$ , com um transporte médio de  $\pm 3,8 \cdot 10^3$  tons.  $s^{-1}$ , o transporte calculado a partir do SODA foi significativamente superior ao transporte calculado pelos outros produtos. O transporte do SODA variou de  $11,7 \cdot 10^4$  tons.  $s^{-1}$  a  $8,1 \cdot 10^3$  tons.  $s^{-1}$ , com uma média de  $\pm 4 \cdot 10^4$  tons.  $s^{-1}$ . Entretanto nas series temporais do ARMOR e GLORYS em alguns pontos apresentaram c=tendências semelhantes quando comparados com o transporte estimado pelo GLORYYS.



**Figura 9:** Série temporal referente ao transporte de sal na região Sul do canal de Moçambique na secção de controle MCE-South 25°S.

**Tabela 5** - Estatísticas dos Transportes de Sal em tons/s no Canal de Moçambique determinada na secção de controle MCE-S (25°S)

	<b>GLORYS</b>	<b>ARMOR3D</b>	<b>SODA</b>
<b>MÉDIA</b>	36876	38328	45155.68
<b>DESVIO PADRÃO</b>	25080	27831	27219.5
<b>MAX.</b>	111298	110243.1	117038.5
<b>MIN.</b>	1123	4370.139	8643.197

#### 4.4. Discussão

Em geral, as análises feitas durante os 5 anos com recurso a 3 fontes de dados (AMOR3D, GLORYS e SODA), permitiram a compreender a dinâmica do sal no Canal de Moçambique, no entanto, a salinidade média do Oceano indico 34.8 PSU na camada superficial, há variações significativas devido a processos como a evaporação e a diluição da água marinha pela água proveniente das precipitações e das desembocaduras dos rios.

Na análise da salinidade superficial a partir das 3 fontes de dados, foi notável o modelo GLORYS apresentou concordâncias com o ARMOR3D e foi consistente ao representar algumas feições (plumas de água doce) quando comparado com o modelo SODA, estatisticamente o ARMOR3D e GLORYS apresentaram menos erros de viés, em comparação ao ARMOR e SODA, por outro lado o modelo GLORYS já foi validado para os parâmetros de temperatura e correntes oceânicas por Emilio (2020) e Junior (2023), no Canal de Moçambique. A SSM é bastante controlada por processos costeiros para regiões de natureza costeira e pelo número de rios que se encontram na região centro e norte de Moçambique e estão constantemente descarregando água doce contribuem para a diluição da água do mar reduzindo a SSM que se regista nessa região. Deste modo os padrões que se verificam podem estar associados a precipitação directa registada que foi alta e a introdução de água doce por parte dos rios corroborando assim com o observado por Yue et al (2018) uma vez que só próximo do rio que mais descarrega no MZC (rio Zambeze) com uma descarga em média 3000 m<sup>3</sup> /s isso de acordo com o estudo de Nehama & Reason (2015) que se verificam as menores SSM. Por outro lado, temos que pelo facto desta salinidade ser controlada por processos costeiros, na superfície ela será inversamente proporcional ao comportamento da TSM. Durante a fase de forçamento do sistema, as altas intensidades do vento induzem fortes misturas verticais e afloramento, causando desta forma o arrefecimento superficial e consequentemente a redução da TSM e aumento da SSM. O mesmo foi observado por Yue et al (2018).

Por outro lado, Foltz; Schmid; Lumpkin (2015) afirmam que há uma grande entrada de água doce superficial na região do Oceano tropical, a partir da combinação de chuva e vazão de rio, a qual sofre dispersão e subsidência a medida que se desloca para latitudes mais altas. Essa mais baixa salinidade causa a estratificação do oceano superficial gerando uma camada isotérmica mais profunda que funciona como uma barreira entre a base da camada isotérmica e a base da camada de mistura do oceano. Portanto, as variações sazonais do distribuição de salinidade esta dependente te processos locais, assim como a alta de evaporação da água do mar devido ao aumento da radiação solar na estação do Verão no Hemisfério Sul, que excede a precipitação nos primeiros meses de verão, fazendo com que a tenha altas concentrações de salinidade na superfície do mar, em quase todo o MZC, e de baixas concentrações no inverno, com sugerido por Saetre & Silva (1982). Por outra,

Esse volume de água menos salina é transportado ao longo da costa por influência da Corrente de Moçambique e vórtices de meso escala que apresentam intensidades fortes no verão, rumo ao sul e conectando se a corrente das agulhas.

Um fator importante na metodologia é o tipo de modelo usado. O SODA e o GLORYS2V3 assimilam modelos que estimam os campos de velocidade a partir da resolução das equações de Navier-Stokes e das equações de conservação de calor, massa e sal. Em contrapartida, o ARMOR3D despreza a aceleração local e os termos não-lineares - ou seja, os termos advectivos e de atrito - restando apenas os termos força gradiente de pressão e força de Coriolis (Hiron, 2014). A partir das equações do vento térmico, deduzidas do equilíbrio geostrófico, o ARMOR3D calcula as velocidades geostróficas.

Quanto a comparação feita, a resolução espacial do GLORYS é duas vezes superior à resolução do ARMOR3D e do SODA. Este possui uma resolução  $1/4^{\circ} \times 1/4^{\circ}$  enquanto o GLORYS possui resolução de  $1/12^{\circ} \times 1/12^{\circ}$ . Além das diferenças na metodologia, as divergências apresentadas entre os três produtos também podem estar associadas aos erros intrínsecos a cada produto. Todos os sistemas de assimilação de dados são afectados por erros associados às seguintes etapas: entrada de dados, aproximações relacionadas às observações *in situ*, limitações na assimilação de modelos e na assimilação de sua própria metodologia (Hiron, 2014).

Na aplicação dos EOF's no módulo das correntes, todos os demais modos mostraram sinais negativos intercalados de sinais positivos nos EOFs 1, 2 e 3 (Figura 5 e 6), padrões similares para o GLORYS e ARMOR3D, corroborando com a alta dinâmica nessa região onde ocorre no norte e centro do canal de Moçambique a e formações de vórtices anticiclónicos reportados por Backeberg & Reason (2010); Halo, et al. (2014); Emílio (2020) e Junior (2023). Esses vórtices são responsáveis pela maior parte da troca inter-hemisférica e interoceânicas de massa e calor, a qual é associada à circulação meridional e de vórtices de meso escala (LUMPKIN & SPEER, 2007). Um outro facto destacável foi na série temporal da componente principal do primeiro modo de variabilidade do modelo GLORYS e ARMOR3D, que mosraram variações sazonais das corentesntes superficiais no Canal de Mocambiuqe corroborando com os resultados encontrados por Schouten et al. (2003); Emílio (2020) e Junior (2023).

Por outro lado, o GLORYS, assim como o ARMOR3D e SODA também mostrou-se eficiente nas estimativas dos transportes de massa, sal e calor no interior do Canal de Moçambique, porem não de forma similar, apresentando elevados coeficientes de correlação com a reanálise GLORYS. A correlação ( $R^2$ ) entre os dois produtos (ARMOR3D e GLORYS) foi de 0,78 e 0,29 para ARMOR E SODA no primeiro modo de variabilidade da EOF no transporte de sal controlada na secção MSC-S

no Canal de Moçambique. O ARMOR3D apresentou uma correlação ainda maior com o GLORYS2V3 na estimativa do transporte sem mesmo ter somado ao transporte de Ekman. No entanto, esse aumento poderia ser pequeno, não comprometendo a qualidade do ARMOR3D apesar da ausência da componente de Ekman.

O sistema de correntes do canal de Moçambique Transporta cerca de 10-15 Sv (Halo *et al.*, 2014) de água menos salina e rica em nutrientes, sendo um dos principais elementos na Circulação Termohalina Global em superfície e a águas se incorporam à SEC Se dilui bastante em seu caminho para sul para o sistema de Corrente das Agulhas. Portanto, os vórtices das Agulhas assim como a montante (Canal de Moçambique) têm importante papel na dinâmica oceânica (*MOC*) e do clima global, em especial do oceano Atlântico. Desta maneira, as feições de meso escala têm grande importância no transporte de propriedades entre os oceanos Índico e Atlântico (Gordon *et al.*, 1992).

## 5. Conclusão

O presente estudo analisou por um período de 5 anos (2011 – 2015) a partir de três fontes a dinâmica das concentrações de sal na superfície do mar no Canal de Moçambique e o seu transporte, onde:

- Foi possível concluir com o presente trabalho que há uma variabilidade bem definida na distribuição espaço-temporal da salinidade da superfície do mar no canal de Moçambique, apresentando altas concentrações de sal na superfície do mar no verão e baixas no inverno, a variação sazonal dos campos de salinidade da superfície do mar (SSM) indicou uma distribuição espaço-temporal bastante semelhante entre os dados do modelo GLORYS e os dados do satélite ARMOR3D, bem como entre os dados do modelo SODA;
- Nas comparações dos modos de variabilidades das EOF, o GLORYS forneceu uma representação realista dinâmica oceânica e descritas em outras literaturas, A variabilidade espacial para o módulo das velocidades das correntes foi bem representado pela variância encontrada nos 3 primeiros modos das EOF's. O primeiro modo (EOF1) retém 38.51% da variância total onde observa-se bem definido os sinais negativos e positivos que está associado a variabilidade das correntes e de vórtices. A variabilidade temporal das Componentes Principais (PC) associadas aos modos 1, 2 e 3, apresentam variação sazonal e intra-anual de maiores amplitudes maiores;
- O GLORYS mostrou-se eficiente na estimativa do transporte de sal no interior do Canal de Moçambique, apresentando  $3 \cdot 10^4$  tons.  $s^{-1}$ ,  $3,8 \cdot 10^4$  tons.  $s^{-1}$  e  $4 \cdot 10^4$  tons.  $s^{-1}$  de médias para o modelo GLORYS, ARMOR3D e SODA respectivamente. Com tendências a reduzir o Sal transferido, afectando a circulação oceânica (Formação de águas profundas), o clima regional e global. Como resposta da questão que guiou a pesquisa, conclui-se que nas estimativas de transporte de sal a partir de diferentes estimativas não apresentaram similaridades no Canal de Moçambique, uma vez que a computação de calor, sal e massa dever ser feita a partir de modelos mais realísticos, consistentes e completos possíveis como e o caso do modelo GLORYS.

### 5.2. Recomendações

Recomenda-se ao uso dados *in situ* e modelos, para compreender melhor as feições de meso escala no processo de transporte de massa, Sal, calor e elementos químicos, assim como: Aplicação de EOF's para melhor análise da variabilidade das correntes (componentes zonais e meridionais) no Canal e a utilização de outros métodos.

### 5.3. Referencias Bibliográficas

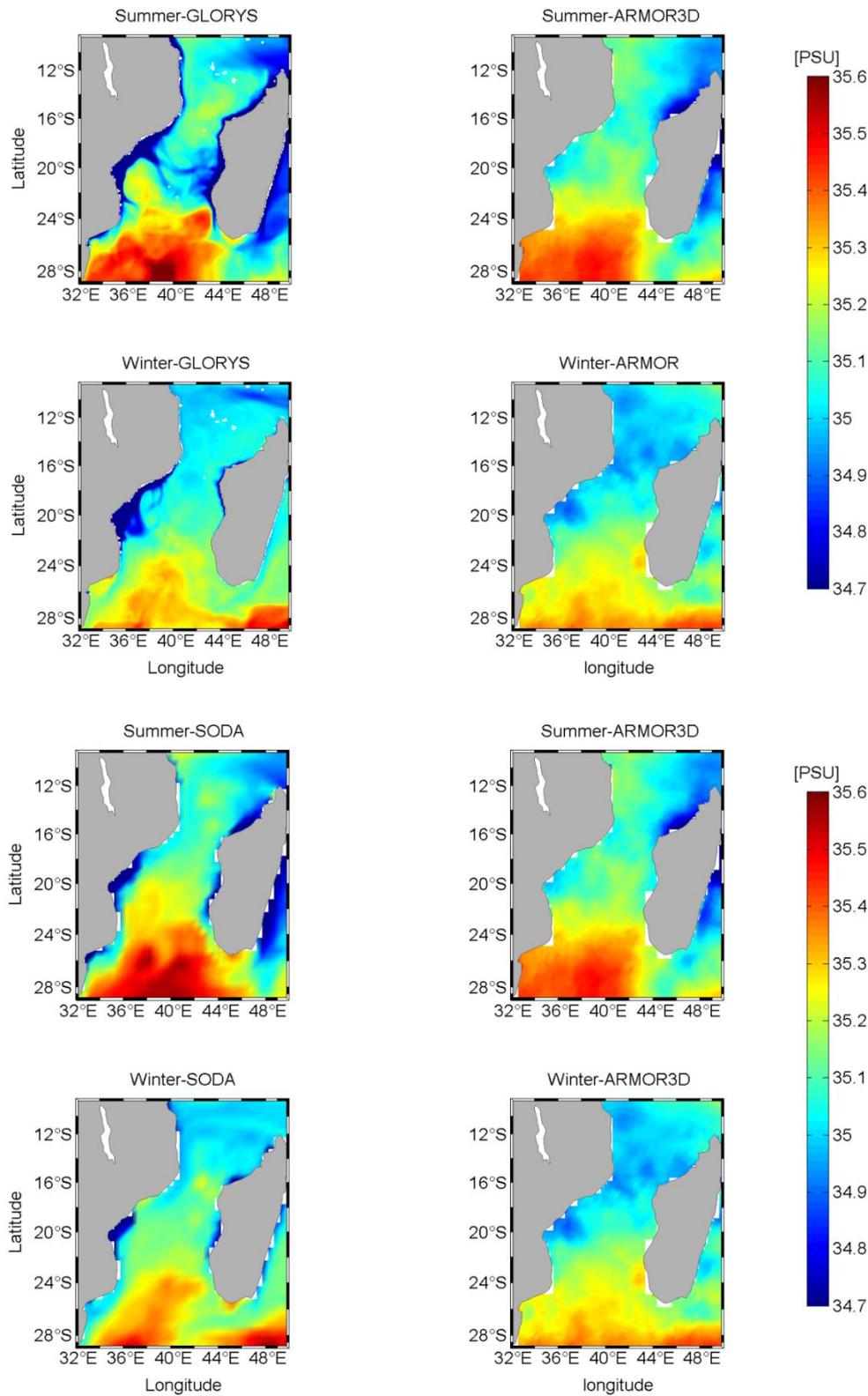
- Backeberg, B. C., & Reason, C. J. (2010). A connection between the South Equatorial Current north of Madagascar and Mozambique Channel Eddies. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, 37, 1-6.
- Backeberg, B., Johannessen, J., Bertino, L., & Reason, C. (2008). The greater Agulhas Current system: An integrated study of its mesoscale variability. *Journal of Operational Oceanography*, 1, 32-40.
- BARROS, M. I. (2016). *TRANSPORTES ASSOCIADOS E ESTRUTURA VERTICAL DE UM ANEL DAS AGULHAS*. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande-Dissertação Mestrado.
- Beal, L. M., De Ruijter, W., Biastoch, A. a., & Working, S. (2011). On the role of the Agulhas system in ocean circulation and climate. . *Nature*, 472, n. 7344, 36-429.
- Braby, L., Backeberg, B. C., Ansorge<sup>5</sup>, I., Roberts, M. J., Krug, M., & Reason, C. J. (2016). Observed eddy dissipation in the Agulhas Current. *Geophysical Research Letters*, 8146-8149.
- Campos, E. J. (2014). *O papel do oceano nas mudanças climáticas globais*. São Paulo : REVISTA USP .
- Carvalho, R. C. (2022). *Avaliação dos campos de corrente oceânica e padrões de salinidade no Maceió*: Biblioteca Central.
- Emílio, C. A. (2020). *Campos de Vento e Circulação oceânica no Canal de Moçambique: perspectivas a partir de diferentes estimativas*. Quelimane: UEM-Dissertação de Mestrado em Oceanografia Aplicada.
- Freitas, A. C. (2018). *Caracterizacao de vortices das agulhas e evidencias de aguas modas do oceano indico no seu interior* . Rio Grande, Brasil: FURG.
- Freitas, A. C. *Caracterizacao Fisica De Vortices Das Agulhas E Evidencias Da Presenca De Aguas Modais Do Oceano Indico No Seu Interior* . Rio Grande, RS, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande , Brasil.

- Gordon, A. L., Weiss, R. F., Jr., W. M., & Warner, M. (1992). Thermocline and Intermediate Water Communication Between the South Atlantic and Indian Ocean. *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, 97, 7223-7240.
- Halo, I., Backeberg, B., Penven, P., Ansorge, I., Reason, C., & Ullgren, J. E. (2014). Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models. *elsevier-Deep-Sea ResearchII*.
- Hiron, L. (2014). *O fluxo meridional de massa possui duas componentes: a componente SINTÉTICO” 3D BASEADO EM OBSERVAÇÕES*. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, Bacharel em Oceanografia.
- Hoguane, A. M. (28 de julho de 2007). *Revista de Gestao Costeira Integrada* . Obtido de [https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7\\_8\\_Hoguane.pdf](https://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci7_8_Hoguane.pdf)
- Junior, O. A. (2023). *Influenciado Sistema de Correntes Oceanicas do Canal de Moçambique no Transporte de Calor*. Escola Superior de Ciencias Marinhas e Costeiras .
- Langa, A. Â. (2018). *Efeito do stress do vento e do fluxo de calor no ciclo anual da clorofila no norte do Canal de Moçambique*. Rio grande: Universidade Federal do Rio Grande-Tese de Doutorado.
- LUMPKIN, R., & SPEER, K. (2007). Global Ocean Meridional Overturning. *JOURNAL OF PHYSICAL OCEANOGRAPHY*, 37, 2550-2562.
- Machado, A. M. (2019). *VARIABILIDADE CLIMÁTICA REGIONAL DA CIRCULAÇÃO OCEÂNICA NO OCEANO ATLÂNTICO EQUATORIAL OCIDENTAL*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. São Luís: Dissertação de Mestrado - PPGOCEANO.
- Mapulende, R. d. (2019). *Análise da influência do ciclone tropical Idai na circulação superficial no Canal de Moçambique*. Quelimane: ESCMC, UEM.
- Newton, T. S. (2013). *Estudo da Ocorrência do Vórtice de Cabo Frio e do Vórtice de Cabo de São Tomé*. São Paulo: Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado.
- Peredo, R. F. (2022). *Validação do modelo Delft3D com recurso a dados IN-SITU* . Alfeite : Escola Naval - Dissertação mestrado.
- Pilo, G. S. (2013). *Demografia de vórtices oceânicos em três sistemas associados a correntes de contorno oeste do Hemisfério Sul*. Rio grande: Universidade Federal do Rio Grande - Instituto de Oceanografia.

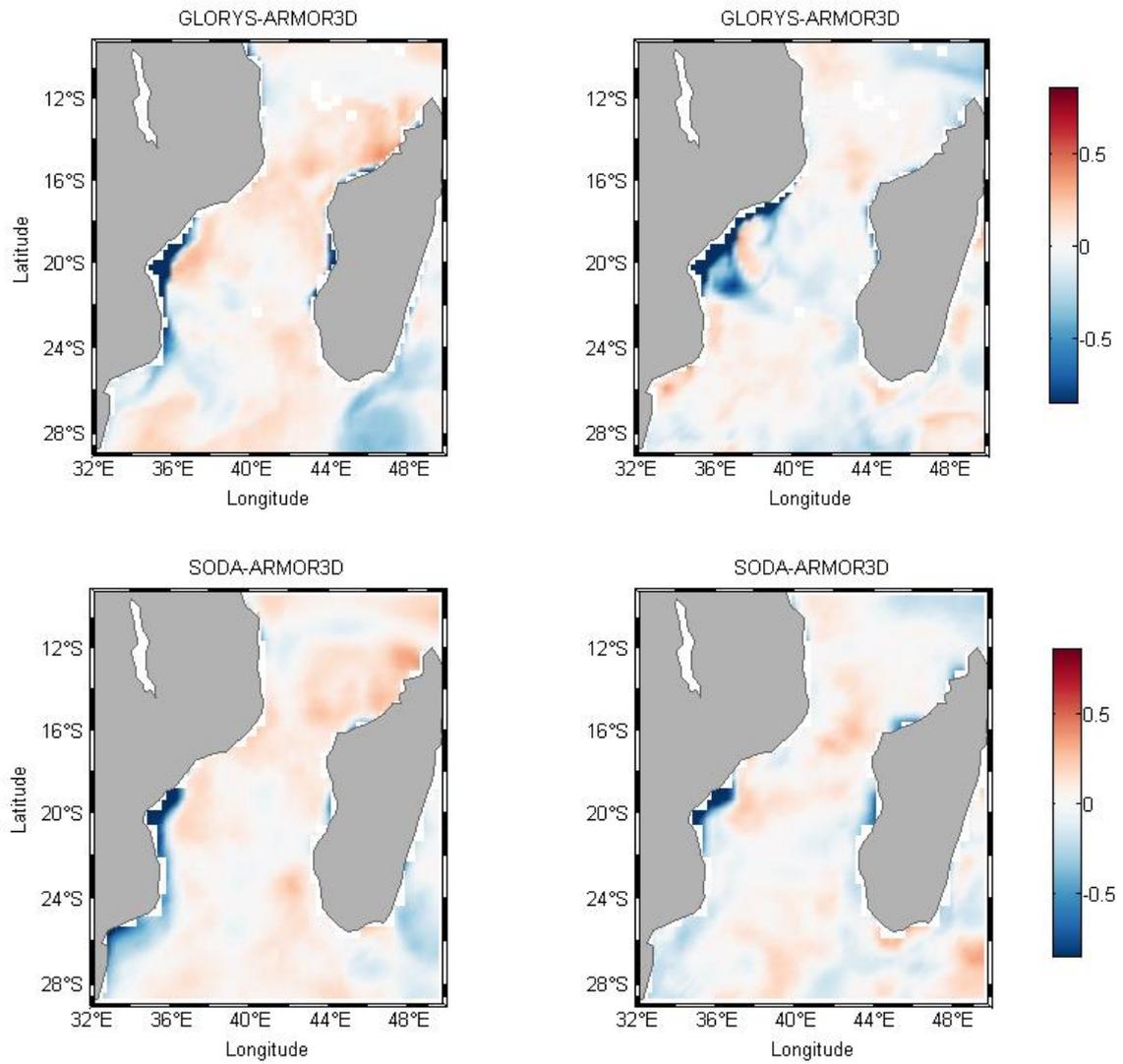
- Saetre, R., & Silva, A. J. (1982). Water masses and Circulation of the Mozambique Channel. *Revista de Investigação Pesqueira*, 1-83.
- SANTOS, A. L. (2014). *INFLUÊNCIA DOS TRANSPORTES DE VOLUME, CALOR E SAL PELA PASSAGEM DE DRAKE E PELA RETROFLEXÃO DA CORRENTE DAS AGULHAS NA CÉLULA DE REVOLVIMENTO MERIDIONAL DO ATLÂNTICO SUL*. Florianópolis: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
- Schouten, M. W., Ruijter, W. P., van Leeuwen, P. J., & Ridderinkhof, H. (2003). Eddy variability in the Mozambique Channel. *Channel. Deep-Sea Research II*, 1987–2003.
- Souza, J. M. (2008). *A influência da atividade de meso-escala sobre o balanço termodinâmico do Oceano Austral*. Rio de Janeiro: UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Oceânica.
- Ternon, J. F., Herbette, S., & Penven, P. (2022). *RESILIENCE Cruise: fRonts, EddieS and marIne Life in the wEstern iNdian oCEan*. Cape town: R/V Marion Dufresne – Southwest Indian Ocean.

## 6. Anexos

### 6.1. Erro sistemático aplicado aos mapas sazonais da variação sazonal de salinidade superficial

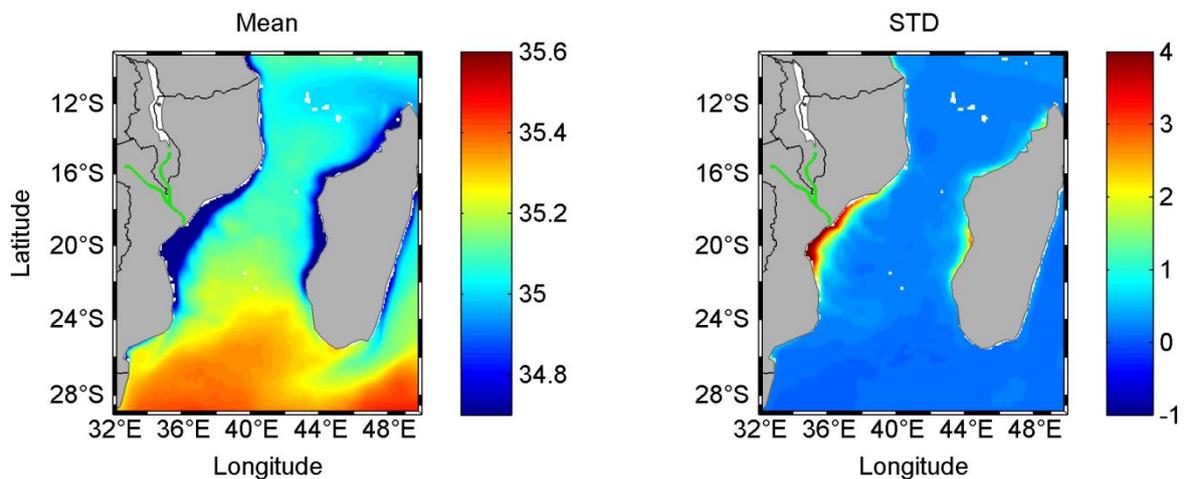


**Figura 10:** Variação sazonal (2011 a 2015) dos campos de SSM obtidos na simulação do GLORYS e SODA (primeira coluna) e dados observacionais do ARMOR3D (segunda coluna).



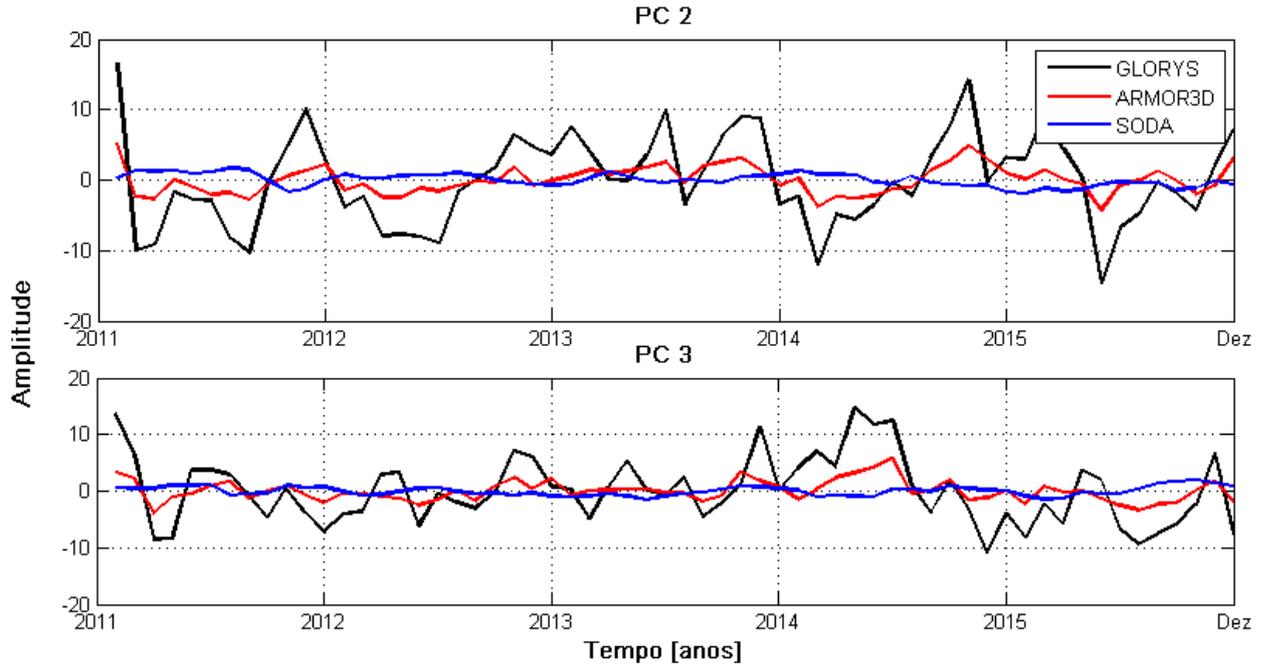
**Figura 11:** Resultado das diferenças variação sazonal (2011 a 2015) dos campos de SSM, GLORYS-ARMOR3D; SODA-ARMOR3D (primeira coluna, verão) e GLORYS-ARMOR3D; SODA-ARMOR3D (segunda coluna, inverno).

## 6.2. Média e Desvio padrão da Salinidade superficial

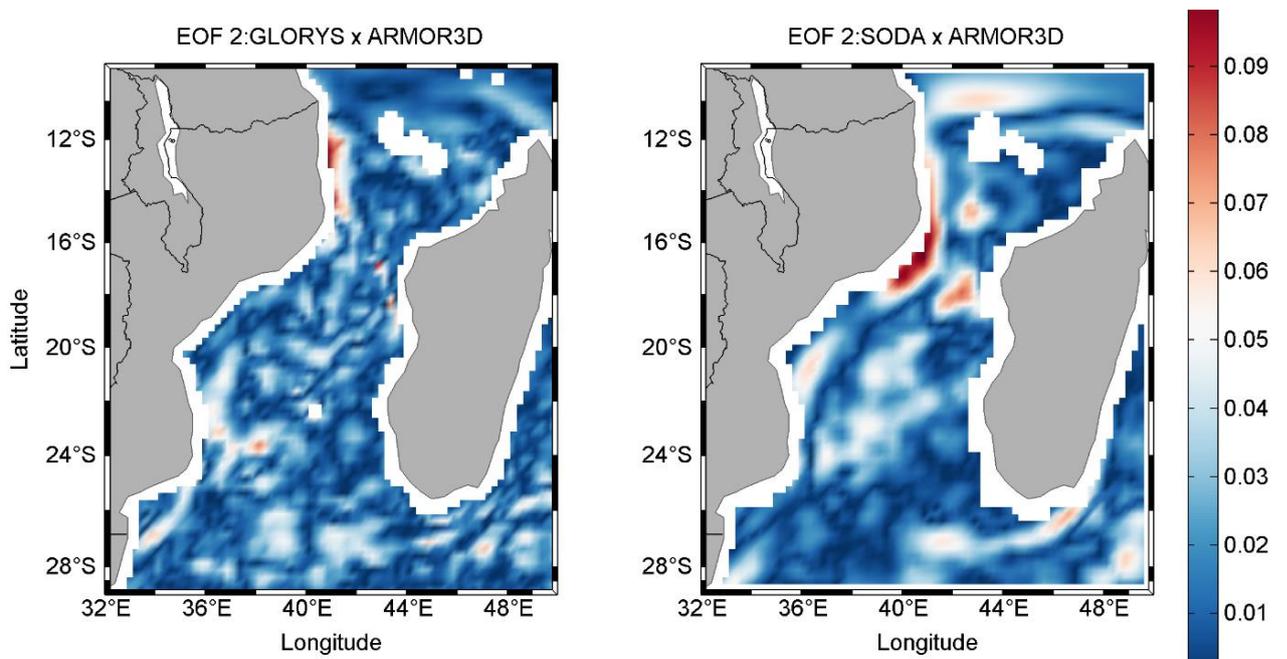


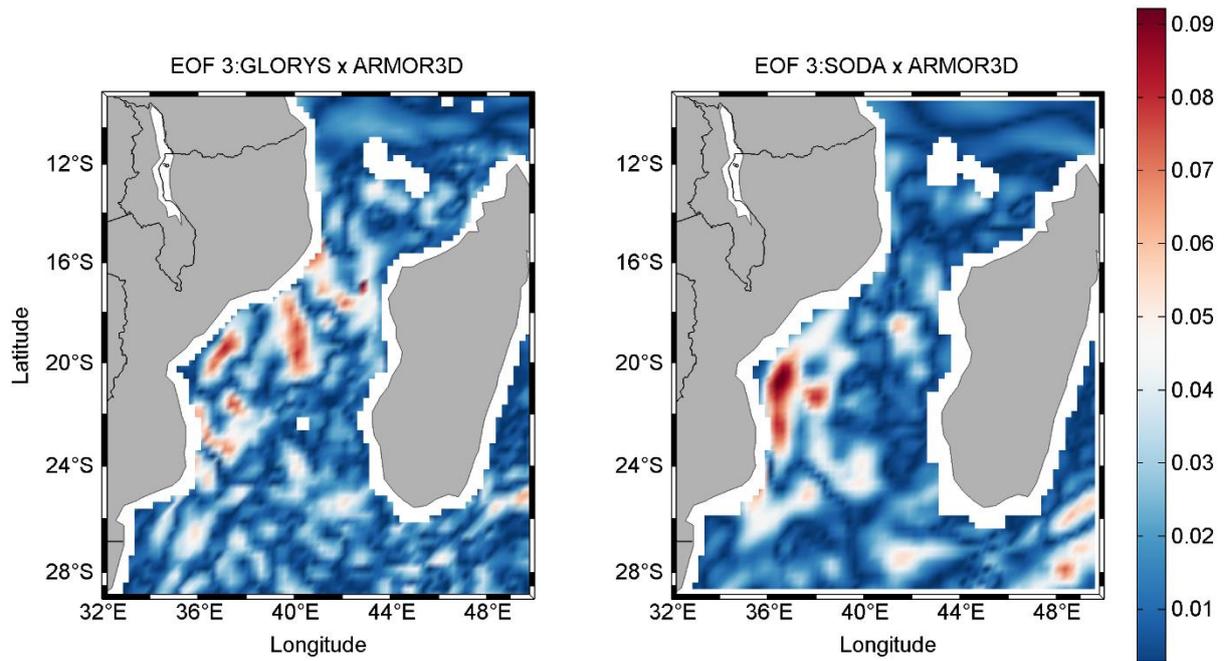
**Figura 12:** Média de longo período (2011-2015) e desvio padrão (STD), do produto GLORYS no Canal de Moçambique.

**6.1. Série temporal das componentes principais e RMSE aplicado aos mapas sazonais das EOF's do módulo das correntes superficial**



**Figura 13:** Evolução temporal das Componentes Principais (PC) associadas a cada modo de variabilidade do campo de velocidade dos produtos, GLORYS e SODA.





**Figura 14:** Mapas apresentando os erros da raiz quadrática media (RMSE) do segundo e terceiro modo de variabilidade de EOF entre os dados das intensidades das correntes geradas por GLORYS - ARMOR e SODA - ARMOR3D.