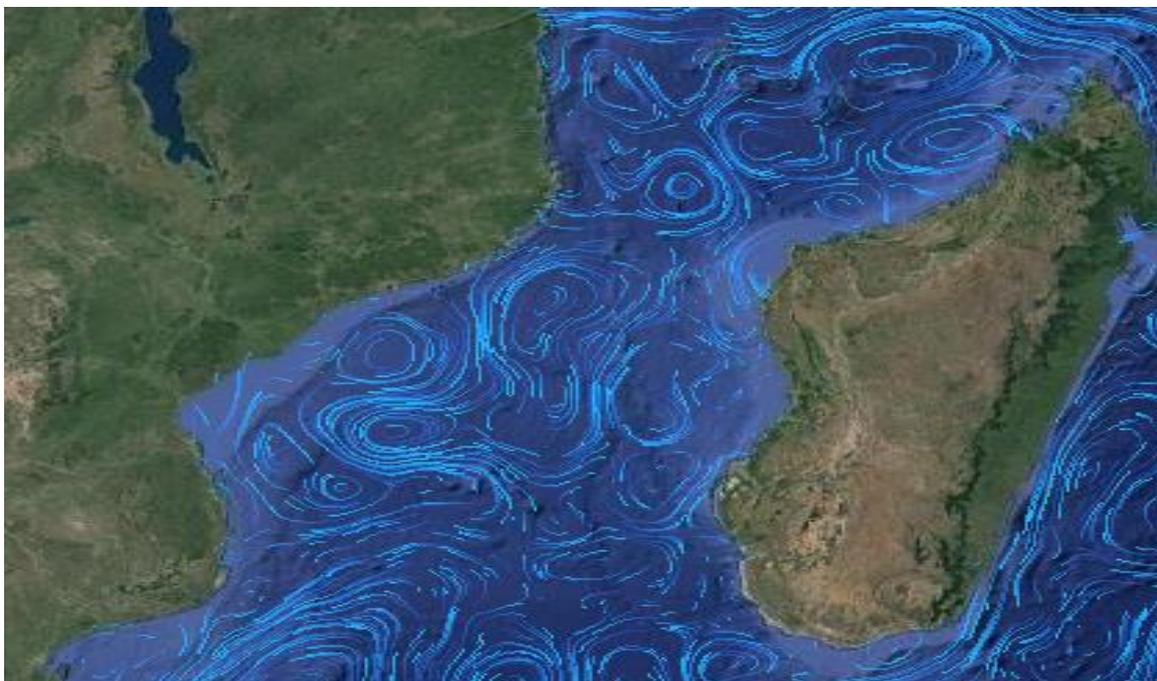




## **Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras**

Monografia para obtenção de Grau de Licenciatura em Oceanografia

# **Análise climatológica das correntes de superfície no sul do canal de Moçambique**



**Autor:**

Autensio Augusto Munhal Nobre



## **Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras**

Monografia para obtenção de Grau de Licenciatura

# **Análise climatológica das correntes de superfície no sul do canal de Moçambique**

Monografia apresentada à Universidade Eduardo Mondlane (Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras) como parte dos requisitos exigidos para obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia.

**Supervisor:**

Doutor Fialho P.J Nehama

---

**Co - Supervisor:**

Doutor Obadias J. Cossa

---

Quelimane, Abril de 2019

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Augusto Munhal Nobre e Teresinha Santos Bonde que no seu dia-a-dia dedicam suas vidas para o meu bem-estar.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela saúde que me tem proporcionado no meu cotidiano e à minha família pelo amparo, compreensão proporcionados durante esta trajetória.

Ao meu supervisor Prof.Doutor Fialho P.J. Nehama e co-supervisor Doutor Obadias Jacinto Cossa pelo apoio académico, pela infinita paciência e dedicação na correcção dos erros encontrados durante a realização deste trabalho, e também pelo encorajamento e confiança nas minhas capacidades académicas.

Aos Drs. Ellis Ash, David Cotton (SatOC), Angela Hibbert, Giuseppe Foti (NOC) do Projeto C-RISe, pelo apoio na obtenção e processamento de dados para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas do curso de Oceanografia (O trio Assane, Damildo e Humberto; ao Zeinul, Leonel, Fernando, Virgílio, Jorge, Lucas, Kevin e os restantes do curso de Oceanografia 2015) pela partilha de conhecimento, espírito de companheirismo e amizade no decorrer de todo o curso.

A todos os docentes da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, em especial Professor doutor António Mubango Hogueane, Doutora Eulalia Mugabe, Mestres Noca Furaca, Teofilo Ferraz, Huberto Mabota & Rodrigues Pita pela motivação e ensinamentos no decorrer do curso.

Agradecer também aqueles que não tiveram a oportunidade de interagir e estarem presentes no trabalho mas que direta ou indiretamente deram seu contributo na realização do mesmo.

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Autensio Augusto Munhal Nobre, portador do BI nº 040105645014S, estudante da Universidade Eduardo Mondlane, declaro sob meu compromisso de honra que o conteúdo deste trabalho é inteiramente da responsabilidade do autor e das referências consultadas

O autor

---

(Autensio Augusto Munhal Nobre)

Quelimane \_\_\_\_\_ de Abril de 2019

## RESUMO

O clima oceânico é determinado através da média dos parâmetros oceânicos colhidos durante longos períodos de tempo. O conhecimento existente sobre as correntes oceânicas no Canal de Moçambique baseia-se principalmente nas recentes observações por satélite e nos crescentes esforços de modelização; por isso, falta-lhe a terra em muitas partes do canal. Há muitas e conhecidas razões que tornam a observação do oceano uma tarefa difícil, incluindo os custos caros associados a observações *in situ* e os problemas de contaminação e cobertura limitada de satélites. No entanto, em alguns locais, como o Canal de Moçambique, a informação mais precisa até à data é a que vem de satélites.

O presente estudo teve como objetivo principal estudar a variabilidade das correntes próximas a costa e de mar aberto da região sul do canal de moçambique com base em observações de altimetria de satélite de 14 anos, produzidos pela Ssalto/Duacs e distribuídos pela AVISO. Para alcançar esses objetivos, os dados no formato NetCDF foram processados usando a linguagem de programação Python. Foi desenvolvido um programa que permitiu calcular a magnitude e a direção das correntes e representá-los em mapas anuais, sazonais, mensais e diários. Foi visto que existe uma grande variabilidade na escalas da circulação nessa região do canal. A corrente é geralmente descontínua e se propaga em forma de giros que se movem para o sul. A média de longo prazo (2002-2016) indica claramente a existência de uma corrente orientada para o sul e não contínua nos trechos ocidentais do canal, com a intensificação em direção ao sul, consistente com os relatórios anteriores. Também é claramente visível uma região em torno de  $22.5^{\circ} - 25^{\circ} \text{ S}$  e  $35^{\circ} - 39^{\circ} \text{ E}$  onde a corrente média sofre uma rotação anti-ciclônica, indicando a posição média de um dos redemoinhos de mesoescala anti-ciclônica. As correntes médias de longo prazo no centro dos canais em torno de  $22^{\circ} - 26^{\circ} \text{ S}$  e  $38^{\circ} - 44^{\circ} \text{ E}$  não têm um padrão claro, como indicado pelos fluxos multidirecional e fraco, bem como o desvio padrão bastante fraco. As correntes médias em terra das isóbatas de 500m no lado moçambicano mostraram forte consistência como revelado pelo desvio padrão extremamente fraco, e os padrões atuais variam entre um redemoinho na Delagoa Bight ( $25^{\circ} - 26.5^{\circ} \text{ S}$ ), para o sul fluindo entre  $22.5^{\circ}$  e  $25^{\circ} \text{ S}$ , e para o norte fluindo entre  $20^{\circ}$  e  $22.5^{\circ} \text{ S}$ .

**Palavras-chaves:** *Variabilidade, correntes, canal de Moçambique.*

## **Abstract**

The oceanic climate is determined by averaging the ocean parameters collected over long periods of time. Existing knowledge of the ocean currents in the Mozambique Channel is based mainly on recent satellite observations and increasing modeling efforts; therefore, they lack the land in many parts of the canal. There are many well-known reasons that make ocean observation a difficult task, including the costly costs associated with in situ observations and the problems of contamination and limited coverage of satellites. However, in some places, such as the Mozambique Channel, the most accurate information to date is from satellites.

The main objective of this study was to study the variability of currents near the coast and the open sea in the southern region of the Mozambique channel based on observations of 14 year satellite altimetry produced by Ssalto / Duacs and distributed by. To reach these objectives, the data in the NetCDF format were processed using the Python programming language. A program was developed to calculate the magnitude and direction of currents and to represent them in annual, seasonal, monthly and daily maps. It has been seen that there is great variability in the scales of circulation in this region of the channel. The current is generally discontinuous and propagates in the form of turns that move south. The long-term average (2002-2016) clearly indicates the existence of a south-oriented, noncontinuous stream in the western stretches of the channel, with the southbound intensification, consistent with previous reports. Also clearly visible is a region around  $22.5^{\circ}$ - $25^{\circ}$  S and  $35^{\circ}$ - $39^{\circ}$  E where the average current undergoes an anti-cyclonic rotation, indicating the average position of one of the anti-cyclone mesoscale swirls. The medium long-term currents at the center of the channels around  $22^{\circ}$ - $26^{\circ}$  S and  $38^{\circ}$ - $44^{\circ}$  E do not have a clear pattern, as indicated by the multidirectional and weak flows, as well as the rather weak standard deviation. The mean shore currents of the 500m isobaths on the Mozambican side showed strong consistency as revealed by extremely weak standard deviation, and current standards range from a whirlpool in Delagoa Bight ( $25^{\circ}$ - $26.5^{\circ}$  S), to the south flowing between  $22.5^{\circ}$  and  $25^{\circ}$  S, and to the north flowing between  $20^{\circ}$  and  $22^{\circ}$  S.

**Keywords:** *Variability, currents, Mozambique channel.*

## ÍNDICE

Capítulo I. Introdução e objetivos .....	10
1.1 Introdução .....	10
1.2.Objectivos.....	11
Capítulo II. Revisão da literatura.....	12
2.1 Tipos de circulação oceânica .....	12
2.2 Ventos predominantes .....	12
2.3 Correntes de larga escala e circulação no canal de Moçambique .....	14
2.4. Vórtices no Canal de Moçambique .....	16
2.4 Sensoriamento Remoto .....	19
2.5. Determinação das correntes do oceano através de sensores de satélite.....	21
2.5.1 Correntes geostróficas .....	21
2.5.2 Correntes de Ekman .....	22
2.5.3 Corrente total da superfície .....	23
Capitulo III: Metodologia.....	24
3.1 Descrição geral da área de estudo .....	24
3.2 Descrição de dados.....	25
3.3 Processamento de dados .....	25
Capitulo IV: Resultados e Discussão .....	26
4.1. Resultados.....	26
4.1.1. Média de longo termo das correntes na região sul do Canal de Moçambique .....	26
4.1.2. Média de longo termo da variabilidade sazonal das correntes na região sul Canal de Moçambique .....	28
4.1.3 Censo estatístico dos de giros na região sul do canal.....	30
4.2 Discussão .....	31
Capitulo V: Conclusões.....	33
Capitulo VI: Referências bibliográficas .....	34
Anexos.....	37

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figure 1:</b> Campos de tensão de monção do vento dos Centros Nacionais de Previsão Ambiental (NCEP) de 1990–1998. ....	13
<b>Figure 2:</b> Representação esquemática das correntes durante a monção de verão (sudoeste). 15	
<b>Figure 3:</b> Giros no canal de Moçambique... ..	18
<b>Figure 4:</b> Geometria de aquisição de imagem dum Radar de Abertura Sintética.....	20
<b>Figure 5:</b> Região sul do Canal de Moçambique.....	24
<b>Figure 6:</b> Mapa da média de longo termo correntes entre os anos 2002 a 2016. ....	26
<b>Figure 7:</b> Mapa do desvio padrão da média anual das correntes de 2002 a 2016 .....	27
<b>Figure 8:</b> Mapas das Médias da Variabilidade sazonal das correntes entre os anos 2002 e 2016.....	28
<b>Figure 9:</b> Mapas de médias mensais da Variabilidade das correntes no ano de 2016 .....	29
<b>Figure 10:</b> Médias do Numero de giros observados mensalmente na região sul do canal de Moçambique em função do tempo.....	30

## **Capítulo I. Introdução e objetivos**

### **1.1 Introdução**

A descrição da circulação e massas de água é importante ajuda na compressão da disponibilidade espacial e temporal dos nutrientes e na abundância de várias espécies em função da ascensão das massas de água do fundo para a superfície em zonas caracterizadas pela ressurgência. A compreensão adequada das correntes oceânicas no Canal de Moçambique é limitada pela escassez de observações oceanográficas. O motivo por detrás da escassez é óbvio: Os custos em termos de mão-de-obra, tempo de embarque e ancoragem de instrumentos é grande. Por isso, a maioria dos estudos sobre variabilidade nas correntes oceânicas, depende da aplicação de modelos numéricos (Stammer et al., 2003). Estudos observacionais em longo prazo sobre a variabilidade nas correntes oceânicas utilizam principalmente métodos indiretos, como analisar a variabilidade em rastreadores oceânicos ou, mais recentemente, em observações de satélite de longo prazo sobre a altura da superfície do mar (Ridderinkhof & De Ruijter, 2003).

Informações actuais precisas sobre a variabilidade da circulação oceanica são importantes para navegação, operações e desenvolvimento de porto. De acordo com Rio, et al (2014) a estimativa de correntes precisas da superfície do oceano é crucial para uma ampla e crescente gama de aplicações (indústria offshore, busca e salvamento, monitoramento de derramamento de óleo ...). No caso específico de Moçambique, informações aprimoradas sobre as correntes oceânicas provenientes de análises climatológicas podem apoiar o planeamento dos grandes portos no norte e sul do país e ajudar os engenheiros a identificar locais e especificações adequados para novas instalações.

A existência de vários portos a nível da enorme costa Moçambicana, trazem como resultado a abundância de vários navios, que fazem-se no oceano para facilitar o escoamento de produtos para dentro e fora do país.

O presente estudo pretende fazer uma análise climatológica das correntes oceânicas próximo à costa e em mar aberto na região sul do Canal de Moçambique para ajudar no melhoramento e actualização de informações úteis para a navegação, etc.

Medições de corrente podem consistir em boias flutuantes e amarradas, instalações costeiras de radar, boias, planadores, observações de navios e medições por satélite. As técnicas de medição baseadas em satélite tem sua força e limitações específicas (por exemplo, resolução, cobertura, precisão, integração de profundidade, dependência de nuvem, métodos de recuperação empíricos,

etc.). Através do desenvolvimento e uso de fusão sistemática de dados e sinergia de sensores combinada com ferramentas avançadas de processamento e modelos de simulação, a força complementar de cada técnica de detecção pode ser otimizada. Ao fazê-lo, as deficiências são relaxadas e a estimativa final das correntes de superfície oceânica e produtos derivados de nível superior (por exemplo, limites frontais) será mais consistente, regular e confiável. Por sua vez, o uso e a aceitação de produtos derivados da OSC baseados em satélite crescerão.

De acordo com Ducet et al., (2000) Citado por Halo et al., (2014) os altímetros de satélite fornecem informações sobre variações na altura da superfície do mar, úteis para estudar a variabilidade do oceano em mesoescala em regiões onde o raio de deformação interna é maior do que a resolução dos dados mesclados. Em regiões onde as observações *in situ* são esparsas, como o Canal de Moçambique, os estudos dependem fortemente dessas observações do altímetro

Uma vantagem de usar dados derivados de satélite provenientes da AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data*) esta ligada a facilidade de aquisição dos dados associado a capacidade que tem de unificar e combinar os altímetros de missões diferentes. O AVISO distribui dados altimétricos em todo o mundo desde 1992. Desde essa data, a altimetria via satélite evoluiu paralelamente à comunidade de usuários e à oceanografia. Até hoje, os dados de altimetria são quase duas décadas, começando em 14 de outubro de 1992. O produto de dados em grade produzido pela Ssalto / Duacs e distribuído pela AVISO, com apoio do CNES, combina medidas de altímetro de vários satélites através de uma técnica de mapeamento de interpolação (Halo et al., 2014).

### 1.2.Objectivos

O objectivo geral do presente estudo é analisar a variabilidade das correntes na região Sul do Canal de Moçambique

Especificamente, o estudo pretende:

- Determinar a variabilidade anual, sazonal e temporal do fluxo das correntes na região sul do canal de Moçambique
- Determinar o número de giros ciclónicos e anticiclónicos que podem ser observados mensalmente na região sul do canal.

**Capítulo II. Revisão da literatura****2.1 Tipos de circulação oceânica**

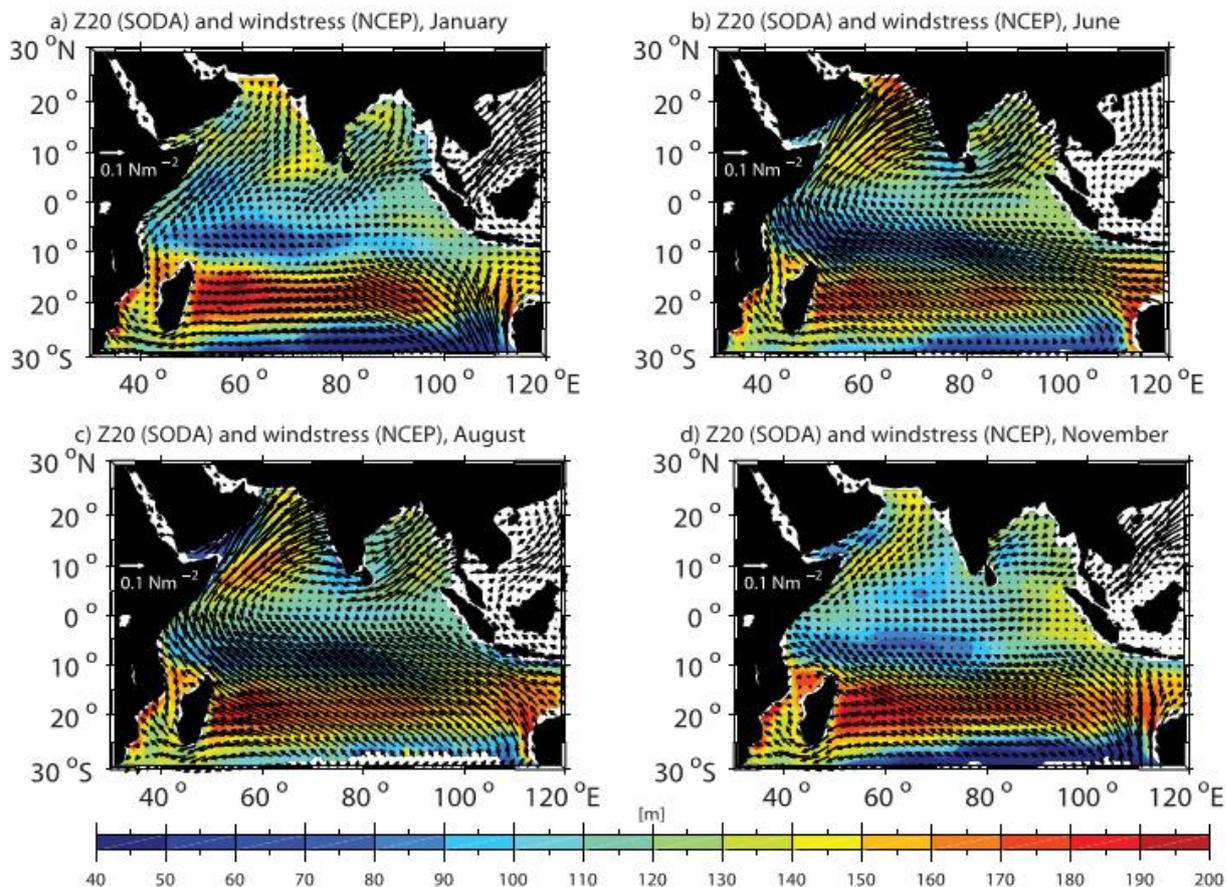
A circulação oceânica é classificada em dois principais tipos, a circulação induzida pelo vento e a circulação termohalina. A circulação termohalina é aquela parte da circulação oceânica que é impulsionada por gradientes de densidade ou seja, por fluxos de calor e água doce através da superfície do mar e subsequente mistura interior de calor e sal (Rahmstorf, 2006). O termo, portanto, refere-se a um mecanismo de acionamento. Características importantes da circulação termohalina são a formação em águas profundas, a disseminação de águas profundas em parte através de correntes profundas, correntes ascendentes e próximas da superfície, levando, juntas, a um movimento profundo e profundo dos oceanos. O grande transporte de calor da circulação termohalina o torna importante para o clima, e sua resposta não-linear e potencialmente abrupta ao forçamento tem sido invocada para explicar as mudanças abruptas do clima glacial.

A circulação induzida pelo vento ocorre principalmente nas centenas de metros superiores e é, portanto, principalmente uma circulação horizontal, embora movimentos verticais possam ser induzidos quando a geometria da circulação de superfície resulta em convergências ou divergências (Munk & Carrier, 1950). A profundidade a que a circulação da superfície penetra depende da estratificação da coluna de água. Na região equatorial, as correntes se estendem de 30 a 500 m, enquanto na região circumpolar, onde a estratificação é fraca, a circulação da superfície pode se estender até o fundo do mar. Munk & Carrier (1950) consideram também que o vento que sopra através da superfície do mar arrasta a superfície e coloca esta fina camada em movimento. Transporte de Ekman, mudanças na topografia da superfície do mar e a força de Coriolis se combinam para formar correntes geostróficas. Grande parte da circulação na superfície do oceano é impulsionada pelos ventos, tanto é que Recentemente, foi encontrada uma conexão entre a variabilidade do vento equatorial e a formação de vórtices no Canal de Moçambique (Schouten et al., 2003).

**2.2 Ventos predominantes**

O sistema de ventos no Canal de Moçambique está dividido em duas partes. Pela região ao sul de 20°S e ao norte dessa latitude. Na região norte de 20°S, os ventos do norte e do nordeste do sistema de vento monções do Oceano Índico dominam durante o verão austral (Outubro a Fevereiro). Neste período os ventos são em geral mais fracos (Lutjeharms, 2004). Ao longo da costa de Moçambique, esta divisão está estabelecida a 15°S, abaixo da qual a monção não tem influência. Entre 20° e 25°S prevalecem os ventos do sul e do sudeste, ao passo que na parte mais meridional

do canal de Moçambique os ventos de leste dominam ao longo do ano.



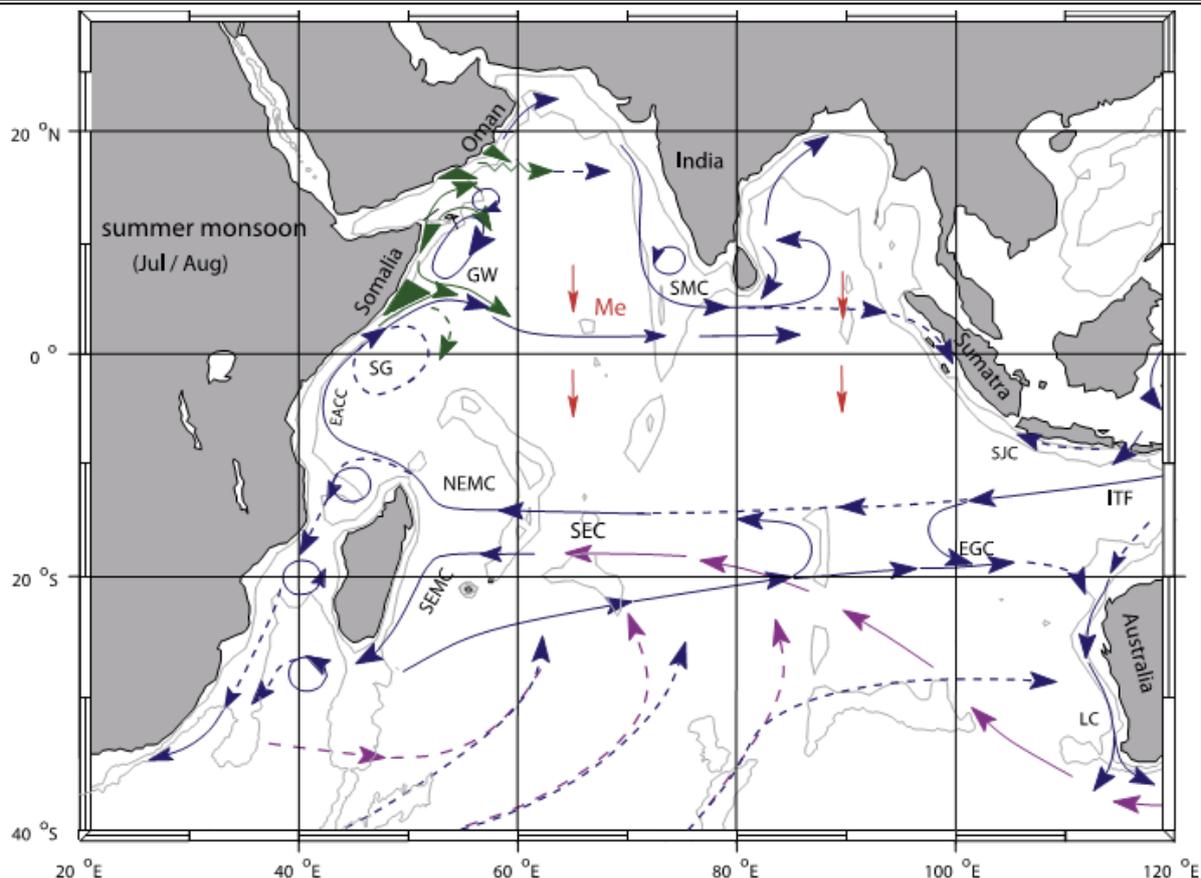
**Figure 1:** Campos de tensão de monção do vento dos Centros Nacionais de Previsão Ambiental (NCEP) de 1990–1998, climatologia (vetores) e profundidades de 20 CC isotérmicos (Z20) da Assimilação Simples de Dados do Oceano (SODA) 1992-2001, cor sombreada) para (a) Janeiro, (b) Junho, (c) Agosto e (d) Novembro (Schott et al, 2009).

Durante o regime de monções de inverno dois tipos de sistemas de pressão atmosférica dominam o Canal de Moçambique : um sistema de alta pressão (anticiclónica) e um sistema de baixa pressão (depressão ciclónica). Segundo (Peven et al, 2014), o sistema anticiclônico é freqüente durante os meses de maio a setembro, quando o sistema de alta pressão é estabelecido próximo a Madagascar entre 25°S e 30°S, e 55°E e 75°E. Neste regime, os ventos são em geral do sudeste (Figura 1), e a Zona de Convergência Intertropical (ITCZ) é empurrada para o norte, para além do equador, entre 20°S e 25°N. Por outro lado, o sistema de baixa pressão é exclusivamente no inverno, quando a depressão ciclônica domina o sistema (Peven et al, 2014). Neste regime, os ventos locais no canal são predominantemente do norte e noroeste, especialmente para o norte da ITCZ . Por outro lado, ao sul da ITCZ os ventos são do sudeste. Neste regime, o ITCZ é empurrado para o sul, por volta dos 17°S, trazendo chuvas severas.

### **2.3 Correntes de larga escala e circulação no canal de Moçambique**

O Oceano Índico possui, como o Atlântico e o Pacífico, duas correntes quentes na região equatorial que se deslocam de este para oeste e têm entre elas uma contracorrente. Tal como ilustra a Figura 2, as águas da corrente equatorial do sul dirigem-se para costa africana, entre o continente e a ilha de Madagáscar, dando origem à corrente quente das Agulhas, que corre para o sul, com uma velocidade de 2 a 5 nós, indo incorporar-se às águas da corrente de deriva (ou corrente de baixa velocidade como também podem ser chamadas) do antártico (Tomczak & Godfrey, 2005). As águas dessa deriva, ao encontrar a costa da Austrália, desviam-se para o norte, completam o circuito do Índico meridional e juntam-se à corrente equatorial do sul. Entre a corrente equatorial do sul, a das Agulhas e a deriva da Antártica, ocorrem numerosos vórtices.

A Corrente Equatorial Sul ocupa a região sul de 8 ° S com velocidades raramente superiores a 0,3 m s<sup>-1</sup>. Entre estes fluxos para oeste correm a contracorrente equatorial com 0,5 - 0,8 m s<sup>-1</sup> no oeste, mas ficando mais fraco no leste. (Tomczak & Godfrey, 2005). Chapman et al., (2003) Citado por Oliveira, (2014) defende que a Corrente das Agulhas se forma da junção da Corrente Leste de Madagascar e da Corrente de Moçambique. Porém, para Lutjeharms, (2006), não existe uma Corrente de Moçambique contínua, mas sim uma cadeia de vórtices, ciclónicos e anti-ciclónicos, sendo os anticiclónicos os mais intensos, são formadas nos estreitos do Canal de Moçambique e que estes vórtices derivam para sul da plataforma continental africana. Lutjeharms, (2006) afirma ainda que a principal fonte da Corrente de Agulha, na verdade, vem da recirculação em um subgênero do Oceano Índico Sudoeste. Após a sua formação, a Corrente das Agulhas flui na direcção sul no canal de Moçambique, ao longo da costa africana, alcança a ponta do continente e então retroflecte, retornando ao Índico e formando a Corrente de Retorno das Agulhas (Oliveira, 2014). O padrão de circulação das águas oceânicas ao longo da costa de Moçambique, de acordo com Saetre & Silva (1982), citado por Hogueane (2007) é caracterizado por três células anticiclónicas, que variam a sua posição ao longo do ano, e por pequenos vórtices ciclónicos entre os grandes anticiclónicos. A variabilidade do fluxo no Canal de Moçambique é muito alta no lado ocidental do canal, mas baixa no lado oriental. Esta variabilidade é evidente em análises de deriva de navios, observações altimétricas e na modelagem da região (Meyer, 2012).



**Figure 2:** Representação esquemática das correntes durante a monção de verão (sudoeste). Corrente Sul Equatorial (SEC), Corrente Equatorial Sul (SECC), Corrente Nordeste e Sudeste de Madagascar (NEMC e SEMC), Corrente Costeira Leste Africana (EACC), Corrente Somali (SC), Giro do Sul (SG) e Grande Giro (GW) e cunhas de ressaca associadas (tons esverdeados), Correntes de Monção do Sudoeste e Nordeste (SMC e NMC), Corrente de Java do Sul (SJC), Corrente de Gyral do Leste (EGC) e Corrente de Leeuwin (LC). O fluxo de retorno subsuperficial do supergiro é mostrado em magenta. Os contornos de profundidade mostrados são para 1000 m e 3000 m (cinza). Representações atualizadas são do SMC01; vetores vermelhos (Me) mostram direções dos transportes meridionais de Ekman. A ITF indica o Fluxo Indonésio. (Schott et al, 2009)

Os dados hidrográficos reunidos no Canal de Moçambique sugeriram em primeira instância, o fluxo contínuo em direção ao Sul da Corrente do Canal de Moçambique. Esta corrente transportou, supostamente, as águas oceânicas salgadas e quentes em direção ao Sul, próximo da costa de Moçambique (Meyer, 2012). A corrente continha principalmente águas equatoriais e subtropicais, as quais, em retorno, forneceram a Corrente das Agulhas ao longo da costa oriental de África do Sul.

Este padrão da circulação geral do Canal de Moçambique foi primeiramente simulada por um modelo numérico de circulação geral, o qual ofereceu um imagem drasticamente diferente do fluxo

(Meyer, 2012). As variações sazonais têm uma magnitude de 4,1 Sv e podem ser explicadas a partir da variabilidade do campo de vento sobre a parte ocidental do Oceano Índico. A variabilidade interanual tem uma magnitude de 8,9 Sv e é grande em comparação com a média. Essa escala de tempo de variabilidade pode estar relacionada à variabilidade do Dipolo do Oceano Índico (IOD), mostrando que ela faz parte da variabilidade do sistema climático oceânico de todo o Oceano Índico (Ridderinkhof et al, 2010).

Ainda a respeito da circulação no canal, Lutjeharms et al (2012) investigaram sobre a natureza descontínua da Corrente de Moçambique com base numa simulação de 25 anos da circulação no Canal de Moçambique, apoiada por algumas observações de ancoragens, de satélites e medidores de corrente, tendo chegado à conclusão de que uma corrente de fronteira ocidental continua ao longo da borda da plataforma moçambicana pode acontecer de vez em quando, mas que Este é um evento que invariavelmente dura apenas um curto período de tempo. Ramanantsoa et al. (2018) falaram sobre a existência de uma nova corrente costeira no sudoeste de Madagascar (SMACC), tendo denotado que esta corrente flui ao longo da costa do sudoeste de Madagáscar em direcção ao sul. A SMACC é uma corrente de superfície quente e salgada relativamente rasa (<300 m) e estreita (<100 km de largura), que é mais intensa no verão e reduzida no inverno. A Corrente Costeira de Sudoeste Madagáscar tem um impacto a jusante no sistema de afloramento no sul de Madagáscar, que é um processo físico que induz a fertilização local, Ramanantsoa et al. (2018) salientaram que a intrusão de águas quentes do Canal de Moçambique poderia reduzir a assinatura da superfície de ressurgência durante o verão.

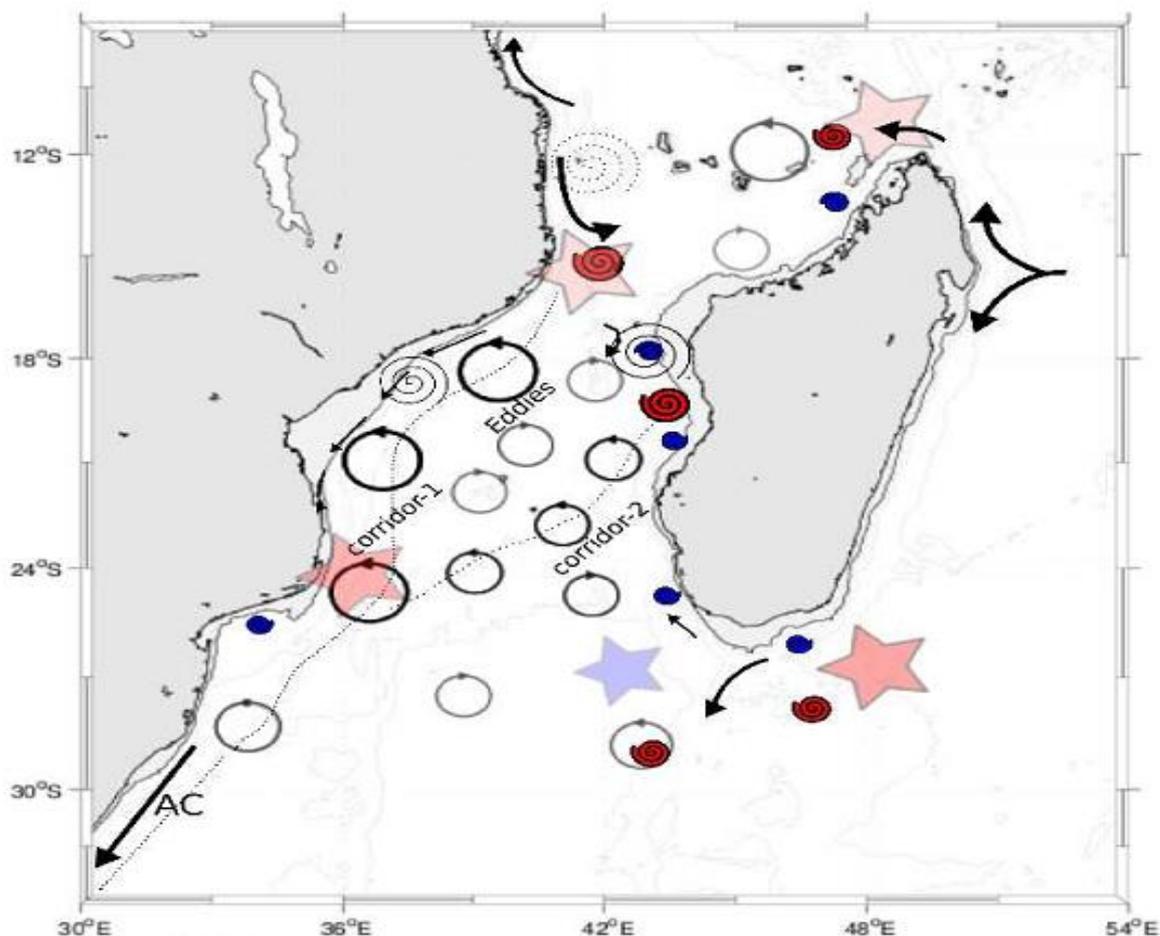
#### **2.4. Vórtices no Canal de Moçambique**

A taxa de formação dos vórtices anticiclónicos no sul do Canal de Moçambique tem sido documentada em cerca de 4 a 5 por ano (Biaستoch e Krauss, 1999, Schouten et al., 2003). Sua trajetória é bastante uniforme e geralmente flui ao longo da plataforma costeira africana (Schouten et al., 2003). Foi demonstrado através de observações do campo que a velocidade média dos vórtices varia de acordo com a área que estão viajando, sendo que entre 12° e 27° S a velocidade estimada é de 6 km/dia, mas cresce rapidamente em torno de 27 a 35°S), enquanto entre 18-21 ° S eles diminuem para cerca de 3-4 km/dia Schouten et al., (2003); Biaستoch e Krauss (1999), associaram a formação dos vórtices anticiclónicos do norte de Moçambique com a instabilidade barotrópica da corrente equatorial sul no norte de Madagáscar. Estes giros são caracterizados por um forte componente barotrópico, que atinge velocidades de 10cm.s<sup>-1</sup> a uma profundidade de cerca de 2000m (Schouten et al., 2003), em contraste com a sua prevalência de 400m modelada por Biaستoch e Krauss (1999).

A atividade de vórtice no Canal de Moçambique é muito complexa. Além disso, há poucos conjuntos de dados oceanográficos adequados para resolver satisfatoriamente a dinâmica de mesoescala da região. Portanto, muitos processos oceanográficos associados à sua origem e dinâmica ainda são desconhecidos. Por exemplo, durante seu estudo, De Ruijter et al. (2002) não encontrou vórtices ciclônicos no Canal de Moçambique. Além disso, uma descrição detalhada das propriedades dos vórtices nesta região ainda está incompleta (Halo, 2012).

Mais recentemente Swart et al., (2010) e Halo et al., (2014), deram uma caracterização detalhada desses giros e seu impacto a jusante na Corrente das Agulhas. Eles disseram que os vórtices ciclônicos pareciam ser mais abundantes e menores em comparação com os anticiclônicos. Embora os vórtices ciclônicos parecessem mais onipresentes do que anticiclônicos, eles foram preferencialmente formados ao longo da parte este do canal. A morfologia dos giros do sudeste de Madagáscar está ligada à dinâmica da Corrente do leste de Madagascar, quando se separa da ilha ao sul da mesma. A Corrente do leste de Madagascar (EMC) é uma corrente de limite ocidental típica associada ao giro subtropical. Ela corre para fora do limite ao atingir a ponta sul de Madagascar (De Ruijter et al., 2004). A partir da observações *in situ* realizadas durante a expedição ACSEX, identificou-se uma estrutura dipolar ao redor da costa sudoeste de Madagascar. Estes vórtices foram associados com a deriva em direção à oeste ou sudoeste, em direção à costa africana (De Ruijter et al., 2004).

Ainda que a Corrente do leste de Madagascar tenha sido assumida como uma corrente de fronteira semelhante à maior Corrente das Agulhas, incluindo o conceito de retro-reflexão também semelhante ao da CA (Quartly et al., 2006), a nova visão da circulação local aponta para uma prevalência de pares de vórtices contra-rotativos ao sul (leste) de Madagascar. Estas estruturas circulares simétricas em que o anticiclônico (vorticidade positiva) está localizado a oeste (na costa), com o ciclônico (vorticidade negativa) no lado do mar da Corrente do leste de Madagascar descendente (De Ruijter et al., 2004).



**Figure 3:** Giros no canal de Moçambique, Círculos fechados no sentido horário representam giros ciclônicos e círculos fechados anti-horário são para giros anticiclônicos. As setas indicam a direção do fluxo. As linhas pontilhadas indicam o corredor de vórtices (trajetórias). Os contornos do plano de fundo indicam a batimetria oceânica. A batimetria sombreada é menor que 200 m (Halo, 2012).

A formação a cor a sudeste de Madagascar, de acordo com Quartly et al., (2006) começa com a geração de anticiclones. Estes são principalmente pelo aumento da vorticidade potencial devido ao efeito da topografia de fundo no planalto de Madagáscar através do efeito beta que induz vorticidade positiva no jato, estimulando a formação de vórtices positivos, enquanto a vorticidade (ciclônica) negativa pensa-se que é originada no lado costeiro do jato que se separa da terra, devido ao atrito contra Madagáscar.

## **2.4 Sensoriamento Remoto**

O uso de satélites em órbita da Terra como plataformas para sensores de visão oceânica oferece uma série de vantagens únicas, como a oportunidade de obter uma ampla cobertura sinóptica em detalhes espaciais com frequências de amostragens regulares para produzir séries temporais por vários anos. A qualidade das imagens sinópticas depende principalmente das características espaciais de amostragem do sensor, que são limitadas pela sensibilidade do detector e pela capacidade de fluxo de dados do sistema de telecomunicações entre o satélite e as estações terrestres. De acordo com Robinson, (2010) outro conjunto de limitações decorre das restrições inevitáveis impostas pelas leis físicas. Por fim, as características de amostragem dos diferentes métodos de oceanografia por satélite dependem da combinação entre sensor e plataforma

O que torna os dados de satélite tão úteis e interessantes para muitos usuários é sua capacidade única de amostragem espacial bidimensional densa que permite que as imagens sejam formadas correspondendo à distribuição de superfície da variável medida. Mas diferentemente das imagens "instantâneas" que obtemos de câmeras, campos de dados de imagens de sensoriamento remoto consistem em milhões de medições científicas individuais construídas ao longo de um período de tempo curto a partir de um padrão de amostragem regular sobre o solo. Tipicamente, apenas um sensor é usado, o que garante consistência de sensibilidade para todas as amostras que compõem o conjunto de dados de imagem. Aqueles instrumentos de sensoriamento remoto que usam uma matriz de detectores devem garantir a intercalibração uniforme de todos os elementos (Robinson, 2010).

A Figura 4 ilustra a geometria de aquisição de imagem do SAR no modo (stripmapping), Como se pode deprender, o comprimento da abertura sintética é uma função da largura do feixe da abertura real. Na direcção do alcance, a largura do feixe, quando este intercepta a terra é uma função do feixe limitado pela difracção na direcção do alcance e da geometria de iluminação. A geometria de iluminação pode ser especificada ou pelo ângulo de visão (ângulo nadir) no radar, ou pelo ângulo de varrimento, que é o ângulo entre o alcance do feixe do radar ao interceptar a terra e o plano tangente a terra nesse ponto. Por vezes o complementar do ângulo de visão, ângulo de depressão, é usado na definição, ou no caso do plano do alvo, o complemento do ângulo de varrimento, chamado de ângulo incidente, é usado como referência.



A altimetria por satélite avançou ao ponto em que os estudos observacionais de dinâmicas de meso escala que têm sido viáveis somente a partir de conjuntos de dados in situ regionais podem agora ser tratados globalmente a partir de múltiplos altímetros de satélite operando simultaneamente, com a ressalva de que somente as características da superfície podem ser observadas por altimetria (Robinson, 1983). Halo, (2012) diz que os altímetros de satélite fornecem informações sobre as variações da altura da superfície do mar, usadas para estudar a variabilidade dos oceanos em mesoescala. Em regiões onde as observações in situ são escassas, como o Canal de Moçambique, os estudos baseiam-se fortemente em tais observações altimétrica.

## **2.5. Determinação das correntes do oceano através de sensores de satélite**

Dohan & Maximenko (2010), no seu estudo relacionado ao monitoramento das correntes oceânicas através dos sensores de satélite dizem que os sensores de satélite atuais tem a capacidade de medir diretamente as correntes oceânicas. Entretanto, dados de sensoriamento remoto são usados para avaliar a velocidade atual com uma diversidade de métodos. O método mais direto usa altimetria por satélite e ventos vetoriais para estimar correntes superficiais.

### **2.5.1 Correntes geostróficas**

O oceano é aproximadamente hidrostático, isto é, a pressão é determinada pela altura e densidade da coluna de água. Dohan & Maximenko (2010) dizem que em escalas de dezenas de quilômetros e maiores, os movimentos horizontais são maiores que os movimentos verticais, nessas escalas, para movimentos aproximadamente estáveis e distantes dos limites, o equilíbrio primário de forças é entre as diferenças de pressão horizontal e a força de Coriolis, que impulsiona correntes que seguem linhas de pressão constante, conhecidas como correntes geostróficas.

Tendo em conta que a pressão está relacionada com a altura da superfície do mar (SSH), as correntes geostróficas podem ser calculadas usando gradientes horizontais em SSH. Maximenko (2009), estabelece que para calcular o SSH, várias medições e cálculos são necessários, juntamente com dados de altimetria, incluindo determinação precisa da órbita e modelos de maré altamente precisos. Dohan & Maximenko (2010) acrescentam também que para além disso, como os altímetros satélites medem o SSH em relação ao geóide (a superfície do mar no estado de descanso), é necessário um conhecimento preciso do geóide.

De acordo com Robinson (2010) para determinar uma estimativa da parte variável do tempo das correntes geostróficas de superfície oceânica, são usadas as equações geostróficas:

$$fv = g \frac{\partial h_{SSHA}}{\partial x}$$
$$fu = -g \frac{\partial h_{SSHA}}{\partial y}$$

Onde  $u$  e  $v$  são os componentes leste e norte da velocidade geostrófica;  $f$  é o Parâmetro de Coriolis;  $g$  é a aceleração devido à gravidade; e  $x$  e  $y$  são distâncias na direção leste e norte, respectivamente.

### 2.5.2 Correntes de Ekman

No oceano aberto, a segunda maior contribuição para as correntes de superfície oceânica após a geostrofia é a resposta Ekman do oceano ao estresse do vento (Rio et al. 2014). Movimentos geostróficos dominam o sinal de mesoescala em muitas regiões, mas nem todos os movimentos são geostróficos. Os ventos exercem uma pressão sobre a superfície do oceano, transferindo o momento entre a atmosfera e o oceano, impulsionando as correntes superficiais. Segundo Dohan & Maximenko (2010) o estresse do vento pode ser estimado a partir de ventos usando relações empíricas. As correntes de Ekman podem então ser derivadas de medições de vento de vetor (ventos com direção e velocidade).

As correntes de Ekman resultam do equilíbrio entre o atrito (induzido pela tensão do vento) e as forças de Coriolis. A tensão do vento é frequentemente parametrizada em função do quadrado da velocidade do vento e de um coeficiente de arrasto. Sob as suposições de um fluxo horizontal constante e homogêneo em uma Terra giratória e em um oceano infinitamente profundo, e considerando uma viscosidade vertical constante, a corrente teórica de Ekman na superfície flui a  $45^\circ$  para a direita (esquerda) da direção do vento no hemisfério norte (sul). Abaixo da superfície, a velocidade da corrente Ekman diminui com a profundidade, enquanto a direção muda no sentido horário (anti-horário) no hemisfério norte (sul). Ambos os efeitos resultam na chamada espiral Ekman.

De acordo com Rio et al (2014) uma série de estudos tem focado na melhor compreensão e modelagem dessas correntes como por exemplo Ralph e Niiler, (1999); Lagerloef et al., (1999); Elipot e Gille, (2009); Rio et al., (2003, 2011, 2012), no mesmo estudo Rio et al (2014) demonstrou um modelo empírico de Ekman calculado para duas profundidades específicas (superfície e 15 m) com uma dependência de parâmetro de latitude, longitude e mês.

Na profundidade  $z$ , a resposta Ekman do oceano  $\vec{u}_{ek}(z)$  a tensão do vento  $\vec{\tau}$  é escrita usando numa formulação de dois parâmetros ( $\beta(z)$ ,  $\theta(z)$ ):

$$\vec{u}_{ek}(z) = \beta(z) \vec{\tau} e^{i\theta(z)}$$

Estimam-se  $\beta(z)$  e  $\theta(z)$  em  $z = 0$  e  $z = 15$  m aplicando um ajuste de mínimos quadrados entre as estimativas de  $\vec{u}_{ek}(z)$  e valores simultâneos da tensão do vento  $\vec{\tau}$ .

Mais detalhes sobre a estimação das correntes de Ekman tanto na superfície  $\vec{u}_{ek}(z = 0)$  e a 15 metros de profundidade  $\vec{u}_{ek}(z = 15\text{m})$  podem ser encontrados em Rio et al (2014)

### 2.5.3 Corrente total da superfície

A primeira versão dos produtos globais da GlobCurrent são mapas globais (exceto o Mar Mediterrâneo) das correntes de maré, da corrente de Stokes, das correntes geostóricas e das correntes componentes Ekman em duas profundidades distintas,  $z = 0$  e  $z = 15$  m. Uma corrente combinada também caracterizada como corrente total de superfície é fornecida para essas duas profundidades. Em cada profundidade, é calculado como a soma das correntes geostóricas e de Ekman tal como ilustram as equações abaixo:

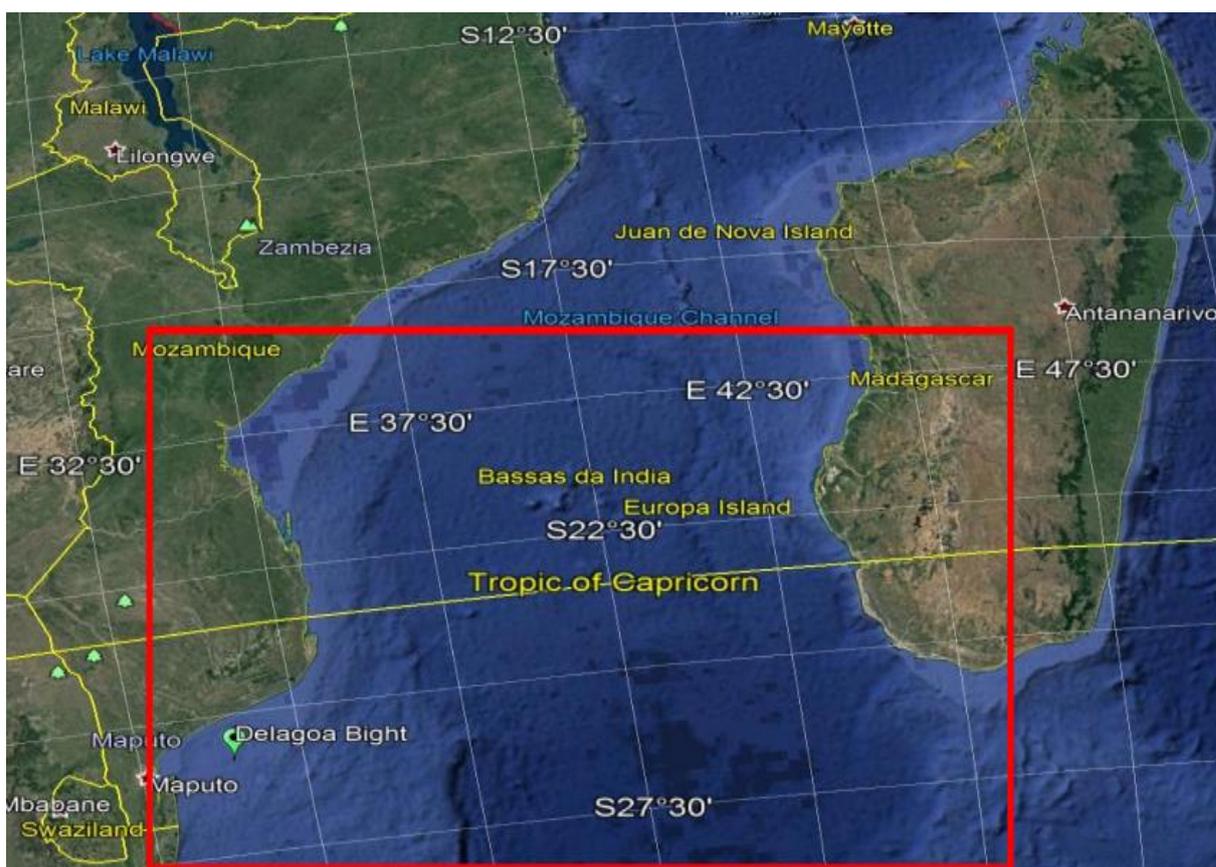
$$\vec{u}_{\text{Combinada}}(z=0) = \vec{u}_{\text{geost}} + \vec{u}_{ek}(z = 0)$$

e

$$\vec{u}_{\text{Combinada}}(z=15) = \vec{u}_{\text{geost}} + \vec{u}_{ek}(z = 15)$$

**Capítulo III: Metodologia****3.1 Descrição geral da área de estudo**

O presente estudo será realizado na região sul do canal de Moçambique (Figura 5), entre as latitudes 18° e 30° S e as longitudes 30° e 48° E. O canal fica na parte mais ocidental do Oceano Índico Sudoeste, e forma a extensão norte do sistema da Corrente das Agulhas, maior. o canal é limitado a norte pela linha zonal que se estende desde o Estuário do Rio Rovuma, em Moçambique, a cerca de 10°.28'S, 40°.26'E, até Cape-Amber, ponta norte de Madagáscar (11°.57'S, 49°.17' E). Ao sul, é delimitada pela linha que se estende desde a Ponta de Ouro (26°.53'S, 32°.56'E), ao sul de Maputo, Moçambique, até o Cabo Saint-Marie, a ponta sul de Madagascar (Halo, 2014).



**Figure 5:** Região sul do Canal de Moçambique e a região oceânica em torno de Madagáscar.

O Canal de Moçambique faz parte do Grande sistema da Corrente de Agulhas, que se estende do norte de Madagáscar até a extremidade sudoeste da África do Sul (Lutjeharms, 2006). O clima da região é tropical, com duas estações principais: Húmida (outubro-março) e seca (abril-setembro). As chuvas são mais abundantes em partes do norte do canal, em torno de Comores, e Nosy-Bé, no noroeste de Madagáscar.

### 3.2 Descrição de dados

São utilizados dados de satélites no formato NetCDF (Network Common Data Form) produzidos pela Ssalto/Duacs e distribuídos pela AVISO, com o apoio da Cnes (<http://www.aviso.oceanobs.com/duacs/>). Os dados foram processados e unificados pelo Sistema de Combinação de Altimetro e Unificação de Dados (DUASC), estes produtos foram armazenados usando uma interface para acesso a dados orientados por matriz e uma biblioteca que fornece uma implementação da interface.

A aquisição de dados foi a partir do website GlobCurrentm ([www.globcurrent.org](http://www.globcurrent.org)), o repositório de dados inclui a corrente geostrófica da superfície, a corrente Ekman na superfície e a 15 m de profundidade, e as correntes geostróficas e Ekman combinadas. Esses dados são distribuídos numa grade com resolução espacial de 0.25 graus e resolução temporal de 1 dia.

### 3.3 Processamento de dados

Para o presente estudo, os dados foram processados num computador de marca Lenovo Intel(R) celerum com a placa gráfica de 1.80 GHz e 4GB de memória RAM o qual foi instalado o Windows 7 ultimate de 64-bit. Para analisar e processar dados geoespaciais bidimensionais, como os produtos de dados GlobCurrent foi usada a linguagem de programação Python.

O processamento consistiu no cálculo da magnitude e a direcção das correntes geostróficas e Ekman combinadas e a produção de mapas contendo médias anuais, médias sazonais, médias mensais e médias diárias.

Os dados são fornecidos como meios diários, com dois componentes Norte (V) e Leste (U). Assim, para calcular uma média de longo termo, simplesmente calculamos a média de cada componente exedente, 30/31 dias para um mês típico ou cerca de 92 dias para uma estação. Assim calculou-se a velocidade e a direcção dos dois componentes U e V usando:

$$\textit{Velocidade atual} = \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$\textit{Direção atual} = \arctan\left(\frac{u}{v}\right)$$

Em todos os casos, utilizou-se a fórmula de média aritmética:

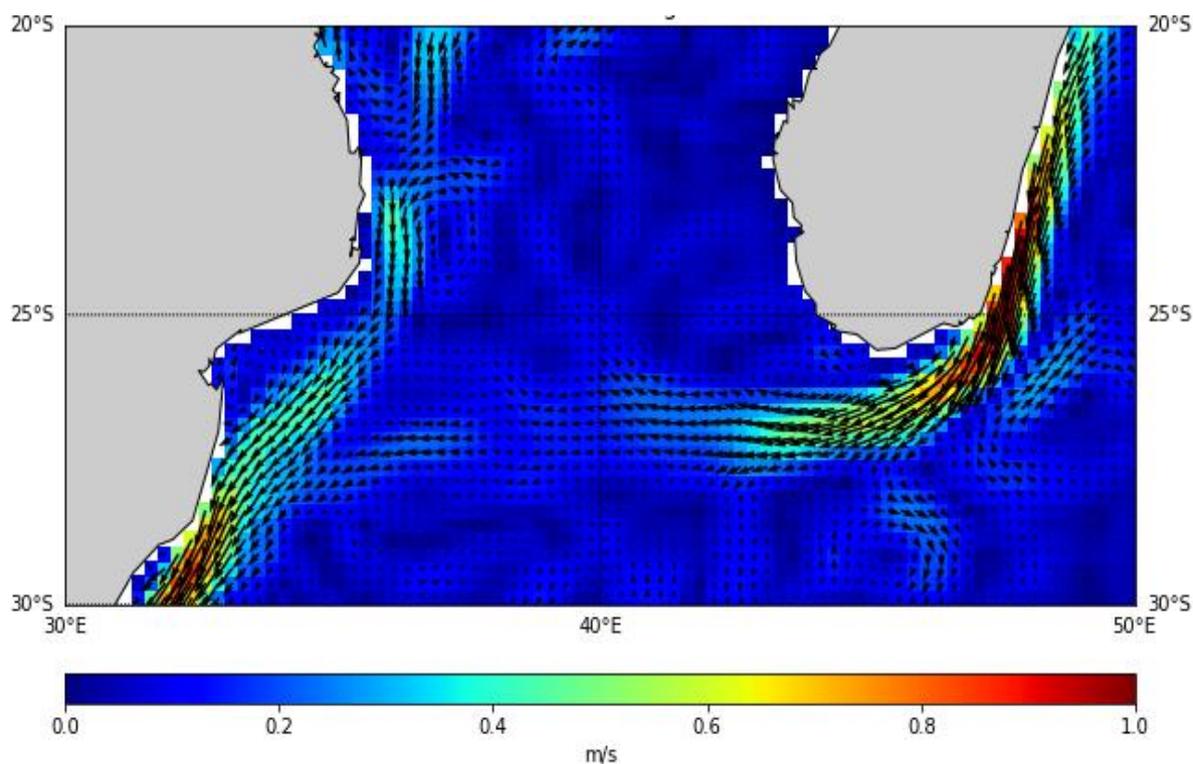
$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Mais ainda, para determinar o número de giros ciclónicos e anticiclónicos que podem ser observados mensalmente na região sul do canal foi feita uma contagem nos mapas de medias mensais de corrente e em seguida calculada a média aritmética para cada mês.

**Capítulo IV: Resultados e Discussão****4.1. Resultados****4.1.1. Média de longo termo das correntes na região sul do Canal de Moçambique**

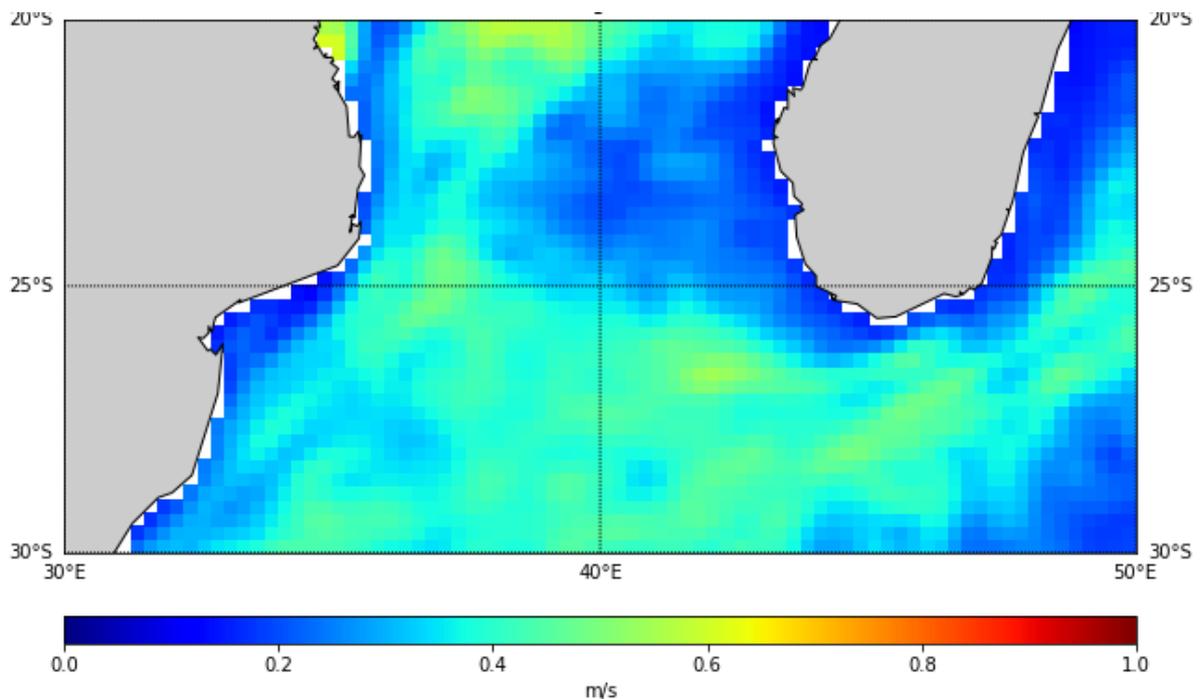
A figura 5 apresenta o mapa da distribuição da corrente média de longo termo calculada para dados do período entre os anos 2002 a 2016, que foi produzido para identificar as regiões mais energéticas na região sul de canal de Moçambique. Como pode ser visto, existe uma clara distinção entre as zonas mais energéticas e menos energéticas. Nesta distribuição da média de longo termo, os vectores poderiam indicar a existência de uma corrente contínua que se dirige a sul ao longo da plataforma Mocambicana.

Nota-se claramente uma corrente de grande magnitude no sudeste de Madagascar, a Corrente Sudeste de Madagascar, que flui para o sul. Esta corrente surge através da Corrente Sul Equatorial que sofre bifurcação na costa leste de Madagascar, perto de 17°S, tal ilustrada no esquema de circulação de grande escala na Figura 2 do presente estudo, ela dirige-se a região sul do canal e exerce uma forte influência no padrão descontínuo da circulação do canal e contribui para a ocorrência de giros anticiclónicos quando se encontra com as correntes que vem do norte do canal.



**Figure 6:** Mapa da média de longo termo correntes entre os anos 2002 a 2016. Os vectores indicam a direcção predominante do fluxo e a cor de fundo indica sua velocidade expressa em [m/s].

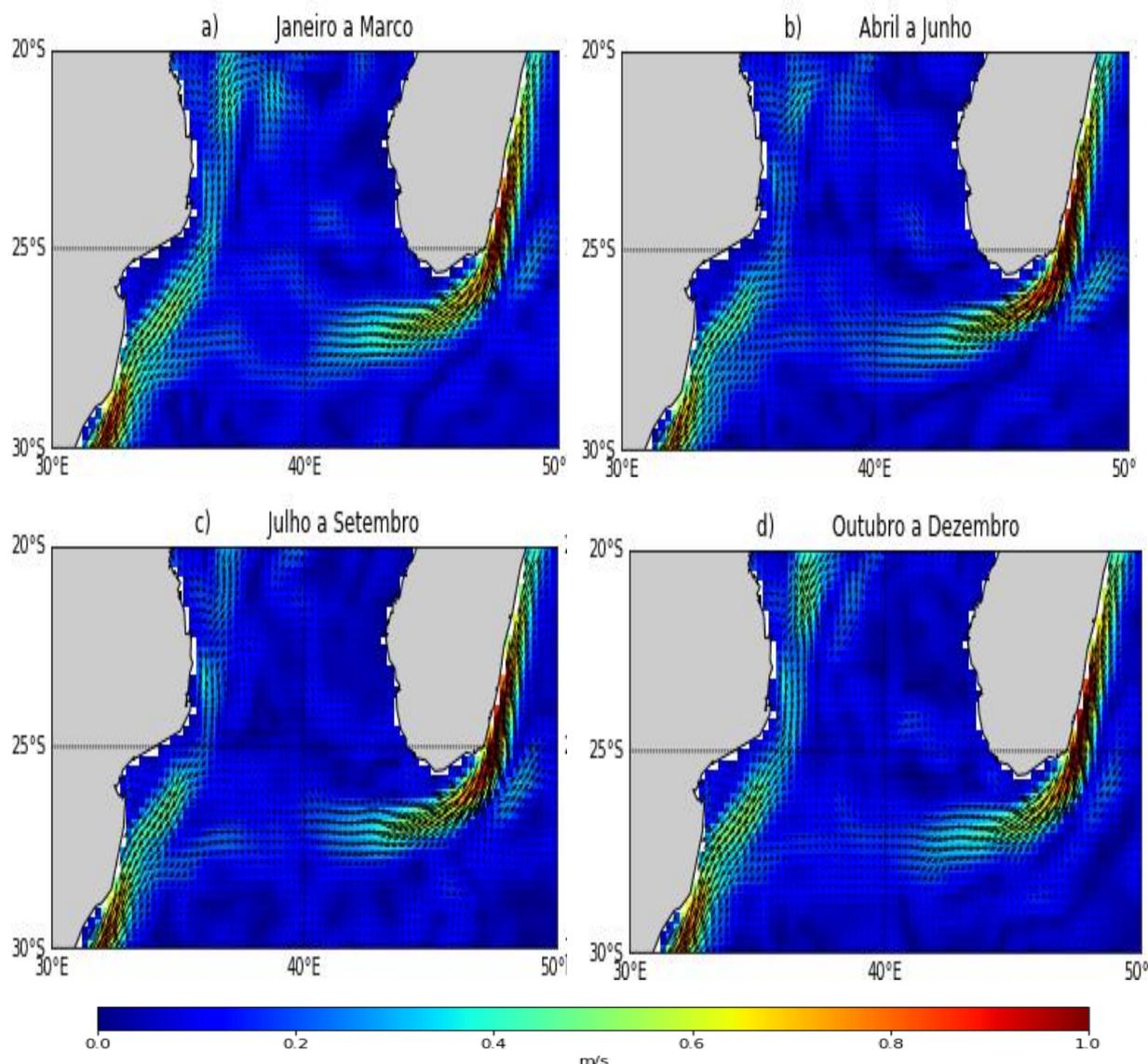
Neste domínio do Canal de Moçambique especificamente em (22.5°S - 25°S, 35°E - 39°E), identificou-se como um local que favorece a formação de um giro anticiclónico. Na sub-região sul do canal (24.1°S - 29.5°S, 32°E - 46°E), verifica-se também geração ciclônica de vórtices na fronteira leste do canal, adjacente à ponta sul de Madagascar.



**Figure 7:** Mapa do desvio padrão da média anual das correntes de 2002 a 2016

O mapa da Figura 6 apresenta o desvio padrão das correntes de superfície na região sul do Canal de Moçambique. Constata-se claramente que a região é caracterizada por grande variabilidade, principalmente nos percursos tradicionais dos vórtices anticiclónicos emanados da região de Madagáscar e do norte do Canal de Moçambique. Essa variabilidade associa-se com a passagem dos próprios anticiclones e com a dinâmica desta região. Os anticiclones de ambas as origens, fazem uma confluência ao largo da Baía de Lagoa a cerca de 26°S, acentuando os níveis de variabilidade nessa região.

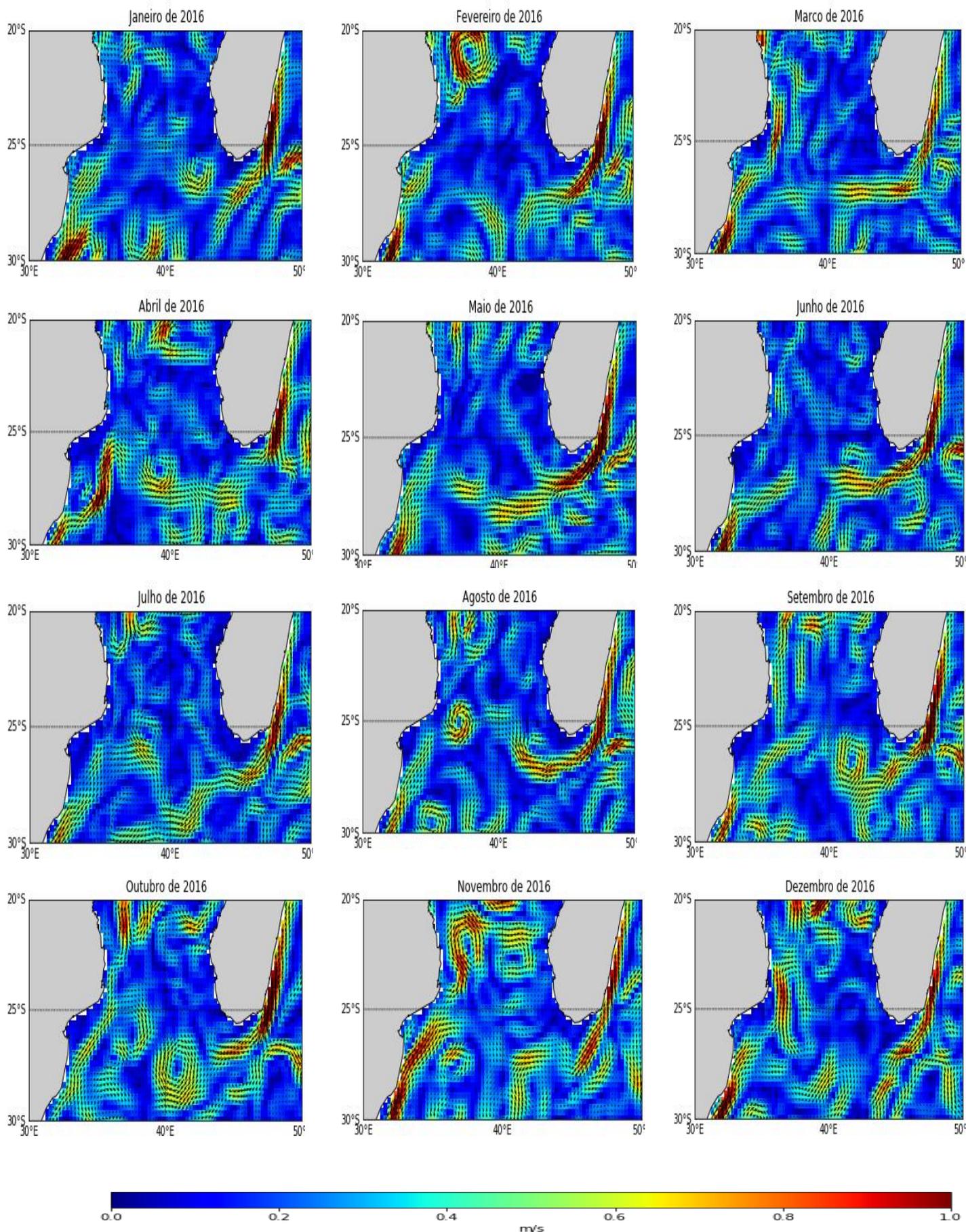
4.1.2. Média de longo termo da variabilidade sazonal das correntes na região sul Canal de Moçambique



**Figure 8:** Mapas das Médias da Variabilidade sazonal das correntes entre os anos 2002 e 2016.

A figura 8 apresenta as médias de longo termo (14 anos) da corrente superficial agrupada em períodos de três meses. É possível ver que o fluxo superficial mostra que as correntes próximas a costa de Moçambique seguem em direcção ao sul com velocidades médias relativamente altas, variando entre 0.4 a 1.0m/s, na região de mar aberto as velocidades são relativamente baixas variando de 0.0 a 0.3m/s. Observa-se um giro nesse domínio do canal próximo a latitude 25°S e longitude 36°E nos períodos sazonais de Julho a Setembro (Figura 8C) e o mesmo observa-se mais a norte do domínio com ocorrência mais significativa nos períodos de Outubro a Dezembro (Figura 8D).

## Análise climatológica das correntes de superfície na região sul do Canal de Moçambique

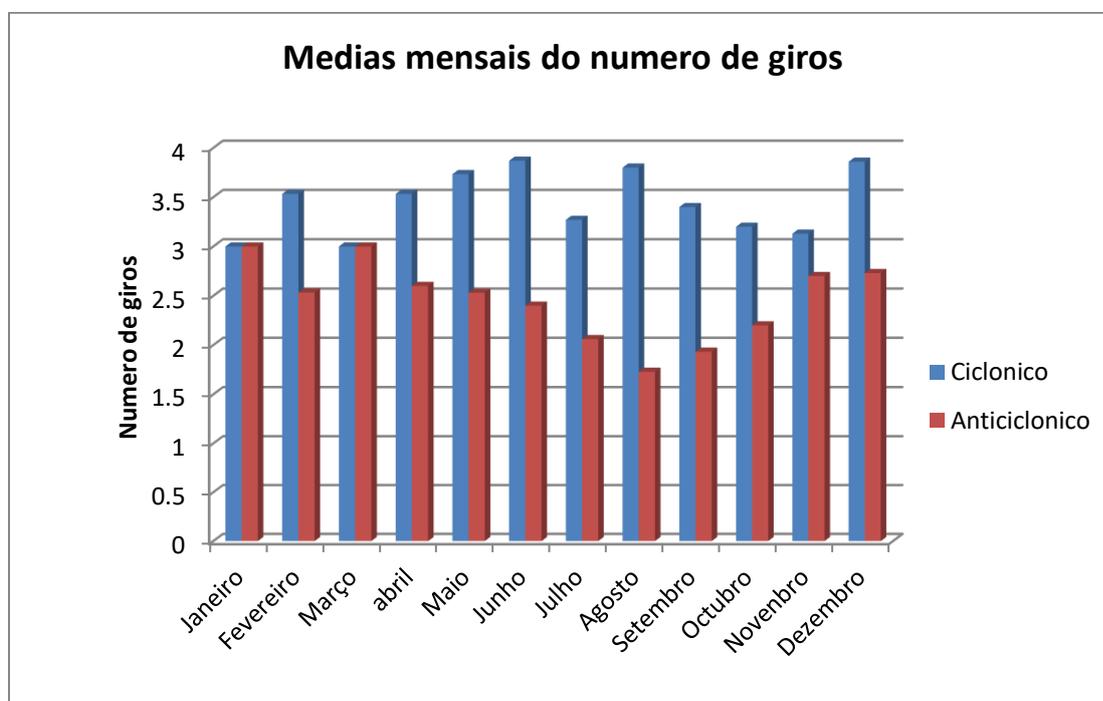


**Figure 9:** Mapas de médias mensais da Variabilidade das correntes no ano de 2016

Em relação a figura 9, apresenta os mapas de médias mensais da variabilidade das correntes no ano de 2016, verifica-se que a ocorrência dos giros nessa região em estudo é aleatória, giros que assumem direções não permanentes são observados mensalmente. As velocidades na região de mar aberto nem sempre são baixas tal como ilustram os mapas na Figura 5 e 7, nota-se que em alguns pontos a velocidade do fluxo pode atingir até 1m/s. Também mostra uma série de giros ciclônicos e anticiclônicos na sub-região sul do canal. Os giros anticiclônicos exibem uma propagação muito regular para o sul, seguindo perto da costa de Moçambique, isto para os grandes anticiclônicos. Por outro lado, os giros ciclônicos parecem se propagar principalmente na direção sudoeste.

### 4.1.3 Censo estatístico dos de giros na região sul do canal

O gráfico que se segue, Figura 10, mostra o número de giros que passam pelo Canal de Moçambique, contados nos mapas das médias mensais, o que permitiu aferir a sazonalidade de sua ocorrência ao longo de 14 anos (2002 a 2016).



**Figure 10:** Médias do Numero de giros observados mensalmente na região sul do canal de Moçambique em função do tempo

De acordo com o gráfico entende-se que em média 3 a 4 giros ciclônicos, e 2 a 3 anticiclônicos totalizando uma media de 7 giros podem ser observados nessa região do Canal. O menor número de anticiclones é observado no mês de Agosto enquanto o maior é observado nos meses de Janeiro e Março. O maior número de ciclônicos é observado nos meses de Julho Agosto e Dezembro e os menores em Janeiro e Março.

## 4.2 Discussão

De acordo com (Ridderinkhof et al., 2010) a variabilidade observada no transporte pode estar relacionada a fenômenos físicos de larga escala, na figura 7 foi observada uma corrente contínua que se dirige a sul ao longo da plataforma Moçambicana, essa mesma corrente foi também identificado por (Lutjeharms et al, 2012) tendo concluído que ela pode ocorrer de vez em quando. Quanto a geração ciclônica na fronteira leste do canal, adjacente à ponta sul de Madagascar, também está de acordo com outros estudos de De Ruijter et al., (2006), que sugerem a formação de vortices ciclônicos por fricção na borda costeira do Sudeste de Madagáscar Corrente com a plataforma continental na ponta sul de Madagáscar.

Em relação a variabilidade sazonal (Figura 7), observa-se a presença repetida de um giro ciclônico próximo a costa de Maputo nos quatro períodos sazonais, para além do mesmo também ser observado na variabilidade anual ilustrada na figura 5, a presença deste giro ciclônico vai de acordo com o Diagrama esquemático da dinâmica oceânica no Sistema da Corrente de Agulhas ilustrado em Lutjeharms, (2006), que defende que estes giros são consequência das mudanças de direção das correntes na costa. Neste domínio não é possível identificar a existência de uma nova corrente costeira no sudoeste de Madagáscar (SMACC), que flui ao longo da costa do sudoeste de Madagáscar em direção ao sul tal como identificado em (Ramanantsoa et al., 2018), entende-se que isto deve-se a baixa resolução de dados usados no presente comparativamente ao estudo de (Ramanantsoa et al., 2018) que se baseou em medições coletadas durante quatro anos consecutivos de cruzeiros de pesquisa entre 2007 e 2010 no Canal de Moçambique. Os satélites exercem medições com grande resolução espacial e temporal mas tem limitações como precisão, integração de profundidade.

Há pouca dúvida de que a variedade de técnicas aplicadas no Canal de Moçambique destacou detalhes do complexo e altamente variável padrão de circulação (Hancke, 2014). Em quase todos os casos, a circulação observada tem sido o resultado direto do alto nível de turbulência em mesoescala ao longo desta região e, conseqüentemente, a resposta geostrófica à topografia da superfície do mar. A altimetria por satélite tem sido uma ferramenta chave nesses estudos (Schouten et al., 2003), assim como os medidores de corrente ancorados de longo prazo para estabelecer volumes de transporte e regimes de vazão nas estreitas do Canal (Ridderinkhof e de Ruijter, 2003; Ridderinkhof et al., 2010).

Embora que o esquema global de circulação de larga escala ilustrado na figura 2 do presente

estudo não mostre a presença de giros ciclônicos, a variabilidade anual e sazonal ilustrada no presente demonstra, para além do giro ciclónico que ocorre na costa de Maputo um outro giro ciclónico no sudoeste de Madagáscar próximo a longitude 40°E aparentemente com maior diâmetro em relação ao da costa de Maputo, este giro é consequência do cruzamento do fluxo em direção ao sul no canal de Moçambique com a corrente leste de Madagáscar, em (Lutjeharms, 2006) este giro não é visível, mas no estudo recente de (Halo, 2012) verifica-se o mesmo giro um pouco deslocado.

Em um estudo realizado para demonstrar uma conexão entre a Corrente Equatorial Sul norte de Madagáscar e Eddies do Canal de Moçambique Backeberg & Reason, (2010) Combinando a saída de um modelo de alta resolução e as correntes geostróficas derivadas de dados de satélites, tendo mostrado que a formação de giros de meso escala no Canal de Moçambique está ligada à variabilidade no transporte da Corrente Equatorial Sul.

Eles parecem ser formados fora do canal (por exemplo, a leste da cordilheira de Madagascar e no limite sul, e na baía de Delagoa, perto de Maputo, no sudeste da costa de Moçambique provavelmente pelas instabilidades na Corrente de Retorno das Agulhas (Halo, 2012). Essas instabilidades de fluxo migram para nossa região de estudo. (Morrow et al. 2004), mostraram que alguns giros anticiclónicos gerados no extremo oriente relativamente à Austrália, propagam-se para oeste, quase à latitude 25°S, e acabam por entrar no sul do Canal de Moçambique. Uma fração de vórtices originados tanto do norte quanto do centro do canal passam pela sub-região sul durante sua migração para o sul. No sul do canal, alguns giros também são gerados localmente e alguns têm suas origens fora do canal (Morrow et al. 2004, Quartly et al. 2006). As contribuições de todas estas fontes podem explicar uma maior abundância de giros no sul do Canal de Moçambique.

**Capítulo V: Conclusões**

A análise de dados de curto prazo indicou claramente a ausência de uma corrente contínua ao longo da costa moçambicana e precisamente acima dos 22.5°S, mas à mesma escala de tempo, uma corrente limite é consistente ao longo da costa de Madagáscar. Em escalas de tempo mais longas, as costas moçambicana e de Madagáscar exibem correntes consistentes. Portanto, concluímos que esse padrão reflete a força dos fluxos de direção ao longo da costa africana, enquanto abaixo dessa latitude o padrão mostra o início da corrente de Agulhas.

Análises do desvio padrão das velocidades superficiais mostraram que não há muita variabilidade ao longo de todo o domínio, exceto ao longo da costa africana e Madagascar, devido ao impacto dos vórtices ao longo do primeiro e da corrente de contorno sobre a letra. As vias conhecidas dos vórtices anticíclicos do norte e do leste destacam a trajetória dessas características e a região que cruza a Delagoa Bight. A variabilidade das velocidades e direções da superfície nos permitiu inferir que a circulação no Delagoa mostra rápidas mudanças na velocidade e na direção, provavelmente em consistência da complexidade da circulação local ou devido à variabilidade associada à prevalência de fortes correntes de maré ao longo da costa. Portanto, os dados de satélite de longo prazo são cruciais para acessar a variabilidade ao longo da costa. Mais ao sul do Bight, os desvios de velocidade relativamente fracos indicam a importância da corrente de contorno sobre os deslocamentos das marés.

Capítulo VI: Referências bibliográficas

- Alexandre, J. A. A. (2008). As correntes oceânicas. Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra. Portugal
- Backeberg, B. C., and C. J. C. Reason (2010), A connection between the South Equatorial Current north of Madagascar and Mozambique Channel Eddies, *Geophys. Res. Lett.*,37, L04604, doi:10.1029/2009GL041950
- Biastoch, A., Krauss, W., (1999). :The role of mesoscale eddies in the source regions of the Agulhas Current. *Journ. Phys. Oceanogr* 29, 2303–2317
- Bryden, h. L., Beal, I. M., Duncan, I. M., (2005). Structure and transport of the agulhas current and its temporal variability, *journal of oceanography*, v. 61, pp. 479492.
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., Samelson, R. M., (2011). :Global observations of nonlinear mesoscale eddies. *Prog. Oceanog.* 91, 167–216
- De Ruijter, W. P. M., Brummer, G. J. A., Drijfhout, S. S., Lutjeharms, J. R. E., Peters, F., Ridderinkhof, H., van Aken, H., van LeeuwenSchouten, P. J., (2006), Observations of the Inter-Ocean Exchange Around South Africa. *Eos Trans. AGU* 87, 97–101.
- Dutra, L. V., Mura. J. C., Freitas, C. C., Santos J. R., & Elmiro, M. T., (2003), Processamento de imagens de Radar de abertura sintentica. INPE, São Paulo 103 • P. 55-66
- Halo, I. (2012), The Mozambique Channel eddies: Characteristics and mechanisms of formation, Ph.D. thesis, Univ. of Cape Town, Cape Town, South Africa.
- Halo, I., B. Backeberg, P. Penven, I. Ansorge, C. Reason, and J. Ullgren (2014), Eddy properties in the Mozambique Channel: A comparison between observations and two numerical ocean circulation models, *Deep Sea Res., Part II*, doi:10.1016/j.dsr2.2013.10.015, in press.
- Hancke L, Roberts MJ, Ternon JF., (2014). Surface drifter trajectories highlight flow pathways in the Mozambique Channel. *Deep-Sea Res Pt II.* 100:27–37
- Hoguane, A. M. (2007). Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1), 69–82. <https://doi.org/10.5894/rgci11>
- Hoguane, A. M. (2012). Influence of rainfall on tropical coastal artisanal fisheries – a case study of Northern Mozambique \*, *12(4)*, 477–482. <https://doi.org/10.5894/rgci338>
- Lutjeharms, J. R. E, & Town, C. (2006). The coastal oceans of south-eastern africa, *14*, 783–834.
- Lutjeharms J.R.E, Biastoc A, Van der Werf PM, Ridderinkhof H, De Ruijter W.P.M. (2012) On the discontinuous nature of the Mozambique Current. *S Afr J Sei* ;108 (1/2 ), Art. #428, 5 pages, [http:// dx.doi.org/10.4102/sajs. v 10 8 il/2 .428](http://dx.doi.org/10.4102/sajs.v108il2.428)
- Maximenko, N., P. Niiler, M.-H. Rio, O. Melnichenko, L. Centurioni, D. Chambers, V. Zlotnicki,

- and B. Galperin (2009), Mean dynamic topography of the ocean derived from satellite and drifting buoy data using three different techniques, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 26, 1910-1919, doi:10.1175/2009JTECHO672.1.
- Meyer, A. A. (2012). Respondendo as mudanças climáticas em Moçambique. Tema 8: Mudanças climáticas oceânicas. Stellenbosch: CSIR.
- Morrow, R., Birol, F., Griffin, D., Sudre, J., (2004) Divergent pathways of cyclonic and anticyclonic eddies. *Geophys. Res. Lett* 31, L24311
- Munk, W.H. & Carrier, G.G. (1950) The wind-driven circulation in the ocean basins of various shapes, *Tellus*, 2, 158-167.
- Oliveira, B. F. (2014) Caracterização dos anéis das agulhas em um modelo numérico de circulação oceânica. RJ Brasil. Rio de Janeiro
- Quartly, G. D., Buck, J. J. H., Srokosz, M. A., Coward, A. C., (2006) Eddies around Madagascar - The Retroflection re-considered. *Journ. Mar. Syst* 63, 115–129, doi:10.1016/j.jmarsys.2006.06.001
- Rahmstorf, S. (2006). Thermohaline Ocean Circulation. In: *Encyclopedia of Quaternary Sciences*, Edited by S. A. Elias. Elsevier, Amsterdam.
- Ramanantsoa, J. D., Penven, P., Krug, M., Gula, J., & Rouault, M. (2018). Uncovering a new current: The Southwest Madagascar Coastal Current. *Geophysical Research Letters*, 45. <https://doi.org/10.1002/2017GL075900>
- Ridderinkhof, H. & de Ruijter W. P. M. (2003) Moored current observations in the Mozambique Channel. *Deep-Sea Res. II* 50, 1933–1955.
- Ridderinkhof, H., Van der Werf, P. M., Ullgren, J. E., van Aken, H. M., van Leeuwen, P. J., and W. P. M. de Ruijter (2010) Seasonal and interannual variability in the Mozambique Channel from moored current observations, *J. Geophys. Res.*, 115, C06010, doi:10.1029/2009JC005619.
- Rio, M.-H., S. Mulet, and N. Picot (2014), Beyond GOCE for the ocean circulation estimate: Synergetic use of altimetry, gravimetry, and in situ data provides new insight into geostrophic and Ekman currents, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061773.
- Robinson, I. S. (2004), *Measuring the Ocean from Space: The Principles and Methods of Satellite Oceanography* (669 pp.). Springer/Praxis, Heidelberg, Germany/Chichester, U.K.
- Robinson, I. S. (2010), *Discovering the Ocean from Space: The Unique Applications of Satellite Oceanography* (669 pp.). Springer/Praxis, Heidelberg, Germany/Chichester, U.K.
- Silva, J.S. et al. (2009). Variações Temporais de Níveis de Água em Zonas Úmidas da Bacia Amazônica Estimadas por Satélite Altimétrico. In: XIV Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. Anais. Rio de Janeiro,

Schott, F. A., Xie, S.-P., Jr, J. P. M., 2009. Indian Ocean Circulation and Climate Variability. *Rev. Geophys.* 47, 1–46

Schouten, M.W., De Ruijter, W.P.M., Van Leeuwen, P.J., Ridderinkhof, H., (2003). Eddies and variability in the Mozambique Channel. Elsevier Science Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/S0967-0645(03)00042-0

Stammer, D., Wunsch, R., Giering, C., Eckert, P., Heimbach, J., Marotzke, A., Adcroft, C., Hill, and J. Marshall (2003), Volume, heat, and freshwater transports of the global ocean circulation 1993–2000, estimated from a general circulation model constrained by World Ocean Circulation Experiment (WOCE) data, *J. Geophys. Res.*, 108(C1), 3007, doi:10.1029/2001JC001115.

Swart, N. C., Lutjeharms, J. R. E., Ridderinkhof, H., and de Ruijter, W. P. M. (2010), Observed characteristics of Mozambique Channel eddies, *J. Geophys. Res.*, 115, C09006, doi:10.1029/2009JC005875.

## Anexos

### 1. Descrição do formato NETCDF

O NetCDF (Network Common Data Form) é uma interface para acesso a dados orientados por matriz e uma biblioteca que fornece uma implementação da interface. A biblioteca NetCDF também define um formato independente de máquina para representar dados científicos. Juntos, a interface, a biblioteca e o formato suportam a criação, o acesso e o compartilhamento de dados científicos. O software NetCDF foi desenvolvido no Unidata Program Center em Boulder, Colorado. As bibliotecas NetCDF definem um formato independente de máquina para representar dados científicos. Os ficheiros NetCDF podem ser abertos em qualquer sistema operativo desde Linux, AIX, HPUX, IRIX, IRIX64, MacOS X, Solaris e Windows. Uma ampla gama de softwares e linguagem de programação está disponível para escrever ou ler arquivos NetCDF / CF. Softwares como Fortran, Java, Ada, IDL, MATLAB, Objective-C, Perl, Python, R, Ruby, e Tcl/Tk.