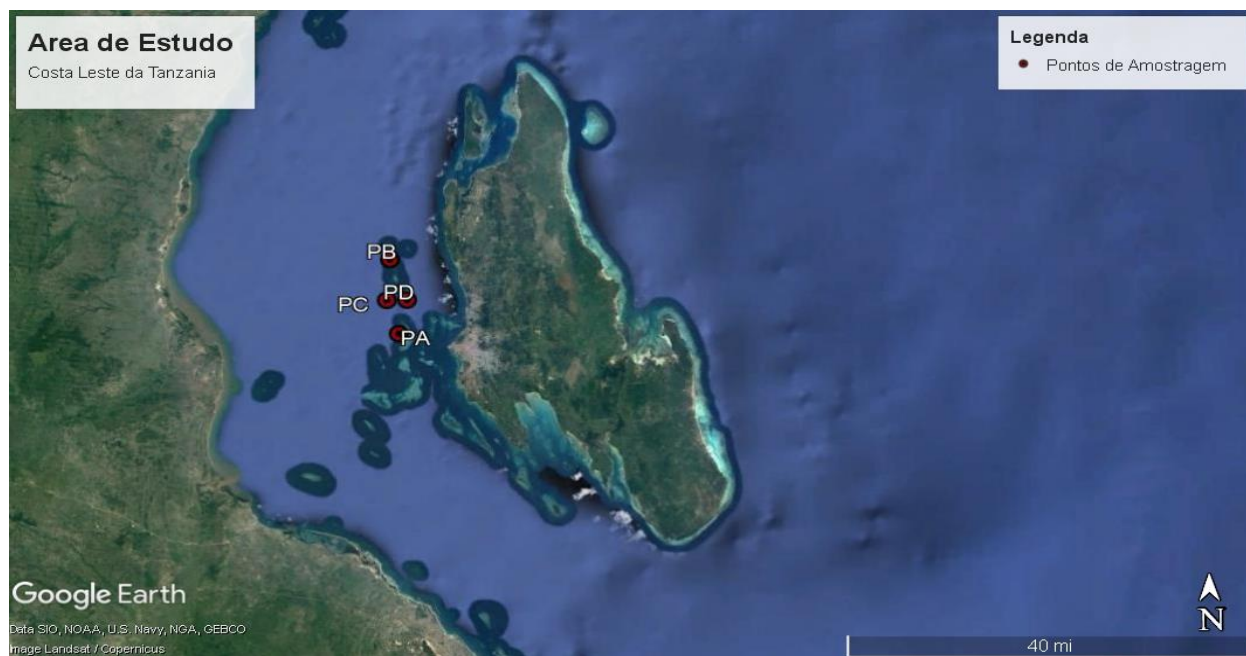




## ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

### Grau de Estratificação na Coluna de Água da Costa Leste da Tanzânia



**Autor:**

Damildo Narciso Buci

*Quelimane, Outubro de 2018*



## **ESCOLA SUPERIOR DE CIÊNCIAS MARINHAS E COSTEIRAS**

Monografia para obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia

### **Grau de Estratificação da Coluna de Água da Costa Leste da Tanzânia**

**Autor:**

Damildo Narciso Buci

**Supervisor:**

MSc. Teófilo Ferraz

---

*Quelimane, Outubro de 2018*

**DECLARAÇÃO DE COMPROMISSO DE HONRA**

Eu Damildo Narciso Buci estudante da Universidade Eduardo Mondlane - Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, declaro por toda minha honra que o conteúdo deste trabalho é inteiramente da minha autoria e é resultado do meu empenho e dedicação na pesquisa e aprendizagem no período da elaboração do mesmo.

O autor

---

(Damildo Narciso Buci)

**DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais (Narciso Fernando Buci e Hortência José Matimbe), que se esforçaram bastante para que este sonho se tornasse realidade.

**Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela oportunidade de poder me formar nesta faculdade e também por ter me iluminado e abençoado durante a minha vida académica.

Agradeço aos meus pais (Narciso Fernando Buci e Hortência José Matimbe) pelos seus conselhos e ensinamentos durante toda minha vida e por terem tornado realidade o meu sonho de me formar. Aos meus irmãos pela força, carinho, puxão de orelha e a confiança depositado em mim, e por ter contribuído bastante na minha vida académica. Aos meus primos Abílio Fabião Buci, Germildo Bernardo Buci, Carlitos Fabião Buci, Olídio Fabião Buci, pois serviram de fonte de inspiração para a realização deste trabalho. A toda a minha família pelo encorajamento para engrenar a faculdade, por terem acreditado em mim, por me ajudarem a lutar contra os obstáculos que encarei durante a formação.

Agradeço ao meu supervisor Mestre Teófilo Ferraz e ao mestre Noca Bernardo Furaca pelas críticas e ajuda ao longo da realização deste trabalho. A todos os docentes da faculdade, aos meus colegas da faculdade em especial ao Assane Juliasse, António Cumbe, Humberto Meque, Sérgio Chambela, Jonas Chambo, zeinul Dufa, Autêncio Nobre, Fernando Sibanda, Ana Joana, Anoque Chacanga, Nelson Cabazar, Adriano Muhate, Antonio Mathusse, Lucas Raul, Justino Chipanga, Cristoldia Chacate, Orcieta Cau, Laiwa Manaque, Elda Mailim, pelo companheirismo, diversão, paciência, compreensão durante a minha vida académica pois contribuíram bastante para que este trabalho se tornasse realidade.

Aos meus amigos Edson Lifaniça, Ussene Cinema, ao meu primo e grande amigo Almeida Fabião Buci, e a minha namorada Dulce Daniel que mesmo estando distante me deram forças para enfrentar diversas dificuldades. A comunidade do bairro novo pela hospitalidade em especial a senhora Maria por me receber em sua casa quando eu não tinha onde morar, e que Deus lhe abençoe e lhe proteja para sempre. Agradeço a todos que contribuíram directa e indirectamente para a minha vida académica, meu muito obrigado.

**Agradeço**

### RESUMO

Diversos autores revelam que os processos de mistura e estratificação de uma coluna de água são influenciados pelo aquecimento das águas superficiais, correntes de marés, descargas fluviais, velocidade do vento, ou mesmo pela profundidade e a topografia do fundo, facto que condiciona na dinâmica de nutrientes influenciando na produtividade primária da região. O objectivo deste trabalho, visa estudar o grau de estratificado da coluna de água da costa leste da Tanzânia, e este foi determinado com base nos dados de temperatura, salinidade e densidade, medidos nos dias 4 e 5 do mês de Novembro de 2017. A coluna de água nesta região foi dominada por um período de alta estratificação sendo os pontos (A) com a maior e (C) com a menor, sendo correspondente as anomalias médias de  $3762.535431$  e  $-2177.12 \text{ Jm}^{-3}$  respectivamente. Os tempos máximos e mínimos necessários para misturar a coluna da água foram registados nos pontos (A e D), com 16.36709 e 1.54464 dias respectivamente. Em suma, de acordo com os valores de anomalia da energia potencial, houve um decréscimo de anomalia com a profundidade, e presume-se que o factor que mais influenciou na distribuição da estratificação nesta região foi a descarga fluvial, podendo também ter sido influenciado pela maré e o vento devido a sua fraca energia disponível para misturar a coluna de água. E para o tempo de mistura presume-se que o factor que mais influenciou foi a maré, pois este apresenta tempo muito reduzido em relação ao vento.

**Palavras-chave:** Grau de estratificação vs tempo de mistura de uma coluna de água (Tanzânia).

### **ABSTRACT**

Several authors have shown that the mixing and stratification processes of a water column are influenced by surface water heating, tidal currents, river discharges, wind speed, or even by the depth and topography of the bottom, which conditions the dynamics of nutrients influencing the primary productivity of the region. The objective of this work is to study the stratified degree of the water column of the east coast of Tanzania, and this was determined based on the temperature, salinity and density data measured on days 4 and 5 of November 2017. The (A) with the largest and (C) with the lowest, corresponding to the mean anomalies of 3762.535431 and -2177.12  $\text{Jm}^{-3}$  respectively. The maximum and minimum times required to mix the water column were recorded at points (A and D), with 16.36709 and 1.54464 days respectively. In summary, according to the values of potential energy anomaly, there was a decrease of anomaly with the depth, and it is assumed that the factor that most influenced the distribution of the stratification in this region was the fluvial discharge and could also be influenced by the tide and wind due to its low energy available to mix the water column. And for the time of mixing it is presumed that the factor that influenced the most was the tide, since it presents time very reduced in relation to the wind.

**Keywords:** Degree of stratification vs. time of mixing of a water column (Tanzania).

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Coluna de água estratificada (A) e misturada (B).....	6
Figura 2: Distribuição da anomalia ao longo da coluna de água .....	13
Figura 3: Demonstração da área de estudo.....	16
Figura 4: CTD (Conductivity Temperature e Depth).....	18
Figura 1: Distribuição da anomalia com a profundidade para todos os pontos (A, B, C, D).....	21
Figura 06: Tempo de mistura devido ao vento e maré para todos os pontos.....	22

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01: Tempo de mistura e suas profundidades máximas de cada ponto. <b>Error! Bookmark not defined.</b>	
Tabela 02: Dados ambientais, profundidades máximas e tempo de mistura de cada ponto .....	23



**Índice**

I. CAPÍTULO .....	1
1. INTRODUÇÃO, PROBLEMATIZAÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJECTIVOS. ....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. PROBLEMATIZAÇÃO.....	2
1.3. JUSTIFICATIVA .....	3
1.4. OBJECTIVOS .....	4
II. CAPITULO.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Conceitos Fundamentais sobre a Estratificação e Mistura.....	5
2.2. Estratificação .....	6
2.2.1. Estratificação induzida pelas descargas dos rios.....	7
2.2.2. Estratificação Devido ao Aquecimento Superficial .....	8
2.3. Misturas.....	8
2.3.1. Misturas Induzidas pela Correntes de Marés .....	8
2.3.2. Misturas Induzidas pelos Ventos.....	9
3. Frentes.....	10
4. Anomalia da Energia Potencial.....	11
5. Estimativa do tempo necessário para misturar completamente a coluna de água.....	13
III. CAPITULO .....	16
3. MATERIAL E MÉTODO .....	16
3.1. Descrição da Área de Estudo .....	16
3.2. Material e Recolha de Dados.....	17
4. Tratamento de Dados.....	18
4.1. Determinação da Anomalia de Energia Potencial .....	18

4.2. Estimativa do tempo necessário para misturar completamente uma coluna de água .....	19
4.3. Dados ambientais .....	20
IV. CAPILTLO .....	21
4. RESULTADOS .....	21
4.1. Distribuição da anomalia em função da profundidade.....	21
4.2. Tempo necessário para misturar uma coluna de água.....	23
5. DISCUSSÃO .....	25
VI. CAPÍTULO .....	27
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	27
6.1. Conclusão .....	27
VII. CAPITULO.....	28
Referencias Bibliográficas e anexos.....	28
Anexos .....	30

## I. CAPÍTULO

### 1. INTRODUÇÃO, PROBLEMATIZAÇÃO, JUSTIFICATIVA E OBJECTIVOS.

#### 1.1. Introdução

Compreender até que nível as águas da costa leste da Tanzânia está estratificado ou misturadas é o principal objectivo do estudo. O nível de estratificação na coluna de água é entendido como crucial no controle da mistura vertical, essa que condiciona no fluxo vertical das propriedades da água como o calor, sal, nutrientes, sendo nutrientes um ingrediente limitante na produção biológica (J. H. Simpson, 1990).

A interacção de processos de ordem física, química, e biológica do mar assim como dos estuários, torna-o um ecossistema complexo e muito útil para a vida no planeta. Os processos que interagem com o mar, e o ecossistema marinho, e outro adjacente como a atmosfera, rios etc., estes condicionam uma boa distribuição das propriedades físicas, químicas e biológicas do ambiente marinho. As propriedades acima citadas dão um contributo muito significativo na produtividade primária, e torna-o ainda mais importante porque é na base dessas propriedades que vão contribuir na resposta de recursos pesqueiros que o homem tanto procura, (Mabota, 2009)

No oceano ou mesmo no estuário sempre teremos águas mais densas e outras menos, desta forma essas águas vão sofrer efeitos de algumas forças, isto é, a força que puxa a massa de água mais densa será maior em relação a força que irá puxar a massa de água menos densa. E são essas forças que vão condicionar na estratificação de uma coluna de água, as chamadas forças de sustentação (Ibraimo, 2004).

Do ponto de vista biológico, a mistura das águas favorece na quantidade de nutrientes, assim como na disponibilidade de alimentos na coluna de água, isto porque outros organismos dependem da turbulência para se alimentarem adequadamente (*copépodes*), contribuindo também na produtividade primária, desde do momento que haja a disponibilidade da luz solar.

A estratificação é a divisão de massas de água em profundidade, isto é, resulta das diferenças das densidades das massas de águas. Ela é uma separação natural que é condicionada pela diferença da força de gravidade que é exercida pela terra sobre o fluido e deve se distribuir verticalmente em função das suas densidades.

Nas regiões onde ocorre a estratificação há um constrangimento na migração do fitoplâncton, zooplâncton, poluentes de uma camada para outra devido a desigualdade de densidade que la existe, esse obstáculo prejudica, pois contribui para a retenção de nutrientes nas regiões superficiais, devido a entrada do fluxo da água doce proveniente dos rios e dos efluentes domésticos em outra regiões, e vai dificultar o curso normal de cadeia alimentar de alguns organismos, e doutra forma será benéfico porque ajuda na retenção de poluentes na região superficial do mar (Ibraimo, 2004).

As principais fontes de energia para a mistura vertical são as marés e os ventos, diferentemente da fonte da energia da estratificação que são as descargas fluviais e o aquecimento superficial, (Mabota, 2009). Desta forma, o balanço entre a energia que é fornecida pelos processos que favorecem a estratificação e a quantidade de energia fornecida pelos processos que contribuem para a mistura, é a que estabelece se a coluna de água está estratificada ou misturada, e qual é o seu grau de estratificação (Mabota, 2009).

Em geral o fluxo oceanográfico é praticamente bidimensional, pois a componente vertical e desprezível. Isto faz com que a coluna de água se estratifique, inibindo movimentos verticais. Desta forma o processo responsável pelos movimentos verticais da água é a turbulência que resulta na mistura vertical da coluna de água (Mabota, 2009).

Nesse presente estudo pretende-se determinar o grau de estratificação da coluna de água, pois é um grande inibidor de muitos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no oceano/estuário. Pois determinou-se a anomalia da energia potencial, o tempo necessário para misturar completamente uma coluna de água e por último analisar os processos que contribuem para a mistura e estratificação da coluna de água. Com este estudo espera-se contribuir para o entendimento sobre o grau de estratificação da costa leste da Tanzânia, permitindo reforçar o conhecimento sobre a influência dos processos que concorrem para a estratificação e mistura.

### **1.2. PROBLEMATIZAÇÃO**

A estratificação da coluna de água causa uma diferença significativa entre as densidades das camadas de água superficial que são mais quente e as do fundo que são mais frias, ocasionando problemas de circulação na coluna da água, e provocando variações bruscas nas concentrações de oxigênio dissolvido (Ibraimo, 2004)

Durante o período de estratificação, a termoclina restringe a substituição de oxigênio nas camadas mais profundas da água, aumentando o déficit de oxigênio no hipólímio (local em que se registra a estratificação), o que pode conduzir a condições de anoxia (falta quase total de oxigênio) em diversos reservatórios sobre a maior parte do ano (Branco et al,2009).

A distribuição vertical de oxigênio no oceano propriamente dita é a ocorrência de valores mínimos de oxigênio nos primeiros 1000 metros devido ao consumo biológico ou mesmo pela oxidação de detritos reduzindo assim o oxigênio nas regiões profundas (Pickard, 1974).

### **1.3. JUSTIFICATIVA**

Estudos sobre o grau de estratificação da coluna de água, ajudam na compreensão deste processo, particularmente a costa leste da Tanzânia, que contribuirá para o entendimento do nível da estratificação ou mistura, pois este fenômeno contribui bastante no déficit de nutrientes assim como de alimentos numa coluna de água, assim como a identificar os factores que contribuem para a ocorrência deste processo.

O processo de mistura causa modificações importantes no sistema aquático, pois promove a homogeneização da maioria das variáveis abióticas podendo causar déficit de oxigênio neste meio, este também pode contribuir para aumento da concentração de nutrientes e material em suspensão na coluna de água como um todo, influenciando diretamente a qualidade e quantidade de radiação solar subaquática ao longo do perfil vertical (Esteves, 2011).

A ocorrência de variações brusca do oxigênio dissolvido na coluna de água poderá influenciar na vida dos organismos aquáticos causando morte por asfixia ou ate mesmo a migração dos mesmos (Ibraimo, 2004). Pois é fundamental para a organização de processos químicos e biológicos em uma coluna de água.

Estudos ligados a estratificação da coluna de água são de uma grande importância, pois estes também buscam associar as variações apresentadas pelas comunidades biológicas desse sistema com as diferentes condições de mistura e estabilidade apresentadas pela coluna de água. (Dodds, 2002).

## **1.4. OBJECTIVOS**

### **1.4.1. Geral**

- Estudar o Grau de estratificação da coluna de água da costa leste Tanzaniana

### **1.4.2. Específicos**

- Determinar a anomalia da energia potencial;
- Estimar o tempo necessário para misturar completamente a coluna de água devido as marés, ventos e aquecimento superficial;
- Analisar os parâmetros que concorrem para mistura e estratificação na coluna de água.

## II. CAPITULO

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Conceitos Fundamentais sobre a Estratificação e Mistura

Os termos de estratificação e misturas se assemelham ao conceito de estabilidade da coluna de água, na qual o principal parâmetro que identifica uma estabilidade numa coluna de água é a densidade, que varia em função da profundidade e salinidade que é inversamente proporcional a temperatura (Mabota, 2009).

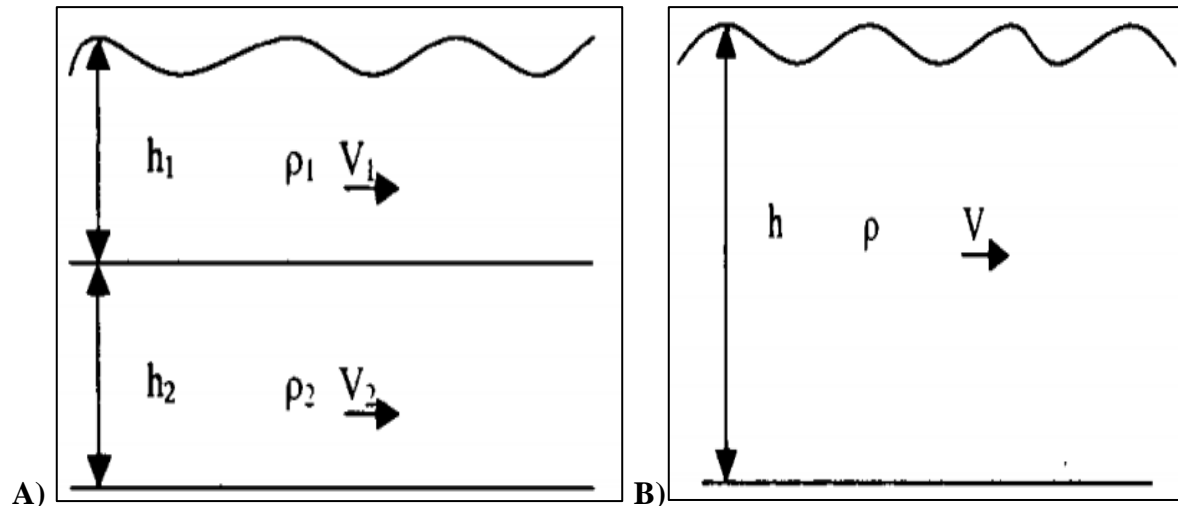
Um experimento detalhado mostra que a circulação, os processos de mistura e de estratificação da densidade da água na costa dependem da sua geometria, descarga fluvial, maré, salinidade, circulação da região oceânica adjacente e do vento que actua directamente na região superficial do oceano. Abordando assim detalhadamente os processos físicos que influenciam nesses ambientes que são complexos. Como os processos de natureza biológica, química e geológica são fortemente influenciados por variáveis físicas, criando a necessidade de uma abordagem interdisciplinar para melhor compreensão desses ambientes no contexto de um ecossistema costeiro (Miranda & Castro).

Em águas costeiras, a estratificação pode ser causada pelo fluxo de água doce, por conter baixa salinidade em relação às águas do mar. Por outro lado, o aquecimento superficial criado pelo sol pode ser suficiente para aumentar consideravelmente a temperatura das águas próximas da superfície, tornando-as menos densas que as profundas. Quanto a mistura, esta pode ser causada no fundo pelas marés e na superfície pelos ventos (Ibraimo, 2004).

A influência da descarga fluvial constantemente acrescida pelo rio, gera um comportamento de circulação das águas daquela região (Tanzânia) na mistura as águas provenientes dos rios produzem diferenças de densidade ao longo da costa, assim gerando movimentos forçados pelo gradiente de pressão (Miranda & Castro).

O facto do ecossistema marinho ser complexo, deve-se da interacção de vários processos que são de ordem física, química, e biológica. Para uma coluna de água composta por duas camadas imiscíveis ou seja de parâmetros diferentes, como ilustra o exemplo na figura abaixo 01 (A), se a camada superior possuir uma densidade constante  $\rho_1$ , movendo-se com uma velocidade  $V_1$ , a uma profundidade de equilíbrio  $h_1$  e a camada inferior com densidade constante  $\rho_2$ , movendo-se com

velocidade  $V_2$  e a uma profundidade  $h_2$ , diz se que a coluna de água esta estratificada (Ibraimo, 2004). Enquanto na figura abaixo 1 (B), quando uma força é aplicada ao sistema este passa a ter uma densidade uniforme  $\rho$  ao longo de toda profundidade  $h$  e com a mesma velocidade  $V$ , estaremos na presença de uma coluna de água misturada (Cushman-Roisin, 1994).



**Figura 2:** Coluna de água estratificada (A) e misturada (B). Fonte; Ibraimo, 2004.

## 2.2. Estratificação

A estratificação é um processo que surge naturalmente, envolvendo fluxos de fluidos com densidades diferentes, ou seja, é um processo no qual as águas superficiais carecem de maior densidade em relação as águas que estão na zona profunda (Ibraimo, 2004). Para que ocorra a variação (redução) da densidade das águas superficiais das zonas costeiras é necessário que haja uma diluição com as águas provenientes das descargas dos rios que possuem menor densidade e pelo seu aquecimento pela radiação solar.

A estratificação também pode ser verificada com base no Número de Richardson ( $Ri$ ), sendo que é influenciado pelas forças que contribuem para a estratificação e misturas, pois quando o Numero de Richardson for maior que o seu valor limite a estratificação tenderá a \*-aumentar e a mistura irá diminuir (Mark T. Stacey, 2001).



Para uma massa de água que esta em equilíbrio na camada inferior, for lhe aplicada uma força e levada para a camada superior e a densidade dessa massa de água for maior que as águas ao redor, actuará uma força de gravidade na tendência de restaurar a sua posição de equilíbrio. De igual forma irá acontecer para o caso inverso na qual se aplica uma força a uma massa de água que esteja na camada superficial e levada para baixo. Deste modo actuará uma força de sustentação que a induzirá a sua posição inicial. E desta forma á denominado fortemente estratificado (Ibraimo, 2004).

### **2.2.1. Estratificação induzida pelas descargas dos rios**

Os processos que ocorrem numa bacia de drenagem, influenciam na circulação costeira sobre a plataforma continental adjacente através da dispersão da pluma fluvial (Schettini, 2002).

Quando a água dos rios descarrega no oceano/estuário, devido a sua menor densidade ela irá tender ficar por cima misturando-se razoavelmente com a água la existente reduzindo a densidade da mesma, e desta forma contribuindo para um aumento mais acentuado da estratificação de uma coluna de água.

As descargas fluviais é factor importante e determinante na qualidade das águas estuarinas, pois induz alguns efeitos como a advecção, estratificação vertical das águas oceânicas/estuarinas e também contribui para a existência de gradientes horizontais de salinidade (Duarte & Vieira, 1997). Devido a sua influencia, pode se afirmar que quanto maior for a descarga dos rios maior será a estratificação.

No período das descargas fluviais toda a região próxima da costa fica dominada pelas águas de origem continental, mostrando a importância da influência das descargas fluviais nas águas costeiras, pois esta faz com que muitas propriedades das águas mudem (Salinidade, turbidez quantidade de nutrientes existentes) entre outros (Pereira e filhos, 2003).

### **2.2.2. Estratificação Devido ao Aquecimento Superficial**

A radiação solar é a principal fonte de energia para o planeta, essa energia quando é irradiada na superfície do oceano/estuário é absorvida na camada superficial. Quando uma massa de água é aquecida, o seu volume aumenta numa porção proporcional ao aumento da sua temperatura (Mabota, 2009).

A água desta região superficial é aquecida e conseqüentemente tornando-se menos densa em relação a água que se encontra nas regiões profundas, este processo culminará com o aumento da força de sustentação, e desta forma contribuindo para a estratificação de uma coluna de água. E quanto maior for o calor absorvido pela camada superficial maior será a estratificação.

### **2.3. Misturas**

É designado mistura a um processo de espalhamento das partículas de uma substância no meio aquático, resultante dum processo de difusão e/ou de dispersão, que pode ser entendida como uma distribuição uniforme de partículas resultante da combinação dos efeitos da advecção e da difusão transversal (Duarte & Vieira, 1997).

Para que haja uma mistura de uma coluna de água estratificada, é necessário a mobilização de energia para vencer as forças de sustentação. Por sua vez essa energia pode resultar das correntes de maré na região profunda e dos ventos na superfície (Ibraimo, 2004)

#### **2.3.1. Misturas Induzidas pela Correntes de Marés**

Define se como marés aos movimentos oscilatórios das águas marinhas, relativamente ao referencial da altitude, determinados por forças induzidas pela variação das posições relativas da Lua e do Sol com a superfície terrestre (Duarte & Vieira, 1997).

As correntes de marés exercem uma força de fricção sobre o fundo da coluna de água por onde passam, forças essas que são responsáveis pela produção de energia cinética turbulência que causam movimentos verticais de massas de água influenciando desta forma para a mistura (Sompson, 1981).

Quando uma onda de maré se propaga ao longo de uma costa ela pode sofrer alterações devido a batimetria, rugosidade do fundo e nas mudanças da linha de costa, essas alterações que fazem com que a maré tenha uma influência na dinâmica da costa.

As águas oceânicas se diferem das estuarinas pelo tipo de onda que se propaga e pelo período de observação de valores máximos da corrente de maré, pois em oceanos a onda de maré se propaga como uma onda progressiva e os seus valores máximos de corrente de maré são observados na baixa-mar e na preia-mar. Já em estuários a maré é uma combinação de uma onda de maré progressiva com a onda de maré estacionária e que os seus valores máximos de corrente de maré são observados aproximadamente no meio da vazante e da enchente (Vassele, 2004).

A magnitude das correntes de maré depende parcialmente das características da onda de maré (por exemplo, assimetria e amplitude da onda de maré), e parcialmente da morfologia da costa (Pickard, 1974).

As tensões causadas no leito pelas marés para além de que seleccionam sedimentos podem definir quais comunidades betónicas podem habitar naquela região. Essas tensões que provocam turbulência vertical afectando o perfil vertical de salinidade, temperatura entre outros solutos (Gaze, 2005).

### **2.3.2. Misturas Induzidas pelos Ventos**

O vento é uma forma de energia que tem como fonte a radiação solar, através dos raios que atingem a superfície do oceano, causando movimentos de massas de ar que surge por causa do aquecimento diferenciado que causa diferença de pressão (Camião, 2011).

Os ventos quando estão agindo na superfície do mar fazem uma conversão da energia cinética atmosférica em energia cinética e potencial oceânica que pode misturar uma coluna de água dependendo da sua energia (Ferrari, 2003).

Para os ventos influenciarem na mistura de uma coluna de água depende da sua direcção e magnitude (Simpson, 1996). As misturas verticais turbulentas geradas pela fricção existente entre a massa de água em movimento e a outra estacionária, trazem algumas massas de água para a superfície. O vento pode causar arrefecimento das águas presentes na região superficial, tornando-as mais densas que a camada sub-superficial e assim causar a sua descendência, isto é, as massas de água superficial empurram as sub-superficiais criando a descendência das águas, contribuído desta forma para misturas (Ibraimo, 2004).

### 3. Frentes

As frentes são tidas como zonas de transição de uma coluna de água bem misturada para uma estratificada, normalmente é evidenciado pela existência de um gradiente horizontal de temperatura (frentes térmicas) ou de salinidade (frentes halinas) daí a densidade (Ibraimo, 2004).

Devido ao balanço térmico do vento, as frentes estão associadas a jacto de intensificação de superfície com forte cisalhamento e vorticidade relativa de sinal oposto em ambos os lados frentes quentes e frias (Tandon, 2006).

Em existem vários tipos de frentes, mas em estuários as mais importantes são as frentes de pluma, frente de cunha salina, frente de cisalhamento e afrente de mistura por maré.

Designa-se frente de pluma a aquela cuja sua formação depende do escoamento de uma camada fina de água flutuante sobre a camada da água mais salina. Esta assemelha-se à dinâmica das frentes da intrusão de maré que ocorre quando a água mais densa se move por baixo em relação a menos densa em direcção a uma cunha salina.

Para os estuários as frentes de cisalhamento são produzidas na maré enchente, precisamente quando a fricção com os bancos de areia resulta na variação lateral da velocidade da corrente (Ibraimo, 2004).

Frentes de mistura por maré ocorrem na fronteira entre a camada de água misturada e camadas de águas bem estratificadas.

A frente de cunha salina ocorre em estuários estratificados, precisamente no limite da cunha salina à montante (Mabota, 2009).

As frentes estuarinas podem se distinguir por mudanças acentuadas da cor da água, linhas de espuma formadas por matéria flutuante e alta concentração de organismos (Eggleston et al, 1998 citado por (Mabota, 2009).

#### 4. Anomalia da Energia Potencial

O grau de estratificação de uma coluna de água para um dado espaço e tempo, para caso em que esta é causada por aquecimento superficial, pode ser expresso pela diferença de temperatura  $\Delta T$  ou pela diferença de densidade  $\Delta \rho$  entre a região superficial e o fundo (Ibraimo, 2004).

Para o cálculo da anomalia da energia potencial ( $\emptyset$ ) foi usada a fórmula proposta por (Simpson e Bowers 1981), que é conhecida como a maneira mais correcta de determinar a energia potencial de um estuário:

$$\emptyset = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 [\dot{\rho} - \rho(z)] g z dz \quad \text{Equação (1)}$$

Com:

$$\dot{\rho} = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \rho(z) dz \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$\dot{\rho}$ - densidade média da coluna de água;

$\rho$ - densidade a uma determinada profundidade;

$z$ - profundidade da coluna de água;

$g$ - aceleração de gravidade;

$h$ - máxima profundidade da coluna de água

Expandindo a primeira equação que corresponde o défice da energia potencial numa coluna de água teremos:

$$\emptyset = \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \dot{\rho} g z dz - \frac{1}{h} \int_{-h}^0 \rho(z) g z dz \quad \text{Equação (3)}$$

Na qual o primeiro termo representa energia potencial para misturar uma coluna de água e o segundo termo representa a energia potencial existente na coluna de água.

O parâmetro da anomalia de energia potencial ( $\phi$ ) é a média em profundidade do déficit da energia potencial devido a estratificação, comparado com a energia potencial de uma coluna de água completamente misturada (Bowden, 1983 citado por Ibraimo, 2004).

Considerando os processos que modifica o grau de estratificação de uma coluna de água, pode-se escrever a variação temporária de anomalia da energia potencial da seguinte forma:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{agQ}{2cp} - \delta k \rho \frac{w^3}{h} - \epsilon k_b \rho_s \frac{|\hat{u}|^3}{h} \quad \text{Equação (4)}$$

Na qual o primeiro termo a direita representa o aumento da estratificação devido ao aquecimento superficial com uma taxa de aquecimento  $Q$ :

$$Q = Cp\rho h \frac{dT}{dt} \quad \text{Equação (5)}$$

O segundo termo representa a redução de estratificação devido a acção do vento (velocidade  $w$ ), e o terceiro termo expressa a redução da estratificação por corrente de maré de amplitude  $|\hat{u}|^3$ .

$$|\hat{u}|^3 = \frac{4}{3\pi} ua^3 \quad \text{Equação (6)}$$

**a** e **cp** - Coeficientes de expansão térmica e calor específico da água do mar respectivamente

**$\delta$**  e  **$\epsilon$**  - Proporções da energia cinética do vento e de maré, respectivamente, usado para misturar uma coluna de água.

**k** e **Kb** - coeficientes de arrasto para a fricção na superfície e no fundo respectivamente

**w**- velocidade do vento.

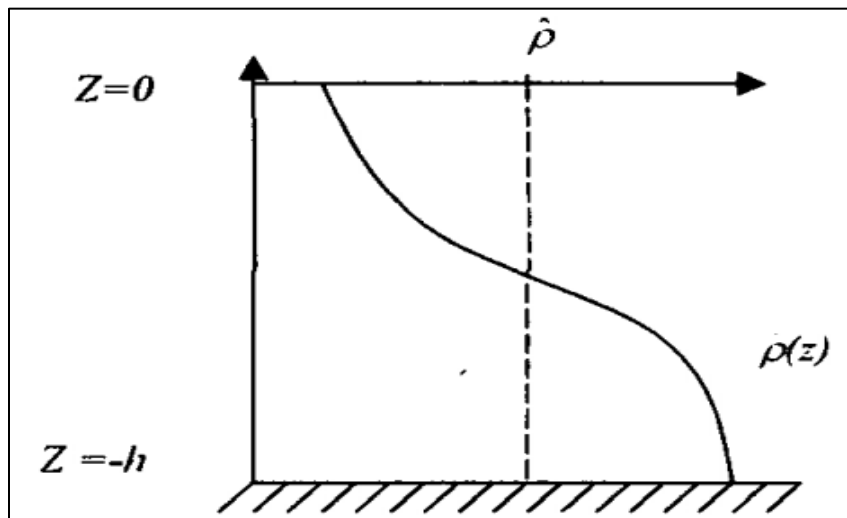
**$\hat{u}$** - Velocidade integrada na vertical;

**Ua**- Amplitude da velocidade de uma maré M2;

**$\rho_s$** - densidade do ar.

Na Equação 4 nota-se que não está presente o termo que representa o aumento da estratificação devido ao fluxo de água doce, pois na maioria das aplicações esse termo é desprezível principalmente quando se trata de áreas distantes da costa (Mabota, 2009).

Neste contexto o estado da coluna de água é interpretado com base no valor de anomalia da energia potencial, quando a anomalia da energia potencial for zero, está-se na presença de uma mistura completa da coluna de água e se for positivo assim como negativo existirá uma estratificação e o módulo dos seus valores determinarão o quão próximo pode estar para ser misturada (Ibraimo, 2004).



**Figura 3:** Distribuição da anomalia ao longo da coluna de água. Fonte; Ibraimo, 2004.

### 5. Estimativa do tempo necessário para misturar completamente a coluna de água

Os oceanos assim como os estuários são dinâmicos quanto aos processos que controlam a estratificação e mistura de uma coluna de água, esses que atuam num determinado espaço e tempo. Daí surge a necessidade de calcular o tempo necessário para misturar completamente a coluna de água visto que esta varia de lugar para lugar e dum tempo para outro.

Para o cálculo do tempo de mistura das águas é necessário ter em conta três parâmetros essenciais que são: a temperatura superficial, as marés e o vento.

Foi considerada a fórmula proposta por (Ibraimo, 2004), para o cálculo da taxa de energia necessária para misturar uma coluna de água num intervalo de tempo devido ao aquecimento superficial, que é dada por:

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{agQ}{2Cp} \quad \text{Equação (7)}$$

Na qual foi insulado o “dt” e após integrar a equação para se achar o tempo, que resultou em:

$$t = \frac{2Cp}{agQ} \phi \quad \text{Equação (8)}$$

Da mesma forma foi achada a fórmula para o cálculo do tempo para misturar uma coluna de água devido ao vento, partindo da taxa de energia necessária para misturar uma coluna de água num intervalo de tempo devido ao vento.

$$\frac{d\phi}{dt} = \delta k \rho \frac{w^3}{h} \quad \text{Equação (9)}$$

Após a dedução foi achado a equação para o cálculo de tempo devido ao vento.

$$t = \frac{h}{\delta k \rho w^3} \phi \quad \text{Equação (10)}$$

E por último foi deduzida a fórmula para calcular o tempo necessário para misturar uma coluna de água induzido pelas marés. Partindo da taxa de energia necessária para misturar uma coluna de água num intervalo de tempo devido as marés:

$$\frac{d\phi}{dt} = \varepsilon k_b \rho \frac{|\hat{u}|^3}{h} \quad \text{Equação (11)}$$

Deduzindo a equação chegou-se a fórmula para o cálculo do tempo devido as marés.

$$t = \frac{3\pi h \phi}{4U a^3 \varepsilon K b \rho} \quad \text{Equação (12)}$$

Tendo em conta todos os parâmetros que devem ser considerados no cálculo do tempo necessário para misturar completamente uma coluna de água. Foram inclusos os parâmetros numa única expressão para achar o tempo total para misturar uma coluna de água.



$$t = \frac{2Cp}{agQ} \emptyset - \frac{h}{\delta K \rho w^3} \emptyset - \frac{3\pi h \emptyset}{4U^3 \varepsilon K b \rho}$$

Equação (13)

Onde:

$$Q = Cp \rho h \frac{dT}{dt}$$

**a**- Coeficientes de expansão térmica da água do mar;

**cp** -Calor específico da água do mar;

**δ**- Proporção da energia cinética do vento usado para misturar;

**k**- coeficiente de arrasto ;

**w**- velocidade do vento;

**h**- Profundidade máxima

**∅**- Anomalia em toda coluna de água;

**U<sub>a</sub>**- Amplitude da velocidade de uma maré M2;

**ε**- Porção da energia cinética de maré usada para misturar;

**Kb**- Coeficiente de arrasto do fundo;

**ρ**- Densidade numa determinada profundidade;

**g**- Aceleração de gravidade.

Onde, os termos a direita primeiro, segundo e terceiro representam o tempo necessário para misturar uma coluna de água devido ao aquecimento superficial, ventos e marés respectivamente.

### III. CAPÍTULO

### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1. Descrição da Área de Estudo

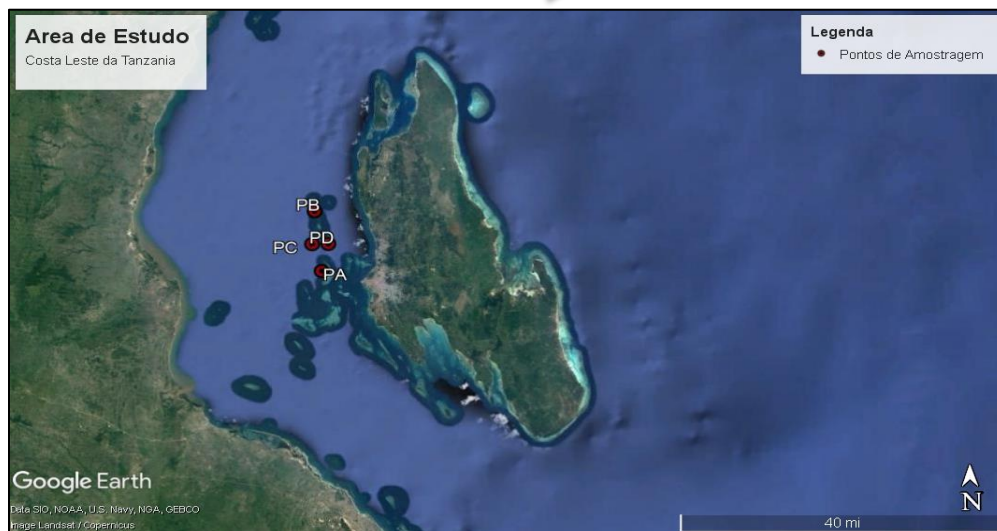
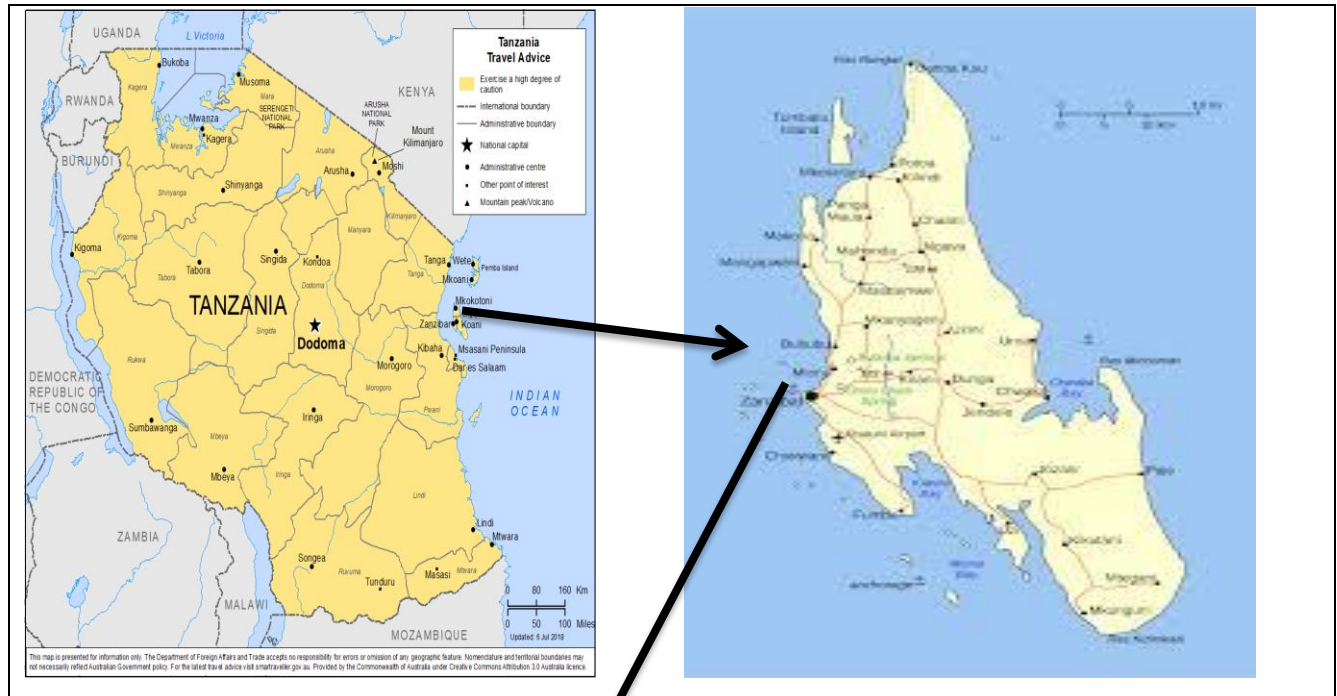


Figura 4: Demonstração da área de estudo. Fonte: Google Earth

A ilha de Zanzibar localiza-se a este do país da Tanzânia, fazendo fronteira com as províncias de Tanga a Norte, Pwani a Oeste, Dar Es Salaam a Sul e pelo Oceano Índico a Este. O clima desta província pode ser dividido em dois períodos chuvosos (Março a Maio) e outra de (Outubro a Dezembro) e duas estações secas (Junho-Novembro) e (Janeiro-Fevereiro), com predominância do clima do tipo “tropical chuvosos” (Channing Arndt, 2012)

O estudo foi efectuado na costa leste da província de Pwani a nível do canal de Moçambique entre as coordenadas 6°05'17.19"S e 39°07'04.18"E, de Zanzibar West a Zanzibar North.

### **3.2. Material e Recolha de Dados**

Para tornar possível o presente estudo foi com base nos dados colhidos usando um CTD (Conductivity Temperature e Depth), no dia 4 e 5 do mês de Novembro de 2017 através de uma embarcação em que estava abordo uma equipe da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeira (ESCMC), estas medições fazem parte de uma serie de medições levados a cabo pela companhia Tanzaniana (SA AGULHAS II) para diversas finalidade como por exemplo desenvolver trabalhos científicos referentes a aquela região da Tanzânia.

No período de recolha de dados, foi usado outro instrumento para auxiliar o trabalho sendo este um CTD; GPS; BARCO e CABO; para registar coordenada exactas dos locais onde foram feitas as medições.

- **Descrição dos instrumentos**

**CTD-** (Conductivity Temperature e Depth), que significa condutividade, temperatura e profundidade, modelo 108 MkII da Valeport, com uma precisão de cinco centésimos de gaus Celcius (0.05°C), (Safrão, 2003). Este instrumento é usado na área da oceanografia principalmente para medir salinidade, temperatura e profundidade.



**Figura 5:** CTD (Conductivity Temperature e Depth). Fonte; Google.

**GPS** – é um instrumento que recebe e interpreta os sinais de satélites, para determinar, controlar e registrar a posição geográfica do ponto da terra onde se encontra, daí o nome GPS (Geographic Position System, que significa sistema de posicionamento geográfico).

**Barco**- Foi usado para se deslocar aos pontos de onde foram feitas as medições.

**Cabo**- Foi usado para prender o CTD de modo a introduzir na água e poder trazer de volta a superfície.

#### **4. Tratamento de Dados**

Os dados extraídos do CTD foram reorganizados e validados no programa Microsoft Office Excel, assim como e alguns cálculos foram efectuados com a ajuda do mesmo programa. E para a representação gráfica foi possível com a ajuda do programa MATBAB versão 7,8.0,347 (R2009a).

##### **4.1. Determinação da Anomalia de Energia Potencial**

Para a determinação da anomalia da energia potencial foi usada a metodologia usada por Ibraimo (2004), na qual desenvolveu uma fórmula partindo da solução numérica da equação de Simpson (1990). Onde foram obtidos duas equações a considerar no cálculo da anomalia, sendo elas:

**Equação (1):** da energia necessária para estratificar a coluna da água numa determinada profundidade (EPs) dada por:

$$EP_s = \rho g z$$

Equação (14)

**Equação (2):** da energia necessária para misturar a coluna da água nessa profundidade (EPm) dada por:

$$EP_m = \rho g z$$

Equação (15)

O cálculo de anomalia da energia potencial para cada profundidade da coluna de água ( $\phi_z$ ), é dada pela diferença dessas energias acima referidas:

$$\phi_z = EP_m - EP_s$$

Equação (16)

A anomalia da coluna de água de cada ponto de amostragem foi determinada usando a solução numérica, dada pela soma das anomalias em cada profundidade e dividida pelo número das leituras que foram feitas num ponto, dada pela seguinte expressão:

$$\phi_z = \frac{\sum_{z=-h}^0 \phi_z}{N}$$

Equação (17)

**Onde:**

**N** é o número das leituras feitas num ponto.

#### 4.2. Estimativa do tempo necessário para misturar completamente uma coluna de água

A estimativa do tempo necessário para de misturar completamente uma coluna de água foi efectuada na base do desenvolvimento das equações das taxas de energia necessária para misturar uma coluna da água num intervalo de tempo devido ao aquecimento superficial, ventos, e marés respectivamente (Ibraimo, 2004).

Nessa estimativa foram considerados os efeitos: da maré (velocidade integrada na vertical, amplitude da velocidade de uma maré **M2**, porção da energia cinética da maré usada para misturar e o

coeficiente de arrasto do fundo), dos ventos (proporção da energia cinética do vento usado para misturar, coeficiente de arrasto e a velocidade do vento) e do aquecimento superficial (coeficiente de expansão da água do mar e o calor específico da água do mar), partindo da seguinte equação abaixo:

$$t = \frac{2C_p}{agQ} \Phi - \frac{h}{\delta K \rho w^3} \Phi - \frac{3\pi h \Phi}{4U^3 \varepsilon K b \rho} \quad \text{Equação (18)}$$

Com:

$$Q = C_p \rho h \frac{dT}{dt}$$

### 4.3. Dados ambientais

Os valores da anomalia da energia potencial obtidos foram analisados em função dos dados do ambiente, no que diz respeito aos parâmetros que influenciam na determinação do grau de estratificação de uma coluna de água.

Os dados referidos são os valores de temperatura, velocidade do vento, precipitação e a corrente de maré para os dias e as horas em que foram feitas as medições.

Para a aquisição desses dados foi possível através do site <https://www.tabuademales.com> para corrente de marés e para os restantes parâmetros foi através do site <https://www.wunderground.com> para serem relacionados com os valores de anomalia assim como com os valores do tempo necessário para misturar uma coluna de água.

#### IV. CAPILTLO

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1. Distribuição da anomalia em função da profundidade.

A anomalia da energia potencial numa coluna de água se distribui em função da acção de vários processos que nela atuam (ventos, descargas fluviais, temperatura ambiente e marés).

A distribuição da anomalia da energia potencial em profundidade é ilustrada na figuras 5, 6, 7 e 8 abaixo referente aos dias 4 e 5 do mês de Novembro de 2017.

Para todos pontos (**PA**, **PB**, **PC** e **PD**) estudados nesse trabalho apresentam uma diminuição da anomalia da energia potencial com a profundidade, apresentando maiores valores de anomalia em regiões próximas a superfície, e por sua vez a relação entre a anomalia da energia e a profundidade foi forte, pois houve um decréscimo significativo da anomalia com a profundidade.

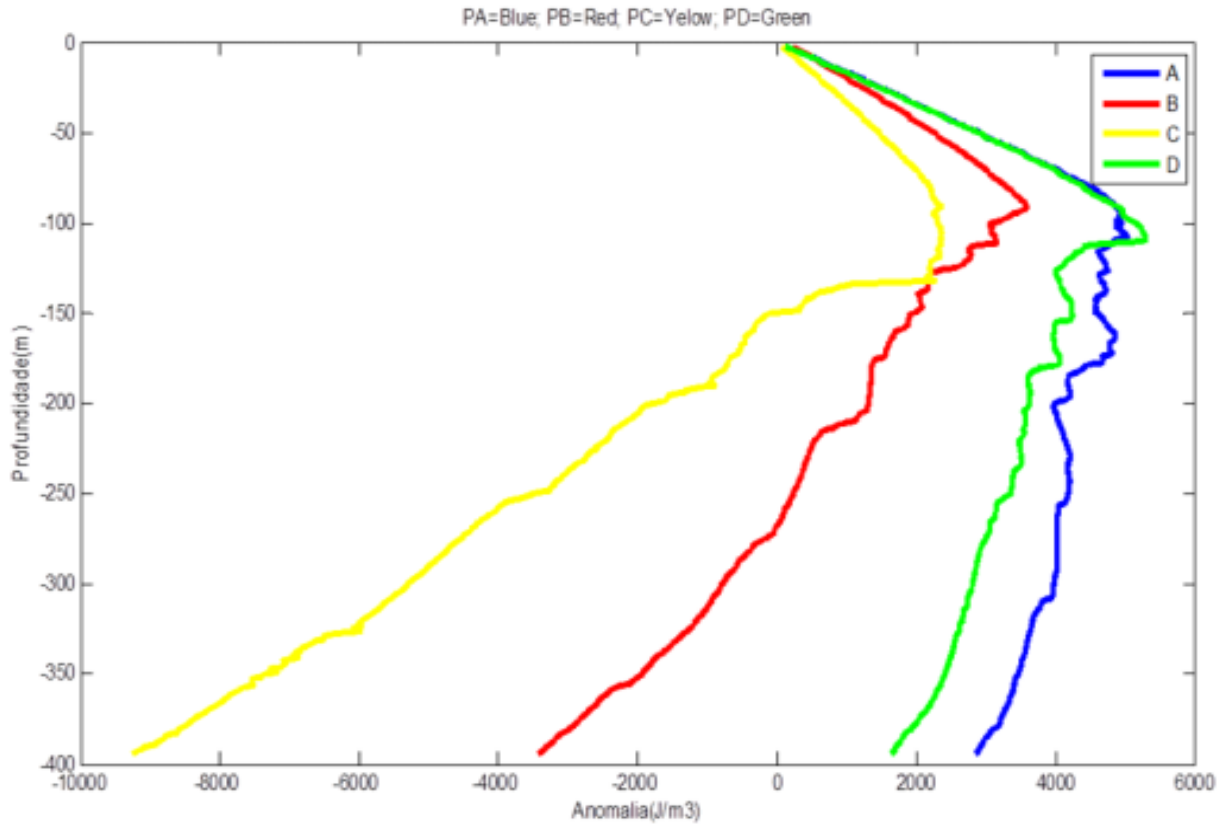
A maior anomalia em todos os pontos foi registada no ponto **D** com um valor de  $5306.38 \text{ J/m}^{-3}$  a uma profundidade de 109.36 m, e a menor foi registada no ponto **C** com  $2369.06 \text{ J/m}^{-3}$  a uma profundidade de 105.384 m.

Para o ponto **A** representado pela cor azul, a anomalia da energia potencial variou de  $5032.88$  a  $2851.704 \text{ J/m}^{-3}$  valores observados a 107.372 e 394.417 metros de profundidade respectivamente, com o valor médio de  $-3762.535 \text{ J/m}^{-3}$ .

Para o ponto **B** representado pela cor vermelha, a maior anomalia da energia potencial registada foi de  $3591.233 \text{ Jm}^{-3}$  a uma profundidade de 95.44 metros, e a menor foi de  $-3427.26 \text{ J/m}^{-3}$  a 397.391 metros de profundidade. A anomalia media deste ponto foi de  $624.560 \text{ J/m}^{-3}$ .

A anomalia da energia potencial em função da profundidade para o ponto **C** que é apresentado pela cor amarela é apresentada na figura abaixo. Para este ponto os valores máximos e mínimos obtidos em todo o período de medição foram:  $2203.13$  e  $-9254.26 \text{ Jm}^{-3}$  com as profundidades de 125.26 e 394.42 metros respectivamente. E a anomalia média para este ponto foi de  $-2177.11 \text{ J/m}^{-3}$ .

O ponto **D** representado pela cor verde, a anomalia da energia potencial mais baixa foi de  $119.270 \text{ Jm}^{-3}$  com 4.971 metros de profundidade e a anomalia da energia potencial mais alta foi de  $5306.38 \text{ Jm}^{-3}$  na profundidade de 109.35 metros. Para este ponto a anomalia média foi de  $3157.812 \text{ J/m}^{-3}$ .



**Figura 6:** Distribuição da anomalia com a profundidade para todos os pontos (A, B, C, D).

A tabela abaixo ilustra os valores diários da velocidade do vento, precipitação, temperatura e a anomalia da energia potencial.

**Tabela 01:** Valores diários da velocidade do vento, precipitação, temperatura e anomalia da energia potencial.

	Vento (m/s)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Anomalias Jm <sup>-3</sup>
Ponto A	6.25	0.35	27.7	3762.535431
Ponto B	6.25	0.35	27.7	624.5601921
Ponto C	3.12	0,39	28.8	-2177.12
Ponto D	3.12	0.39	28.8	3157.812962



#### 4.2. Tempo necessário para misturar uma coluna de água

Os resultados do tempo de mistura da coluna de água para os pontos (A, B, C, D) são apresentados na tabela abaixo.

**Tabela 02:** Dados ambientais, profundidades máximas e tempo de mistura de cada ponto.

	Ventos (m/s)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Maré (m)	Profundidades máximas (m)	Tempo de Mistura (dias)
Ponto A	6.25	0.35	27.7	4.5	394.417	16
Ponto B	6.25	0.35	27.7	4.5	397.391	0.0393
Ponto C	3.12	0,39	28,8	4.2	394.422	1.0568
Ponto D	3.12	0.39	28.8	4.2	397.391	1.54464

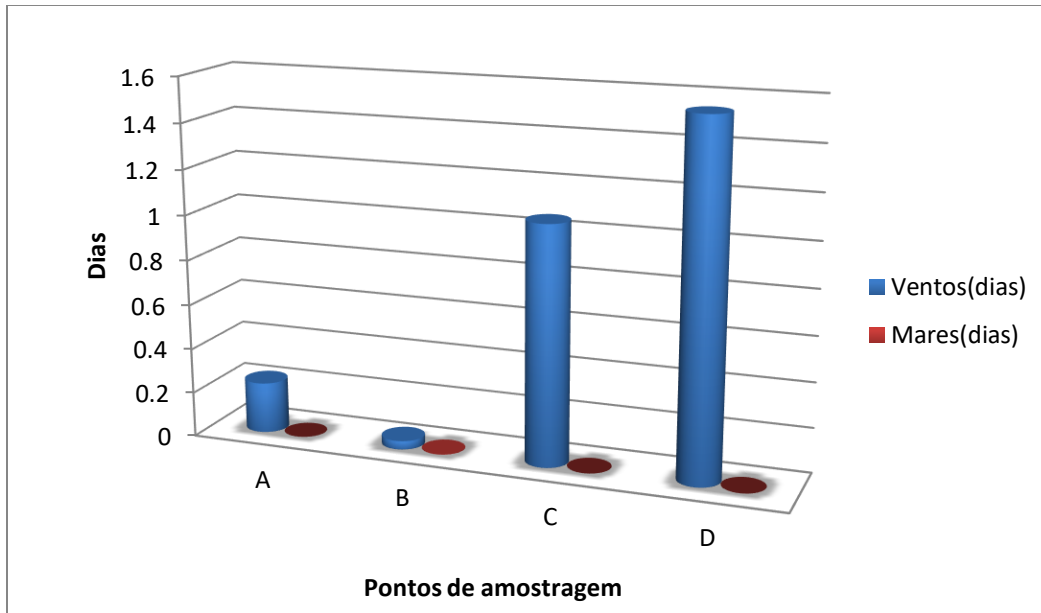
De acordo com os valores do tempo de mistura apresentados na tabela acima, indicam que no ponto **A** com a profundidade máxima de 394.417m foi registado o tempo de 16.36709 dias, necessários para misturar a coluna de água.

Já para o ponto **B** com a profundidade máxima de 397.391m, foi registado o tempo necessários para misturar a coluna de água de 0.04 dias, que corresponde aproximadamente 1 hora, representando um tempo mais reduzido em relação ao ponto **A**.

O ponto **C** com a profundidade máxima de 394.422 m, foi registado o tempo necessário para misturar a coluna de água de 1.056898 dias que corresponde a de 25.36555 horas, necessários para misturar a coluna de água.

E por último o ponto **D** com a profundidade máxima de 397.391 metros, foi registado o tempo de 1.54464 dias equivalente a 37.0713 horas, necessários para misturar a coluna de água.

O gráfico abaixo apresenta o tempo de mistura devido aos ventos e as marés para todos os pontos de amostragem, onde o tempo máximo de mistura devido os ventos foi verificado no ponto D com um cerca de 1.54 dias e mínimo no ponto B com 0.038 dias. E para o tempo de mistura devido as marés o seu tempo máximo foi verificado no ponto B e mínimo no ponto C com os valores de 0.001114686 a 0.000029 dias respectivamente.



**Figura 06:** Tempo de mistura devido ao vento e maré para todos os pontos.

### V. CAPITULO

#### 5. DISCUSSÃO

Como foi referido anteriormente, que o grau de estratificação de uma coluna de água é representado pelo valor de anomalia da energia potencial, que depende fundamentalmente do aquecimento superficial, velocidade do ventos, marés e precipitação, além de outros factores influenciarem como a profundidade e a topografia do fundo.

Durante o período de estudo, na costa leste da Tanzânia verificou-se que a coluna de água se encontrava estratificada. Onde por sua vez os valores mais altos de anomalia da energia potencial foram verificados nos “pontos A e D”, localizados em regiões que estão mais próximos a costa, esta situação pode estar associado ao facto de esses pontos receberem águas menos densas provenientes dos rios ou mesmo do escoamento fluvial.

O maior factor que favorece a estratificação é a descarga fluvial ou mesmo a precipitação que contribuem na adição de águas menos densas, contribuindo assim para a estratificação (Ibraimo, 2004).

O “ponto A” encontra-se mais próxima a costa, e isto faz com que receba águas menos densas provenientes dos rios, o que possibilita este ter sido influenciado pelas descargas fluviais principalmente no período da maré vazante, ou mesmo que a radiação solar pode ter aquecido o suficiente as águas superficiais tornando-as menos densas em relação as profundas e desta forma contribuindo para a estratificação da coluna de água,

Para o ponto C verificou-se um facto semelhante do ponto A, mas devido a sua posição pois este se localiza mais afastado da costa, a única possibilidade é que a radiação solar tenha aquecido o suficiente as águas superficiais de modo a reduzir a sua densidade contribuindo assim para a estratificação da coluna de água.

Os pontos B e C encontravam-se estratificados provavelmente devido ao escoamento e o aquecimento superficial causando diferenças na densidade, apesar desses pontos se localizarem mais afastados da costa, e mesmo se fazendo sentir o efeito dos ventos e marés neste local, estes não foram suficientemente fortes para quebrar a estratificação e misturar a coluna de água.

Os valores de anomalia da energia potencial variaram de  $3762.535 \text{ Jm}^{-3}$  a  $-2177.12 \text{ Jm}^{-3}$  valores muito altos quando comparados aos encontrados no Banco de Sofala por Camião (2011), e aos da Baía de Maputo por Ibraimo (2004), com  $-687.25$  a  $12.08 \text{ Jm}^{-3}$  e  $-0.47$  a  $10.10 \text{ Jm}^{-3}$  respectivamente.

Este resultado esta de acordo com os resultados encontrados por (Camião, 2011), que verificou um decréscimo da anomalia da energia potencial com o aumento da profundidade e se difere aos encontrados por (Mabota, 2009), onde os valores de anomalia tendiam a aumentar com a profundidade, onde constatou que as águas menos densas provenientes da drenagem da cidade de Quelimane tenham sido a razão de se terem se observados altos valores da estratificação.

Olhando para (Tabela 1), é possível notar que não há uma relação entre a anomalia da energia potencial com os valores de temperatura, vento, precipitação como era de se esperar. Mas de acordo com os valores da anomalia que tendem a aumentar a medida que nos aproximamos a costa, o factor que influenciou na anomalia pode ter sido as descargas fluviais.

Para o tempo necessário para misturar uma coluna de água, pode se constatar que os pontos de amostragem que precisam de muito tempo para se misturarem são os pontos **A** e **D**, este facto pode dever-se a descargas fluviais, pois estes pontos estão em locais próximos a costa, o que requer muita energia dos ventos e da maré para misturar em pouco tempo a coluna de água.

O tempo necessário para misturar uma coluna de água nos pontos **B** e **C** foi reduzido em relação aos pontos **A** e **D**, atendendo e considerando que estes pontos se encontram mais afastados da costa, os únicos factores que podem ter contribuído para a redução do tempo são a velocidade dos ventos e as correntes de maré, isto é, a energia do vento e de maré foram suficientes para misturar a coluna de água em um tempo mais reduzido em relação aos pontos **A** e **D**.

De acordo com o gráfico acima transcrita (Figura 06), é possível identificar o factor que mais influenciou no tempo de mistura da coluna de água, o que tudo indica é que foi a maré, visto que as marés precisam de pouco tempo para misturam a coluna de água comparativamente aos outros factores, e mesmo olhando para os dados ambientais que para alguns pontos são iguais e mesmo assim a maré é que influenciou mais no tempo de mistura.

## VI. CAPÍTULO

### 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

#### 6.1. Conclusão

- Durante o período em estudo, a costa leste da Tanzânia encontrava-se estratificada, com uma anomalia máxima de  $3762.535431 \text{ Jm}^{-3}$  e mínima de  $-2177.12 \text{ Jm}^{-3}$ .
- De acordo com os resultados, a anomalia da energia potencial diminuiu com a profundidade.
- O principal factor que influenciou no grau de estratificação é a descarga fluvial, uma vez que esta região sofre influência dos rios Bububu e Selem.
- O tempo de mistura da coluna de água aumentou a medida que nos aproximamos da costa, com o máximo de 5208.39 horas e o mínimo de 0.94311 horas.

#### 6.2. Recomendações

- Que estudos similares sejam feitos em outros pontos do país assim como para Moçambique de modo a desenvolver a ciência nessa área, pois tem uma grande influência para a produtividade primária da região.
- Que a Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras crie uma base de dados de modo a facilitar nos trabalhos científicos futuros ligados a essa área assim como nas outras.

## VII. CAPÍTULO

### Referências Bibliográficas e anexos.

- Camião, F. D. (2011). *Grau de estratificação da coluna de água no Banco de Sofala*, Trabalho de Licenciatura. Universidade Eduardo Mondlane.
- Channing Arndt, W. F. (2012). *Climate Change, Agriculture and Food Security in Tanzania*. Agriculture and Rural Development Team.
- Cushman-Roisin, B. (1994). *Intrroduction to Geophysical Fluid Dynamics*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Duarte, A. A., & Vieira, J. M. (1997). *Caracterização dos Ambientes Estuarinos. Misturas em Estuários*. 6, 41-55.
- Ferrari, C. W. (Novembro de 2003). *Vertical Mixing, Energy, and The General Circulation of the Oceam*. 281-314.
- Gaze, F. N. (2005). *Tempo de Residencia da Baia do Espirito Santo. Espirito santo*: Universidade Federal do Espirito Santo.
- Ibraimo, D. J. (2004). *Grau de Estratificacao da coluna de Agua na Baia de Maputo*. Trabalho de Licenciatura em Oceanografia. Maputo, Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.
- J. H. Simpson, J. B. (June de 1990). *Tidal Straining, Density Currents, and Stirring in the Contol of Estuarine Stratification*. XIII, pp. 125-132.
- Mabota, H. S. (2009). *Grau de Estratificacao da Coluna de Água no Estuario dos Bons Sinais*. Quelimane, Zambézia, Moçambique: Universidade Eduardo Mondlane.
- Mark T. Stacey, J. R. (15 de August de 2001). *Creation of Residual Flouws in a Partially Stratified estuary*.
- Miranda, L. B., & Castro, B. M. (s.d.). *Principios de Oceanografia Fisica de Estuários*.

- Pereira e filhos, J. S. (2003). *Dinamica de Nutrientes na Regiao Portuaria do Estuario do Rio Itajaí-Açu*, Sc. pp. 11-19.
- Pickard, G. L. (1974). *Oceanografia Fisica Discritiva* (2ª ed.). Rio de Janeiro, Brasil: Universidade da Columbic Britânica.
- Safrão, E. P. (2003). *Caracterização hidrodinâmica e morfosedimentar do estuário potengi e áreas*. Universidade federal do rio grande do norte.
- Schettini, C. A. (January de 2002). *Caracterização Física do Estuario do Rio Itajaí-Açu*, Sc. pp. 123-142.
- Simpson, J. H. (1996). *Physical Processes in the Rofis Regime*. pp. 3-15.
- Sompson, J. H. (1981). *The Shelf-sea Front: Implication of their Existence and Behaviour*. pp. 531-546.
- Tandon, A. M. (30 de June de 2006). *An Analysis of Mechanismis for Submesoscale Vertical Motion at Ocean Fronts*. pp. 241-256.
- Vassele, V. J. (2004). *Modelo de Intrusão Salina no Estuario do Incomate Baseado na Influencia Geometrica e Topografica do Estuario*-Trabalho de Licenciatura. Incomate, Maputo, Moçambique: Universidade Eduardo Mondlane.

### Anexos

Para inferir o parâmetro que mais influenciou no tempo de mistura da coluna de água, foram comparados os dados ambientais e o tempo de mistura da coluna de água em função do vento e da maré para todos os pontos de amostragem, como ilustram as tabelas abaixo.

**Tabela 01:** Valores diários da velocidade do vento, precipitação, temperatura, maré e o tempo de mistura apenas em função do vento.

	Ventos (m/s)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Maré (m)	Tempo de mistura (dias)	Tempo de mistura (h)
Ponto A	6.25	0.35	27.7	4.5	0.228359609	5.48
Ponto B	6.25	0.35	27.7	4.5	0.038188045	0.92
Ponto C	3.12	0,39	28.8	4.2	1.56881151	25.37
Ponto D	3.12	0.39	28.8	4.2	1.54459556	37.07

**Tabela 02:** Valores diários da velocidade do vento, precipitação, temperatura, maré e o tempo de mistura apenas em função da maré.

	Ventos (m/s)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)	Maré (m)	Tempo de mistura (dias)	Tempo de mistura (s)
Ponto A	6.25	0.35	27.7	4.5	0.001495105	5.3
Ponto B	6.25	0.35	27.7	4.5	0.026752458	96.3
Ponto C	3.12	0,39	28.8	4.2	0.000705897	2.5
Ponto D	3.12	0.39	28.8	4.2	0.001031645	3.7