

DAYSIANE BARBOSA BRANDÃO

VARIABILIDADE DA CAMADA DE MISTURA A PARTIR DE DADOS DE XBT NO
OCEANO ATLÂNTICO DE 2008 A 2011

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Geraldo Ferreira.
Co-orientador: Dra. Nathalie Lefèvre.

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca Rui Simões de Menezes

B817v Brandão, Daysiane Barbosa.

Variabilidade da camada de mistura a partir de dados de XBT no Oceano Atlântico de 2008 a 2011/ Daysiane Barbosa Brandão – 2013.

44 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Monografia (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Oceanografia, Fortaleza, 2013.

Orientação: Prof^o. Dr. Antonio Geraldo Ferreira.

Co-Orientação: Dr^a. Nathalie Lefèvre

1. Oceano - Temperatura. 2. Camada de mistura – Variações sazonais. I. Título.

CDD 551.46

DAYSIANE BARBOSA BRANDÃO

VARIABILIDADE DA CAMADA DE MISTURA A PARTIR DE DADOS DE XBT NO
OCEANO ATLÂNTICO DE 2008 A 2011

Monografia submetida ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Geraldo Ferreira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Nathalie Lefèvre (Co-orientador)
Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

Prof. Dr. Carlos Eduardo Teixeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

FORTALEZA

2013

Aos meus pais, Ioneida e Davi,
Meus avôs, Rosa, Olizete e Francisco,
A minha irmã, Ane, e minha sobrinha,
Sofia.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ioneida e Davi, pelo apoio, carinho e suporte em todos os momentos de minha vida, por tudo, que eles sacrificaram em prol do melhor para mim, sei que não estaria aqui se não fosse o incentivo que vocês me deram. Em especial a minha mãe, que me ensinou a importância dos estudos e incentivou cada passo meu.

A meus avôs, Rosa, Olizete e Francisco, pelo carinho e cuidado. Em especial a vó Rosa, que sempre apoiou e incentivou essa jornada, por todo o seu amor e compreensão quanto a minha ausência durante os últimos meses. E ao vó Francisco, que apoiou e incentivou a escolha do curso de oceanografia.

Ao meu namorado, Andrey, por sua paciência, carinho, atenção e apoio sempre, além das muitas ajudas com este trabalho.

À minha sobrinha, Sofia, por todo o amor e carinho. Você fez momentos estressantes serem simples com seus sorrisos e carinho.

Aos meus amigos, Raquel Almeida, Gabrielle Melo, Thalita Oliveira, Carlos Alberto, Airton Viana, Rhayan Ramalho, Diogénes Fontenele, Ítalo Cesar, Marcus Vinicius, Nayara Natacha, Dilena Lenita, Dayse Hanna pelo carinho, amizade e paciência, por me escutarem e apoiarem, e estarem sempre tão presente, mesmo quando distantes.

À turma de Oceanografia 2009.1. Tê-los como companheiros foi uma das melhores partes dessa jornada.

Aos professores, funcionários e alunos das turmas de oceanografia pelas colaborações ao longo da vida acadêmica. Em especial aos professores Vicente Farias e Carlos Teixeira que sempre foram tão atenciosos; ao funcionário Wagner, que alegrou muitos dias. Às funcionárias, Eunice Menezes e Isabela Abreu, que sempre estiveram de prontidão para ajudar no que fosse necessário.

Ao Prof. Dr. Antonio Geraldo Ferreira por me auxiliar nesta empreitada, compartilhando seu conhecimento e me ajudando a amadurecer.

À Prof. Dra. Maria Oziléa Bezerra Menezes, pela amizade, conselhos e colaborações ao longo da vida acadêmica.

A Nathalie Lefèvre, por compartilhar seus conhecimentos e me dar a oportunidade de desenvolver este trabalho.

Aos meus amigos do InterPET - CE, Helion Lima, Flora, Andrea Parente, Larissa Batalha, Carlos Augusto, Tulio Naamã, Jeová farias, Carlos Alberto, Jucelino Matos, Evilyn, Levy Pinheiro e Lilian Xavier. Aprendi e cresci muito com vocês. Participar deste grupo foi uma ótima experiência dentro da universidade e para minha vida.

Aos amigos de faculdade, Sália Albuquerque, Josy Lima, Glaudebia Batista, Vanessa Teles e Regina Coeli, pela amizade e preocupação, em especial na reta final desse trabalho.

“Espera no Senhor, anima-te, e ele fortalecerá o teu coração; espera, pois, no Senhor.” (Salmo 27:14)

RESUMO

A camada de mistura (MLD) é resultado de vários processos atuantes na superfície do oceano (KEERTHI *et al.*, 2012), e apresenta as propriedades físicas, como temperatura, salinidade e densidade, praticamente homogêneas. Essa camada é importante para diversos processos que ocorrem no oceano e nas trocas oceano-atmosfera (LEVITUS, 1982; BRAINERD e GREGG, 1995; THOMPSON E FINE, 2002; KARA *et al.*, 2003; HOLTE e TALLEY, 2008; KEERTHI *et al.*, 2012), sendo determinada pela diferença de temperatura, salinidade ou densidade em determinada profundidade em relação à superfície. Neste estudo foi usada a diferença de 0,5 °C de temperatura na profundidade em relação à temperatura da profundidade de referência. A profundidade de referência foi à definida como a camada mínima coletada pelo XBT (*eXpendable BathyThermograph*), equipamento utilizado nesse estudo como fonte de dados. Esse estudo foi realizado no oceano Atlântico, principalmente no Atlântico Tropical. Por meio das análises realizadas detectou-se que a profundidade da camada de mistura será maior durante os meses de inverno, pois nestes há pouca estratificação da temperatura no oceano, bem como em latitudes médias. No equador a variação da profundidade da camada de mistura dentro do ciclo anual é pequena, não passando de 30 metros. Foi realizada ainda uma correlação entre os dados de temperatura do XBT e de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) do satélite AQUA/sensor MODIS, a qual mostrou uma boa correlação entre esses dados, com $R^2 = 0,96$. A variação da MLD no ciclo anual para a região do oceano Atlântico Equatorial é pequena, enquanto que em latitudes médias ocorre uma maior variação, com os maiores valores no inverno boreal. Os valores da MLD estimados neste trabalho apresentam concordância com a climatologia da MLD para o Atlântico.

Palavras-chave: Oceano Atlântico. Temperatura do oceano. Camada de mistura (MLD). Satélite AQUA. Sensor MODIS.

ABSTRACT

The Mixed Layer Depth (MLD) is the result of several active processes at the ocean surface (Keerthi et al., 2012), and presents the physical properties such as temperature, salinity and density, considered homogeneous. This layer is important for various processes occurring in the ocean and in the ocean-atmosphere exchanges (Levitus, 1982; BRAINERD and GREGG, 1995; THOMPSON AND FINE, 2002; KARA et al., 2003; HOLTE and TALLEY, 2008; Keerthi *et al.*, 2012). Being determined by the difference in temperature, salinity or density, at a given depth, compared with that measured at surface. In this study we used the difference of 0.5 °C of temperature at depth relative to the reference depth temperature. The reference depth was defined as the minimal layer collected by XBT (*eXpendable BathyThermograph*), equipment used in this study as the data source. This study was conducted in the Atlantic Ocean, mainly in the north tropical Atlantic. Through the realized analyzes it was found that the depth of the mixed layer will be higher during the winter months, because in these months there is little stratification temperature in the ocean as well as in the middle latitudes. At the equator the variation of the depth of the mixed layer within the annual cycle is small, not trespassing 30 meters. It was performed the correlation between the XBT temperature data and SST (Sea Surface Temperature) retrieval from AQUA satellite /MODIS sensor, which showed a good correlation between these data, with $R^2 = 0.96$ was also performed. The MLD variation in the annual cycle for the Equatorial Atlantic ocean region is small, while at the middle latitudes greater variations are observed, with higher values occurring in the boreal winter. The MLD values estimated in this work presenting good agreement with climatological MLD for the Atlantic.

Keywords: Atlantic Ocean. Ocean temperature. Mixed layer (MLD). AQUA satellite. MODIS Sensor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Camada de mistura.....	13
Figura 2 - CMS Monte Olivia.....	17
Figura 3 - CMS Rio de la Plata.....	17
Figura 4 - Rota de navegação dos navios de oportunidade que realizaram a coleta de dados com XBT.....	18
Figura 5 - Variação sazonal da MLD de 2008 a 2011 para as latitudes compreendidas entre 0° S - 2°S.....	22
Figura 6 - Campo global de anomalia da TSM em abril de 2009.....	23
Figura 7 - Campo global de anomalia da TSM em abril de 2010.....	23
Figura 8- Variação sazonal da MLD de 2008 a 2011 para as latitudes compreendidas entre 23.8° N e 24.9° N.....	25
Figura 9 - Variação sazonal da MLD de 2008 a 2011 para as latitudes compreendidas entre 35° N e 43° N.....	27
Figura 10 – Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) agosto de 2008, (b) setembro de 2008, (c) outubro de 2008 e (d) dezembro de 2008.....	29
Figura 11 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura abril de 2008.....	29
Figura 12 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) janeiro de 2009, (b) março de 2009.....	30
Figura 13 – Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) julho de 2009, (b) agosto de 2009, (c) setembro de 2009.....	31
Figura 14 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) fevereiro de 2009, (b) março de 2009, (c) setembro de 2009.....	32
Figura 15 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) junho de 2010, (b) agosto de 2010, (c) setembro de 2010 e (d) novembro de 2010.....	33
Figura 16 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) fevereiro de 2011, (b) abril de 2011, (c) maio de 2011 e (d) julho de 2011.....	34
Figura 17 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) agosto de 2011, (b) outubro de 2011 e (c) dezembro de 2011.....	34
Figura 18 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) abril de 2008, (b) abril de 2009, (c) abril de 2010 e (d) para abril de 2011.....	35
Figura 19 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) agosto de 2008, (b) agosto de 2009, (c) agosto de 2010 e (d) agosto de 2011.....	37
Figura 20 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura (a) dezembro de 2008, (b) dezembro de 2009, (c) dezembro de 2010 e (d) dezembro de 2011.....	38
Figura 21 - Temperatura XBT a 2,7m de profundidade e Temperatura da Superfície do Mar AQUA MODIS.....	39

Figura 22 - Diagrama de dispersão dos dados de TSM XBT x AQUA-MODIS	39
Figura 23 - Gráfico da Dispersão dos dados de TSM XBT x AQUA-MODIS.....	40
Figura 24 – Comparação entre a temperatura medida “ <i>in situ</i> ” pelo XBT e a estimada pelo modelo de regressão linear ($t_{xbt} = 1,02 tsm_modis - 1.05$).....	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivos Gerais.....	15
2.2. Objetivos Específicos.....	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
3.1. Aquisição de Dados.....	16
3.1.1. Dados coletados pelos navios.....	18
3.1.2. Dados de TSM.....	19
3.2. Área de Estudo.....	19
3.3. Análise de Dados.....	20
3.3.1. <i>Dados do XBT</i>	20
3.3.2. <i>Profundidade da Camada de Mistura</i>	20
3.3.3. <i>Dados de TSM XBT x MODIS</i>	20
3.3.4. <i>Análise estatística</i>	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1. Profundidade da Camada de Mistura (MLD) sazonal.....	22
4.1.1. <i>Ponto 1. (0,75° S a 2° S)</i>	22
4.1.2. <i>Ponto 2. (23.8° N a 24.9° N)</i>	24
4.1.3. <i>Ponto 3. (35° N a 43° N)</i>	26
4.2. Camada de Mistura X TSM intra-anual.....	28
4.3. CAMADA DE MISTURA X TEMPERATURA INTERANUAL.....	35
4.3.1. <i>ABRIL</i>	35
4.3.2. <i>AGOSTO</i>	36
4.3.3. <i>DEZEMBRO</i>	37
4.4. Análise de dados de TSM XBT x MODIS.....	38
5. CONCLUSÃO.....	42
REFERÊNCIAS.....	43

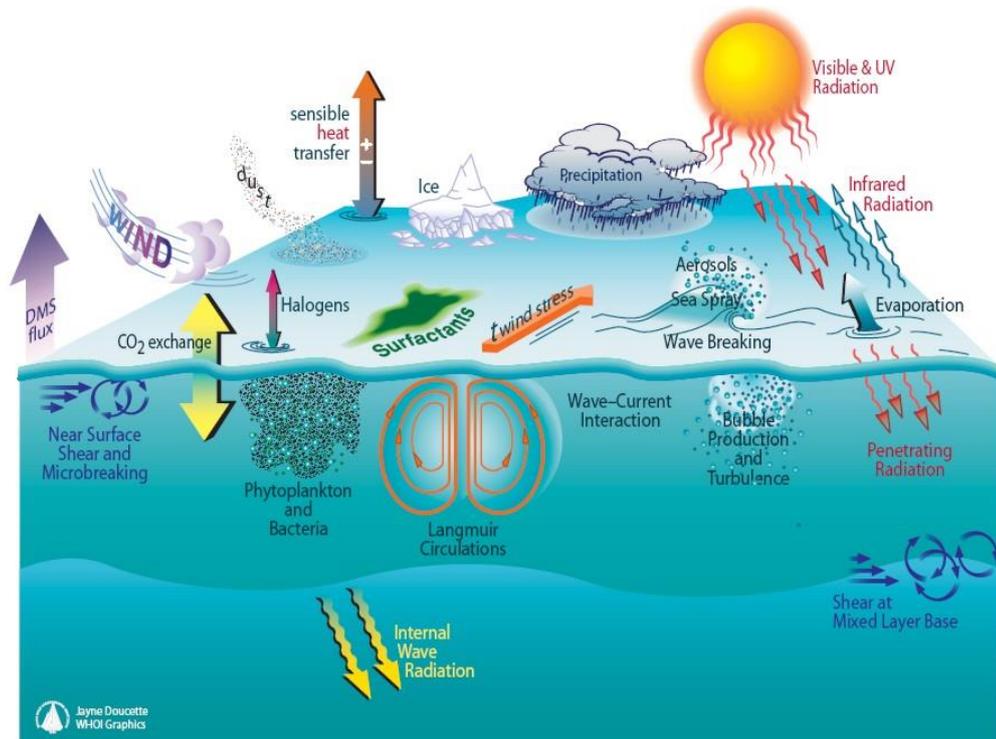
1. INTRODUÇÃO

A camada de mistura é resultado de vários processos atuantes na superfície do oceano, tais como ondas e turbulência causadas pelos ventos na superfície dos oceanos (KEERTHI *et al.*, 2012).

Segundo vários autores, essa camada é definida como a camada onde propriedades físicas, tais como temperatura, densidade e salinidade, são quase homogêneas (KARA *et al.*, 2000; LORBACHER *et al.*, 2006; BREUGEM *et al.*, 2008), e é importante para diversos processos que ocorrem no oceano e na troca com a atmosfera, como a produtividade primária e a troca de gases entre o oceano e a atmosfera (FIGURA 1)(LEVITUS, 1982; BRAINERD e GREGG, 1995, THOMPSON E FINE, 2002; KARA *et al.*, 2003; HOLTE e TALLEY, 2008; KEERTHI *et al.*, 2012).

A importância da MLD é explicada por Brainerd e Gregg (1995), em relação à produtividade primária, segundo eles a MLD é a camada onde temos a maior quantidade de luz e por consequência, nesta camada teremos uma maior produtividade, pois a luz é um fator limitante deste processo.

Figura 1 – Camada de mistura.



Fonte: Jayne Doucette, Woods Hole Oceanographic Institution.

Existem dois diferentes métodos para a determinação da profundidade da camada de mistura (MLD). O primeiro método pode ser definido com base na diferença de densidade ou temperatura da água em comparação com a superfície oceânica (LEVITUS, 1982; BRAINERD AND GREGG, 1995). Segundo Monterey e Levitus (1997), esse critério é o mais universal, pois pode ser aplicado em qualquer região do planeta, não necessitando da existência de uma termoclina. O segundo método baseia-se no gradiente de densidade ou temperatura, sendo que este método admite que a temperatura na superfície apresente pequena diferença em comparação à camada subjacente, e ainda que exista uma termoclina (LEVITUS, 1982).

A determinação da MLD pelo método da diferença de densidade se dá por uma diferença de 0,125 unidades de densidade em comparação à densidade da superfície do oceano. Já na determinação pelo método da diferença de temperatura teremos uma diferença de 0,5 °C da temperatura na profundidade de referência (LEVITUS, 1982; MONTEREY e LEVITUS, 1997; de BOYER MONTÉGUT *et al.*, 2004).

Segundo Brainerd e Gregg (1995), a definição da MLD baseada na diferença de densidade apresenta maior estabilidade nos resultados. Sendo assim, este é o parâmetro mais utilizado por diversos autores, uma vez que ao se determinar a MLD pela temperatura obtêm-se resultados menos precisos quando houver a presença de uma barreira de salinidade (LEVITUS, 1997; CHU e FAN, 2011).

Segundo de Boyer Montégut et al. (2004), o uso da temperatura é uma alternativa possível para estimar a MLD, uma vez que este parâmetro oceanográfico apresenta cobertura sazonal quase completa em todo o oceano.

Com base nos processos que ocorrem na MLD, uma análise da climatologia da MLD é importante para entender o sistema climático (de BOYER MONTÉGUT *et al.*, 2004).

O oceano Atlântico é o segundo maior oceano em extensão e contém um quinto das águas oceânicas. Tem grande importância para o clima dos continentes que o limitam, por ser um grande centro atmosférico de convecção (XIE e CARTON, 2004), sendo necessária a compreensão de processos climáticos. Sendo um estudo nessa área importante por contribuir com o conhecimento sobre o sistema climático.

Neste estudo nós usamos dados *in situ* com grande variação espacial, para calcular a MLD a partir de dados de temperatura, obtendo imagens da MLD no Oceano Atlântico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral, analisar a variabilidade sazonal e interanual da camada de mistura no oceano Atlântico a partir de dados coletados por navios de oportunidade no período de 2008 a 2011.

2.2. Objetivos Específicos

Estudar a variabilidade da camada de mistura e sua profundidade no oceano Atlântico;

Estudar a sazonalidade da camada de mistura;

Comparar os dados da profundidade mínima dos dados coletados pelos XBT com dados de temperatura da superfície do mar (TSM) geradas a partir dos dados obtidos pelo satélite pelo AQUA, sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer).

3. Materiais e Métodos

3.1. Aquisição de dados

3.1.1. Dados coletados pelos navios

De 2008 a 2011 realizou-se 31 cruzeiros para coleta de parâmetros oceanográficos, medidos através de XBT, a partir dos navios de oportunidade (TABELA 1), tais como o CMS Monte Olivia (FIGURA 2) e o e o CMS Rio de la Plata (FIGURA 3), estes são navios mercantes que prestam serviço as pesquisas. Estes navios cruzaram o oceano Atlântico (17.38° S – 47.09° N e 6.967° W – 34.783° W) (Figura 4), nesse período. Nestes cruzeiros foram utilizados batitermógrafos descartáveis (XBT – *eXpendable BathyThermograph*), para coletar dados dos perfis verticais de temperatura do oceano (de 0 a 800 m), de profundidade, pressão e tempo de descida do equipamento. Todos os dados coletados pelo XBT tiveram a sua posição georreferenciada, o que colaborou para alcançarmos os objetivos propostos para este trabalho.

Tabela 1 - Meses com aquisição de dados pelo XBT pelos navios de oportunidade.

Ano	2008	2009	2010	2011
Mês				
Janeiro	X	X		
Fevereiro	X		X	X
Março		X	X	
Abril	X	X	X	X
Maio	X			X
Junho			X	
Julho		X		X
Agosto	X	X	X	X
Setembro	X	X	X	
Outubro	X			X
Novembro		X	X	
Dezembro	X	X	X	X

Fonte: o autor.

Figura 2 - CMS Monte Olivia.



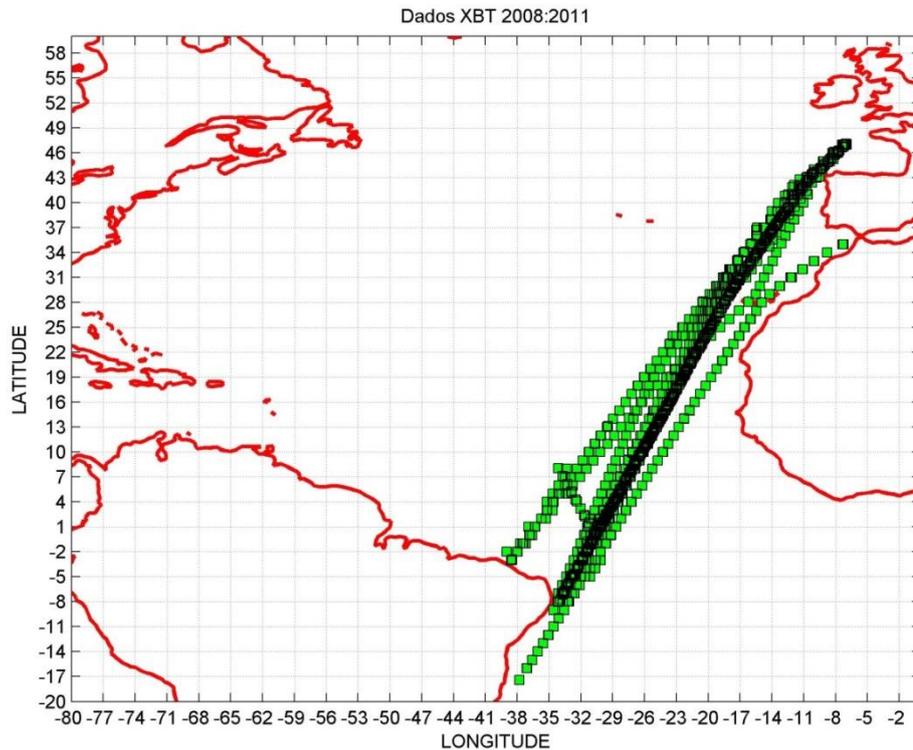
Fonte: Google.

Figura 3 - CMS Rio de la Plata.



Fonte: Google.

Figura 4 - Rota de navegação dos navios de oportunidade que realizaram a coleta de dados com XBT.



Fonte: o autor.

3.1.2. Dados de TSM

Os dados de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) foram extraídos do satélite AQUA, sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), por meio do Physical Oceanography Distributed Active Archive Center (PO.DAAC), encontrados no site <http://thredds.jpl.nasa.gov/las/getUI.do>. No nível três, são geradas, a partir do sensor MODIS (bandas espectrais 31 e 32 – o MODIS possui, no total, 36 bandas), a TSM utilizando os canais espectrais centrados em 11 e 12 μm , que correspondem às bandas do infravermelho termal do espectro eletromagnético. A largura da área observada é de 2.330 km e a quantidade de pixels na imagem varia para as distintas bandas. O MODIS possui, no nadir, resolução espacial de 250 m, apresentando resolução radiométrica de 12 bits e resolução temporal de 12 horas, sendo que o site mencionado acima disponibiliza os dados com resolução espacial de 4 km. O AQUA é um satélite de órbita polar sun-síncrona que orbita a terra a 860 km de altitude cruzando o equador às 13:30 h

(GMT) em orbita ascendente, ou seja, de sul para norte, adquirindo imagens em 36 bandas espectrais (para mais detalhes acessar: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/>).

3.2. Área de Estudo

O presente estudo compreende a região tropical do oceano Atlântico, de 17.38° S a 47.09° N e 6.967° W a 34.783° W.

Na região foram realizados oito cruzeiros de janeiro a dezembro dos anos de 2008 a 2010 e sete cruzeiros para o ano de 2011 (TABELA 2), cuja rota pode ser observada na figura 4.

Tabela 2 - Lista da distribuição dos cruzeiros por períodos e navios.

CRUZEIRO	DATAS	MEDIÇÕES	NAVIO
dajc023n_Jan08	10 – 16/01/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc804n_Feb08	19 – 26/02/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc810n_Apr08	01 – 08/04/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc816n_May08	13 – 20/05/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc828n_Aug08	06 – 12/08/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc834n_Sep08	17 - 23/09/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc840n_Oct08	29/10 – 04/11/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc846n_Dec08	08 – 14/12/2008	XBT	CMS Monte Olivia
dajc852n_Jan09	20 – 27/01/2009	XBT	CMS Monte Olivia
dajc906n_Mar09	3 – 10/03/2009	XBT	CMS Monte Olivia
dajc912n_Apr09	14 - 21/04/2009	XBT	CMS Monte Olivia
dmqn924n_Jul09	7 – 14/05/2009	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn930n_Aug09	18 - 25/08/2009	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn936n_Sep09	30/09 - 07/10/2009	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn942n_Nov09	11 – 17/11/2009	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn948n_Dec09	22 - 29/12/2009	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn001n_Feb10	02 – 09/02/2010	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn007n_Mar10	16 – 23/03/2010	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn013n_Apr10	27/04 – 04/05/2010	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn019n_Jun10	13 - 21/06/2010	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn026n_Aug10	01 – 10/08/2010	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn033n_Sep10	21 – 28/09/2010	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn040n_Nov10	08 - 16/11/2010	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn047n_dec10	26/12/2010 – 04/01/2011	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn102n_Feb11	13 - 22/02/2011	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn109n_Apr11	02 – 09/04/2011	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn116n_May11	20 - 28/05/2011	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn123n_Jul11	08 - 16/07/2011	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn130n_Aug11	29/08 – 06/09/2011	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn137n_Oct11	17 - 25/10/2011	XBT	CMS Rio de La Plata
dmqn144n_Dec11	04 - 13/12/2011	XBT	CMS Rio de La Plata

Fonte: o autor.

3.3. Análise de Dados

3.3.1. Dados do XBT

Os dados dos XBT estavam inicialmente separados por ponto de coleta e indicando o cruzeiro no qual o dado foi coletado. Estes foram, posteriormente, organizados de forma a gerar um único arquivo para cada mês. Em seguida os dados foram processados com finalidade de gerar imagens da temperatura em toda a profundidade coletada pelo XBT.

3.3.2. Profundidade da Camada de Mistura

Os arquivos mensais, gerados com base nos dados dos XBT, foram processados para gerar os valores da profundidade da camada de mistura (MLD), temperatura na MLD, e latitude e longitude de cada ponto de coleta. A MDL foi determinada por Brainerd e Gregg (1995), Monterey e Levitus (1997), Prince *et al.* (1986) e Foltz *et al.* (2003), utilizando a equação 1. Estes autores consideraram uma diferença de 0,5° de temperatura em uma profundidade do perfil vertical em relação à temperatura de referência. Segundo Kara *et al.* (2000), este é o valor mais amplamente utilizado para este cálculo e o valor que foi utilizado neste trabalho. Para este estudo a profundidade de referencia utilizada foi de 2,07 m, valor referente à mínima profundidade coletada pelo XBT.

$$T_{mld} = T_r - 0.5^\circ C \quad (1)$$

onde T_{mld} é a temperatura na profundidade da camada de mistura, T_r é a temperatura de referência, que para este trabalho foi encontrada a 2,07 m.

O passo seguinte foi gerar imagens da MLD para estudar a sua variação sazonal.

3.3.3. Dados de TSM XBT x MODIS

Os dados de TSM obtidos do satélite AQUA/MODIS foram organizados em um arquivo único, junto aos dados referentes às mesmas coordenadas geográficas

dos coletados pelo XBT. A partir deste arquivo foi feito o processamento dos dados correlacionando os dados de TSM do XBT com os dados de TSM do AQUA - MODIS.

3.3.4. Análise estatística

Com base nos dados de temperatura e MLD foram calculados as médias, máximo, mínimo, desvio padrão e desvio médio mensal e anual dos dados.

Com finalidade de comparação entre as medidas realizadas pelo XBT e os dados de satélites (AQUA/MODIS), foram utilizados os índices de erros habituais: erro médio quadrático (RMSE), o erro médio absoluto (MAE) e o erro médio (ME), além do desvio padrão (σ). O RMSE foi calculado seguindo a definição de Pielke (1984), equação 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \phi_{iObs})^2}{N}} \quad (2)$$

onde ϕ_i é o valor previsto (MODIS), ϕ_{iObs} é o valor observado (XBT) e N é o número de valores analisados. O MAE e o ME foram calculados de acordo com as equações 2 e 3. Estas duas equações abaixo se diferenciam, por que na primeira equação utilizamos o valor absoluto.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |\phi_i - \phi_{iObs}|}{N} \quad (3)$$

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^N (\phi_i - \phi_{iObs})}{N} \quad (4)$$

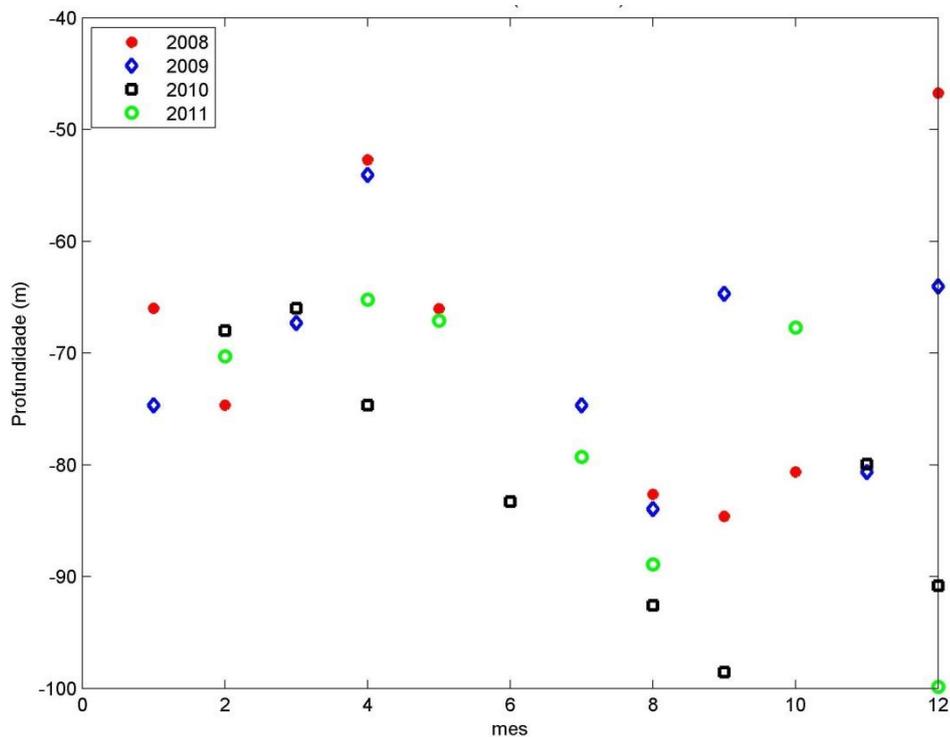
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Profundidade da Camada de Mistura (MLD) sazonal

4.1.1. Área 1. (0,75° S a 2° S)

Na figura 5 podemos observar a variação sazonal da MLD para latitude 0,75° S a 2° S.

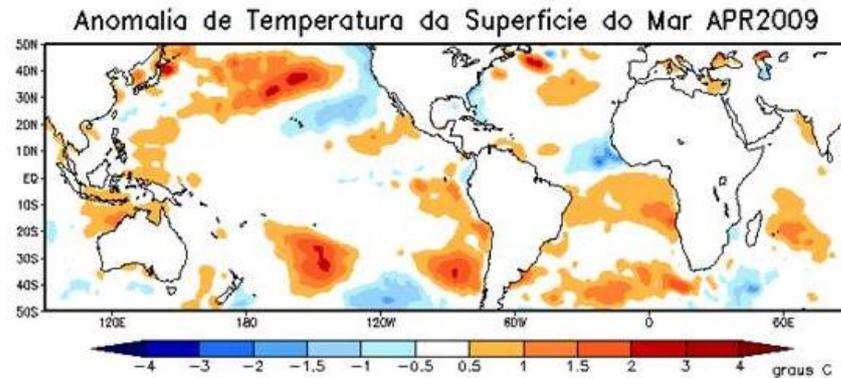
Figura 5 - Variação sazonal da MLD de 2008 a 2011 para as latitudes compreendidas entre 0° S - 2°S.



Fonte: o autor.

De acordo com a figura 5, o ano de 2011 apresenta os maiores valores da MLD para os meses de fevereiro, maio, agosto, setembro, outubro e dezembro, estando apenas o mês de abril com valores de MLD menor que nos anos de 2010 e 2009. Isso pode ser explicado pelas anomalias positivas de TSM que ocorreram neste ponto em 2009 e 2010, como pode ser visto na figura 6 e 7.

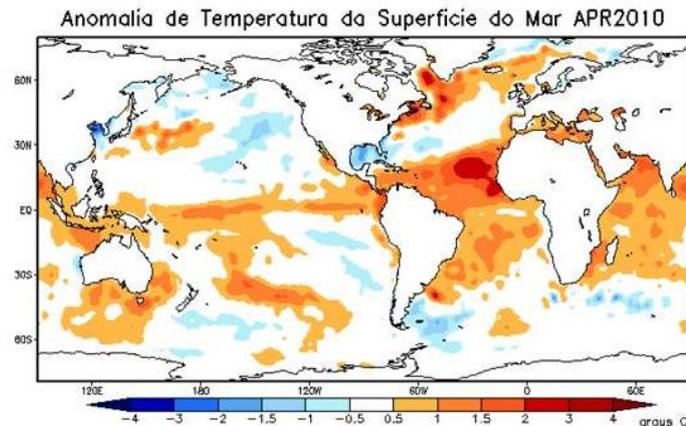
Figura 6 - Campo global de anomalia da TSM em abril de 2009



Fonte: INPE/CPTEC.

Na figura 6, podemos observar na costa africana, de 0° - 10° N, uma anomalia negativa (FIGURA 4) de até -3°C . Da costa africana (0° - 20° S) a costa brasileira (em torno de 10° S) observamos anomalia positiva de até 2°C .

Figura 7 - Campo global de anomalia da TSM em abril de 2010.



Fonte: INPE/CPTEC.

Na figura 7, podemos observar que para o ano de 2010 temos uma anomalia positiva na região do Atlântico tropical, com valores até 3°C na porção norte e até 1.5°C na porção sul, ocorrendo também, acima 40° N no Atlântico, variando de 1°C a 3°C . Segundo Lefèvre *et al.* (2013), essa anomalia da temperatura ocorre em consequência de uma forte Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) positiva juntamente ao fraco efeito da Oscilação do Atlântico Norte (NAO) e aos efeitos do El Niño que ocorreu no ano de 2009, que continuaram atuando sobre a região durante a primavera boreal.

O ano de 2010 apresenta maior valor de MLD que nos anos de 2008 e 2009 para o mês de setembro, tendo MLD próxima a 100 metros. Os valores encontrados para este mês estão de acordo com os encontrados por TANGUY *et al.* (2010) para o mesmo ponto, pelo ARAMIS 5 e ARAMIS 11 (navios de oportunidade) em 2004 em 2007, respectivamente.

Nos meses de abril e agosto, onde temos dados para os quatro anos, o ano de 2008 apresenta a MLD com os menores valores, sendo estes abaixo de 50 metros. Isto não ocorre no mês de dezembro, que também apresenta dados para os quatro anos, sendo a MLD referente ao ano de 2008 com valor próximo a 100 m e a menor MLD é referente ao ano de 2011.

No ano de 2011 observamos uma maior variação da MLD, sendo seu valor mínimo, menor que 50 metros, nos meses de abril e maio, e seu valor máximo próximo a 100 metros, no mês de agosto.

O mês de outubro apresenta MLD em 2008, próximas a 60 m de profundidade valores similares aos encontrados por TANGUY *et al.* (2010), o que também é visto para o mês de maio de 2011.

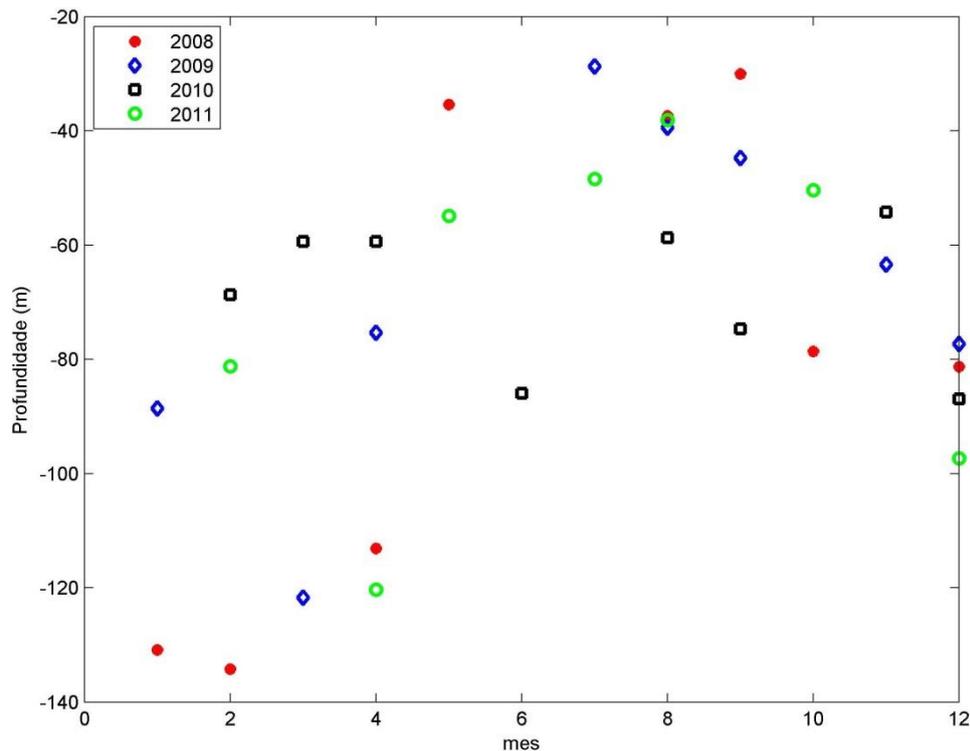
A variação da MLD dentro do ciclo anual, para esse transecto, apresenta baixos valores, com MLD de no máximo 100 m. Os valores encontrados da MLD, para esse transecto, estão em concordância com os valores encontrados por MIGNOT *et al.* (2007). Essa região não apresenta variação da MLD dentro do ciclo anual pelas estações do ano, mas sim, em relação à posição da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT), a qual influencia a profundidade da camada de mistura nesta região, por causar uma maior atividade convectiva onde estiver situada.

4.1.2. Área 2. (23.8° N a 24.9° N)

Para este transecto (FIGURA 8), o ano de 2008 apresenta o maior valor para MLD, sendo estes nos meses de janeiro e fevereiro. Isso está relacionado à estação do ano, no caso por ser inverno boreal. Segundo de BOYER MONTÉGUT *et al.* (2004), existe uma forte atuação do ciclo sazonal nos subtrópicos em médias

latitudes, sendo o valor da MLD no inverno semelhante aos determinados para este ponto para no ano de 2008. A maior variação da MLD dentro do ciclo anual pode ser observada no ano de 2008, nos meses de janeiro e fevereiro, onde seu valor máximo é próximo a 150 metros e seu valor mínimo é de 50 metros sendo referente ao mês de setembro.

Figura 8- Variação sazonal da MLD de 2008 a 2011 para as latitudes compreendidas entre 23.8° N e 24.9° N.



Fonte: o autor.

Nos meses de abril e dezembro o valor da MLD é maior para o ano de 2011, sendo aproximadamente 120 e 100 metros, respectivamente. Considerando mês de agosto, o maior valor observado da MLD é referente ao ano de 2010. Observa-se ainda que o ano de 2010 apresenta uma menor variação no ciclo anual da MLD, com seus valores sendo definidos no intervalo entre 50 e 100 metros. Os baixos valores da MLD no mês de agosto, possivelmente, estão relacionados ao verão boreal a ao evento de Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO) que ocorreu durante este ano (Lefèvre, 2013 *et al*). O fenômeno AMO causou uma anomalia positiva na TSM no oceano Atlântico, como um aumento na TSM influencia na determinação da MLD, visto que para este estudo sua determinação foi feita a

partir de dados de temperatura do oceano. Isso também ocorre no verão, por nessa estação observarmos altas TSM.

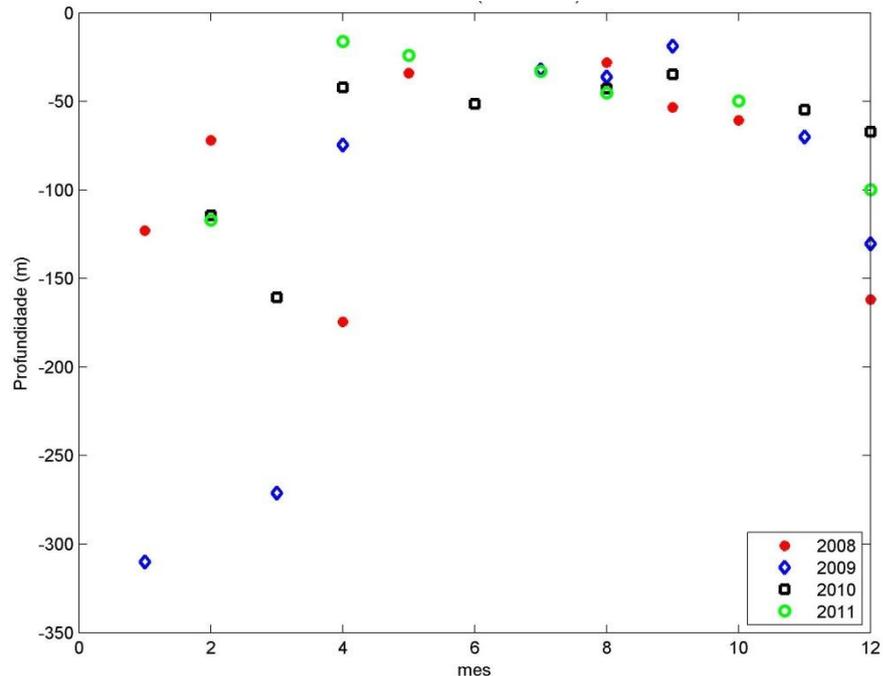
O menor valor da MLD pode ser observado para o ano de 2009, durante o mês de julho, mês que se enquadra no verão. Isso ocorre devido ao verão boreal, onde os valores de MLD no geral são menores para a região, como pode ser observado na figura 6. Tendo em vista que no verão temos uma maior estratificação da temperatura na coluna d'água, isto implica numa maior variabilidade de temperatura e assim uma menor MLD, visto que esta é definida como uma camada com propriedades físicas quase homogêneas. Este valor assemelha-se ao valor encontrado por de BOYER MONTÉGUT *et al.* (2004).

A análise no oceano Atlântico Tropical apresenta-se em concordância com Foltz e McPhaden (2009) e Carton *et al.* (2008), onde os valores da MLD são maiores durante o inverno e primavera boreal, de dezembro a maio, como pode ser visto na figura 8.

4.1.3. Área 3. (35° N a 43° N)

Neste ponto (FIGURA 9) é possível observar que ocorre uma maior variação da MLD dentro do ciclo anual. Isso, provavelmente, acontece devido à influência da sazonalidade que ocorre nesta região. O efeito da sazonalidade atuante no inverno em médias latitudes ocorre devido a uma intensificação da ação dos ventos sobre a superfície oceânica, que por consequência, gera uma maior turbulência no oceano e assim uma camada de mistura mais profunda. No inverno, foram observados, os maiores valores para MLD, onde dezembro de 2008, 2009 e 2011 apresentaram MLD de 160, 140 e 100 m, respectivamente. Para o mês de janeiro de 2008 e 2009 a MLD ficou próxima a 150 e 300 m, respectivamente. Os valores encontrados para o inverno neste ponto estão de acordo com os encontrados por DE BOYER MONTÉGUT *et al.* (2004); KARA *et al.* (2003).

Figura 9 - Variação sazonal da MLD de 2008 a 2011 para as latitudes compreendidas entre 35° N e 43° N.



Fonte: o autor.

Para o mês de abril a maior MLD é referente ao ano de 2008, sendo próxima a 200 metros. E a menor é referente ao ano de 2011 sendo aproximadamente 30 metros. Esse é também a menor MLD para todos os meses dos quatro anos.

No mês de agosto a MLD de 2008 a 2011 é menor que 50 metros, sendo estes valores estão em concordância com os dados analisados e obtidos por DE BOYER MONTÉGUT *et al.* (2004).

O ano de 2010 apresenta os menores valores para MLD, de uma forma geral, quando comparado aos outros anos, sendo o mês de abril uma exceção, o qual tem sua MLD maior no ano de 2011.

A maior MLD durante o período do estudo é referente ao mês de janeiro de 2009, com valor aproximado a 310 metros.

O ano de 2009 apresenta os maiores valores de MLD quando comparado aos demais anos do estudo, bem como a maior variação anual, sendo seu valor máximo, aproximadamente, 310 metros em janeiro e mínimo 20 metros em setembro.

O ano de 2011 apresenta a menor variação no ciclo anual, tendo seu valor máximo em fevereiro, aproximadamente, 120 metros e mínimo em abril, aproximadamente, 20 metros.

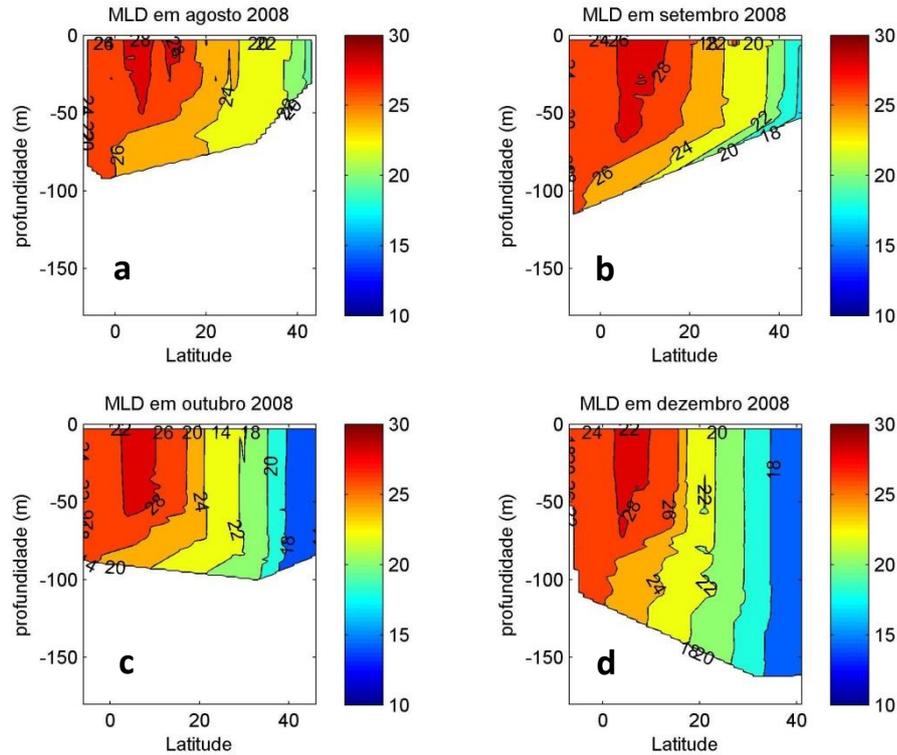
Para o ano de 2011, os valores encontrados nos meses de maio e dezembro apresentam valores aproximados aos encontrados por Kara *et al.* (2003). Bem como janeiro e maio de 2008, março e novembro de 2009 e setembro e novembro de 2010. Os valores não são iguais aos encontrados em Kara *et al.* (2003), pois deve-se levar em consideração as variações de temperatura para cada ano em que são feitos os estudos e os diferentes métodos utilizados nos dois trabalhos.

4.2. Camada de Mistura X TSM intra-anual

Para o ano de 2008 podemos observar que o mês de agosto (FIGURA 10 a) é o que apresenta as maiores temperaturas, com média mensal de 25,24 °C, e por conseqüências os menores valores da MLD, média mensal de 40,1 m, sendo a máxima MLD de 93 m de profundidade, correspondente a 26,12 °C de temperatura estando este ponto no hemisfério sul, a 2.6° S. No hemisfério norte a MLD apresenta-se menor que no equador, por volta de 20 m de profundidade e com temperatura de 20 °C.

Nos meses de setembro (FIGURA 10 b), outubro (FIGURA 10 c) e dezembro (FIGURA 10 d) as temperaturas na MLD também são maiores que nos demais meses, entretanto nos dois últimos temos uma maior variação latitudinalmente, meses nos quais a isoterma de 28 °C vai do ponto coletado mais extremo ao sul, 6° S, até aproximadamente 15° N. O menor valor de temperatura na MLD para esses meses se encontram acima de 35° N, sendo 14 °C.

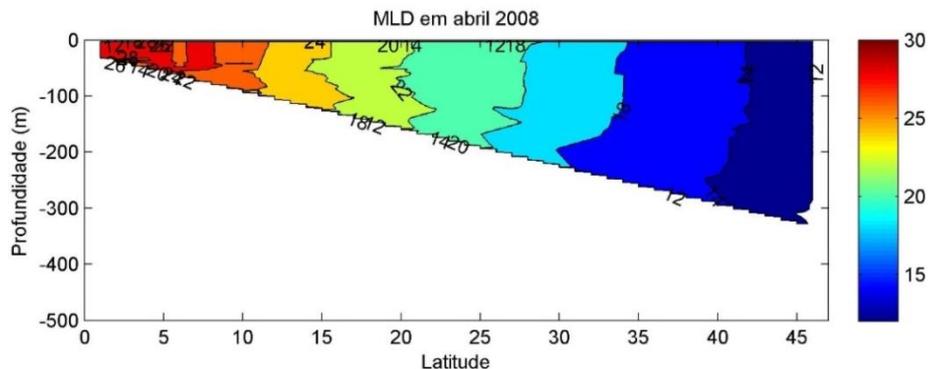
Figura 10 – Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) agosto de 2008, (b) setembro de 2008, (c) outubro de 2008 e (d) dezembro de 2008.



Fonte: o autor.

O mês de abril de 2008, representado na figura 11, apresenta a maior camada de mistura nas médias latitudes, tendo temperatura de 12 °C na MLD. Para este mês a temperatura da água na MLD não ultrapassa 26 °C.

Figura 11 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico abril de 2008.

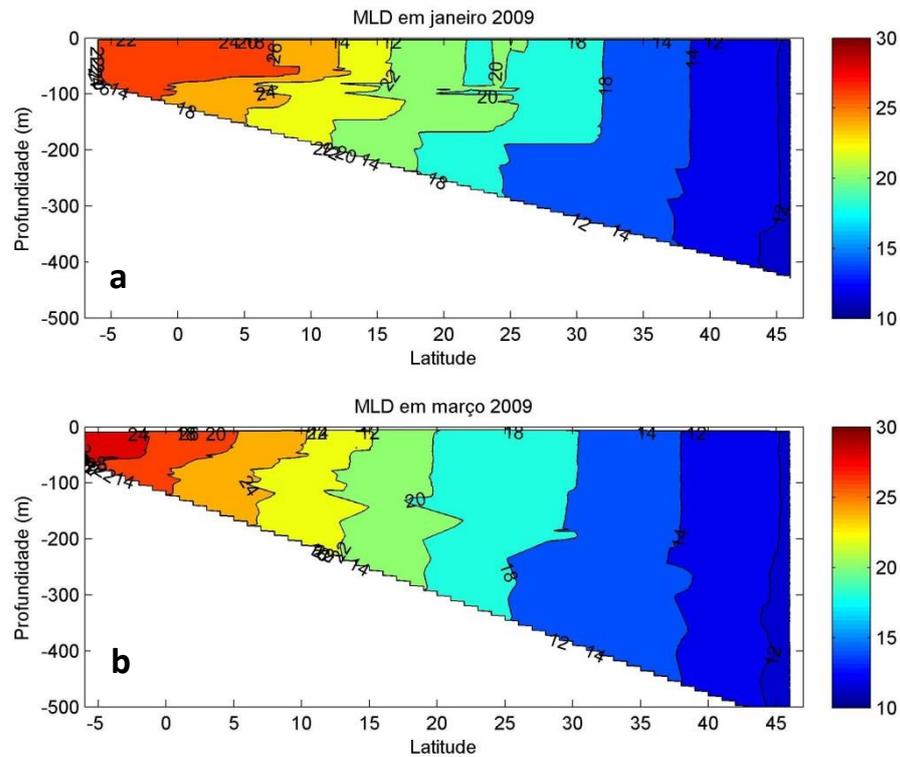


Fonte: o autor.

Os meses de janeiro (FIGURA 12 a) e março de 2009 (FIGURA 12 b) apresentam as maiores variações meridionais na temperatura, sendo que em 6° S a

temperatura é de 26 °C e 28 °C, respectivamente, e a 44° N 12 °C, para os dois meses. As médias mensais da MLD são, respectivamente, 133 m e 142 m.

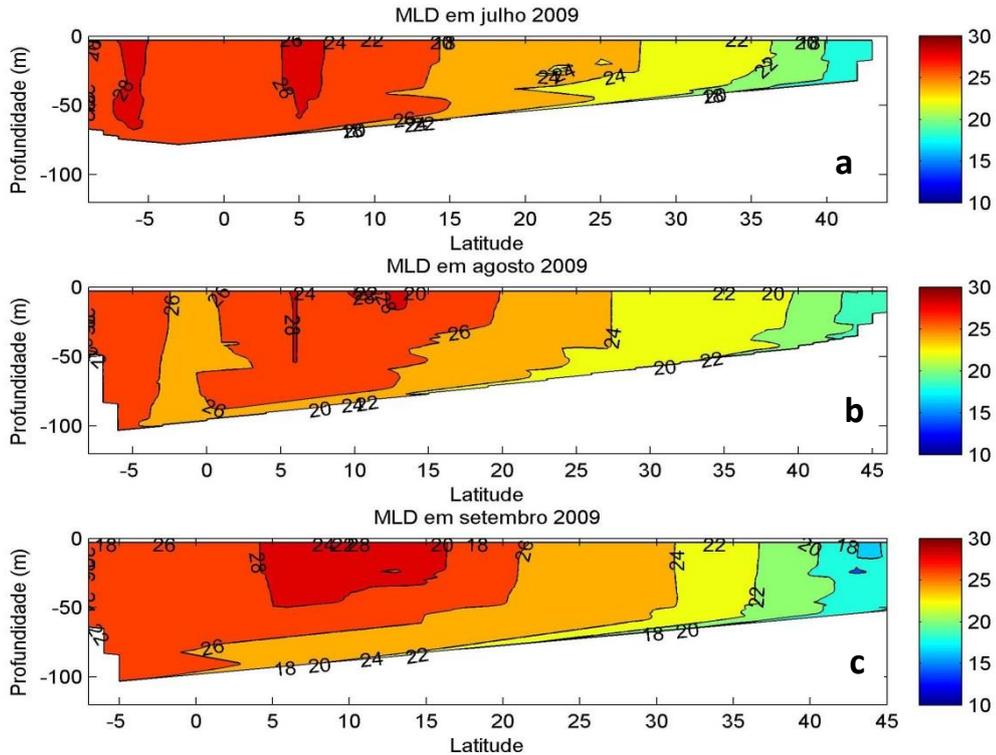
Figura 12 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) janeiro de 2009, (b) março de 2009.



Fonte: o autor.

Para o ano de 2009, os meses de julho (FIGURA 13 a), agosto (FIGURA 13 b) e setembro (FIGURA 13 c) são os mais quentes, sendo julho o mês que apresentou os menores valores de MLDs, estando todas abaixo de 80 m, tendo a mínima 20 m de profundidade, e com os menores valores de temperatura, estando à máxima em 26 °C e a mínima de 18 °C.

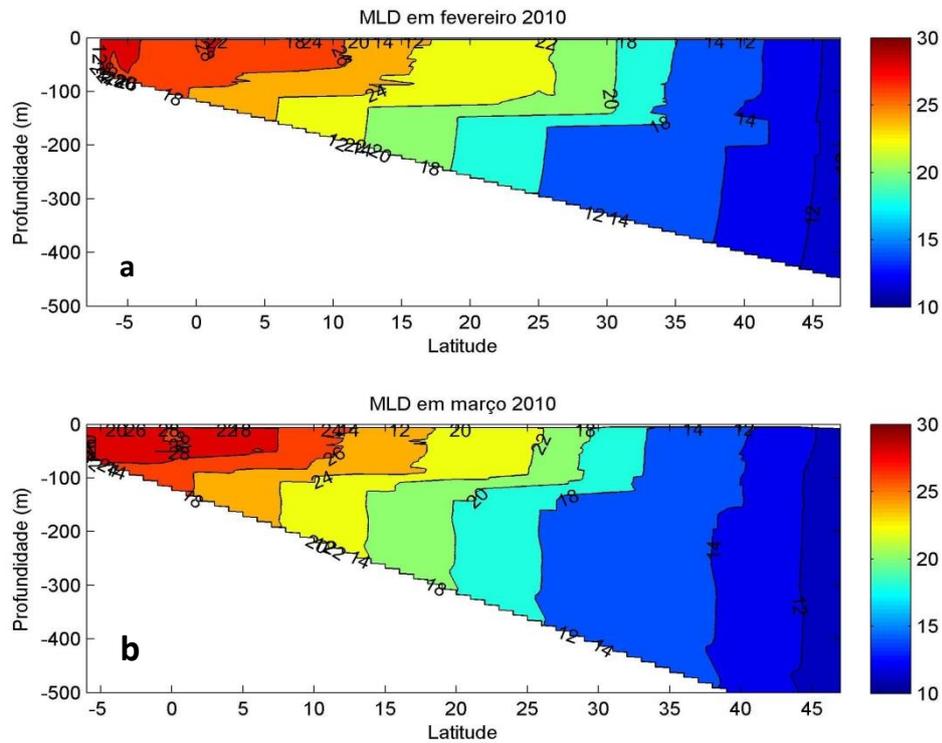
Figura 13 – Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) julho de 2009, (b) agosto de 2009, (c) setembro de 2009.



Fonte: o autor.

Para o ano de 2010, os meses de fevereiro (FIGURA 14 a) e março (FIGURA 14 b) apresentam certa similaridade em relação a variação latitudinal da temperatura, de 28 °C no extremo sul dos pontos de coleta, por volta de 5° S, e 14 °C no ponto mais ao norte, por volta de 40° N. Para esses meses a MLD apresenta o menor e maior valor em março, sendo 18 m e 578 m, respectivamente.

Figura 14 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) fevereiro de 2009, (b) março de 2009, (c) setembro de 2009.

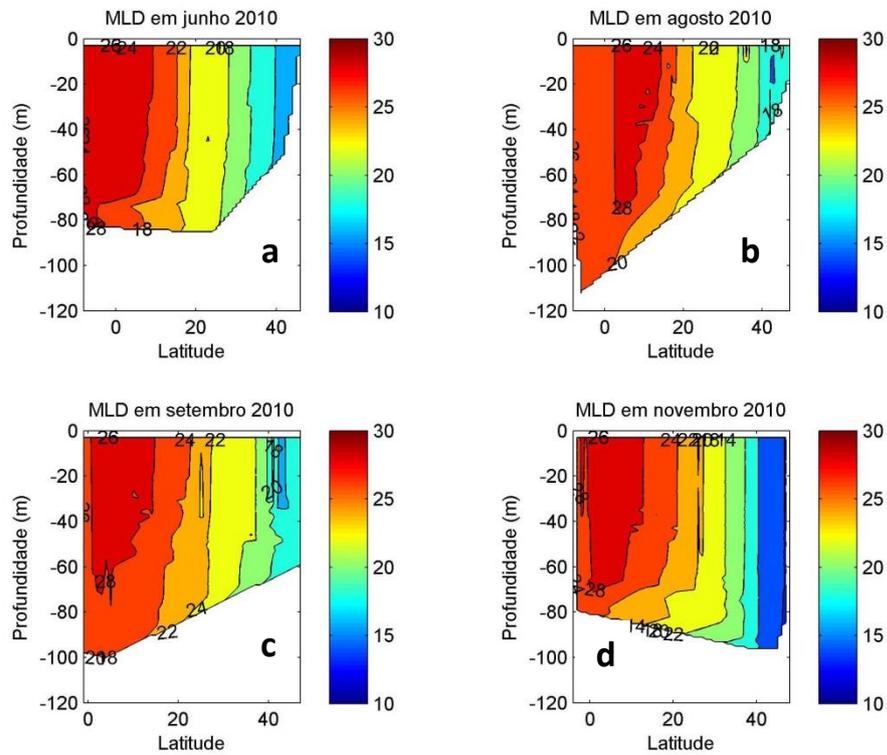


Fonte: o autor.

Os meses de junho (FIGURA 15 a), agosto (FIGURA 15 b), setembro (FIGURA 15 c) e novembro (FIGURA 15 d) apresentam a isoterma de 26 °C bem espalhada, a qual vai do ponto de coleta mais extremo ao sul e se aproxima de 20° N. A média mensal da temperatura para esses meses é, respectivamente, de 24,4 °C, 25,5 °C, 25,14 °C, 23,32 °C. O menor valor de temperatura foi encontrado no mês de novembro, em 45° N, sendo de 12 °C. Os demais meses citados variam de 28 °C a 16 °C.

O mês de fevereiro de 2011 (FIGURA 16 a) mostra uma maior variação nos perfis de temperatura, variando de 28 °C, em 2° S, onde temos a menor MLD, em torno de 50 m, a 12 °C em 43° N, com a maior MLD, em torno de 506 m. A média mensal da MLD é de 116 m e da temperatura é de 19 °C.

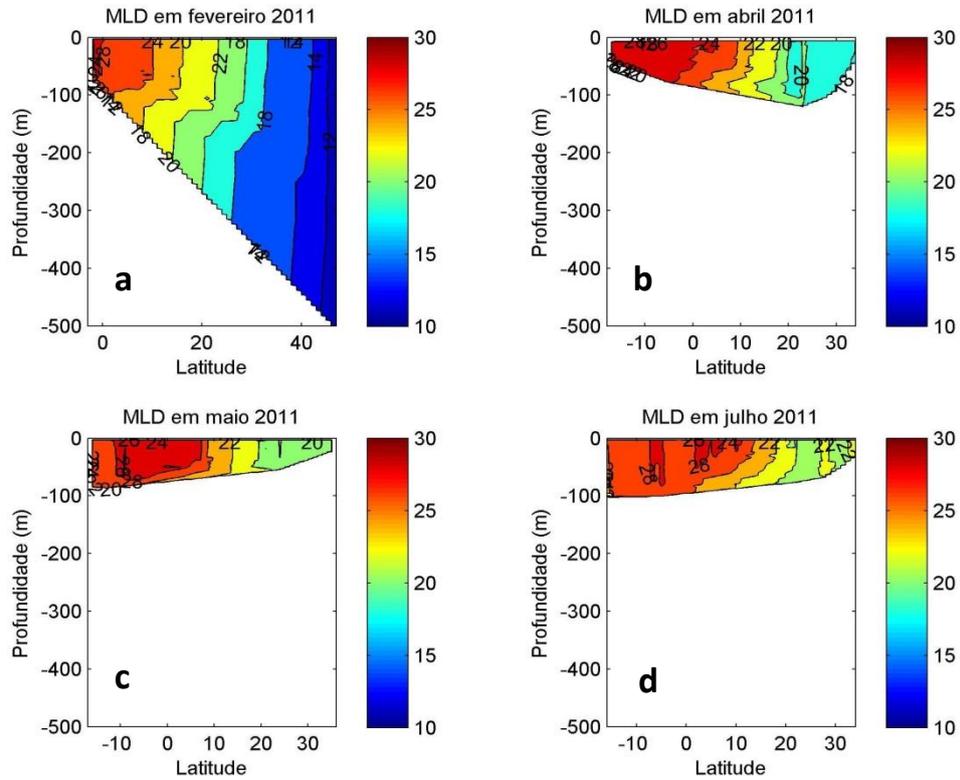
Figura 15 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) junho de 2010, (b) agosto de 2010, (c) setembro de 2010 e (d) novembro de 2010.



Fonte: o autor.

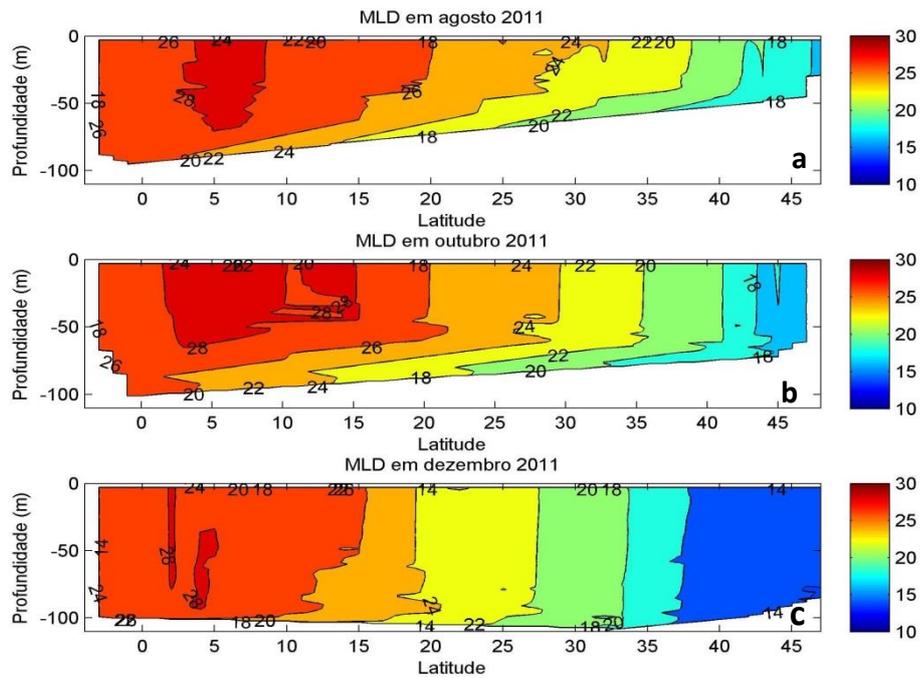
Os meses de abril (FIGURA 16 b), maio (FIGURA 16 c), julho (FIGURA 16 d), agosto (FIGURA 17 a), outubro (FIGURA 17 b) e dezembro (FIGURA 17 c) apresentam-se mais aquecidos, com temperatura máxima de 29,5 °C, 29,03 °C, 28,37 °C, 28,72 °C, 29,09 °C e 28,16 °C, em relação ao mês de fevereiro, com temperatura máxima de 28,03 °C. Nesses as máximas MLD nos pontos próximos ao equador, são referentes a julho (102 m) e outubro (101 m), e em torno de 25° N são para o mês de abril (104 m) e dezembro (101 m).

Figura 16 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) fevereiro de 2011, (b) abril de 2011, (c) maio de 2011 e (d) julho de 2011.



Fonte: o autor.

Figura 17 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) agosto de 2011, (b) outubro de 2011 e (c) dezembro de 2011.



Fonte: o autor.

4.3. CAMADA DE MISTURA X TEMPERATURA INTERANUAL

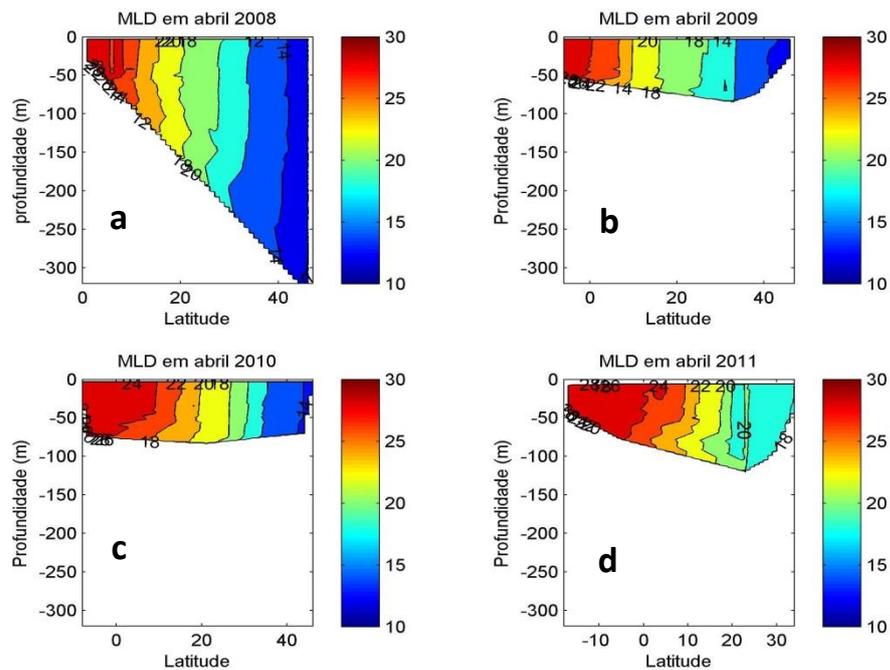
4.3.1. ABRIL

Considerado a mesma variação latitudinal para o mês de abril ao longo dos quatro anos de coleta de dados, temos que o ano de 2008 apresenta uma maior variabilidade da camada de mistura variando de 30 a 250 (m) (FIGURA 18 a).

No ano de 2009 (FIGURA 18 b), o maior valor da MLD não ultrapassa os 84 metros a 33° N, e seu menor valor foi de 10,7 metros em 43° N.

O ano de 2010 é o ano que apresenta a camada de mistura mais aquecida (FIGURA 18 c), onde a MDL máxima para abril é de 83 metros em 21° N. E sua mínima é de 14 metros, em 38° N. Essa menor variabilidade da MLD possivelmente está relacionada ao evento de El Niño que ocorreu para este período, o que ocasionou anomalias positivas em toda região de coleta de dados, como pode ser observado na figura 7, tendo assim uma maior estratificação da temperatura na água do mar.

Figura 18 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) abril de 2008, (b) abril de 2009, (c) abril de 2010 e (d) para abril de 2011.



Fonte: o autor.

Em 2011 (FIGURA 18 d), temos uma menor variação da temperatura, onde em torno de 10° S a 5° S a temperatura é de 28 °C. E de 20° N a 30° N a temperatura é de 16 °C. A maior MLD é em 20° N, com valor de 120,3 metros. A menor MLD é em 25° N, com valor de 12,3 metros.

4.3.2. AGOSTO

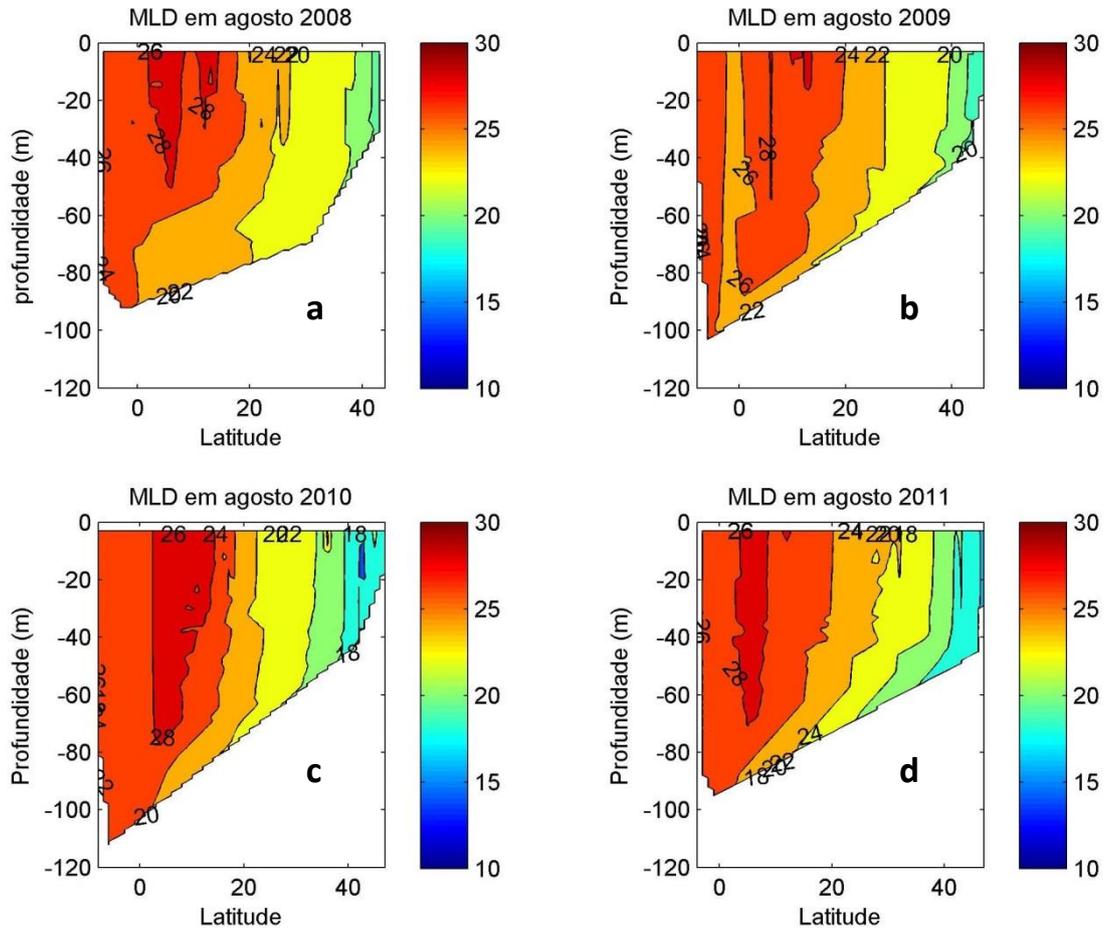
Em todos os anos o mês de agosto apresenta-se de forma similar (FIGURA 19). Isto pode estar relacionado a este ser mês de verão boreal, o que torna estas regiões mais aquecidas.

Em 40° N temos anomalia positiva para os anos de 2008 (FIGURA 19 a), 2009 (FIGURA 19 b) e 2011, onde as temperaturas foram de 20 °C para os três anos. Em 2010 (FIGURA 19 c), 40° N está em torno da climatologia, sendo assim a temperatura é de 18 °C.

Nos anos de 2008 e 2011 (FIGURA 19 d) temos os menores valores de MLD, mínimas de 14 m e 9 m, com máximas de 93 m e 95 m, respectivamente.

O mês de agosto de 2010, temos a maior média de temperatura na camada de mistura (25,5 °C), em relação a todo o ano de 2010 e, também, aos meses de agosto nos anos de 2008, 2009 e 2011. Este aumento, no valor da média, pode estar relacionado ao evento de AMO em 2010, descrito por Lefèvre *et al.* (2013) e ao verão boreal.

Figura 19 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) agosto de 2008, (b) agosto de 2009, (c) agosto de 2010 e (d) agosto de 2011.



Fonte: o autor.

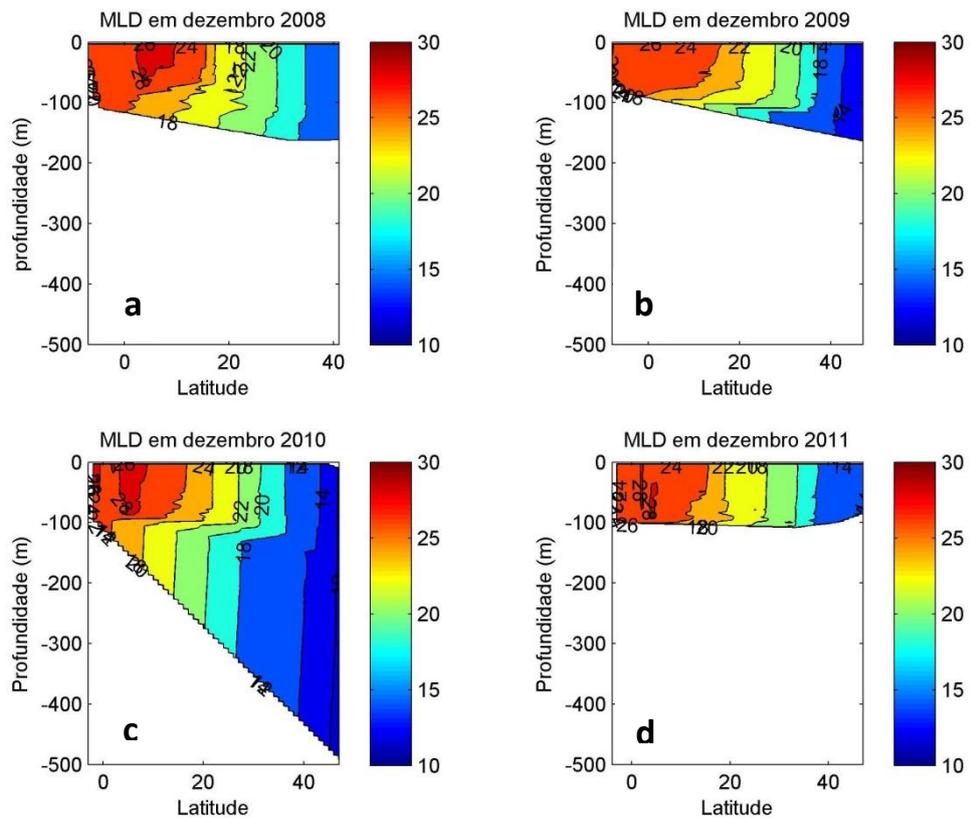
4.3.3. DEZEMBRO

Entre 5° S e 40° N, o mês de dezembro, para todos os anos, apresenta-se de forma similar (FIGURA 20). Com valores máximos, mais ao Norte, próximos a 100 m.

O mês de dezembro no ano de 2009 (FIGURA 20 b) apresenta temperaturas no Atlântico equatorial em média de 26 °C, com MLD média de 64 metros. A máxima MLD para este ano é encontrada em médias latitudes, 40° N com 108 metros. Como nessa região é inverno, encontraremos MLD com valores altos. Em 2010 (FIGURA 20 c), os valores da temperatura para as médias latitudes se encontram em torno da climatologia para essa estação o que nos dá uma temperatura de 16 °C e MLD de, no máximo, 114 m.

Em 2011 (FIGURA 20 d), encontra-se em torno da climatologia para a região de coleta dos dados, com poucos pontos de anomalia positiva na TSM na região por volta de 40° N, mas isso não acarreta em grandes diferenças na MLD para a região, que terá valor em torno de 90 m. Este ano apresenta a menor média mensal para os anos de coleta em dezembro, com valor de 75 m.

Figura 20 - Temperatura do oceano com limite na profundidade da camada de mistura no oceano Atlântico (a) dezembro de 2008, (b) dezembro de 2009, (c) dezembro de 2010 e (d) dezembro de 2011.

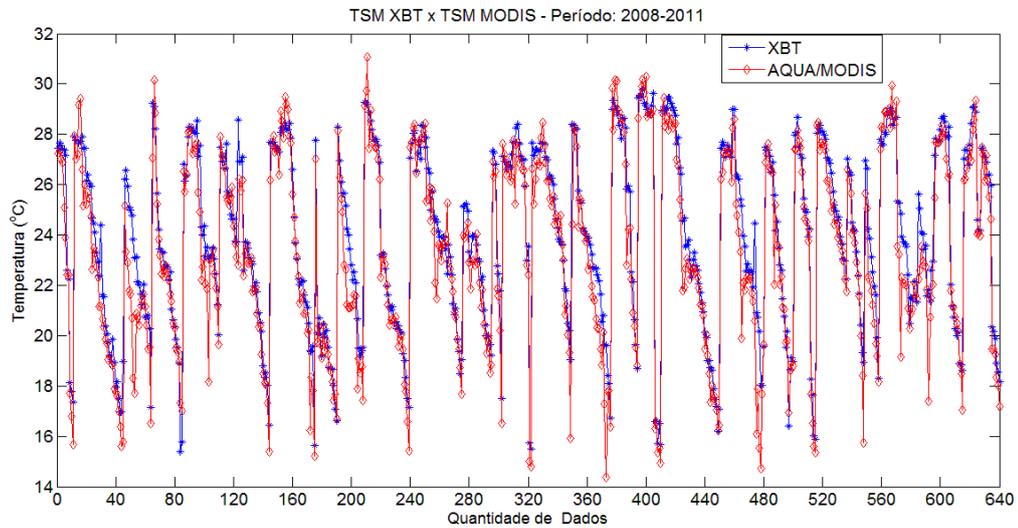


Fonte: o autor.

4.4. Análise de dados XBT x Sensor MODIS

Com finalidade de avaliar a correlação entre os dados de temperatura medidos pelo XBT e aqueles gerados a partir das imagens de TSM AQUA/MODIS, gerou-se o gráfico apresentado na figura 21.

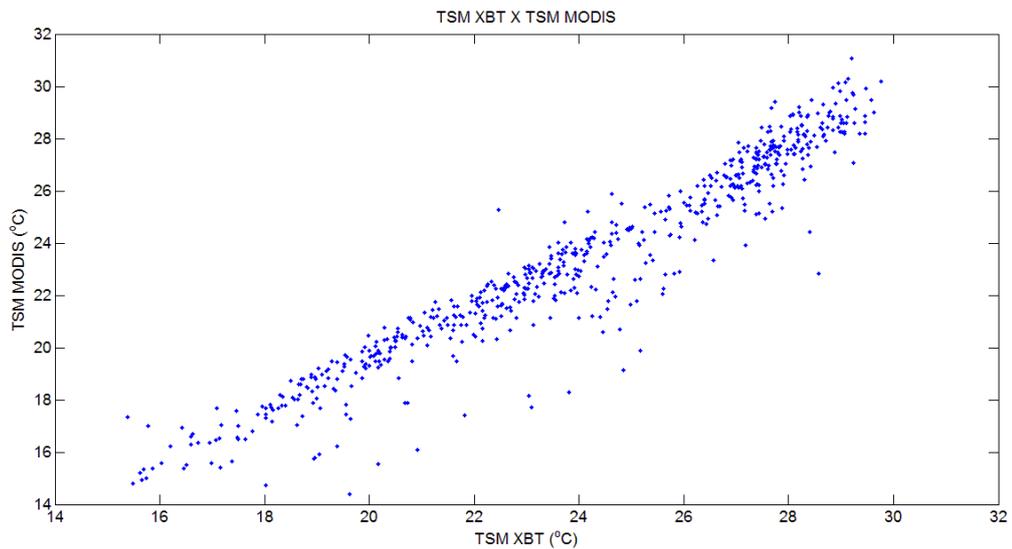
Figura 21 - Temperatura XBT a 2,7m de profundidade e Temperatura da Superfície do Mar AQUA MODIS.



Fonte: o autor.

Uma vez que foi verificado que existe uma boa concordância entre os dados de TSM/AQUA/MODIS e os obtidos pelo XBT (*in situ*) a 2,7 m de profundidade, foi gerado um diagrama de dispersão para ver a tendência dos dados (FIGURA 22).

Figura 22 - Diagrama de dispersão dos dados de TSM XBT x AQUA-MODIS

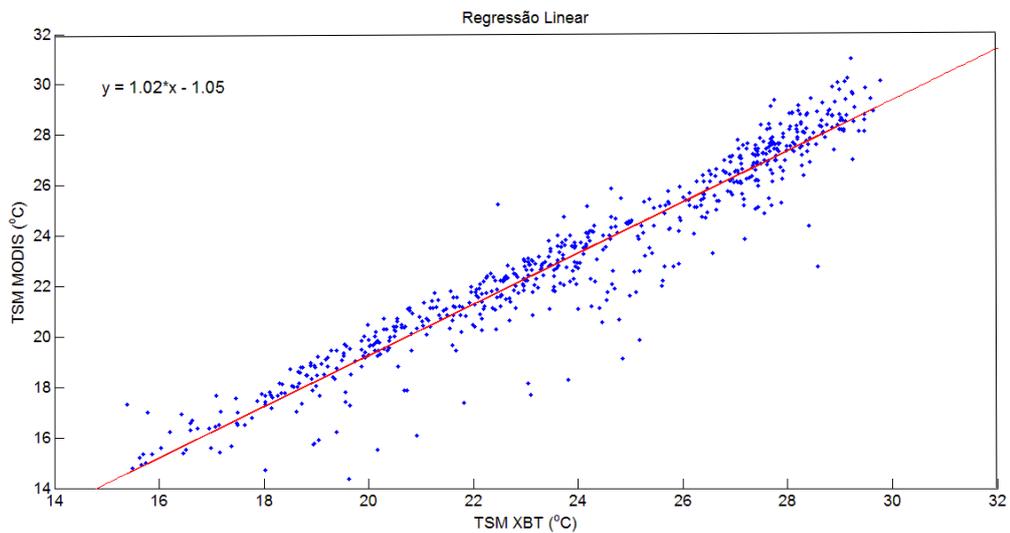


Fonte: o autor.

Verificou-se então que os dados apresentavam uma tendência linear positiva, motivo pelo qual geramos um modelo de regressão linear simples para correlacionar esses dados, sendo que, 2/3 dos dados foram utilizados na fase de treinamento do modelo e 1/3 dos dados na fase de validação.

Na figura 23, apresentamos o gráfico de dispersão, gerado a partir do modelo de regressão linear (vide TABELA 3), entre os dados de TSM medidos pelo XBT e AQUA/MODIS.

Figura 23 - Gráfico da Dispersão dos dados de TSM XBT x AQUA-MODIS



Fonte: o autor.

Na tabela 3, se mostra o modelo linear obtido, os índices de erro, o desvio padrão dos resultados do modelo nas fases de treinamento e validação, bem como o coeficiente de determinação R^2 .

Tabela 3 – Estatísticas e índices de erro do modelo de regressão linear nas fases de treinamento e validação, onde *N* indica o número de dados utilizados.

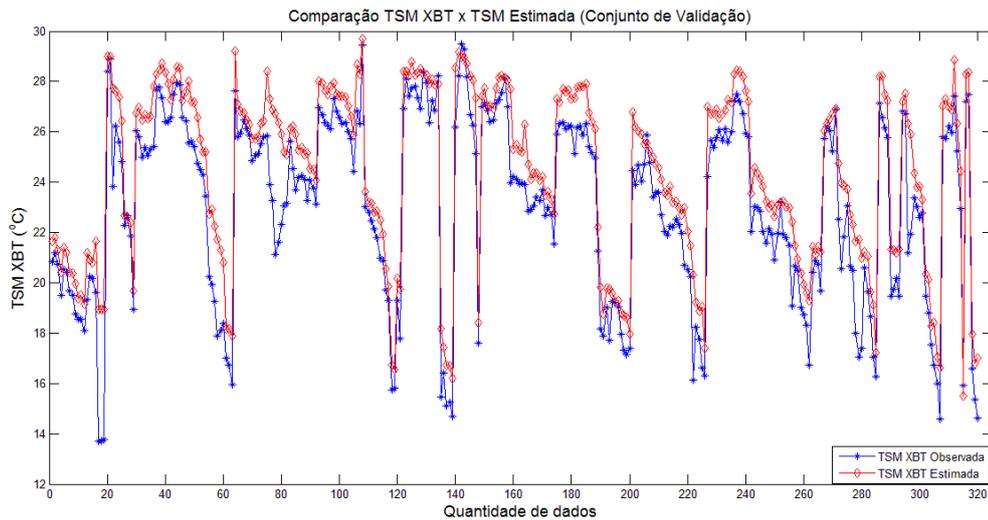
Modelo	ME	MAE	RMSE	$\sigma(\text{xbt/modis})$	R^2	N
t_xbt = 1,02 tsm_modis – 1,05	Fase de treinamento					
	0,00	0,71	1,04	3,58/3,78	0,96	640
	Fase de Validação					
	-1,34	1,35	1,65	3,48/364	0,96	320

Fonte: o autor.

Verifica-se, através da tabela 3 que o modelo gerado possui um alto valor de R^2 tanto na fase de treinamento como de validação e os índices de erros obtidos

podem ser considerados de baixa magnitude. A figura 24 mostra a comparação entre os dados de temperatura medidos “*in situ*” pelo XBT e os estimados pelo modelo de regressão linear gerado, que utiliza dados do sensor MODIS.

Figura 24 – Comparação entre a temperatura medida “*in situ*” pelo XBT e a estimada pelo modelo de regressão linear ($t_{xbt} = 1,02 tsm_{modis} - 1,05$).



Fonte: o autor.

Considerando as estatísticas apresentadas na tabela 3 e o ajuste da curva de dados apresentados na figura 24, pode-se inferir que os dados de temperatura obtidos “*in situ*” pelo XBT (FIGURA 23) estão em boa concordância com os dados de temperatura estimados utilizando dados do satélite AQUA/MODIS, indicando que as primeiras camadas de água oceânicas (até 2,07 m, no nosso estudo) são representativas da TSM medida pelo satélite (*skin temperature*).

5. CONCLUSÃO

Os maiores valores da MLD são encontrados nas médias latitudes, onde ocorre uma menor estratificação da temperatura da água do mar, sendo que essa menor estratificação da temperatura está relacionada ao efeito da sazonalidade, o qual no inverno os ventos atuam mais fortemente sobre o oceano para latitudes médias, ocasionando assim uma maior turbulência, o que gera uma maior mistura das águas do oceano, e, por conseguinte, uma MLD mais profunda.

No oceano Atlântico equatorial ocorre pouca variação na camada de mistura dentro do ciclo anual, não variando mais que 30 metros de profundidade.

A MLD estimada a partir dos dados de temperatura apresentou concordância com estimativas da MLD a partir de dados de salinidade e densidade em estudos pretéritos, bem como com a climatologia da MLD de Monterey e Levitus (1997).

O método para cálculo da MLD, utilizado neste trabalho, com uso da temperatura de referência igual a 10 metros não apresenta diferenças significativas em relação ao cálculo feito usando o mínimo valor coletado pelo XBT.

Os dados coletados por XBT apresentam boa concordância com os dados estimados pelo satélite AQUA/MODIS, indicando que a TSM gerada a partir de dados de satélites é representativa dos primeiros metros da coluna d'água oceânica.

Futuras pesquisas podem ser realizadas comparando o método utilizado neste trabalho, para determinar a MLD, com dados de densidade e salinidade.

Sugere-se também, para trabalhos futuros, estudos comparativos entre a temperatura medida pelo XBT, a diferentes profundidades, e a estimada pelo AQUA/MODIS ou outros satélites, com finalidade de verificar até que profundidade a TSM é representativa da temperatura medida na coluna d'água.

REFERÊNCIAS

BRAINERD, K. E.; GREGG, M. C. SURFACE MIXED AND MIXING LAYER DEPTHS. **DEEP-SEA RESEARCH I**, VOL. 42, NO. 9. PP. 1521-1543. 1995

BREUGEM, W.-P., P. CHANG, C. J. JANG, J. MIGNOT, AND W. HAZELEGER: BARRIER LAYERS AND TROPICAL ATLANTIC SST BIASES IN COUPLED GCMS. **TELLUS**, V. 60A, 885–897 , 2008

CARTON, J. A.; GRODSKY, S. A.; LIU, H. VARIABILITY OF THE OCEANIC MIXED LAYER, 1960-2004. **AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY**, V.21. P. 1029 – 1047. 2008

CHU, P. C.; FAN, C. DETERMINATION OF OCEAN MIXED LAYER DEPTH FROM PROFILE DATA. PROCEEDINGS ON 15TH SYMPOSIUM ON INTEGRATED OBSERVING AND ASSIMILATION SYSTEMS FOR THE ATMOSPHERE, OCEANS AND LAND SURFACE (IOAS-AOLS), **AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY**, SEATTLE ,23-27 JANUARY 2011, P.1001 – 1008.

DE BOYER MONTÉGUT, C., G. MADEC, A. S. FISCHER, A. LAZAR, AND D. IUDICONE (2004), MIXED LAYER DEPTH OVER THE GLOBAL OCEAN: AN EXAMINATION OF PROFILE DATA AND A PROFILE-BASED CLIMATOLOGY, **J. GEOPHYS. RES.**, 109, C12003, DOI:10.1029/2004JC002378.

FOLTZ, G. R., S. A. GRODSKY, J. A. CARTON, AND M. J. MCPHADEN, SEASONAL MIXED LAYER HEAT BUDGET OF THE TROPICAL ATLANTIC OCEAN, **J. GEOPHYS. RES.**, 108(C5), 3146, DOI:10.1029/2002JC001584, 2003.

FOLTZ, G. R.; MCPHADEN, M.J. IMPACT OF BARRIER LAYER THICKNESS ON SST IN THE CENTRAL TROPICAL NORTH ATLANTIC. **JOURNAL OF CLIMATE**, V. 22. 2009. 285 - 299

HOLTE E TALLEY, 2008; HOLTE, J.; TALLEY, L. A NEW ALGORITHM FOR FINDING MIXED LAYER DEPTHS WITH APPLICATIONS TO ARGO DATA AND SUBANTARCTIC MODE WATER FORMATION. **J. ATMOS. OCEANIC TECHNOL.**, V. 26. 2008. 1920 -1939. DOI: 10.1175/2009JTECHO543.1

KARA, A. B., ROCHFORD, P. A.; HURLBURT, H. E. AN OPTIMAL DEFINITION FOR OCEAN MIXED LAYER DEPTH, **J. GEOPHYS. RES.**, V. 105, 2000. 16,803–16,821.

KARA, A. B., ROCHFORD, P. A.; HURLBURT, H. E. MIXED LAYER DEPTH VARIABILITY OVER THE GLOBAL OCEAN, **J. GEOPHYS. RES.**, V. 108(C3), 2003.

KEERTHI , M. G.; LENGAINNE, M.; VIALARD, J.; DE BOYER MONTÉGUT, C.; MURALEEDHARAN, P. M. INTERANNUAL VARIABILITY OF THE TROPICAL INDIAN OCEAN MIXED LAYER DEPTH. **SPRINGER-VERLAG**. 2012

LEFÈVRE, N.; G. CANIAUX; S. JANICOT; GUEYE, A. K. INCREASED CO₂ OUTGASSING IN FEBRUARY-MAY 2010 IN THE TROPICAL ATLANTIC FOLLOWING THE 2009 PACIFIC EL NIÑO, *J. GEOPHYS. RES. OCEANS*, 118, 1645–1657, 2013, DOI:10.1002/JGRC.20107.

LEVITUS, S. (1982), CLIMATOLOGICAL ATLAS OF THE WORLD OCEAN, **NOAA PROF. PAP.** 13, 173 PP., U.S. GOVT. PRINTING OFF. WASHINGTON, D. C.

LORBACHER, K.; DOMMENGET, D.; NIILER, P. P.; KÖHL, A. (2006), OCEAN MIXED LAYER DEPTH: A SUBSURFACE PROXY OF OCEAN-ATMOSPHERE VARIABILITY. *J. GEOPHYS. RES.*, 111, DOI:10.1029/2003JC002157.

MIGNOT, J., C. DE BOYER MONTE´GUT, A. LAZAR, AND S. CRAVATTE (2007), CONTROL OF SALINITY ON THE MIXED LAYER DEPTH IN THE WORLD OCEAN: 2. TROPICAL AREAS, *J. GEOPHYS. RES.*, 112, C10010, DOI:10.1029/2006JC003954.

MONTEREY E LEVITUS (1997) , MONTEREY, G. I., AND S. LEVITUS, SEASONAL VARIABILITY OF MIXED LAYER DEPTH FOR THE WORLD OCEAN, **NOAA ATLAS NESDIS**, VOL. 14, 5 PP., U.S. DEP. OF COMMER., WASHINGTON, D. C., 1997.

PIELKE, R. A., 1984. **MESOSCALE METEOROLOGICAL MODELING**. ACADEMIC PRESS, PP. 612.

PRICE, J. F., R. A. WELLER, AND R. PINKEL, DIURNAL CYCLING: OBSERVATIONS AND MODELS OF THE UPPER OCEAN RESPONSE TO DIURNAL HEATING, COOLING, AND WIND MIXING, *J. GEOPHYS. RES.*, 91, 8411 – 8427. JULY, 1986

TANGUY, Y.; ARNAULT, S.; LATTES, P. ISOTHERMAL, MIXED, AND BARRIER LAYERS IN THE SUBTROPICAL AND TROPICAL ATLANTIC OCEAN DURING THE ARAMIS EXPERIMENT. **DEEP-SEA RESEARCH I**. V. 57. 2010. 501–517

THOMPSON E FINE, 2002; THOMSON, R. E., AND I. V. FINE (2003), ESTIMATING MIXED LAYER DEPTH FROM OCEANIC PROFILE DATA, *J. ATMOS. OCEANIC TECHNOL.*, 20(2), 319– 329.

XIE, S.-P.; CARTON, J. A. TROPICAL ATLANTIC VARIABILITY: PATTERNS, MECHANISMS, AND IMPACTS.