



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

BÁRBARA CARLA EHRHARDT PAES

MASSAS D'ÁGUA NO ENTORNO DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE
NORONHA E ATOL DAS ROCAS

Recife
2018

BÁRBARA CARLA EHRHARDT PAES

MASSAS D'ÁGUA NO ENTORNO DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE
NORONHA E ATOL DAS ROCAS

Dissertação apresentada ao colegiado do
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da
Universidade Federal de Pernambuco como
requisito para obtenção do título de Mestre em
Oceanografia.

Área de Concentração: Oceanografia Abiótica

Orientador : Prof. Dr. Alex Costa da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Alexis Chaigneau

Recife
2018

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

P126m Paes, Bárbara Carla Ehrhardt.

Massas d'água no entorno do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas /
Bárbara Carla Ehrhardt Paes. - 2018.

130 folhas, il.; tab., abr. e sigl.

Orientador: Prof. Dr. Alex Costa da Silva.

Coorientador: Prof. Dr. Alexis Chaigneau.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-
Graduação em Oceanografia, 2018.

Inclui Referência e Apêndice.

1. Oceanografia. 2. Análise multiparamétrica ótima. 3. Massas d'água.
4. Atlântico Tropical. 5. Ilhas oceânicas. I. Silva, Alex Costa da (Orientador). II.
Chaigneau, Alexis (Coorientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-315

BÁRBARA CARLA EHRHARDT PAES

**MASSAS D'ÁGUA NO ENTORNO DO ARQUIPÉLAGO DE FERNANDO DE NORONHA E
ATOL DAS ROCAS**

Dissertação apresentada ao colegiado do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Data de aprovação: 30 de abril de 2018

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Costa da Silva (titular) - Orientador – UFPE

Prof. Dr. Alexis Chaigneau - Coorientador
Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

Prof. Dra. Carmen Medeiros Limongi (titular) – UFPE

Prof. Dr. Carlos Esteban Delgado Noriega (suplente) - UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me concedido força e perseverança.

À minha mãe Nádia e meu pai José Carlos pelo amor incondicional e aos meus irmãos Alan, Bruno e Isabella e, cunhadas Gabrielle e Flávia, que sempre torceram por mim.

À minha querida avó Renilda por me incentivar a crescer profissionalmente.

À minha tia Fátima que me acolheu com toda a boa vontade do mundo.

À Antônio que desde a graduação esteve me incentivando.

Aos “Oceanógrafos Perdidos”:

Liza, que sempre me ajudou quando precisei;

Syu, pelos momentos de distração cantando karaokê e ajuda com impressões;

Sayo, que tornou o mestrado mais divertido;

Jéssica, que me tranquilizou muitas vezes;

Cris, que certa vez me disse “Não há nada que não possamos fazer” e levo essa frase comigo desde então;

Rafa, que vivenciou muita coisa comigo durante a graduação;

Kleyton, que não suportava sol e agora que mudou de curso só quer saber de praia;

Isabelle, pela companhia nos momentos de volta para casa;

Lucas, por sempre ter camarões e cozinhar para a gente nos congressos da vida e;

Talita, que apesar de estar em outra universidade está sempre por perto.

À Camila e Larissa que conheço desde a época do Marista e Wialla por todo o apoio.

À CAPES pela concessão da bolsa e ao ABRAÇOS pela disponibilidade dos dados.

Ao professor Alex pela oportunidade, paciência e por acreditar no meu potencial.

À Alexis, Arnaud, Jean-François e colegas do Lofec: Daniel, Nathanael, Ramilla, Pedro, Dóris, Ronaldo e Leonardo por sempre estarem disponíveis no que fosse possível.

À André e Myrna pela ajuda com toda a burocracia e à todos os colegas de Mestrado.

RESUMO

O trabalho refere-se à identificação das massas de água atuantes na camada oceânica até a profundidade de 1000 m na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical e à determinação de suas respectivas contribuições na área em interesse no entorno do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas, por meio de distribuições verticais e horizontais obtidas pela Análise Multiparamétrica Ótima de massas de água. A Análise Multiparamétrica Ótima foi aplicada em dados coletados (estações hidrográficas) entorno do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas em outubro de 2015, durante a campanha ABRAÇOS I. Neste estudo, foram identificadas quatro massas de água na camada oceânica até 1000 m de profundidade, referentes à Água Tropical de Superfície (ATS), Água Central do Atlântico Norte (ACAN), Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e Água Intermediária Antártica (AIA), com ACAS representada pela Água de Sul dos 100 m aos 500 m de profundidade, e pela Água de Leste a partir dos 500 m. As distribuições verticais demonstram que a ATS e a ACAN apresentam camadas de água mais espessas ao redor do Atol das Rocas quando comparadas com Fernando de Noronha, e que a ACAS é mais representativa que a ACAN na camada central, com AIA mais profunda que 1000 m ao sul do Atol das Rocas e mais rasa ao sul de Fernando de Noronha. As distribuições horizontais indicam afloramento da ATS a 50 m ao sul de Fernando de Noronha e leste do Atol das Rocas, afloramento da wACAS a 400 m em estações mais ao norte (estação 9) e mais ao sul (estação 6) de Fernando de Noronha, e ainda afloramento da AIA na estação 19 ao norte do Atol, com contribuições entre 90% e 100%. A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) se apresenta mais elevada durante abril-maio de 2017 em torno de Fernando de Noronha (25°-27°C) e Atol das Rocas (27°C) que em outubro de 2015 com variações entre 23°C-27°C nas duas regiões oceânicas. A Salinidade da Superfície do Mar (SSM), no entanto, é mais elevada em torno de Fernando de Noronha em outubro de 2015 (35.8 -36.6) que em abril-maio de 2017 (35.8-36.4). O mesmo foi observado em torno do Atol das Rocas com valores da SSM entre 35.4-36.8 em outubro e entre 35.8-36.4 em abril-maio. A Água de Máxima Salinidade ao redor de 100 m é detectada por meio de núcleos de alta salinidade ao longo da latitude de 3° S e 5°S, com águas mais salgadas (≥ 36.6) indicando a presença de águas subtropicais ao norte, sul e leste do Atol das Rocas, e também ao sul de Fernando de Noronha. Observações oceânicas e resultados numéricos apresentam a dinâmica do sistema de correntes (ramo central da Corrente Sul Equatorial (CSEc),

Subcorrente Sul Equatorial (SCSE), Corrente Intermediária Equatorial (CIE)) influenciando nas propriedades termohalinas ao longo da coluna d'água, em torno das ilhas oceânicas.

Palavras-chave: Análise multiparamétrica ótima. Massas d'água. Atlântico Tropical. Ilhas oceânicas.

ABSTRACT

The work refers to the identification of the water masses acting in the ocean layer up to 1000 m depth in the western Tropical Atlantic Ocean and refers to the determination of their respective contributions in the area of interest around the Fernando de Noronha Archipelago and Rocas Atoll through vertical and horizontal distributions obtained by the Optimum Multiparameter Analysis of water masses. The Optimum Multiparameter (OMP) analysis was applied in collected data (hydrographic stations) around the Fernando de Noronha Archipelago and Rocas Atoll in October of 2015 during the ABRAÇOS I campaign. The oxygen and, phosphate, nitrate and silicate nutrients were selected in the analysis as additional parameters for detection of the water masses, being four water masses identified in the ocean layer up to 1000 m depth referent to the Tropical Surface Water (TSW), North Atlantic Central Water (NACW), South Atlantic Central Water (SACW) and Antarctic Intermediate Water (AAIW), with the SACW represented by the southern water (wSACW) from 100m to 500m depth and by the eastern water (eSACW) from 500m depth. The vertical distributions demonstrate that the TSW and NACW have thicker water layers around Rocas Atoll when compared with Fernando de Noronha, and that the SACW is more representative than the NACW in the central layer, with AAIW deeper than 1000 m in the south of Rocas Atoll and shallower in the south of Fernando de Noronha. The horizontal distributions indicate outcrop of TSW at 50 m depth in the South of Fernando de Noronha and in the east of Rocas Atoll and outcrop of wSACW at 400 m depth in stations further north (station 9) and further south (station 6) of Fernando de Noronha. Also indicate outcrop of AAIW in station 19 in north of Rocas Atoll with contributions between 90% - 100%. The Sea Surface Temperature (SST) presents higher during April-May of 2017 around Fernando de Noronha (25°-27°C) and Rocas Atoll (27°C) that in October of 2015, with variations between 23°C-27°C in both ocean regions. The Sea Surface Salinity (SSS) is higher around Fernando de Noronha in October of 2015 (35.8 -36.6) that in April-May of 2017 (35.8-36.4). The same was observed around Rocas Atoll, with SSS values between 35.4-36.8 in October and between 35.8-36.4 in April-May. The Salinity Maximum Water is detected around 100 m depth by high salinity cores along 3°S and 5°S, with salty waters (≥ 36.6) indicating the presence of subsurface waters in the north, south, and east of Rocas Atoll and also south of Fernando de Noronha. Ocean observations and numerical results present the dynamics of the current system (central branch of South Equatorial Current (SECc), South Equatorial Undercurrent (SEUC), Equatorial

Intermediate Current (EIC)) influencing in the termohaline properties along the water column around the ocean islands.

Keywords: Optimum multiparameter analysis. Water masses. Tropical Atlantic. Ocean islands.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Circulação oceânica com as principais correntes atuantes a oeste do Oceano Atlântico Tropical (modificado de BOURLÈS et al.,1999)	21
Figura 2 -	Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas no Oceano Atlântico Tropical	25
Figura 3 -	Localização das estações oceanográficas referentes às campanhas ABRAÇOS I (outubro de 2015) (pontos brancos) e ABRAÇOS II (abril-maio de 2017)(pontos marrons) em torno do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas, na borda oeste do Atlântico Tropical. A batimetria varia de 50 m em 50 m da parte emersa das ilhas (0 m) até o oceano profundo (4500 m)	29
Figura 4 -	CTD acoplado com conjunto de garrafas Niskin para obtenção de dados ..	30
Figura 5 -	Navio Oceanográfico “Antea” utilizado durante as campanhas ABRAÇOS I e ABRAÇOS II.....	30
Figura 6 -	Perfis de temperatura (a), salinidade (c) e oxigênio (e) referentes a campanha ABRAÇOS I em outubro de 2015 e, perfis de temperatura (b), salinidade (d) e oxigênio (f) referentes a campanha ABRAÇOS II em abril-maio de 2017 na Ilha de Fernando de Noronha	35
Figura 7 -	Perfis de temperatura (a), salinidade (c) e oxigênio (e) referentes a campanha ABRAÇOS I em outubro de 2015 e perfis de temperatura (b), salinidade (d) e oxigênio (f) referentes a campanha ABRAÇOS II em abril-maio de 2017 no Atol das Rocas	37
Figura 8 -	Diagrama T-S da borda oeste do Oceano Atlântico Tropical durante outubro de 2015, com identificação das massas de água ATS, ACAS, ACAN e AIA. Os pontos azuis representam estações em torno de Fernando de Noronha e os pontos verdes estações em torno do Atol das Rocas. A curva T-S (em preto) demonstra a influência da ACAN em processos de mistura de água entre $\sigma_\theta = 25.7-26.0 \text{ kg/m}^3$	40
Figura 9 -	Concentrações (umol/kg) de oxigênio (a), fosfato (b), nitrato (c) e silicato (d) determinadas para as massas de água ATS, ACAN, ACAS e AIA na campanha ABRAÇOS I (outubro 2015)	42
Figura 10 -	Diagrama T-S da borda oeste do Oceano Atlântico Tropical durante abril-maio de 2017, com identificação das massas de água ATS, ACAS, ACAN e AIA. Os pontos azuis representam estações em torno de Fernando de Noronha e os pontos verdes estações em torno do Atol das Rocas. A curva T-S (em preto) demonstra a influência da ACAN em processos de mistura de água entre $\sigma_\theta = 25.7-26.0 \text{ kg/m}^3$	44
Figura 11 -	Concentrações (umol/kg) de oxigênio (a), fosfato (b), nitrato (c) e silicato (d) determinadas para as massas de água ATS, ACAN, ACAS e AIA na campanha ABRAÇOS II (abril-maio de 2017)	46
Figura 12 -	Diagramas T-S de estações em torno da Ilha de Fernando de Noronha, com dados numéricos do MERCATOR (em vermelho) versus: dados das campanhas (em azul) ABRAÇOS I (a) e ABRAÇOS II (b)	48
Figura 13 -	Diagramas T-S de estações em torno do Atol das Rocas, com dados numéricos do MERCATOR (em vermelho) versus: dados das campanhas (em preto) ABRAÇOS I (a) e ABRAÇOS II (b)	49

Figura 14 -	Transectos estabelecidos para as campanhas ABRAÇOS I (em azul escuro) durante outubro de 2015, e ABRAÇOS II (em rosa) durante abril-maio de 2017 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical	50
Figura 15 -	Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a) e salinidade (b) ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1 – t1) em outubro de 2015.....	51
Figura 16 -	Distribuições verticais de temperatura (a) e salinidade (b) de dados numéricos MERCATOR ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1 – t1) em outubro de 2015	51
Figura 17 -	Distribuição vertical de dados observacionais de oxigênio dissolvido ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1 – t1) em outubro de 2015.....	52
Figura 18 -	Caracterização das massas de água ATS (a), ACAN (b), ACAS (c) e AIA (d) ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1 – t1) em outubro de 2015	53
Figura 19 -	Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a- transecto 2- t2,c- transecto 3- t3,e- transecto 4- t4) e salinidade (b- transecto 2- t2,d- transecto 3- t3,f- transecto 4- t4) ao sul, leste e oeste de Fernando de Noronha em abril-maio de 2017	55
Figura 20 -	Distribuições verticais de temperatura (a- transecto 2- t2,c- transecto 3- t3,e- transecto 4- t4) e salinidade (b- transecto 2- t2,d- transecto 3- t3,f- transecto 4- t4) de dados numéricos MERCATOR ao sul (transecto 2- t2), leste (transecto 3-t3) e oeste (transecto 4-t4) de Fernando de Noronha em abril-maio de 2015	58
Figura 21 -	Distribuições verticais de dados observacionais de oxigênio dissolvido ao sul (transecto 2- t2) (a), leste (transecto 3-t3) (b) e oeste (transecto 4-t4) (c) de Fernando de Noronha em abril-maio de 2017	61
Figura 22 -	Caracterização das massas de água ATS (a,e,i), ACAN (b,f,j), ACAS (c,g,k) e AIA (d,h,l) ao sul (a,b,c,d -transecto 2- t2), leste (e,f,g,h - transecto 3-t3)) e oeste (i,j,k,l - transecto 4-t4) de Fernando de Noronha em abril-maio de 2017	63
Figura 23 -	Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a- transecto 5- t5,c- transecto 6- t6,e- transecto 7- t7) e salinidade (b- transecto 5- t5,d- transecto 6- t6,f- transecto 7- t7) ao norte, sul e leste do Atol das Rocas em outubro de 2015	70
Figura 24 -	Distribuições verticais de temperatura (a- transecto 5- t5,c- transecto 6- t6,e- transecto 7- t7) e salinidade (b- transecto 5- t5,d- transecto 6- t6,f- transecto 7- t7) de dados numéricos MERCATOR ao norte, sul e leste do Atol das Rocas em outubro de 2015	72
Figura 25 -	Distribuições verticais de dados observacionais de oxigênio dissolvido em ao norte (transecto 5-t5) (a), sul (transecto 6-t6) (b) e leste (transecto 7-t7) (c) do Atol das Rocas em Outubro de 2015	75
Figura 26 -	Caracterização das massas de água ATS (a,e,i), ACAN (b,f,j), ACAS (c,g,k) e AIA (d,h,l) ao norte (a,b,c,d-transecto 5-t5) , sul (e,f,g,h- transecto 6-t6) e leste (i,j,k,l-transecto 7-t7) do Atol das Rocas em outubro de 2015.....	77
Figura 27 -	Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a- transecto8-t8,c- transecto9-t9) e salinidade (b- transecto8-t8,d- transecto9-t9) ao leste e oeste do Atol das Rocas em abril-maio de 2017	81
Figura 28 -	Distribuições verticais de temperatura (a- transecto8-t8,c- transecto9-t9) e salinidade (b- transecto8-t8,d- transecto9-t9) de dados numéricos MERCATOR ao leste e oeste do Atol das Rocas em abril-maio de 2015....	83

Figura 29 -	Distribuições verticais de dados observacionais de oxigênio dissolvido ao leste (transecto 8-t8) (a) e oeste (transecto 9-t9) (b) do Atol das Rocas em abril-maio de 2017	84
Figura 30 -	Caracterização das massas de água ATS (a,e), ACAN (b,f), ACAS (c,g) e AIA (d,h) ao leste (transecto 8-t8) e oeste (transecto 9-t9) do Atol das Rocas em abril-maio de 2017	86
Figura 31 -	Contribuições da ATS a 50 m (a) e da ACAS a 100 m de profundidade (b) a oeste do Oceano Atlântico Tropical em outubro de 2015	89
Figura 32 -	Contribuições da wACAS a 200 m (a), 400 m (b) e 500 m (c) de profundidade, e da eACAS a 500 m (d) a oeste do Atlântico Tropical em outubro de 2015	91
Figura 33 -	Contribuições da ACAN a 100 m (a), 200m (b), 300m (c) e 400m (d) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em outubro de 2015...	94
Figura 34 -	Contribuições da AIA a 600 m (a) e 700 m (b) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em outubro de 2015	96
Figura 35 -	Contribuições da ATS a 50 m (a) e da ACAS a 100 m de profundidade (b) a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017	97
Figura 36 -	Contribuições da wACAS a 200 m (a), 300 m (b) e 400 m (c) e 500 m (d) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017.....	99
Figura 37 -	Contribuições da eACAS a 200 m (a), 300 m (b) e 400 m (c) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017.....	101
Figura 38 -	Contribuições da ACAN a 100 m (a), 200m (b),400m (c) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017	103
Figura 39 -	Contribuições da AIA a 100 m (a), 200 m (b), 300 m (c) , 400 m (d) e 500 m (e) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017	105
Figura 40 -	Correntes zonais (m/s) ao sul (transecto 1-t1) de Fernando de Noronha em outubro de 2015.....	109
Figura 41 -	Correntes zonais (m/s) ao longo de um transecto (verde) atravessando o Arquipélago de Fernando de Noronha em outubro de 2015 (fonte: DASSOUNDO, 2016)	110
Figura 42 -	Correntes zonais (m/s) ao sul (transecto 2-t2) (a), leste (transecto 3-t3) (b) e oeste (transecto 4-t4) (c) de Fernando de Noronha em abril-maio de 2015.....	111
Figura 43 -	Correntes zonais (m/s) ao norte (transecto5-t5) (a) , sul (transecto 6-t6) (b) e leste (transecto 7-t7) (c) do Atol das Rocas em outubro de 2015	113
Figura 44 -	Correntes zonais ($m.s^{-1}$) ao longo de um transecto (azul) atravessando o Atol das Rocas em outubro de 2015 (fonte: DASSOUNDO, 2016)	114
Figura 45 -	Correntes zonais (m/s) ao leste (transecto 8-t8) (a) e oeste (transecto9-t9) (b) do Atol das Rocas em abril-maio de 2015.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Estudos na literatura que utilizaram a análise OMP, com definição de parâmetros adicionais para a massa d'água central ACAN.....	24
Tabela 2 -	Estudos na literatura que utilizaram a análise OMP, com definição de parâmetros adicionais para a massa d'água central ACAS.....	24
Tabela 3 -	Estudos na literatura que utilizaram a análise OMP, com definição de parâmetros adicionais para a massa d'água central AIA.....	24
Tabela 4 -	Estudos na literatura que definiram valores de parâmetros adicionais para a massa d'água superficial ATS no Oceano Atlântico Sul.....	24
Tabela 5 -	Definições dos tipos de massas de água em outubro de 2015 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical(3°-5°S,31°-35°W).....	43
Tabela 6 -	Definições dos tipos de Água do Atlântico Sul (ACAS) em outubro de 2015 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (3°-5° S, 31°-35° W).....	43
Tabela 7 -	Definições dos tipos de massas de água em abril-maio de 2017 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical(3°-5°S,31°-35°W).....	47
Tabela 8 -	Definições dos tipos de Água do Atlântico Sul (ACAS) em abril-maio de 2017 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (3°-5°S,31°-35°W).....	47
Tabela 9 -	Localização de transectos e suas respectivas estações ao redor da Ilha de Fernando de Noronha e Atol das Rocas durante a campanha ABRAÇOS I (outubro de 2015)	129
Tabela 10 -	Localização de transectos e suas respectivas estações ao redor da Ilha de Fernando de Noronha e Atol das Rocas durante a campanha ABRAÇOS II (abril-maio de 2017)	129
Tabela 11 -	Coordenadas de estações existentes na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical e suas respectivas profundidades de CTD.....	130

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAF	Água Antártica de Fundo
AAN	Água do Atlântico Norte
AAS	Água do Atlântico Sul
ACAN	Água Central do Atlântico Norte
ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AIA	Água Intermediária Antártica
ALA	Água de Leste do Atlântico Tropical
APAN	Água Profunda do Atlântico Norte
ATS	Água Tropical de Superfície
CAS	Corrente do Atlântico Sul
CB	Corrente do Brasil
CCNE	Contra-corrente Norte-Equatorial
CIE	Corrente Intermediária Equatorial
CNB	Corrente Norte do Brasil
CNE	Corrente Norte Equatorial

CSE	Corrente Sul Equatorial
CSEc	ramo central da Corrente Sul Equatorial
CSEn	ramo norte da Corrente Sul Equatorial
CSEs	ramo sul da Corrente Sul Equatorial
CTD	<i>Conductivity Temperature Depth</i>
E	leste
eACAS	Água de Leste da ACAS
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
MOC	<i>Meridional Overturning Circulation</i>
N	norte
NE	Nordeste
OMP	<i>Optimum Multi-Parameter Analysis</i>
REBIO	Reserva Biológica
S	sul
SCE	Subcorrente Equatorial

SCNB	Subcorrente Norte do Brasil
SCNE	Subcorrente Norte-Equatorial
SCSE	Subcorrente Sul-Equatorial
SEE911plus	<i>Sea Bird Eletronics</i>
SIGEP	Sítios Geológicos e Paleontológicos
SSM	Salinidade da Superfície do Mar
STC	Subtropical Cell
TA	Tipo de Água
T-S	Temperatura-salinidade
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UNESCO	<i>United Nations Educational Scientific and Cultural Organization</i>
W	oeste
wACAS	Água de Sul da ACAS
WOCE	<i>World Ocean Circulation Experiment</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Dinâmica Oceânica	20
1.2	Objetivo principal	22
1.3	Objetivos específicos.....	22
2	REFERENCIAL TEÓRICO	23
3	ÁREA DE ESTUDO	25
3.1	Arquipélago de Fernando de Noronha	26
3.1.1	Descrição das Características Meteo-Oceanográficas.....	26
3.1.2	Formação geológica.....	27
3.2	Atol das Rocas.....	27
3.2.1	Descrição das Características Meteo-Oceanográficas.....	28
4	METODOLOGIA.....	29
4.1	Obtenção dos Dados em Campo.....	29
4.2	Tratamento e Análise de Dados em Laboratório.....	30
4.3	Análise Multiparamétrica Ótima	31
4.4	Dados numéricos MERCATOR.....	32
4.4.1	Modelo Físico.....	32
4.4.2	Assimilação de dados	33
5	RESULTADOS.....	34
5.1	Perfis verticais (T, S, O)	34
5.2	Análise OMP – Massas de Água	39
5.2.1	Campanha ABRAÇOS I (outubro 2015)	39
5.2.2	Campanha ABRAÇOS II (abril-maio 2017)	43
5.3	Análise em Diagramas T-S - Dados Observados – outubro 2015/ abril – maio 2017 e dados numéricos MERCATOR	48
5.4	Distribuição Vertical – análises em transectos (T, S, O)	50
5.5	Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade em Fernando de Noronha (Dados Observacionais e Resultados numéricos – outubro 2015) ..	50
5.6	Distribuição Vertical de Oxigênio em Fernando de Noronha (Dados Observacionais– outubro 2015).....	52
5.7	Caracterização das massas de água em Fernando de Noronha (outubro 2015)	52
5.8	Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade em Fernando de Noronha (Dados Observacionais e Resultados numéricos – abril-maio 2017).....	54
5.9	Distribuições verticais de Oxigênio em Fernando de Noronha (Dados Observacionais– abril-maio 2017)	60
5.10	Caracterização das massas d’água em Fernando de Noronha (abril-maio 2017)	62
5.11	Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade no Atol das Rocas (Dados Observacionais e Resultados numéricos – outubro 2015)	68
5.12	Distribuições verticais de Oxigênio no Atol das Rocas (Dados Observacionais – outubro 2015)	74
5.13	Caracterização das massas d’água no Atol das Rocas (outubro 2015)	76

5.14	Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade (Dados Observacionais e Resultados numéricos – abril-maio de 2017)	81
5.15	Distribuições verticais de Oxigênio no Atol das Rocas (Dados Observacionais – abril-maio 2017)	84
5.16	Caracterização das massas d’água no Atol das Rocas (outubro 2015)	85
5.17	Distribuição Horizontal - Outubro 2015	88
5.17.1	ATS (Água Tropical de Superfície)	88
5.17.2	Água de Sul (wACAS)	90
5.17.3	Água de Leste (eACAS)	90
5.17.4	Água Central do Atlântico Norte (ACAN)	93
5.17.5	Água Intermediária Antártica (AIA)	95
5.18	Distribuição Horizontal - Abril-Maio 2017	97
5.18.1	ATS (Água Tropical de Superfície)	97
5.18.2	Água de Sul (wACAS)	98
5.18.3	Água de Leste (eACAS)	100
5.18.4	Água Central do Atlântico Norte (ACAN)	102
5.18.5	Água Intermediária Antártica (AIA)	104
6	DISCUSSÃO	109
6.1	Circulação oceânica em Fernando de Noronha - Mês de outubro 2015	109
6.2	Circulação Oceânica em Fernando de Noronha - Meses de abril-maio 2015..	110
6.3	Circulação Oceânica no Atol das Rocas – Mês de outubro 2015	112
6.4	Circulação Oceânica no Atol das Rocas – Meses de abril –maio de 2015	115
6.5	Variabilidade Sazonal	116
6.5.1	CSEc	116
6.5.2	SCSE.....	117
6.5.3	CIE.....	117
7	CONCLUSÃO	118
	REFERÊNCIAS	122
	APÊNDICE A – ESTAÇÕES E TRANSECTOS	129

1 INTRODUÇÃO

O conceito mais geral de uma ‘massa de água’ surgiu da Meteorologia a partir da classificação de ‘massas de ar’ para designar diferentes características atmosféricas (EMERY, 2003).

Massas de água são nada mais que corpos de água originados em uma particular região oceânica e que apresentam um histórico comum de formação, podendo ser formadas por processos de convecção, subducção ou mistura subsuperficial (TOMCZAC, 1999).

Em áreas de baixas latitudes, próximas ao equador, as massas d’águas são principalmente formadas pela mistura de águas subsuperficiais (MEDEIROS et al., 2009b), havendo formação de nova massa de água quando a água resultante da mistura de duas ou mais massas se espalha pelo oceano à medida que é advectada por correntes (TOMCZAC, 1999).

BOURLÈS et al (1999b) classificou diferentes origens de massas de água na camada localizada na isopycna de $\sigma_\theta = 26.25$ na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical: Água do Atlântico Norte (AAN), Água do Atlântico Sul (AAS), Água de Leste do Atlântico Tropical (ALA) e Água de Mistura.

A Água do Atlântico Norte (AAN) possui origem na região subtropical do hemisfério norte, sendo advectada em direção ao equador pela Corrente Norte Equatorial (CNE). A Água do Atlântico Sul (AAS) é advectada para a região equatorial por meio do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (CSE) através de processos de subducção gerados em áreas subtropicais. E ainda, a Água de Leste do Atlântico Tropical (ALA) atinge a mesma região através da borda sul da CNE em conjunto com os ramos norte e central da CSE (WILSON et al., 1994).

As diferentes regiões onde as massas de água são originadas também são as regiões onde as mesmas adquirem suas propriedades distintas e identificáveis (GARRISON, 1942). Essas propriedades podem ser classificadas como conservativas, com parâmetros de temperatura e salinidade, ou não conservativas, com parâmetros equivalentes a nutrientes e oxigênio dissolvido (WRIGHT; COLLING, 1995).

A identificação das propriedades características de massas de água ocorre em camadas de estratificação vertical dos oceanos conforme zonas de densidade, com estratificação de densidade na coluna de água principalmente em função da temperatura.

As três principais zonas de densidade equivalem à *camada de mistura*, que se estende tipicamente da superfície até 150m, à *picnoclina*, que engloba a *termoclina* e *haloclina*,

situada na camada intermediária, e à *zona profunda*, representada por águas frias e densas (GARRISON, 1942).

Nas latitudes tropicais, ao longo dessas camadas situam-se, respectivamente, cinco massas de água mais comuns equivalentes à: Água Tropical de Superfície (ATS), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e a Água Antártica de Fundo (AAF).

A superfície oceânica do Atlântico Sul Tropical é coberta pela ATS assim como pela camada de mistura superficial (STRAMMA & ENGLAND, 1999). A ATS é formada nas regiões equatoriais devido à intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação (CIRANO et al., 2006) e, é caracterizada por temperaturas maiores que 20°C, com presença de Água de Máxima Salinidade no topo da termoclina (MEDEIROS et al., 2009b; SILVA et al., 2010).

A Água Central do Atlântico Sul (ACAS), está situada na termoclina, com relação quase linear entre temperatura e salinidade (STRAMMA et al., 2005) e é classificada em dois tipos. O tipo menos denso da ACAS (wACAS) tem origem no sudoeste subtropical do Atlântico Sul e é principalmente encontrada no giro subtropical (STRAMMA et al., 2005), movendo para o equador por meio da CSEs, sendo dessa forma considerada Água do Atlântico Sul (AAS). O tipo mais denso da ACAS (eACAS), no entanto, provavelmente tem origem a partir do sul do Oceano Atlântico Sul, assim como a partir do sul do Oceano Índico, fluindo para o norte com a Corrente de Benguela e depois para o oeste em direção ao Atlântico tropical (STRAMMA & SCHOTT, 1999) via CSEc, sendo portanto classificada como Água de Leste do Atlântico Tropical (ALA).

Assim como a ACAS, a Água Central do Atlântico Norte (ACAN) também apresenta relação quase linear entre temperatura e salinidade, com transição entre duas massas d'água, ocorrendo em uma frente existente a aproximadamente 15°N (TOMCZAC; GODFREY, 1994), sendo a ACAN distinta da ACAS por ser mais salgada, quente e por conter menos oxigênio dissolvido (STRAMMA et al., 2005). A ACAN é formada ao norte, em torno de 40° N, e efetivamente ventila o giro subtropical do Hemisfério Norte (POOLE; TOMCZAC, 1999).

A isopícnica de $\sigma_\theta=27.1\text{kg/m}^3$ nos trópicos marca a transição entre a ACAS e a Água Intermediária Antártica (AIA) (STRAMMA et al., 2005), sendo a AIA caracterizada por apresentar um mínimo de salinidade menor que 34.65 (SVERDRUP et al., 1942). A AIA tem origens a partir da região superficial da camada Circumpolar, especialmente as águas superficiais ao norte da Passagem Drake, a partir do loop da Corrente Falkland, e ainda por

meio de um limite ao sul que é essencialmente a Frente Subantártica (TALLEY, 1996), e circula através da Corrente do Atlântico Sul (CAS) no giro subtropical do Hemisfério Sul.

A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) aparece a partir dos 1500 m de profundidade com temperatura entre 1,5°C e 4,0°C e, em seguida, surge a Água Antártica de Fundo (AAF), com temperatura entre -0,9°C e 1,7°C (EMERY, 2003) sendo encontrada entre 4.500 m de profundidade e o fundo oceânico (SCHOTT et al., 2003).

1.1 Dinâmica Oceânica

A circulação oceânica superficial na região tropical é dominada pela presença de correntes que flui predominantemente para oeste e noroeste, contracorrentes para leste, e subcorrentes para oeste, cujos ciclos sazonais são fortemente relacionados com a variabilidade sazonal do campo de vento, e o deslocamento posicional da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (GONI e BARINGER, 2002; SILVA et al 2010).

A Corrente Sul Equatorial (CSE) é subdividida em três ramos principais: norte (CSEn), central (CSEc) e sul (CSEs) (MOLINARI, 1982). O ramo sul da CSE (CSEs) é formada na região subtropical do Oceano Atlântico Sul, sendo alimentada pelas águas frias da Corrente de Benguela. Esta corrente se desloca em direção a região da plataforma do Brasil, onde se bifurca a aproximadamente 14°S em dois ramos: alimentando a Subcorrente Norte do Brasil (SCNB) que se desloca para norte, e a Corrente do Brasil (CB) que se desloca para sul (RODRIGUES et al., 2007).

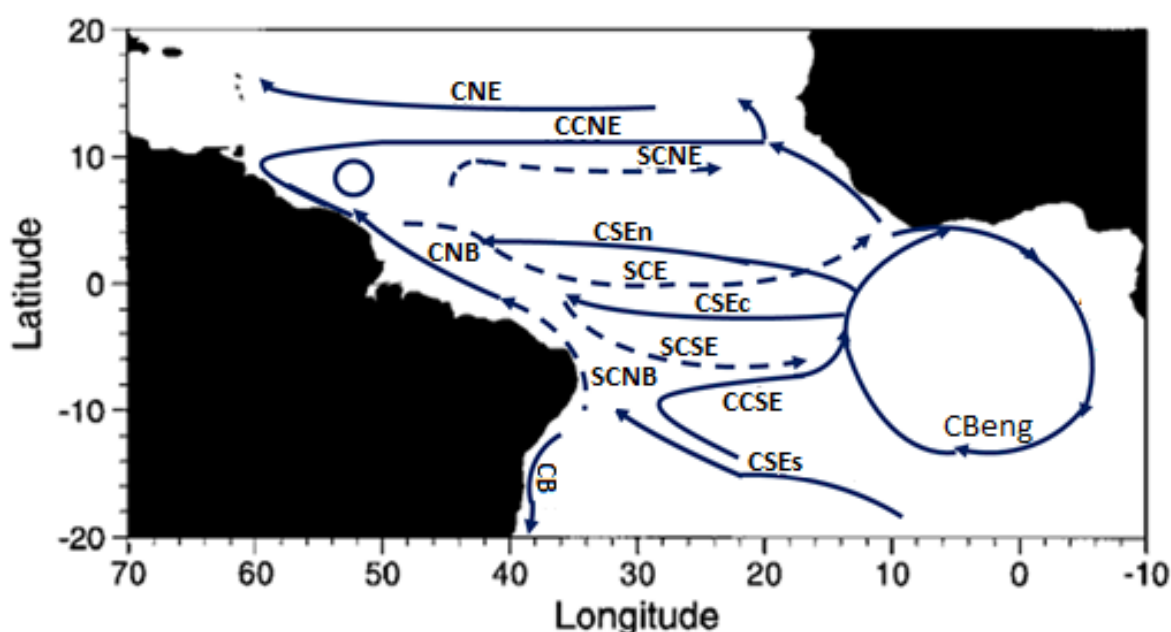
A corrente do Brasil (CB) é uma corrente de contorno oeste associada ao giro subtropical do Atlântico Sul, fluindo para o sul ao longo das bordas do continente sul-americano (SILVEIRA et al., 2000).

O sistema CNB/SCNB consiste em uma importante fonte de massa para muitas correntes zonais próximas ao equador como a Subcorrente Sul Equatorial (SCSE), a Subcorrente Norte Equatorial (SCNE) localizada entre 3°N-6°N, a Subcorrente Equatorial (SCE) e a Contracorrente Norte Equatorial (CCNE) localizada entre 3°N-8°N (GOES et al., 2005; NETO e SILVA, 2014).

A SCNE, a SCE e a CCNE são alimentadas pelas retroflecções do sistema CNB/SCNB em vários períodos, latitudes e profundidades ao longo da borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (SCHOTT et al., 1995), sendo uma porção da SCSE retroflectada pela SCNB (BOURLÈS et al., 1999a).

O Arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas são banhados pelas águas trazidas pelo ramo central da Corrente Sul Equatorial (CSEc), fluindo de leste para oeste a partir da superfície até uma profundidade nominal de 150 m e, pela influência da Subcorrente Sul Equatorial (SCSE) que se desloca no sentido oeste-leste (Fig.1). A SCSE está situada abaixo da CSEc em latitudes entre 3°S-5°S (SCHOTT et al.,1998) e encontra-se entre 200m e 500m de profundidade (STRAMMA et al., 2005) (Fig.2).

Figura 1 - Circulação oceânica com as principais correntes atuantes a oeste do Oceano Atlântico Tropical (modificado de BOURLÈS et al (1999b).



Fonte: BOURLÈS et al (1999b).

Tanto a CSE como a SCSE transportam massas d'água e suas propriedades físico-químicas ao longo das camadas de água existentes no oceano Atlântico Tropical.

TRAVASSOS et al (1999) afirmaram que as possíveis misturas na coluna d'água nestas áreas são promovidas por meio de mecanismos locais como divergência de correntes, ventos e interações entre as correntes e/ou o relevo submarino.

De acordo com GENIN e BOEHLERT (1985) as características topográficas de ilhas oceânicas podem afetar o fluxo de água nas proximidades, podendo ocasionar elevação das isotermas e isopicnais, sendo o mesmo argumento relatado por COMEAU et al (1995) com relação à elevação das isolinhas de nutrientes.

Portanto, a deflexão de águas subsuperficiais ricas em nutrientes para cima, gerada de forma orográfica, pode provocar aumento da produção primária na zona eufótica nas águas que circundam as ilhas oceânicas (GENIN e BOEHLERT, 1985; FURUYA et al., 1995; ODATE; FURUYA,1998), caracterizando o "efeito ilha".

O Oceano Atlântico Tropical é pouco conhecido cientificamente. Pelo fato das massas de água serem importantes armazenadoras de calor, sal e oxigênio dissolvido (TOMCZAC, 1999), essa região oceânica é de grande interesse global, apresentando grande importância na variabilidade do clima (DENGLER et al., 2004). A bifurcação da CSEs também tem um papel fundamental no clima (TALLEY, 2003), uma vez que o sistema CNB/SCNB compõe a circulação meridional do Atlântico ou *Atlantic Meridional Overturning Circulation* (AMOC) (GARZOLI et al., 2004; ZHANG et al., 2011).

Nesse contexto, esse trabalho visa identificar os tipos e origens de diferentes massas de água atuantes no entorno do Arquipélago de Fernando de Noronha e do Atol das Rocas, e detectar os processos de mistura nas duas regiões através da Análise Multiparamétrica Ótima, sendo aplicado um método de extensão do diagrama T-S, utilizando parâmetros adicionais. Desse modo, este trabalho apresenta uma associação do transporte dessas massas de água com o sistema de circulação oceânica nas áreas em interesse, sendo de fundamental importância para caracterizar as respectivas variações espaciais e sazonais das massas de água.

1.2 Objetivo principal

Caracterizar a variabilidade sazonal e espacial das massas de água atuantes em torno do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas, através da análise de dados obtidos *in-situ* durante as campanhas ABRAÇOS I e ABRAÇOS II, e complemento com resultados numéricos obtidos por meio do modelo MERCATOR.

1.3 Objetivos específicos

- (i) Identificação dos tipos e origens de massas de água na área de estudo.
- (ii) Mapeamento das distribuições verticais e horizontais das massas de água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

As massas d'água são classificadas conforme camadas de densidade oceânica em superficiais, centrais (intermediárias) ou ainda profundas. A ATS consiste em parte da massa d'água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical e que é transportada para o sul pela Corrente do Brasil (EMÍLSON, 1961). A ACAS e ACAN são massas d'água centrais situadas na termoclina que apresentam um intervalo grande de temperatura e salinidade. A AIA, por sua vez, encontrada em profundidades maiores, é também considerada uma massa d'água central sendo relativamente fria, pouco salina e rica em oxigênio.

Os primeiros estudos sobre massas d'água tiveram início no período entre as duas primeiras guerras mundiais no qual foram efetuados estudos sistemáticos de bacias oceânicas por meio de expedições em alto-mar. Desde então, as análises de massas d'água apresentam um papel fundamental no desenvolvimento da oceanografia como uma ciência moderna (TOMCZAK, 1999).

Por meio de dados hidrográficos foi possível inferir propriedades de parcelas de água como temperatura e salinidade, que relacionadas com a densidade constituíram nas análises pioneiras de massas d'água através do uso do diagrama T-S (EMERY, 2003).

O primeiro diagrama T-S foi introduzido por HELLAND-HANSEN (1918), sendo em seguida aprimorado por JACOBSEN (1927) e DEFANT (1929) para a determinação de processos de mistura de massas em regiões de mesma densidade, e posteriormente esse mesmo método foi aplicado por WUST (1935) para a melhor compreensão da circulação oceânica.

Para detecção de misturas não isopícnais de massas d'água, ou seja, misturas em regiões de densidades distintas, TOMCZAK (1981) propôs uma extensão da análise clássica do diagrama T-S através do uso de parâmetros adicionais. Esse método denominado de Análise Multiparamétrica Ótima foi posteriormente aperfeiçoado por MACKAS et al (1987) e TOMCZAK & LARGE (1989).

A aplicação da análise OMP em massas de água centrais (ACAN, ACAS e AIA) foi relatada na literatura em estudos de TOMCZAK (1981) no noroeste da África, de HINRICHSSEN e TOMCZAK (1993) no Oceano Atlântico Norte Ocidental, de POOLE & TOMCZAK (1999) no Oceano Atlântico, e de TOMCZAK e LIEFRINK (2005) no Oceano Antártico, sendo utilizados como parâmetros adicionais os nutrientes, fósforo, nitrato e silicato, e o oxigênio dissolvido (Tab.1)(Tab.2)(Tab.3).

Tabela 1 – Estudos na literatura que utilizaram a análise OMP, com definição de parâmetros adicionais para a massa d'água central ACAN.

ACAN	TOMCZAK (1981)		HINRICHSEN E TOMCZAK (1993)		POOLE & TOMCZAK (1999)	
Temperatura(°C)	18.65	11	19	7	13.9	7
Salinidade	36.76	35.47	36.65	35	35.9	35
Oxigênio(umol/kg)	-	-	241	169.7	252	291.6
Fosfato(umol/kg)	0	1.19	0.15	1.3	0.19	0.46
Silicato (umol/kg)	0	5	2	15	1.79	3.86
Nitrato (umol/kg)	2.1	18	2	20	0.09	5.8

Fonte : A autora.

Tabela 2 – Estudos na literatura que utilizaram a análise OMP, com definição de parâmetros adicionais para a massa d'água central ACAS.

ACAS	TOMCZAK (1981)		POOLE & TOMCZAK (1999)			
			wACAS	eACAS		
Temperatura(°C)	15.25	9.7	16.27	6.5	14.4	6
Salinidade	35.7	35.17	35.69	34.4	35.3	34.4
Oxigênio(umol/kg)	-	-	239.6	295.4	249.3	300
Fosfato(umol/kg)	1.5	2.3	0.2	1.1	0.24	1.3
Silicato (umol/kg)	9	21	1.7	4.1	3.6	7
Nitrato (umol/kg)	22.2	33	0	13.3	0	11.8

Fonte : A autora.

Tabela 3 – Estudos na literatura que utilizaram a análise OMP, com definição de parâmetros adicionais para a massa d'água central AIA.

AIA	HINRICHSEN E TOMCZAK (1993)	TOMCZAK E LIEFRINK (2005)
Temperatura(°C)	3.5	4.4
Salinidade	34.55	33.75
Oxigênio(umol/kg)	169.7	310
Fosfato(umol/kg)	2.3	1.5
Silicato (umol/kg)	45	1.5
Nitrato (umol/kg)	33	24

Fonte : A autora.

Em relação às massas d'água superficiais, valores de parâmetros adicionais para a ATS foram estabelecidos em estudos da literatura no Oceano Atlântico Sul entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS) (BRAGA & NIENCHESKI, 2006) e na Zona Econômica Exclusiva Brasileira entre Salvador (BA) e o Cabo de São Tomé (RJ) (REZENDE et al, 2007) (Tab.4).

Tabela 4 - Estudos na literatura que definiram valores de parâmetros adicionais para a massa d'água superficial ATS no Oceano Atlântico Sul.

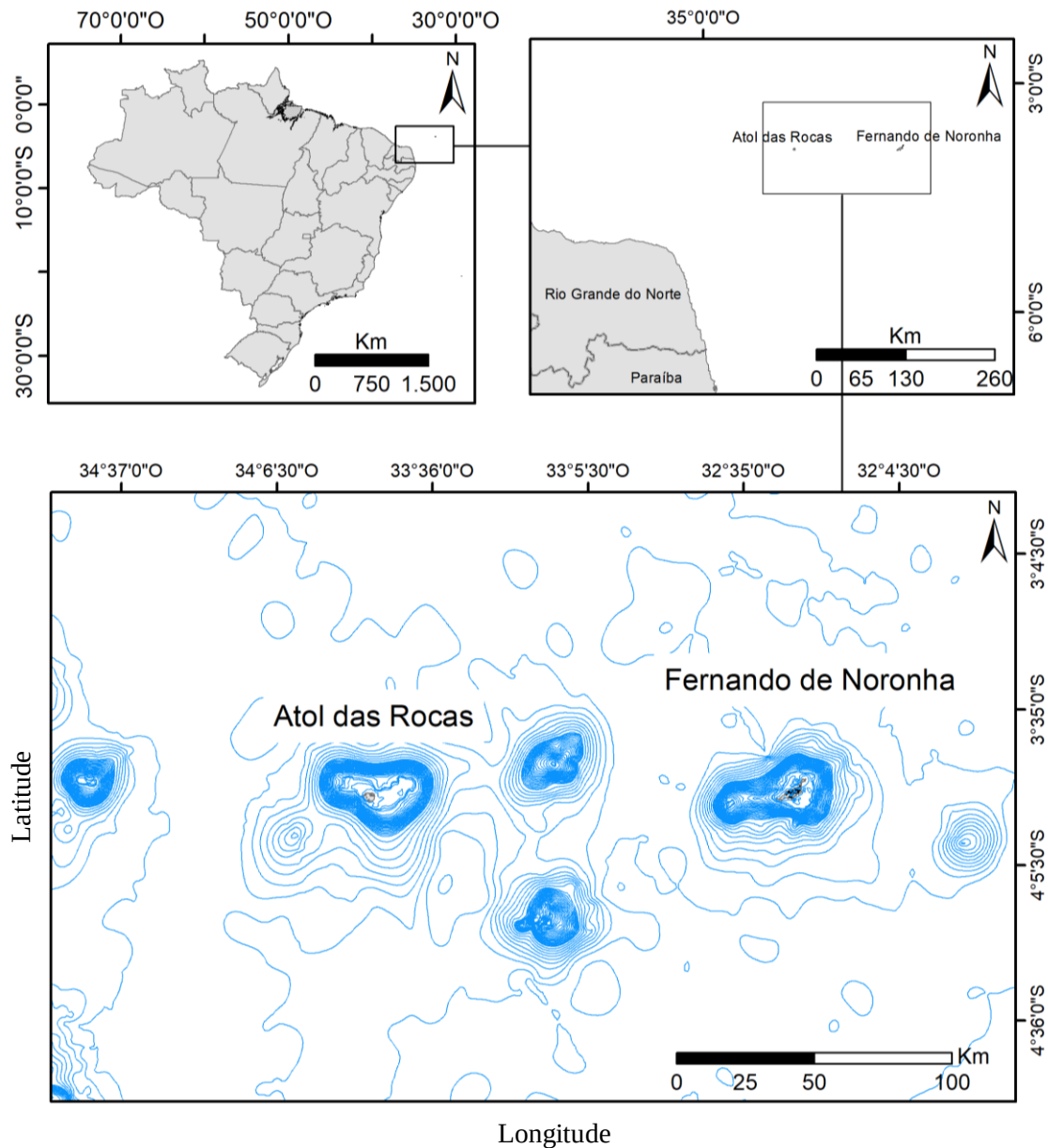
ATS	BRAGA & NIENCHESKI (2006)	REZENDE et al. (2007)
Temperatura(°C)	>20	26.81
Salinidade	>36.4	37.12
Oxigênio(umol/kg)	182.88 – 219.87	182.87
Fosfato(umol/kg)	0.22 – 0.28	0.02
Silicato (umol/kg)	4.33 – 6.81	2
Nitrato (umol/kg)	1.05 – 1.95	1.08

Fonte : A autora.

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Fig.2) equivale a borda oeste do Oceano Atlântico Tropical, onde estão situadas a ilha de Fernando de Noronha ($03^{\circ} 51' S$ $32^{\circ} 25' W$) pertencente ao arquipélago de mesmo nome, e o Atol das Rocas ($03^{\circ} 50' S$ $33^{\circ} 49' W$), ambos localizados na Zona Econômica Exclusiva do Nordeste Brasileiro (ZEE/NE) (SERAFINI et al., 2010).

Figura 2 - Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas no Oceano Atlântico Tropical.



Longitude
Fonte : A autora.

3.1 Arquipélago de Fernando de Noronha

O Arquipélago de Fernando de Noronha é composto por seis ilhas (Fernando de Noronha, Rata, Maio, Lucena, Sela Gineta e Rasa) e 14 pequenos rochedos (MEDEIROS et al., 2009b), sendo politicamente ligado ao Estado de Pernambuco desde 1988.

Distando 350 km de Natal (Rio Grande do Norte) e 545 km de Recife (Pernambuco), a ilha principal deste arquipélago equivale à Ilha oceânica de Fernando de Noronha com 18,4 km², sendo a única ilha habitada.

Em relação aos lados, a Ilha de Fernando de Noronha foi classificada em “Mar de Dentro” e “Mar de Fora”. O “Mar de Dentro” consiste no lado da ilha principal voltado para o continente sul-americano, representado por 10 praias (Praias do Porto, do Cachorro, do Meio, da Conceição, do Americano, do Bode, do Boldró, da Cacimba do Padre, da Baía dos Porcos e do Sancho), sendo o lado mais protegido de correntes e ventos oceânicos e; o “Mar de Fora” se refere ao lado voltado para o continente africano representado por 4 praias (Praias do Leão, da Baía do Sudeste, da Atalaia e das Caieiras), com ventos e ondas fortes ao longo de quase todo o ano (LINSKER, 2003).

A Ilha oceânica de Fernando de Noronha é um Parque Nacional Marinho protegido legalmente pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade- ICMBio, reconhecida em 2001 pela Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleontológicos – SIGEP/UNESCO – como patrimônio geológico brasileiro (CASTRO, 2010). O Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha foi criado pelo Decreto nº 96.693, de 14 de setembro de 1988, ocupando 70% do Arquipélago de Fernando de Noronha (ICMBio).

Também foi criado em 1986 a Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha – Rocas - São Pedro e São Paulo, abrangendo uma área de 79.706 ha, cobrindo o Arquipélago de Fernando de Noronha (área não pertencente ao Parque Nacional Marinho), o Atol das Rocas e o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ICMBio).

3.1.1 Descrição das Características Meteo-Oceanográficas

A ilha principal de Fernando de Noronha apresenta clima tropical do tipo Awi do sistema Köppen de classificação, marcado pelo domínio oceânico, e é caracterizada por duas estações bem distintas: o período chuvoso de março a julho e o déficit hídrico mais acentuado de agosto a janeiro (CASTRO, 2010), com temperatura média da água equivalente a 27°C e salinidade de 35.5 (TCHERNIA, 1980; LINSKER, 2003). As marés na ilha são do tipo semi-diurna (ESTON et al., 1986).

Os ventos alísios de quadrantes leste a sudeste, entre abril e outubro, atingem o “Mar de Fora”, gerando ondas com forte arrebentação e condições de mar agitadas, enquanto que, no “Mar de Dentro” as condições do mar permanecem calmas nesse período. Entre novembro e março, no entanto, passam a predominar ventos alísios de quadrantes oeste a sudoeste no “Mar de Dentro” provocando fortes ondulações, havendo dessa forma, calmaria no “Mar de Fora” (TCHERNIA, 1980; LINSKER, 2003).

Entre os meses de dezembro a março, o arquipélago sofre incidência de ondas do tipo *swell* vindas de norte, originadas a partir de tempestades tropical no hemisfério norte, tal episódio reflete diretamente no aumento do nível da água sob a plataforma costeira do mar de dentro da Ilha Fernando de Noronha, sendo responsáveis pelo aumento da altura significativa das ondas características, bem como a mudança da direção das correntes locais (ASSUNÇÃO, 2017).

3.1.2 Formação geológica

No processo de deriva continental, que explica o surgimento do Oceano Atlântico por meio da separação e deslocamento das placas tectônicas da América do Sul e da África, ocorreu formação do Arquipélago de Fernando de Noronha através da passagem da placa sul-americana por uma região de hot spot, desencadeando em uma série de erupções vulcânicas e explosão de magma que gerou uma cadeia de montanhas submarinas (ALMEIDA, 2006; WILDNER; FERREIRA, 2011).

O Arquipélago de Fernando de Noronha, com orientação Leste-Oeste, situa-se na extremidade oriental dessa cadeia de montanhas submarinas formada, que, juntamente com o Atol das Rocas e demais montes e elevações desse embasamento magmático, fazem parte da mesma zona de fratura oceânica que compõe a Cadeia de Fernando de Noronha, sendo a mesma constituída de feições tectônicas e produtos de vulcanismo alcalino (ALMEIDA, 2006).

3.2 Atol das Rocas

O Atol das Rocas, dista 267 km da cidade de Natal (Rio Grande do Norte) e 148 km do Arquipélago de Fernando de Noronha (SOARES et al., 2010) e é o composto por duas pequenas ilhas, Farol e Cemitério, que juntas possuem uma área total de 7,5 km² (SERAFINI et al., 2010).

O Atol com perímetro estimado de 11km (PEREIRA et al., 2010), apresenta área interna de 5,5 km², com eixos E-W de aproximadamente 3,7 km e N-S com cerca de 2,5 km, e base situada a 4.000 m de profundidade no leito oceânico (SOARES et al., 2010).

No Atol das Rocas foi criado uma Reserva Biológica (REBIO) pela iniciativa do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), por meio do Decreto-Lei nº 83.549 de 5 de junho de 1979, constituindo-se a primeira unidade de conservação marinha do Brasil e o primeiro sistema recifal insular a ser protegido no litoral sudoeste do Atlântico (SOARES et al., 2010).

3.2.1 Descrição das Características Meteo-Oceanográficas

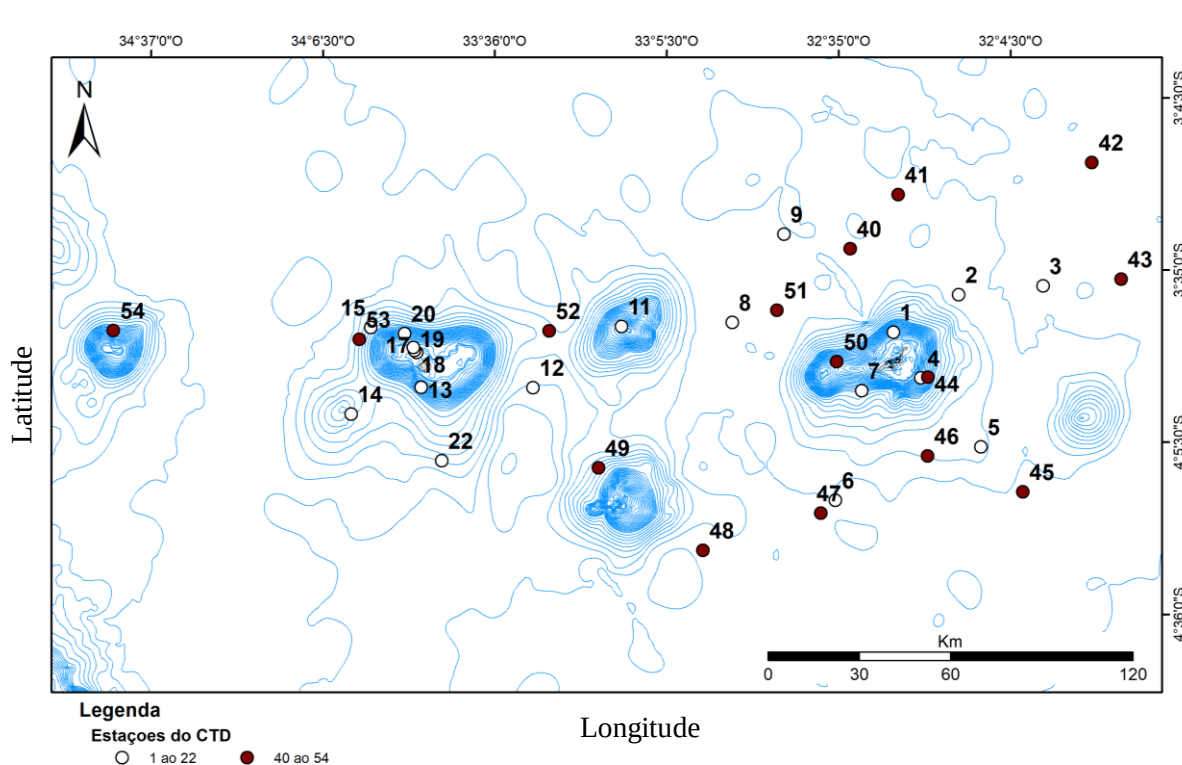
O clima do Atol das Rocas é o oceânico tropical, com precipitação distribuída irregularmente ao longo do ano, com menor precipitação em abril e maior precipitação em agosto. A temperatura média da água na parte externa do atol atinge 27°C, enquanto que, nas piscinas presentes na região interna do recife, a água pode chegar a 39°C (GASPARINI; MACIEIRA, 2005).

O regime de marés é do tipo semidiurno e de mesomaré, com uma variação máxima de 2,7 m (GHERARDI & BOSENCE, 1999). O atol sofre influência dos ventos alísios provenientes do leste e do sudeste, que sopram o ano todo (GASPARINI; MACIEIRA, 2005).

4 METODOLOGIA

O levantamento de dados em campo foi realizado por meio de duas campanhas oceanográficas: ABRAÇOS I (outubro de 2015) e ABRAÇOS II (abril-maio de 2017). As campanhas foram realizadas a bordo do Navio Oceanográfico “Antea”. As medições foram realizadas ao longo da coluna d’água nas regiões oceânicas, até uma profundidade máxima de 1000 m. Foram realizadas um total de 36 estações oceanográficas, sendo 21 estações referentes à primeira campanha (30/09 a 08/10 de 2015) e 15 estações referentes à segunda campanha (26/04 a 03/05 de 2017)(Fig. 3).

Figura 3 - Localização das estações oceanográficas referentes às campanhas ABRAÇOS I (outubro de 2015) (pontos brancos) e ABRAÇOS II (abril-maio de 2017) (pontos marrons) em torno do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas, na borda oeste do Atlântico Tropical. A batimetria varia de 50 m em 50 m da parte emersa das ilhas (0 m) até o oceano profundo (4500 m).



Fonte : A autora.

4.1 Obtenção dos Dados em Campo

As propriedades físicas da água (temperatura e salinidade) foram obtidas a partir dos perfis CTD-O₂ do fabricante e modelo da *Sea Bird Electronics SBE911plus* equipado com sensores que medem condutividade, temperatura e pressão em altas resoluções (com acurácias na ordem de 0.0003 S m⁻¹, 0.0001 °C e 0.7dbar, respectivamente). Para a determinação das

amostras de oxigênio e nutrientes (fosfato, nitrato e silicato) foram utilizadas garrafas Niskin acopladas ao CTD-O₂ por meio de uma rossete (Fig.4a,b).

Figura 4 - CTD acoplado com conjunto de garrafas Niskin para obtenção de dados.



Figura 5 - Navio Oceanográfico “Antea” utilizado durante as campanhas ABRAÇOS I e ABRAÇOS II.



Fonte: Projeto ABRAÇOS.

As amostras de oxigênio foram coletadas rapidamente para evitar contaminação com o ar e, perda de oxigênio da amostra devido ao aumento de temperatura, sendo as amostras fixadas pelos componentes químicos sulfato de manganês e iodeto de potássio.

As amostras de nutrientes, logo após a coleta, foram aquecidas a 80°C por 2h30 em um processo denominado de “pasteurização”, para assegurar que a concentração de nutriente não mudasse dentro da garrafa, no caso de influência da temperatura ambiente e condições escuras por um longo período de tempo (OUDOT et al., 1998).

4.2 Tratamento e Análise de Dados em Laboratório

Os perfis verticais de temperatura e salinidade foram processados usando rotinas para filtrar os dados, removendo os dados inválidos e interpolando dentro de cada metro da coluna d'água. O ajuste dos perfis ocorreu por meio do uso de coeficientes de calibração pré-campanha e pós-campanha, levando em consideração o drift do sensor.

As correções dinâmicas aplicadas pelo modelo foram checadas e otimizadas e, com base nas diferenças entre as análises químicas e medições do sensor foi aplicado o polinomial, sendo os coeficientes de calibração otimizados através do uso de métodos estatísticos para ajustar os dados de salinidade CTD-O₂. Os perfis foram então cuidadosamente examinados e corrigidos a partir de cada anomalia, sendo os dados de temperatura e salinidade consistentes com o do padrão internacional WOCE.

Na análise das amostras de oxigênio foi aplicado o método *Winkler* clássico de titulação, baseado na adição da solução de Mn^{+2} e de iodeto alcalino de potássio na amostra. A precisão deste método foi de 0,5% (STRICKLAND e PARSONS, 1968).

A partir da mistura, observou-se um precipitado marrom na solução, indicando oxidação do Mn^{+2} para Mn^{+3} . Com a acidificação desta solução ocorreu o processo de redução do Mn^{+2} e a oxidação do iodo para iodo livre. Dessa forma, a concentração de oxigênio dissolvido na amostra equivaleu à concentração de iodo livre presente na mesma.

Na análise das amostras de nutrientes (fosfato, nitrato e silicato) foi aplicado o método de colorimetria, utilizando procedimentos padrões (BENSCHNEIDER e ROBINSON, 1952; MULLIN e RILEY, 1955; MURPHY e RILEY, 1962; WOOD et al., 1967). A precisão do método foi de 0,2% para o silicato e nitrato, e 0,4% para o fosfato (OUDOT e BAURANT, 1994).

4.3 Análise Multiparamétrica Ótima

Nas primeiras análises de massas de água, valores de temperatura e salinidade foram relacionados com a densidade a partir do diagrama T-S (EMERY, 2003), sendo possível detectar apenas misturas isopícnas de massas de água, ou seja, misturas em regiões de mesma densidade. Dessa forma, para detecção de misturas não isopícnas é necessário o uso de outro método de análise (TOMCZAC, 1981). A Análise Multiparamétrica Ótima, também conhecida como análise OMP (*Optimum Multiparameter analysis*) é um método baseado na extensão da relação temperatura-salinidade incluindo parâmetros adicionais (TOMCZAC, 1981), como o oxigênio dissolvido e os nutrientes (POOLE; TOMCZAC, 1999), no qual foi aplicado neste trabalho em torno do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas.

Os tipos de massas de água são determinados por meio de limites estabelecidos por meio dos pontos finais das curvas T-S, e os parâmetros adicionais escolhidos correlacionando com os dados de temperatura, sendo possível, portanto, definir os valores dos parâmetros de cada tipo de massa de água.

Pelo fato da área de estudo ser uma área oceânica restrita, foi adotado o método clássico da análise Multiparamétrica Ótima com parâmetros considerados conservativos, isto é, sem influências biogeoquímicas.

Os parâmetros foram normalizados e ponderados antes da resolução do sistema linear de equações que, teve como resultado, as contribuições das massas de água a partir das regiões de formação, permitindo a identificação de processos de mistura.

No nosso caso assume-se uma situação de mistura que envolve seis tipos de água e, um conjunto de dados observacionais composto por seis parâmetros que são a temperatura e salinidade em adição com o oxigênio, fosfato, nitrato e silicato. Desse modo, o sistema a ser resolvido consiste de sete equações, com a última indicando a condição de conservação de massa:

$$\begin{aligned}
 x_1T_1 + x_2T_2 + x_3T_3 + x_4T_4 + x_5T_5 + x_6T_6 &= T_{obs} + R_T \\
 x_1S_1 + x_2S_2 + x_3S_3 + x_4S_4 + x_5S_5 + x_6S_6 &= S_{obs} + R_S \\
 x_1O_{2,1} + x_2O_{2,2} + x_3O_{2,3} + x_4O_{2,4} + x_5O_{2,5} + x_6O_{2,6} &= O_{2,obs} + R_{O_2} \\
 x_1PO_{4,1} + x_2PO_{4,2} + x_3PO_{4,3} + x_4PO_{4,4} + x_5PO_{4,5} + x_6PO_{4,6} &= PO_{4,obs} + R_{PO_4} \\
 x_1SiO_{3,1} + x_2SiO_{3,2} + x_3SiO_{3,3} + x_4SiO_{3,4} + x_5SiO_{3,5} + x_6SiO_{3,6} &= SiO_{3,obs} + R_{SiO_3} \\
 x_1NO_{3,1} + x_2NO_{3,2} + x_3NO_{3,3} + x_4NO_{3,4} + x_5NO_{3,5} + x_6NO_{3,6} &= NO_{3,obs} + R_{NO_3} \\
 x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 &= 1 + R_\epsilon
 \end{aligned}$$

Os valores observados de temperatura (T_{obs}), salinidade (S_{obs}), oxigênio ($O_{2,obs}$), fosfato ($PO_{4,obs}$), silicato ($SiO_{3,obs}$) e nitrato ($NO_{3,obs}$) com seus respectivos resíduos R são identificados no lado direito das equações. No lado esquerdo são encontrados os valores de T_i , S_i , $O_{2,i}$, $PO_{4,i}$, $SiO_{3,i}$ e $NO_{3,i}$ ($i = 1, \dots, 6$) que são representativos de cada valor do parâmetro dos seis tipos de água, sendo encontrado também o termo x_i , que se refere às respectivas contribuições das fontes de massas de água. O sistema de equações também pode ser resumido em notação de matriz:

$$Gx = d + R$$

Onde, a matriz do tipo de água equivale a G , x é o vetor solução das contribuições que serão calculadas, d é o vetor dos dados observados e, o R é o vetor residual de ajuste.

4.4 Dados numéricos MERCATOR

Os dados numéricos MERCATOR compreendem a combinação de avanços na observação da Terra por satélites e bóias autônomas e ainda, sua inclusão em uma modelagem numérica tridimensional, constituindo a oceanografia operacional (Fonte: <https://www.mercator-ocean.fr/>).

4.4.1 Modelo Físico

A análise global de alta resolução e sistema de previsão PSY4V3R1 fornecido pelo Mercator Océan usa a versão 3.1 do modelo oceânico NEMO (MADEC et al., 2008), com

configuração física baseada no tipo de gride tripolar ORCA12 (MADEC e IMBARD, 1996) com resolução horizontal de 9 km no equador. A discretização vertical de nível 50 retido para este sistema possui uma diminuição de resolução de 1 m na superfície até 450 m no fundo oceânico e, 22 níveis dentro dos 100 m superiores.

A advecção de marcadores (temperatura e salinidade) é computada com um esquema de advecção de variância total decrescente (LÉVY et al., 2001; CRAVATTE et al., 2007). As ondas de gravidade de alta frequência são filtradas por uma superfície livre (ROULLET e MADEC, 2000) e, a difusão isopicnal lateral laplaciana nesses marcadores e viscosidade biarmônica horizontal para momento são utilizadas. Em adição, a mistura vertical é parametrizada de acordo com o modelo turbulento de fechamento (ordem 1.5 e comprimento de mistura de 30 m) adaptado por BLANKE e DELECLUSE (1993).

A batimetria usada no sistema é a combinação de base de dados ETOPO1 (AMANTE e EAKINS, 2009), usado em regiões de profundidades maiores que 300 m, e GEBCO8 (BECKER et al., 2009), usado em regiões mais rasas que 200 m, com interpolação linear na camada entre 200 m e 300m.

No sistema de correntes é utilizado uma forçante atmosférica de alta frequência (3h) incluindo ciclo diário, uso de fórmulas em massa CORE (GOOSSE et al., 2001) e uso de modelo de gelo LIMZ_EVP.

4.4.2 Assimilação de dados

Os dados são assimilados por médias de um filtro de ordem reduzida *Kalman* derivado do filtro *SEEK* (BRASSEUR e VERRON, 2006), com uma decomposição modal multivariada 3-D do erro de previsão e um ciclo de assimilação de 7 dias (LELLOUCHE et al., 2013), que inclui uma estimativa de erro adaptativo e um algoritmo de localização.

O sistema carrega dois controles internos de qualidade em perfis verticais de temperatura e salinidade a fim de minimizar o risco de perfis errôneos observados sendo assimilados no modelo.

Após cada análise, a assimilação de dados produz incrementos na temperatura, salinidade e velocidade de correntes zonais, utilizados neste trabalho. Estes incrementos são progressivamente aplicados usando o método *Incremental Analysis Update (IAU)* (BLOOM et al., 1996; BENKIRAN e GREINER, 2008) para evitar choques de modelo.

Os dados numéricos do MERCATOR utilizados neste trabalho correspondem ao ano de 2015, uma vez que os referentes ao ano de 2017 não estão disponíveis.

5 RESULTADOS

Os resultados relatados a seguir provêm de diversas análises envolvendo parâmetros de massas d'água para um melhor entendimento de suas variações espaciais e sazonais no Atlântico Tropical.

5.1 Perfis verticais (T, S, O)

Perfis hidrográficos verticais foram estabelecidos para determinar os limites de camadas oceânicas em distintos períodos correspondentes as duas campanhas ABRAÇOS.

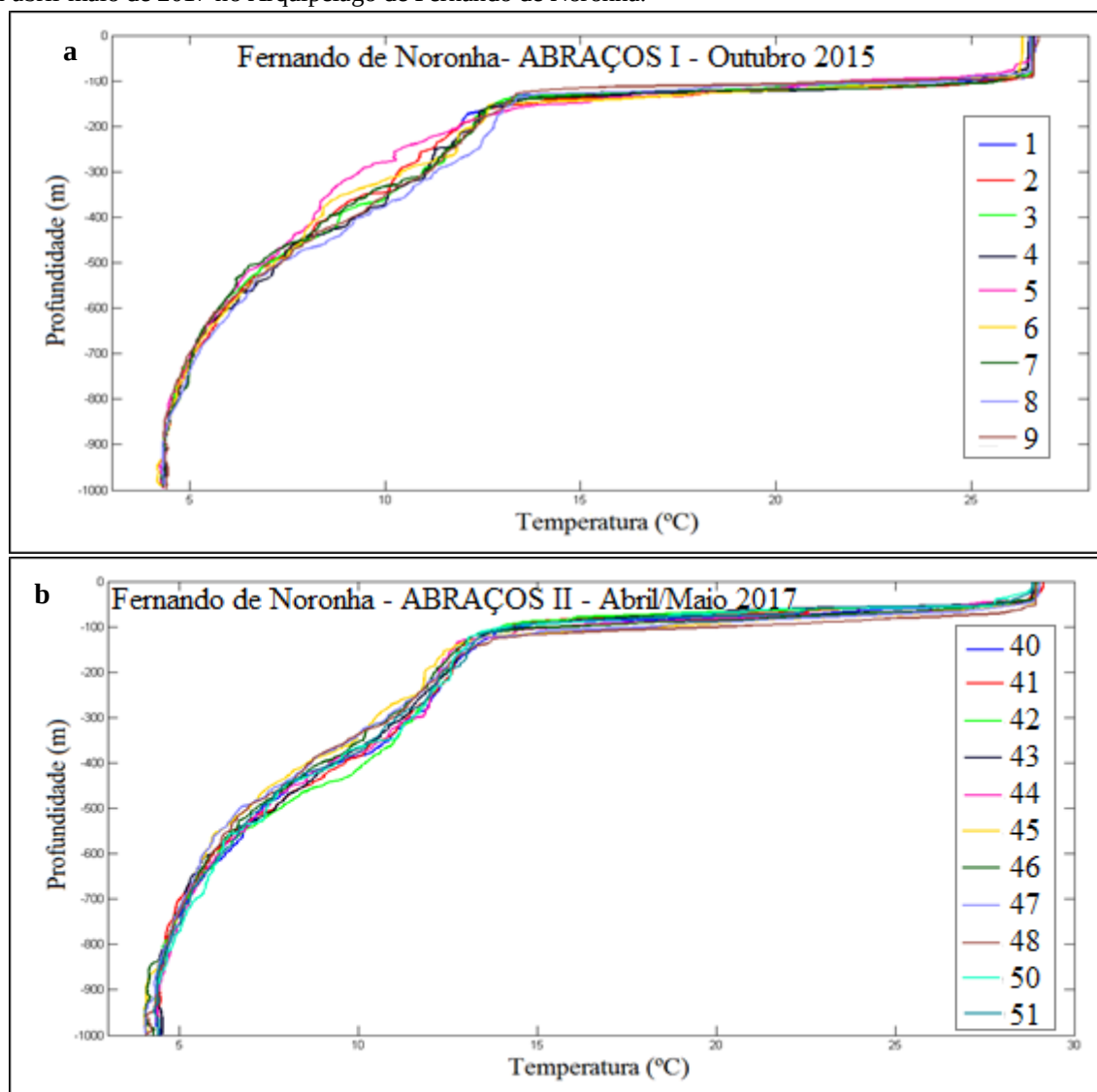
Nas estações localizadas ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha, durante a campanha ABRAÇOS I (outubro de 2015), foram observados a termoclina e haloclina na profundidade de 100 m a 150 m (Fig. 6a, c), enquanto que, durante a campanha ABRAÇOS II (abril-maio de 2017), estas atingiram a profundidade de 60 m a 130 m (Fig. 6b, d). Este fato demonstra que na primeira campanha a camada de mistura e a haloclina estavam mais profundas quando comparadas com a segunda campanha. O mesmo foi observado nas estações localizadas ao redor do Atol das Rocas. Nesta localidade e período a termoclina foi observada na profundidade de 160 m a 200 m durante o ABRAÇOS I (outubro de 2015) (Fig. 7) e, atingindo de 60 m a 140 m durante a campanha ABRAÇOS II (abril-maio de 2017) (Fig. 7b, d). Os perfis verticais de salinidade apresentaram um máximo de salinidade (> 36.5) em torno da profundidade de 100 metros (Fig. 7c, d).

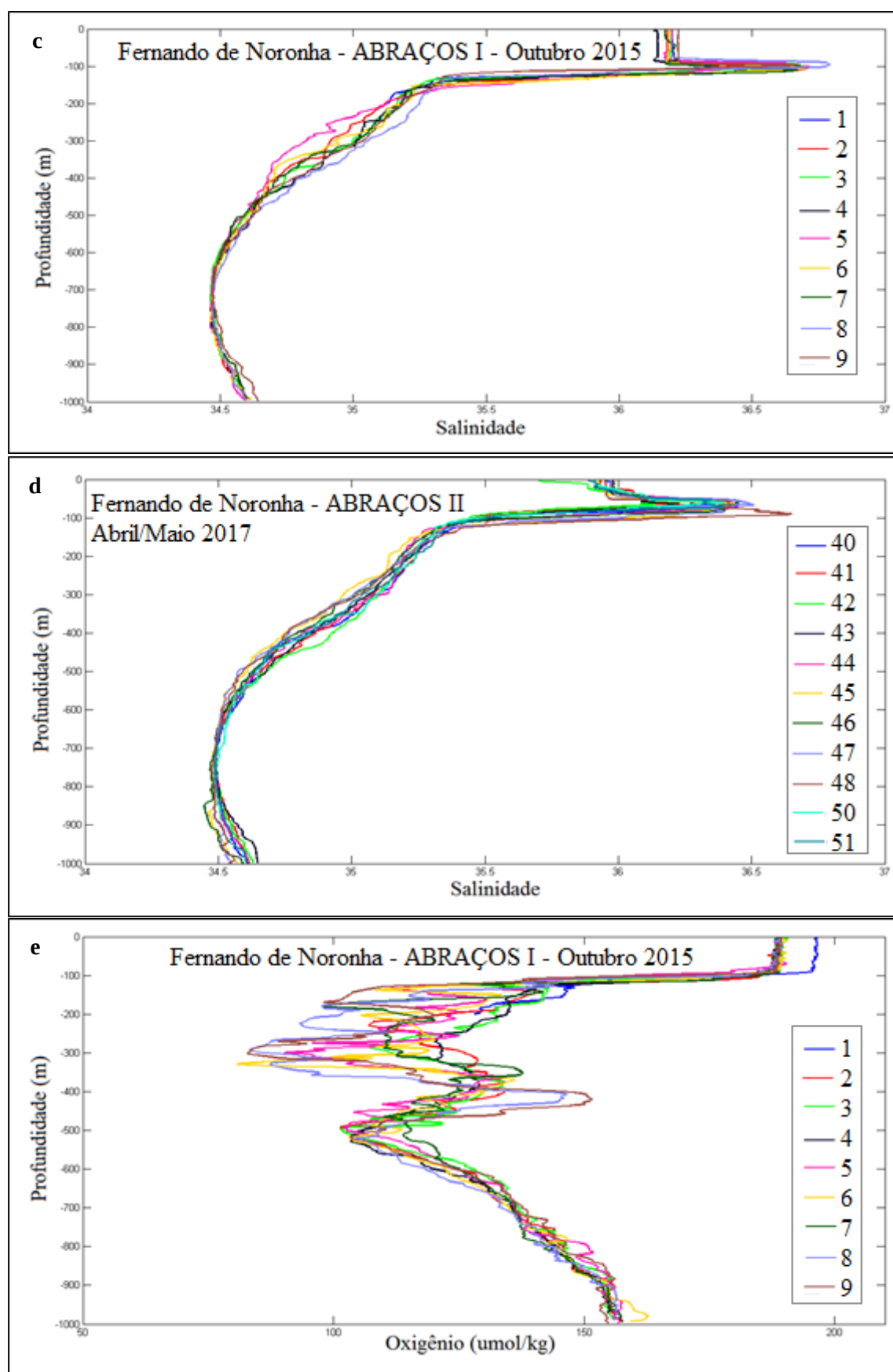
Os perfis verticais observados nas estações em torno Fernando de Noronha apresentaram um padrão de distribuição similar em relação à profundidade, com exceção da estação 1 e da estação 18. A estação 1 teve um perfil caracterizado por um maior afundamento da termoclina e também por uma maior elevação da haloclina quando comparada com as outras estações, apresentando pico mais alto de salinidade de 37,2 a 100 m de profundidade (Fig. 6a, c). A estação 18, no entanto, teve um perfil caracterizado por um maior afundamento da termoclina, assim como da haloclina, com pico de salinidade de aproximadamente 36,8 a 160 m (Fig. 6b, d).

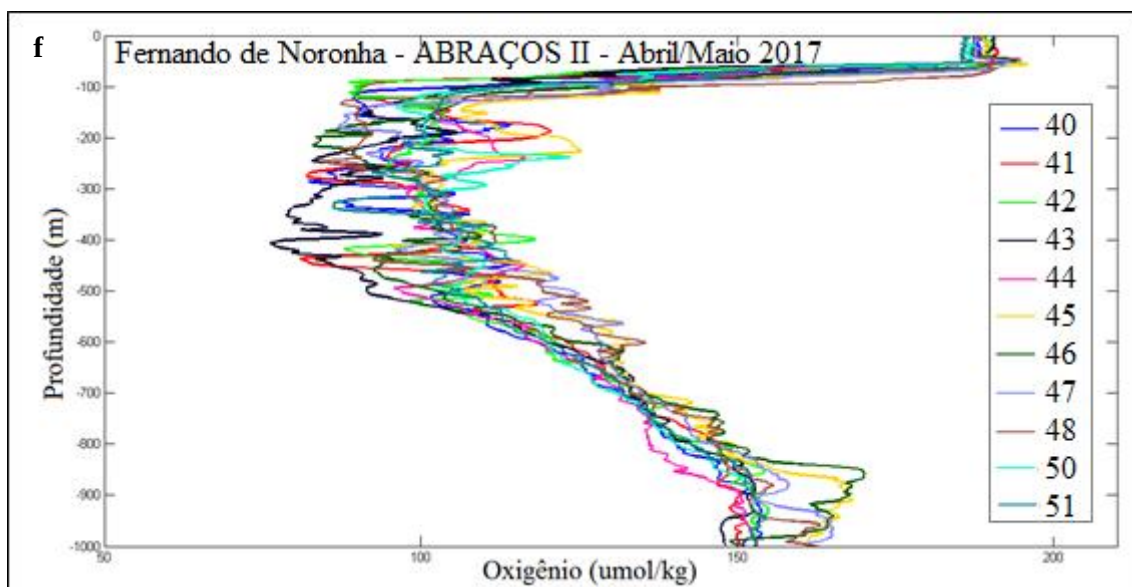
Os perfis de oxigênio observados nas estações localizadas em torno do Arquipélago de Fernando de Noronha, durante os meses de abril e maio de 2017, foram identificados baixas concentrações de oxigênio (80 $\mu\text{mol/kg}$ - 100 $\mu\text{mol/kg}$) logo abaixo da termoclina, até aproximadamente 500 m de profundidade (Fig. 6f). Nas estações localizadas em torno do Atol das Rocas durante o mesmo período, baixas concentrações (85 $\mu\text{mol/kg}$ - 110 $\mu\text{mol/kg}$) foram observados até 600 m (Fig. 7f). Durante os meses de outubro de 2015 no Arquipélago de

Fernando de Noronha quando comparadas com os perfis de oxigênio nas mesmas profundidades (abaixo da termoclina até a profundidade de 500 m) os valores apresentaram elevados para a maioria das estações (124 $\mu\text{mol/kg}$ - 160 $\mu\text{mol/kg}$) em relação ao mês de abril de 2017 (110 $\mu\text{mol/kg}$ - 130 $\mu\text{mol/kg}$) (Fig.6e,f).

Figura 6 - Perfis de temperatura (a), salinidade (c) e oxigênio (e) referentes a campanha ABRAÇOS I em outubro de 2015 e, perfis de temperatura (b), salinidade (d) e oxigênio (f) referentes a campanha ABRAÇOS II em abril-maio de 2017 no Arquipélago de Fernando de Noronha.

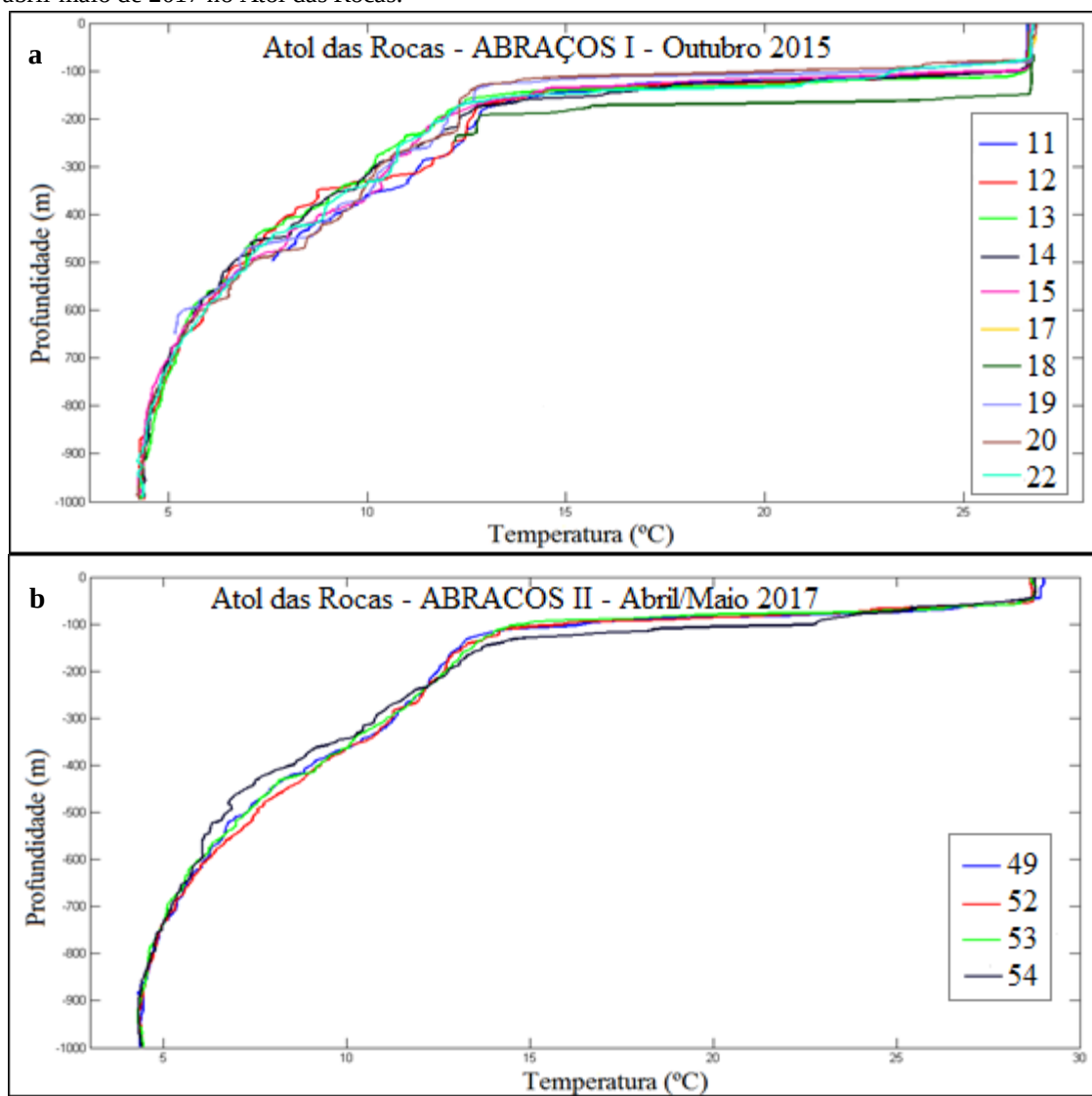


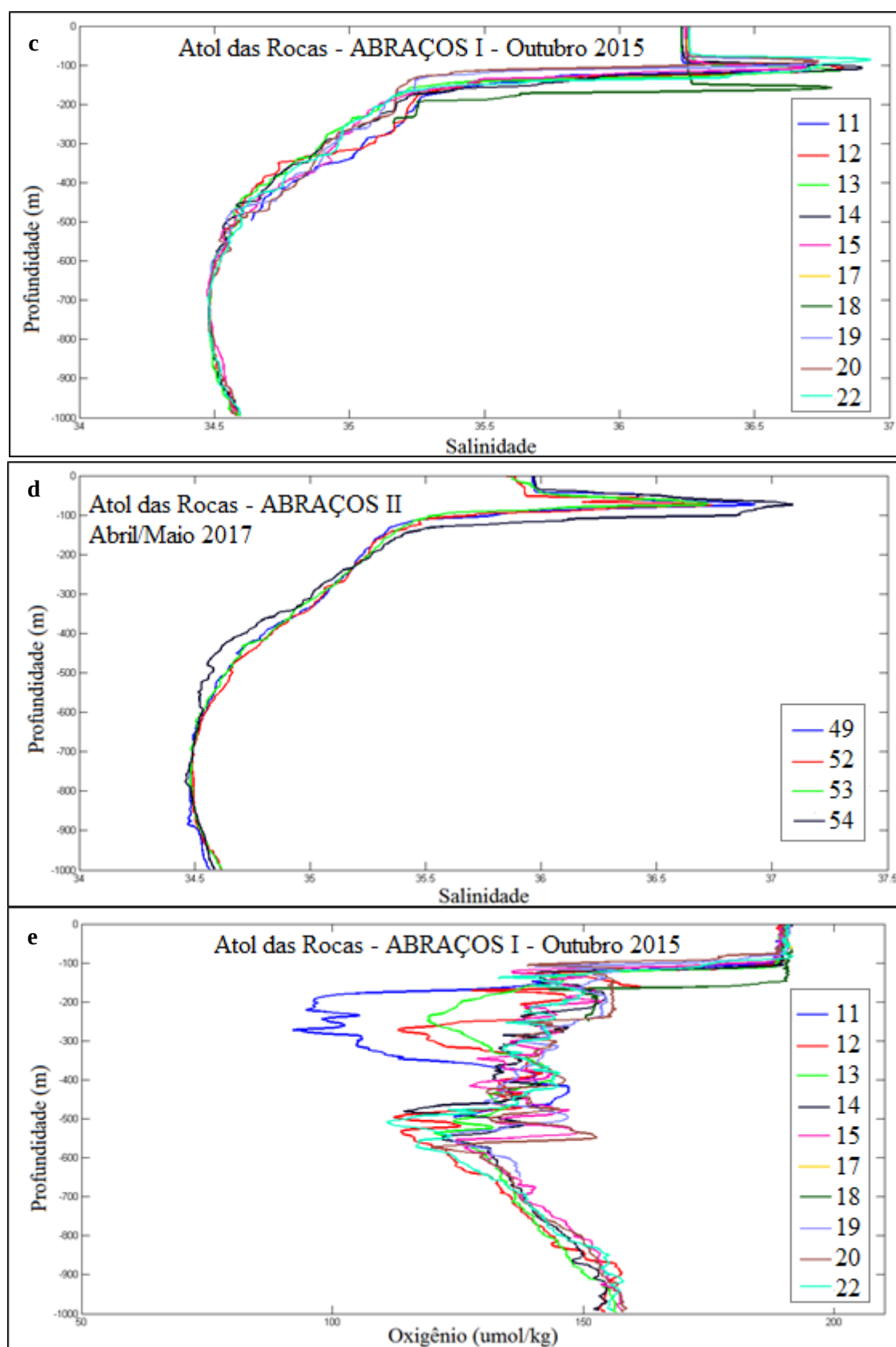


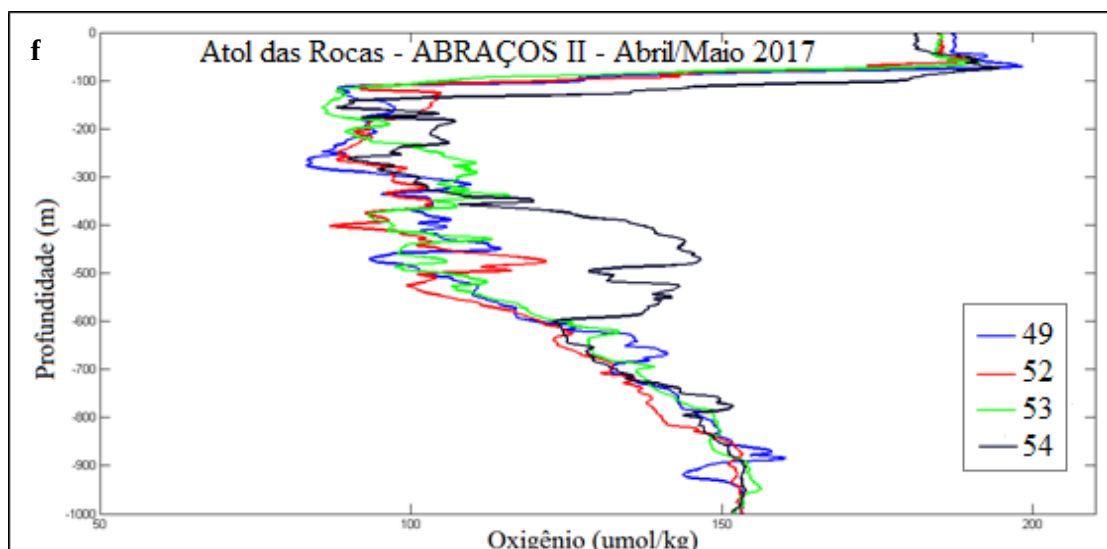


Fonte: A autora.

Figura 7 - Perfis de temperatura (a), salinidade (c) e oxigênio (e) referentes a campanha ABRAÇOS I em outubro de 2015 e perfis de temperatura (b), salinidade (d) e oxigênio (f) referentes a campanha ABRAÇOS II em abril-maio de 2017 no Atol das Rocas.







Fonte: A autora.

5.2 Análise OMP – Massas de Água

Nas duas campanhas oceanográficas, quatro massas de água foram identificadas entre a superfície até uma profundidade de 1000 m, nas latitudes entre 3°-5° S e longitudes entre 31°-35° W, ao redor do Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas: Água Tropical de Superfície (ATS), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Central do Atlântico Norte (ACAN) e Água Intermediária Antártica (AIA) (Fig.8)(Fig.10).

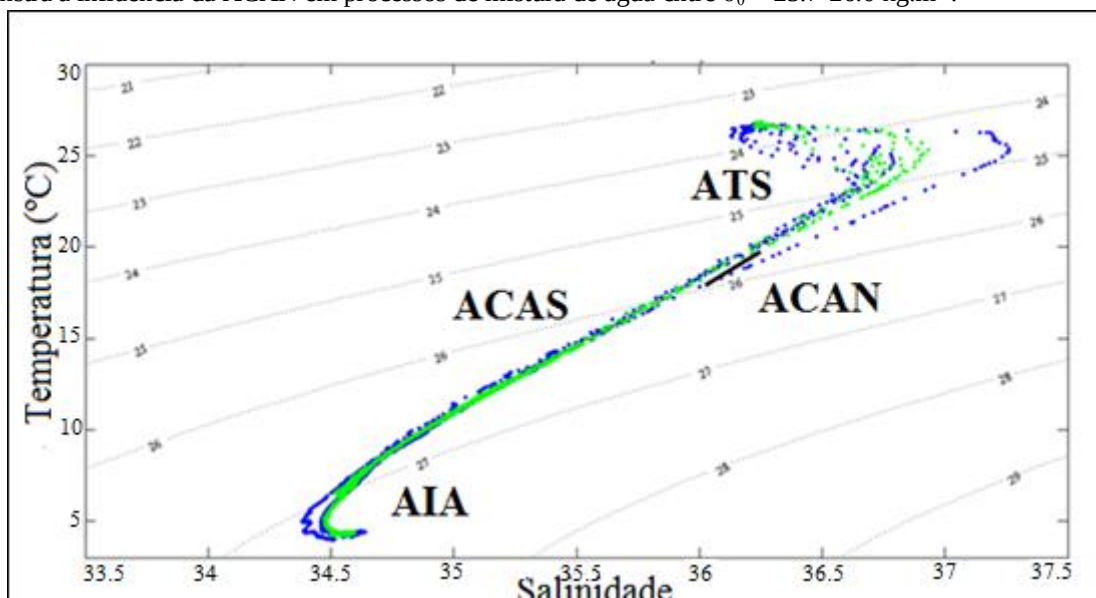
5.2.1 Campanha ABRAÇOS I (outubro 2015)

Os tipos de massas de água na borda oeste do Atlântico Tropical foram primeiramente determinados correlacionando os dados de temperatura e salinidade com a densidade através do diagrama T-S. A massa de água ATS foi determinada entre $\sigma_\theta = 23.7$ - 25.7 kg.m^{-3} , com temperaturas maiores que 20°C. A isopicna de 25.7 marca a transição entre a ATS e a ACAS. A ACAS é bem descrita por uma linha reta entre os pontos T-S equivalentes a 20°C, 36.2 a 116 m [Tipo de Água- TA4] e a 5°C, 34.4 a 685 m [Tipo de Água - TA5] existentes entre $\sigma_\theta = 25.7$ - 27.2 kg.m^{-3} . As isopicnas entre 27.2 e 27.3 marcam a transição entre a ACAS e a AIA, com AIA apresentando limite superior na isopicna de 27.3 a 834 m de profundidade, com temperatura de 4.5°C e salinidade de 34.4 [Tipo de Água - TA6] e limite inferior na isopicna de 27.4 a 1000 m, com temperatura de 4.3°C e salinidade de 34.56 (Fig.8).

A curva T-S próxima a ACAS conecta os pontos 20°C, 36.2 a 114 m [Tipo de Água - TA2] e 18°C, 36 a 122 m [Tipo de Água - TA3], demonstrando a influência da ACAN em

processos de mistura d'água no Oceano Atlântico Tropical entre $\sigma_\theta = 25.7\text{-}26.0 \text{ kg.m}^{-3}$ em outubro de 2015 (Fig.8).

Figura 8 - Diagrama T-S da borda oeste do Oceano Atlântico Tropical durante outubro de 2015, com identificação das massas de água ATS, ACAS, ACAN e AIA. Os pontos azuis representam estações em torno de Fernando de Noronha e os pontos verdes estações em torno do Atol das Rocas. A curva T-S (em preto) demonstra a influência da ACAN em processos de mistura de água entre $\sigma_\theta = 25.7\text{-}26.0 \text{ kg.m}^{-3}$.



Fonte: A autora.

Para detecção de processos de mistura de massas d'água foram correlacionados os parâmetros adicionais referentes ao oxigênio dissolvido e os nutrientes, fosfato, nitrato e silicato com a temperatura (Fig.9) e todos estes parâmetros foram selecionados para a análise OMP.

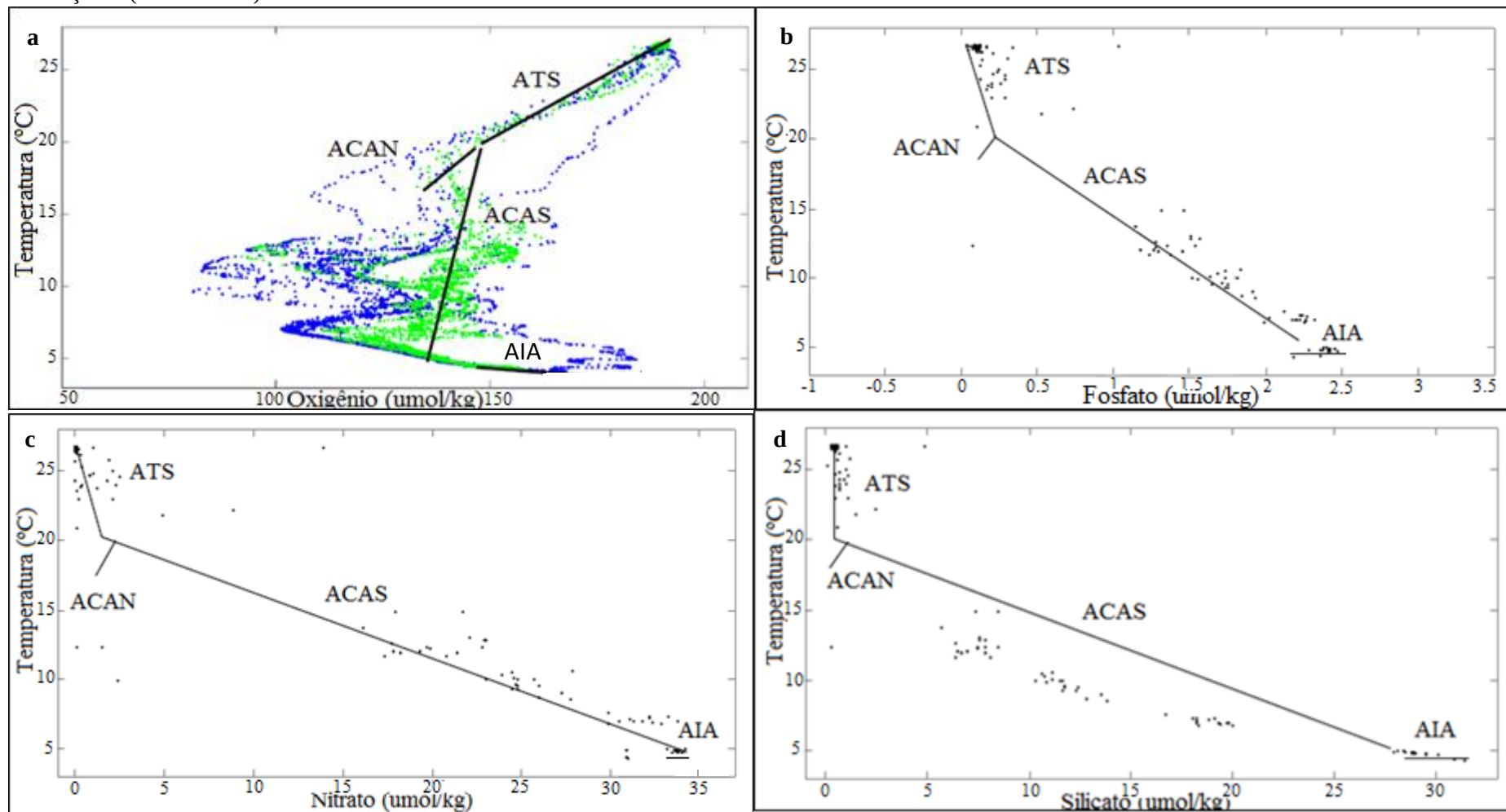
No intervalo de temperatura entre 20°C e 26.8°C ($\sigma_\theta = 23.7\text{-}25.7 \text{ kg.m}^{-3}$, superfície – 116 m) a ATS foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 145 $\mu\text{mol/kg}$ – 190 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 0.09 $\mu\text{mol/kg}$ – 0.2 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 0.1 $\mu\text{mol/kg}$ – 1.2 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 0.3 $\mu\text{mol/kg}$ – 0.7 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.9).

A ACAS no intervalo de temperatura entre 5°C-20°C ($\sigma_\theta = 25.7\text{-}27.2 \text{ kg.m}^{-3}$, 116 m – 685 m) foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 137 $\mu\text{mol/kg}$ – 145 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 0.2 $\mu\text{mol/kg}$ – 2.38 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 1.2 $\mu\text{mol/kg}$ – 34.2 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 0.7 $\mu\text{mol/kg}$ – 28.1 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.9).

A ACAN no intervalo de temperatura entre 18°C-20°C ($\sigma_\theta = 25.7\text{-}26 \text{ kg.m}^{-3}$, 114 m – 122 m) foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 135 $\mu\text{mol/kg}$ – 143 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 0.2 $\mu\text{mol/kg}$ – 0.29 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 0.5 $\mu\text{mol/kg}$ – 2.1 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 0.2 $\mu\text{mol/kg}$ – 1.1 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.9).

Ainda, a AIA no intervalo de temperaturas entre 4.19°C-4.5°C ($\sigma_\theta = 27.3\text{-}27.4 \text{ kg.m}^{-3}$, 834 m- 1000 m) foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 146 $\mu\text{mol/kg}$ – 158.2 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 2.36 $\mu\text{mol/kg}$ –2.49 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 33.8 $\mu\text{mol/kg}$ – 34 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 28.9 $\mu\text{mol/kg}$ – 32 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.9).

Figura 9 - Concentrações (umol/kg) de oxigênio (a), fosfato (b), nitrato (c) e silicato (d) determinadas para as massas de água ATS, ACAN, ACAS e AIA na campanha ABRAÇOS I (outubro 2015).



Fonte: A autora.

Por meio dos intervalos de temperatura, salinidade e nutrientes encontrados para cada massa de água foi possível detectar um total de seis tipos de massas de água na borda oeste do Atlântico Tropical em outubro de 2015. A ATS [Tipo de Água - TA1] e AIA [Tipo de Água - TA6] foram representadas pelos seus respectivos limites superiores no diagrama T-S, enquanto que, também neste diagrama, a ACAN e ACAS foram representadas cada uma por seus limites superiores [TA2 e TA4] e inferiores [TA3 e TA5], respectivamente (Tab.5):

Tabela 5 - Definições dos tipos de massas de água em outubro de 2015 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (3°-5°S, 31°-35°W).

Parâmetro	ATS [TA1]	ACAN [TA2]	[TA3]	ACAS [TA4]	[TA5]	AIA [TA6]
Temperatura(°C)	26.8	20	18	20	5	4.5
Salinidade	36.2	36.2	36	36.2	31.4	34.4
Oxigênio(μmol/kg)	190	143	135	145	137	146
Fosfato(μmol/kg)	0.09	0.29	0.2	0.2	2.38	2.36
Silicato (μmol/kg)	0.3	1.1	0.2	0.7	28.1	28.9
Nitrato (μmol/kg)	0.1	2.1	0.5	1.2	34.2	33.8
Profundidade (m)	4	114	122	116	685	834

Fonte: A autora.

Para caracterizar a origem das massas de água central (ACAS) foi realizada uma análise OMP extra nas isopícnas entre 26.5 e 27. Foram identificadas uma ACAS menos densa (wACAS) e outra mais densa (eACAS) ao longo de 100 m e 500 m de profundidade na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (Tab.6).

Tabela 6 - Definições dos tipos de Água do Atlântico Sul (ACAS) em outubro de 2015 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (3°-5° S, 31°-35° W).

Parâmetro	wACAS (superior)	wACAS (inferior)	eACAS (superior)	eACAS (inferior)
Temperatura(°C)	13.7	12.7	12.8	8.6
Salinidade	35.3	35.2	35.2	34.7
Oxigênio(μmol/kg)	138.8	142.9	96.1	120.7
Fosfato(μmol/kg)	1.15	1.28	1.57	1.93
Silicato (μmol/kg)	5.7	17.7	7.9	13.8
Nitrato (μmol/kg)	16.1	6.4	23	27.8
Profundidade (m)	150	180	200	434

Fonte: A autora.

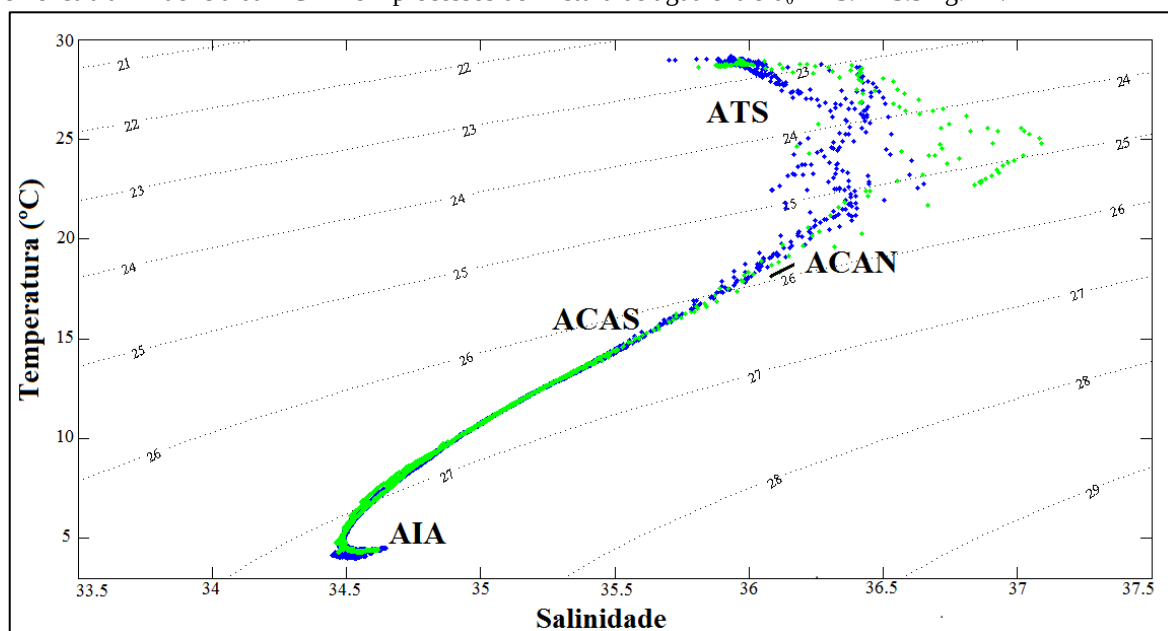
5.2.2 - Campanha ABRAÇOS II (abril-maio 2017)

A massa de água ATS foi determinada entre $\sigma_\theta = 22.8-25.8 \text{ kg.m}^{-3}$, com temperaturas maiores que 19°C. A isopícnica de 25.8 marca a transição entre a ATS e a ACAS. A ACAS é bem descrita por uma linha reta entre os pontos T-S equivalentes a 19°C, 36 a 84 m [Tipo de Água- TA4] e a 5.8°C, 34.5 a 607 m [Tipo de Água - TA5] existentes entre $\sigma_\theta =$

25.8-27.2 kg.m^{-3} . As isopícnas entre 27.2 e 27.3 marcam a transição entre a ACAS e a AIA, com AIA apresentando limite superior na isopícnica de 27.3 a 800 m de profundidade, com temperatura de 4.6°C e salinidade de 34.47 [Tipo de Água - TA6] e limite inferior na isopícnica de 27.4 a 1000 m, com temperatura de 3.9°C e salinidade de 34.5 (Fig.10).

A curva T-S próxima a ACAS conecta os pontos 18.2°C, 36 a 75 m [Tipo de Água - TA2] e 19.8°C, 36.2 a 95 m [Tipo de Água - TA3], demonstrando a influência da ACAN em processos de mistura d'água no Oceano Atlântico Tropical entre $\sigma_\theta = 25.7$ -25.9 kg.m^{-3} em abril-maio de 2017(Fig.10).

Figura 10 - Diagrama T-S da borda oeste do Oceano Atlântico Tropical durante abril-maio de 2017, com identificação das massas de água ATS, ACAS, ACAN e AIA. Os pontos azuis representam estações em torno de Fernando de Noronha e os pontos verdes estações em torno do Atol das Rocas. A curva T-S (em preto) demonstra a influência da ACAN em processos de mistura de água entre $\sigma_\theta = 25.7$ -25.9 kg.m^{-3} .



Fonte: A autora.

Para detecção de processos de mistura de massas d'água foram correlacionados os parâmetros adicionais referentes ao oxigênio dissolvido e os nutrientes, fosfato, nitrato e silicato com a temperatura (Fig.11) e todos estes parâmetros foram selecionados para a análise OMP.

No intervalo de temperatura entre 19°C e 29°C ($\sigma_\theta = 22.8$ -25.8 kg.m^{-3} , superfície – 84 m) a ATS foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 134.3 $\mu\text{mol/kg}$ – 187.6 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 0.6 $\mu\text{mol/kg}$ – 0.1 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 0.1 $\mu\text{mol/kg}$ – 11 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 0.9 $\mu\text{mol/kg}$ – 6 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.11).

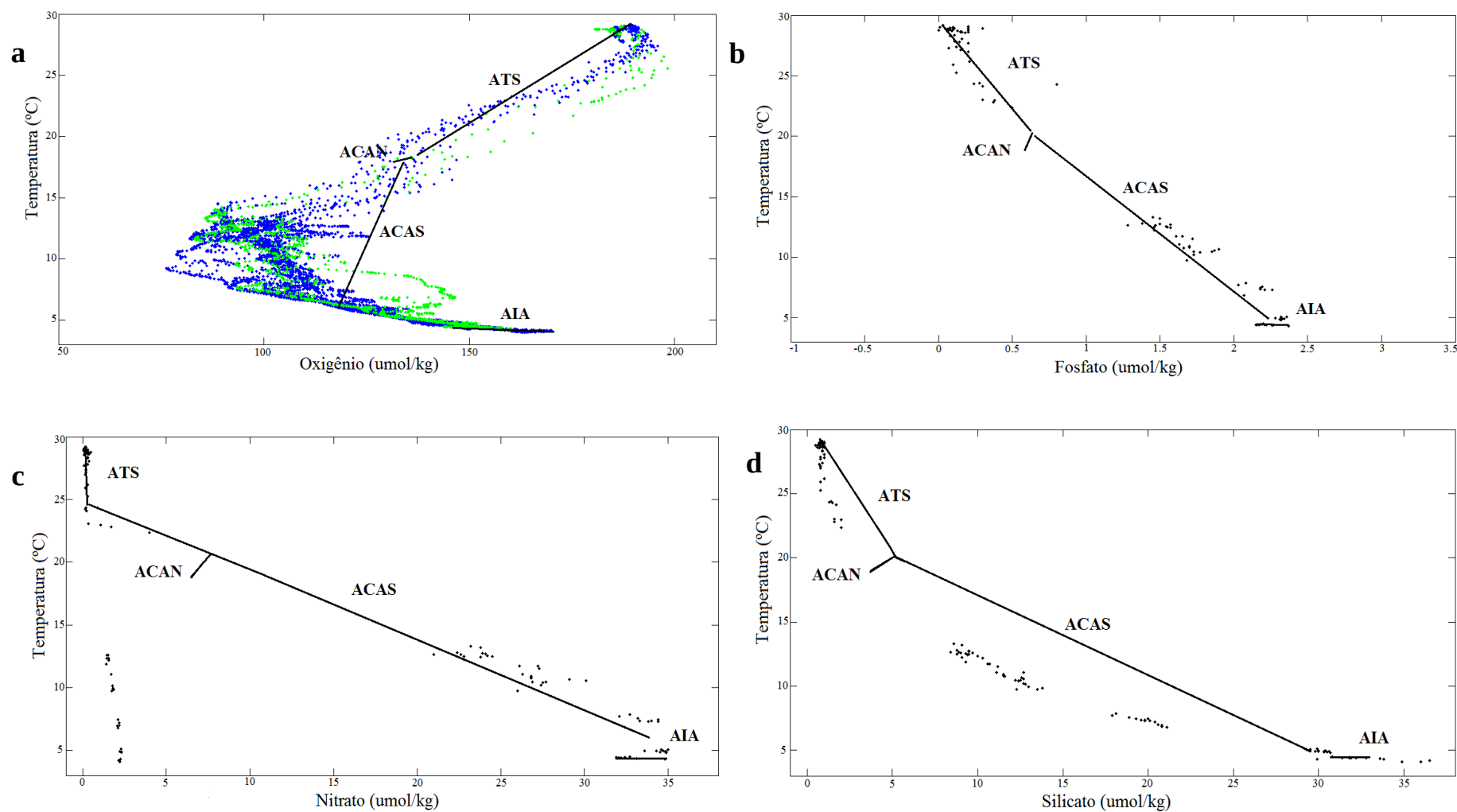
A ACAS no intervalo de temperatura entre 5.8°C-19°C ($\sigma_\theta = 25.8$ -27.2 kg.m^{-3} , 84 m – 607 m) foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 120.1 $\mu\text{mol/kg}$ –

134.3 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 0.6 $\mu\text{mol/kg}$ – 2.15 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 11 $\mu\text{mol/kg}$ – 33.5 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 6 $\mu\text{mol/kg}$ – 29 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.11).

A ACAN no intervalo de temperatura entre 18.2°C-19.8°C ($\sigma_\theta = 25.7\text{-}25.9 \text{ kg.m}^{-3}$, 75 m – 95 m) foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 129.6 $\mu\text{mol/kg}$ – 136.5 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 0.6 $\mu\text{mol/kg}$ – 0.7 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 6 $\mu\text{mol/kg}$ – 7 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 4 $\mu\text{mol/kg}$ – 5 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.11).

Ainda, a AIA no intervalo de temperaturas entre 3.9°C- 4.6°C ($\sigma_\theta = 27.3\text{-}27.4 \text{ kg.m}^{-3}$, 800 m- 1000 m) foi representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 147.5 $\mu\text{mol/kg}$ – 169 $\mu\text{mol/kg}$, concentrações de fosfato entre 2.17 $\mu\text{mol/kg}$ – 2.35 $\mu\text{mol/kg}$, de nitrato entre 32.2 $\mu\text{mol/kg}$ – 32.5 $\mu\text{mol/kg}$, e silicato entre 31 $\mu\text{mol/kg}$ – 31.8 $\mu\text{mol/kg}$ (Fig.11).

Figura 11 – Concentrações (umol/kg) de oxigênio (a), fósforo (b), nitrato (c) e silicato (d) determinadas para as massas de água ATS, ACAN, ACAS e AIA na campanha ABRAÇOS II (abril-maio de 2017).



Fonte: A autora.

Por meio dos intervalos de temperatura, salinidade e nutrientes encontrados para cada massa de água foi possível detectar um total de seis tipos de massas de água na borda oeste do Atlântico Tropical em abril-maio de 2017. A ATS [Tipo de Água - TA1] e AIA [Tipo de Água - TA6] foram representadas pelos seus respectivos limites superiores no diagrama T-S, enquanto que, também neste diagrama, a ACAN e ACAS foram representadas cada uma por seus limites superiores [TA2 e TA4] e inferiores [TA3 e TA5], respectivamente (Tab.7):

Tabela 7 - Definições dos tipos de massas de água em abril- maio de 2017 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (3°-5°S, 31°-35°W).

Parâmetro	ATS [TA1]	ACAN [TA2]	[TA3]	ACAS [TA4]	[TA5]	AIA [TA6]
Temperatura(°C)	29	19.8	18.2	19	5.8	4.6
Salinidade	36	36.2	36	36	34.5	34.47
Oxigênio(umol/kg)	187.6	136.5	129.6	134.3	120.1	147.5
Fosfato(umol/kg)	0.1	0.7	0.6	0.6	2.15	2.35
Silicato (umol/kg)	0.9	5	4	6	29	31
Nitrato (umol/kg)	0.1	7	6	11	33.5	32.5
Profundidade (m)	2	95	75	84	607	800

Fonte: A autora.

Para caracterizar a origem das massas de água central (ACAS) foi realizada uma análise OMP extra nas isopícnas entre 26.7 e 27.1. Foram identificadas dois tipos de ACAS ao longo de 100 m e 500 m de profundidade na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical: a eACAS, com maiores contribuições entre 100m-200m e a wACAS com maiores contribuições entre 400m-500m (Tab.8).

Tabela 8 - Definições dos tipos de Água do Atlântico Sul (ACAS) em abril-maio de 2017 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical (3°-5° S, 31°-35° W).

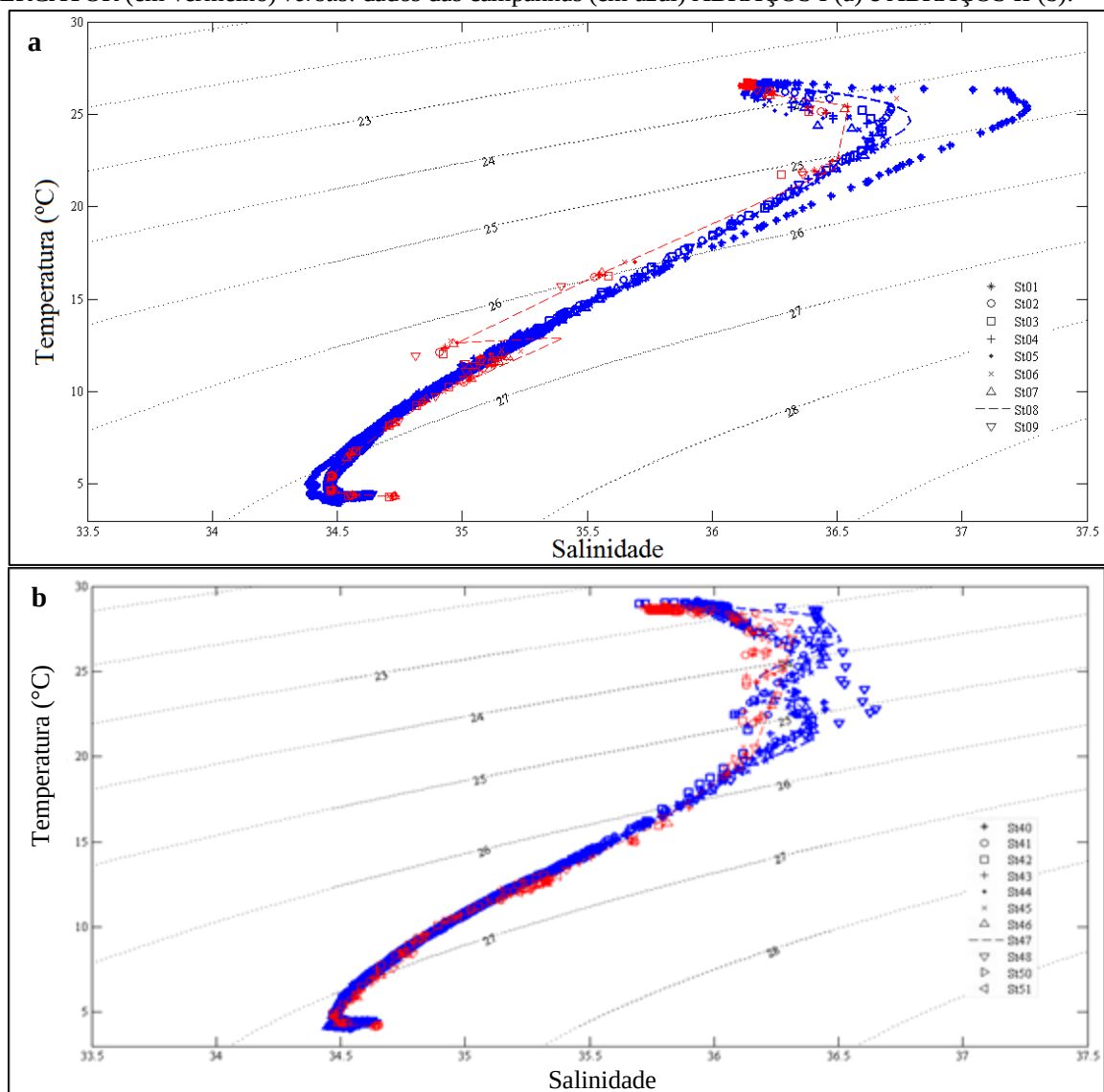
Parâmetro	wACAS (superior)	wACAS (inferior)	eACAS (superior)	eACAS (inferior)
Temperatura(°C)	12.6	9.7	11.7	7.5
Salinidade	35.2	34.9	35.1	34.7
Oxigênio(μmol/kg)	118.3	119	82.6	95.8
Fosfato(μmol/kg)	1.28	1.68	1.61	2.18
Silicato (μmol/kg)	8.4	12.3	10.7	19.3
Nitrato (μmol/kg)	21	26	27.2	34.4
Profundidade (m)	200	350	275	500

Fonte: A autora.

5.3 Análise em Diagramas T-S - Dados Observados T-S – outubro 2015/ abril –maio 2017 e dados numéricos MERCATOR

Durante o mês de outubro de 2015, o diagrama T-S detectou entre $\sigma_\theta = 24\text{-}26 \text{ kg.m}^{-3}$ um máximo de salinidade nas estações 1 e 5, localizadas ao norte e ao sul de Fernando de Noronha respectivamente (Fig. 12a). Durante o mês de abril-maio de 2017, o sistema foi coerente com o resultado de saída do modelo para o mesmo período (Fig. 12b).

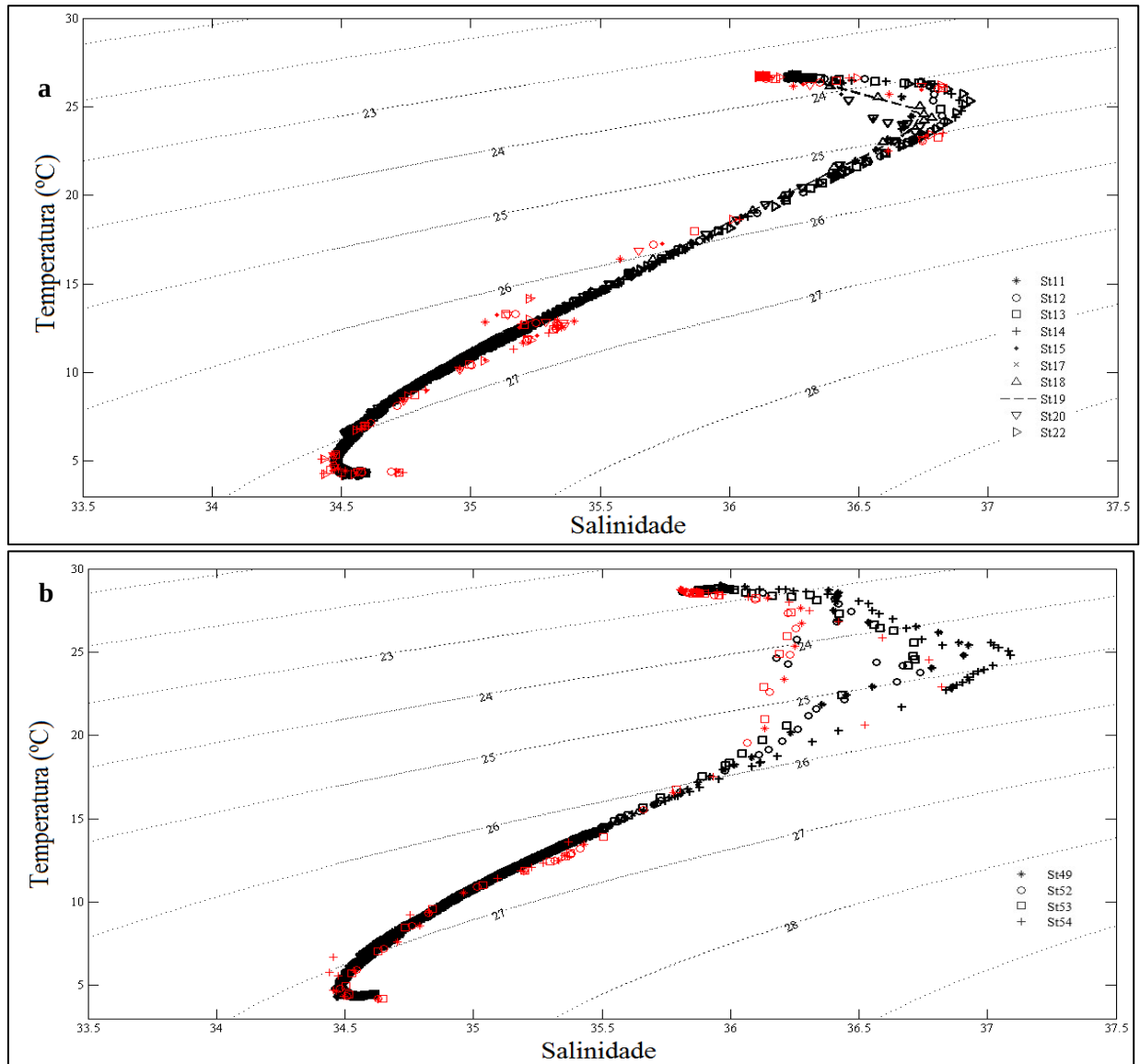
Figura 12 - Diagramas T-S de estações em torno da Ilha de Fernando de Noronha, com dados numéricos do MERCATOR (em vermelho) *versus*: dados das campanhas (em azul) ABRAÇOS I (a) e ABRAÇOS II (b).



Fonte : A autora.

No Atol das Rocas durante o mês de outubro de 2015 foi observado no diagrama T-S dos dados observados entre $\sigma_\theta = 24-25 \text{ kg.m}^{-3}$ uma pequena perturbação, mas não muito significativa (Fig.13a), enquanto que, no mês de abril de 2017 o diagrama T-S mostrou maior perturbação nas estações localizadas entre $\sigma_\theta = 23-26 \text{ kg.m}^{-3}$. Referentes aos resultados numéricos do modelo, foram registrados também a presença das massas de água ACAN e ACAS, e a mistura entre as duas (Fig.13b).

Figura 13 - Diagramas T-S de estações em torno do Atol das Rocas, com dados numéricos do MERCATOR (em vermelho) versus: dados das campanhas (em preto) ABRAÇOS I (a) e ABRAÇOS II (b).

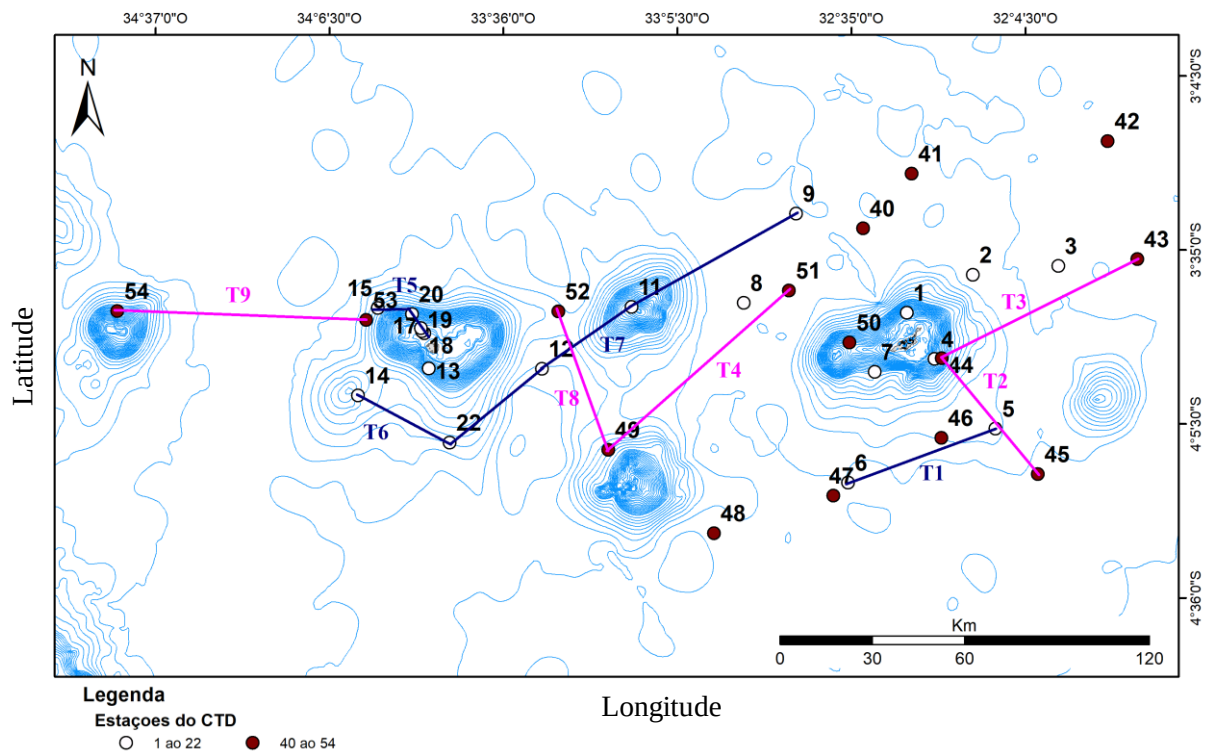


Fonte: A autora.

5.4 Distribuição Vertical – análises em transectos (T, S, O)

Nove transectos foram estabelecidos para cada campanha ABRAÇOS em um total de quatro ao redor da Ilha de Fernando de Noronha e cinco ao redor do Atol das Rocas (Fig. 14).

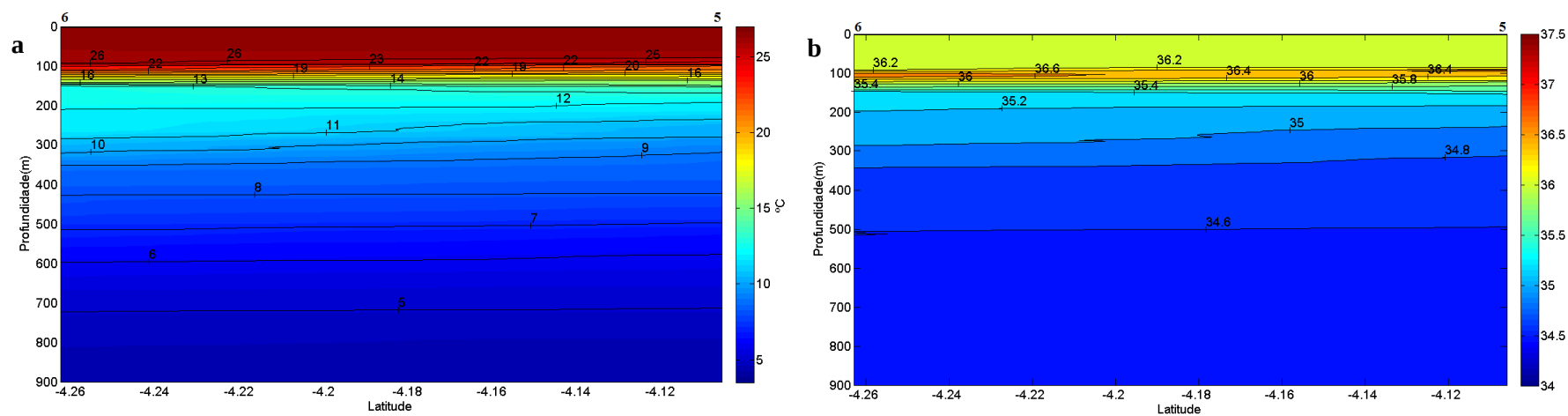
Figura 14 - Transectos estabelecidos para as campanhas ABRAÇOS I (em azul escuro) durante outubro de 2015, e ABRAÇOS II (em rosa) durante abril-maio de 2017 na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical.



5.5 Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade em Fernando de Noronha (Dados Observacionais e Resultados numéricos – outubro 2015)

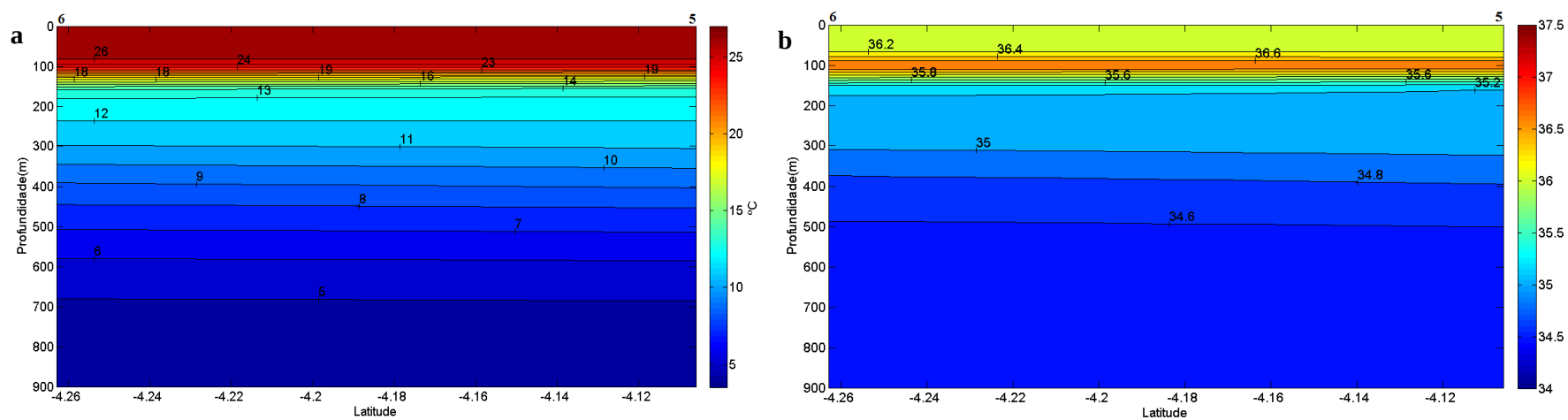
Ao sul de Fernando de Noronha durante outubro de 2015 nas longitudes entre 32.6° W -32.1° W (transecto 1-t1) a TSM apresentou mínimo de 23°C e máximo de 27°C (Fig.15a) e a SSM apresentou mínimo de 35.8 e máximo de 36.6 (Fig.15b), enquanto que, os dados numéricos MERCATOR indicaram variação da SST entre 24°C-27°C (Fig. 16a) e mesma variação da SSS (Fig.15b). Foi observado um núcleo de máxima salinidade (≥ 36.6) no nível da termoclina entre 100 m e 120 m (Fig.15b), que também foi detectado nos dados numéricos do MERCATOR entre as profundidades de 90 m e 110 m (Fig.16b).

Figura 15 – Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a) e salinidade (b) ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1-t1) em outubro de 2015.



Fonte: A autora.

Figura 16 – Distribuições verticais de temperatura (a) e salinidade (b) de dados numéricos MERCATOR ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1-t1) em outubro de 2015.

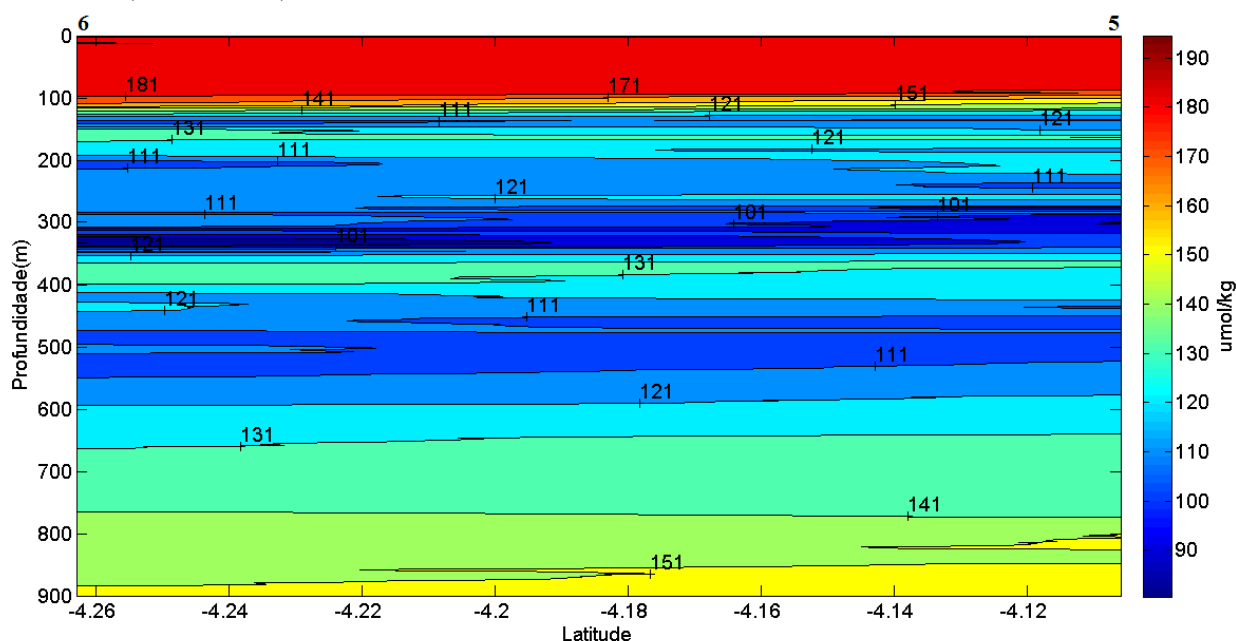


Fonte: A autora.

5.6 Distribuição Vertical de Oxigênio em Fernando de Noronha (Dados Observacionais–outubro 2015)

Ao sul de Fernando de Noronha durante outubro de 2015 nas longitudes entre 32.6° W -32.1° W (transecto 1-t1) foram detectadas baixas concentrações de oxigênio dissolvido entre 130 e 140 m, entre 200 e 340 m e ainda entre 430 m e 680 m, representando a ACAN (Fig. 17).

Figura 17 – Distribuição vertical de dados observacionais de oxigênio dissolvido (umol/kg) ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1-t1) em outubro de 2015.

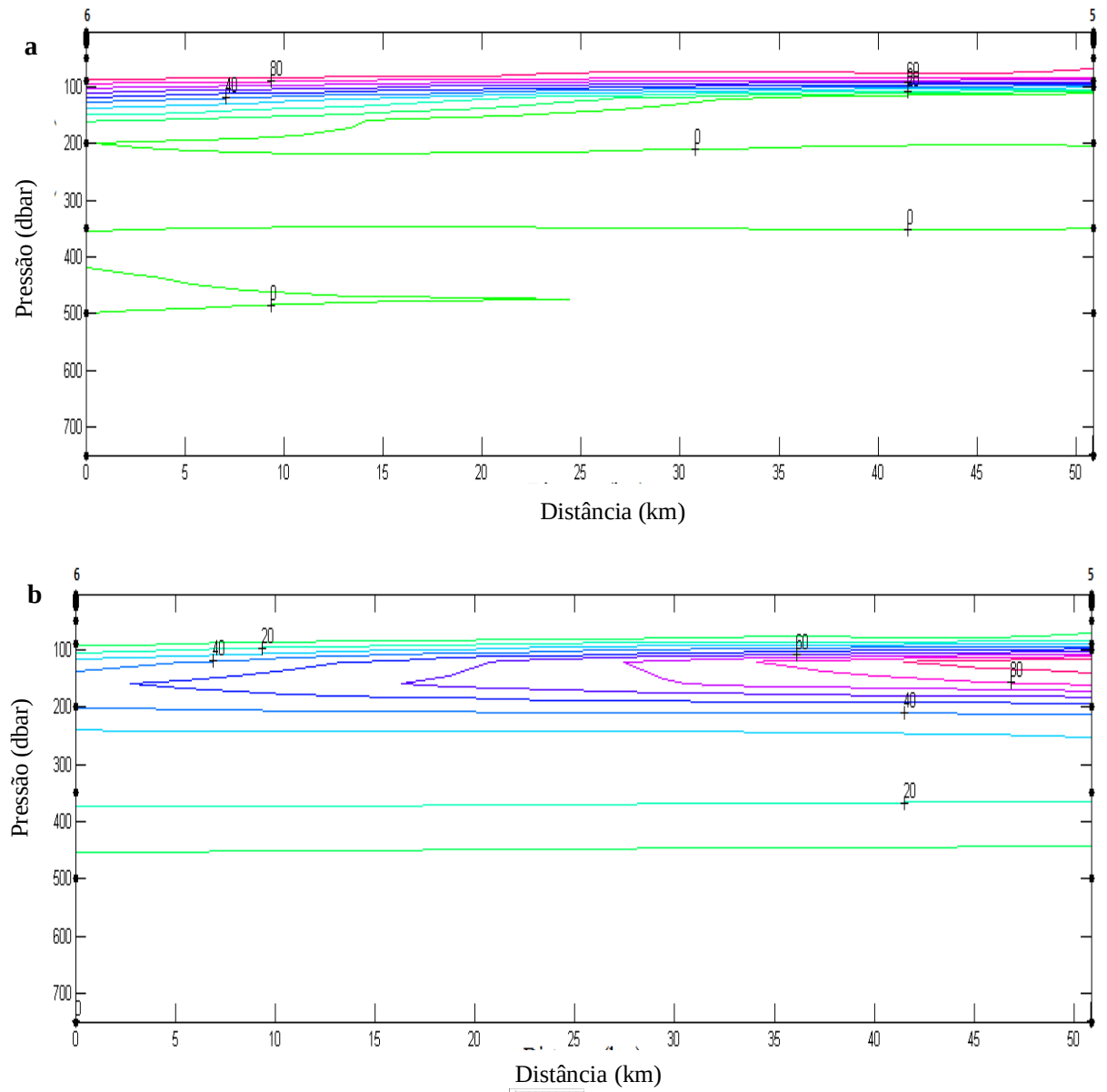


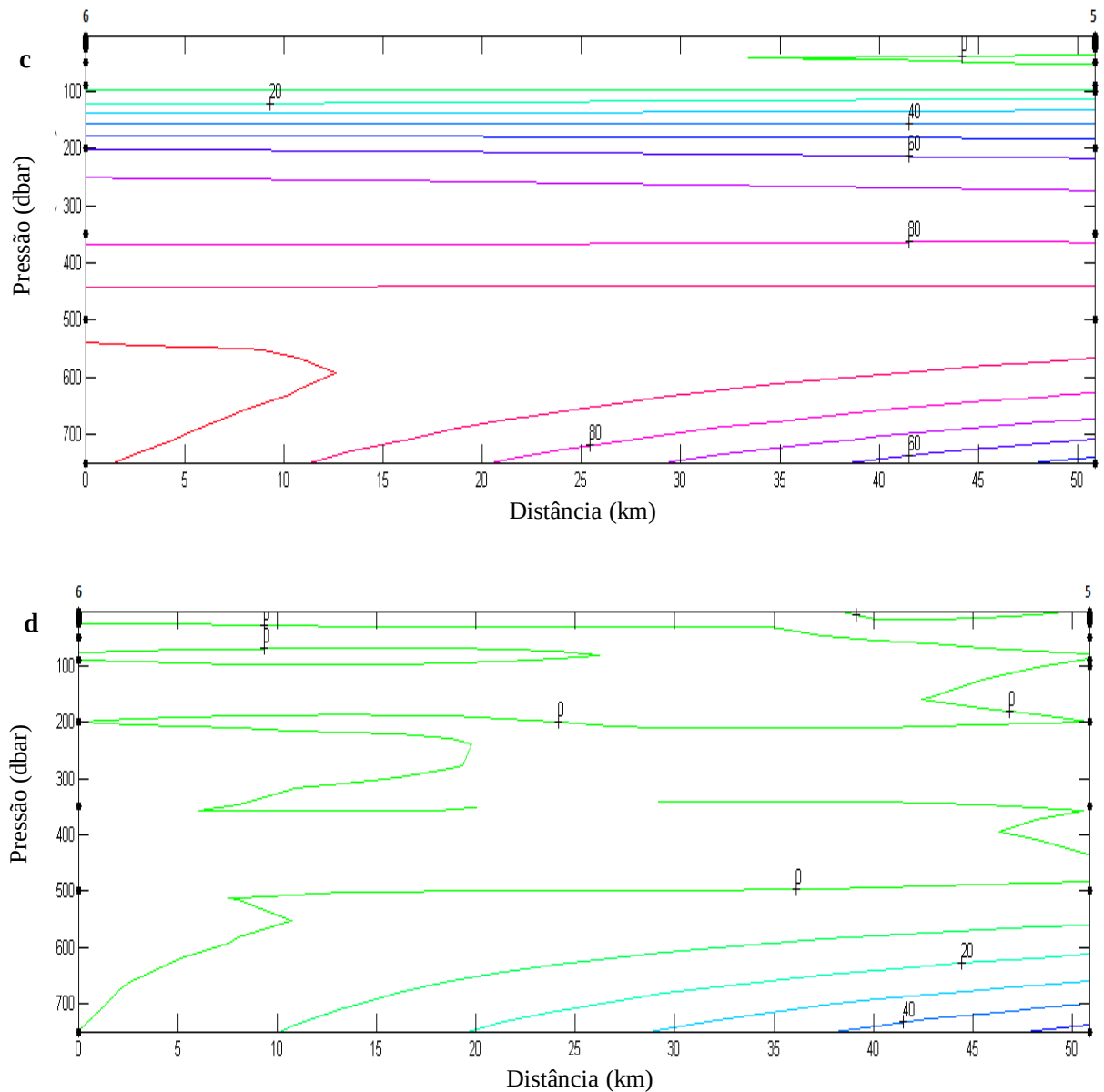
Fonte : A autora.

5.7 Caracterização das massas de água em Fernando de Noronha (outubro 2015)

Ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1-t1) a máxima contribuição da ACAS foi identificada entre 550m e 750m (Fig. 18c), com temperatura variando de 5°C-7°C (Fig. 15a), salinidade de 34.6 (Fig. 15b) e concentrações de oxigênio dissolvido entre 121 kg.m⁻³ e 141 kg.m⁻³ (Fig.17a). A AIA foi encontrada entre as profundidades de 560 m e 750 m (Fig.18d).

Figura 18 – Caracterização das massas de água ATS (a), ACAN (b), ACAS (c) e AIA (d) ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1-t1) em outubro de 2015.





Fonte: A autora.

5.8 Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade em Fernando de Noronha (Dados Observacionais e Resultados numéricos – abril-maio 2017)

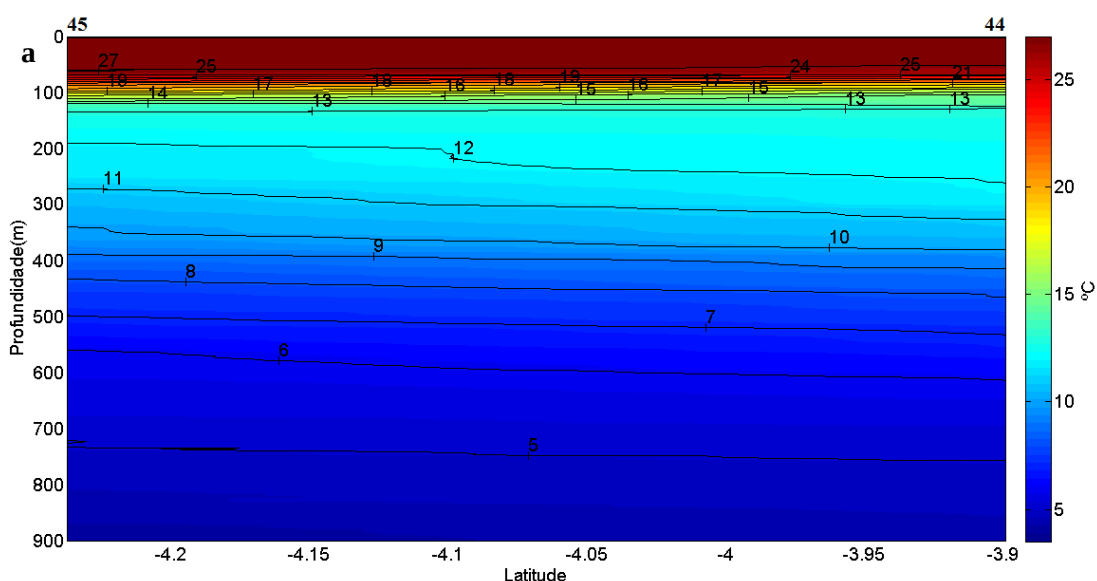
Ao sul de Fernando de Noronha durante abril-maio de 2017 nas longitudes entre 33° W-32.3° W (transecto 2-t2) a TSM apresentou mínimo de 26°C e máximo de 27°C (Fig. 19a) e a SSM apresentou mínimo de 35.8 e máximo de 36.4 (Fig. 19b), enquanto que os dados numéricos MERCATOR indicaram mesma variação da TSM (Fig. 20a) e variação da SSM entre 35.8-36.2 (Fig. 20b). Foram registrados entre as profundidades de 40 m e 100 m de acordo com os dados numéricos MERCATOR, valores de salinidade ≥ 36.2 (Fig.20b),

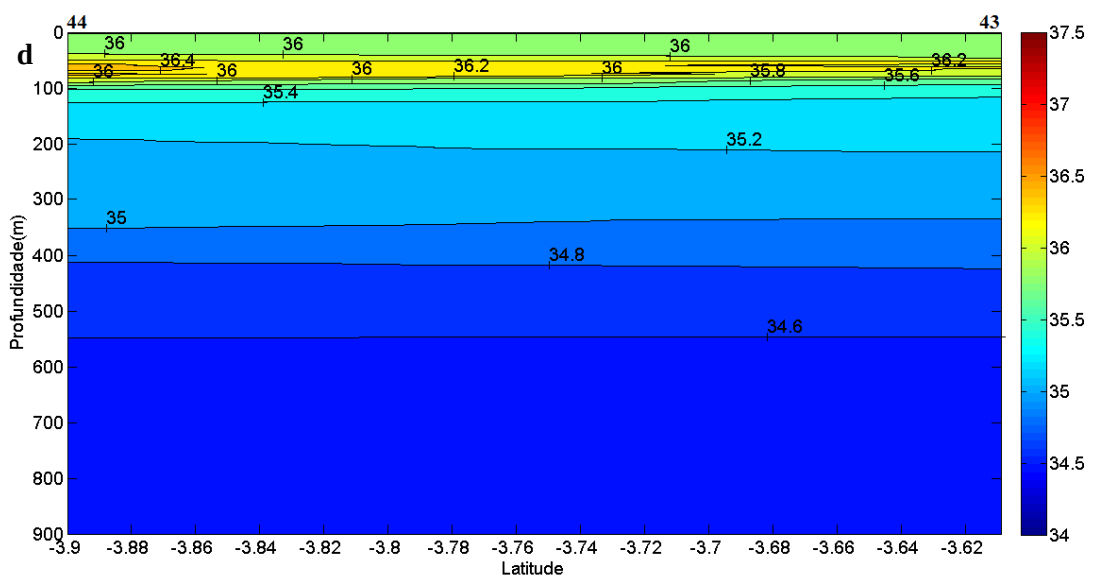
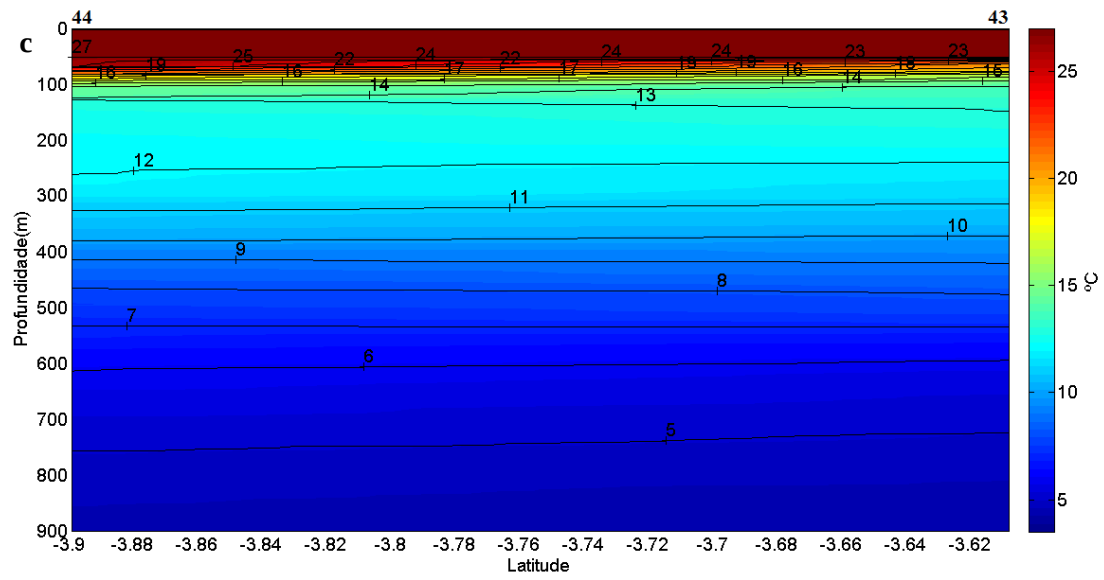
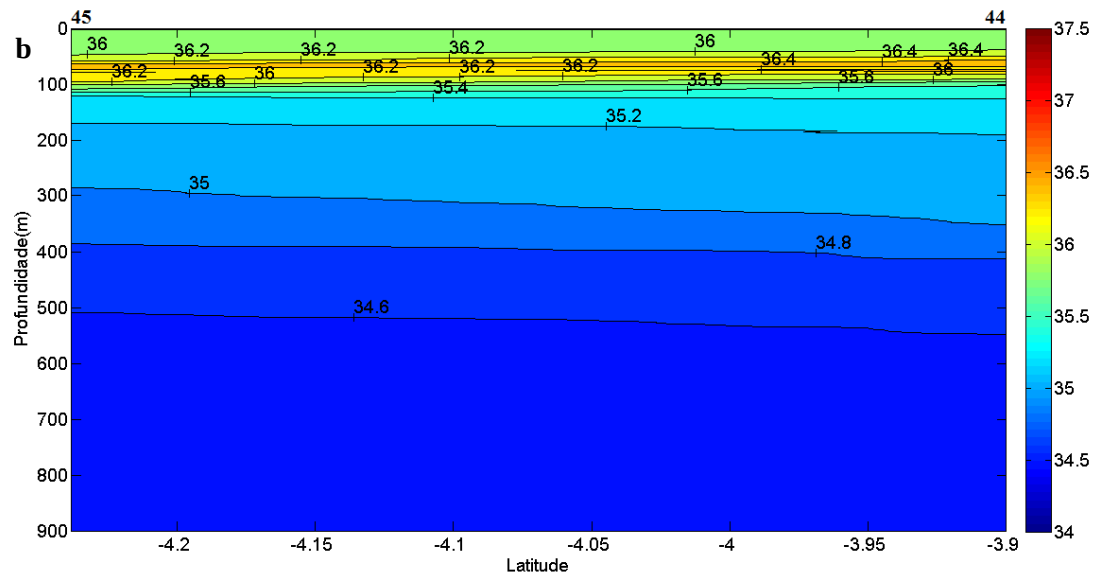
enquanto que durante os meses de abril-maio de 2017 (transecto 2-t2), águas com valores de salinidade ≥ 36.4 , entre as profundidades de 50 m e 60 m (Fig. 19b).

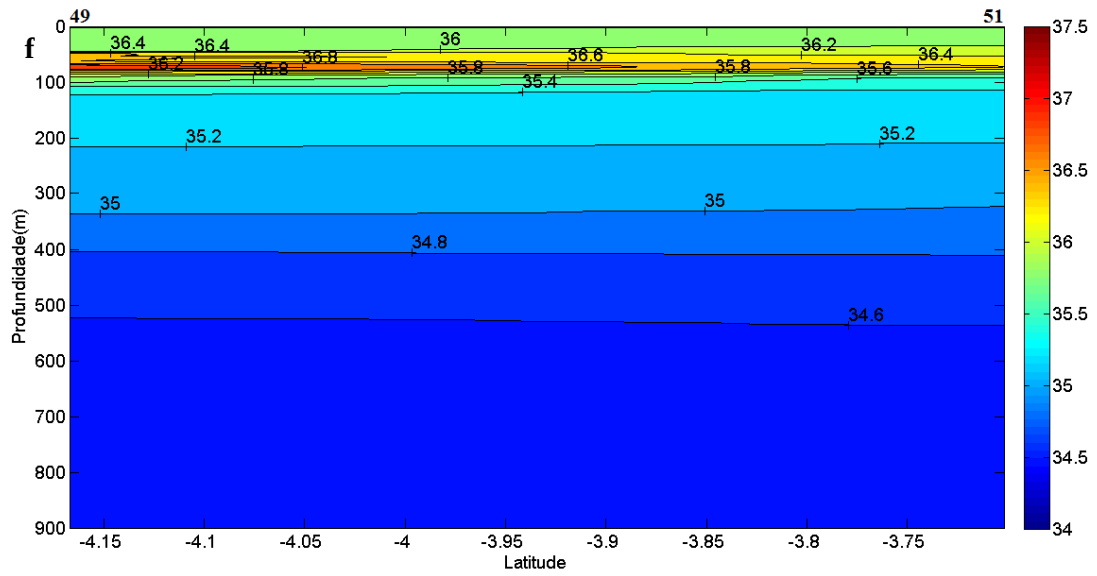
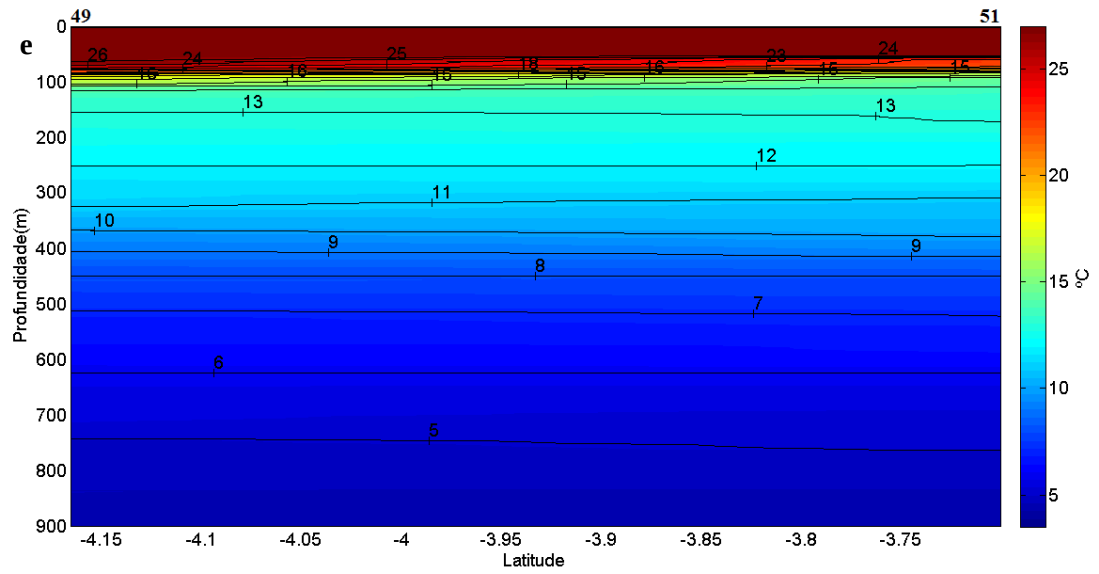
A leste de Fernando de Noronha durante abril-maio de 2017 nas longitudes entre 32.4° W-31.7° W (transecto 3-t3) a TSM foi observada com valor mínimo de 25°C e valor máximo de 27°C (Fig.19c) e a SSM apresentou valor mínimo de 35.8 e valor máximo de 36.4 (Fig. 19d), enquanto que os registros numéricos MERCATOR indicaram mesma variação da TSM (Fig. 20c) e variação da SSM entre 35.8-36.2 (Fig. 20d) . De acordo com os dados numéricos do MERCATOR, valores de salinidade ≥ 36.2 foram detectadas entre as profundidades de 40 m e 95 m (Fig. 20d). No entanto, durante abril-maio de 2017 (transecto 3-t3) foram observados dois núcleos de salinidade máxima (≥ 36.4) entre as profundidades de 50 m e 70 m, e 75 m e 85 m (Fig. 20d).

A oeste de Fernando de Noronha durante abril-maio de 2017 nas longitudes entre 33.3° W-32.7° W (transecto 4-t4) a TSM apresentou valor de 27°C (Fig.19e) e a SSM apresentou mínimo de 35.8 e máximo de 36.2 (Fig.19f), enquanto que os dados numéricos MERCATOR indicaram variação da TSM entre 25°C-27°C (Fig.20e) e da SSM entre 35.6-36.2 (Fig. 20f). Foram identificadas pelos dados numéricos MERCATOR uma salinidade (≥ 36.2) entre as profundidades de 40 m e 100 m (Fig.20e), enquanto que durante abril-maio de 2017 (transecto 4-t4) registrou valores maiores de salinidade (≥ 36.4) na profundidade de 80 m (Fig.19f).

Figura 19 – Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a - transecto 2-t2,,c- transecto 3-t3,e- transecto 4-t4) e salinidade (b- transecto 2-t2,d- transecto 3-t3,f- transecto 4-t4) ao sul, leste e oeste de Fernando de Noronha em abril-maio de 2017.

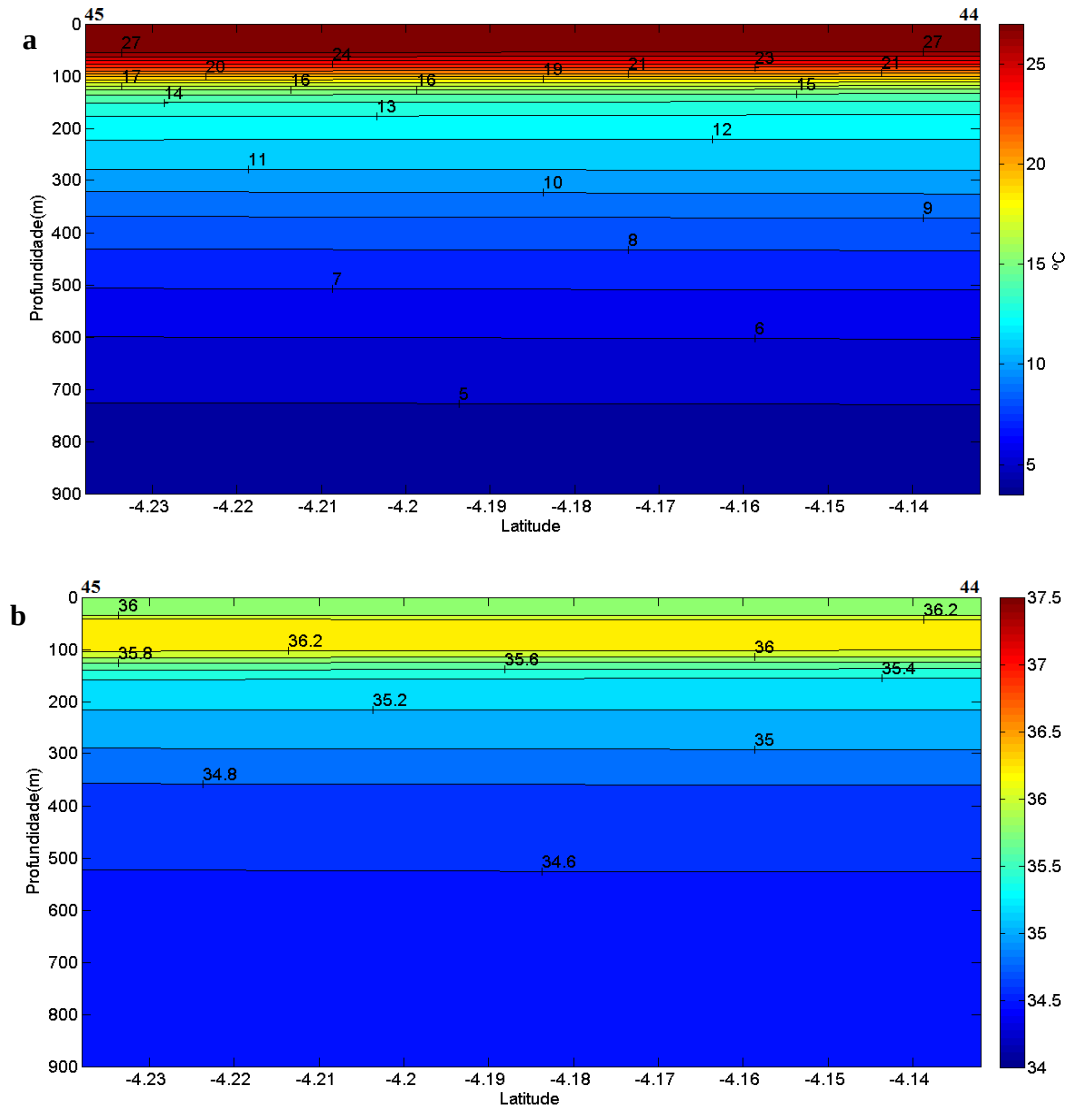


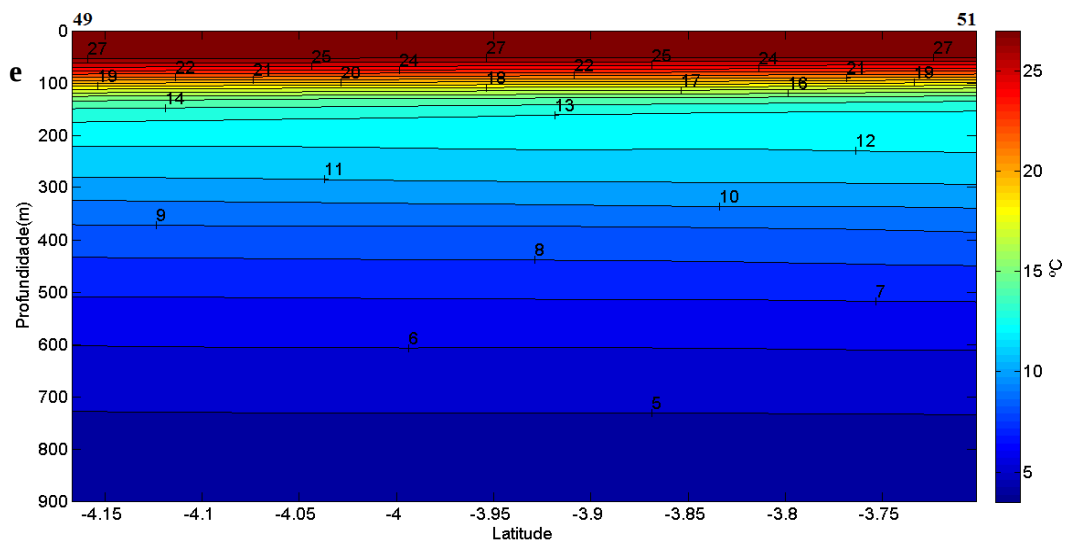
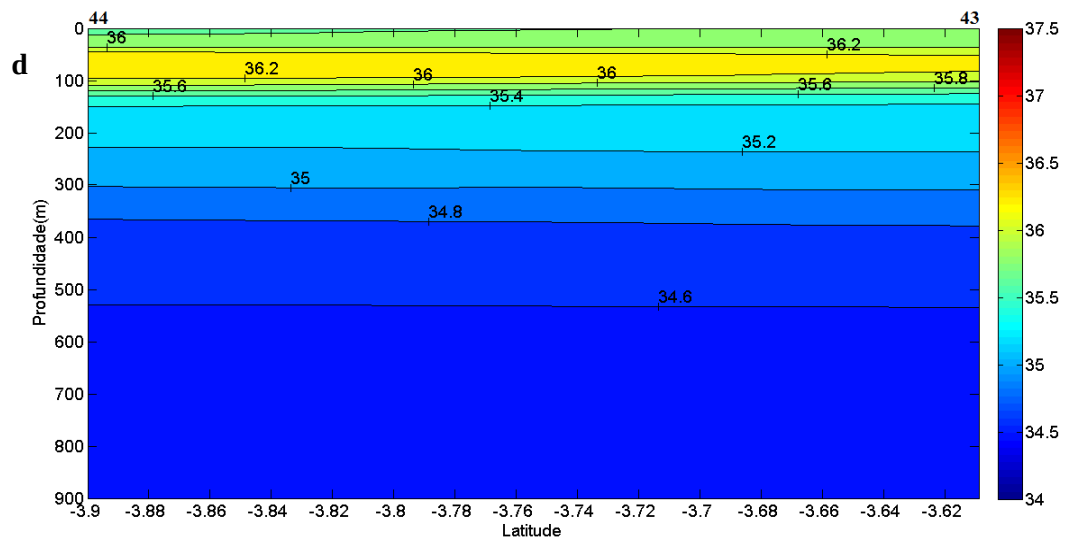
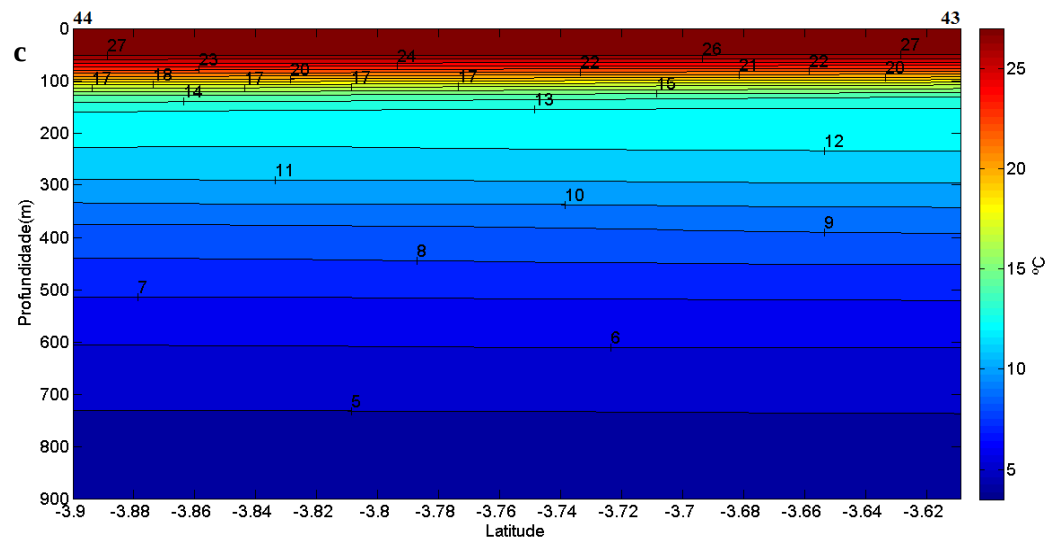


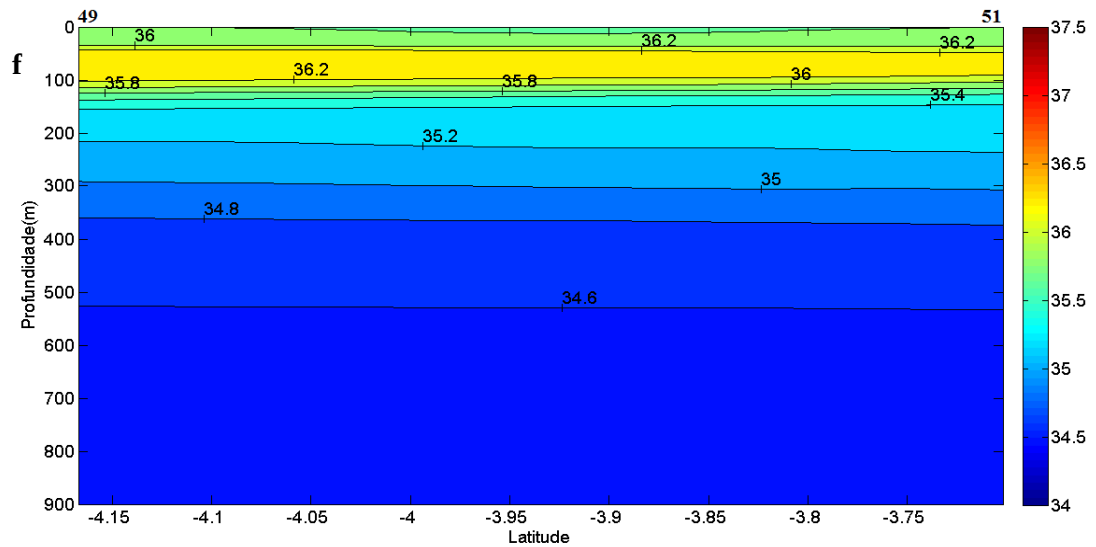


Fonte : A autora.

Figura 20 – Distribuições verticais de temperatura (a-transecto 2-t2,c-transecto 3-t3),e- transecto 4-t4) e salinidade (b-transecto 2-t2,d-transecto 3-t3,f-transecto 4-t4) de dados numéricos MERCATOR ao sul leste e oeste de Fernando de Noronha em Abril-Maio de 2015.





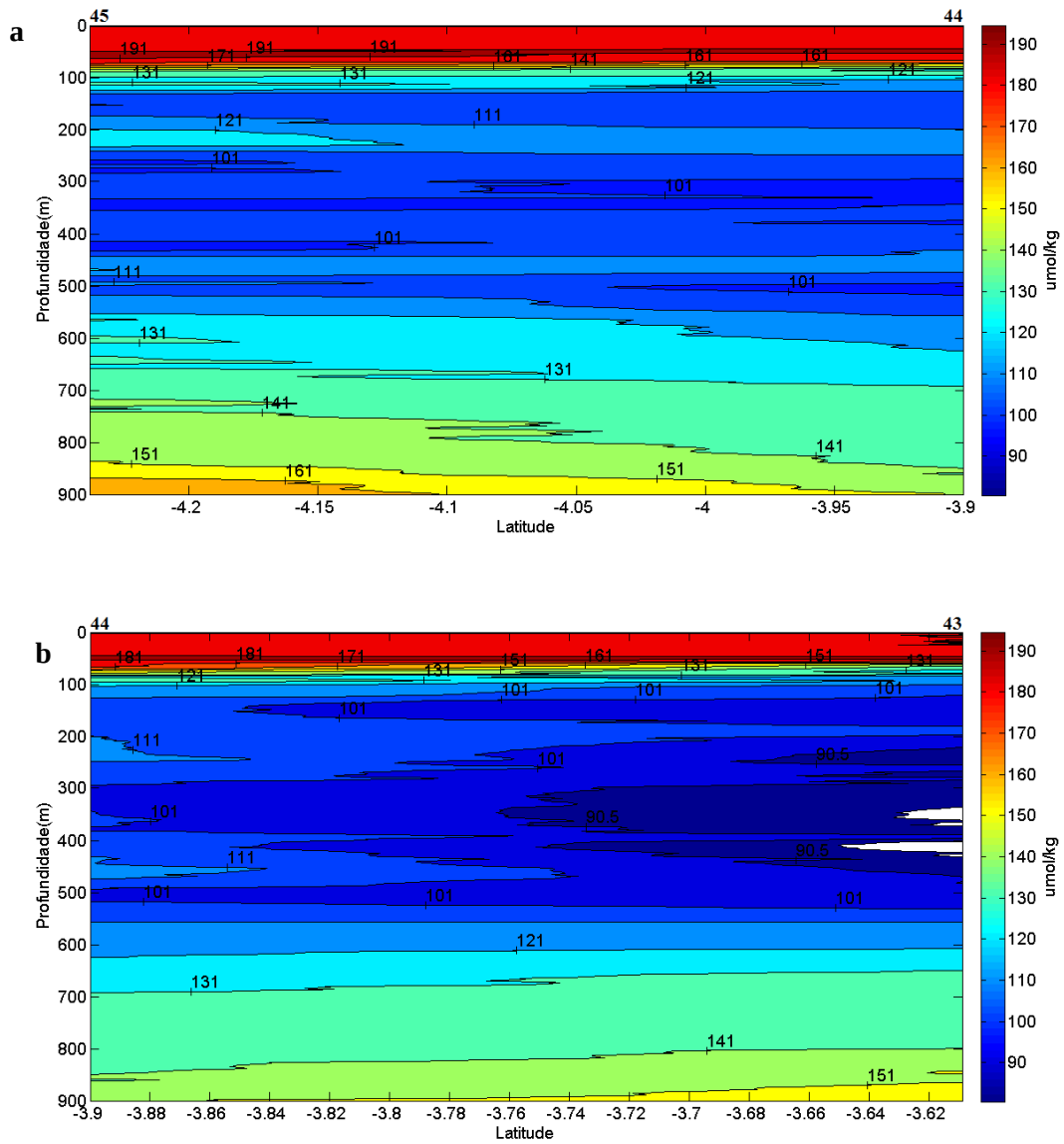


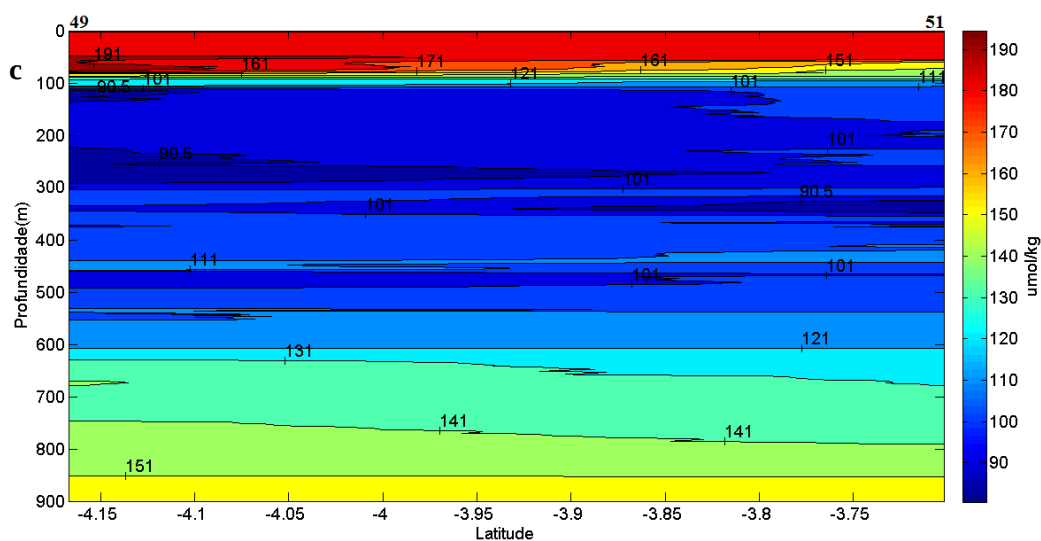
Fonte: A autora.

5.9 Distribuições verticais de Oxigênio em Fernando de Noronha (Dados Observacionais– abril-maio 2017)

Ao sul de Fernando de Noronha durante abril-maio de 2017 nas longitudes entre 33° W- 32.3° W (transecto 2-t2) baixas concentrações de oxigênio dissolvido foram representativas entre 130 m e 550 m de profundidade (Fig. 21a). As baixas concentrações foram também representativas entre 100 m e 600 m de profundidade a leste de Fernando de Noronha nas longitudes entre 32.4° W- 31.7° W (transecto 8-t8) (Fig. 21b) e ainda, entre 130 m e 500 m a oeste de Fernando de Noronha nas longitudes entre 33.3° W- 32.7° W (transecto 4-t4)(Fig. 21c).

Figura 21 - Distribuições verticais de dados observacionais de oxigênio dissolvido (umol/kg) ao sul (transecto 2-t2) (a), leste (transecto 3-t3) (b) e oeste (transecto 4-t4) (c) de Fernando de Noronha em abril-maio de 2017.





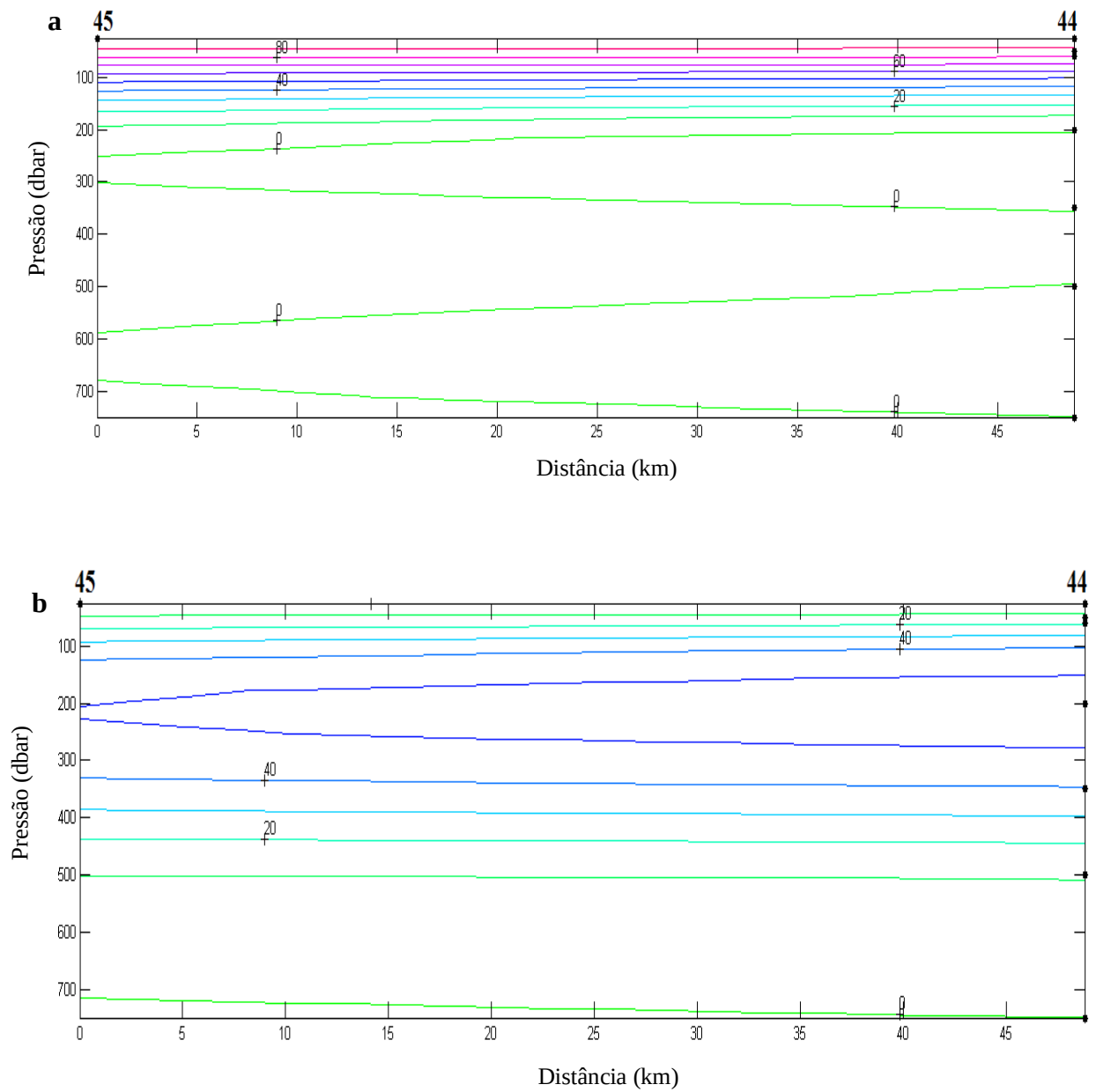
Fonte: A autora.

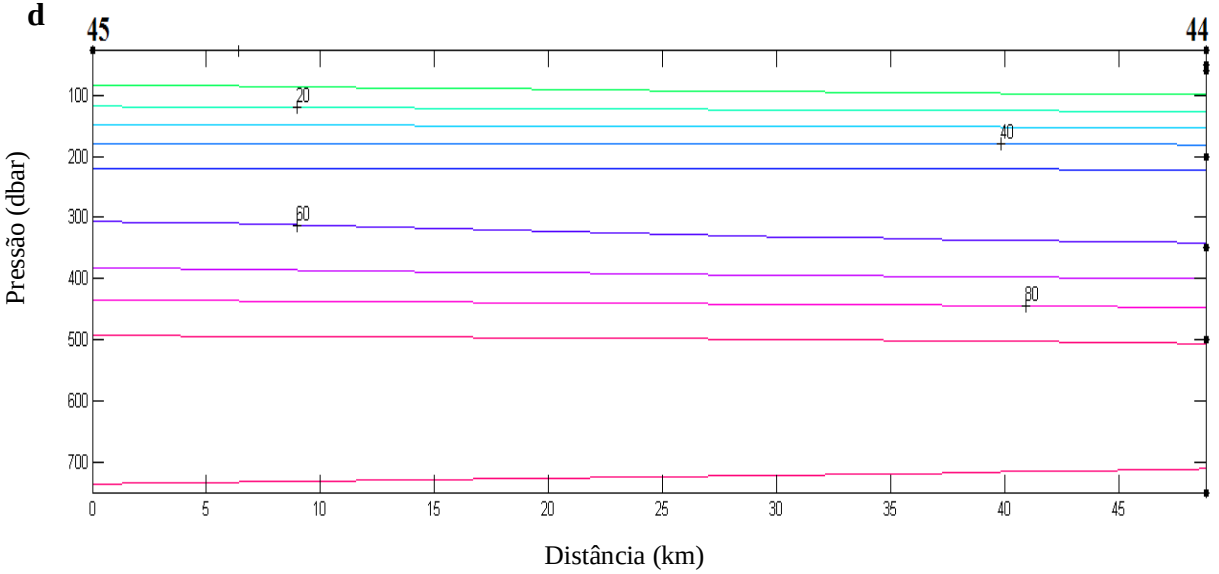
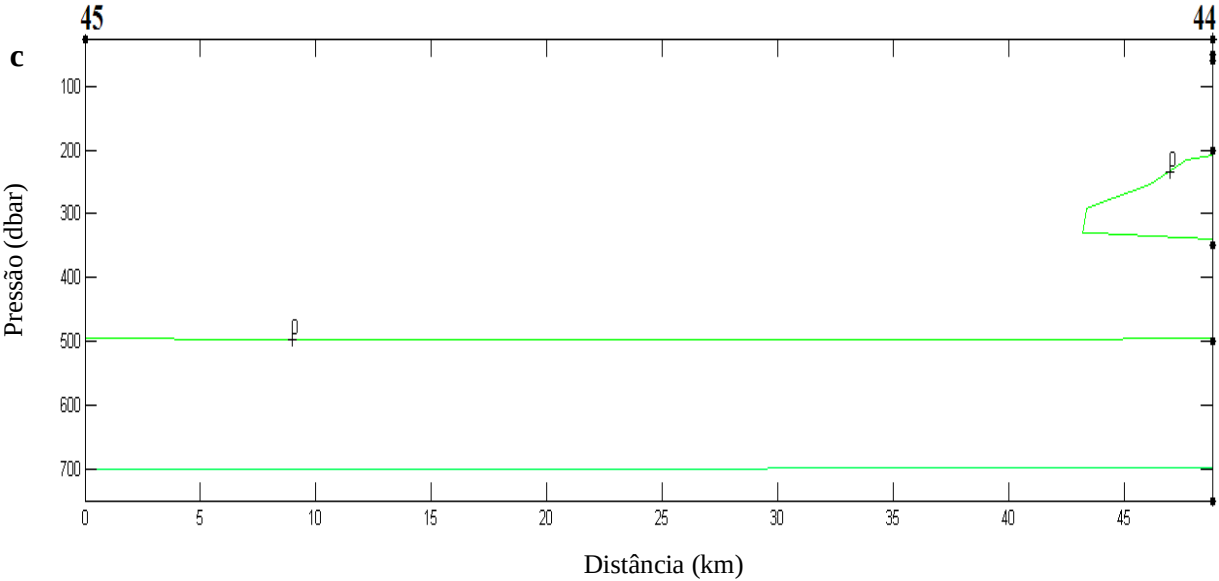
5.10 Caracterização das massas d'água em Fernando de Noronha (abril-maio 2017)

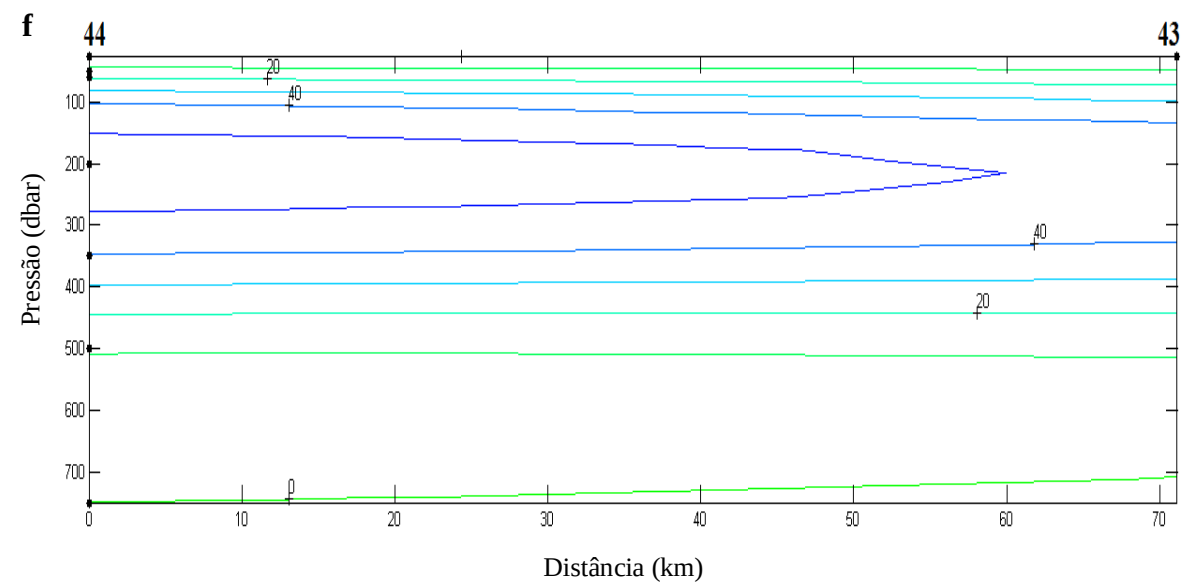
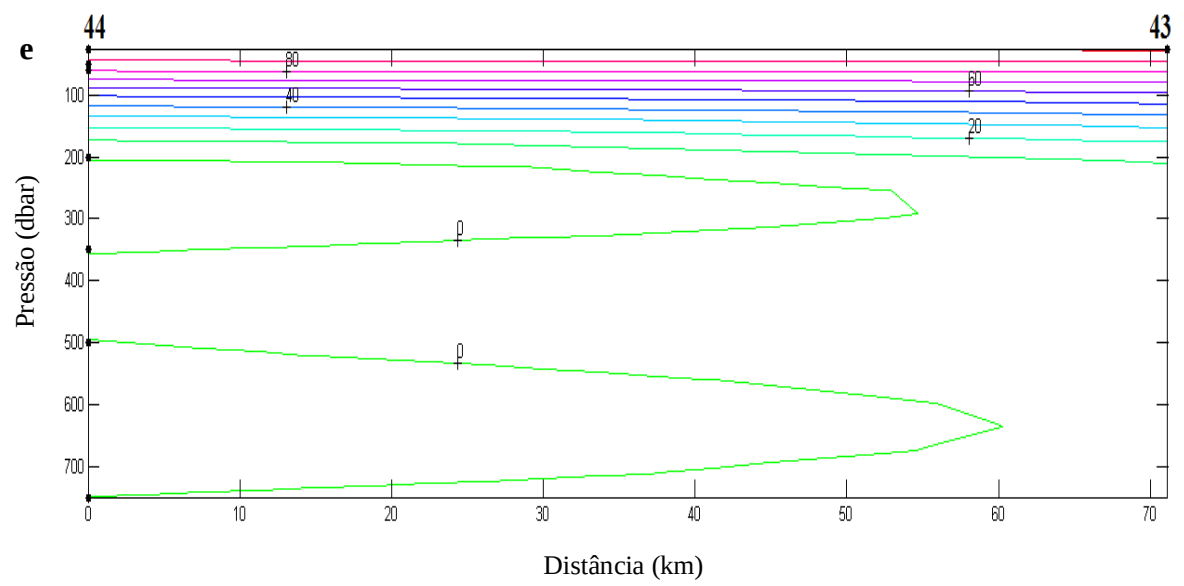
Ao sul e leste de Fernando de Noronha (transecto 2- t2 / transecto3-t3), a ACAS foi detectada a 700 m de profundidade (Fig.21c,g). A AIA por sua vez predominou entre 500 e 750 m (Fig.22d,h).

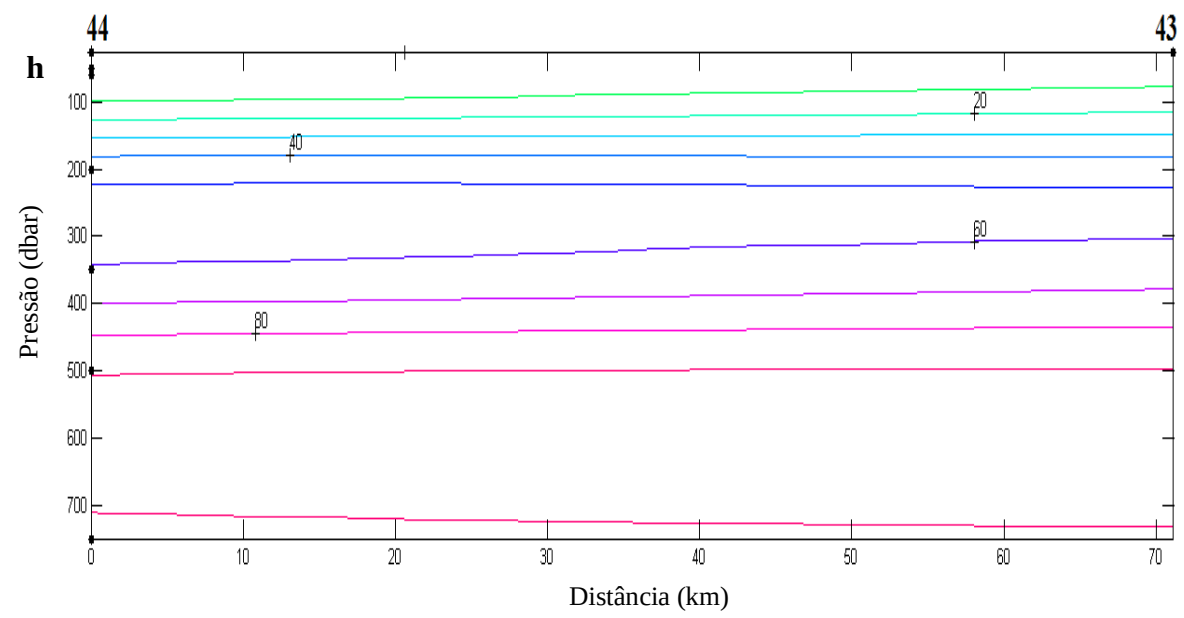
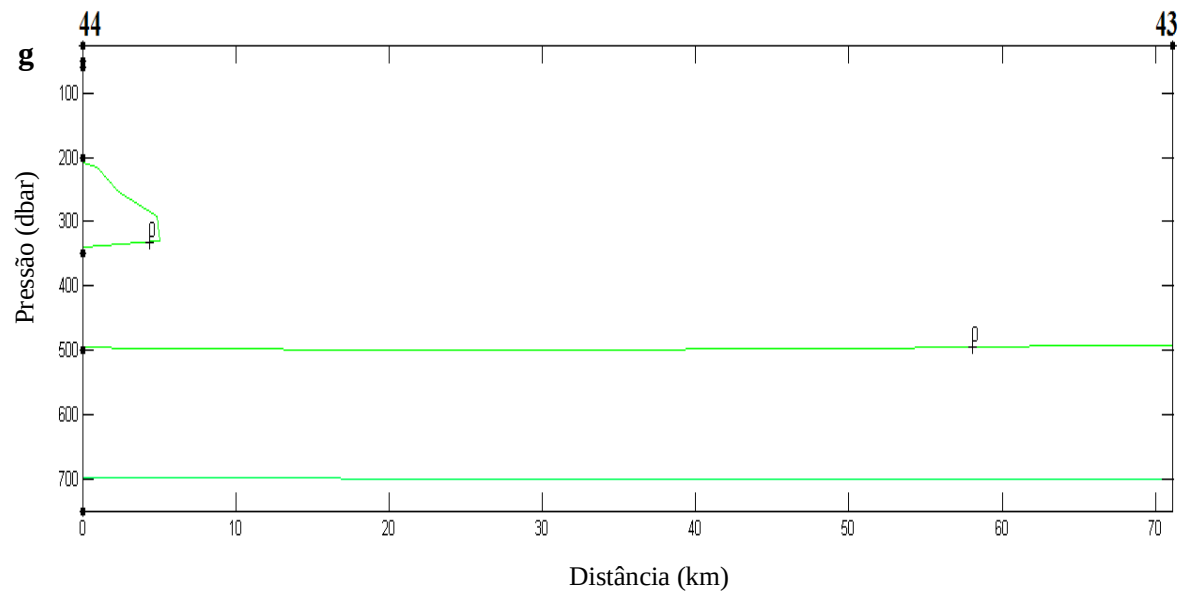
A oeste de Fernando de Noronha (transecto 4- t4), no entanto, a ACAS foi detectada a partir dos 800 m de profundidade (Fig.22k) e a AIA máxima foi identificada entre 500 m e 700 m a partir de 35km da estação 49(Fig.22l) , com temperatura variando entre 6°C-7°C (Fig.19e), salinidade de 34.6 (Fig.19f) e concentrações de oxigênio dissolvido entre 111 umol/kg – 141umol/kg (Fig.21c).

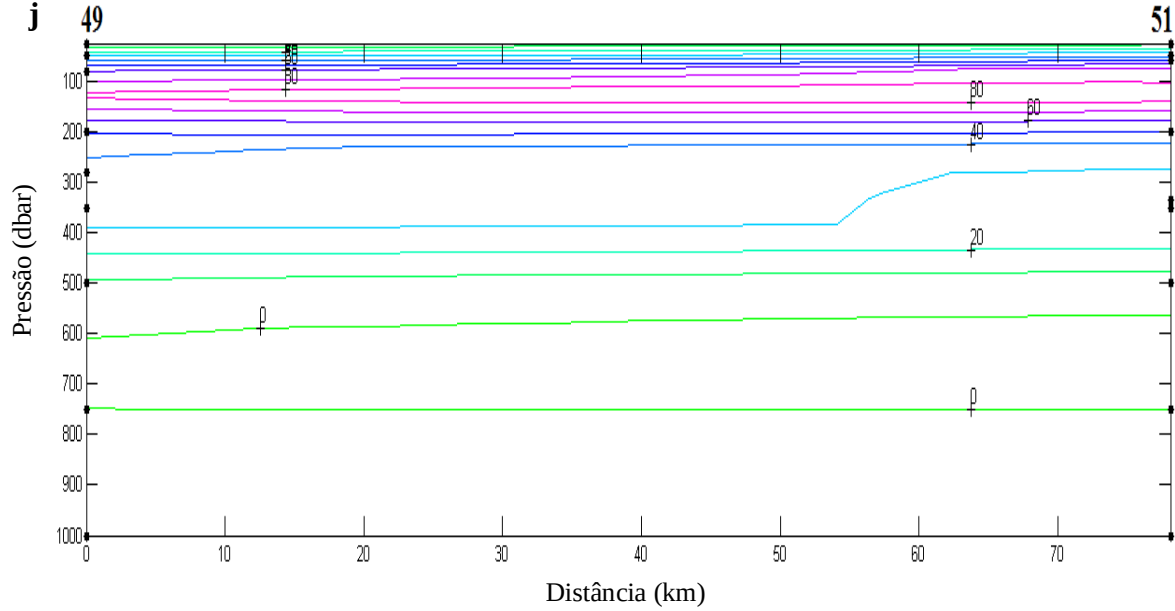
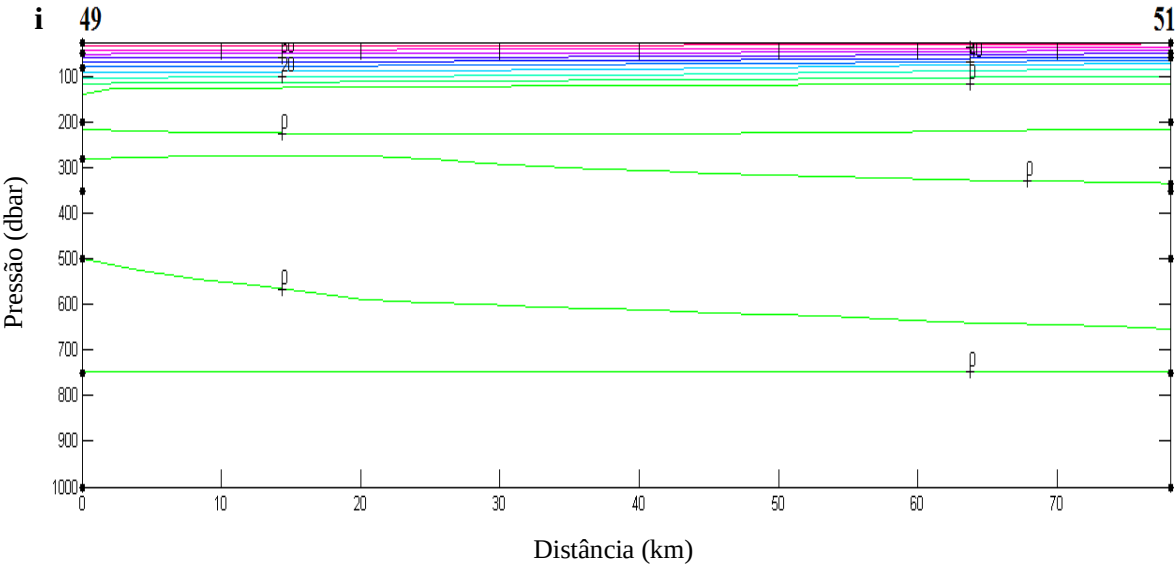
Figura 22 – Caracterização das massas de água ATS (a,e,i), ACAN (b,f,j), ACAS (c,g,k) e AIA (d,h,l) ao sul (a,b,c,d -transecto 2- t2), leste (e,f,g,h - transecto 3-t3)) e oeste (i,j,k,l - transecto 4-t4) de Fernando de Noronha em abril-maio de 2017.

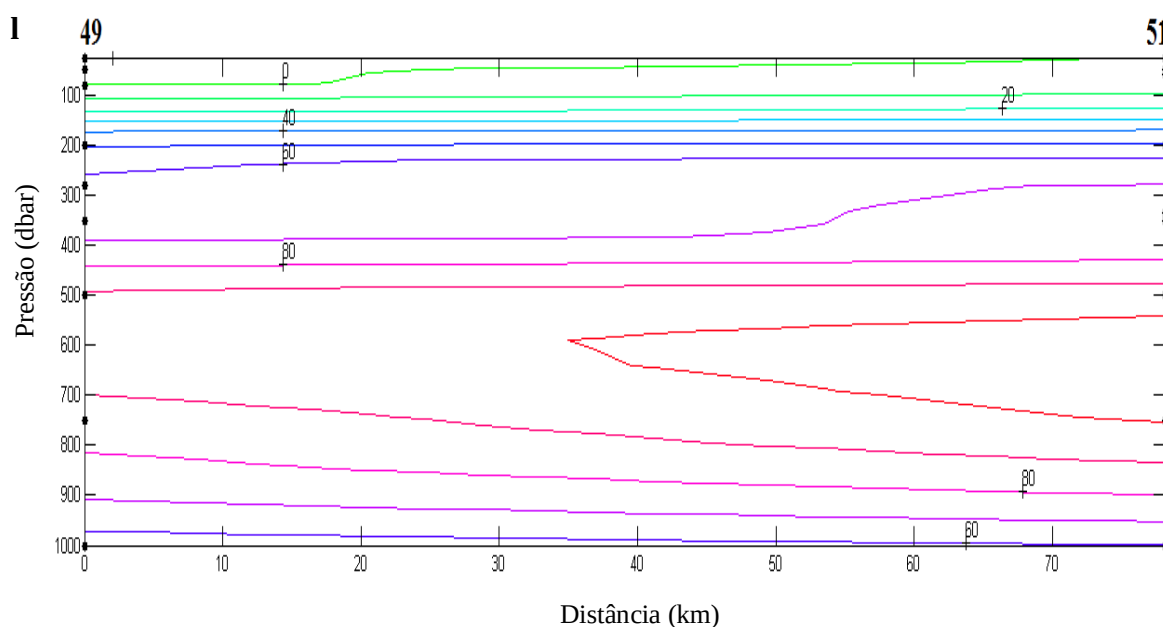
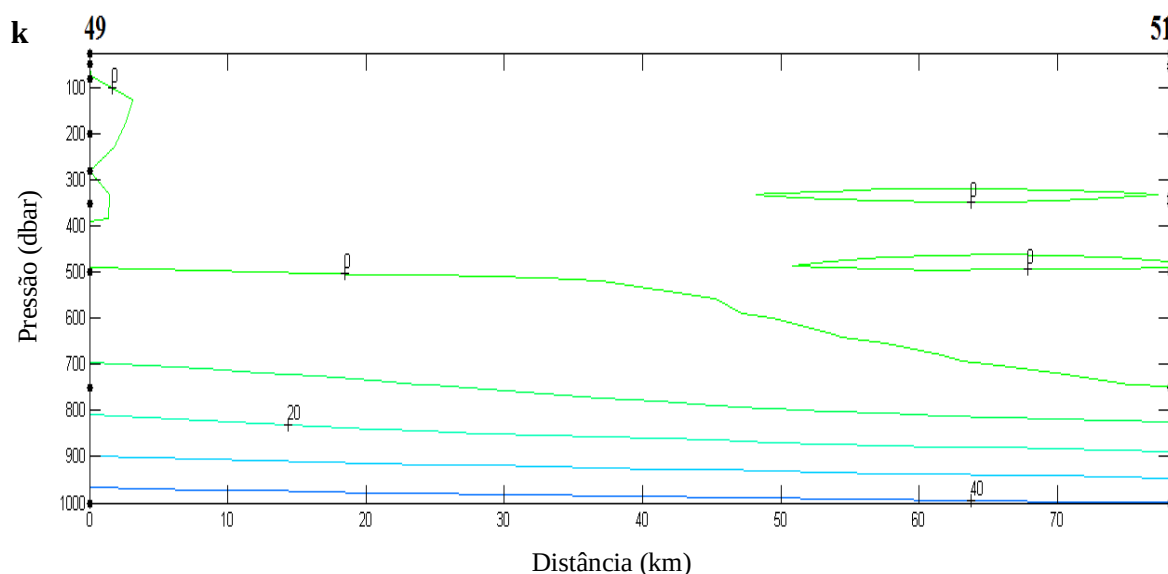












Fonte: A autora.

5.11 Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade no Atol das Rocas (Dados Observacionais e Resultados numéricos – outubro 2015)

Ao norte do Atol das Rocas durante outubro de 2015 nas longitudes entre 34° W- 33.8° W (transecto 5– t5) a TSM apresentou mínimo de 23°C e máximo de 27°C (Fig. 23a) e a SSS apresentou mínimo de 35.4 e máximo de 36.3 (Fig. 23b) enquanto que os dados numéricos do MERCATOR na mesma localidade registraram variação da TSM entre 25°C-27°C (Fig. 24a) e da SSS entre 35-36.4 (Fig. 24b). Dois núcleos de Água de Máxima Salinidade (≥ 36.6) foram identificados no nível da termoclina com o primeiro núcleo localizado entre as

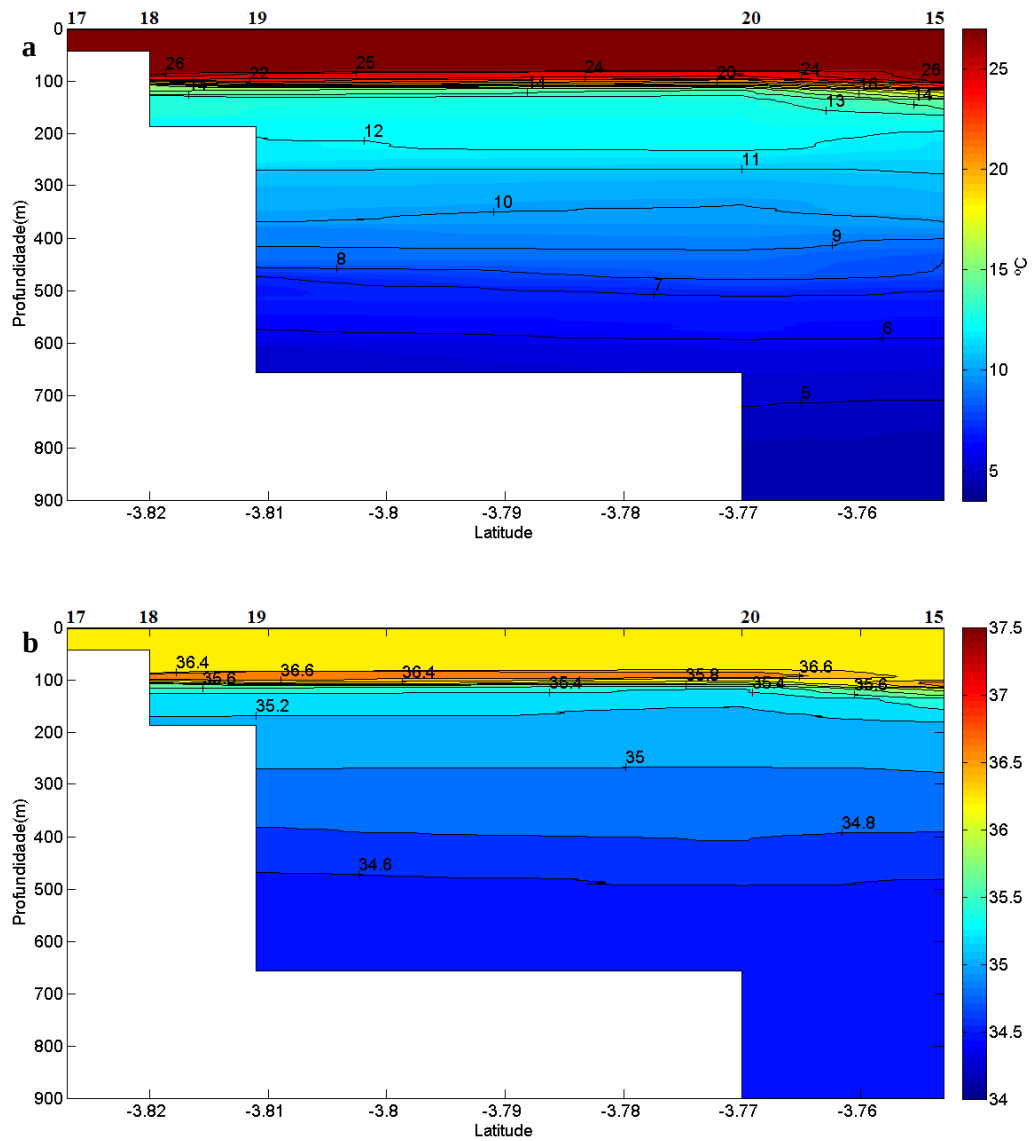
profundidades de 90 m e 100 m, e o segundo núcleo entre as profundidades de 110 m e 120 m (Fig. 23b). Os dados numéricos do MERCATOR, no entanto, detectaram máximos valores de salinidade (≥ 36.2) entre as profundidades entre 80 m e 120 m (Fig. 24b).

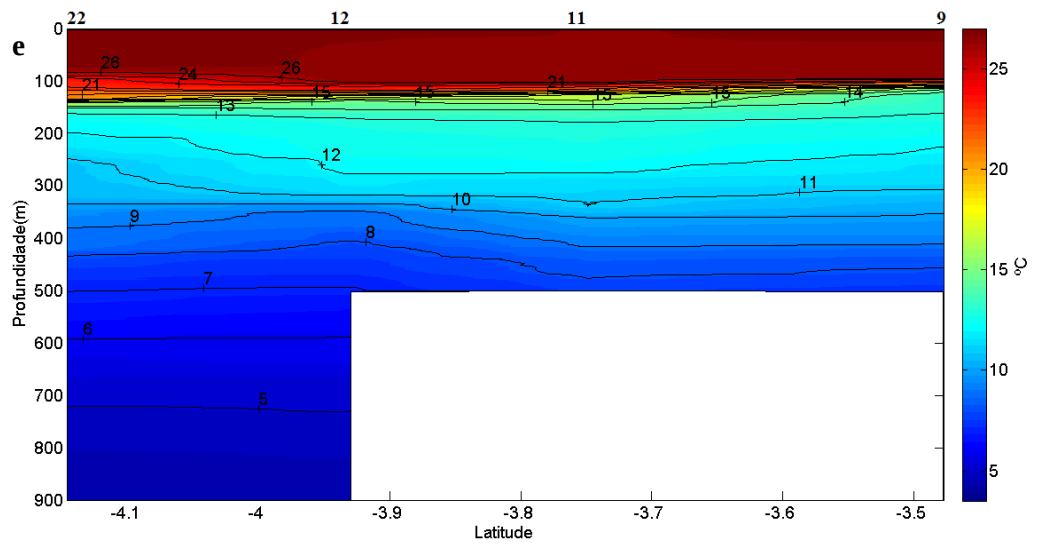
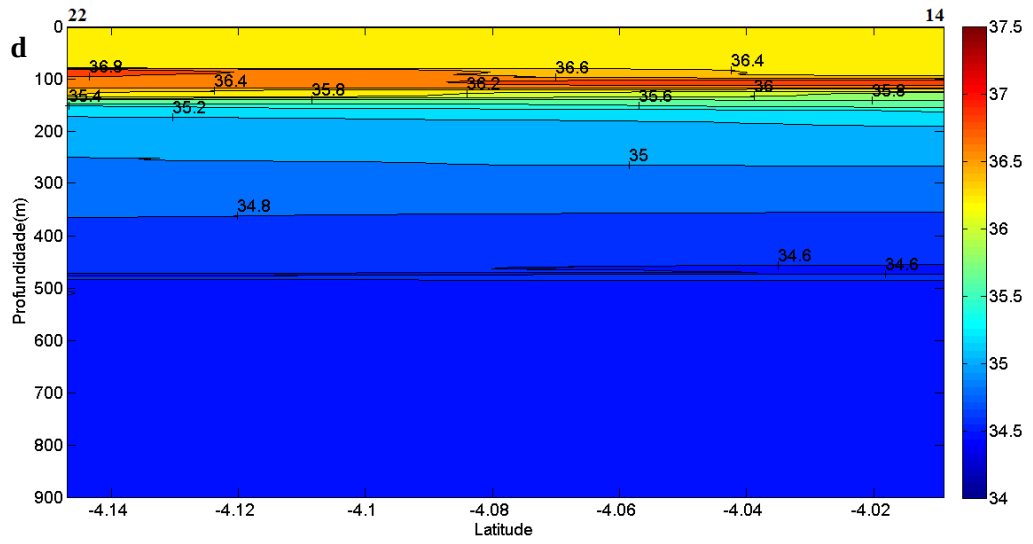
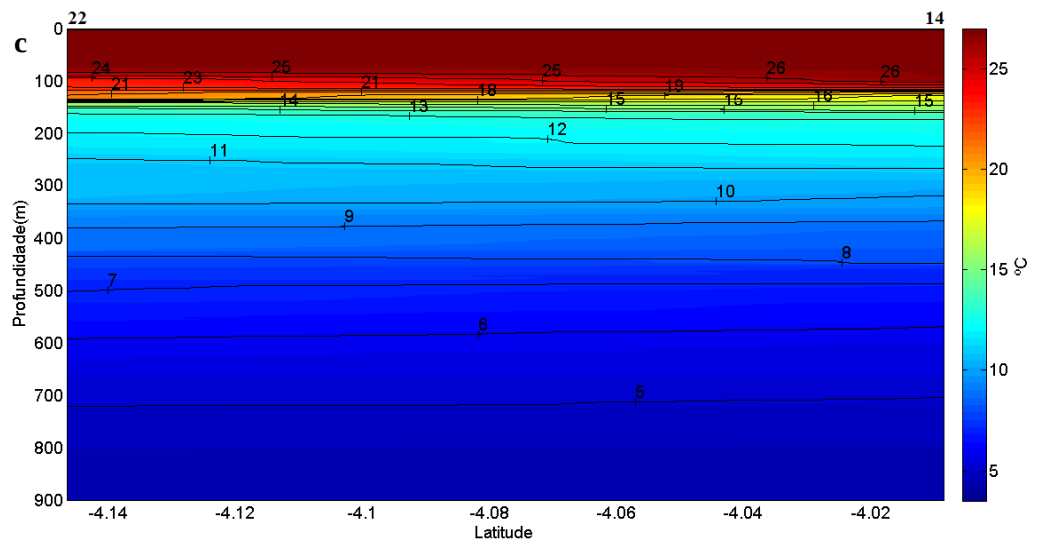
Ao sul do Atol das Rocas durante o mês de outubro de 2015 nas longitudes entre 34.1° W-33.7° W (transecto 6 – t6) a TSM apresentou mínimo de 24°C e máximo de 27°C (Fig. 23c) e a SSS apresentou mínimo de 36.2 e máximo de 36.8 (Fig. 23d), enquanto que, os dados numéricos MERCATOR indicaram variação da TSM entre 25°C-27°C (Fig. 24c) e da SSS entre 35.8-36.2 (Fig. 24d). Foram identificados três núcleos de Água de Máxima Salinidade (≥ 36.6) no nível da termoclina, o primeiro núcleo entre 80 m e 95 m, o segundo núcleo entre 80 m e 130 m e, o terceiro núcleo entre 100 m e 125 m (Fig. 23c). Os dados numéricos do MERCATOR detectaram núcleo de máxima salinidade (≥ 36.6) entre as profundidades de 80 m e 110 m (Fig. 24d).

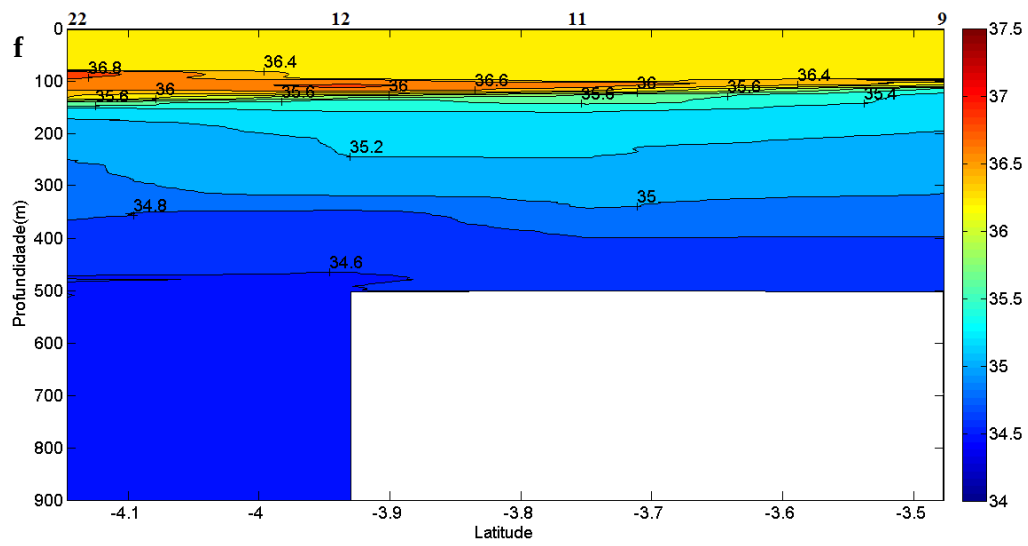
Ao leste do Atol das Rocas durante o mês de outubro de 2015 nas longitudes entre 33.8°W-32.7°W (transecto 7- t7) a TSM apresentou mínimo de 24°C e máximo de 27°C (Fig. 23e) e a SSS apresentou mínimo de 36.2 e máximo de 36.8 (Fig. 23f), enquanto que os dados numéricos do MERCATOR mostraram variação da TSM entre 23°C e 24°C (Fig. 24e) e da SSS entre 35.8 e 36.6 (Fig. 24f). Foram detectados três núcleos de Água de Máxima Salinidade - AMS (≥ 36.6), com o primeiro núcleo localizado entre 80 m e 95 m, o segundo núcleo entre 80 m e 130 m e o terceiro núcleo localizado entre 100 m e 130 m (Fig. 23f). O modelo MERCATOR identificou AMS (≥ 36.6) entre 90 m e 110 m (Fig. 24f).

Os dados numéricos do MERCATOR no mesmo período e nas mesmas longitudes já mencionadas no Atol das Rocas mostraram baixos valores de salinidade na camada de mistura e valores de temperatura e salinidade ligeiramente maiores ao longo da coluna d'água abaixo da termoclina, com termoclina apresentando uma distribuição mais linear de temperatura e salinidade (Fig. 24).

Figura 23 – Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a-transecto5-t5,c-transecto6-t6,e-transecto7-t7) e salinidade (b-transecto5-t5, d-transecto6-t6, f-transecto7-t7) ao norte, sul e leste do Atol das Rocas em outubro de 2015.

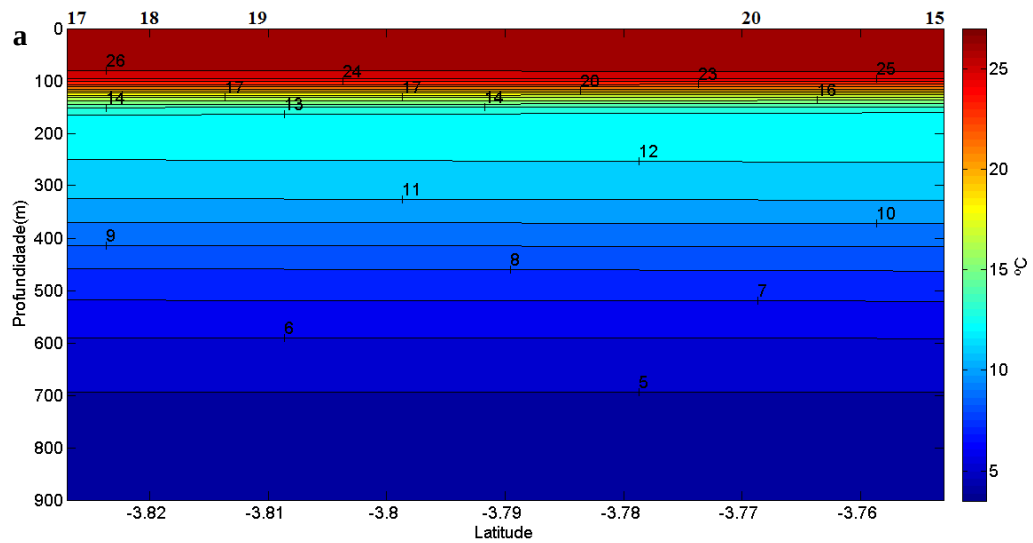


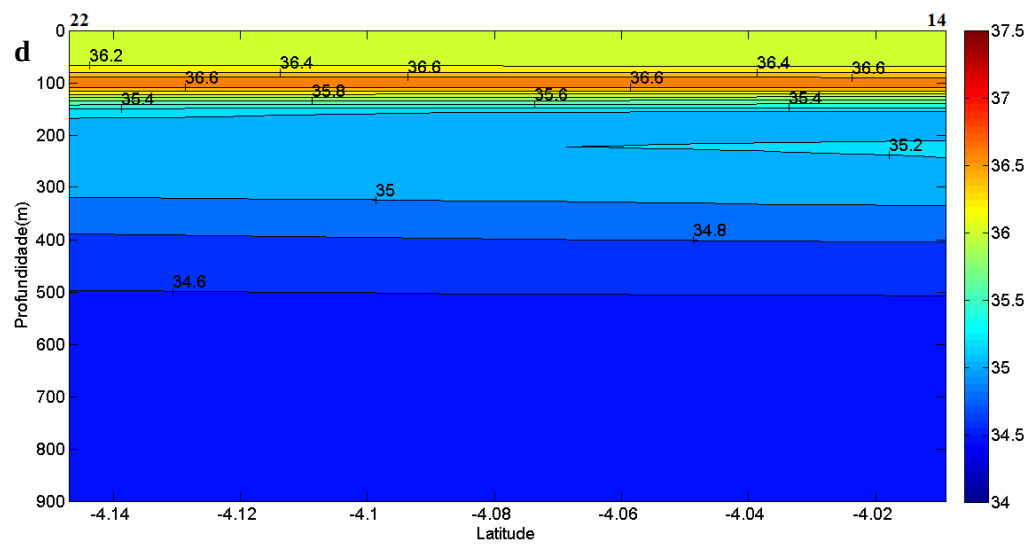
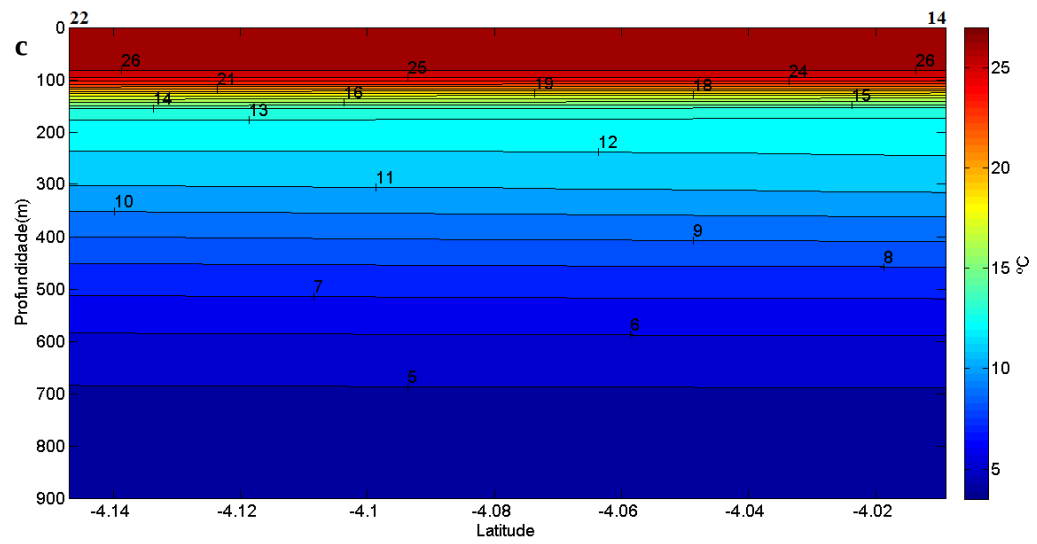
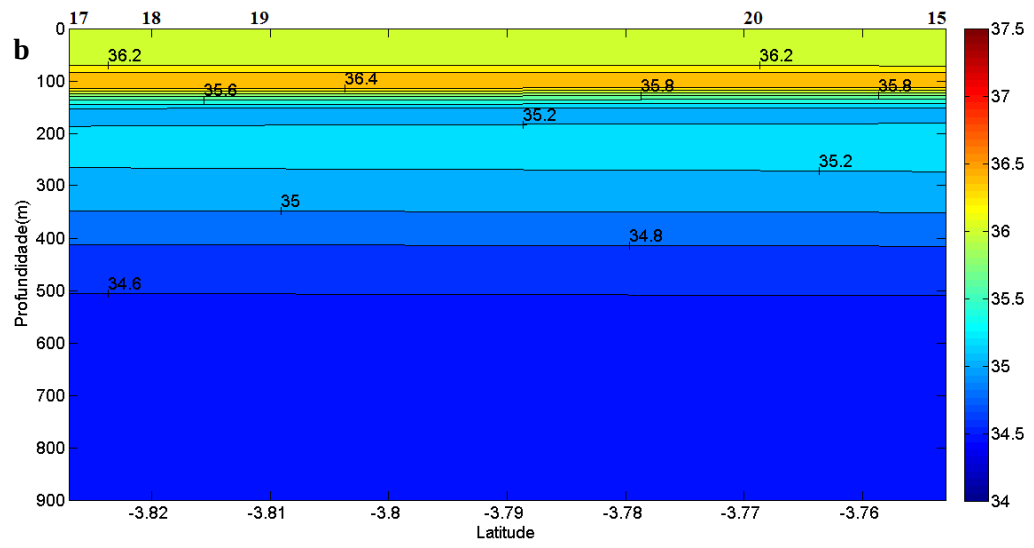


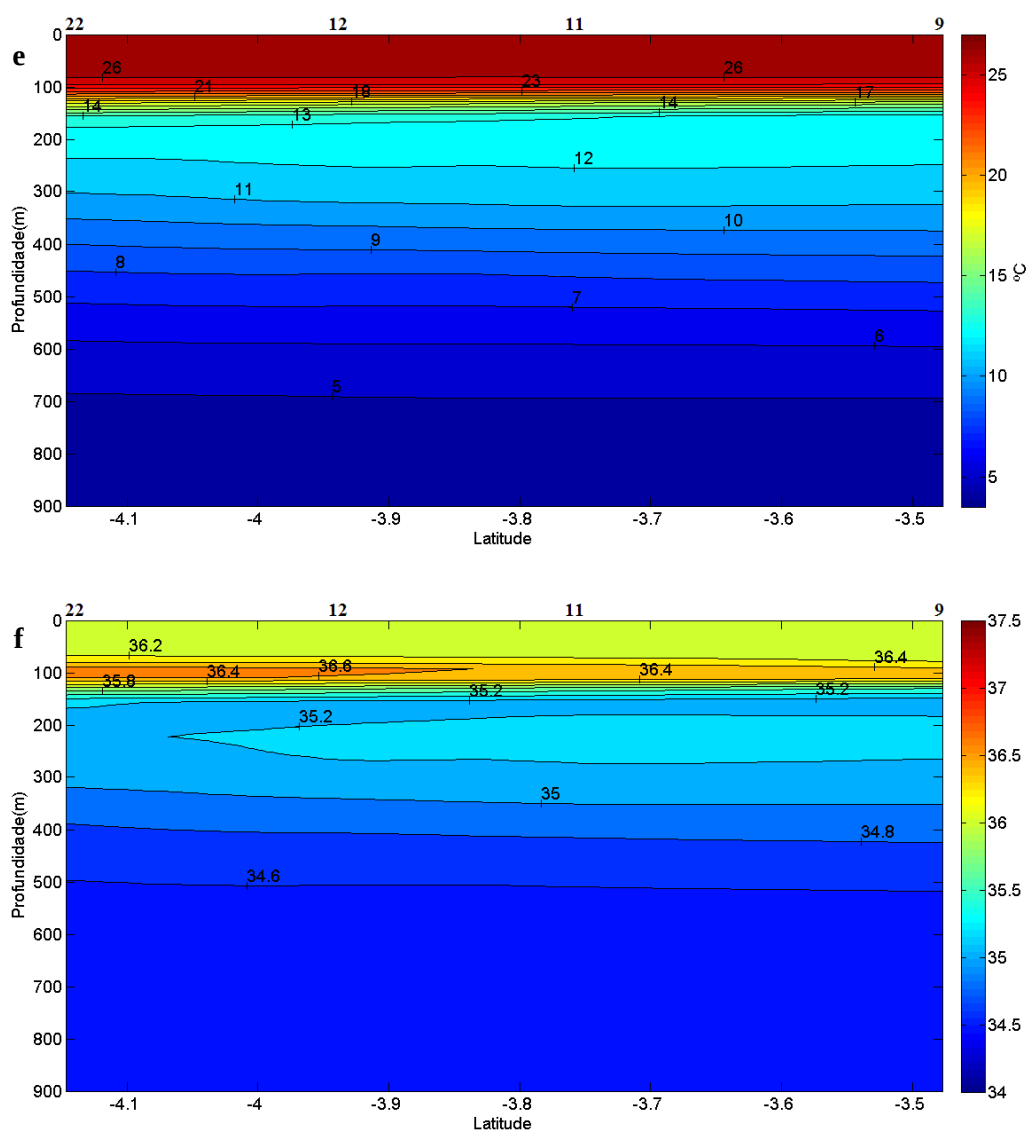


Fonte: A autora.

Figura 24 – Distribuições verticais de temperatura (a- transecto5-t5,c- transecto6-t6,e- transecto7-t7) e salinidade (b- transecto5-t5,d- transecto6-t6,f- transecto7-t7) de dados numéricos MERCATOR ao norte, sul e leste do Atol das Rocas em outubro de 2015.







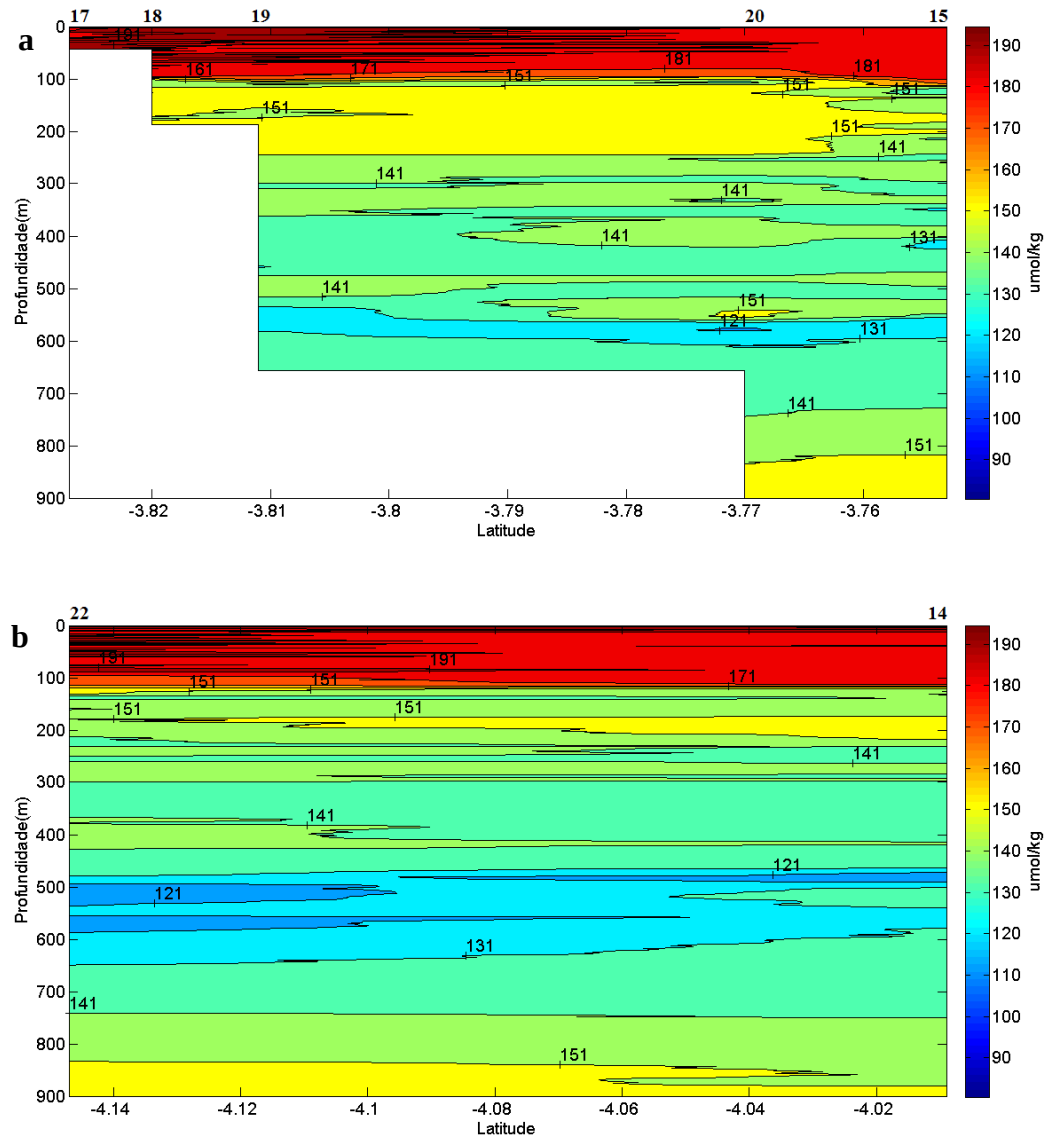
Fonte: A autora.

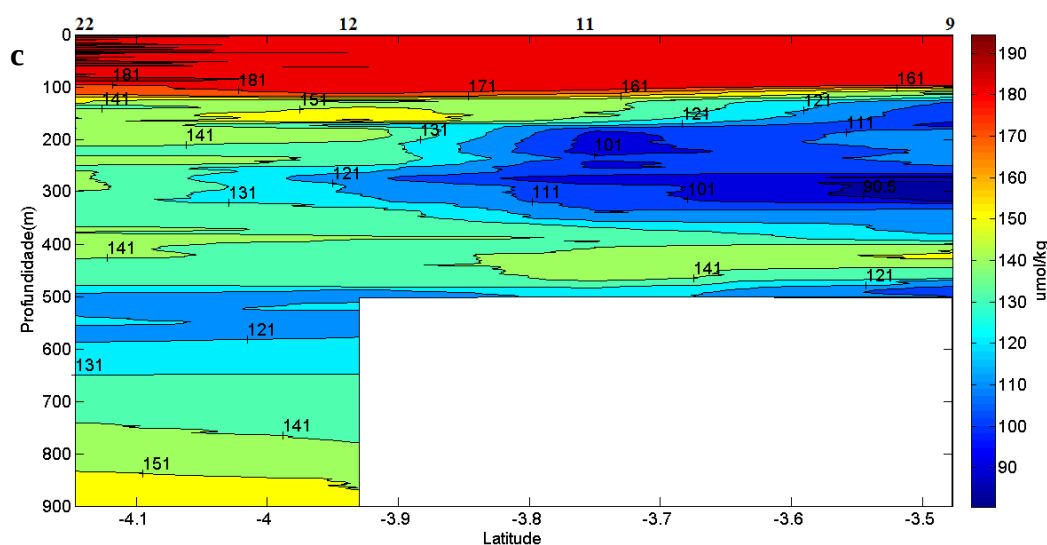
5.12 Distribuições verticais de Oxigênio no Atol das Rocas (Dados Observacionais – outubro 2015)

Ao norte do Atol das Rocas durante outubro de 2015 nas longitudes entre 34° W- 33.8° W (transecto 5– t5) altas concentrações de oxigênio dissolvido (131 umol.kg^{-1} – 151 umol.kg^{-1}) prevaleceram abaixo da termoclina até 500 m de profundidade sugerindo presença da ACAS (Fig. 25a). Ao sul do Atol das Rocas nas longitudes entre 34.1° W- 33.7° W (transecto 6 – t6) no entanto, apesar de predominar a ACAS foi também observado baixas concentrações de oxigênio (111 umol.kg^{-1} - 121 umol.kg^{-1}) nas profundidades entre 500 e 600 m indicando também presença da ACAN (Fig. 25b). A leste do Atol das Rocas nas longitudes entre 33.8° W- 32.7° W (transecto 7- t7) a ACAN foi mais representativa em relação as demais

regiões, estando presente na camada central até 400 m de profundidade e também entre 500 e 600 m com concentrações entre $90.5 \text{ umol.kg}^{-1}$ - 121 umol.kg^{-1} (Fig. 25c).

Figura 25 – Distribuições verticais de dados observacionais de oxigênio dissolvido em ao norte (transecto5-t5) (a), sul (transecto6-t6) (b) e leste (transecto7-t7) (c) do Atol das Rocas em outubro de 2015.





Fonte: A autora.

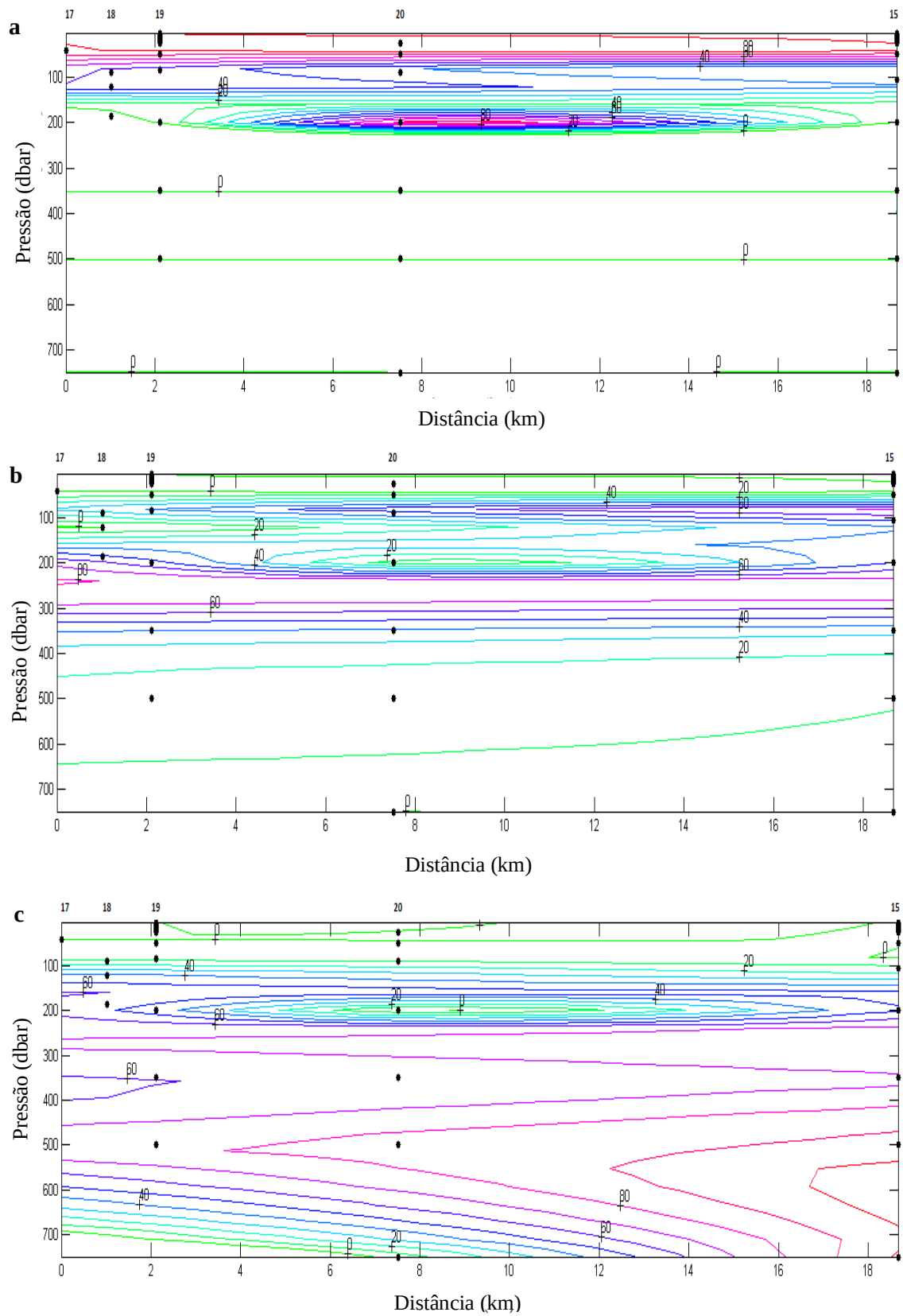
5.13 Caracterização das massas d'água no Atol das Rocas (outubro 2015)

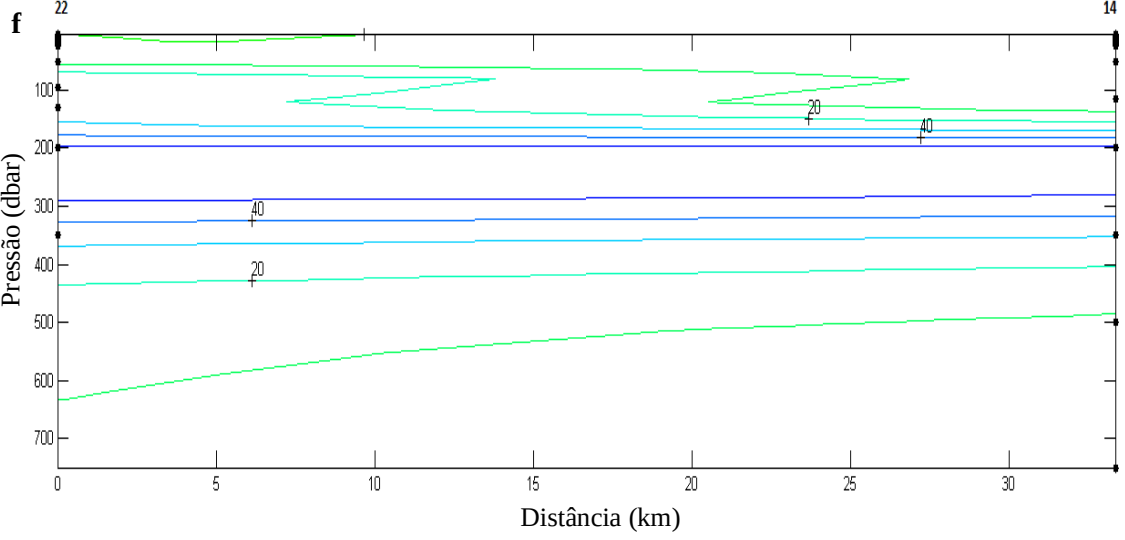
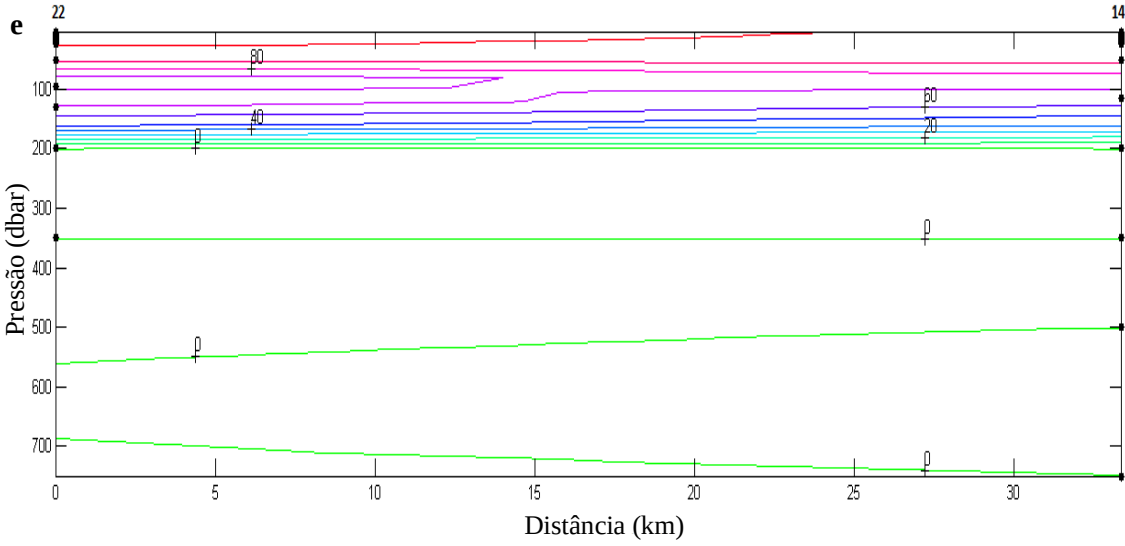
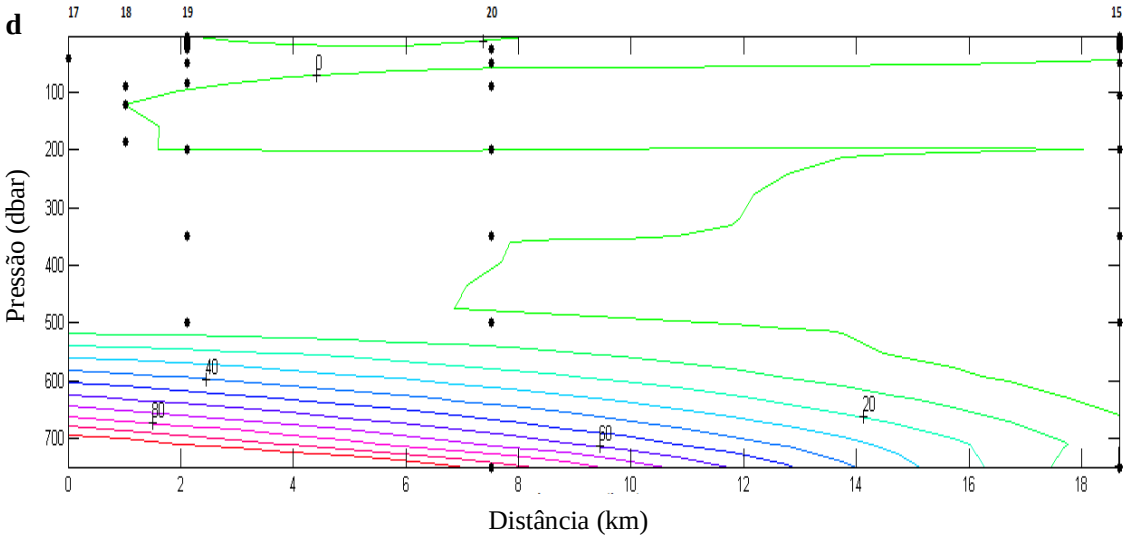
Ao norte do Atol das Rocas (transecto 5- t5) na profundidade de 200 m ao longo da latitude de 3.81° S e 3.75° S a ATS apresentou maiores contribuições que a ACAN e ACAS no centro do círculo ilustrado (Fig. 26a,b,c), representando dessa forma emersão da ATS e consequente submersão da ACAN e ACAS nesta localidade.

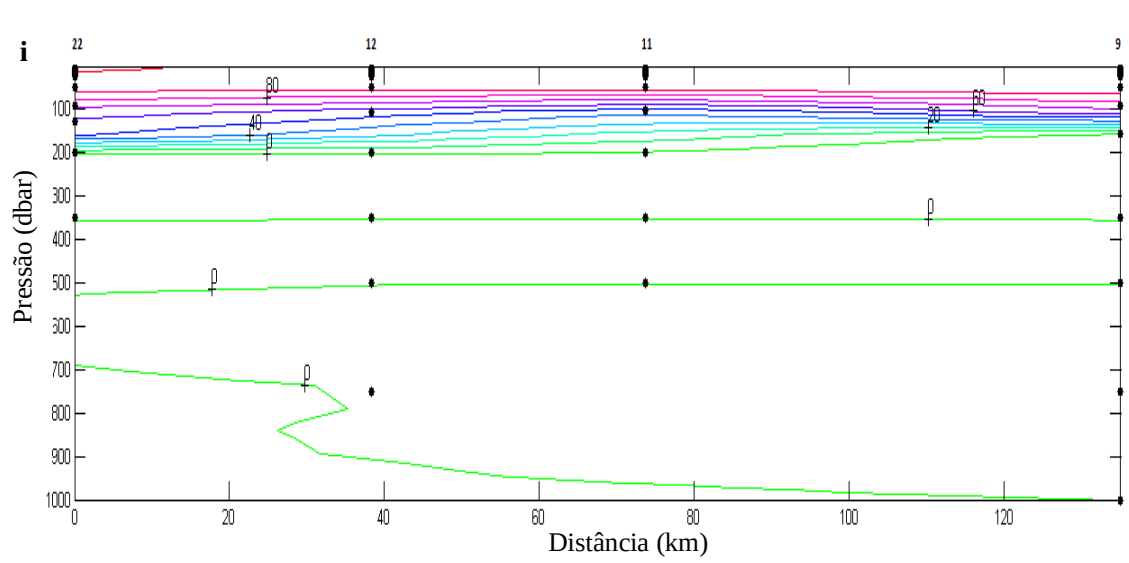
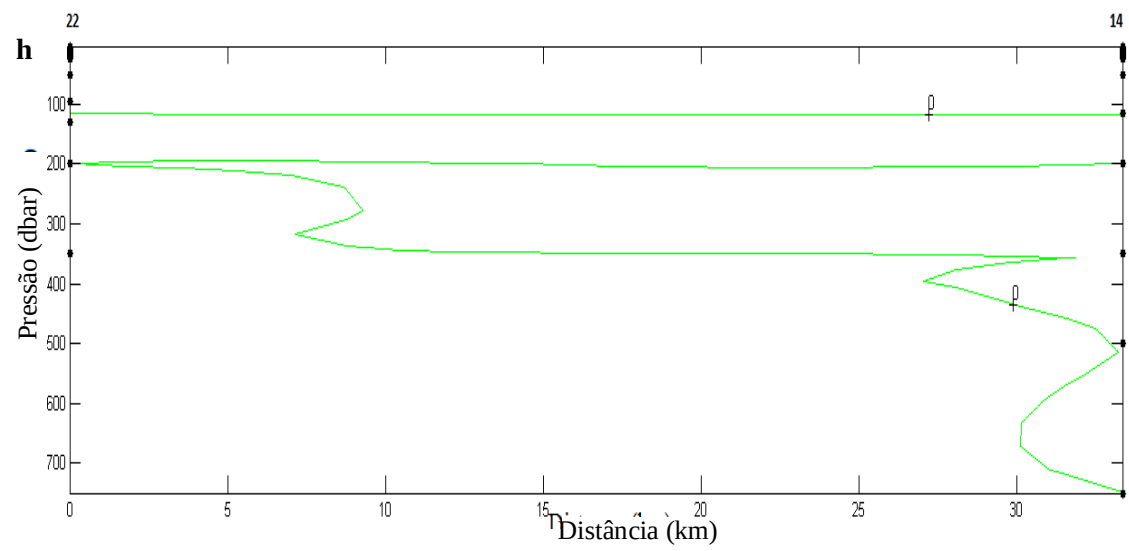
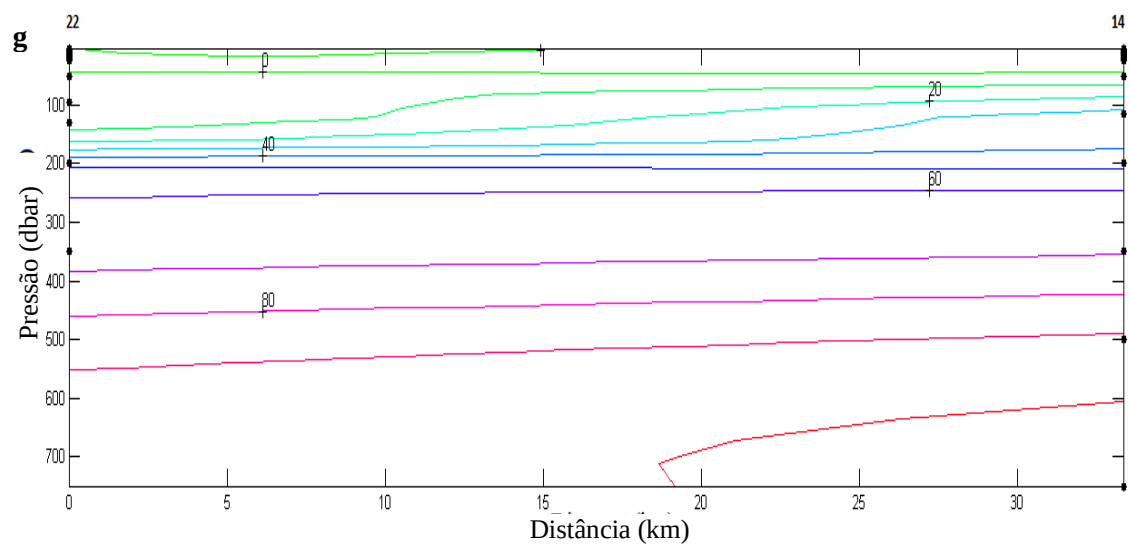
Ao sul do Atol das Rocas (transecto 6- t6) a máxima contribuição da ACAS surgiu dos 600 m até 750 m de profundidade ao redor de 4.0°S (Fig. 26g), com temperaturas entre 5°C e 6°C (Fig. 23c), salinidade de 34.6 (Fig. 23d) e concentrações de oxigênio dissolvido entre 131 kg.m⁻³ e 141kg.m⁻³(Fig. 25b). A massa de água AIA não foi detectada sendo provavelmente encontrada abaixo de 1000 m (Fig. 26h).

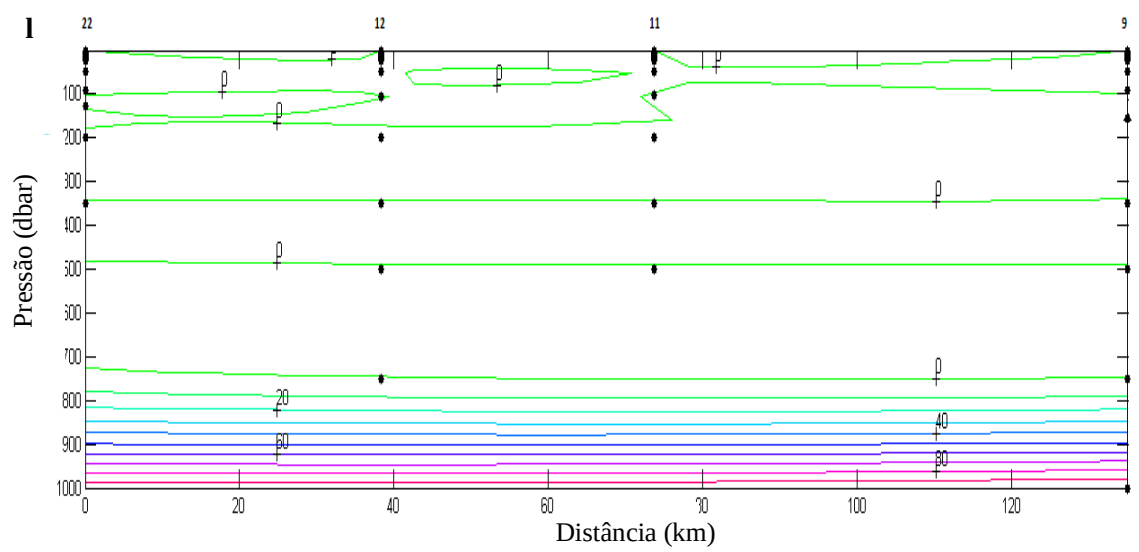
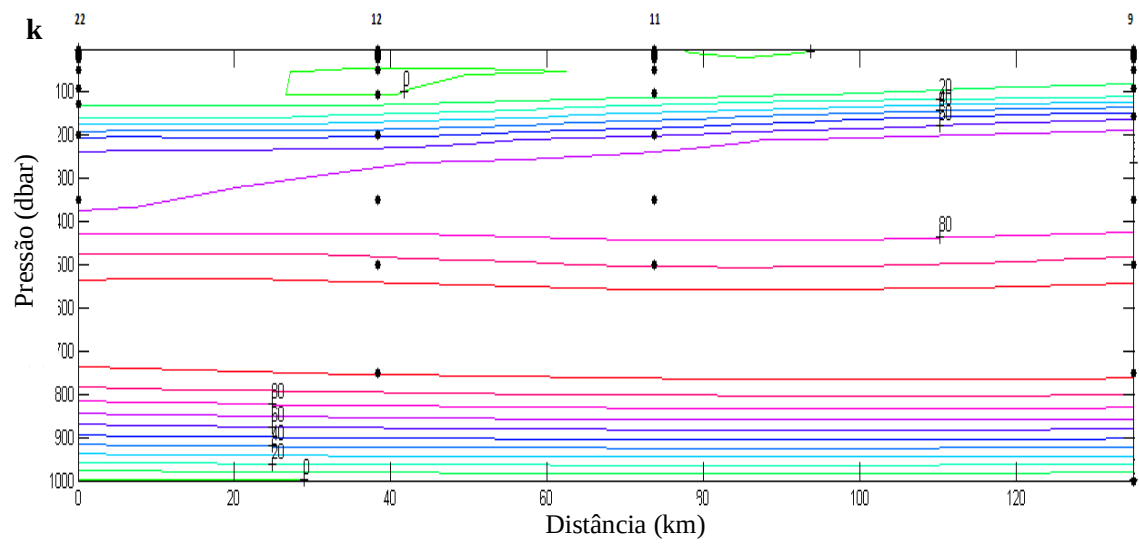
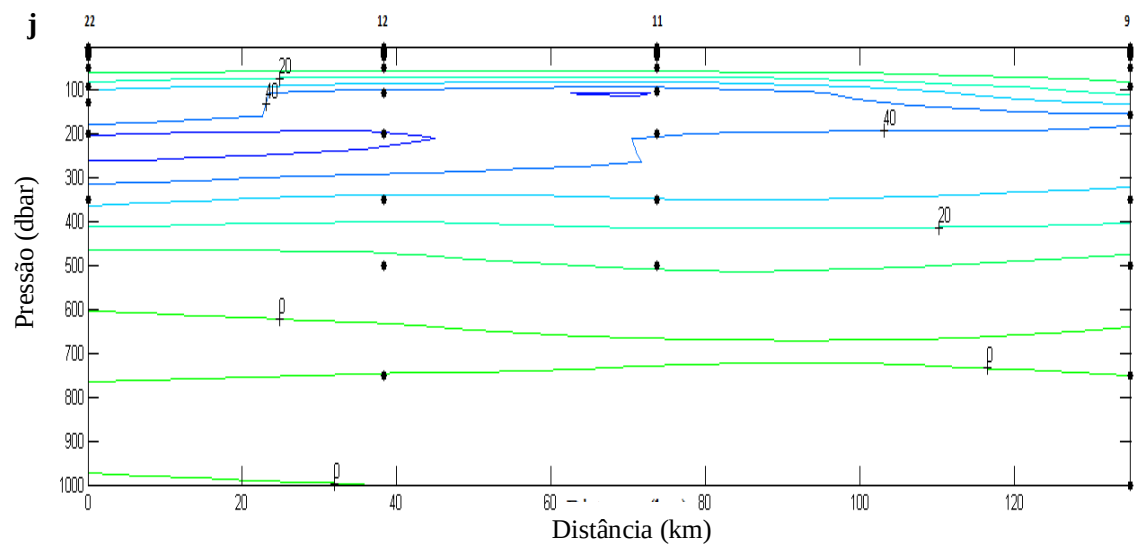
Em todas as estações referentes ao leste do Atol das Rocas (transecto 3- t3) a máxima contribuição da ACAS foi identificada ao redor das profundidades de 550 m e 750 m (Fig. 26k), com temperatura entre 5°C e 7°C (Fig. 26e), salinidade de 34.6 (Fig. 26f) e máxima contribuição representada por concentrações de oxigênio dissolvido entre 121 umol.kg⁻¹ e 141 umol.kg⁻¹ ao redor de 4.14° S e 3.93° S (Fig. 25c). Ainda, a massa de água AIA foi detectada entre as profundidades de 790 m e 990 m (Fig. 26l).

Figura 26 – Caracterização das massas de água ATS (a,e,i), ACAN (b,f,j), ACAS (c,g,k) e AIA (d,h,l) ao norte (a,b,c,d- transecto5-t5) , sul (e,f,g,h- transecto 6-t6) e leste (i,j,k,l-transecto7-t7) do Atol das Rocas em outubro de 2015.







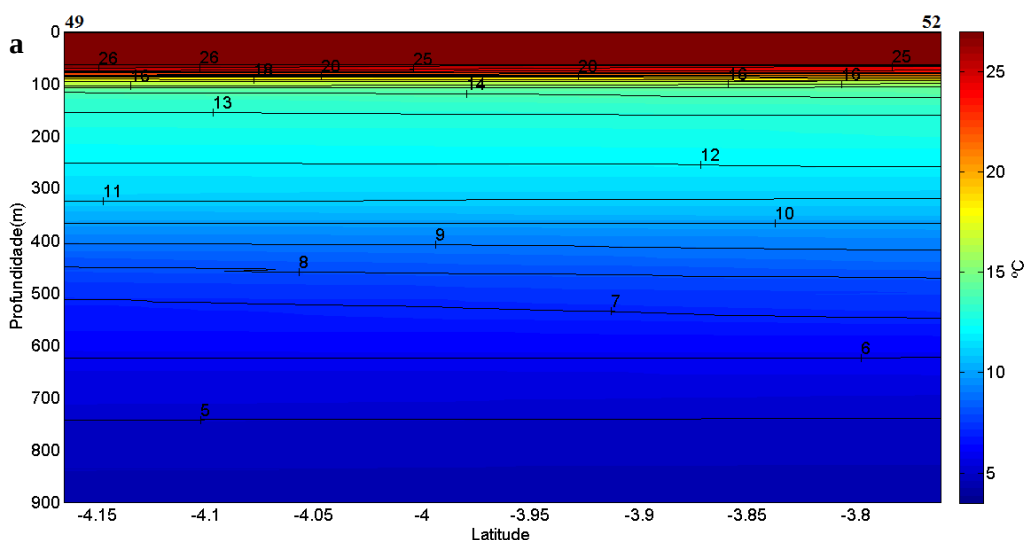


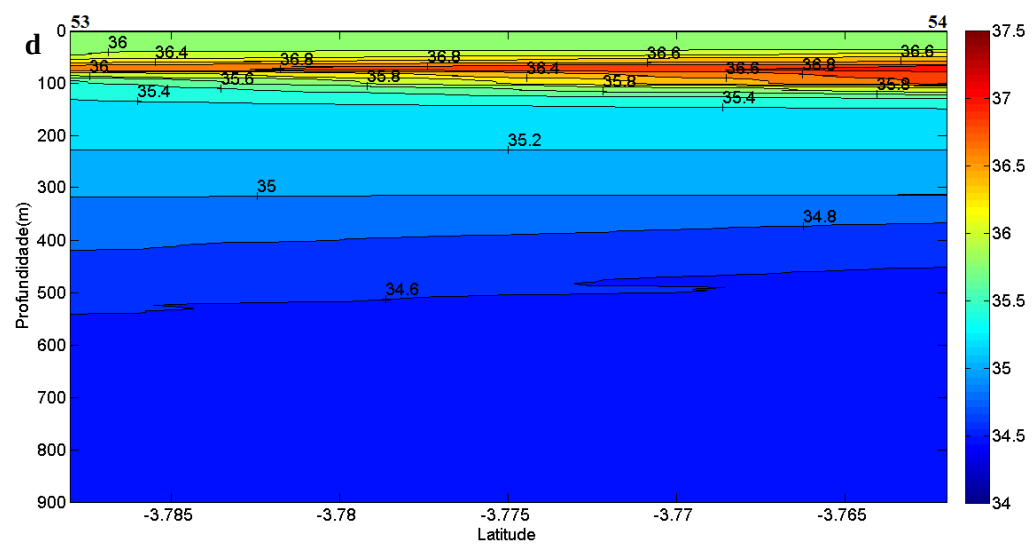
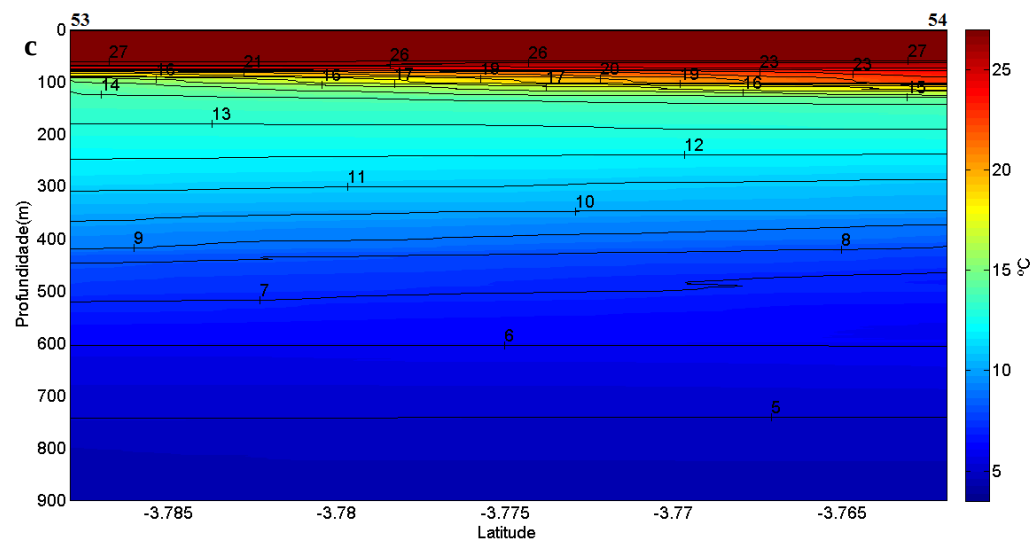
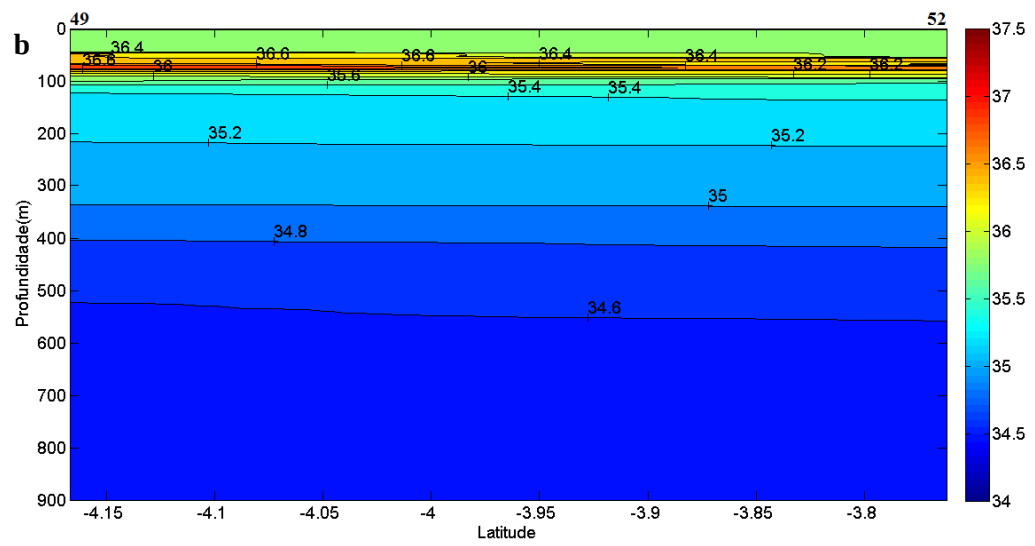
Fonte: A autora.

5.14 Distribuições verticais de Temperatura e Salinidade (Dados Observacionais e Resultados numéricos – abril-maio de 2017)

Ao leste do Atol das Rocas nas longitudes entre 33.5° W-33.2° W (transecto 8- t8) a TSM apresentou valor de 27°C (Fig. 27a) e a SSM apresentou mínimo de 35.8 e máximo de 36.4 (Fig. 27b), enquanto que os dados numéricos MERCATOR indicaram variação da TSM entre 25°C-27°C (Fig. 28a) e da SSM entre 35.8-36.2 (Fig. 28b). Durante abril-maio de 2015 (dados numéricos MERCATOR) e durante Abril-Maio de 2017, as águas salgadas foram menos representativas, com baixos valores (≥ 36.2) (Fig.28b) e (≥ 36) (Fig.27b) nas mesmas profundidades entre 40 m e 100 m, respectivamente. O mesmo foi detectado pelos dados numéricos MERCATOR nas longitudes entre 34.8° W-34° W a oeste do Atol (transecto 9-t9) durante Abril-Maio de 2015 entre as profundidades de 40 m e 90 m, com valores de salinidade (≥ 36.2) (Fig. 28d), e durante abril-maio de 2017 entre 60 m e 90 m, com valores de salinidade (≥ 36) (Fig. 27d). A TSM apresentou valor de 27°C (Fig.27c) e a SSM variou entre 35.8-36.4 (Fig. 27d), enquanto que os dados numéricos MERCATOR indicaram variação da TSM entre 26°C-27°C (Fig. 28c) e da SSM entre 35.8- 36.4 (Fig. 28d).

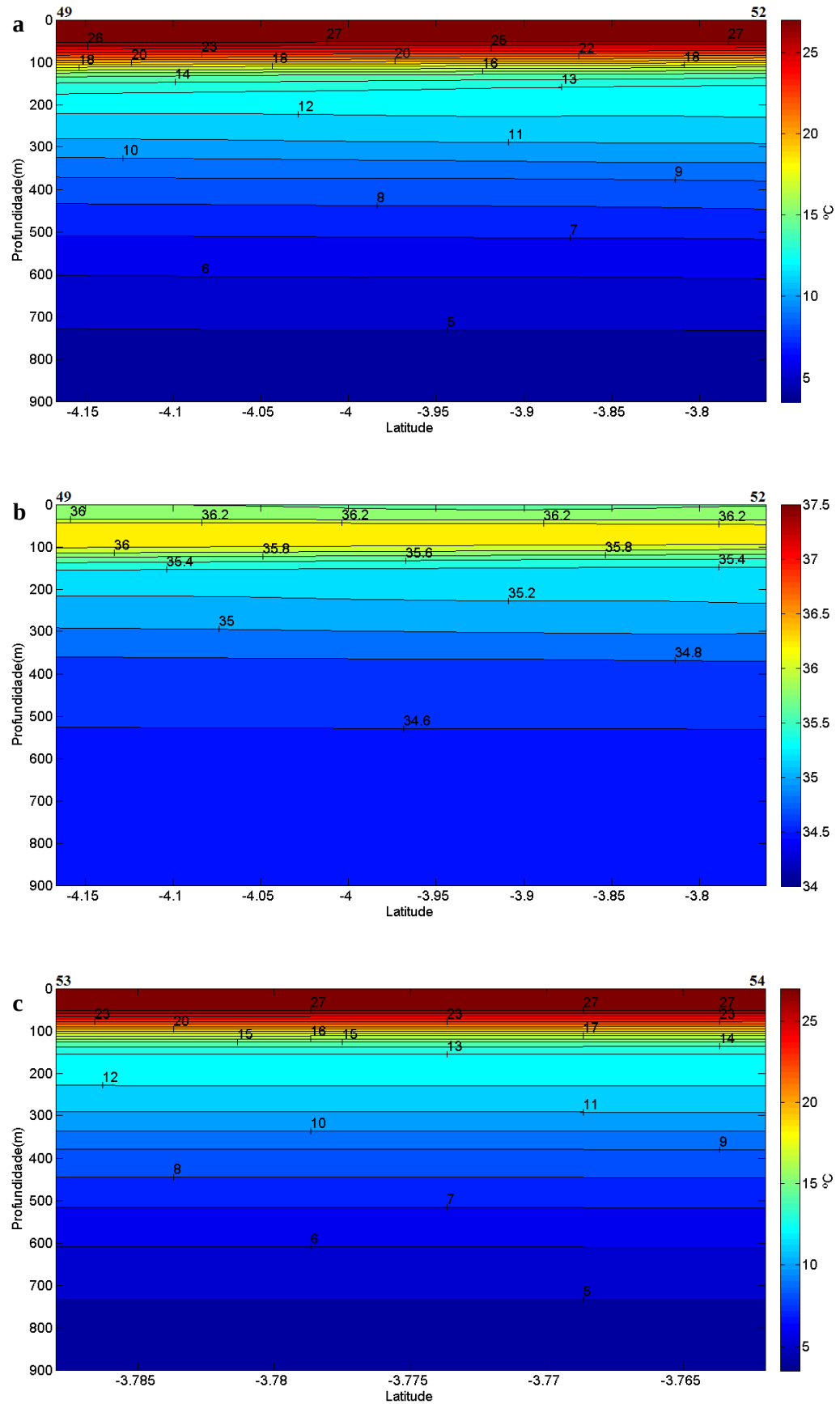
Figura 27 – Distribuições verticais de dados observacionais de temperatura (a-transecto8-t8,c-transecto9-t9) e salinidade (b-transecto8-t8,d-transecto9-t9) ao leste e oeste do Atol das Rocas em abril-maio de 2017.

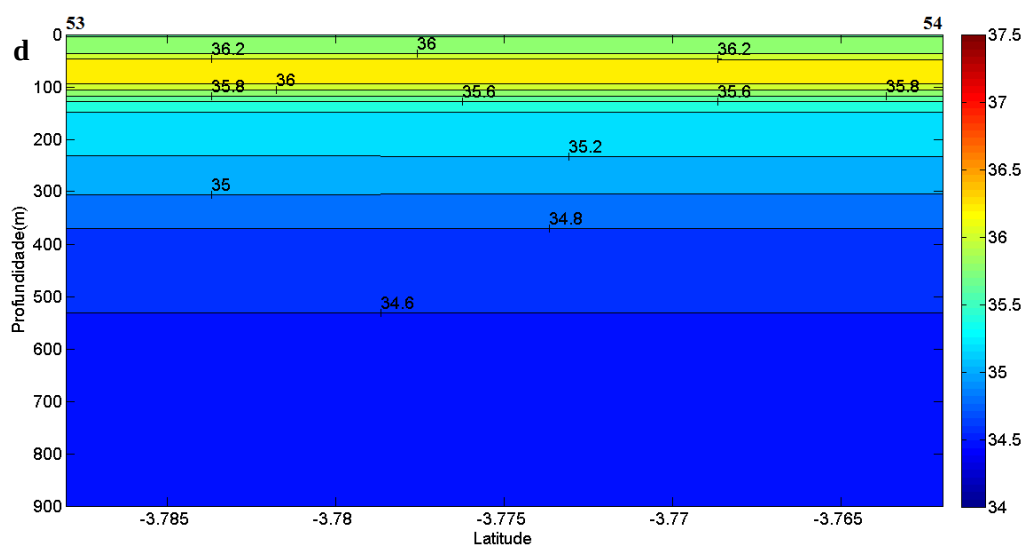




Fonte: A autora.

Figura 28 –Distribuições verticais de temperatura (a-transecto8-t8,c-transecto9-t9) e salinidade (b-transecto8-t8,d-transecto 9-t9) de dados numéricos MERCATOR ao leste e oeste do Atol das Rocas em abril-maio de 2015.



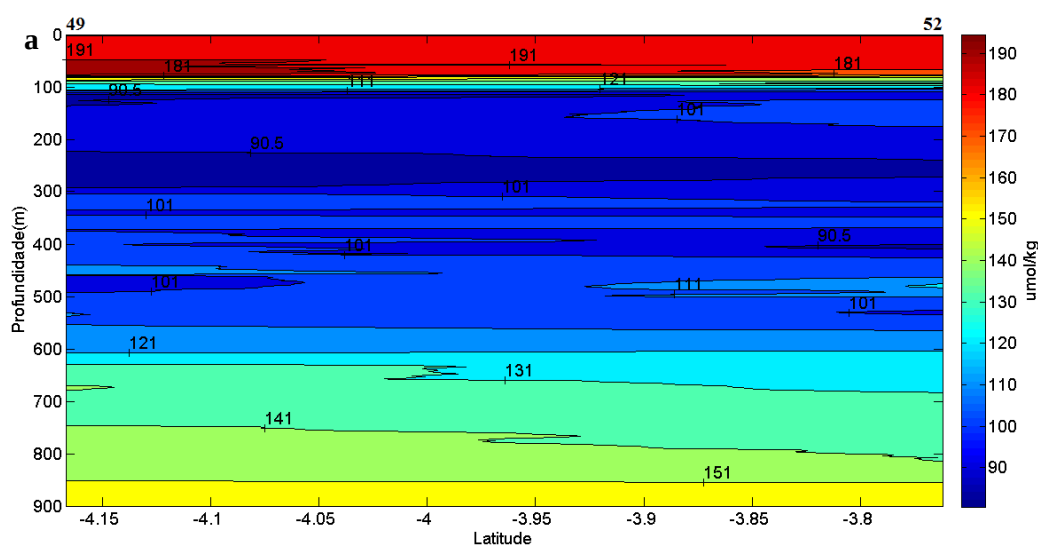


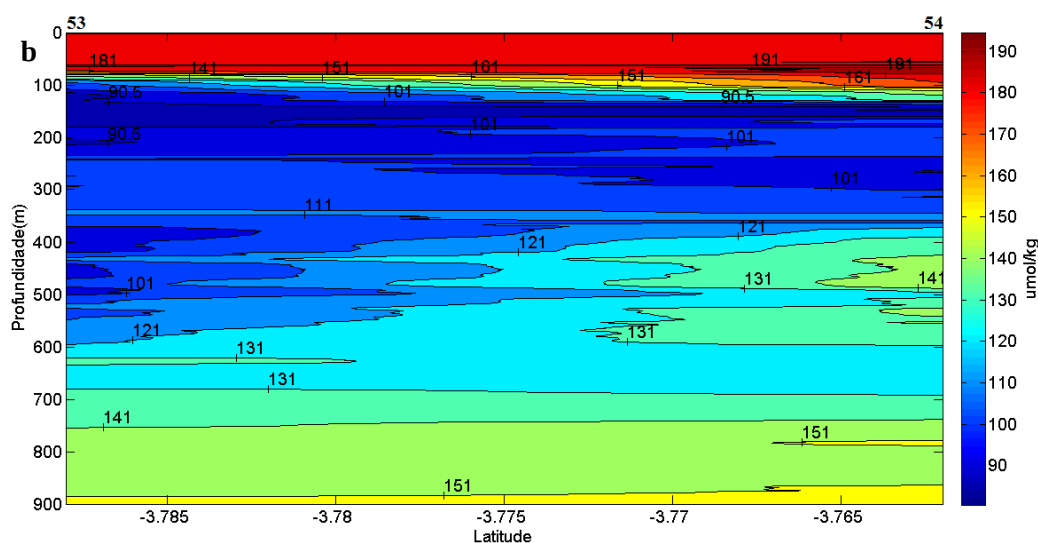
Fonte: A autora.

5.15 Distribuições verticais de Oxigênio no Atol das Rocas (Dados Observacionais – abril-maio 2017)

Ao leste do Atol das Rocas nas longitudes entre 33.5° W-33.2° W (transecto 8-t8) e a oeste do Atol nas longitudes entre 34.8° W-34° W (transecto 9-t9) durante abril-maio de 2017, baixas concentrações de oxigênio dissolvido foram bem representativas abaixo da termoclina até a profundidade de 500 m (Fig. 29a,b), indicando a grande influência da ACAN quando comparadas com outubro de 2015.

Figura 29 – Distribuições verticais de dados observacionais de oxigênio dissolvido ao leste (transecto8-t8) (a) e oeste (transecto9-t9) (b) do Atol das Rocas em abril-maio de 2017.





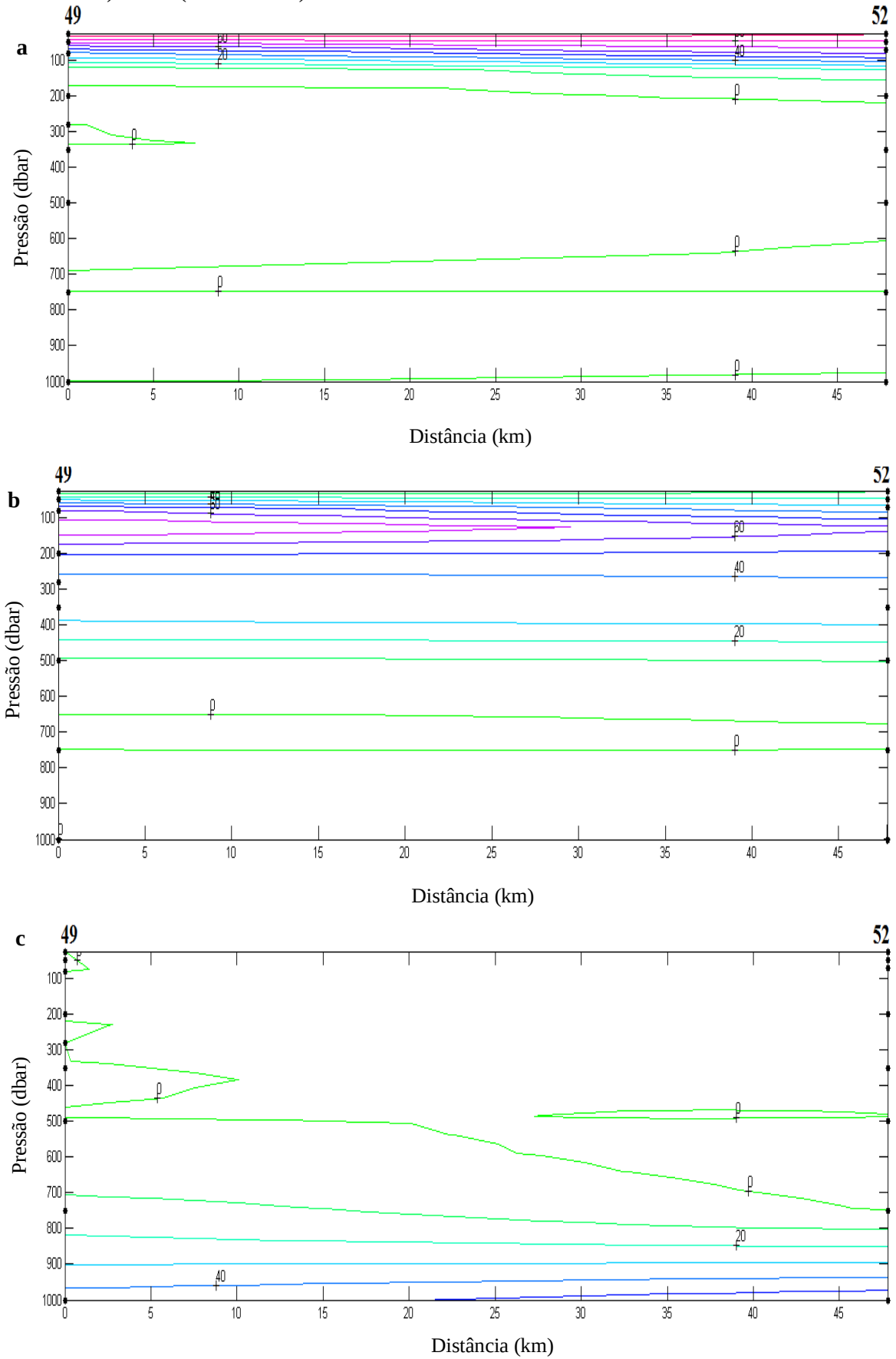
Fonte: A autora.

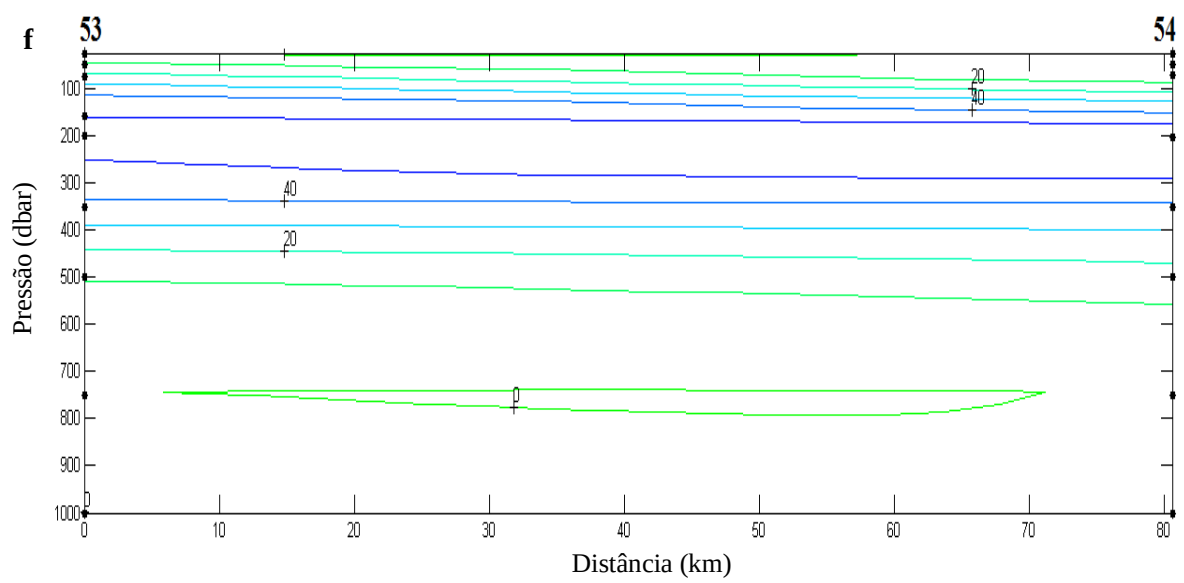
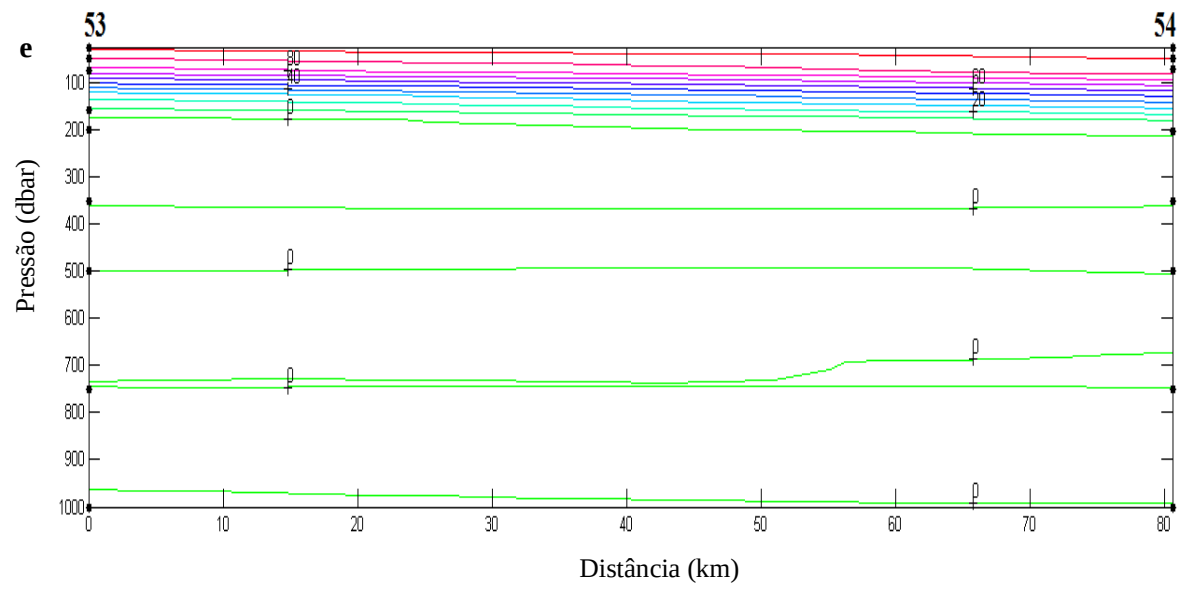
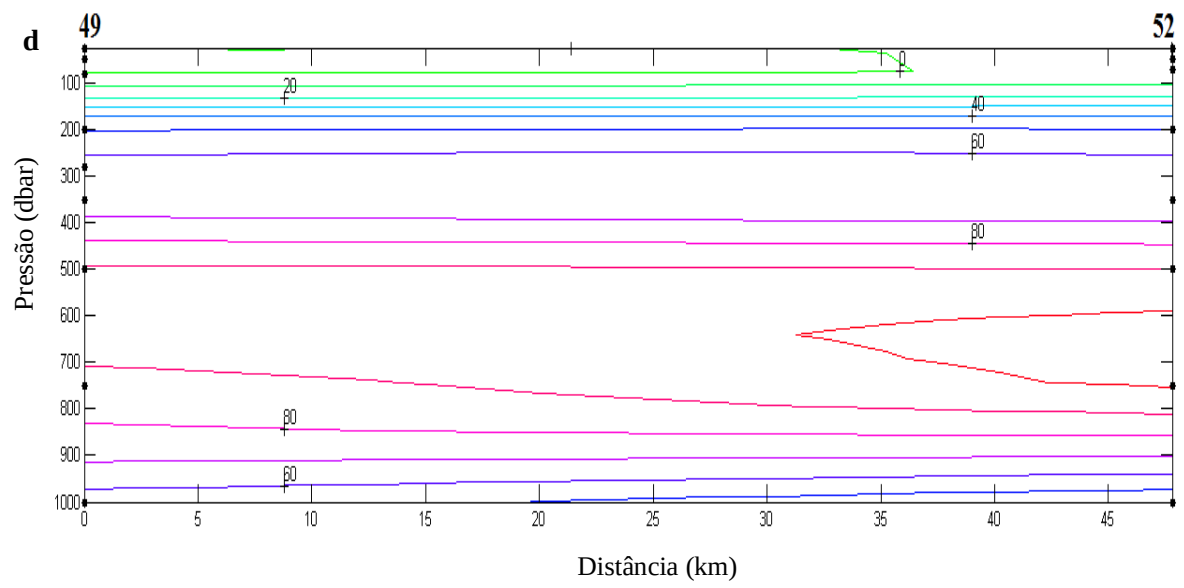
5.16 Caracterização das massas d'água no Atol das Rocas (outubro 2015)

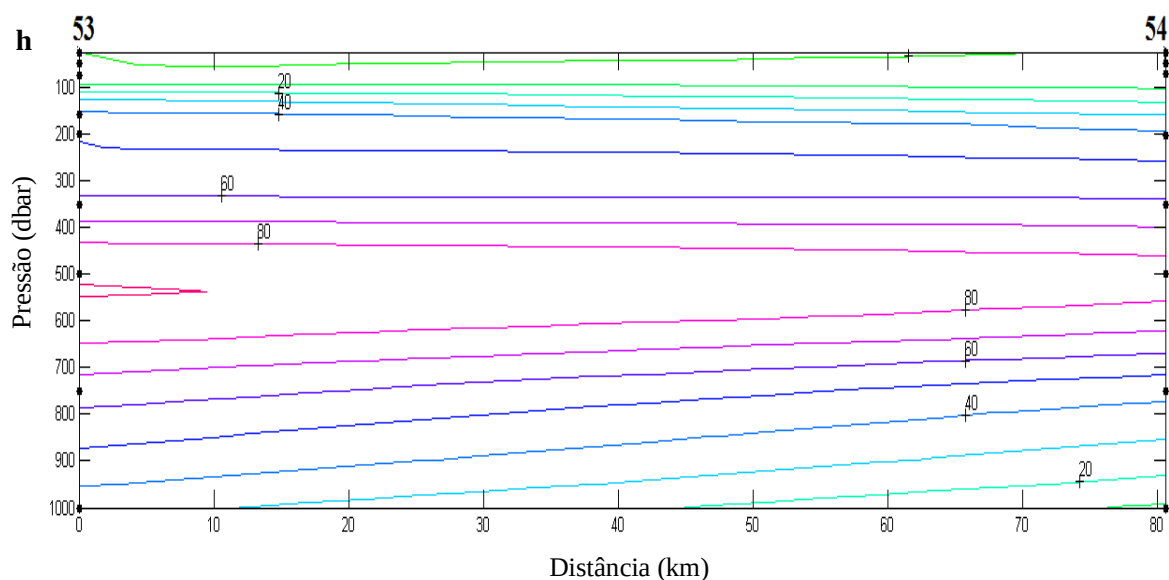
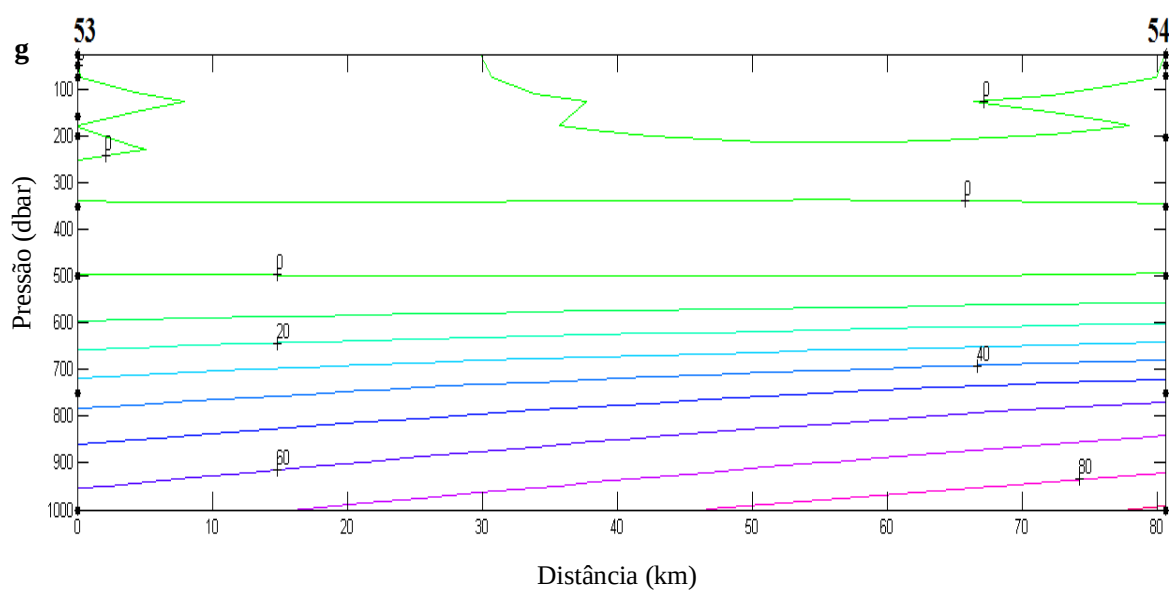
Ao leste do Atol das Rocas (transecto8-t8) a ACAS foi detectada a partir de 700 m de profundidade (Fig.30c), enquanto que a AIA máxima foi identificada entre 590 m-750 m a partir de uma distância de 32km da estação 49 (Fig.30d), com temperatura variando entre 5°C-6°C (Fig.27a), salinidade de 34.6 (Fig.27b) e concentração de oxigênio dissolvido entre 131umol/kg- 141umol/kg(Fig.29a).

Ao oeste do Atol das Rocas (transecto9-t9) a ACAS foi detectada a partir dos 550 m de profundidade (Fig.30g), e a maior contribuição da AIA ocorreu até uma distância de 10 km da estação 53 entre 500m - 550m (Fig.30h).

Figura 30 - Caracterização das massas de água ATS (a,e), ACAN (b,f), ACAS (c,g) e AIA (d,h) ao leste (transecto 8-t8) e oeste (transecto 9-t9) do Atol das Rocas em abril-maio de 2017.







Fonte: A autora.

5.17 Distribuição Horizontal - Outubro 2015

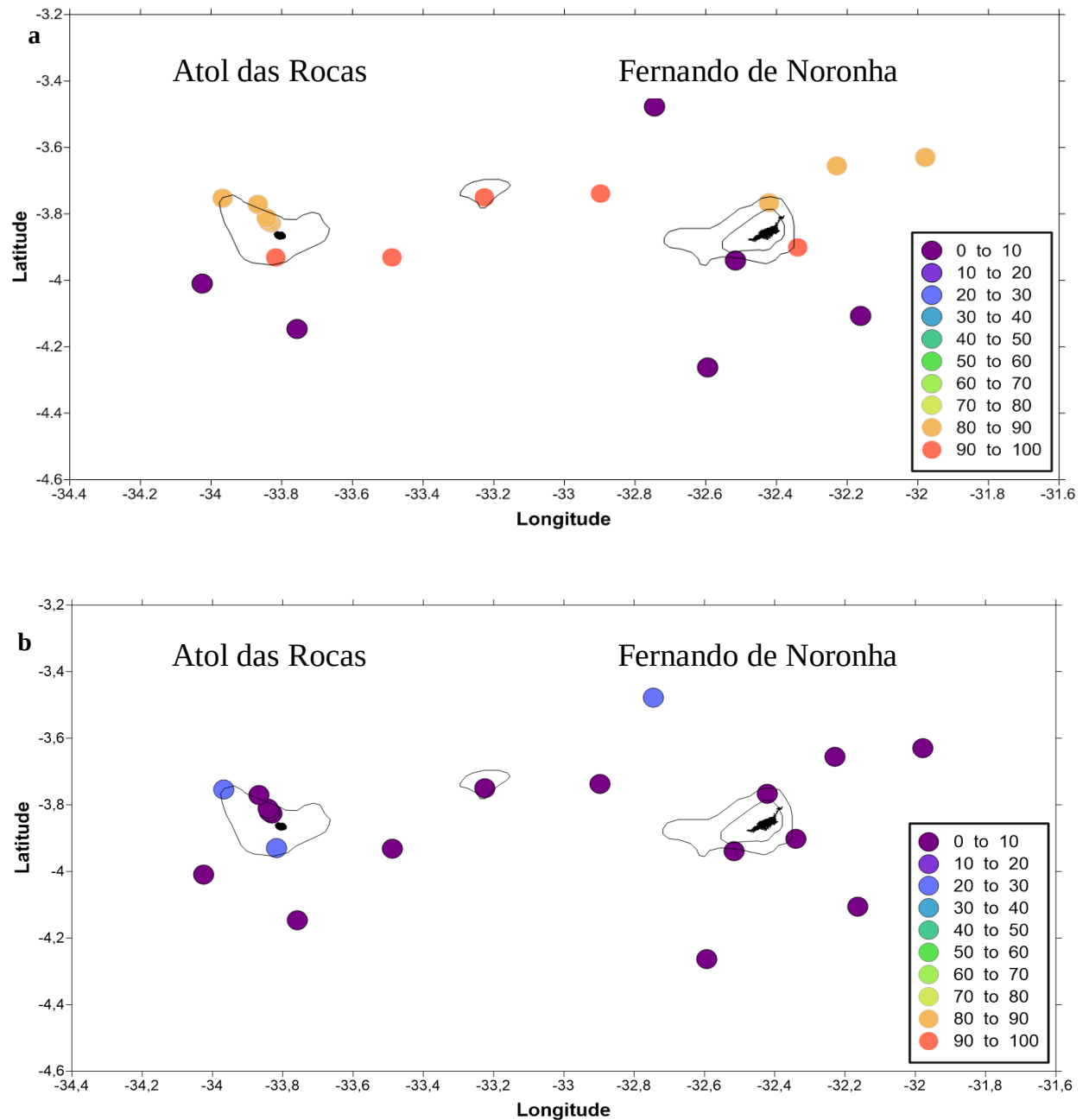
As distribuições horizontais em outubro de 2015 representam as contribuições de cada massa de água em uma profundidade específica, através de resultados obtidos pela análise OMP. Descrita abaixo para cada região estudada:

5.17.1 ATS (Água Tropical de Superfície)

A Água Tropical de Superfície (ATS) a 50 m aflorou ao sul de Fernando de Noronha (estação 4) com contribuições entre 90% e 100%, além de apresentar contribuições entre 80% e 90% em estações ao norte desta ilha (Fig. 31a).

A ATS a 50 m aflorou ao leste do Atol das Rocas (estações 9,11,12). Essa massa de água também apresentou contribuições entre 80% e 90% em estações ao norte do Atol (Fig.31a).

Figura 31 - Contribuições da ATS a 50 m (a) e da ACAS (b) a 100 m de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em outubro de 2015.



Fonte: A autora.

5.17.2 Água de Sul (wACAS)

A 100 m a wACAS foi mais representativa na estação mais ao norte de Fernando de Noronha (estação 9) com contribuições entre 20% e 30% (Fig. 31b).

A 200 m a wACAS apresentou pouquíssimas contribuições ou ainda nenhuma contribuição nas estações em torno desta ilha (0%-10%)(Fig. 32a).

A 400 m a wACAS aflorou em estações mais ao norte (estação 9) e mais ao sul (estação 6) de Fernando de Noronha com contribuições entre 90% e 100% (Fig. 32b).

A 500 m a wACAS foi mais representativa em três estações, uma ao norte (estação 2) e outra ao sul (estação 7) de Fernando de Noronha com contribuições entre 70% e 80%, e ainda uma mais a oeste da ilha (estação 8) com contribuições maiores entre 80% e 90% (Fig. 32c).

A 100 m a wACAS foi representativa ao norte (estação 15) e sul (estação 13) do Atol das Rocas com contribuições entre 20% e 30% (Fig. 31b).

A 200 m a wACAS aflorou em estações ao norte (estações 15,19) e sul do Atol das Rocas (estações 14,22), em contraste, não apresentou contribuições significativas a 400 m (Fig.32a,b).

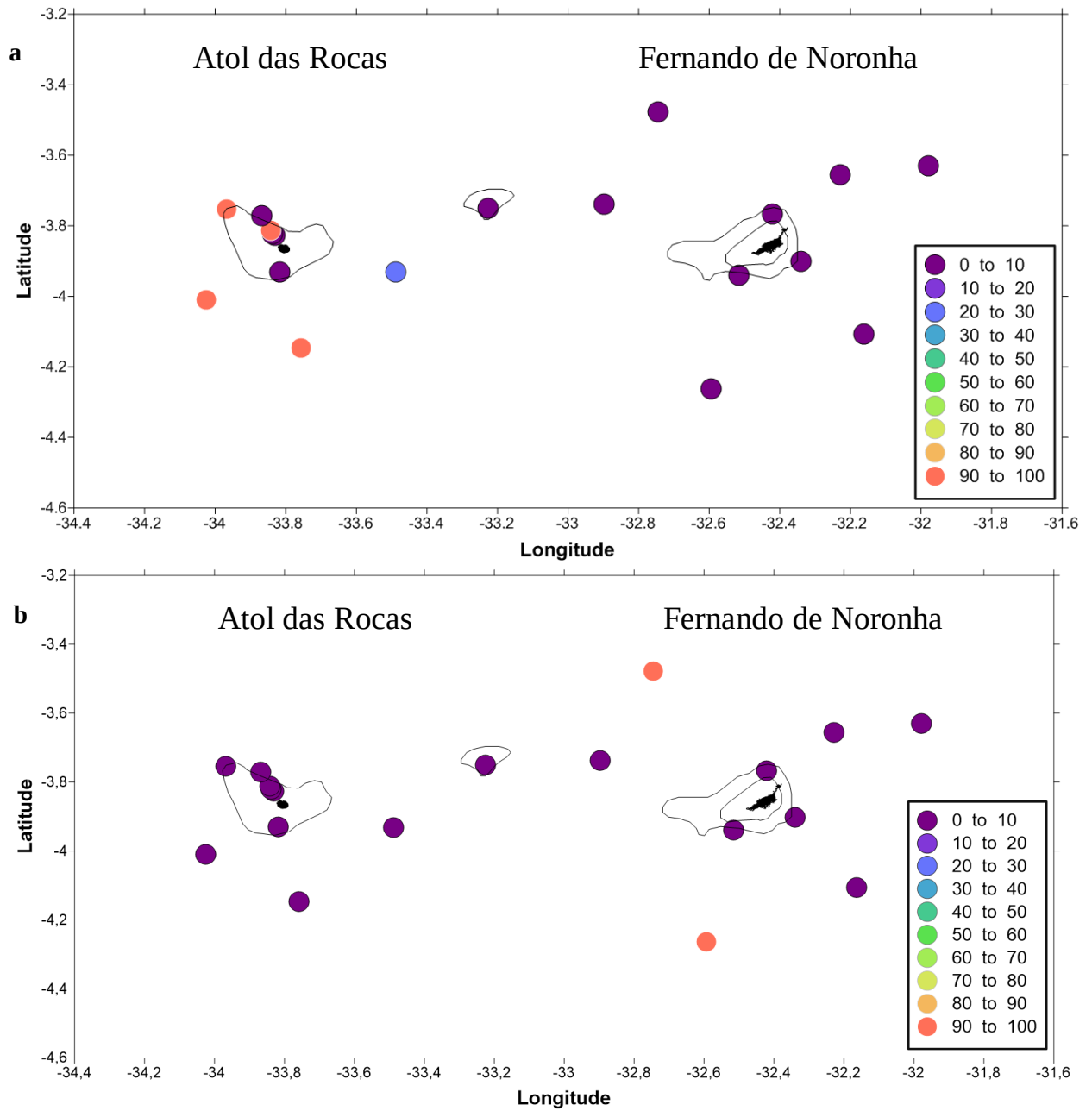
A 500 m a wACAS apresentou altas contribuições (70% a 80%) ao sul do Atol nas estações 12 e 13 (Fig.32c).

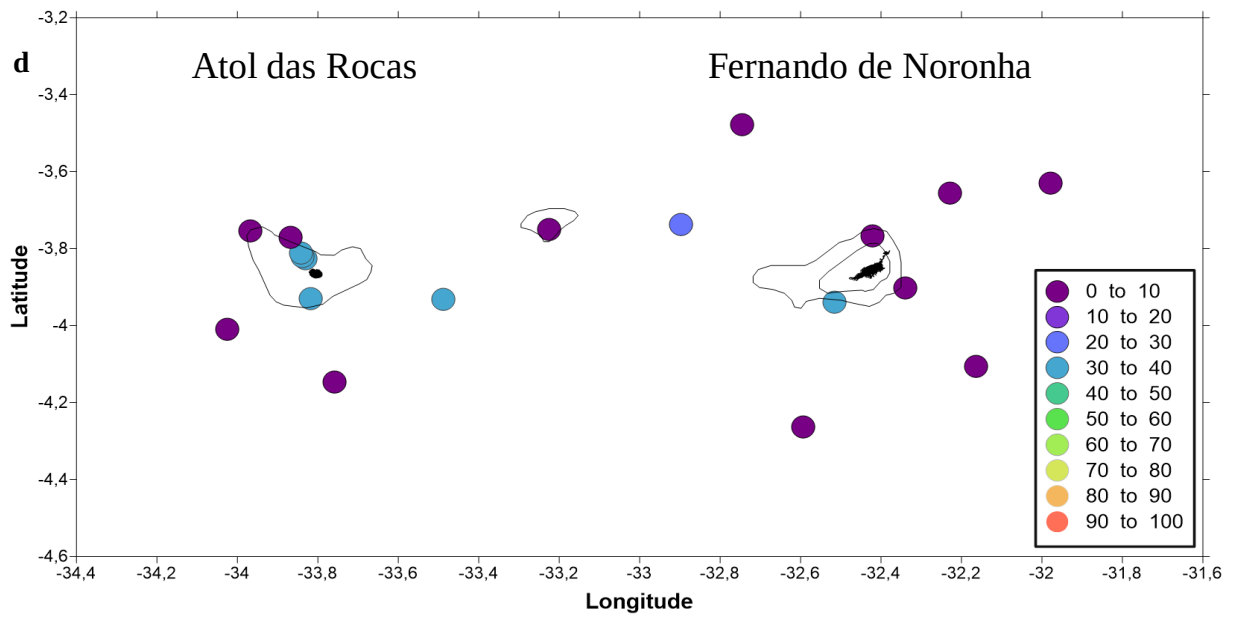
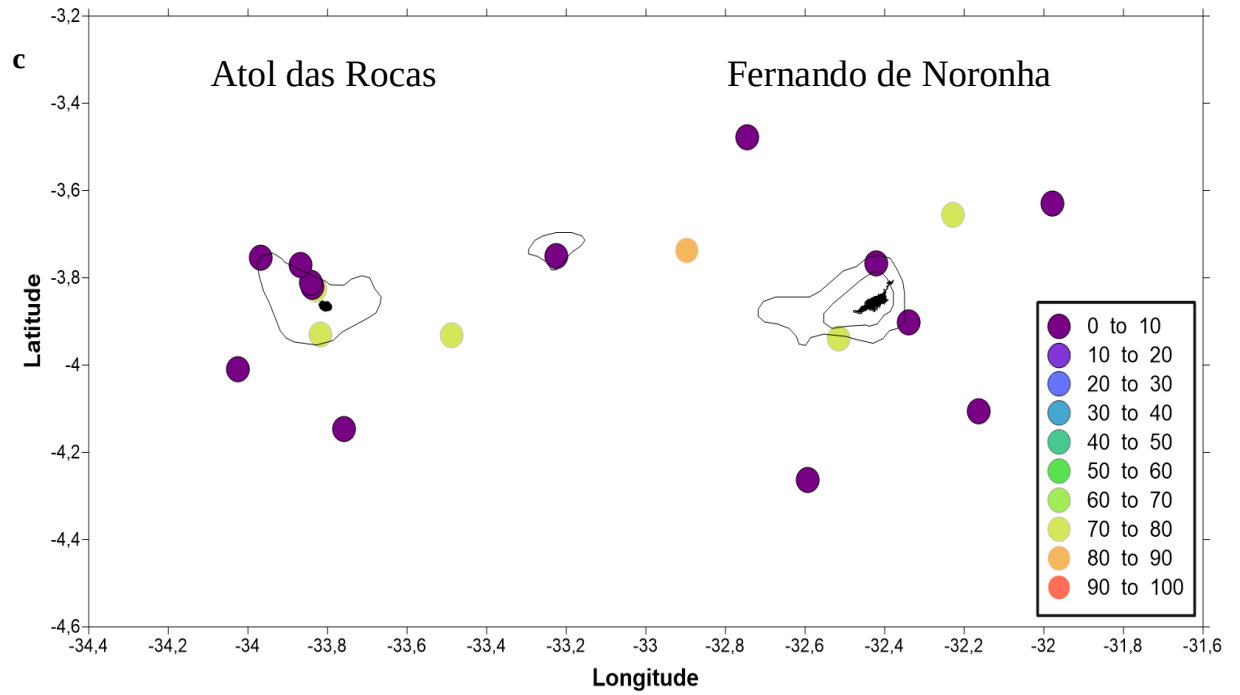
5.17.3 Água de Leste (eACAS)

A eACAS surgiu a partir dos 500 m com contribuições entre 20% e 30% ao norte (estação 7) e em uma estação mais a oeste (estação 8) de Fernando de Noronha (Fig. 32d).

A eACAS repercutiu a partir dos 500 m com contribuições significativas entre 30% e 40% ao norte (estações 17,18,19) e sul do Atol (estações 12, 13) (Fig.32d).

Figura 32 - Contribuições da wACAS a 200 m (a), 400 m (b) e 500 m (c) de profundidade, e da eACAS a 500 m (d) a oeste do Atlântico Tropical em outubro de 2015.





Fonte: A autora.

5.17.4 Água Central do Atlântico Norte (ACAN)

A 100 m a ACAN foi mais representativa em estações localizadas ao norte e sul de Fernando de Noronha com maiores contribuições entre 50% e 60% (Fig. 33a).

A 200 m a ACAN foi significativa na estação 4 com contribuições entre 50% e 60% (Fig. 33b).

A 300 m a ACAN foi representativa ao redor de Fernando de Noronha apenas em duas estações, uma ao norte (estação 3) com contribuições entre 40% e 50% e outra ao sul (estação 7) com contribuições entre 20% e 30% (Fig. 33c).

A 400 m a ACAN na maioria das estações foi quase inexistente ao redor de Fernando de Noronha com baixas contribuições (0%-10%), com exceção da estação 9 localizada mais ao norte com contribuições entre 20% e 30% (Fig. 33d).

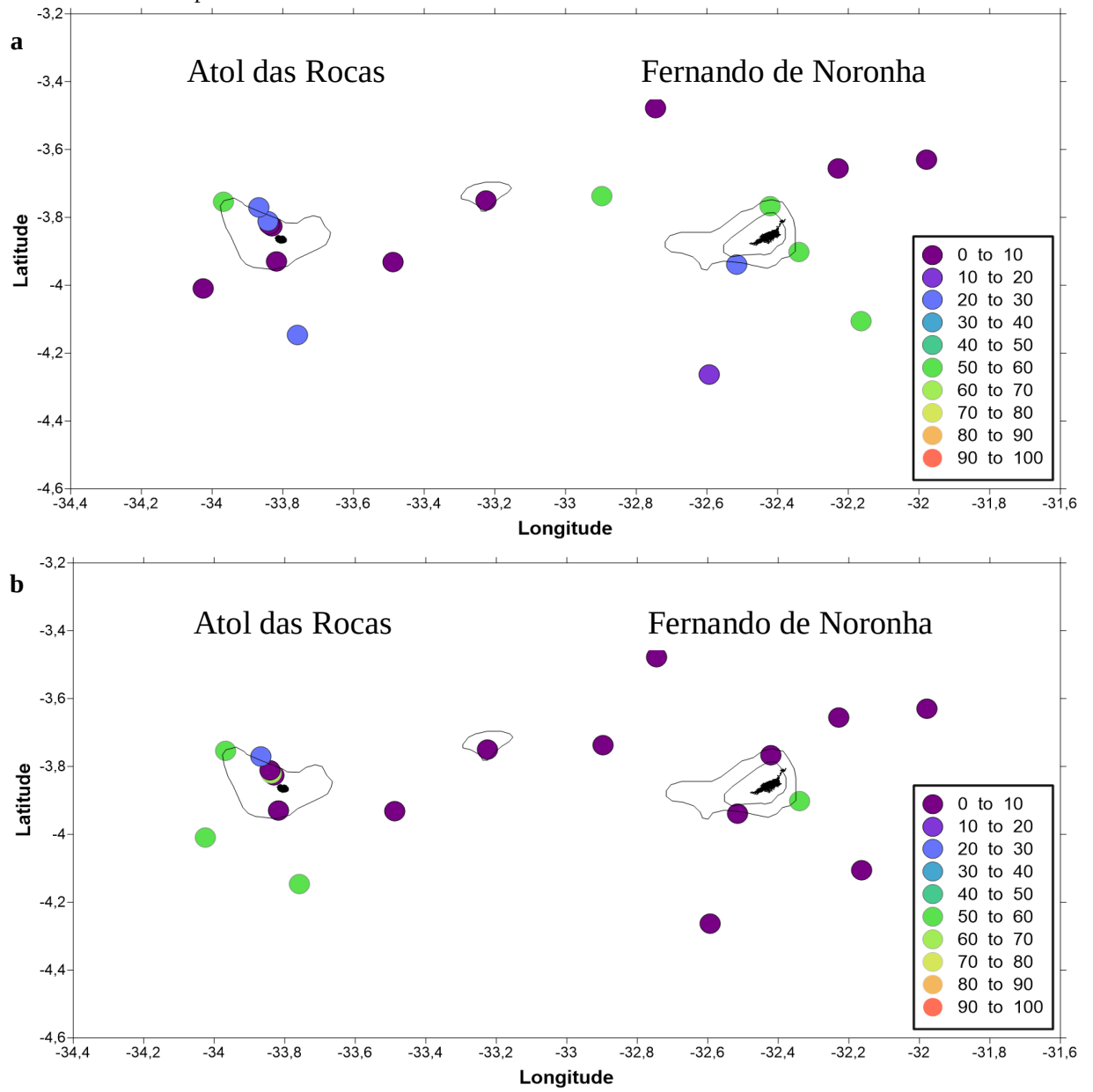
A 100 m a ACAN foi mais representativa em estações ao norte do Atol das Rocas, com contribuições entre 20% e 30% (estação 19 e 20) e entre 50% e 60% (estação 15) (Fig. 33a).

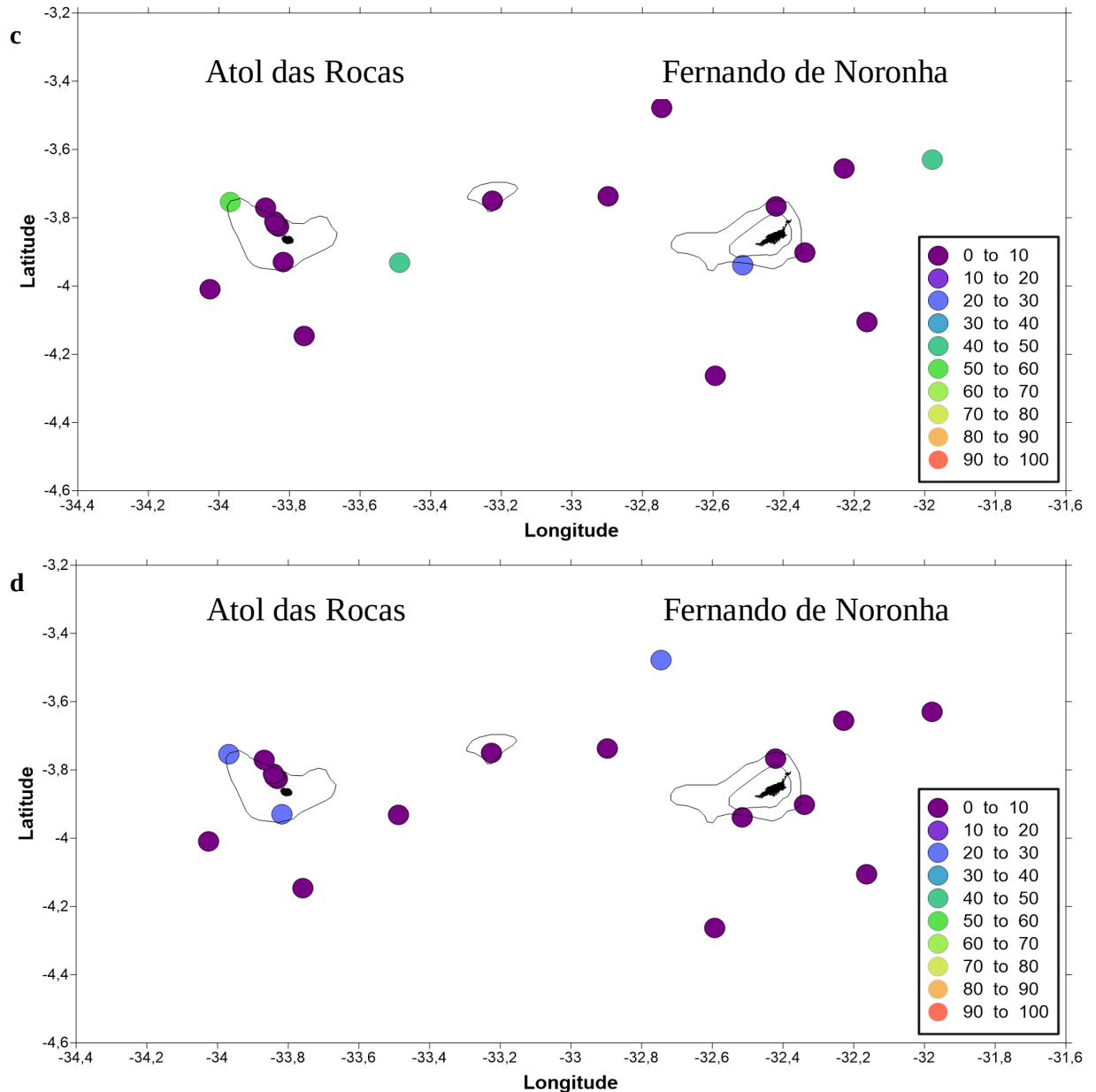
A 200 m a ACAN foi mais representativa ao norte (estação 17 e 15) e sul do Atol (estação 14 e 22) com maiores contribuições entre 50% e 60% (Fig. 33b).

A 300 m a ACAN apresentou contribuições significativas na estação 15 mais ao norte (50% a 60%) e na estação 12 a oeste (40% a 50%) do Atol (Fig. 33c).

A 400 m a ACAN apresentou contribuições significativas ao norte (estação 15) e sul (estação 13) do Atol entre 20% e 30% (Fig. 33d).

Figura 33 - Contribuições da ACAN a 100 m (a), 200m (b), 300m (c) e 400m (d) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em outubro de 2015.





Fonte: A autora.

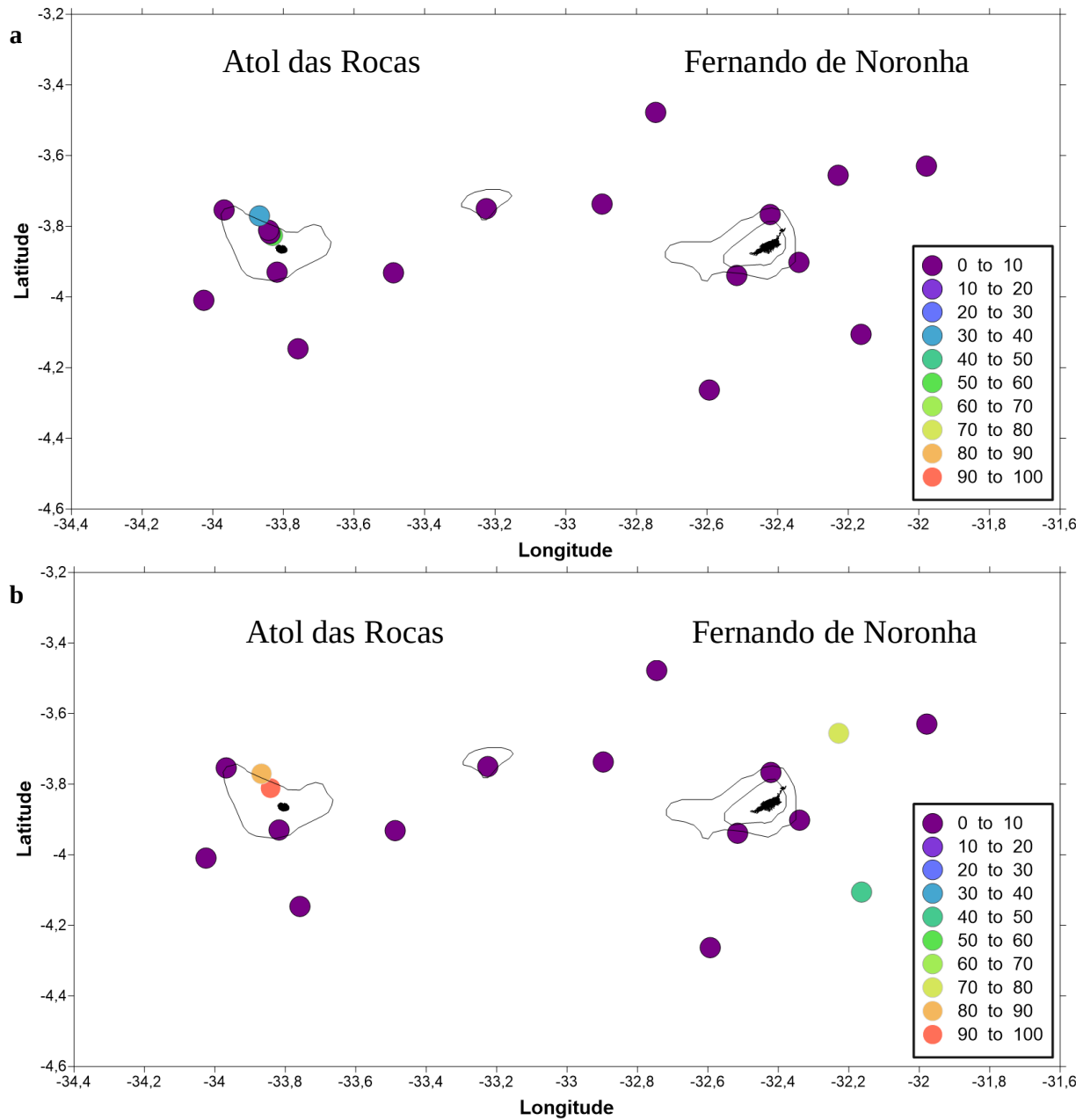
5.17.5 Água Intermediária Antártica (AIA)

A AIA a 600 m foi praticamente inexistente nas estações em torno de Fernando de Noronha com contribuições entre 0% e 10% (Fig. 34a). A partir dos 700 m de profundidade esta massa de água repercutiu ao norte (estação 2) e sul (estação 5) de Fernando de Noronha, com contribuições entre 70% e 80% e 40% e 50%, respectivamente (Fig. 34b).

A AIA a 600 m foi representativa apenas ao norte do Atol das Rocas, com contribuições entre 30% e 40% (estação 20) e entre 50% e 60% (estação 18) (Fig. 34a). A 700 m a AIA aflora na estação 19 ao norte do Atol com contribuições entre 90% e 100%,

apresentando também altas contribuições (entre 80% e 90%) na estação 20 situada também ao norte (Fig. 34b)

Figura 34 - Contribuições da AIA a 600 m (a) e 700 m (b) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em outubro de 2015.



5.18 Distribuição Horizontal - Abril-Maio 2017

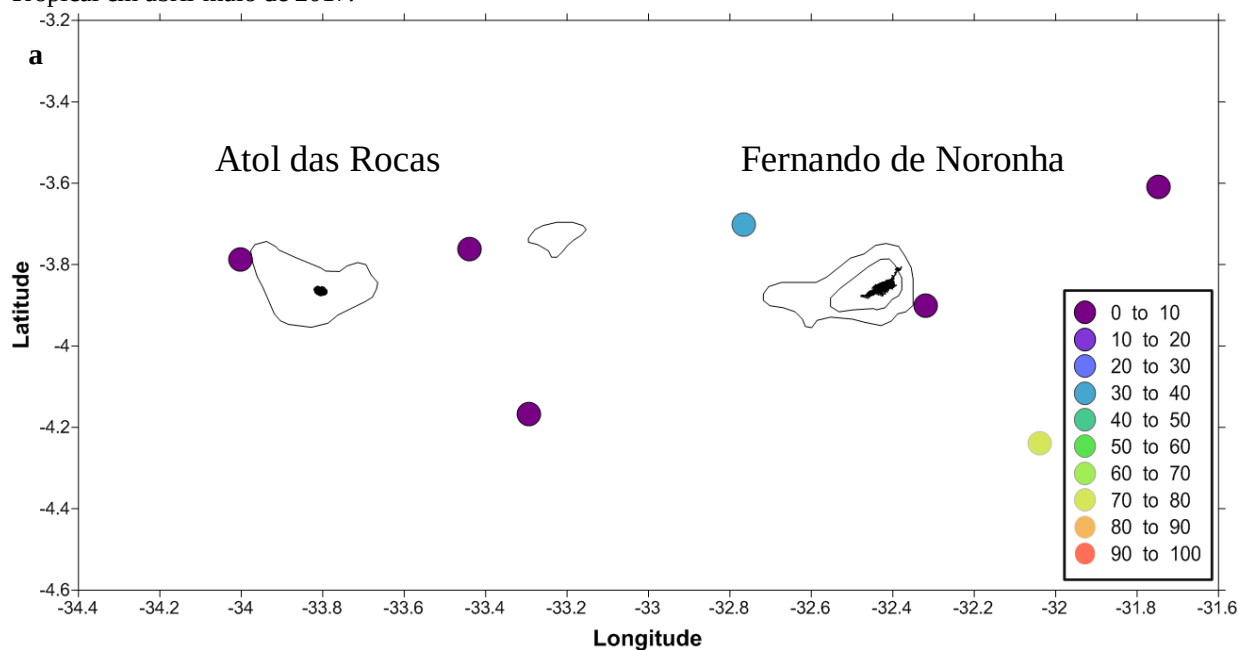
Assim como em outubro de 2015, a mesma análise foi realizada em abril-maio de 2017 para detecção de distintas massas d'água em profundidades específicas ao longo da coluna de água, como descritas a seguir:

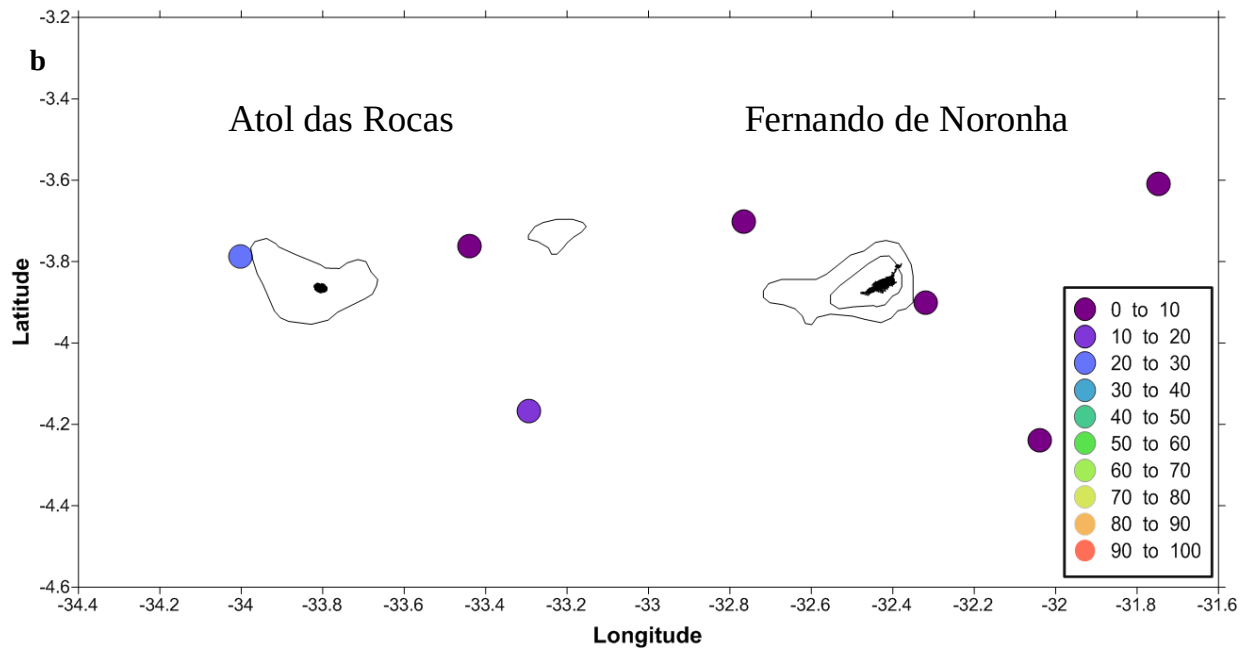
5.18.1 ATS (Água Tropical de Superfície)

A ATS a 50 m em Fernando de Noronha foi mais representativa em uma estação ao norte desta ilha (estação 51) com contribuições entre 30% - 40%, e em uma estação ao sul (estação 45) com contribuições entre 70%-80% (Fig.35a).

A ATS a 50 m em estações ao redor do Atol das Rocas não apresentou contribuições significativas (Fig.35a).

Figura 35 - Contribuições da ATS a 50 m (a) e da ACAS (b) a 100 m de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017.





Fonte: A autora

5.18.2 Água de Sul (wACAS)

A 100 m a wACAS não apresentou contribuições significativas em estações ao redor de Fernando de Noronha (Fig.35b).

A 200 m a wACAS aflorou em uma estação ao norte de Fernando de Noronha (estação 51), com contribuições entre 90%-100% (Fig.36a).

A 300 m a wACAS apresentou contribuições em uma estação ao sul de Fernando de Noronha (estação 44) com contribuições entre 50%-60% (Fig.36b).

A 400 m não houve contribuições significativas da wACAS em estações ao redor de Fernando de Noronha (Fig.36c).

A 500 m a wACAS aflorou em estações ao sul de Fernando de Noronha (estações 44,45) com contribuições entre 90%-100% (Fig.36d).

A 100 m a wACAS no Atol das Rocas foi representativa em uma estação ao norte (estação 53) com contribuições entre 20%-30% , e em uma estação ao sul (estação 49) com contribuições entre 10% - 20% (Fig.35b).

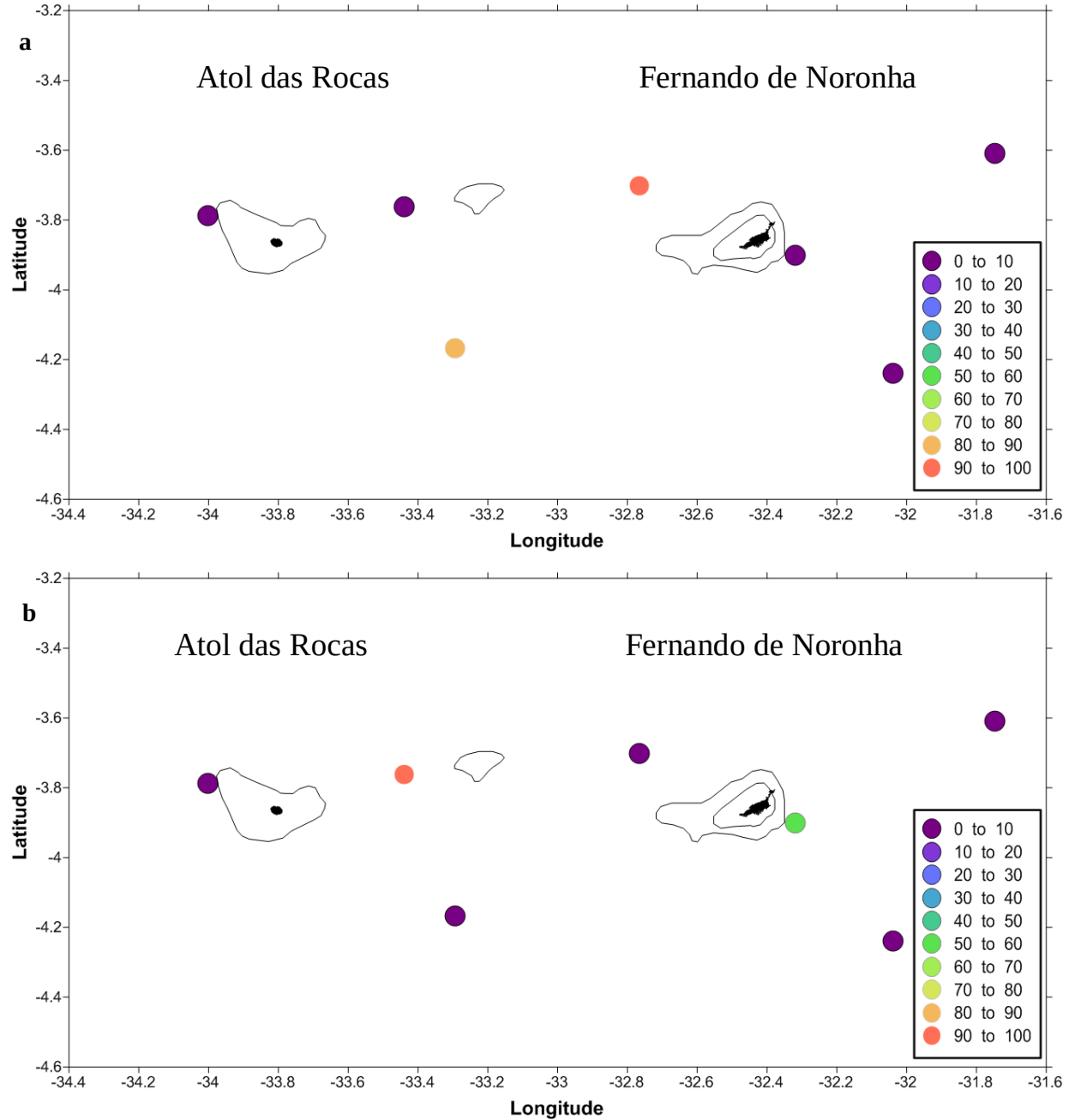
A 200 m no Atol das Rocas a wACAS foi bem representativa em uma estação ao sul (estação 49) com altas contribuições entre 80%-90% (Fig.36a).

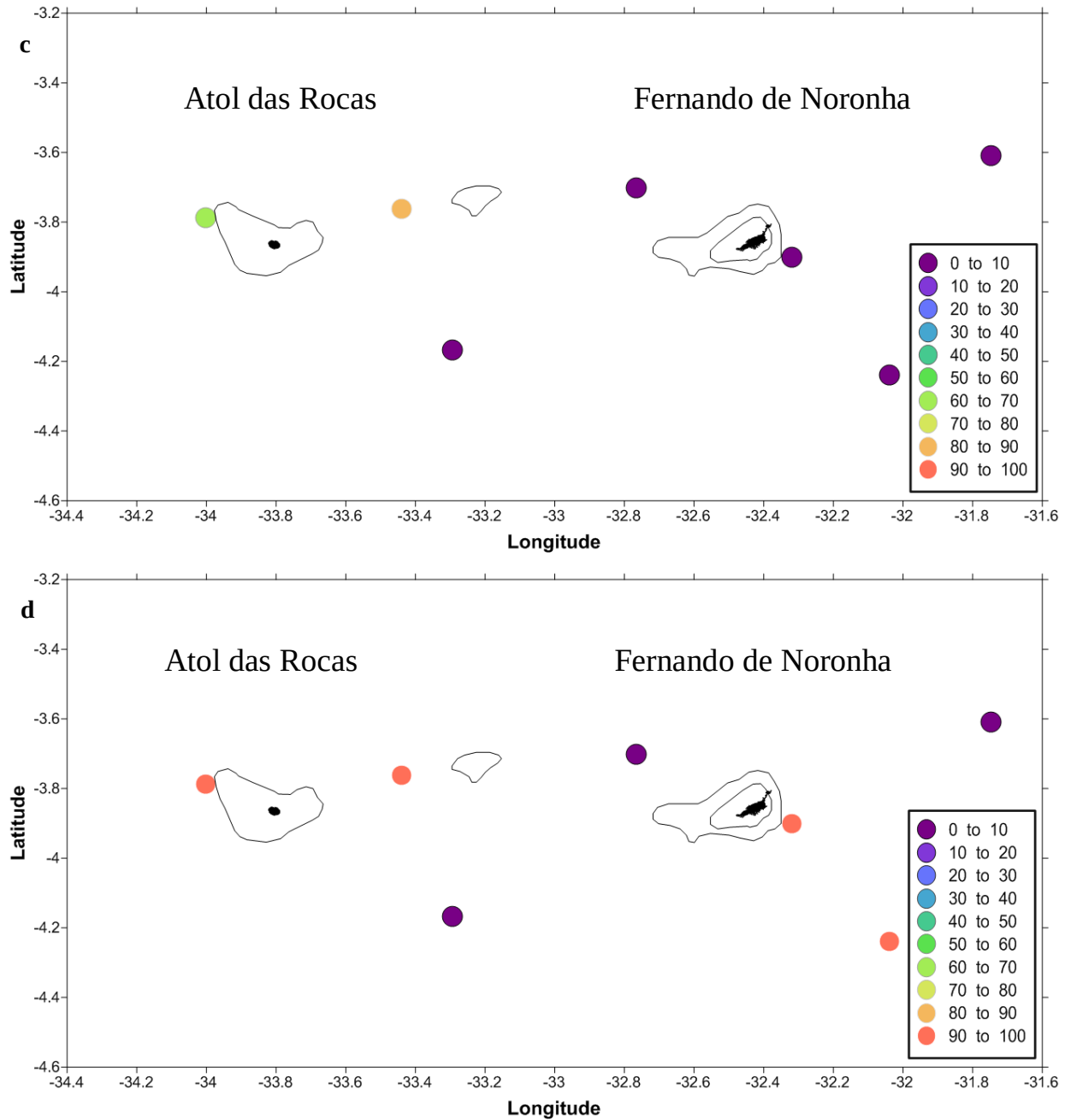
A 300 m a wACAS aflorou em uma estação ao norte do Atol das Rocas (estação 52) com contribuições entre 90%-100% (Fig.36b).

A 400 m a wACAS apresentou contribuições em estações ao norte do Atol das Rocas entre 60%-70% (estação 53) e entre 80%-90% (estação 52) (Fig.36c).

A 500 m a wACAS aflorou em estações ao norte do Atol das Rocas (estações 53,52) com contribuições entre 90%-100% (Fig.36d).

Figura 36 - Contribuições da wACAS a 200 m (a), 300 m (b) e 400 m (c) e 500 m (d) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017.





Fonte: A autora.

5.18.3 Água de Leste (eACAS)

A eACAS a 200 m apresentou contribuições em uma estação ao norte de Fernando de Noronha (estação 51) entre 10%-20%, e em uma estação ao sul desta ilha (estação 44) entre 50%-60% (Fig.37a).

A 300 m não houve contribuições significativas da eACAS em estações ao redor de Fernando de Noronha (Fig.37b).

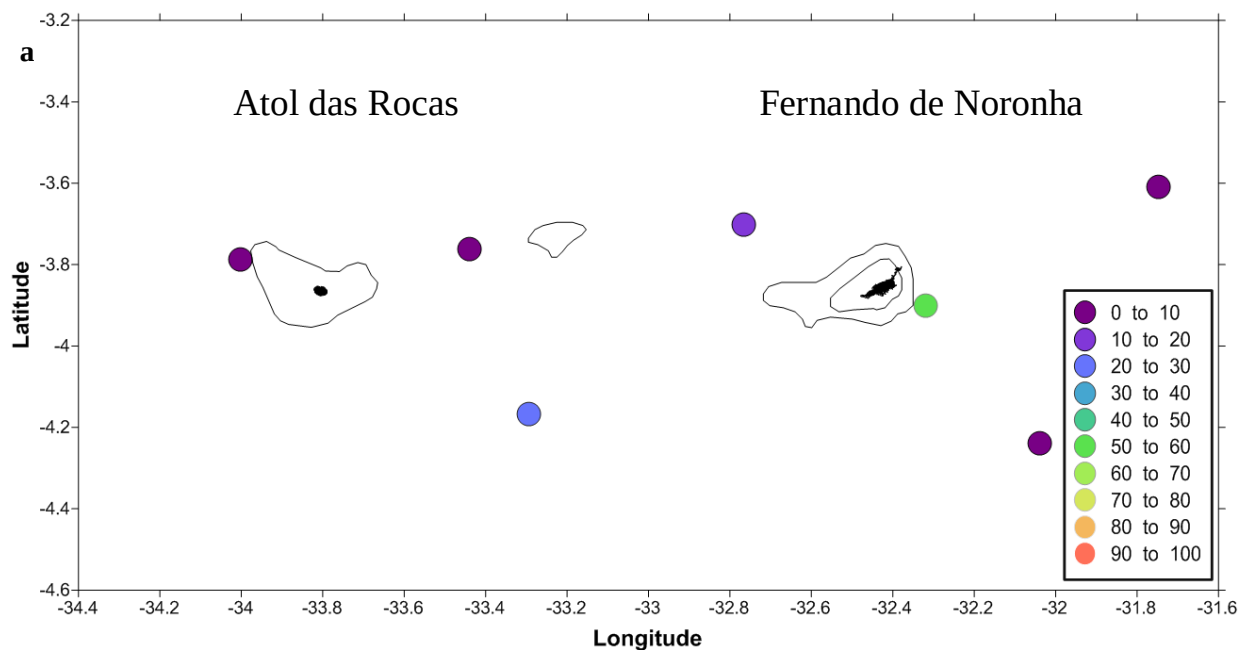
A 400 m a eACAS foi representativa em estações ao sul de Fernando de Noronha (estações 44,45) com contribuições entre 40%-50% (Fig.37c).

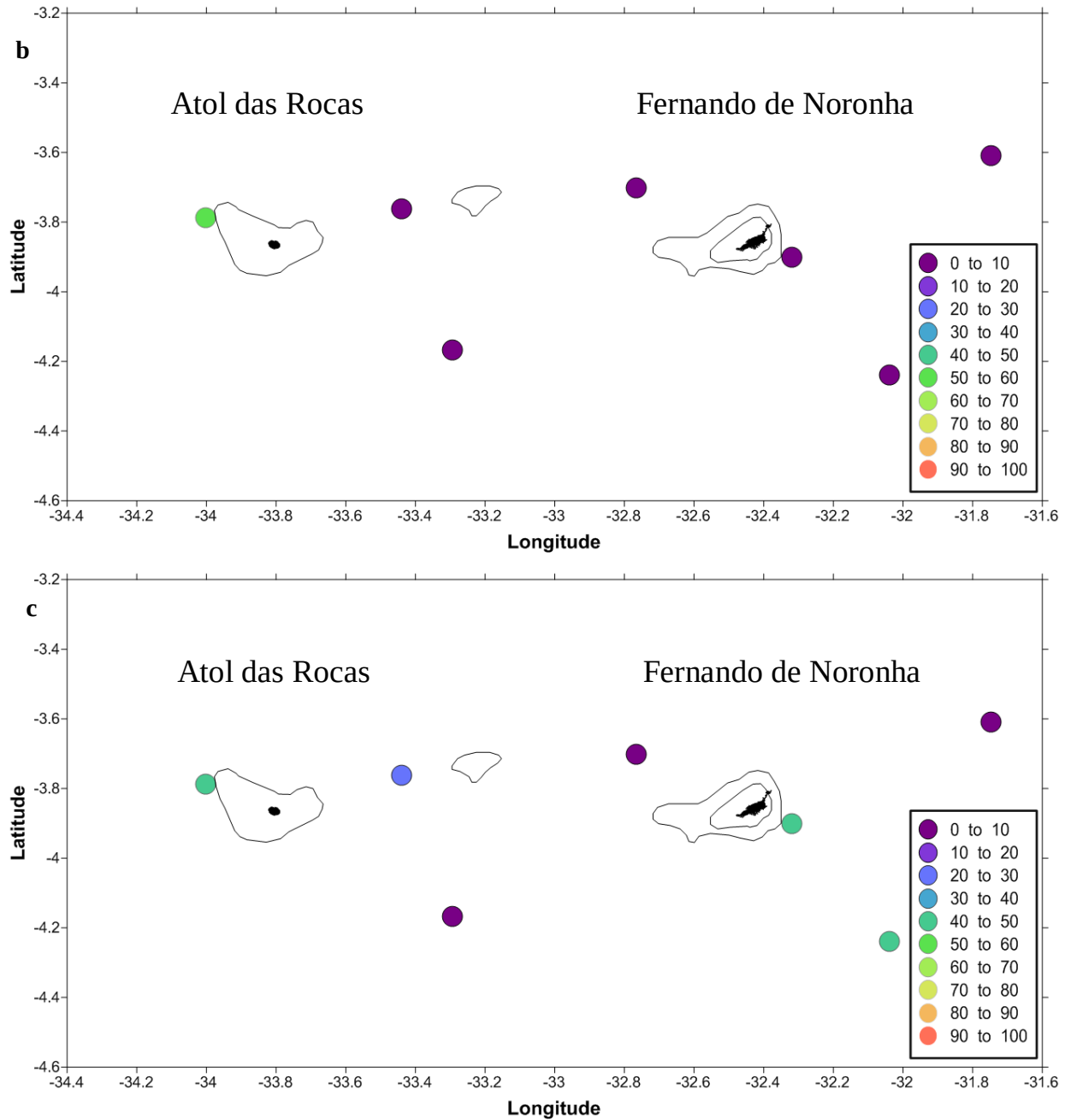
A eACAS a 200 m foi representativa apenas em uma estação ao sul do Atol das Rocas (estação 49) com contribuições entre 20%-30% (Fig.37a).

A eACAS a 300 m apresentou contribuições em uma estação ao norte do Atol das Rocas (estação 53) entre 50%-60% (Fig.37b).

A 400 m a eACAS foi representativa em estações ao norte do Atol das Rocas com contribuições entre 40%-50% (estação 53) e entre 20%-30% (estação 52) (Fig.37c).

Figura 37 - Contribuições da eACAS a 200 m (a), 300 m (b) e 400 m (c) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017.





Fonte: A autora.

5.18.4 Água Central do Atlântico Norte (ACAN)

A 100 m a ACAN apresentou contribuições em estações ao norte de Fernando de Noronha entre 80%-90% (estação 51) e entre 30%-40% (estação 43) (Fig.38a).

A 200 m a ACAN foi representativa em uma estação ao norte de Fernando de Noronha (estação 51) e em uma estação ao sul desta ilha (estação 45) com contribuições entre 50%-60% (Fig.38b).

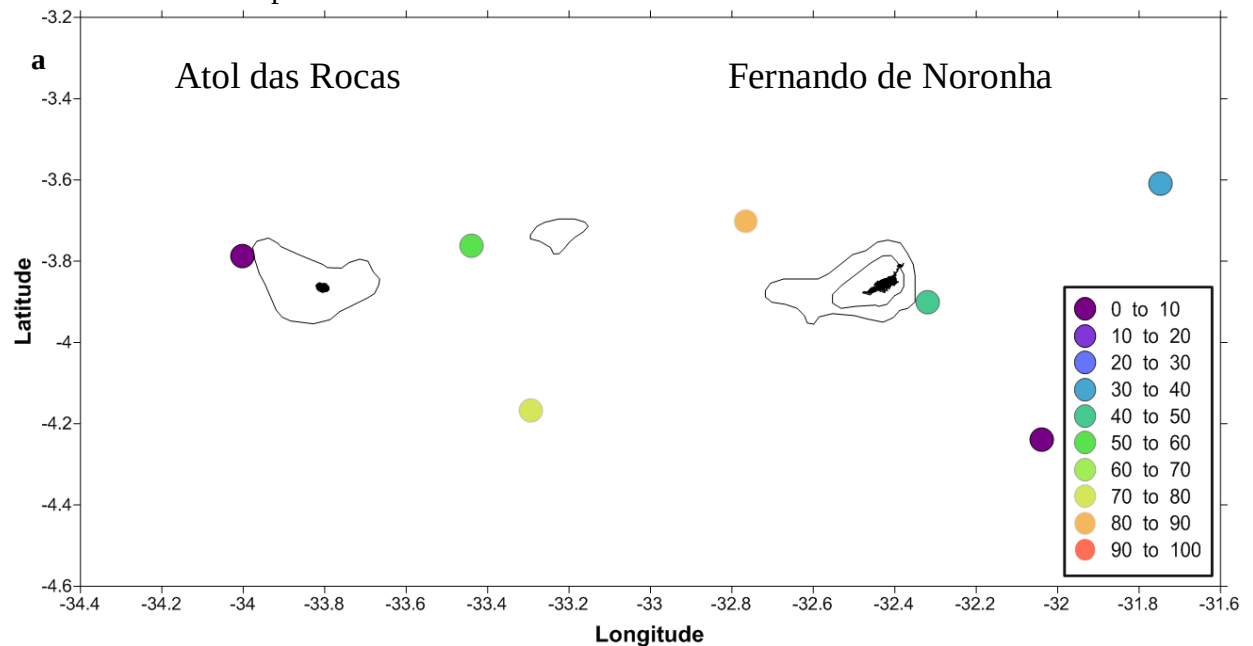
A 400 m a ACAN apresentou contribuições em uma estação ao sul de Fernando de Noronha (estação 44) entre 30%-40% (Fig.38c).

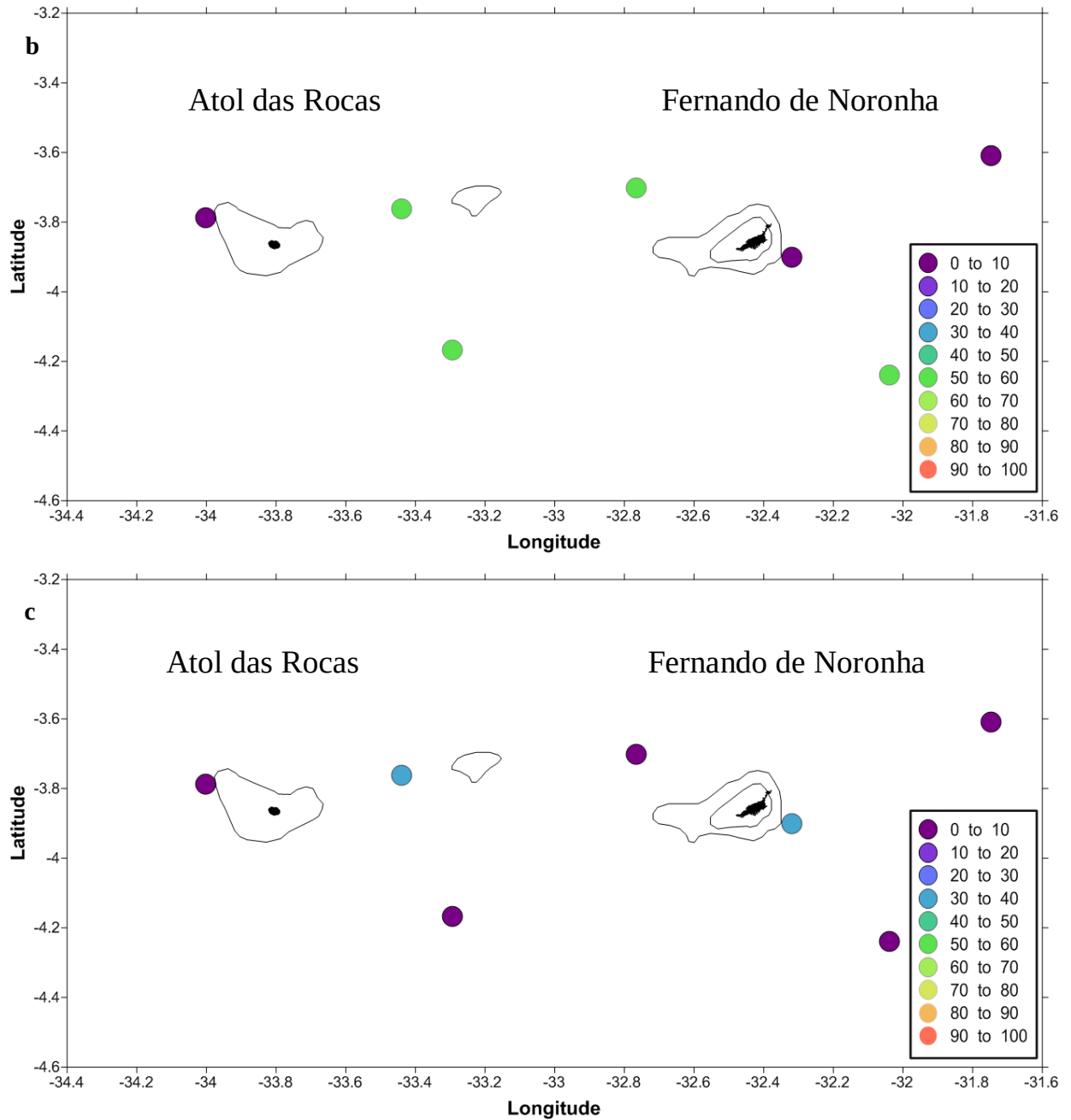
A 100 m a ACAN foi representativa em uma estação ao norte do Atol das Rocas (estação 52) com contribuições entre 50%-60% e em uma estação ao sul (estação 49) com contribuições entre 70%-80% (Fig.38a).

A 200 m a ACAN apresentou contribuições entre 50%-60% em uma estação ao norte do Atol das Rocas (estação 52) e também em uma estação ao sul (estação 49) (Fig.38b).

A 400 m a ACAN apresentou contribuições em uma estação ao norte do Atol das Rocas (estação 52) entre 30% - 40% (Fig.38c).

Figura 38 - Contribuições da ACAN a 100 m (a), 200m (b),400m (c) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017.





Fonte: A autora.

5.18.5 Água Intermediária Antártica (AIA)

A AIA a 100 m apresentou contribuições em estações ao norte (estação 51) e ao sul de Fernando de Noronha (estação 44) com contribuições entre 10%-20% (Fig.39a).

A 200 m a AIA apresentou contribuições ao norte de Fernando de Noronha (estação 51) entre 50%-60% (Fig.39b).

A 300 m a AIA apresentou contribuições ao norte de Fernando de Noronha (estação 43) entre 60%-70% (Fig.39c).

A 400 m a AIA apresentou contribuições ao sul de Fernando de Noronha (estação 52) entre 70%-80% (Fig.39d).

A 500 m a AIA aflorou ao norte (estação 43) e sul de Fernando de Noronha (estação 45) com contribuições entre 90%-100% (Fig.39e).

A 700 m não houve contribuições significativas da AIA em estações ao redor de Fernando de Noronha (Fig.39f).

A AIA a 100 m apresentou contribuições em estações ao norte (estação 52) e ao sul do Atol das Rocas (estação 49) com contribuições entre 10%-20% (Fig.39a).

A 200 m a AIA apresentou contribuições ao norte (estação 52) e sul do Atol das Rocas (estação 49) entre 50%-60% (Fig.39b).

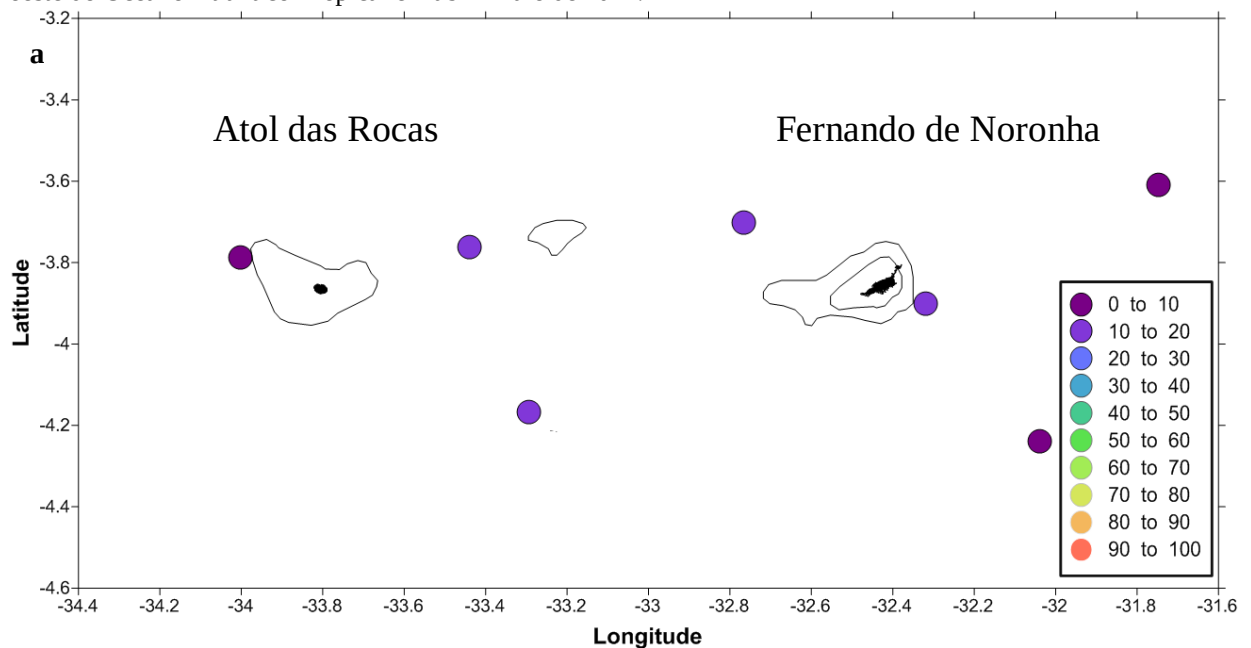
A 300 m a AIA não apresentou contribuições significativas em estações ao redor do Atol das Rocas (Fig.39c).

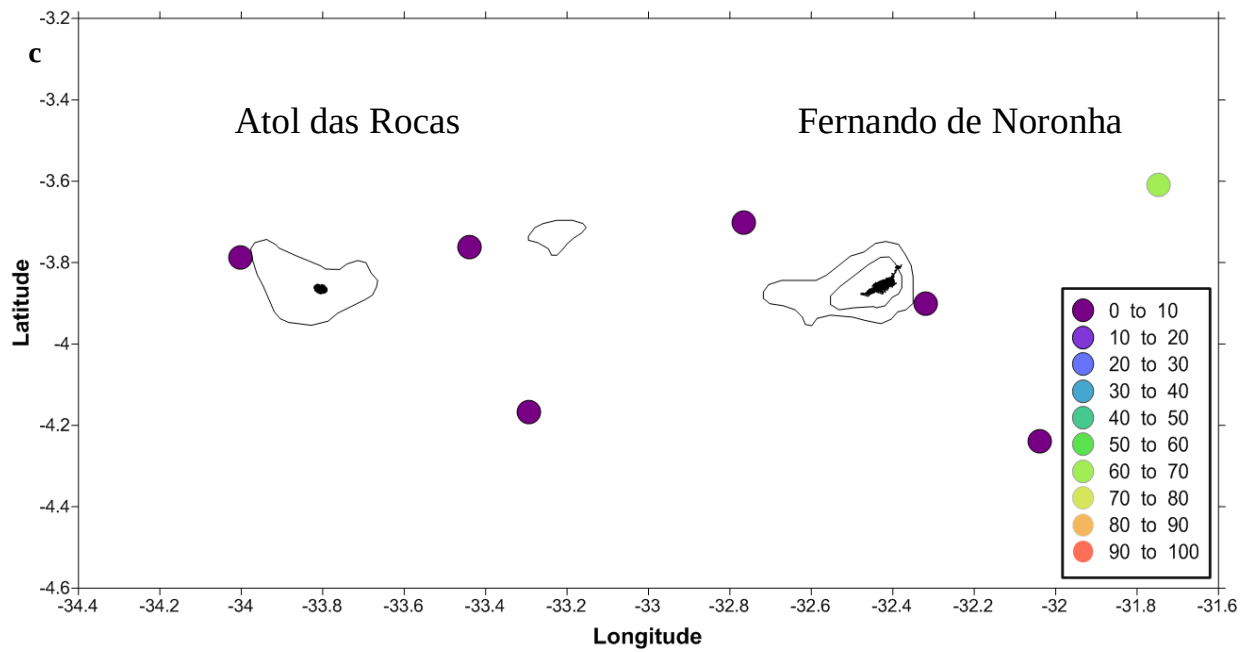
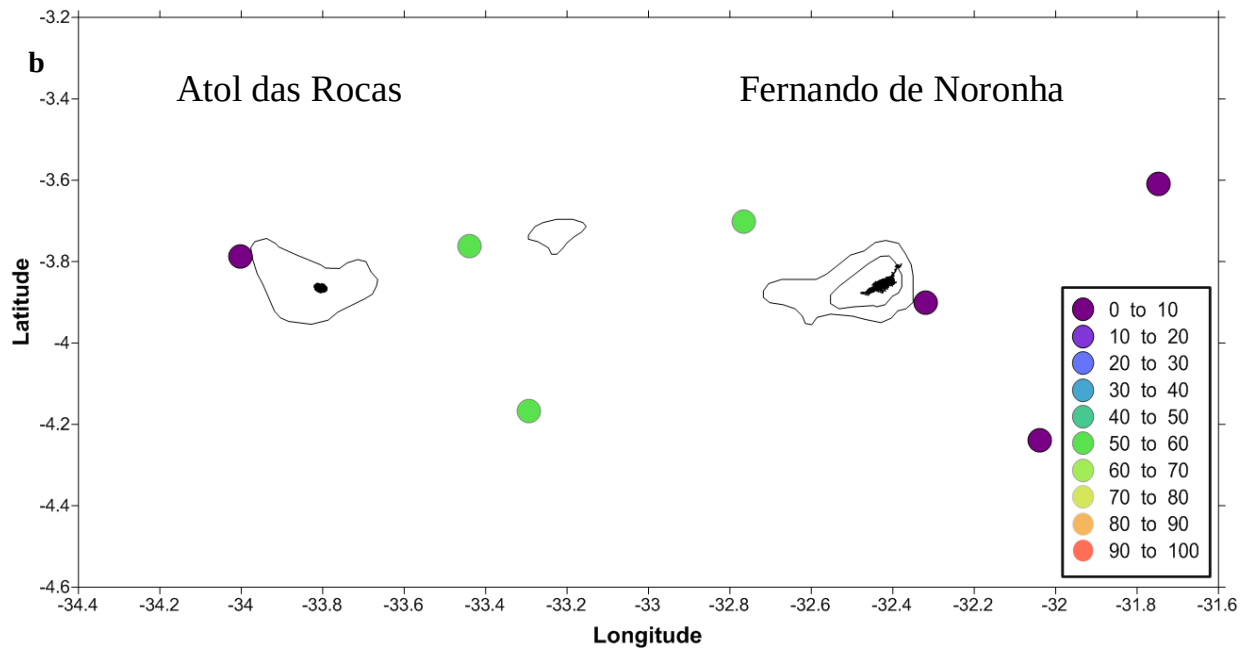
A 400 m a AIA apresentou contribuições ao norte do Atol das Rocas (estação 44) entre 70%-80% (Fig.39d).

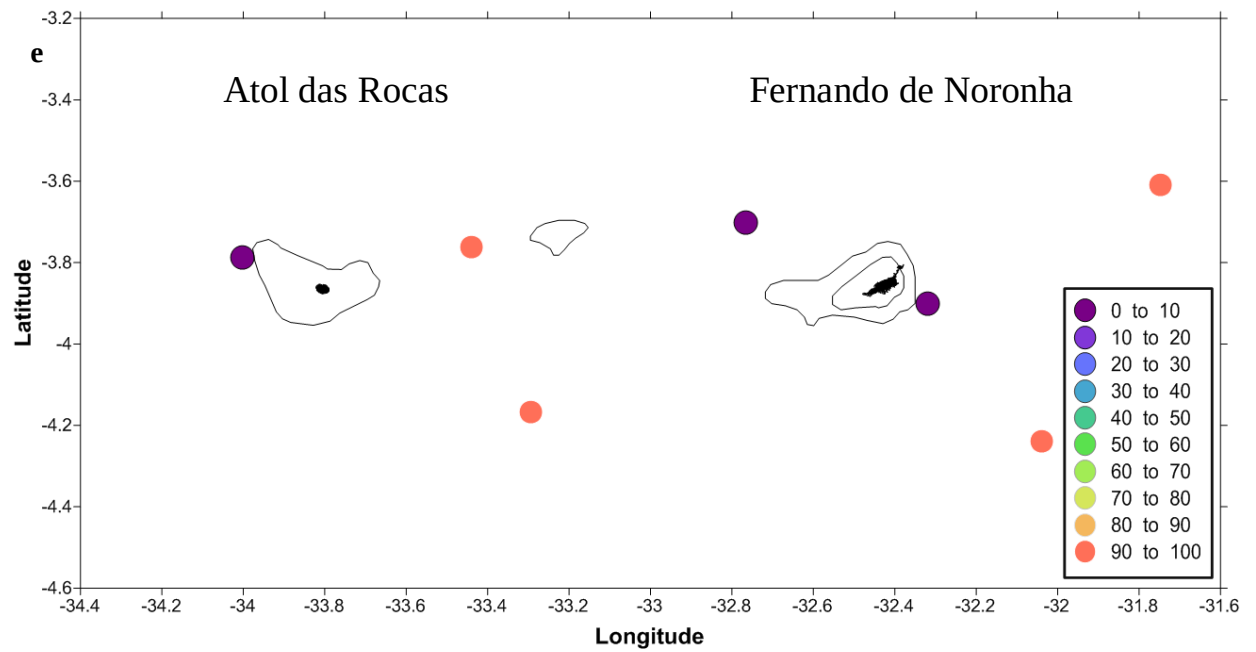
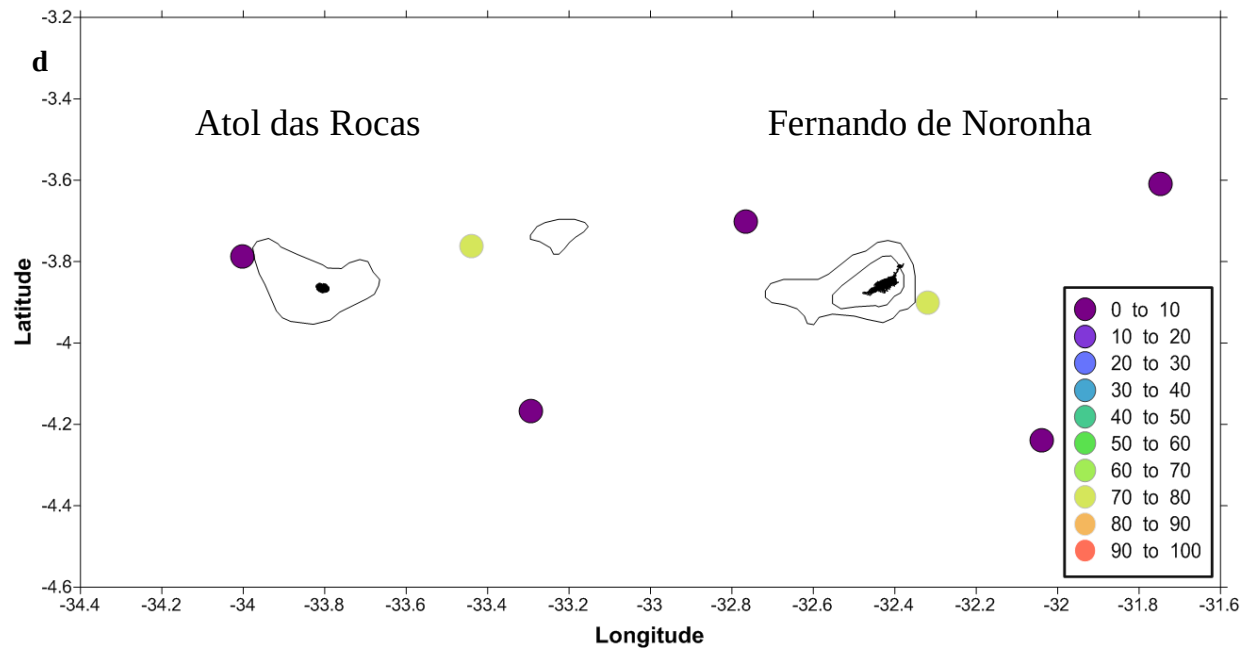
A 500 m a AIA aflorou ao norte (estação 52) e sul do Atol das Rocas (estação 49) com contribuições entre 90%-100% (Fig.39e).

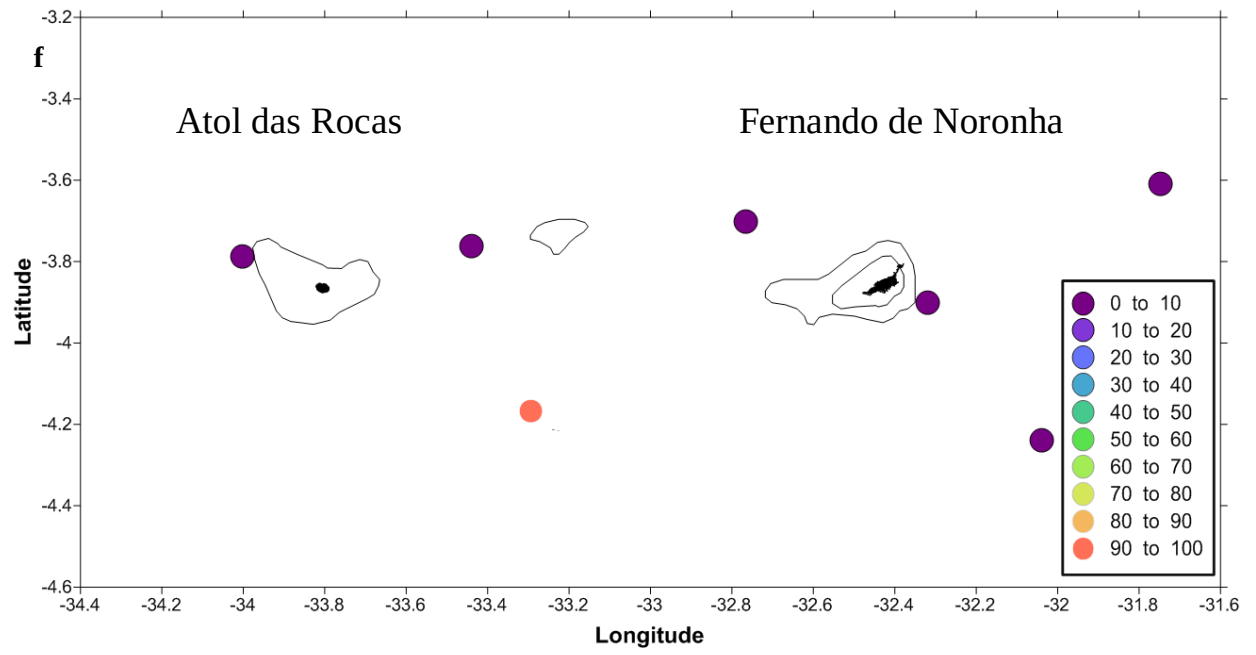
A 700 m a AIA aflorou ao sul do Atol das Rocas (estação 49) com contribuições entre 90%-100% (Fig.39f).

Figura 39 - Contribuições da AIA a 100 m (a), 200 m (b), 300 m (c), 400 m (d) e 500 m (e) de profundidade a oeste do Oceano Atlântico Tropical em abril-maio de 2017.









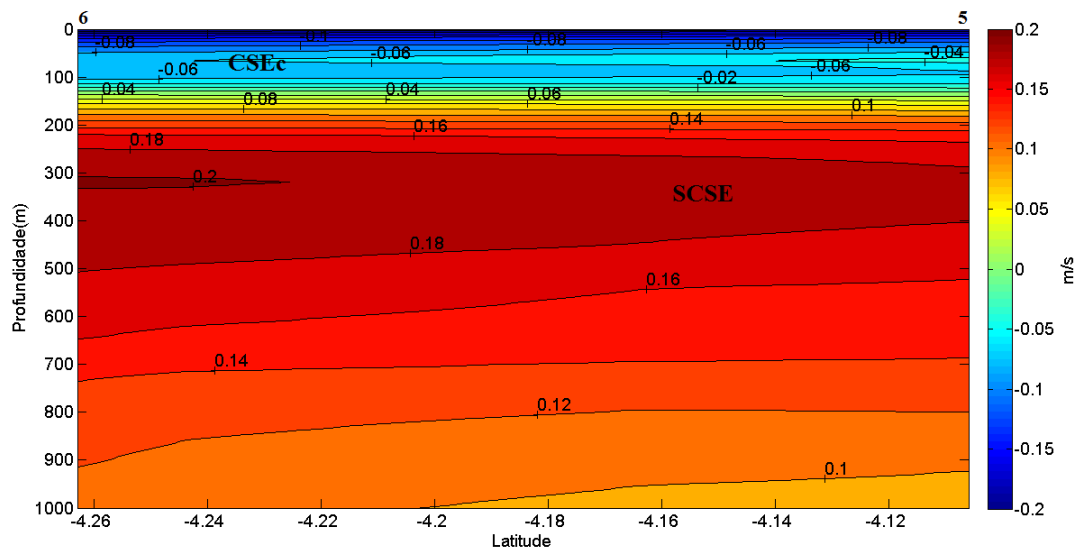
6 DISCUSSÃO

Para um melhor entendimento da dinâmica da região de estudo foram utilizados os resultados do modelo numérico MERCATOR, simulados para o período das campanhas de campo (outubro de 2015 e abril-maio de 2015) e dados observados em outubro de 2015 (DASSOUNDO, 2016). Através desses resultados foi possível melhor entender o transporte das massas de águas em torno das ilhas oceânicas, conforme descrito abaixo:

6.1 Circulação oceânica em Fernando de Noronha - Mês de outubro 2015

Ao sul de Fernando de Noronha (transecto 1-t1) nas longitudes entre 32.6° W - 32.1° W foi identificada a CSEc ao redor de 100 m com velocidade entre -0.1 m.s^{-1} e -0.04 m.s^{-1} na camada da ATS, e a SCSE logo abaixo atingindo uma profundidade até 900 m, com velocidade entre 0.08 m.s^{-1} e 0.18 m.s^{-1} (Fig. 40).

Figura 40 – Correntes zonais (m/s) ao sul de Fernando de Noronha (transecto1-t1) em outubro de 2015.

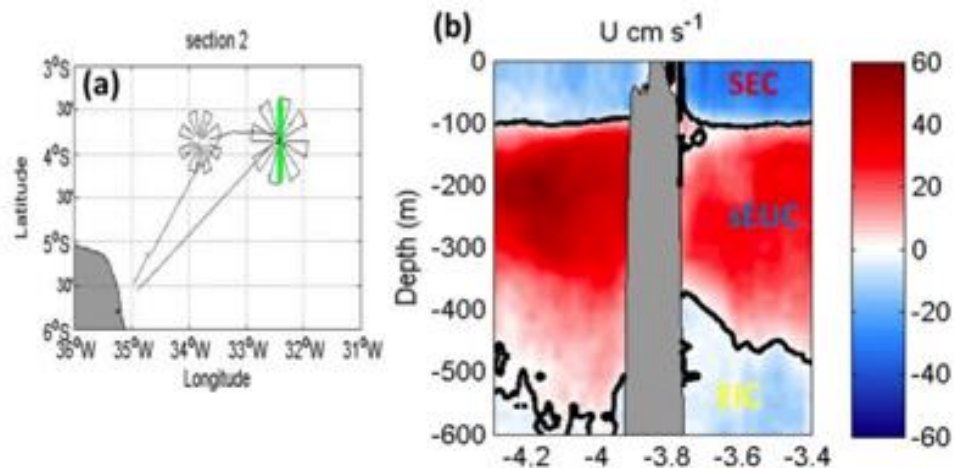


Fonte : A autora.

Estudo realizado por DASSOUNDO (2016) durante o mesmo período (outubro de 2015) ao longo de um transecto Norte-Sul em ambos os lados da Ilha de Fernando de Noronha, demonstrou a CSE fluindo para oeste a uma velocidade média da ordem de $20\text{-}25 \text{ cm.s}^{-1}$. Entre 100-500 m de profundidade, o mesmo autor observou SCSE com uma intensidade máxima de 40 cm.s^{-1} no sul da ilha e centrado a 200 m de profundidade. Em níveis mais profundos (> 500

m), se tem a presença de uma corrente direcionada para o noroeste, provavelmente associada ao EIC (Fig. 41).

Figura 41 – Correntes zonais (m.s^{-1}) ao longo de um transecto (verde) atravessando o Arquipélago de Fernando de Noronha em outubro de 2015.



Fonte: (DASSOUNDO, 2016).

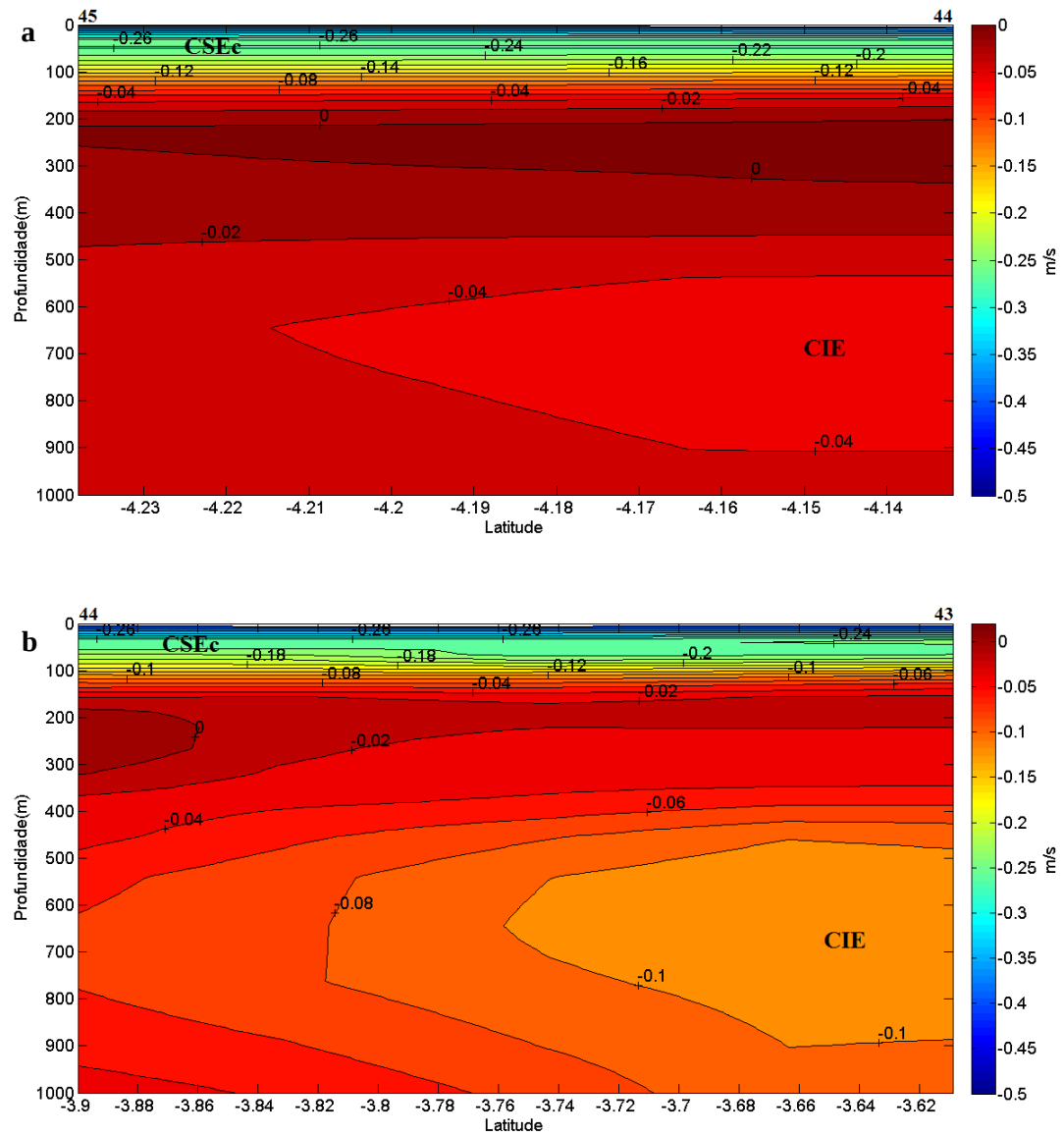
6.2 Circulação Oceânica em Fernando de Noronha - Meses de abril-maio 2015

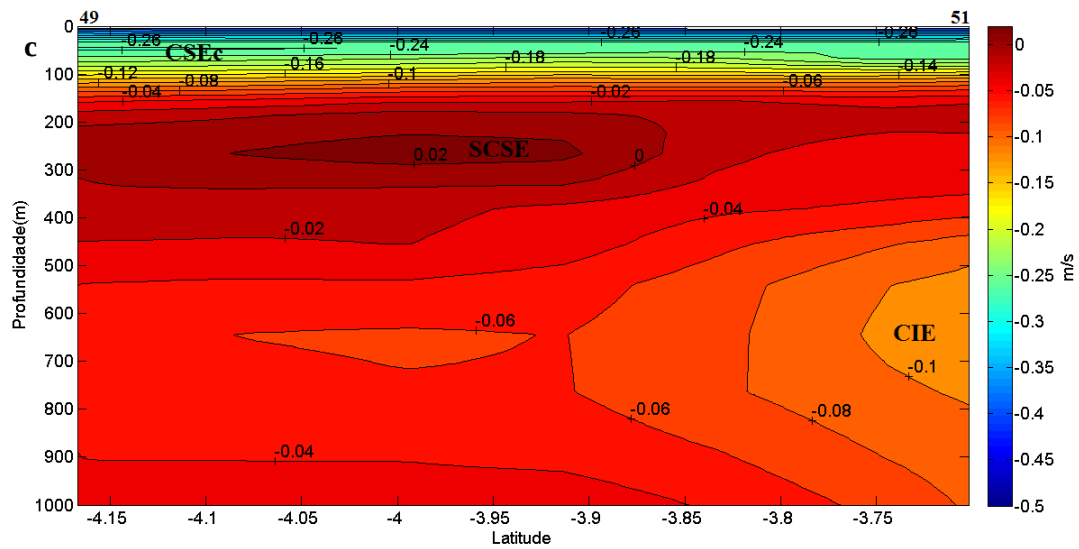
Ao sul de Fernando de Noronha nas longitudes entre 33° W - 32.3° W (transecto 2- t2) foi identificada ao redor dos 100 m a CSEc e, um componente zonal negativo a aproximadamente 500 m, com ausência da SCSE na camada central (Fig.42a). Abaixo de 500 m, foi registrado uma corrente se deslocando para oeste (Corrente Intermediária Equatorial – CIE) na camada da AIA.

A leste de Fernando de Noronha nas longitudes entre 32.4° W - 31.7° W (transecto 3- t3) foi identificada a CSEc ao redor dos 100 m de profundidade com velocidade entre -0.24m.s^{-1} e -0.06m.s^{-1} , a SCSE entre 200 m e 300 m com velocidade entre 0.02m.s^{-1} e 0.04 m.s^{-1} , e ainda um componente zonal negativo situado logo abaixo com velocidade entre -0.1m.s^{-1} e -0.04m.s^{-1} . (Fig. 42b).

A oeste de Fernando de Noronha nas longitudes entre 33.3°W - 32.7°W (transecto 4-t4) foi identificada a presença da CSEc ao redor dos 100 m com velocidade entre -0.24m.s^{-1} e -0.04m.s^{-1} , da SCSE abaixo da CSEc ao longo de 4.09° S e 3.9° S com velocidade de 0.02 m.s^{-1} , e ainda de um componente zonal negativo em maiores profundidades com velocidade entre -0.1m.s^{-1} e -0.02m.s^{-1} (Fig. 42c). O componente zonal negativo detectado nos transectos mencionados acima também sugere a presença da CIE.

Figura 42 - Correntes zonais (m/s) ao sul (transecto2-t2) (a), leste (transecto3-t3) (b) e oeste (transecto4-t4) (c) de Fernando de Noronha em abril-maio de 2015.





Fonte : A autora.

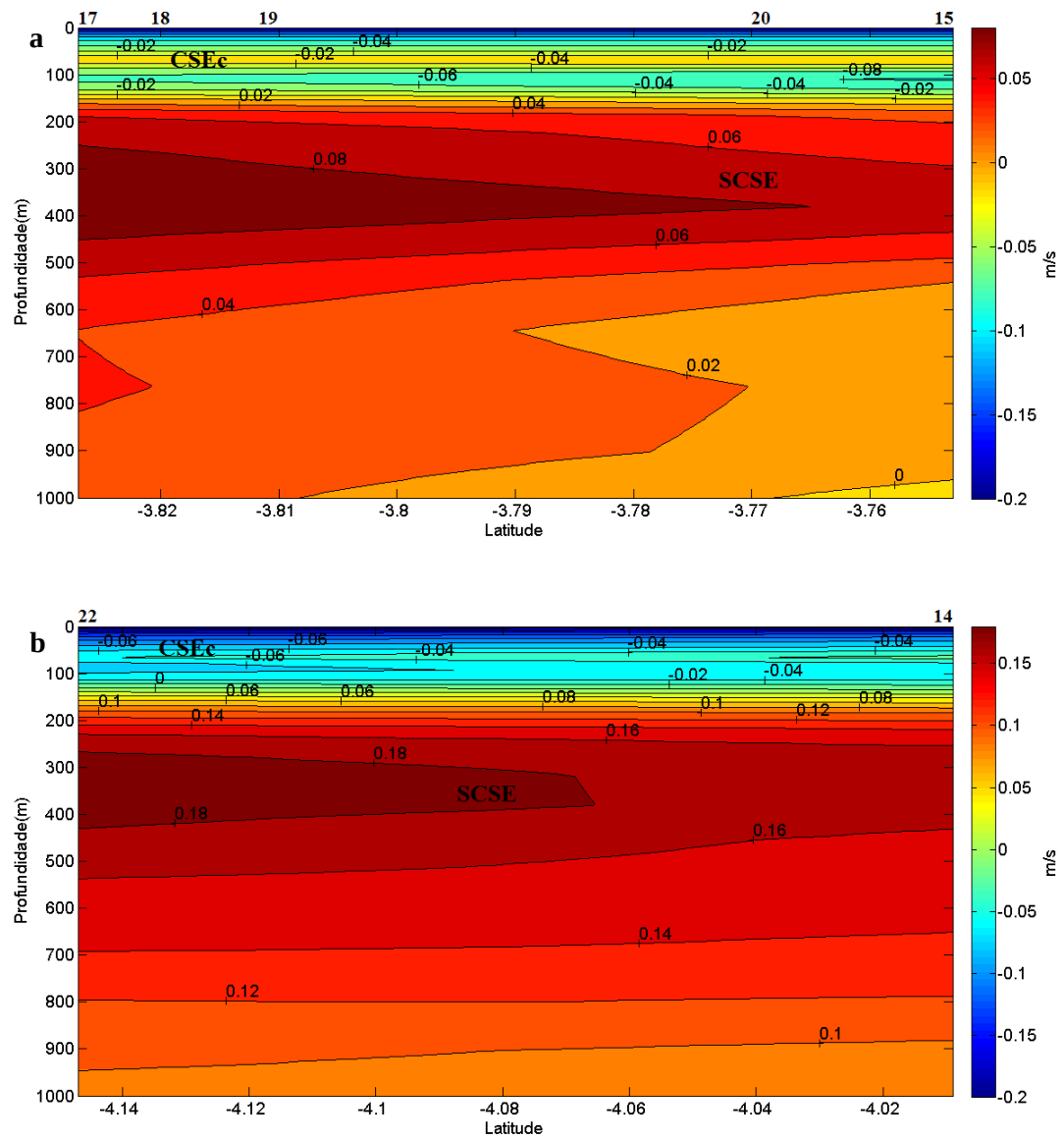
6.3 Circulação Oceânica no Atol das Rocas – Mês de outubro 2015

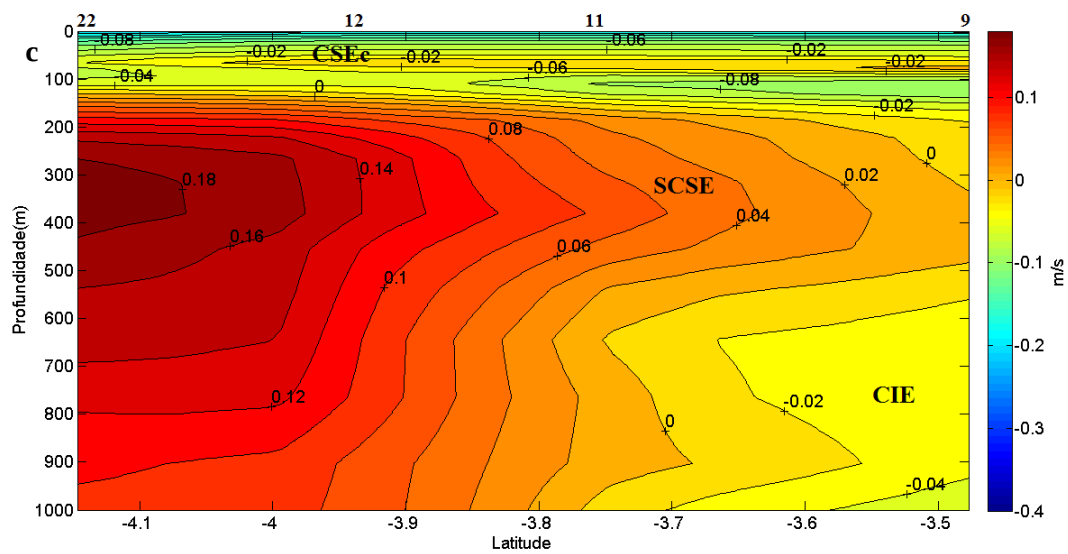
Ao norte do Atol das Rocas (transecto 5-t5) nas longitudes entre 34° W- 33.8° W, foi encontrada a CSEc na profundidade de 100 m fluindo para oeste na camada da ATS, com velocidade de -0.08 m.s^{-1} a -0.02 m.s^{-1} e a SCSE situada logo abaixo, fluindo para leste com velocidade entre 0.06 m.s^{-1} e 0.08 m.s^{-1} (Fig. 43a).

Ao sul do Atol das Rocas (transecto 6- t6) nas longitudes entre 34.1° W- 33.7° W a CSEc foi encontrada circulando na camada da ATS com velocidade entre -0.1 m.s^{-1} e -0.02 m.s^{-1} e a SCSE situada logo abaixo foi encontrada até uma profundidade de 900 m transportando as massas de água ACAN e ACAS com velocidade entre 0.1 m.s^{-1} e 0.18 m.s^{-1} (Fig. 43b).

A leste do Atol das Rocas (transecto 7- t7) nas longitudes entre 33.8° W- 32.7° W foram encontrados a CSEc circulando para oeste ao redor dos 100 m de profundidade na camada da ATS, com velocidade atingindo entre -0.08 m.s^{-1} e -0.02 m.s^{-1} e também a SCSE circulando para leste na camada central com velocidade entre 0.02 m.s^{-1} e 0.18 m.s^{-1} , com SCSE localizada até 900 m ao longo das latitudes entre 4.15° S e 3.7° S (Fig. 43c). Um componente zonal negativo abaixo da SCSE sugere a presença da CIE ao longo de 3.65° S e 3.48° S na camada da AIA, fluindo para oeste com velocidade de -0.02 m.s^{-1} entre 600 m e 900 m de profundidade (Fig.43c).

Figura 43 - Correntes zonais (m/s) ao norte (transecto5-t5) (a) , sul (transecto6-t6) (b) e leste (transecto7-t7) (c) do Atol das Rocas em outubro de 2015.

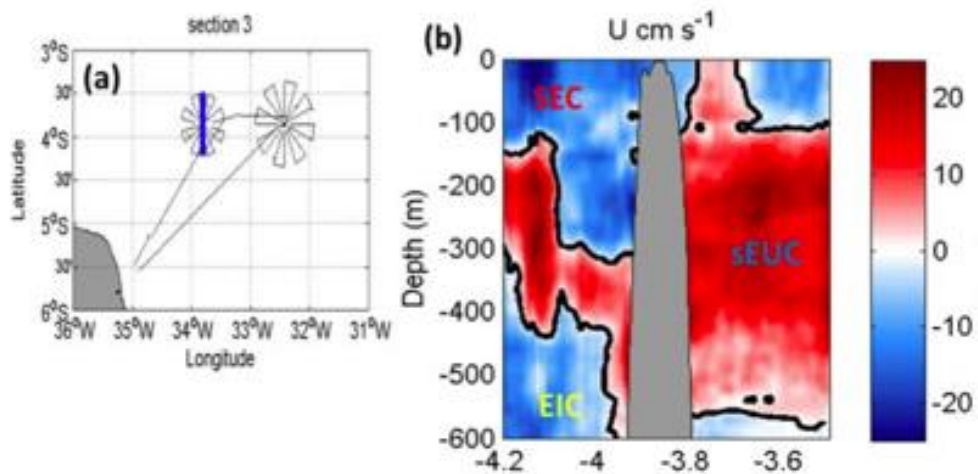




Fonte: A autora.

Dados observacionais realizados neste mesmo período (Fig. 44), identificaram a presença da CSE na camada 0-100 m com velocidades típicas de $\sim 15 \text{ cm.s}^{-1}$. Na camada de 100-500m, a SCSE é muito mais claramente marcada norte do atol que no sul com velocidades de $\sim 15 \text{ cm.s}^{-1}$. Abaixo da SCSE, o componente zonal negativo sugere novamente a presença do CIE (DASSOUNDO, 2016).

Figura 44 – Correntes zonais (m/s) ao longo de um transecto (azul) atravessando o Atol das Rocas em outubro de 2015.



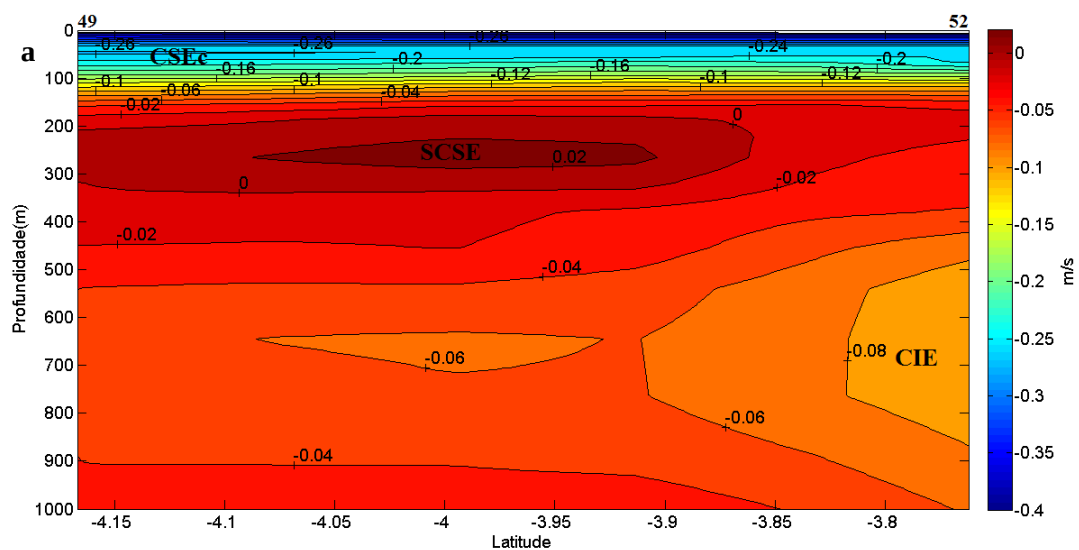
Fonte: DASSOUNDO, 2016.

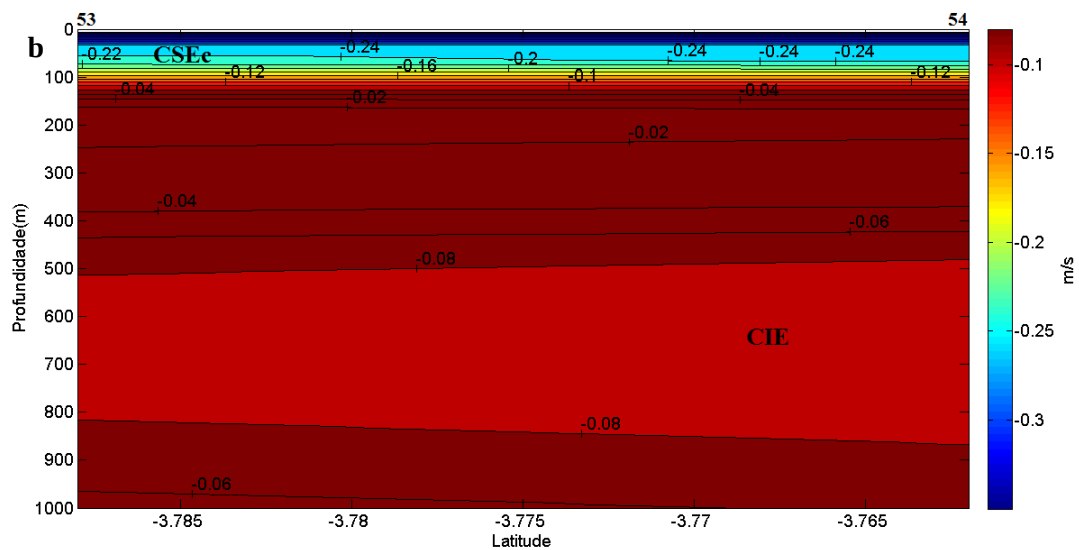
6.4 Circulação Ocêânica no Atol das Rocas – Meses de abril –maio de 2015

Ao leste do Atol das Rocas nas longitudes entre 33.5° W-33.2° W (transecto 6-t6) foi registrado fluindo para oeste a influência da CSEc com velocidade entre -0.26 m.s^{-1} e -0.02 m.s^{-1} e a influência da SCSE entre 200 m e 300 m de profundidade ao longo de 4.16° S e 3.86° S com baixa velocidade de 0.02 m.s^{-1} fluindo para leste. Abaixo da SCSE, se tem registro de uma corrente com velocidade entre -0.08 m/s e -0.02 m/s (Fig. 45a).

Em contraste, a oeste do Atol das Rocas nas longitudes entre 34.8° W-34° W (transecto 9-t9) foi detectado CSEc e a CIE logo abaixo, com limite entre as duas difícil de identificar, uma vez que na camada central não há presença da SCSE, e tanto a CSEc e a CIE foram registradas com direção para oeste (Fig. 45b).

Figura 45 - Correntes zonais (m/s) ao leste (transecto8-t8) (a) e oeste (transecto9-t9) (b) do Atol das Rocas em abril-maio de 2015.





Fonte: A autora.

6.5 Variabilidade Sazonal

6.5.1 CSEc

A CSEc se intensifica no Atlântico Tropical no período de março a julho e enfraquece de agosto a fevereiro (MOLINARI, 1982), apresentando baixa variabilidade sazonal (STRAMMA e SCHOTT, 1999).

O “efeito esteira” observado por GOVE et al (2006) em uma ilha do Pacífico, consiste na modificação do forte fluxo da CSEc a montante (leste) da ilha e um fraco fluxo da mesma corrente a jusante (oeste). Tal efeito também foi observado nas ilhas de Fernando de Noronha e Atol das Rocas por TCHAMABI (2017).

TCHAMABI (2017) detectou enfraquecimento da CSEc a jusante dessas duas ilhas no Atlântico Tropical no período de março a julho e também entre agosto e fevereiro. Tal fenômeno foi explicado pela autora devido à existência de fortes turbilhões ciclônicos nessas regiões induzidos por perturbações de correntes nas águas superiores. Os turbilhões segundo a mesma promovem mistura vertical das águas na base da camada de mistura e consequentemente resfriamento na subsuperfície, trazendo águas ricas em nutrientes para a camada eufótica.

Nesse trabalho o efeito ilha foi detectado em outubro ao norte do Atol das Rocas, tendo provavelmente influência de turbilhões à jusante do Atol das Rocas no processo de ressurgência de águas subsuperficiais.

Em outubro e abril –maio ao longo dos transectos, a CSEc circulou na camada da ATS até uma profundidade de 200m.

6.5.2 SCSE

O período de maior intensificação da SCSE ocorre de julho a setembro a oeste do Atlântico (REVERDIN et al, 1991).

O enfraquecimento da SCSE em abril-maio observado nesse trabalho ao redor das ilhas de Fernando de Noronha e Atol das Rocas está relacionado com o enfraquecimento durante esse período do sistema CNB/SCNB, responsável por alimentar essa corrente subsuperficial. Tal fator pode ser explicado devido ao deslocamento da ZCIT para uma posição mais ao sul, ocorrendo dessa forma bifurcação da CSE em regiões de baixas latitudes durante a primavera-verão, o que interfere na retroflecção para leste do sistema CNB/SCNB. No mês de outubro, no entanto, o sistema CNB/SCNB prevalece na circulação oceânica e a SCSE é portanto bem representada a oeste do Atlântico.

Em outubro a SCSE circulou na camada central entre 200m e 500m onde estavam presentes as massas de água ACAN e ACAS, sendo também essa corrente encontrada abaixo dos 500m, onde estava presente a AIA. Em contrapartida, em abril-maio não houve presença da SCSE na camada central, ou ainda, a mesma foi representada de forma enfraquecida.

6.5.3 CIE

Pouco se sabe à respeito da variabilidade sazonal da CIE. Nesse trabalho essa corrente foi pouco evidente em outubro com predomínio da SCSE logo abaixo da CSEc, enquanto que nos meses de abril e maio foi bem marcante da camada central até os 1000 m de profundidade.

7 CONCLUSÃO

Através das análises de dados de campo obtidos durante as campanhas ABRAÇOS foram analisados a variabilidade espacial e sazonal de principais massas de água, localizadas na superfície até uma profundidade de 1000 m, na região de estudo que engloba o Arquipélago de Fernando de Noronha e Atol das Rocas. Nesta região, encontram-se tipicamente na camada superior a Água Tropical de Superfície (ATS), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e a Água Intermediária Antártica (AIA), entretanto, na região oceânica em interesse houve também indícios da existência da Água Central do Atlântico Norte (ACAN) que é menos densa e mais salina que a ACAS.

Apesar do pouco conhecimento sobre a circulação da Água Central do Atlântico Norte (ACAN) na região tropical, neste estudo considerou-se que a mesma foi advectada pela Contra-Corrente Norte Equatorial (CCNE). Ainda, a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) foi representada pela Água de Sul (wACAS) e pela Água de Leste (eACAS).

A Água de Sul (wACAS) em outubro de 2015 atingiu dos 100 m até os 500 m de profundidade e, a Água de Leste (eACAS) repercutiu a partir dos 500 m.

A distribuição vertical realizada pela Análise Multiparamétrica Ótima revelou que em outubro de 2015 a ATS e a ACAN apresentaram camadas mais espessas na coluna d'água atingindo maiores profundidades ao redor do Atol das Rocas do que em Fernando de Noronha e que, a ACAS foi mais representativa que ACAN na camada central, atingindo maiores profundidades na coluna de água ao sul e leste do Atol das Rocas e também ao norte de Fernando de Noronha. A AIA, por sua vez, encontrou-se presente em todas as localidades com exceção do sul do Atol, onde provavelmente é mais profunda que 1000 m, apresentando o menor limite de 750 m de profundidade ao sul de Fernando de Noronha.

A distribuição horizontal da análise OMP nesse mesmo período revelou que a ATS aflorou a 50 m ao sul de Fernando de Noronha e leste do Atol das Rocas, com contribuições entre 90% e 100%.

Comparando as contribuições da ACAS e da ACAN ao redor de 100 m de profundidade foi possível detectar mistura entre ACAS e ACAN ao norte do Atol das Rocas (estação 15), com contribuições da ACAS entre 20% e 30% e da ACAN entre 50% e 60%. Nesta mesma profundidade a ACAN foi mais representativa em estações ao norte e sul de Fernando de Noronha, enquanto que, em estações ao norte e sul do Atol foi mais representativa a 200 m, com maiores contribuições entre 50% e 60%.

A wACAS a 200 m aflorou em estações ao norte e sul do Atol das Rocas, também aflorando a 400 m em estações mais ao norte (estação 9) e mais ao sul (estação 6) de Fernando de Noronha com contribuições entre 90% e 100%. A 500 m a wACAS foi mais representativa em três estações, uma ao norte (estação 2) e outra ao sul (estação 7) de Fernando de Noronha com contribuições entre 70% e 80%, e ainda em uma estação mais a oeste da ilha (estação 8) com contribuições maiores entre 80% e 90%.

A eACAS surgiu a partir dos 500 m com contribuições entre 20% e 30% ao norte (estação 7) e em uma estação mais a oeste (estação 8) de Fernando de Noronha e, também surgiu ao norte (estações 17,18,19) e sul do Atol (estações 12, 13) com contribuições significativas entre 30% e 40% na mesma profundidade.

A AIA a 700 m de profundidade repercutiu ao norte (estação 2) e sul (estação 5) de Fernando de Noronha, com respectivas contribuições entre 70% e 80% e, entre 40% e 50%. Nesta mesma profundidade a AIA aflorou na estação 19 ao norte do Atol com contribuições entre 90% e 100%, apresentando também altas contribuições (entre 80% e 90%) na estação 20 situada também ao norte.

Por meio da distribuição vertical da análise OMP foi possível detectar o efeito ilha em outubro de 2015 nas profundidades de ocorrência das massas d'água em estações ao norte do Atol (transecto 5-t5), com emersão da ATS e consequente submersão das massas d'água ACAN e ACAS. Tal efeito foi melhor representado através da distribuição horizontal dessa mesma análise, com contribuições da ATS na superfície entre 80%-90% e contribuições a 100 m da ACAS entre 0%-10% e da ACAN entre 0%-30%.

A Água de Sul (wACAS) em abril-maio de 2017 atingiu dos 100 m até os 500 m de profundidade e, a Água de Leste (eACAS) repercutiu a partir dos 200 m.

A distribuição vertical realizada pela Análise Multiparamétrica Ótima revelou que em abril-maio de 2017 a ATS atingiu maiores profundidades ao sul e leste de Fernando de Noronha e menor profundidade a oeste desta ilha. A ACAN e a AIA foram mais representativas na camada central tanto em Fernando de Noronha quanto no Atol das Rocas, com AIA atingindo profundidades mais rasas, na faixa de 700 m, ao sul e leste de Fernando de Noronha.

A distribuição horizontal da análise OMP revelou que a ATS a 50 m apresentou maiores contribuições entre 70%-80% ao sul de Fernando de Noronha (estação 45).

A 100 m de profundidade foram detectadas misturas entre a ACAN e a AIA ao norte do Atol das Rocas (estação 52) e ao norte (estação 51) e sul de Fernando de Noronha (estação 44), com contribuições da ACAN entre 50%-60%, 80%-90% e 40%-50%, respectivamente, e contribuições da AIA em cada estação entre 10%-20%. Nessa mesma profundidade também

foram detectadas misturas entre três massas d'água em uma única estação situada ao sul do Atol das Rocas (estação 49), com contribuições da ACAN entre 70%-80%, e da AIA e ACAS entre 10%-20%.

A wACAS aflorou a 200 m ao norte de Fernando de Noronha (estação 51), aflorou a 300 m ao norte do Atol das Rocas (estação 52), e ainda a 500 m ao norte do Atol das Rocas (estações 53,52) e sul de Fernando de Noronha (estações 44,45), com contribuições entre 90%-100%.

A eACAS surgiu a partir de 200 m de profundidade sendo bem representativa ao sul de Fernando de Noronha (estação 44), enquanto que, a 300 m foi bem representativa ao norte do Atol das Rocas (estação 53) com contribuições entre 50%-60% em ambos os casos. Ainda a 400 m apresentou contribuições ao norte do Atol das Rocas (estações 53,52), assim como, ao sul de Fernando de Noronha (estações 44,45).

A AIA surgiu a partir dos 100 m de profundidade, aflorando a 500 m em estações ao norte e sul de Fernando de Noronha (estações 43,45) e norte e sul do Atol das Rocas (estações 52,49), apresentando afloramento também a 700 m ao sul do Atol das Rocas (estação 49), com contribuições entre 90%-100%.

Nas estações ao redor de Fernando de Noronha e do Atol das Rocas a camada de mistura e a haloclina estavam mais profundas em outubro de 2015 quando comparadas com a segunda campanha em abril-maio de 2017.

A TSM se apresentou mais elevada durante abril-maio de 2017 em torno de Fernando de Noronha (25°-27°C) e Atol das Rocas (27°C) que em outubro de 2015, que apresentou variações entre 23°C-27°C nas duas regiões oceânicas. A SSM, no entanto, se apresentou mais elevada em torno de Fernando de Noronha em outubro de 2015 (35.8 -36.6) que em abril-maio de 2017 (35.8-36.4). O mesmo foi observado em torno do Atol das Rocas com valores da SSM entre 35.4-36.8 em outubro e entre 35.8-36.4 em abril-maio. Os dados numéricos MERCATOR tanto para a TSM quanto para a SSM foram semelhantes com os resultados observados nas duas regiões oceânicas. Águas quentes e menos salinas na superfície ao redor das duas regiões oceânicas estão provavelmente relacionadas com a intensificação do ciclo hidrológico em abril-maio.

A Água de Máxima Salinidade ao redor de 100m foi identificada por meio de núcleos de alta salinidade ao longo de 3°S e 5°S, com águas mais salgadas (≥ 36.6) indicando a presença de águas subtropicais ao norte, sul e leste do Atol das Rocas, e também ao sul de Fernando de Noronha.

Diferente do mês de outubro, em abril-maio as águas subsuperficiais apresentaram valores mais estáveis ao redor de 100m de profundidade, uma vez que, durante esse período a CSEs que carrega Água de Sul, e a CCNE que carrega Água de Norte a partir da CNE, enfraquecem conforme deslocamento da ZCIT para uma posição mais ao sul, ocorrendo dessa forma bifurcação da CSE em regiões de baixas latitudes durante a primavera-verão, o que interfere na retrofleção para leste do sistema CNB/SCNB por meio de correntes zonais como a CCNE/SCNE. Como o sistema CNB/SCNB alimenta a SCSE, durante abril-maio essa corrente também enfraquece quando comparada com o mês de outubro, onde esse sistema prevalece. Os resultados dos dados numéricos MERCATOR de salinidade de águas subsuperficiais foram semelhantes com os dados observados para os dois períodos.

De uma forma geral, em outubro ao longo dos transectos, a CSEc circulou na camada da ATS até uma profundidade de 200m, enquanto que, a SCSE circulou na camada central entre 200m e 500m onde estavam presentes as massas de água ACAN e ACAS, sendo também essa corrente encontrada abaixo dos 500m, onde estava presente a AIA.

Em contrapartida, em abril-maio, a CSEc prevaleceu na superfície e a Corrente Intermediária Equatorial (CIE) prevaleceu logo abaixo, sem presença da SCSE na camada central, ou ainda, a mesma foi representada de forma enfraquecida. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, tal fator sugere que ocorreu ressurgência da AIA durante abril-maio, o que pode ser explicado pela elevação da CIE. A Água de Sul (wACAS) foi encontrada no mesmo intervalo de profundidade nos dois períodos estudados, enquanto que a Água de Leste (eACAS) repercutiu em abril-maio a partir de 200 m, sugerindo que essa corrente foi transportada para cima pela AIA.

O Oceano Atlântico Tropical é de extrema importância para o estudo climático e muito ainda precisa ser desvendado. Perspectivas futuras sugerem um estudo aprofundado sobre a circulação da ACAN a oeste do Atlântico Tropical, assim como, pesquisas a respeito do transporte de massas de água e seus processos de mistura em ilhas tropicais brasileiras, associando com o sistema de correntes atuante.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. **Terra Didática**, v2, n1, p.3-18 .2006.
- AMANTE C. and EAKINS, B. W. ETOPO1 1 Arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis. **NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24**, 25p.2009.
- ASSUNÇÃO, R.V. Variabilidade sazonal da dinâmica oceânica na região do mar de dentro do arquipélago de Fernando de Noronha – PE. **Universidade Federal de Pernambuco**, Dissertação de Mestrado. 2017.
- BECKER, J. J.; SANDWELL, D. T.; SMITH, W. H. F.; BRAUD, J.; BINDER, B.; DEPNER, J.; FABRE, D.; FACTOR, J.; INGALLS, S.; KIM, S.H.; LADNER, R.; MARKS, K.; NELSON, S.; PHARAOH, A.; TRIMMER, R.; VON ROSENBERG, J.; WALLACE, G.; and WEATHERALL, P. Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30 PLUS. **Marine Geodesy**, v32, p.355–371.2009.
- BENKIRAN, M. and GREINER, E. Impact of the Incremental Analysis Updates on a Real-Time System of the North Atlantic Ocean. **Journal of Atmospheric and Ocean Technology**, v25, p.2055–2073. 2008.
- BENSCHNEIDER, K.; ROBINSON, R.J. A new spectrophotometric determination of nitrite in sea water. **Journal of Marine Research**, v11, p.87-96.1952.
- BOURLÈS, B.;GOURIOU,Y.; CHUCLA,R. On the circulation in the upper layer in the western equatorial Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v104, p.21151-21170.1999a.
- BOURLÈS, B.; MOLINARI, R.L.; JOHNS, E., and WILSON,W.D. Upper layers currents in the western tropical North Atlantic (1989-1991). **Journal of Geophysical Research**, v104, p.1361-1375.1999b.
- BLANK, B.; DELECLUS, P. Variability of the tropical Atlantic-Ocean simulated by a general-circulation model with 2 different mixed-layer physics. **Journal of Physical Oceanography**,v23, p.1363–1388. 1993.
- BLOOM, S. C.; TAKAS, L. L.; DA SILVA, A. M.; and LEDVINA, D. Data assimilation using incremental analysis updates. **Montly Weather Review**, v124, p.1256–1271. 1996.
- BRASSEUR, P. and VERRON, J. The SEEK filter method for data assimilation in oceanography: a synthesis. **Ocean Dynamics**, v56, n5, p.650-661. 2006.
- CASTRO, J. W. A. Ilhas oceânicas da Trindade e Fernando de Noronha, Brasil: Uma visão da Geologia Ambiental. **Revista da Gestão Costeira Integrada**. 2010.

CIRANO, M.; MATA, M.M.; CAMPOS, E.J.D.; DEIRÓ, N. A circulação oceânica de larga-escala na região oeste do Atlântico Sul: validação da climatologia anual com base no modelo de circulação global OCCAM. **Revista Brasileira de Geofísica**, v24, p.209-230.2006

COMEAU, L.A.; VEZINA, A.F.; BOURGEOIS, M.; JUNIPER, S.K. Relationship between phytoplankton production and the physical structure near Cobb Seamount, Northeast Pacific. **Deep-Sea Research**, v42, p.993–1005. 1995.

CRAVATTE, S.; MADEC, G.; IZUMO, T.; MENKES, C.; and BOZEC, A. Progress in the 3-D circulation of the eastern equatorial Pacific in a climate. **Ocean Modeling**, v17, p.28–48. 2007.

DASSOUNDO, A.L. ANALYSE DES DONNEES COURANTOMETRIQUES AU LARGE DU NORDESTE BRESILIEN. **Faculté des Sciences et Technologies (FAST) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC)**, Dissertação de Mestrado em Oceanografia Física e Aplicação. République du Bénin. 2016.

DEFANT, A. Dynamische Ozeanographie. **Springer**, p.222. 1929.

DENGLER, M.; SCHOTT, F.A.; EDEN, C.; BRANDT, P.; FISCHER, J., and ZANTOPP, R.J. Break-up of the Atlantic deep western boundary current into eddies at 8°S. **Nature**, v432, p.1018-1020, 2004.

EMERY, W..J. (Org.). Ocean Circulation: Water types and Water Masses. **Elsevier Science**, p.1556-1567. 2003.

EMÍLSON, I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v17, n2, p.101–112. 1961.

ESTON, V. R. D.; MIGOTTO, A. E.; OLIVEIRA FILHO, E. C. D.; RODRIGUES, S. D. A.; & FREITAS, J. C. D. Vertical distribution of benthic marine organisms on rocky coasts of the Fernando de Noronha Archipelago (Brazil). **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v34, p.37-53.1986.

FURUYA, K.; ODATE, T.; TAGUCHI, K. Effects of a seamount on phytoplankton production in the western Pacific Ocean. In: H Sakai, Y Nozaki (Eds.), Biogeochemical Processes and Ocean Flux in the Western Pacific, **Terra Scientific Publishing Company**, Tokyo, p.255-273. 1995.

GARRISON, T. Fundamentos de oceanografia. **Cengage Learning**. 2010.

GARZOLI, S. L.; FIELD, A.; JOHNS, W.E., YA, Q. North Brazil Current retroflexion and transports. **Journal of Geophysical Research**, v62.2004.

GASPARINI, J. L.; MACIEIRA, R. M. Nossas Ilhas Oceanicas. **3ª parte: Coleção Explorando o Ensino - O mar no espaço geográfico brasileiro**, p. 65-135.2005.

GENIN, A.; BOEHLERT, G. W. Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount: An oceanic experiment. **Journal of Marine Research**, v43, p.901-924, 1985.

GHERARD, D. F. M. & BOSENCE, D. W. J. Modeling of the ecological succession of encrusting organisms in recent coralline-algal frameworks from Atol das Rocas, Brazil. **Palaios**, v14, n2, p.145-158. 1999.

GOES, M.; MOLINARI, R.; da SILVEIRA, I.; and WAINER, I. Retroflection of the North Brazil Current during February 2002. **Deep Sea Research**, v52, p.647-667.2005.

GOOSSE, H.; CAMPIN, J. M.; DELEERSNIJDER, E.; FICHEFET, T.; MATHIEU, P. P.; MAQUEDA, M. A. M.; and TARTINVILLE, B. Description of the CLIO model version 3.0. **Institut d'Astronomie et de Geophysique Georges Lemaitre**, Catholic University of Louvain (Belgium). 2001.

GONI, G. and BARINGER, M. Ocean Surface Currents in the Tropical Atlantic Across High Density Line AX08. **Geophysical Research Letters**, v29, n24, p.2218. 2002.

HELLAND-HANSEN, B. Nogen hydrografiske metoder (Some hydrographic methods). **Proceedings of the 16th Congress of Scandinavian Naturalists**, p.357-359. 1918.

HINRICHSEN, H. H. & TOMCZAK, M. Optimum multiparameter analysis of the water mass structure in the western North Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v98, p.155–169.1993.

ICMBio– Instituto Chico Mendes MMA.

<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomasbrasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2242-apa-de-fernando-de-noronha>, acessado em 05 de novembro de 2017.

ICMBio Instituto Chico Mendes MMA.

<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomasbrasileiros/marinho/unidades-de-conservacao-marinho/2270-rebio-atol-das-rocas>, acessado em 05 de novembro de 2017.

JACOBSEN, J. P. Eine grafische Methode zur Bestimmung des Vermischungskoeffizienten im Mare (One graphic method for the determination of mixing coefficients in the sea). **Gerland's Beitrage zur Geophysik (Gerland's Input in Geophysics)**, v16, n4, p.404-412. 1927.

LELLOUCHE, J.-M.; Le GALLOUDEC, O.; DRÉVILLON, M.; RÉGNIER, C.; GREINER, E.; GARRIC, G.; FERRY, N.; DESPORTES, C.; TESTUT, C.-E.; BRICAUD, C.; BOURDALLÉ-BADIE, R.; TRANCHANT, B.; BENKIRAN, M.; DRILLET, Y.; DAUDIN, A.; and DE NICOLA, C. Evaluation of global monitoring and forecasting systems at Mercator Océan. **Ocean Science**, v9, p.57-81. 2013.

LÉVY, M.; ESTUBLIER, A.; and MADEC, G. Choice of an advection scheme for biogeochemical models. **Geophysical Research Letters**, v28, p.3725–3728. 2001.

LINSKER, R. Arquipélago de Fernando de Noronha e o Paraíso do Vulcão. **São Paulo: Terra Virgem Editora**, 167p. 2003.

MACKAS, D., K. DENMAN, & A. BENNETT. Least squares multiple tracer analysis of water mass composition. **Journal of Geophysical Research**, v92, p.2907–2918.1987.

MADEC, G. and IMBARD M. A global ocean mesh to overcome the North Pole singularity. **Climatology Dynamics**, v12, p.381–388. 1996.

MADEC, G. and the NEMO team. NEMO ocean engine, **Note du P^ole de modélisation, Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)**, France, v27, p.1288–1619. 2008.

MEDEIROS, C.; ARAUJO FILHO, M.C.; ROLLNIC, M.; FREITAS, E. I. Estrutura termohalina da região oeste do Atlântico Tropical - ZEE/NE. Meteorologia e sensoriamento remoto, oceanografia física, oceanografia química e oceanografia geológica – Programa REVIZEE – SCORE Nordeste [Hazin, F.H.V. (Ed.)]. **Fortaleza, CE: Editora Martins & Cordeiro**, p.40-55. 2009b.

MOLINARI, R.L.; BAUER, S.; SNOWDEN, D.; JOHNSON, G.; BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y.; MERCIER, H. A comparison of kinematic evidence for tropical cells in the Atlantic and Pacific oceans. In: GONI, G.; MALANOTTE-RIZOLLI, P. (Eds). Interhemispheric Water Exchange in the Atlantic Ocean. **Elsevier**, Amsterdam, 269-286.2003.

MULLIN, J.B.; RILEY, J.P. The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural waters with special reference to sea water. **Analytica Chimica Acta**, v12, p.162-170. 1955.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified simple solution method for the determination of phosphate in natural waters. **Analytica Chimica Acta**, v27, p.31-36. 1962.

NETO, A.V.N.; DA SILVA, A.C. Seawater temperature changes associated with the north brazil current dynamics. **Ocean Dynamics**, v.64, p.13-27. 2014.

ODATE, T.; FURUYA, K. Well-developed subsurface chlorophyll maximum near Komahashi No. 2 Seamount in the summer of 1991. **Deep-Sea Research**, v394, p.1595-1607.1998.

OUDOT, C.; BAURAND, F. Mesures des sels nutritifs. In: Campagne CITHER 1, Recueil de données, vol. 3/4: traceurs géochimiques (1). **Documents Scientifiques du Centre ORSTOM de Cayenne O.P.**, v15, p.31-66. 1994.

PEREIRA, N. S.; MANSO, V. A. V.; SILVA, A. M. C.; SILVA, M. B. Mapeamento geomorfológico e morfodinâmico do Atol das Rocas, Atlântico Sul. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v10, n3, p.331-345. 2010.

POOLE, R.; TOMCZAC, M. Optimum multiparameter analysis of the water mass structure in the Atlantic Ocean thermocline. **Deep Sea Research I**, v46. 1999.

RODRIGUES, R.R.; ROTHSTEIN, L.M.; WIMBUSH, M. Seasonal Variability of the South Equatorial Current bifurcation in the Atlantic Ocean: A numerical study. **Journal of Physical Oceanography**, v37, p.16-30. 2007.

ROULLET, G. and MADEC, G. Salt conservation, free surface, and varying levels: a new formulation for ocean general circulation models. **Journal of Geophysical Research**, v105, p.23927–23942. 2000.

SCHOTT, F.; STRAMMA, L.; FISHER, J. The warm water inflow into the western tropical Atlantic boundary regime, spring 1994. **Journal of Geophysical Research**, v100, p.24745-24760.1995.

SCHOTT, F.; FISHER, J.; STRAMMA, L. Transports and pathways of the upper-layer circulation in the western tropical Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, v28, p.1904–1928. 1998.

SCHOTT, F.; DENGLER, M.; BRANDT, P.; AFFLER, K.; FISHER, J; BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y.; MOLINARI, R.L.; RHEIN, M. The zonal currents and transports at 35°W in the tropical Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v30.2003.

SERAFINI, T.Z.; FRANÇA, G. B.; ANDRIGUETTO-FILHO, J.M. Ilhas oceânicas brasileiras: biodiversidade conhecida e sua relação com o histórico de uso e ocupação humana. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.10, n.3, p.281-301. 2010.

SILVA, A.C.; GRENIER, M.; CHUCHLA, R.; GRELET, J.; ROUBAUD, F.; HAMELIN, B.; LYARD, F.; JEANDEL, C. Water masses and zonal current in the Western Tropical Atlantic in October 2007 and January 2008 (AMANDES project). **Ocean Science Discussions**, v.7, p.1953-1976.2010.

SILVEIRA, I.C.A.; SCHMIDT, A.C.K.; CAMPOS, E.J.D.; GODOI, S.S.; & IKEDA, Y. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira. **Revista brasileira de oceanografia**, v48, n2, p.171-183. 2000.

SOARES, M.O.; PAIVA, C.C.; GODOY, R.K.P.; SILVA, M.B.; CASTRO, C.S.S. Gestão ambiental de ecossistemas insulares: O caso da Reserva Biológica do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. **Revista Gestão Costeira Integrada**, v10, n3, p.347-360. 2010.

STRAMMA, L.; AND ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **J. Geophys.Res.**, v104, nC9, p.20863-20883. 1999.

STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research II**, v. 46, p.279—303, Tropical Studies in Oceanography.1999.

- STRAMMA, L.; RHEIN, M.; BRANDT, P.; DENGLER, M.; BÖNING, C.; WALTER, M. Upper ocean circulation in the western tropical Atlantic in boreal fall 2000. **Deep Sea Research**, v52, p.221-240. 2005.
- STRICKLAND, J. D.; AND PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. **Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada**, v167.1968.
- SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, M. W.; & FLEMING, R. H. The Oceans: their physics, chemistry and general biology. **Prentice-Hall Inc.**, 1087p.1942.
- TALLEY, L.D. Antarctic intermediate water in the South Atlantic. WEFER, T.G., BERGE, W.H., SIEDLER, G., WEBER, D.J. (Eds.). The South Atlantic: Present and Past Circulation. **Springer**, Berlin, p.219-238. 1996.
- TCHAMABI, C. Modelagem matemática e conectividade físico-biogeoquímica dos sistemas insulares Rocas-Noronha no Atlântico Tropical. **Universidade Federal de Pernambuco**, Tese de Doutorado. 2017.
- TCHERNIA, P. Descriptive Regional Oceanography. **Pergamon Press**, v47, 253p. 1980.
- TOMCZAK, M. An analysis of mixing in the frontal zone of South and North Atlantic Central Water off North-West Africa. **Progress in Oceanography**, v10, p.173-192.1981.
- _____ A multi-parameter extension of temperature/salinity diagram techniques for the analysis of non-isopycnal mixing. **Progress in Oceanography**, v10, p.147-171. 1981.
- _____ Some historical, theoretical and applied aspects of quantitative water mass analysis. **Journal of Marine Research**, v57, p.275-303. 1999.
- TOMCZAK, M.; GODFREY, J.S. Hydrology of the Atlantic Ocean. TOMCZAK, M., GODFREY, J.S. (Eds.), Regional Oceanography: An Introduction. **Elsevier**, Oxford, 253-269. 1994.
- TOMCZAK, M. & LARGE, D. G. B. Optimum multiparameter analysis of mixing in the thermocline of the eastern Indian Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v94, p.16.141–16.149.1989.
- TOMCZAK, M. & LIEFRINK. Interannual variations of water mass volumes in the Southern Ocean. **Journal of Atmospheric and Ocean Science**, v10, n1, p.31-42. 2005.
- TRAVASSOS, P.E.P.; HAZIN, H.V.V.; ZAGAGLIA, J.R.; ADVÍNCULA, R.; SCHÖBER, J. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, v47, n2/3, p.221-222. 1999.
- WILDNER, W; FERREIRA, R.V. PROJETO GEOPARQUES FERNANDO DE NORONHA – PE (Proposta). **SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**. 2011.

WILSON, W.D.; JOHNS, E.; and MOLINARI, R.L. Upper layer circulation in the western tropical North Atlantic Ocean during August 1989. **Journal of Geophysical Research**, v99, p. 22513-22523.1994.

WOOD, E.D.; ARMSTRONG, F.A.J.; RICHARDS, F.A. Determination of nitrate in sea-water by cadmium-copper reduction to nitrite. **Journal of Marine Biology Association of United Kingdom**, v47, p.23-31. 1967.

WRIGHT, J.; COLLING, A. Seawater: Its composition, properties and behavior. **Open University**, Second Edition, p.48-49.1995.

WUST, G. The stratosphere of the Atlantic Ocean. **Wiss. Erg. Der Deutsch. Atl. Exp. Auf dem Vermessungsund Forschungsschiff Meteor 1925-1927**, v6, p.109-288. 1935.

ZHANG, D.; MSADEK,R.; MCPHADEN, M.J.; and DELWORTH,T. Decadal variability of the North Brazil Current and its connection to the Atlantic meridional overturning circulation. **Journal of Geophysical Research**, v116, nCO4012. 2011.

APÊNDICE A – ESTAÇÕES E TRANSECTOS

Tabela 9 - Localização de transectos e suas respectivas estações ao redor da Ilha de Fernando de Noronha e Atol das Rocas durante a campanha ABRAÇOS I (outubro de 2015).

Localização	Transecto	Estações
F. Noronha	1	6,5
A. Rocas - Norte	5	17,18,19,20,15
A. Rocas - Sul	6	22,14
A. Rocas - Leste	7	22,12,11,9

Fonte: A autora.

Tabela 10 - Localização de transectos e suas respectivas estações ao redor da Ilha de Fernando de Noronha e Atol das Rocas durante a campanha ABRAÇOS II (abril-maio de 2017).

Localização	Transecto	Estações
F. Noronha - Sul	2	45,44
F. Noronha – Leste	3	44,43
F. Noronha - Oeste	4	49,51
A. Rocas- Leste	8	49,52
A. Rocas - Oeste	9	53,54

Fonte: A autora.

Tabela 11 - Coordenadas de estações existentes na borda oeste do Oceano Atlântico Tropical e suas respectivas profundidades de CTD.

ESTAÇÃO	LATITUDE °S	LONGITUDE °W	PROFUNDIDADE-CTD (m)
1	-3.7670	-32.4220	59
2	-3.6558	-32.2288	1005
3	-3.6300	-31.9793	999
4	-3.9023	-32.3403	981
5	-4.1060	-32.1627	1007
6	-4.2633	-32.5935	1002
7	-3.9395	-32.5157	1003
8	-3.7378	-32.8978	999
9	-3.4773	-32.7453	1008
11	-3.7497	-33.2255	501
12	-3.9307	-33.4877	1004
13	-3.9295	-33.8183	1006
14	-4.0090	-34.0253	1001
15	-3.7533	-33.9670	1000
17	-3.8272	-33.8312	43
18	-3.8205	-33.8383	187
19	-3.8117	-33.8417	656
20	-3.7707	-33.8675	1006
22	-4.1470	-33.7575	1002
40	-3.5200	-32.5495	1011
41	-3.3600	-32.4076	1011
42	-3.2658	-31.8350	1009
43	-3.6098	-31.7481	1009
44	-3.9000	-32.3200	1010
45	-4.2383	-32.0390	1009
46	-4.1325	-32.3211	1010
47	-4.3015	-32.6360	1010
48	-4.4115	-32.9855	1010
49	-4.1673	-33.2940	1009
50	-3.8540	-32.5890	1008
51	-3.7020	-32.7660	1011
52	-3.7625	-33.4400	1008
53	-3.7880	-34.0015	1009
54	-3.7620	-34.7280	1009

Fonte: A autora.