



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

SYUMARA QUEIROZ DE PAIVA E SILVA

**RELAÇÕES NICTIMERASIS EM SUB-MESOESCALA ENTRE A HIDRODINÂMICA
E A BIOTA DO TALUDE OCEÂNICO DE TAMANDARÉ-PE**

RECIFE
2020

SYUMARA QUEIROZ DE PAIVA E SILVA

**RELAÇÕES NICTIMERASIS EM SUB-MESOESCALA ENTRE A HIDRODINÂMICA
E A BIOTA DO TALUDE OCEÂNICO DE TAMANDARÉ-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para a obtenção do título de Mestra em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia Abiótica

Orientadores: Prof. Dr. Moacyr Araújo
Prof. Dr. Marcus André Silva

RECIFE
2020

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

S586r Silva, Syumara Queiroz de Paiva e.
Relações nictimerais em sub-mesoescala entre a hidrodinâmica e a biota do talude oceânico de Tamandaré-PE / Syumara Queiroz de Paiva e Silva. - 2020.
105 folhas, il., tab. sigl.

Orientadores: Prof. Dr. Moacyr Araújo.
Prof. Dr. Marcus André Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2020.
Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Interações Biofísicas. 3. Sudoeste do Atlântico Tropical. 4. Fluxos *cross-shelf*. 5. Dinâmica da quebra da plataforma/talude. 6. Correntes de Borda Oeste.
I. Araújo, Moacyr (Orientador). II. Silva, Marcus André (Orientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2020-60

SYUMARA QUEIROZ DE PAIVA E SILVA

**RELAÇÕES NICTIMERASIS EM SUB-MESOESCALA ENTRE A HIDRODINÂMICA
E A BIOTA DO TALUDE OCEÂNICO DE TAMANDARÉ-PE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para a obtenção do título de Mestra em Oceanografia.

Aprovada em: 07/02/2020

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Moacyr Araújo (orientador)
Departamento de Oceanografia (UFPE)

Prof. Dr. Marcus André Silva (Examinador Externo)
Departamento de Oceanografia (UFPE)

Prof^a. Dr^a. Carmen Medeiros Limongi, UFPE (Examinador Interno)
Departamento de Oceanografia (UFPE)

Prof. Dr. Fabrice Hernandez (Examinador Externo)
Colaborador do Departamento de Oceanografia (UFPE)

Dedico este trabalho a minha mãe, que mesmo diante de todas as dificuldades que passou, nunca duvidou de quem era e de quem eu posso ser.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a minha mãe por sempre acreditar em mim e fingir que entende quando eu explico algo em voz alta só para fixar as ideias. Obrigada pelo apoio incondicional e por cuidar de mim quando eu desconecto do meu próprio corpo para mergulhar no mundo da ciência.

Aos meus orientadores Arnaud, Marcus e Moacyr, agradeço pelo apoio, injeção de empolgação, puxões de orelha, suporte e preciosos ensinamentos. Obrigada por confiarem e acreditarem na minha capacidade. Arnaud, minha gratidão pelo seu apoio transcende o que posso colocar em palavras.

À Cris por simplesmente existir na minha vida e por me permitir infernizar a vida dela com questionamentos e dúvidas sobre tudo. À Marisa que está agora distante mas continua me apoiando em tudo, me dando forças para seguir em frente. À Priscila por ser, além de amiga e me fazer rir apesar do cansaço, minha co-orientadora à distância.

Ao grupo LMI TAPIOCA/ABRAÇOS agradeço pelas parcerias e amizades formadas, pois sabemos que $1+1>>2!$

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo apoio financeiro, aos laboratórios e colegas de trabalho do LOFEC (Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e Costeira), CEERMA (Centro de Estudo e Ensaio em Riscos e Modelagem Ambiental), LMI TAPIOCA (*Tropical Atlantic Interdisciplinary Laboratory on Physical biogeochemical, ecological and human dynamics*) e do projeto ABRAÇOS (*Acoustic along the Brazilian Coast*) pela infraestrutura e pelos dados utilizados além das valiosas trocas de conhecimentos durante suas reuniões e fora delas.

The contributions of submesoscale physical forcing to marine ecosystem dynamics remain unconstrained and uncertain. We are confronted with a problem at the interface of two fields—ocean physics and ecology—that lies at the frontier of knowledge in both fields, with new interaction mechanisms still being identified and their relative importance being evaluated (LÉVY *et al.*, 2018, p. 13).

RESUMO

A dinâmica dos organismos em um ecossistema é extremamente complexa e envolve, além de interações tróficas, respostas às variações ambientais em diferentes escalas de tempo e espaço. Soma-se a isso a dinâmica das correntes de borda oeste interagindo junto ao talude, que eleva a complexidade das respostas dos organismos marinhos. O presente trabalho teve como objetivo investigar os processos hidrodinâmicos atuantes no talude oceânico em frente ao Município de Tamandaré (Pernambuco) observados em submesoescala, e determinar sua influência sobre a distribuição de organismos vivos em um período nictimeral. Foram utilizados os dados de hidroacústica, correntes, salinidade e temperatura da superfície do mar registrados durante a execução de 15 transectos do tipo “quadrado mágico” (~26 horas) na campanha ABRAÇOS 2 (*Acoustics along the BRAzilian COaSt*), além de estações de XBT e CTD. Para investigar as questões de interesse, foram utilizados os métodos Decomposição de Modo Empírica em conjunto e Correlação intrínseca dependente do tempo. A combinação desses métodos com observações descritivas forneceu uma grande quantidade de informações acerca da dinâmica na quebra da plataforma/talude e sua influência sobre a distribuição dos organismos. Os processos hidrodinâmicos dominantes foram associados à forçante de maré e propagação de ondas internas devido à interação da Subcorrente Norte do Brasil com a topografia. Esses processos influenciaram a estratificação da coluna d’água através da fragmentação da termoclina. Foram identificadas influências diretas e indiretas da hidrodinâmica na distribuição dos organismos ao longo da coluna d’água na região do talude. A influência direta foi evidenciada nos primeiros metros e em profundidade em momentos distintos, revelando uma certa característica nictimeral. Durante a noite, nos primeiros metros, os organismos evitam regiões com correntes resultantes de onda internas. Em profundidade, durante o dia, provavelmente os mesmos organismos que evitam as correntes, buscam abrigo em camadas com menores intensidades de correntes. Contudo, ainda se faz necessária uma ferramenta estatística robusta que considere a forma dos perfis verticais acústicos para comparação com as correntes. Em futuras investigações, a extração de grupos específicos de organismos permitirá um maior refinamento na descrição das respostas à hidrodinâmica em diferentes classes e tamanhos e ao longo da cadeia trófica.

Palavras-chave: Interações biofísicas. Sudoeste do Atlântico Tropical. Fluxos *cross-shelf*. Dinâmica da quebra da plataforma/talude. Correntes de borda oeste.

ABSTRACT

The marine life dynamics in an ecosystem are extremely complex and involve not only trophic interactions, but also responses to environmental variations at different scales of time and space. In addition, the hydrodynamics of western boundary currents interacting with the slope increases the complexity of marine organisms' responses. This work aimed to investigate the hydrodynamic processes acting on the oceanic slope in front of Tamandaré (Pernambuco) on a submesoscale frame and their influence on the distribution of living organisms within a nocturnal period. Data of hydro acoustics, currents, salinity and sea surface temperature recorded during the execution of 15 "magic square" transects (~26 hours) in the ABRAÇOS 2 campaign (Acoustics along the BRAzilian COaSt) were used, as well as XBT and CTD stations. To investigate the issues of interest, the Ensemble Empirical Mode Decomposition and the Time-dependent Intrinsic Correlation (TDIC) methods were used. The combination of these methods with descriptive observations was able to provide a large amount of information about the dynamics in the shelf-break/slope zone and its influence on the distribution of organisms. The major hydrodynamic processes observed were associated with tidal forcing and internal wave propagation due to the interaction of the North Brazilian Under-current with topography. These processes influenced the stratification of the water column through thermocline fragmentation. Direct and indirect influences of hydrodynamics on the distribution of the organisms in the water column were identified on the slope region. The indirect influence was evidenced by the stratification of the layers with accumulation of organisms concomitantly with the fractured stratification of the thermocline. The direct influence was evidenced in the first meters and in depth at different moments, revealing a nycthemeral relationship. During the night, in the first meters, the organisms avoid regions with currents resulting from internal waves. At depth during the day, probably the same organisms that avoid currents seek shelter in layers with lower current intensities. However, a robust statistical tool that considers the shape of the vertical acoustic profiles for comparison with the currents is still needed. In future investigations, the extraction of specific groups of organisms will allow further refinement in the description of hydrodynamic responses in different classes and sizes and along the trophic chain.

Keywords: Biophysical interactions. Southwestern Tropical Atlantic. Cross-shelf flows. Shelf-break/slope dynamics. Western boundary currents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização dos transectos “retângulo mágico” (MGRT), entre 34,785°W e 34,684°W e 8,73°S e 8,711°S e das estações de CTDO (ST1, 2, 6, 8, 10) e XBT (X1-X5) do ABRAÇOS 2, costa-fora do município de Tamandaré (Pernambuco).....	24
Figura 2 -	Sistema de correntes superficiais e subsuperficiais (tracejado) e temperatura média da superfície do mar do Atlântico Tropical.....	25
Figura 3 -	Projeção do “retângulo mágico” (MGRT) sobre a batimetria na área de estudo extraída do GEBCO (WEATHERALL et al., 2015), com resolução de 30''. Setas tracejadas indicam posição dos canais profundos sul e norte, as setas cheias apontam as feições da Elevação de Gaibu e do Platô de Pernambuco.....	26
Figura 4 -	Diagrama do sistema da ecossonda EK60 da SIMRAD. (A) Unidade de Display, (B) Unidade de processamento, (C) Ethernet switch, (D) Transceptores e (E) Transdutores.....	28
Figura 5 -	Target Strength (TS) de alguns grupos de organismos em diferentes frequências.....	32
Figura 6 -	Esquema representando metodologia EEMD/TDIC.....	37
Figura 7 -	Esquema para cálculo da velocidade vertical na camada i para o n-ésimo retângulo mágico.....	38
Figura 8 -	Perfis verticais de salinidade (a), temperatura (b), anomalia de densidade potencial (c) frequência de Brunt-Väisälä quadrada (d) para estações de CTD e perfil de temperatura para os perfis.....	41
Figura 9 -	Perfis de salinidade (a), temperatura (b) densidade (c) e frequência de Brunt Väisälä (d) das estações ST2 e ST6.....	42
Figura 10 -	Velocidade aSB da corrente em 3D (esquerda) com localização do perfil de XBT X1 (a) e X5 (b); perfil de temperatura do XBT (c) e de cisalhamento da corrente (d).....	43
Figura 11 -	Perfis verticais de temperatura (a) e corrente aSB (b) e cSB (c) das estações X2 a X5.....	43

Figura 12 -	Componente cSB - U (a), aSB - V (b), cisalhamento vertical da corrente absoluta (c) e média vertical por profundidade das componentes U (azul) e V (preta).....	45
Figura 13 -	Série temporal da média da componente U (azul) e V (preta) para os primeiros 50m (a), corrente de maré U-tide (azul) e V-tide (preto) (b), salinidade (c) e temperatura (d) da superfície do mar.....	46
Figura 14 -	Corrente vertical (em 10^{-3} m.s^{-1}) (a) e corrente de maré cSB e aSB do modelo TPXO (b).....	47
Figura 15 -	Resultado da EEMD para corrente aSB (V).....	48
Figura 16 -	Resultado da EEMD para a componente V-tide da corrente de maré.....	49
Figura 17 -	Correlação entre a corrente aSB (IMF7) e a corrente de maré V-tide (IMF7) obtida pela TDIC.....	49
Figura 18 -	Correlação entre a corrente aSB (IMF8) e a corrente de maré V-tide (IMF7) obtida pela TDIC.....	51
Figura 19 -	Correlação entre a corrente aSB (IMF7 + IMF8) e a corrente de maré V-tide (IMF7) obtida pela TDIC.....	51
Figura 20 -	Correlação entre a corrente aSB (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.....	52
Figura 21 -	Correlação entre a corrente aSB (IMF6) e a batimetria obtida pela TDIC.....	52
Figura 22 -	Resultado da EEMD para corrente cSB (U).....	53
Figura 23 -	Correlação entre a corrente cSB U (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC (a) e representação da corrente cSB nos momentos de alta correlação na enchente (b) e anti-correlação na vazante (c).....	54
Figura 24 -	Resultado da EEMD para a componente U-tide da corrente de maré.....	55
Figura 25 -	Correlação entre a corrente de maré U-tide (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.....	55
Figura 26 -	Resultado da EEMD para a salinidade da superfície do mar.....	56
Figura 27 -	Correlação entre a salinidade da superfície do mar (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.....	57
Figura 28 -	Correlação entre a salinidade da superfície do mar (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.....	57
Figura 29 -	Resultado da EEMD para a temperatura da superfície do mar.....	58

Figura 30 -	Correlação entre a temperatura da superfície do mar (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.....	59
Figura 31 -	Correlação entre a temperatura da superfície do mar (IMF6) e a batimetria obtida pela TDIC.....	59
Figura 32 -	Ecointegração para frequência de 38kHz (a), 79kHz (b), 120kHz (c) e 200kHz (d).....	60
Figura 33 -	Perfis médios e desvio padrão (sombreado) do Sv para a noite (a) e dia (d).....	61
Figura 34 -	MGRT 1 cardumes (a-c) e nuvem de migração nictimeral (linha vermelha).....	62
Figura 35 -	MGRT 3 e perfil de temperatura do XBT X1 (a) e MGRT 4 e perfil de temperatura do XBT X3 (b).....	63
Figura 36 -	MGRT 2 em duas dimensões (a) e em três dimensões (c) e MGRT 4 em duas dimensões (b) e três dimensões (d).....	64
Figura 37 -	MGRT 5 (a) MGRT 6 (b) e MGRT 7 (c).....	65
Figura 38 -	MGRT 8 (a) e MGRT 9 (b).....	66
Figura 39 -	MGRT 10 (a) e MGRT 11 em duas dimensões (b) e três dimensões (c) perfil médio da velocidade aSB é apresentado a direita e instantânea em três dimensões para MGRT 11 (d).....	67
Figura 40 -	MGRT 12 (a), MGRT 13 (b) e MGRT 14 (c). O perfil médio da velocidade aSB é apresentado a direita.....	68
Figura 41 -	MGRT 15. Linha vermelha destaca migração nictimeral.....	69
Figura 42 -	Serie temporal da média dos primeiros 50 metros da biomassa acústica usada para as frequências de 38, 70, 120 e 200 kHz.....	70
Figura 43 -	Resultado da EEMD para a biomassa acústica (Sv) para a frequência de 38 kHz.....	10
Figura 44 -	IMF4 da biomassa acústica (vermelho) e batimetria (preto, IMF5 *10 ⁻³).....	71
Figura 45 -	Correlação entre a biomassa acústica (IMF6) e a batimetria obtida pela TDIC.....	72
Figura 46 -	Modos de variabilidade de 16min (IMF3) da biomassa acústica em 38, 70, 120 e 200 kHz.....	73

Figura 47 -	Ecograma bruto mostrando os ecos na quebra da plataforma para dois momentos do dia 12 às 8:25 (acima) e 8:50 (abaixo).....	73
Figura 48 -	Ecograma bruto mostrando os ecos na quebra da plataforma para três momentos durante o dia 12 às 1:30 (acima), 5:00 (centro) e 6:40 (abaixo).....	74
Figura 49 -	Correlação entre a biomassa acústica (IMF5) e a corrente aSB (IMF4) pela TDIC.....	75
Figura 50 -	Relações indiretas (a) e diretas para os primeiros 50m (b) e em profundidade (c) entre a hidrodinâmica e a biomassa acústica.....	79
Figura 51 -	Velocidade vertical e momentos de downwelling (a) e suas forçantes cSB (b) e aSB (c).....	81
Figura 52 -	Velocidade vertical (a) e sobreposição do modo 5 da velocidade cSB (IMF5), soma dos modos 7 e 8 da corrente aSB (IMF7+IMF8) e da variação da batimetria (b).....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Respostas acústicas e referências de trabalhos com modelos teóricos, experimentos e resultados de medições in situ de propriedades acústicas dos principais grupos de organismos.....	33
Tabela 2 -	Percentual de variância (Var), período médio (Período) e máxima amplitude (MA) para as IMFs obtidas da EEMD da corrente cSB (U), corrente aSB (V), componentes da maré (U-tide e V-tide), salinidade (SSS) e temperatura (SST) da superfície do mar.....	50
Tabela 3 -	Percentual de variância (Var) e período médio (Período) e variância redistribuída para as IMFs obtidas da EEMD da biomassa acústica na frequência de 38 kHz.....	71

LISTA DE SIGLAS

ABRAÇOS	Projeto Acústica ao longo da Costa do Brasil (<i>Acoustics along the BRAzilian COaSt</i>)
ADCP	Perfilador hidroacústico de correntes (<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i>)
aSB	Corrente paralela à quebra da plataforma (<i>along-shelf break</i>)
CCNE	Contra-corrente Norte Equatorial
cCSE	Ramo central da Corrente Sul Equatorial
CFO	Corrente de Fronteira Oeste
CI	Índice de Correlação (<i>Correlation Index</i>)
CNB	Corrente Norte do Brasil
CNE	Corrente Norte Equatorial
cSB	Corrente perpendicular à quebra da plataforma (<i>cross-shelf break</i>)
CTD	Condutividade, Temperatura e Profundidade (<i>Conductivity, Temperature Depth</i>)
DG	Domo da Guiné
EBM	Gerenciamento Baseado no Ecossistema (<i>Ecosystem Based Management</i>)
EEMD	Decomposição de Modo Empírica em conjunto (<i>Ensemble Empirical Mode Decomposition</i>)
EMD	Decomposição de Modo Empírica (<i>Empirical Mode Decomposition</i>)
ES	Organismos com concha elástica (<i>elastic shell</i>)
FAROFA	Projeto Acústica de Peixes ao redor de Fernando de Noronha (<i>Fish Acoustics aROund Fernando de Noronha</i>)
FBV	Frequência de Brunt-Väisälä quadrada
FL	Organismos que parecem fluidos (<i>fluid-like</i>)
GB	Organismos gelatinosos com gás (<i>gas bearing</i>)
IEA	Avaliação Integrada do Ecossistema (<i>Integrated Ecosystem Assessement</i>)
IMF	Função do Modo Intrínseco (<i>Intrinsic Mode Function</i>)
LMI-TAPIOCA	Laboratório Misto Internacional – Laboratório Interdisciplinar de dinâmica física, biogeoquímica, ecológica e humana do Atlântico Tropical (<i>Tropical Atlantic Interdisciplinary laboratory on physical, biogeochemical, ecological and human dynamics</i>)

MGRT	Retângulo Mágico (<i>MaGic RecTangle</i>)
MVBS	Volume médio da força de retroespalhamento (<i>Mean Volume Backscattering Strength</i>)
NASC	Coeficiente de dispersão da área náutica (<i>Nautical Area Scattering Coefficient</i>)
nCSE	Ramo norte da Corrente Sul Equatorial
QPT	Zona da quebra da plataforma/talude continental
REVIZEE	Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva
SCE	Sub-corrente Equatorial
SCNB	Sub-Corrente Norte do Brasil
SCNE	Sub-corrente Norte Equatorial
sCSE	Ramo e sul da Corrente Sul Equatorial
SCSE	Sub-corrente Sul Equatorial
SSS	Salinidade da Superfície do Mar (<i>Sea Surface Salinity</i>)
SST	Temperatura da Superfície do Mar (<i>Sea Surface Temperature</i>)
TDIC	Correlação intrínseca dependente do tempo (<i>Time Dependent Intrinsic Correlation</i>)
TS	Força do alvo (<i>Target Strength</i>)
XBT	Batitermógrafo descartável (<i>expendable bathythermograph</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVO GERAL	23
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1	ÁREA DE ESTUDO	24
3.2	DADOS	27
3.3	HIDROACÚSTICA.....	28
3.4	PROCESSAMENTO DE DADOS.....	34
3.5	ANÁLISE DE DADOS	34
4	RESULTADOS	40
4.1	ESTRUTURA TERMOHALINA E HIDRODINÂMICA.....	40
4.2	HIDROACÚSTICA E INTERAÇÕES BIOFÍSICAS	59
5	DISCUSSÃO	76
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
	REFERÊNCIAS.....	88

1 INTRODUÇÃO

A região da quebra da plataforma, também conhecida como plataforma externa, é a zona de transição entre a região nerítica e oceânica. Na área adjacente à quebra da plataforma, em direção ao oceano, se encontra o talude continental que é uma região de acentuado gradiente batimétrico que marca a transição entre a topografia plana da plataforma continental e o assoalho oceânico (BOUMA, 1990; CACCHIONE *et al.*, 2002). A zona compreendida pela quebra da plataforma/talude (QPT) apresenta elevada complexidade devido a interação de processos hidrodinâmicos em diferentes escalas temporais (horas-meses) e espaciais (metros-quilômetros) (HUTHNANCE, 1995; LAMB, 2013; BRINK, 2016).

Um dos principais fluxos de mesoescala de O(10-200km) que podem ser influenciados localmente pela presença de feições topográficas são as correntes de fronteira oeste (CFOs). As CFOs são correntes oceânicas intensas e estreitas encontradas nas bordas oeste dos principais giros oceânicos. Essas correntes são amplamente estudadas devido à sua importância no clima (WU *et al.*, 2012; HU *et al.*, 2015; SEAGER; SIMPSON, 2016; SHEARS; BOWEN, 2017), potencial de mistura (JING; WU, 2014; NAGAI *et al.*, 2017) e complexidade não-linear em baixas latitudes (HOLLAND, 1972; HUTHNANCE, 1984; CESSI; IERLEY, 1993; NAGAI *et al.*, 2017). A interação dessas correntes com o talude pode alterar as características das massas d'água em direção à plataforma e/ou ao oceano através da geração de vórtices, frentes, filamentos, cisalhamento horizontal (YANAGI, 1987; GAWARKIEWICZ, 1991; HUTHNANCE, 1995; GULA *et al.*, 2015; BRACCO *et al.*, 2016), ou até promover afloramentos através do cisalhamento de fundo (OKE; MIDDLETON, 2000; ROUGHAN; MIDDLETON, 2002; HYUN; HE 2010; CASTELAO, 2011; SCHAEFFER *et al.*, 2013).

As correntes de maré também podem interagir com a feição da QPT e gerar onda internas que podem ser propagadas em direção à costa e serem ou não refletidas em direção ao oceano (LAMB, 2013). Embora a questão de como se dá a dissipação de energia das marés quando atingem a QPT ainda esteja sob investigação (NASH *et al.*, 2007; MARTINI *et al.*, 2011; LEGG, 2014), é bem sabido que a ocorrência do colapso de uma onda interna na quebra da plataforma pode dissipar a energia e causar uma elevação e/ou quebra da forte estratificação da termoclina (NAVROTSKY *et al.*, 2004; GRADOS *et al.*, 2016; NAZARIAN; LEGG, 2017). Adicionalmente, a interação entre as marés e as ondas internas também pode afetar a dinâmica das CFOs (DAVIS *et al.*, 2008; NAGAI *et al.*, 2017) o que, por sua vez, aumenta a complexidade dos processos ocorrendo na região da QPT.

Uma outra importante consequência da dinâmica na QPT é a geração de correntes perpendiculares à isóbata da quebra da plataforma (*cross-shelf break* - cSB). Essas correntes podem influenciar a estratificação, mistura e transporte de massas d'água que mantêm as trocas entre o mar aberto e a plataforma (BRINK, 2016; SCHAEFFER *et al.*, 2013). Até mesmo quando as correntes cSB são menos intensas do que as correntes paralelas à isóbata da quebra (*along-shelf break* – aSB), elas podem representar um transporte significativo através das isóbatas (BRINK, 2016). Uma vez que se tenha algum processo que provoque o afloramento das águas mais profundas na região do talude, as correntes cSB podem contribuir com o transporte dessas águas ricas em nutrientes para regiões da plataforma e da quebra, favorecendo localmente a produção primária (MIZOBATA *et al.*, 2008; FOURNIER *et al.*, 1977; MARRA *et al.*, 1990). Algumas vezes, dependendo da frequência desses eventos, até os níveis tróficos superiores podem ser favorecidos (SCHNEIDER, 1982; MUNK *et al.*, 1995). Adicionalmente, esse potencial transporte cSB pode contribuir com transporte de calor para a plataforma influenciando as trocas oceano-atmosfera, tendo implicações para a variabilidade climática local e o balanço de fluxos de calor regional (HUTHNANCE, 1995; SILVA *et al.*, 2009a; GAWARKIEWICZ *et al.*, 2018; THOMPSON *et al.*, 2018).

Apesar de todas essas implicações, existe um desafio observacional na amostragem da região QPT relacionado a intermitência e grande deslocamento horizontal dos processos ocorrendo em diferentes escalas de tempo (HUTHNANCE, 1995; BRINK, 2016). O que significa que a maioria dos métodos tradicionais de observação podem não ser robustos o suficiente para capturar a dinâmica nessa região (BRINK, 2016). Por exemplo, na compreensão da dinâmica de correntes que dependem do tempo como as correntes de maré, é preciso uma maior resolução amostral temporal e espacial da ordem de $O(\sim 1\text{dia})$ e $O(1\text{-}10\text{km})$ na região da QPT (HUTHNANCE, 1995).

Com relação aos fluxos cSB, dependendo da estratificação e da intensidade dos ventos, uma complexidade pode ser adicionada devido a separação dos fluxos superficial e interior na região da plataforma, o que implica na necessidade de maior resolução vertical de correntes (DEVER, 1997; LIU; WEISBERG 2005). Além disso, existe ainda uma importante variabilidade associada às frentes de maré dentro de um ciclo de maré (MANN; LAZIER, 2006). A escala observacional para esses fenômenos de maré e de ondas internas muitas vezes se sobrepõe à submesoescala com ordem de $O(0.1\text{-}10\text{km})$ e $O(1\text{dia-poucas semanas})$. O problema com a submesoescala reside no fato de que, embora o uso de modelos oceânicos e o

sensoriamento remoto tenham sido fundamentais para a compreensão dos processos de maior escala (JOSEPH, 2014; FOX-KEMPER *et al.*, 2019), altímetros não resolvem atualmente características de velocidade com resoluções inferiores a ~100 km (LÉVY *et al.*, 2018) e ainda há necessidade de observações para melhorar as simulações em submesoescala (FOX-KEMPER *et al.*, 2019). Portanto, para preencher essa lacuna de conhecimento, uma decisão consciente para maiores resoluções espaciais e temporais deve ser tomada, além da criatividade no desenho amostral (BRINK, 2016), a fim de poder investigar os processos de alta frequência na região QPT.

Assim como os processos hidrodinâmicos interagindo no talude, a dinâmica dos organismos em um ecossistema aquático é extremamente complexa e envolve além de interações tróficas, respostas às variações ambientais em diferentes escalas de tempo como as migrações verticais diárias relacionadas ao fotoperíodo, as fases da lua (e variações de maré), a sazonalidade e as variações climáticas interanuais (RICKLEFS, 2003).

Considerações explícitas sobre a estrutura espacial do ecossistema vêm desempenhando um papel importante nos esforços para compreender a complexidade dos processos ecológicos (DALE; FORTIN, 2014). A distribuição dos organismos em *patches*, formando gradientes ou outros tipos de estruturas espaciais, é dada pelas forçantes físicas e pelo comportamento do organismo, com o último aumentando em importância a cada passo da cadeia trófica (KOTLIAR; WIENS, 1990; LEGENDRE; FORTIN, 1989; MARGALEF, 1979).

Em menores escalas temporais, sabe-se que os movimentos verticais (natação ativa nictimeral) e horizontais, provocados principalmente pela ação de correntes, de organismos como o zooplâncton, atuam como um elo energético que transporta biomassa do ambiente mesopelágico para cima da termoclina e da zona oceânica para a nerítica (ou vice-versa) (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005).

Alterações na hidrodinâmica, na estratificação, ou no transporte de calor na coluna d'água podem afetar direta ou indiretamente os diferentes componentes do ecossistema marinho, implicando também nos recursos pesqueiros (GAWARKIEWICZ *et al.*, 2018). Portanto, é de extrema importância o entendimento de como se dá a distribuição dos organismos em função da hidrodinâmica (LÉVY *et al.*, 2018), ainda mais diante do contexto atual de mudanças climáticas. Nos últimos anos, a quantidade dos estudos que objetivam entender se e como os processos físicos influenciam na distribuição e abundância da biota tem crescido significativamente (BERTRAND *et al.*, 2014; LÉVY *et al.*, 2012; 2018; MAHADEVAN, 2016;

PERRUCHE *et al.*, 2011; PRAIRIE *et al.*, 2012; SIEGEL *et al.*, 2001; TAYLOR, 2016). Entretanto, as relações observadas nesses estudos são dependentes da característica local da hidrodinâmica e também das escalas investigadas.

Como vimos, os processos hidrodinâmicos na região da QPT ocorrem em diferentes escalas espaço-temporais, e por consequência a resposta dos organismos também está condiciona às diversas escalas (na horizontal e vertical). Isto gera problemáticas na determinação das relações entre as escalas física e biológica e a escala de amostragem (LEGENDRE; DEMERS, 1984). Uma forma de reduzir este problema é fazer bom uso dos métodos indiretos como os métodos acústicos na coluna d'água. A hidroacústica permite o estudo simultâneo de uma variedade de componentes do ecossistema ao longo de uma variedade de escalas (BERTRAND *et al.*, 2008a; 2014) que podem ser reamostradas de forma a serem compatíveis com a resolução dos dados hidrodinâmicos. Adicionalmente, devido a resposta dos organismos às variáveis ambientais, algumas estruturas físicas como ondas internas e “clinas” (e.g. oxiclina, picnoclina, etc.) podem ser observadas e extraídas do sinal acústico (BERTRAND; BALLÓN; CHAIGNEAU, 2010; STRANNE *et al.*, 2017).

Poucos estudos se utilizaram de métodos hidroacústicos no Brasil. Na região sul e sudeste, alguns estudos foram realizados a partir da década de 70, neles a hidroacústica foi utilizada como ferramenta para avaliação dos recursos pesqueiros direcionada para espécies chave, entretanto sem avaliar o ecossistema de forma integrada (RIJAVEC; AMARAL, 1977; RAHN; SANTOS, 1978; MATSUURA *et al.*, 1985; CASTELLO *et al.*, 1991; LIMA; CASTELLO, 1994).

Os esforços mais recentes no Nordeste do Brasil estão associados ao projeto ABRAÇOS (*Acoustics along the BRAzilian COaSt*) e FAROFA (*Fish Acoustics aROund Fernando de Noronha*) (CANALES, 2017; BERTRAND *et al.*, 2017). Canales *et al.* (2017) utilizaram as observações de acústica do projeto ABRAÇOS e elaboraram um algoritmo para caracterização dos diferentes grupos de organismos (peixes, gelatinosos, zooplâncton e algas) para as ilhas oceânicas do Nordeste do Brasil. Isto constitui uma contribuição significativa que irá auxiliar na interpretação das observações de hidroacústica para outras regiões do Nordeste inseridas no mesmo projeto. O projeto ABRAÇOS surgiu como uma grande oportunidade para investigar os processos de “*bottom-up structuring*”. A área de estudo compreendeu o Nordeste do Brasil do estado de Alagoas ao estado do Rio Grande do Norte e uma área oceânica incluindo os Arquipélagos de Fernando de Noronha, o Atol das Rocas e os montes submarinos oceânicos.

Durante as duas campanhas do ABRAÇOS foram realizadas amostragens de parâmetros físicos, químicos, biológicos, acústicos de multifrequência e humanos o que contribui para um estudo do ecossistema de forma integrada (BERTRAND, 2015; 2017).

Voltando à problemática de amostrar na região do QPT, uma amostragem do tipo “quadrado mágico” (*magic square*) parece ser uma opção viável para diminuir esse problema. Esse tipo de amostragem fornece uma escala de trabalho apropriada para observar a interação de correntes e a distribuição de organismos em ambas as regiões de quebra da plataforma e do talude. Nessa estratégia amostral a embarcação repete transectos seguindo um polígono predefinido enquanto os dados de variáveis oceânicas são obtidos (BERTRAND *et al.*, 2008a). Isto resulta e uma representação tridimensional de “caixas” compostas por 4 transectos representando as duas dimensões (horizontal e vertical) para cada repetição do polígono. Isto é, uma representação bidimensional do dado vertical (ou unidimensional da horizontal), que varia no espaço e no tempo dentro da mesma região (i.e., informações eulerianas e lagrangeanas). De forma adicional, as dimensões horizontais do quadrado mágico podem ser ajustadas de forma a capturar as feições e processos de interesse dentro das limitações de custos do levantamento oceanográfico. Durante a primeira pernada do projeto ABRAÇOS 2 (BERTRAND, 2017), foi realizada uma amostragem do tipo “quadrado mágico” em uma região no litoral sul do estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil) abrangendo a região QPT em frente ao município de Tamandaré (por volta de 8.72°S e 34.734°W).

As águas da plataforma e oceânicas na região leste do Nordeste do Brasil, são consideradas oligotróficas com uma teia trófica diversificada e baixa produtividade, onde a circulação em larga escala é dominada pelo regime das CFOs devido à Sub-corrente Norte do Brasil (SCNB) (EKAU; KNOPPERS, 1999; ARAUJO *et al.*, 2018). Mais recentemente, Eduardo *et al.* (2018) observaram elevada diversidade e densidade de peixes em profundidades entre 30-60m na região do Nordeste do Brasil, levantando a importância da região de quebra e do talude como áreas prioritárias para conservação. Além disso, mudanças positivas na diversidade de peixes foram encontradas sul de 8°S (EDUARDO *et al.*, 2018), que corresponde a região sub influência do Platô de Pernambuco. Esta marcante feição de fundo possui profundidades que se estendem em algumas porções de 700 até 3000m e morfologia complexa do fundo com canais profundos, elevações submarinas e corrugações junto ao talude (BUARQUE *et al.*, 2016). Ainda na região sob influência do Platô, estudos prévios observaram um elevado gradiente térmico na porção sul da plataforma continental de Pernambuco, próximo

à quebra da plataforma, além de uma corrente transversal persistente em direção à costa sem relação com a circulação do vento (DOMINGUES *et al.*, 2017). Isto leva a hipótese de que algum processo hidrodinâmico na quebra da plataforma/talude pode estar alterando a hidrologia local e favorecendo a ocupação desse espaço pelos organismos marinhos.

Desta forma, o presente trabalho visa investigar a variabilidade da hidrodinâmica na região da QPT em resolução espacial de submesoescala, bem como compreender como esta variabilidade influencia a distribuição do organismo na coluna de água dentro de um período nictimeral.

2 OBJETIVO GERAL

Investigar os processos físicos em submesoescala atuantes no talude oceânico em frente ao Município de Tamandaré - PE e determinar sua influência sobre a distribuição de organismos vivos dentro de um período nictimeral.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.** Caracterizar os processos hidrodinâmicos observados, assim como suas possíveis forçantes ao longo do período nictimeral;
- 2.** Comparar a biomassa acústica observada com as correntes para avaliar qual a contribuição da hidrodinâmica para os padrões observados.

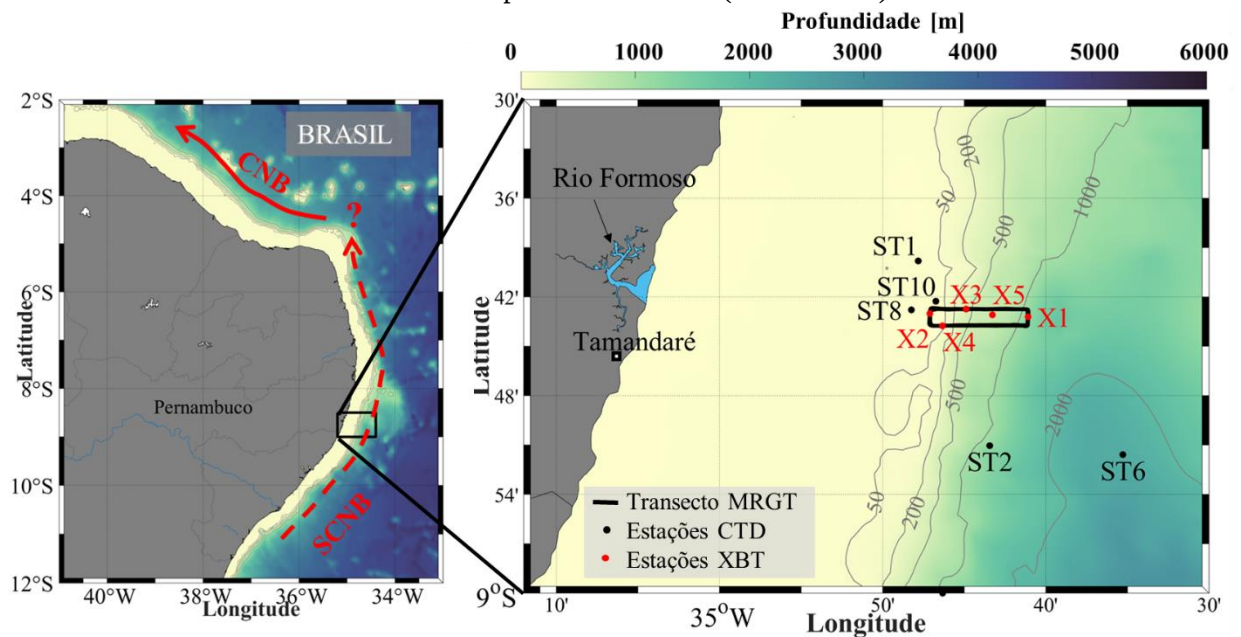
3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção foi dividida em cinco sub-tópicos referentes à caracterização da área de estudo (3.1), dos dados utilizados (3.2), do método hidroacústico (3.3), do processamento de dados (3.4) e da análise dos dados (3.5).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreendeu à uma região no talude *offshore* do município de Tamandaré, no Litoral Sul de Pernambuco no Nordeste brasileiro, na latitude média de 8.7°S. A sazonalidade da região Nordeste é regida pela zona de convergência intertropical (ZCIT), com um período seco de setembro a março e chuvoso de abril a agosto (GOMES; DA SILVA, 2018). Em sub-superfície, a região é influenciada pela Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB), que passa junto ao talude continental (EKAU; KNOPPERS, 1999; ARAUJO *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2009b; VELEDA *et al.*, 2011). A SCNB é uma corrente de borda oeste com velocidades da ordem de 0.8 m.s^{-1} na profundidade do seu núcleo a 200 m (SCHOTT *et al.*, 2005). Esta corrente tem origem na bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial (sCSE) (SILVA *et al.*, 2009b). O período de maior/menor intensidade da SCNB ocorrem quando a posição da bifurcação da sCSE se encontra mais para sul/norte entre maio-julho/outubro-dezembro (VELEDA *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2009a; 2009b). A Fig. 1 apresenta a área de estudo com a localização das estações de CTD e XBT e dos transectos MGRT.

Figura 1 - Localização dos transectos “retângulo mágico” (MGRT), entre 34,785°W e 34,684°W e 8,73°S e 8,711°S e das estações de CTDO (ST1, 2, 6, 8, 10) e XBT (X1-X5) do ABRAÇOS 2, costa-fora do município de Tamandaré (Pernambuco).



Fonte: A autora (2020)

A Fig. 2 apresenta o sistema de correntes e a temperatura média da superfície do mar no Atlântico Tropical. O destaque em branco pontilhado representa a área de estudo, sob influência da Sub-corrente Norte do Brasil.

Figura 2 - Sistema de correntes superficiais e subsuperficiais (tracejado) e temperatura média da superfície do mar do Atlântico Tropical.

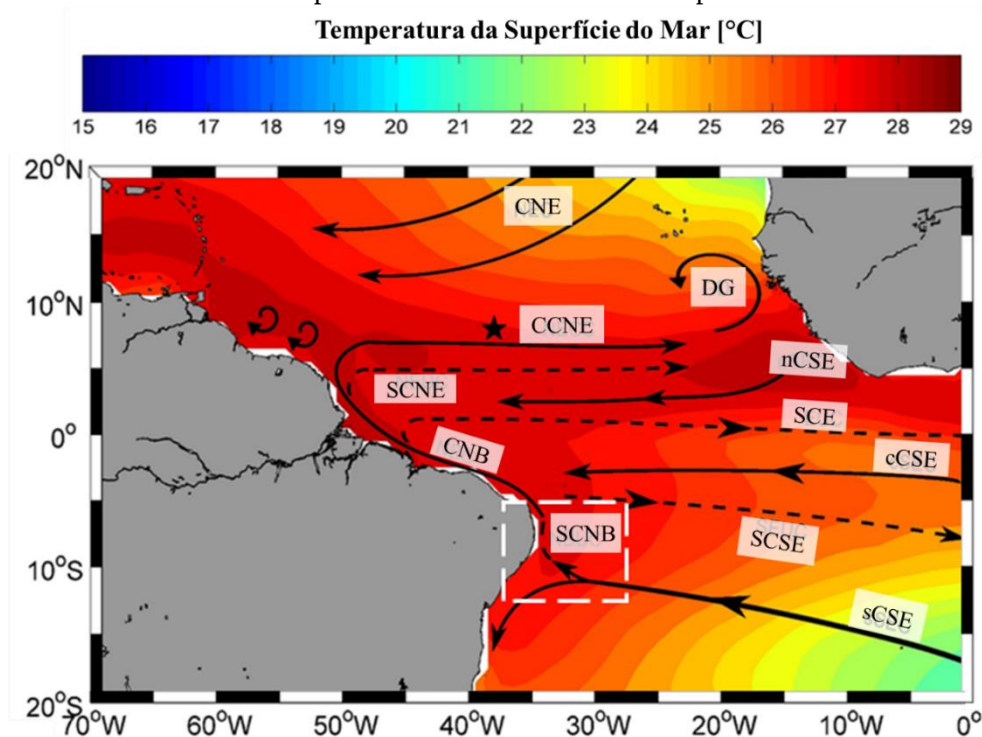


Figura apresenta: Corrente Norte Equatorial (CNE), Domo da Guiné (DG), Contra corrente Norte Equatorial (CCNE), Sub-corrente Norte Equatorial (SCNE), Ramo norte, central e sul da Corrente Sul Equatorial (nCSE, cCSE, sCSE), Sub-corrente Equatorial (SCE), Sub-corrente Sul Equatorial (SCSE), Corrente Norte do Brasil (CNB), Sub-Corrente Norte do Brasil (SCNB). Em destaque área de estudo sob influência da SCNB. Fonte: Bruto *et al.* (2017).

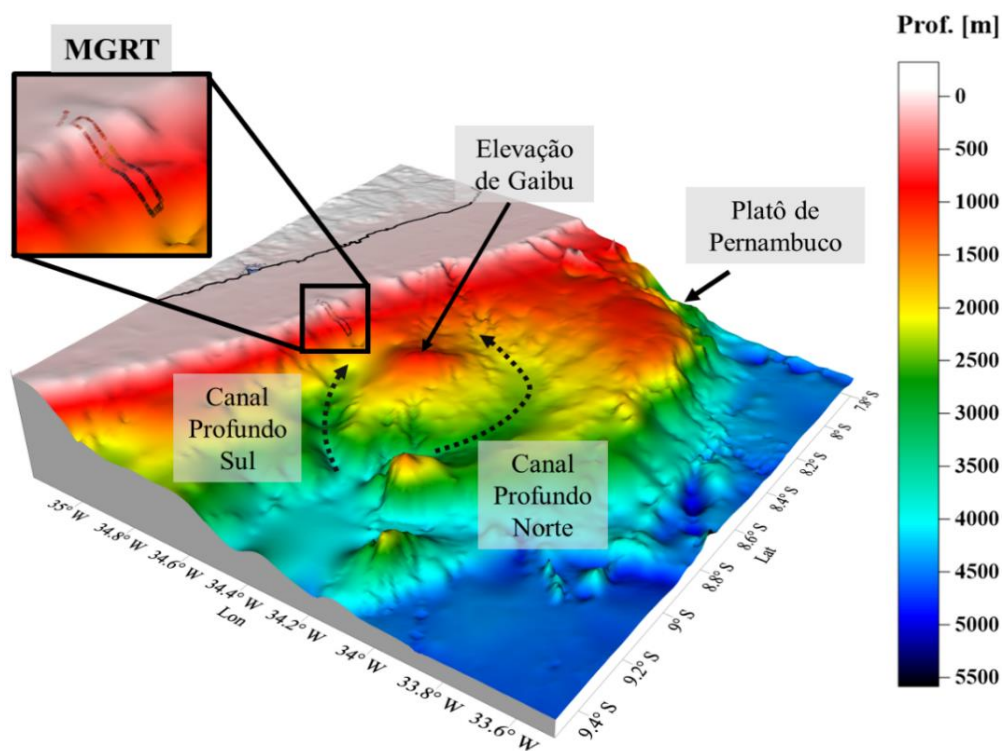
Na Plataforma continental de Pernambuco as temperaturas da superfície do mar atingem seu máximo em abril ($\sim 28.8^{\circ}\text{C}$) e mínimo em setembro ($\sim 26^{\circ}\text{C}$), com um atraso de 2 meses em relação à temperatura do ar. A salinidade apresenta pouca contribuição das águas costeiras, com valores elevados (>36) indicando trocas com a região oceânica adjacente. Os ventos predominantes são de leste ($\sim 7.5 \text{ m.s}^{-1}$) entre dezembro e janeiro, e de sudeste ($\sim 10 \text{ m.s}^{-1}$) entre agosto e setembro. O regime de maré corresponde à mesomaré semi-diurna com dominância das componentes M_2 e S_2 (DOMINGUES *et al.*, 2017).

Em termos da morfologia de fundo, segundo a classificação de Martins e Coutinho (1981), a área de estudo está localizada na província fisiográfica Cabo Calcanhar - Belmonte que corresponde a região entre Natal (RN) e Belmonte (BA). Essa província é caracterizada por

ocorrências bioconstrucionais (recifes) e a plataforma continental apresenta largura máxima de 42km e profundidade de até 60m. Em Pernambuco, a profundidade de quebra é de aproximadamente 50 metros de profundidade.

O Talude Continental é a feição fisiográfica com elevado gradiente batimétrico da Margem Continental, que se estende desde quebra da plataforma até o sopé continental (BOUMA, 1990). Em algumas regiões a declividade acentuada do Talude é interrompida pelo Platô de Pernambuco a mais importante feição desta região, composto por um nível superior situado entre 700 e 1.250 m de profundidade, além de um terraço inferior entre 2.000 e 2.400 m (ZEMBRUSCKY *et al.*, 1972; COUTINHO, 1996). O talude continental nas adjacências do Platô de Pernambuco tem largura entre 56 e 140 km (ZEMBRUSCKY *et al.*, 1972; COUTINHO, 1996). A Fig. 3 apresenta a localização do “retângulo mágico” (MGRT) projetada sobre a batimetria 3D, com lado de maior distância (perfil zonal) se estendendo desde a quebra da plataforma (~50 m) até o talude. O MGRT está inserido na região sob influência do Platô de Pernambuco e próximo a boca de um dos dois canais (Fig. 3) profundos separados pela Elevação de Gaibu (BUARQUE *et al.*, 2016).

Figura 3 - Projeção do “retângulo mágico” (MGRT) sobre a batimetria na área de estudo extraída do GEBCO (WEATHERALL *et al.*, 2015), com resolução de 30”. Setas tracejadas indicam posição dos canais profundos sul e norte, as setas cheias apontam as feições da Elevação de Gaibu e do Platô de Pernambuco.



Fonte: A autora (2020)

3.2 DADOS

A metodologia do “quadrado mágico” (Bertrand *et al.*, 2008a.) foi aplicada em uma região de QPT no litoral Sul de Pernambuco (34,785°W/34,684°W e 8,73°S/8,711°S; Fig. 1), em frente ao município de Tamandaré durante a pernada 1 da campanha do projeto ABRAÇOS 2 (Acoustics along the BRAzilian COaSt). Os transectos foram repetidos durante 26 horas (11-Abr-2017 19:17 a de 12-Abr-2017 20:45 GMT), resultando em quinze “retângulos mágicos” de 2km (transectos meridionais) por 11 km (transectos zonais) (MGRT, Fig. 1) com período médio de repetição de ~1h42min.

Os dados biológicos e hidrodinâmicos corresponderam aos dados de hidroacústica (SIMRAD EK60 multifrequência) e correntes (RDI ADCP), respectivamente. As medições de acústica foram feitas nas frequências de 38, 70, 120 e 200 kHz correspondentes à faixa operacional vertical de 500, 400, 200 e 120 metros de profundidade na coluna d’água, respectivamente. O ADCP de 75kHz foi programado com duas configurações, uma para profundidades menores que 150 metros (4m de resolução vertical) e outra para profundidades maiores que 150 metros (8m de resolução vertical), permitindo assim um maior detalhamento das correntes ao longo dos perfis.

De forma complementar, os dados de salinidade (termosalinógrafo SEABIRD SBE21) e temperatura da superfície do mar (sensor SEABIRD SBE38) e dados meteorológicos (velocidade e direção do vento) que foram registrados simultaneamente aos perfis “retângulo mágico”, além de estações de CTD da mesma campanha (ABRAÇOS 2 – St. 1, 2, 6, 8, 10 em abril de 2017; Fig. 1) auxiliaram na caracterização oceanográfica superficial e dos padrões verticais de densidade e composição das massas d’água costeiras e profundas da região de interesse. No entanto, como não houveram estações de CTD durante a execução do MGRT, lançamentos de *Expendable Bathythermographs* - XBT (X1 até X5 na Fig. 1) foram utilizados para auxiliar na caracterização do perfil vertical da temperatura na região do MGRT. Os lançamentos dos XBTs X1 até X4 foram realizados durante e o X5 logo após a execução dos transectos MGRT.

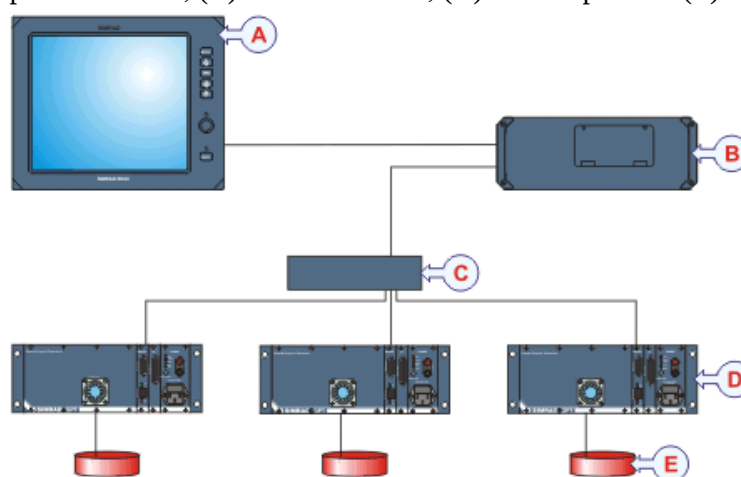
Para comparar com os dados de corrente observados, foram obtidas as correntes de maré e a amplitude dos componentes semi-diurnos (M_2 e S_2) do modelo de maré TPXO8-atlas com resolução de $1/30^\circ$ (EGBERT; EROFEEVA, 2002) para cada ponto no espaço e tempo dos dados do MRGT.

3.3 HIDROACÚSTICA

O som é uma onda que se propaga através de um meio elástico que pode ser espalhada, refletida ou absorvida. A perda de energia da onda sonora pelo espalhamento devido aos sólidos em suspensão, biota e gases ou pela conversão em calor parece ser um fator que aumenta a complexidade e a dificuldade da interpretação dos sinais acústicos e ao mesmo tempo, permite estimativas de características físicas e químicas do meio através de experimentos e parametrizações. A hidroacústica ativa se baseia no uso de ecossondas para transmissão de ondas sonoras, recepção e interpretação dos sinais de retroespalhamento (*backscattered*) acústico para a dedução de características do alvo de forma remota (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005).

A Fig. 4 apresenta um esquema básico de um sistema SIMRAD modelo EK60 (ecossonda). O sistema consiste em um ou mais transdutores para conversão de energia elétrica em pulso acústico e do eco acústico de volta para sinal elétrico, transceptores modulares que são amplificadores eletrônicos entre o transdutor e a saída do sonar, Ethernet switch para transmissão de dados, uma unidade de processamento, que pode ser um computador pessoal com elevada capacidade computacional, e um display. Os ecos detectados pela EK60 são processados como índice de reflexão individual (*Target Strength*, TS), ou como retroespalhamento volumétrico (S_v) (CALAZANS, 2011).

Figura 4 - Diagrama do sistema da ecossonda EK60 da SIMRAD. (A) Unidade de Display, (B) Unidade de processamento, (C) Ethernet switch, (D) Transceptores e (E) Transdutores.



Fonte: Manual de operação da EK60 da SIMRAD Inc.

Quando as ondas acústicas transmitidas pelo transdutor encontram um alvo, parte da energia incidente é espalhada, gerando uma onda secundária que se propaga em todas as direções para longe do alvo. A energia espalhada de volta para a fonte na mesma direção do

lóbulo central da onda transmitida (onde a energia do feixe é máxima) é chamada de energia de retroespalhamento (*backscattering energy*). Este componente do espalhamento total fornece o eco do sonar (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005).

O índice de reflexão (TS, Eq. 3.1) é uma medida logarítmica da proporção da energia incidente que é retroespalhada pelo alvo, que pode ser descrito em termos da área de seção transversal (σ_{bs}) responsável pelo retroespalhamento da energia acústica do alvo detectado. σ_{bs} é definido (Eq. 3.2) em termos da intensidade incidente (I_i) e da intensidade retroespalhada (I_b) das ondas acústicas, que é função da distância (R) do alvo na qual a intensidade é medida (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005; CALAZANS, 2011).

$$TS = 10\log_{10}(\sigma_{bs}) \quad [\text{dB}] \quad (\text{Eq. 3.1})$$

$$\sigma_{bs} = R^2(I_b/I_i) \quad [\text{m}^2] \quad (\text{Eq. 3.2})$$

O uso da escala logarítmica para TS é conveniente devido ao largo espectro de tamanhos que os organismos marinhos podem apresentar. Para quase todos os peixes, TS está dentro da faixa de -60dB a -20 dB com σ_{bs} abrangendo quatro ordens de grandeza, de 0.000001 a 0.01 m² (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005).

A intensidade da energia retroespalhada e consequentemente, TS, é uma função complexa do tamanho, forma, orientação de natação e das fisiologia e anatomia do organismo, bem como da frequência acústica ou comprimento de onda (STANTON; CHU, 2000; SIMMONDS; MACLENNAN, 2005).

Para avaliar a coluna d'água qualitativamente e quantitativamente aplica-se o método de integração que permite a estimativa da densidade e abundância dos organismos de interesse e se baseia em duas suposições: “1) os alvos devem estar distribuídos de maneira aleatória para refletir energia acústica de forma linear (...) e 2) a energia acústica não pode sofrer extinção ou espalhamento múltiplo” (CALAZANS, 2011). Se as premissas citadas são verdadeiras a integração da energia captada mantém a proporcionalidade com relação a biomassa.

A quantidade de energia integrada verticalmente dentro de camadas de integração pré-estabelecidas em um volume amostral (V_0) é representada por s_v (Eq. 3.3) ou S_v , quando é expressa em dB (Eq. 3.4). Essa medida de S_v é proporcional a biomassa contida nesse volume (V_0) e pode ser considerada como uma biomassa acústica.

$$s_v = \Sigma\sigma_{bs}/V_0 \quad [\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}] \quad (\text{Eq. 3.3})$$

$$S_v = 10 \log(s_v) \quad [\text{dB re } 1\text{m}^{-1}] \quad (\text{Eq. 3.4})$$

Ao final de uma unidade elementar de distância amostral (ESDU), normalmente 1 milha náutica, é calculado o valor médio de retroespalhamento por volume (*Mean Volume Backscattering Strength* - MVBS), que é a média aritmética dos valores integrados verticalmente (CALAZANS, 2011).

O MVBS pode ser convertido de volume para área, sendo obtido o coeficiente de dispersão da área náutica (*Nautical Area Scattering Coefficient* - NASC), em $\text{m}^2 \cdot \text{mn}^{-2}$. A conversão do NASC para densidade numérica pode ser realizada quando se sabe o índice de reflexão (TS) das espécies de interesse. Uma das maiores dificuldades práticas no método hidroacústico é que o sonar mede o sinal acústico de uma ou mais fontes cujas propriedades acústicas são desconhecidas. Enquanto o sonar pode ser calibrado e as perdas de propagação podem ser calculadas a partir do conhecimento da velocidade do som e do coeficiente de absorção, o maior desafio da acústica é identificar e quantificar os organismos que geram os sinais detectados pelo equipamento (CALAZANS, 2011). Uma das possibilidades que pode auxiliar nesta tarefa é a identificação dos organismos através da coleta local com redes de arrasto pelágico e amostras com rede de plâncton.

Estudos experimentais mostram que o TS depende do tamanho do peixe, mas há diferenças entre espécies para o mesmo tamanho de peixe, de forma que é mais viável classificá-los em grupos de espécies com propriedades acústicas similares, de acordo com o tipo de bexiga natatória possuída. Para o plâncton a tarefa de relacionar o TS com o tamanho de animais muito pequenos é muito mais complexa, por esse motivo os modelos teóricos são importantes e mais utilizados do que a experimentação quando comparado com os peixes (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005).

O plâncton pode ser considerado em grupos de acordo com a sua característica anatômica que determina como o eco é formado, ou seja, que apresentam respostas acústicas similares. Uma classificação mais antiga adotada por Stanton *et al.* (1994; 1996) classifica o zooplâncton como FL (*fluid-like*), como o krill e os copépodos, ES (*elastic shell*), como os gastrópodes, e GB (*gas bearing*) como os sifonóforos. No FL todo tecido mole contribui para o eco com um fraco retroespalhamento; no ES o eco vem principalmente da carapaça e; no GB o gás fornece um eco forte, mas a contribuição do corpo pode ser importante se a relação volume de gás/tecido for pequena. Além desses grupos, outro grupo importante do plâncton, os gelatinosos (sem gás) como as medusas, tem o TS muito menor do que o dos peixes devido ao elevado teor de água (>95%) em seus corpos, que faz com que a refletividade seja baixa

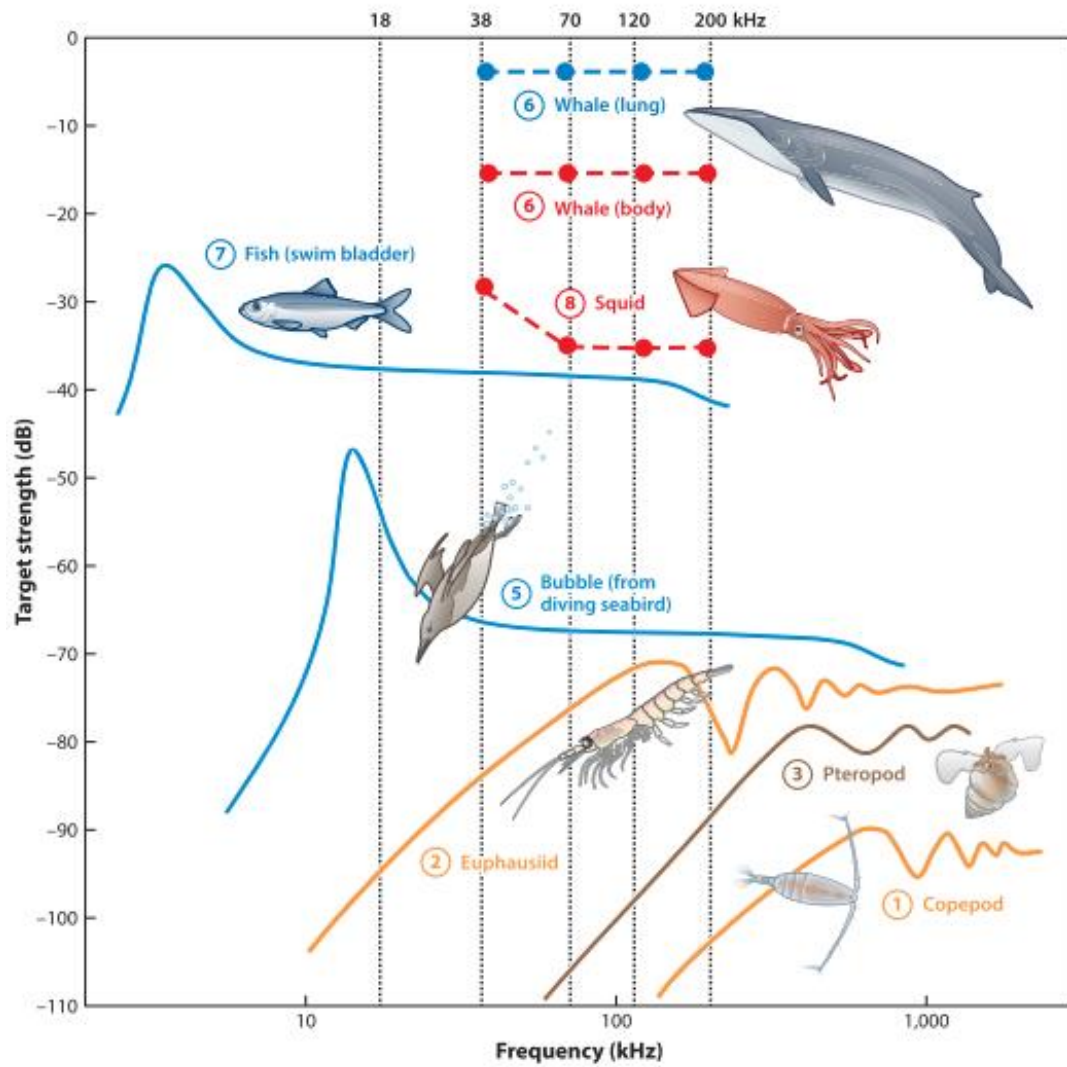
(MUTLU, 1996). A Tabela 1 exemplifica alguns modelos teóricos e trabalhos com experimentação que inferem as propriedades acústicas de alguns grupos de organismos.

Como uma proposição geral, se a intenção da campanha é detectar alvos grandes uma frequência relativamente baixa deve ser considerada e se os alvos pequenos são o principal interesse, então uma frequência maior pode dar melhores resultados. A distribuição de tamanho do zooplâncton pode ser determinada acusticamente, medindo-se S_v em várias frequências. Uma das vantagens do método hidroacústico é a possibilidade de utilizar ecosondas multifrequência sem ter que abrir mão de uma classe de tamanho, para se estudar a outra (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005). O uso de múltiplas frequências permite a observação de várias classes de organismos com respostas diferenciadas às diferentes frequências acústicas (BERTRAND *et al.*, 2008a; BENOIT-BIRD, 2001). A resposta de alguns organismos marinhos em diferentes frequências é exemplificada na Fig. 5.

Na literatura podem ser encontrados diversos exemplos da aplicação da hidroacústica de multifrequência (e.g. COCHRANE *et al.*, 1991; KORNELIUSSEN *et al.*, 2008; LEBOURGES-DHAUSSY *et al.*, 2009; WOILLEZ *et al.*, 2012) e de técnicas de análise de dados de multifrequência (e.g. KORNELIUSSEN; ONA, 2002; JECH; MICHAELS, 2006; JECH *et al.*, 2010; TRENKEL; BERGER, 2013). Entretanto, o uso de múltiplas frequências para distinção de organismos em nível específico é uma tarefa extremamente complexa e dependente do local, das espécies locais do tamanho e comportamento dos indivíduos.

No presente trabalho, foram utilizados os resultados da frequência de 38kHz da hidroacústica, em termos de biomassa acústica, para a caracterização e comparação com os dados hidrodinâmicos e as outras frequências foram utilizadas apenas no sentido de tentar discriminar os peixes, que geralmente apresentam resposta acústica é pouco variável entre as frequências de 38, 70 e 120 kHz e um pouco menor na frequência de 200kHz (BENOIT-BIRD, 2001).

Figura 5 - *Target Strength* (TS) de alguns grupos de organismos em diferentes frequências.



Fonte: Benoit-Bird (2001).

Tabela 1 – Resposta acústica e referências de trabalhos com modelos teóricos, experimentos e resultados de medições in situ de propriedades acústicas dos principais grupos de organismos.

Grupo de organismos	Resposta acústica	Referências
Peixes com bexiga-natatória	Resposta alta e homogênea em todas as frequências	Modelos: esfera (ANDREEVA, 1964); cilindro finito (CLAY, 1992); aproximações para esferoide prolato: Kirchhoff ray-mode (KRM) (MEDWIN; CLAY, 1998), Boundary element method (BEM) (FOOTE; FRANCIS, 2002), Fourier matching method (FMM) (REEDER <i>et al.</i> , 2004) Experimentos: 30 kHz Fedotova <i>et al.</i> (1983); 38kHz McClatchie <i>et al.</i> (1999); 38 e 120 kHz Nakken e Olsen (1977); 50 kHz Mukai e Iida (1996); 50 e 100 kHz Miyahana <i>et al.</i> (1986); 200 kHz Benoit-bird e Au (2001); 220 kHz Huang e Clay (1980)
Crustáceos (e.g. krill, copépodos)	Maior resposta em altas frequências do que baixas frequências	Modelo do cilindro deformado de comprimento finito: <i>modal-series-based theory</i> (STANTON, 1988); <i>distorted wave Born approximation</i> (DWBA) (MORSE; INGARD, 1968) e os modificados de Chu e Ye (1999) e Demer and Conti (2003); modelo de raios refletidos (STANTON <i>et al.</i> , 1993a, 1993b, 1998). In situ: 12, 50 e 208 kHz Cochrane <i>et al.</i> (1991) Experimentos: 79,103 e 169 kHz Greenlaw (1979)
Sifonóforos	Resposta muito maior em baixas frequências (<24kHz)	Modelos: combinação da teoria da esfera fluida (ANDERSON, 1950) com a <i>distorted wave Born approximation</i> (DWBA) (MORSE; INGARD, 1968) In situ: 120 kHz Warren <i>et al.</i> (2001)
Gelatinosos	Maior resposta em baixas frequências, principalmente em 38 kHz	Modelo: Stanton <i>et al.</i> (1998) In situ: 38 kHz Brierley <i>et al.</i> (2004); 18, 38 e 120 kHz Brierley <i>et al.</i> (2001, 2005); 38, 120, e 200 kHz Trevorrow <i>et al.</i> (2005)
Algas	Maior resposta em 70 kHz	Canales (2017, <i>apud</i> LEBOURGES-DHAUSSY <i>et al.</i> , 2016)

Fonte: A autora (2020)

3.4 PROCESSAMENTO DE DADOS

Os dados ADCP foram processados utilizando o pacote CASCADE seguindo Herbert *et al.* (2015). Como o polígono pré-definido para o MGRT foi orientado com o eixo principal perpendicular ao sentido da quebra da plataforma, não houve necessidade de alterar as coordenadas para obter os componentes cSB (U) e aSB (V) da corrente.

Os dados do XBT e CTD utilizados já haviam sido pré-processados com controle de qualidade pelo *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD).

Os dados acústicos foram processados com o software Matecho desenvolvido pelo *Institut de Recherche pour le Développement* (IRD). O tratamento consistiu na remoção de ruído, dados falhos, picos de energia profundos e correção manual do fundo. Após esses tratamentos foram realizadas 2 configurações de eointegração: (I) uma com maior resolução para observar descrever a distribuição na coluna d'água (resolução horizontal de 1ping e vertical de 0.5m); (II) uma com resolução horizontal de 2 minutos (tempo de aquisição de dados do ADCP) e vertical de 4m, utilizada para obter a média vertical dos primeiros 50m para a análise de sinais.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

Uma vez obtidas as séries temporais dos dados, o próximo passo consiste em separar as diferentes escalas espaço temporais dentro dos próprios dados e correlaciona-las na mesma escala. Entretanto, na maioria das vezes, os processos naturais são não-estacionários e não-lineares (ou seja, eles variam no espaço e no tempo) (DALE; FORTIN, 2014), o que requer métodos compatíveis para elucidar as escalas espaciais e temporais (YULE, 1926; WIERWILLE, 1965; HUANG *et al.*, 1998; CHEN *et al.*, 2010). Os métodos adaptativos de análise de sinais como a Decomposição de Modo Empírica em Conjunto (*Ensemble Empirical Mode Decomposition*, EEMD) (WU; HUANG, 2009) e a Correlação intrínseca dependente do tempo (*Time-dependent intrinsic correlation*, TDIC) (CHEN *et al.*, 2010; HUANG; SCHMITT, 2014) são compatíveis e trabalham com a premissa de respeitar as características intrínsecas, sem impor o rigor matemático que reduz a variabilidade natural do dado (HUANG; SHEN, 2014).

A EEMD, utilizada no presente trabalho é baseada na Decomposição de Modo Empírica (*Empirical Mode Decomposition*, EMD) com uma única diferença que é a aplicação de um ruído de base (*Noise Assisted Data Analysis* - NADA) para melhorar a separação de escalas (WU; HUANG, 2009). A EMD é uma análise empírica adaptativa a posteriori que acomoda as

características dados não lineares e não estacionários com o intuito de separar as escalas de variabilidade coexistentes em qualquer sinal ou série temporal (HUANG; WU, 2008). A decomposição tem como premissa fundamental implícita que, a qualquer momento, os dados podem ter muitos modos oscilatórios simples coexistentes de frequências significativamente diferentes, um sobreposto ao outro. O sinal original pode ser definido como a soma desses modos, ou componentes. Cada componente é definido como uma Função do Modo Intrínseco (*Intrinsic Mode Function* - IMF) que satisfaz as seguintes condições: (1) em todo o conjunto de dados, o número de extremos e o número pontos cruzando zero devem ser iguais ou, no máximo, diferentes por um. (2) em qualquer ponto da IMF, o valor médio do envelope definido usando os máximos locais e o envelope definido usando os mínimos locais é zero.

As IMFs são obtidas por um processo iterativo que tem início na identificação dos extremos locais (máximo e mínimos) do sinal. Logo depois máximos (mínimos) locais são conectados por uma *spline* para formar o envelope superior (inferior) da função. A diferença entre o sinal original $x(t)$ e a função media desse envelope (m_1) é denominado o primeiro proto-modo h_1 .

$$h_1 = x(t) - m_1 \quad (\text{Eq. 4.1})$$

O procedimento acima pode ser repetido tantas vezes quantas forem necessárias para que o sinal extraído satisfaça a definição de uma IMF. O proto-modo h_1 é tratado como os dados na iteração seguinte:

$$h_1 - m_{11} = h_{11} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Após k iterações (Eq. 4.3), h_{1k} se torna a primeira IMF (Eq. 4.4),

$$h_{1(k-1)} - m_{1k} = h_{1k} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$c_1 = h_{1k} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

O fato da EMD/EEMD não serem baseadas em funções de frequências predefinidas (e.g. FFT), mas sim que usem o próprio sinal para ditar as escalas, faz com que sejam mais fieis a informação do dado natural. Entretanto, uma vez obtidas as escalas de variabilidade do sinal, a próxima etapa consiste em determinar as forçantes responsáveis por essa oscilação e/ou obter a correlação entre diferentes variáveis. O problema disto é obter uma correlação que seja compatível com o tipo de pressuposto que assumimos na EEMD. Isto é, um método que assuma a possibilidade da existência misturas de escalas em um mesmo sinal, que o comportamento de uma escala pode depender do tempo e que existem relações que podem variar com o tempo dentro de uma mesma escala. Métodos tradicionais de correlação usualmente não comportam

essas premissas. Diante disto, a Correlação Intrínseca Dependente do Tempo (TDIC) surge como uma ferramenta complementar para investigar as correlações ao longo do tempo de duas escalas.

A TDIC tem como base as IMFs resultantes da EMD/EEMD e tem as mesmas suposições de não-linearidade e não estacionariedade do sinal (CHEN *et al.*, 2010; HUANG; SCHMITT, 2014). O que este método faz é correlacionar ao longo do tempo duas IMFs de diferentes variáveis, com períodos médios similares, em várias escalas de tempo (i.e., janelas de tempo). A correlação ao longo do tempo é dada pela Eq. 4.5:

$$R_i(t_k^n) = \text{Corr}(c_{1i}(t_w^n), c_{2i}(t_w^n)) \quad (\text{Eq. 4.5})$$

Onde c_{1i} e c_{2i} são as duas IMFs investigadas e t_w^n é a janela de tempo para a correlação, dada pela Eq. 4.6 e n é qualquer número positivo real. A janela mínima para o cálculo da correlação local é dada pela Eq. 4.7, onde T_{1i} e T_{2i} são os períodos instantâneos das duas IMFs obtidos através do método *zero crossing*.

$$t_w^n = [t_k - nt_d/2 : t_k + nt_d/2] \quad (\text{Eq. 4.6})$$

$$t_d = \max(T_{1i}(t_k), T_{2i}(t_k)) \quad (\text{Eq. 4.7})$$

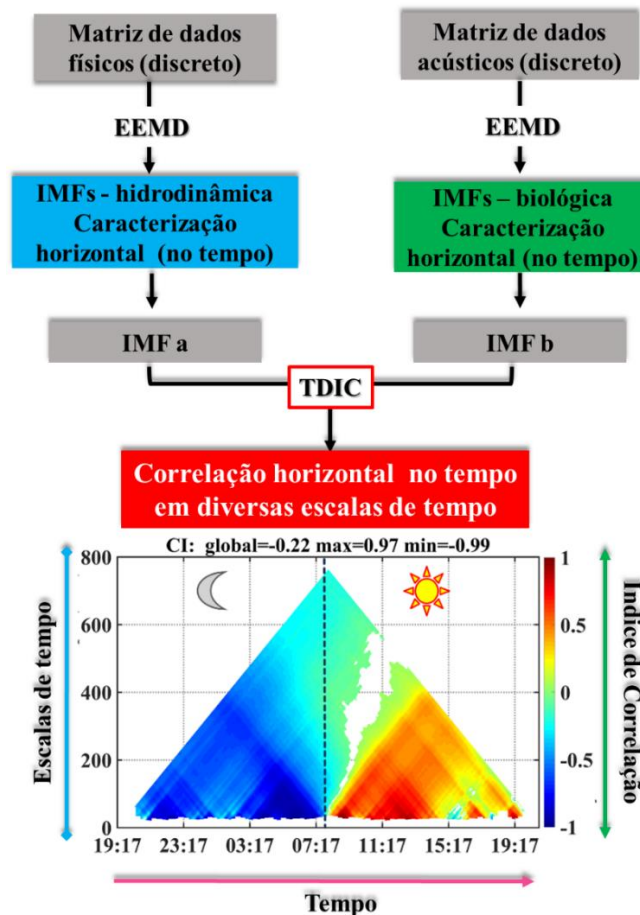
O teste *t-student* também é realizado para investigar se a diferença entre o coeficiente de correlação e zero é estatisticamente significativa. O resultado é uma matriz de correlação com significância estatística ao longo do tempo do tempo (eixo x) para cada janela de tempo utilizada para o cálculo do índice de correlação (eixo y) (CHEN *et al.*, 2010). A Figura 7 apresenta um esquema simplificado da metodologia conjunta EEMD/TDIC. Uma analogia que pode ser feita é o índice de correlação calculado na máxima janela de tempo, que equivale à correlação global para toda série temporal nos métodos de correlação tradicionais. Uma revisão mais extensa da EMD, EEMD e da TDIC pode ser encontrada em e Huang e Shen (2005).

A análise dos dados teve início com a EEMD, no entanto foi necessário discriminar entre a série temporal contínua dos dados nos primeiros 50 metros e descontínua dos dados mais profundos, devido à presença da plataforma continental, para ambos os parâmetros biológicos e físicos. Desta forma as séries temporais utilizadas corresponderam à média vertical para os primeiros 50 metros para correntes (U e V) e para a biomassa acústica (Sv 38kHz) para cada 2 minutos de observação. Em profundidades maiores do que esse limite, foram realizadas observações puramente descritivas. Adicionalmente, a EEMD foi aplicada nas series temporais das correntes de maré do modelo (U-tide e V-tide), da salinidade e temperatura da superfície do mar, e da batimetria. Esta última série foi decomposta para remover pequenas variações

batimétricas e para comparar com as escalas resultantes das outras variáveis que oscilassem com o mesmo período médio. Portanto, a investigação com essa variável permite a compreensão da variabilidade relacionada à localização na quebra ou talude.

Foram escolhidas a amplitude de ruído padrão de 0.4 e o número de iterações de 100, exceto para a corrente aSB, onde escolhemos 25. Esses valores corresponderam a uma boa separação dos modos se tomarmos como base de comparação a frequência semi-diurna e o tempo de repetição de cada MGRT (~1h45min). Além disso, estão dentro dos limites recomendados por Wu e Huang (2009) e Huang e Schmitt (2014), considerando um sinal que tem maior variabilidade nos maiores modos. Posteriormente diversas correlações foram obtidas através da TDIC para entender e explicar o padrão observado das variáveis. A Fig. 6 apresenta o esquema simplificado da metodologia utilizada para comparação entre os dados físicos e os dados biológicos.

Figura 6 - Esquema representando metodologia EEMD/TDIC.



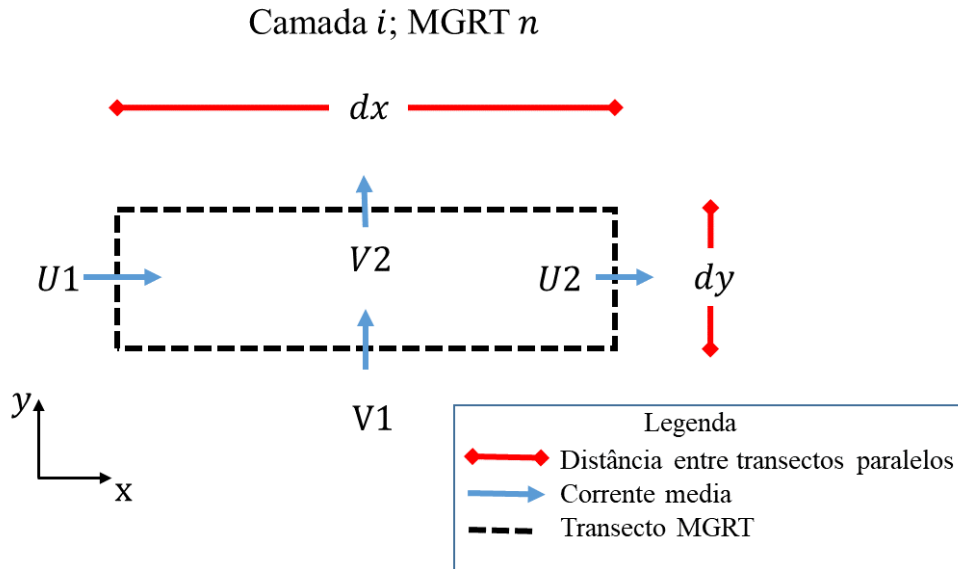
Fonte: A autora (2020)

Informações adicionais sobre a hidrodinâmica foram obtidas através do cálculo da velocidade vertical, frequência de Brunt-Väisälä, e cisalhamento vertical (*shear*).

A corrente vertical foi estimada centrada no MGRT, considerando que cada um dos MGRTs estava acontecendo ao mesmo tempo por meio da equação de continuidade como na Eq. 4.8, resultando em 15 perfis de velocidade vertical. Na Eq. 4.8 w é a velocidade vertical calculada para cada camada i . Para $i = 1$ assumimos w_{i-1} – a velocidade vertical na superfície – igual a zero. Para cada camada, du é a diferença entre a velocidade média da corrente cSB calculada para os transectos meridionais; dv a diferença entre a velocidade média da corrente aSB calculada para os transectos zonais; dx e dy são as distâncias entre os transectos zonais e entre os transectos meridionais, respectivamente; dz é a diferença de profundidade para cada camada. A Fig.7 apresenta o esquema para cálculo da velocidade vertical em uma camada i para o n -ésimo retângulo mágico.

$$w_i = \left[- \left(\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} \right) * dz \right] - w_{i-1} = \left[- \left(\frac{U2_i - U1_i}{dx} + \frac{V2_i - V1_i}{dy} \right) * dz \right] + w_{i-1} \quad (\text{Eq. 4.8})$$

Figura 7 - Esquema para cálculo da velocidade vertical na camada i para o n -ésimo retângulo mágico.



A frequência de Brunt-Väisälä quadrada (N^2) foi calculada a partir dos perfis verticais de CTD como na equação Eq. 4.9, onde g é a aceleração gravitacional, ρ é a densidade de referência e $d\rho/dz$ é o gradiente vertical de densidade. O cisalhamento vertical da corrente foi calculado para os dados do MGRT a partir da velocidade absoluta ($VEL = \sqrt{V^2 + U^2}$) como o gradiente $dVEL/dz$.

$$N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{d\rho}{dz} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

4 RESULTADOS

Os resultados são apresentados a seguir, divididos em dois sub-tópicos referentes aos objetivos específicos apresentados em 2.1. O primeiro (4.1) refere-se à caracterização da estrutura termohalina e da hidrodinâmica e o segundo (4.2) apresenta os resultados da hidroacústica e posterior correlação com as informações da estrutura termohalina e hidrodinâmica.

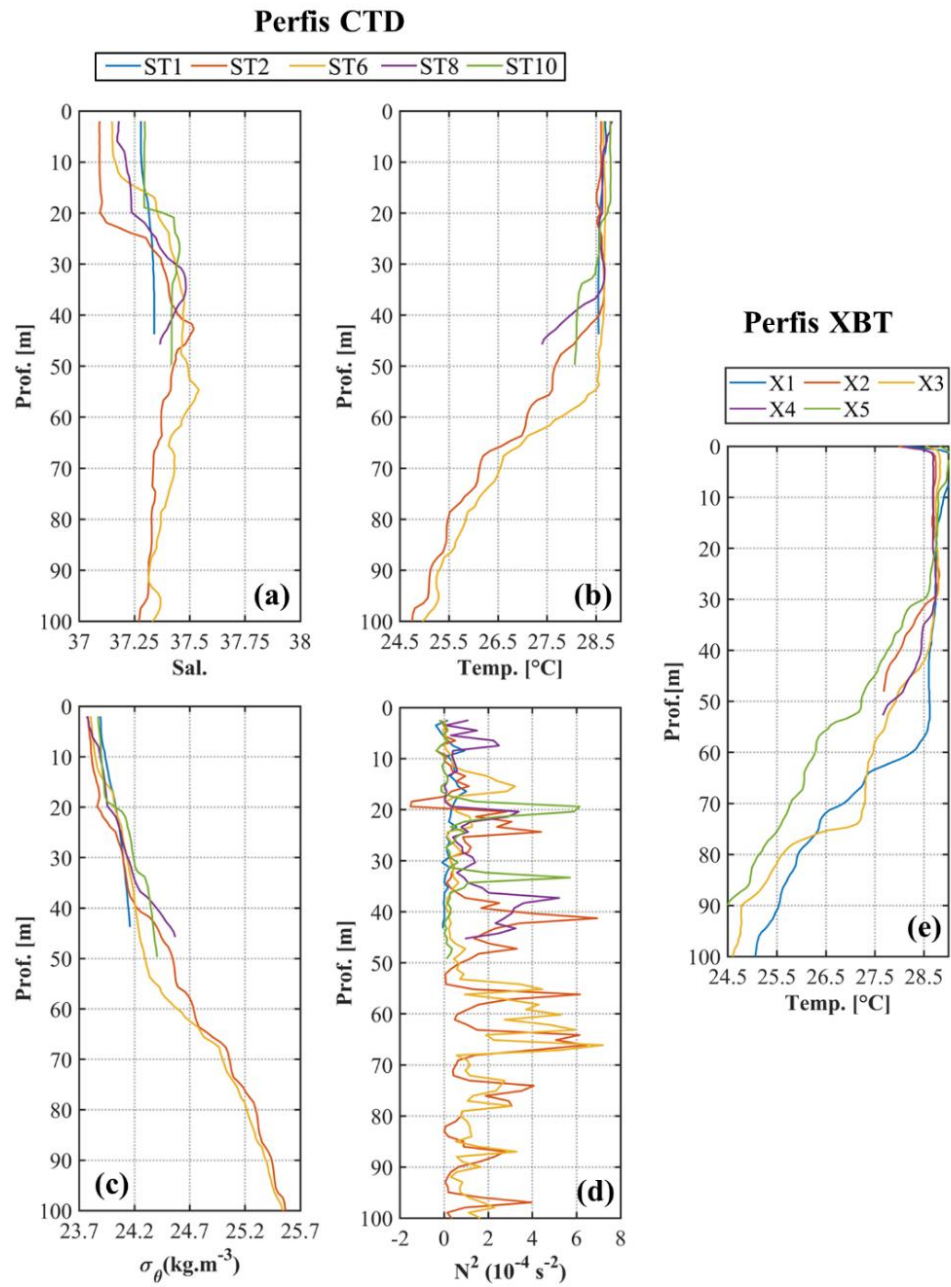
4.1 ESTRUTURA TERMOHALINA E HIDRODINÂMICA

Os perfis verticais das estações ST1, ST2, ST6, ST8 e ST10 para salinidade (a), temperatura (b), densidade potencial (c) e frequência de Brunt-Väisälä quadrada (FBV) (d) até 100m são apresentadas na Fig. 8. Os perfis até 300m para as estações mais profundas (ST2 e ST6) são apresentados na Fig. 9. A profundidade $Z_{\nabla T}$ ($\nabla T = SST_{AVG} - 1 \text{ } ^\circ\text{C}$) foi considerada para comparar os gradientes verticais de temperatura entre estações.

Todos os perfis apresentaram valores de salinidade acima de 37, com pequeno gradiente vertical. Devido a esse baixo gradiente, a estratificação da densidade para os primeiros metros foi controlada principalmente pela temperatura e a camada isotérmica tornou-se equivalente à camada de mistura (ML). A estação ST1 não apresentou gradiente significativo entre as camadas superficiais e 42 m para a temperatura e consequentemente, nenhuma $Z_{\nabla T}$. A estação ST2 foi a estação mais profunda mais próxima da região do talude, e apresentou a camada de mistura nos primeiros 40 m com uma marcada estrutura em degraus abaixo da ML e com $Z_{\nabla T}$ em ~46 m. A estação ST6, mais distante do talude apresentou a ML confinada aos primeiros 55 m, a termoclina menos fraturada quando comparada com a estação ST2 e $Z_{\nabla T}$ em ~59 m. A estação ST8 - antes da execução do MGRTs - mostra a $Z_{\nabla T}$ em 40 m, enquanto a estação realizada depois dos MGRTs (ST10) não tem $Z_{\nabla T}$ e mostra estrutura "step-wise" em torno de 33 m. O perfil de FBV mostra como a presença da estrutura similar a degraus afeta a estabilidade, criando camadas neutras delimitada por camadas limite estáveis. Entre os perfis analisados nenhuma delimitação marcada da termoclina foi identificada, o que sugere uma termoclina rasa (logo abaixo da ML) ou uma termoclina fragmentada.

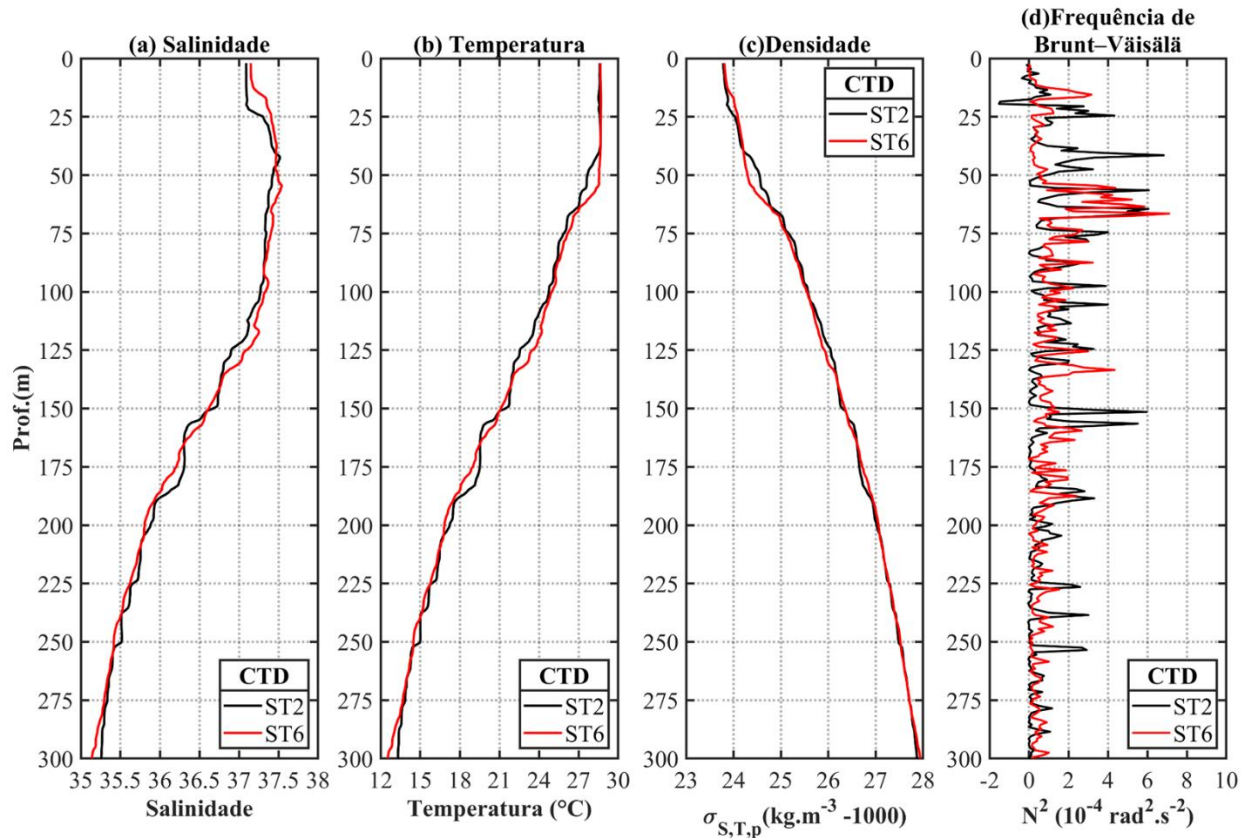
Os perfis de temperatura do XBT (Fig. 8e) apresentaram as mesmas estruturas em degraus observadas nos perfis das estações de CTD (Fig. 8b). A profundidade da ML variou do mínimo de 30 m (X5) ao máximo de 55 m (X1).

Figura 8 - Perfis verticais de salinidade (a), temperatura (b), anomalia de densidade potencial (c) frequência de Brunt-Väisälä quadrada (d) para estações de CTD e perfil de temperatura para os perfis



Fonte: A autora (2020)

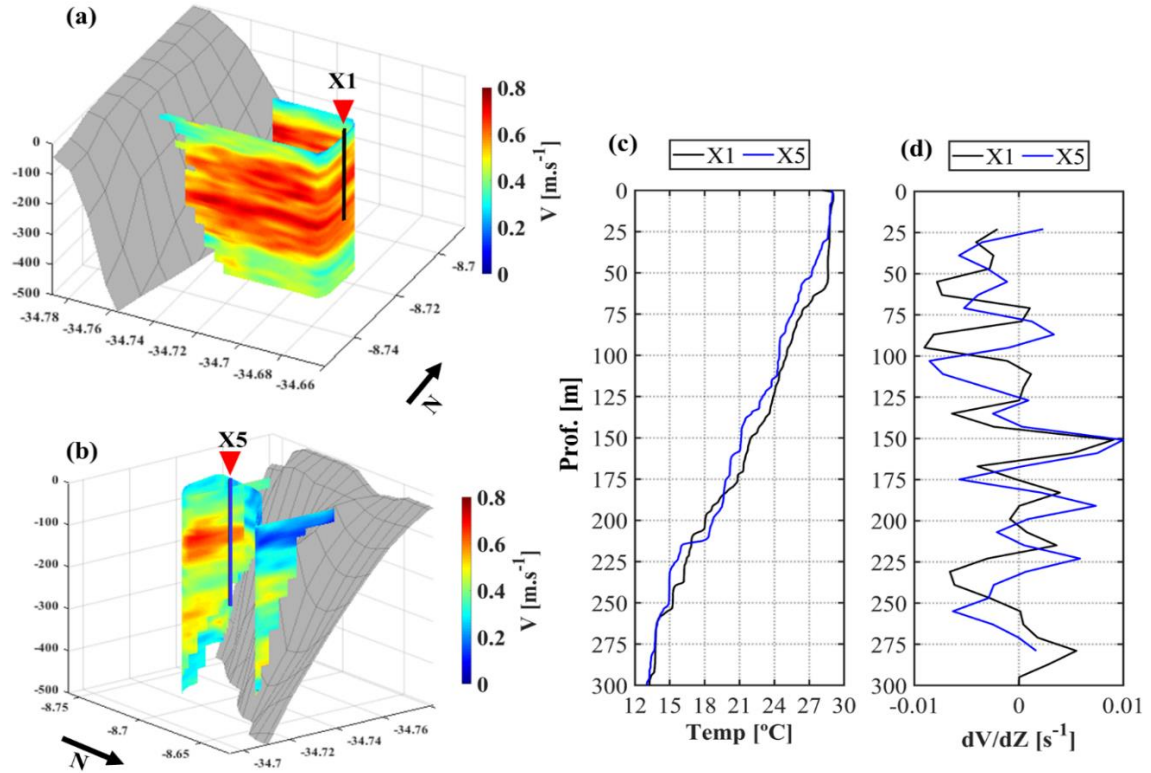
Figura 9 - Perfis de salinidade (a), temperatura (b) densidade (c) e frequência de Brunt Väisälä (d) das estações ST2 e ST6.



Fonte: A autora (2020)

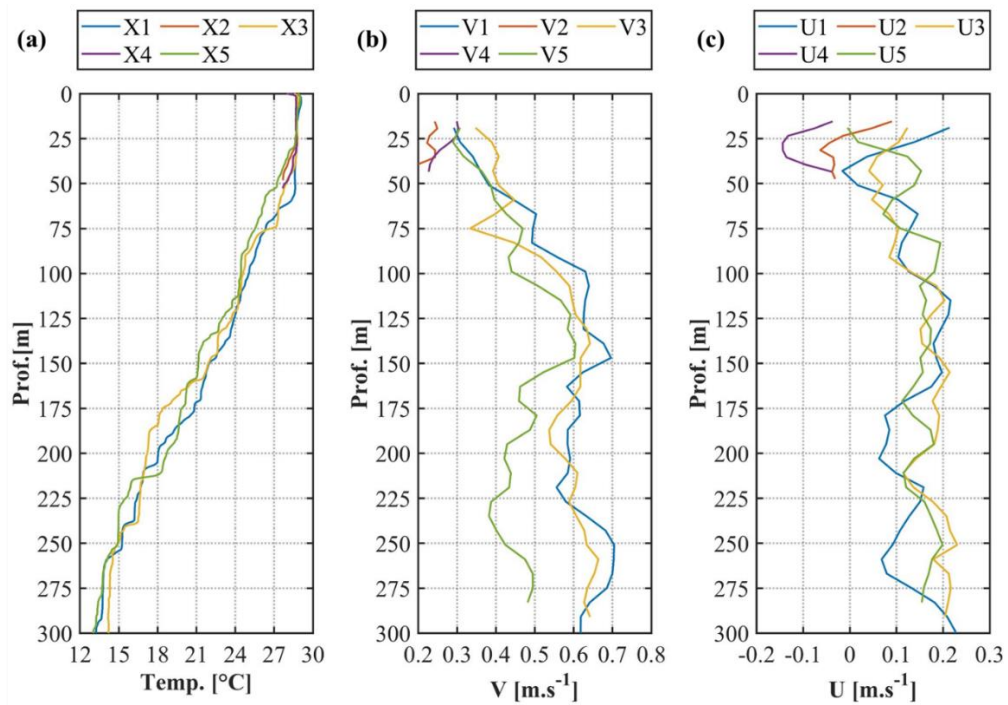
A Figura 10 apresenta a velocidade da corrente aSB em três dimensões no momento dos perfis de XBT, X1 (a) e X5 (b) e o perfil de temperatura (c) e de cisalhamento da corrente (d). Podemos dizer que esses perfis equivalem a dois momentos distintos da estrutura da termoclina. No perfil X5 que foi logo após a execução dos MGRTs, além da MLD mais rasa, foram encontrados valores de temperatura inferiores a todos aos valores de temperatura encontrados nos outros perfis de XBT e CTD para as mesmas profundidades de 30 até 100m. O gradiente vertical de temperatura é fraco e a mistura tão intensa que foi capaz de influenciar até a camada de mistura, a isoterma de 27°C alcançou 50 m. Neste perfil, a corrente aSB (SCNB) apresentou uma diminuição significativa, a menor velocidade entre os perfis observados. Adicionalmente, as estruturas em degraus parecem estar associadas ao elevado cisalhamento devido ao gradiente vertical de velocidade. Os perfis de XBT até 300m e os perfis da corrente zonal e meridional para o mesmo momento são apresentados na Fig. 11.

Figura 10 - Velocidade aSB da corrente em 3D (esquerda) com localização do perfil de XBT X1 (a) e X5 (b); perfil de temperatura do XBT (c) e de cisalhamento da corrente (d).



Fonte: A autora (2020)

Figura 11 - Perfis verticais de temperatura (a) e corrente aSB (b) e cSB (c) das estações X2 a X5.



Fonte: A autora (2020)

As séries temporais do MGRT da corrente cSB (U, Fig.12a), corrente aSB (V, Fig.12b), e cisalhamento vertical (Fig. 12c), bem como o perfil média da velocidade das componentes U (azul) e V para toda a série (Fig.12c), são apresentadas a seguir. As séries temporais da média das componentes U (azul) e V (preto) (Fig. 13a), das componentes cSB (U-tide, azul) e aSB (V-tide, preto) da maré extraídas do modelo TPXO (Fig. 13b), salinidade (Fig. 13c) e da temperatura (Fig.13d) da superfície do mar analisadas na EEMD (ver seção 3.5) são apresentadas na Fig.13. Aqui a componente U negativa indica corrente em direção à costa.

A corrente dominante U foi na direção do oceano, exceto para os primeiros metros (até ~50m), onde algumas vezes foi observada uma forte componente em direção a costa e em outras, valores quase nulos (Fig. 12a). Os valores médios dessa componente nos primeiros metros oscilaram entre valores positivos e negativos com a média de $0.032 \pm 0.067 \text{ m.s}^{-1}$, com os valores de mín. /máx. de $-0.161/0.196 \text{ m.s}^{-1}$ alternando entre a região de quebra da plataforma e do talude (Fig. 13a). Com o aumento da profundidade, a velocidade também aumentou de valores médios de 0.07 m.s^{-1} , abaixo da profundidade da quebra até 80 m, e 0.14 m.s^{-1} de 80 até 420 m, onde volta a diminuir novamente (Fig. 12d)

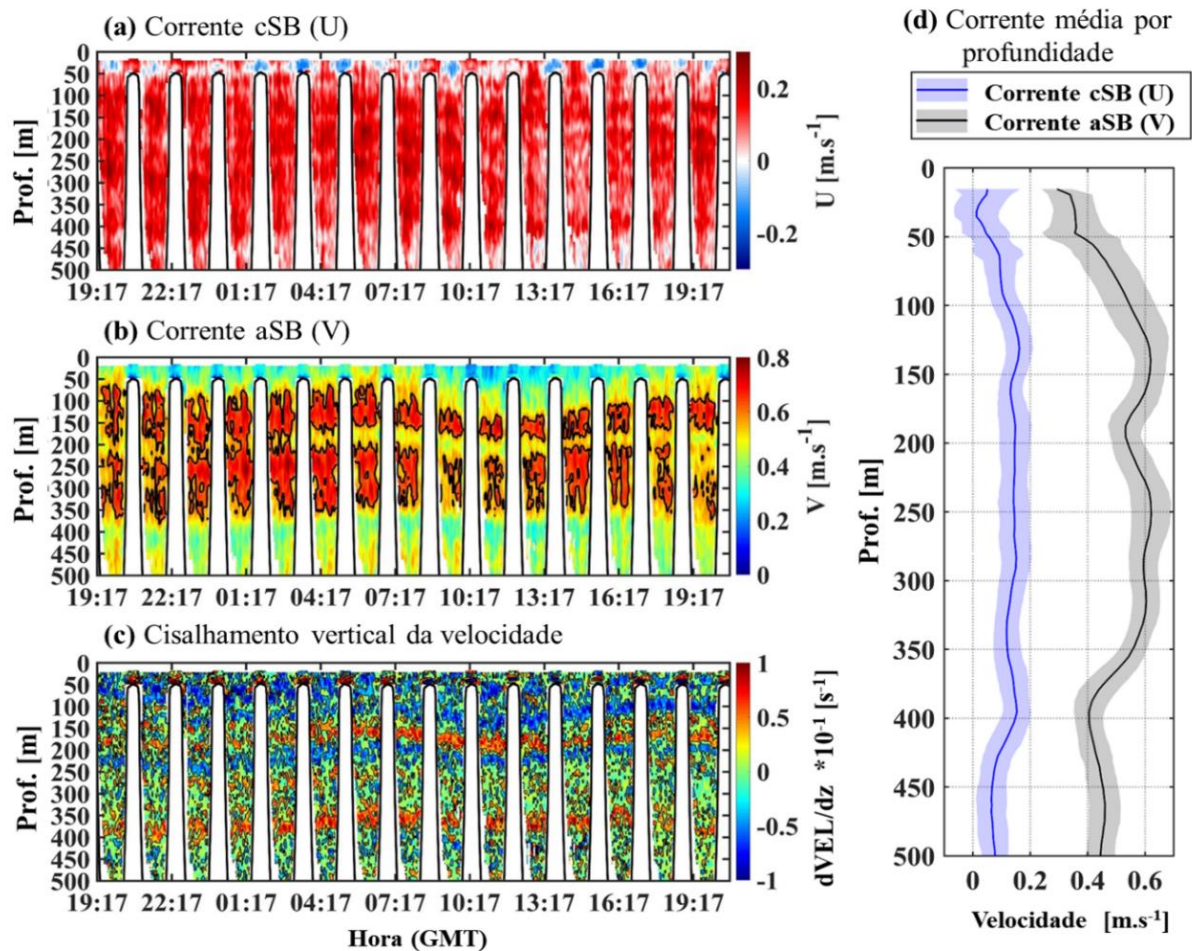
O perfil da corrente media V apresenta o núcleo da SCNB com 0.6 ms^{-1} de 123 até 323 m com uma marcada diminuição na intensidade da corrente (para 0.5 m.s^{-1}) centrada em 187 m (Fig. 12b; Fig. 12d). Nos primeiros 50 m, essa componente da corrente apresentou oscilações de alta frequência, mas com valores sempre positivos (media: $0.354 \pm 0.080 \text{ m.s}^{-1}$, mín./máx.: $0.166/0.550 \text{ m.s}^{-1}$) (Fig. 13a). A componente V apresentou alguma variabilidade relacionada com a localização (quebra da plataforma/Talude).

Deve ser destacado que, abaixo da profundidade da quebra, os maiores valores de U foram encontrados em profundidades associadas com o Núcleo da SCNB. Adicionalmente, ambas as componentes parecem ter uma contribuição do período de maré. Comparando essas componentes U e V nos primeiros metros (Fig. 13a) com U-tide e V-tide (Fig.13b), observa-se que a U apresente maiores velocidades absolutas associadas com os períodos de enchente/vazante e V apresenta velocidades máximas na maré alta.

Quanto ao cisalhamento vertical, abaixo das camadas bem misturadas superficiais, foram observados dois mínimos e dois máximos, com valores de $2.6 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (320- 390 m), $2.0 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (147-187 m), $-1.9 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (195-240 m) e $-2.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ (50-120 m), respectivamente (Fig. 12c).

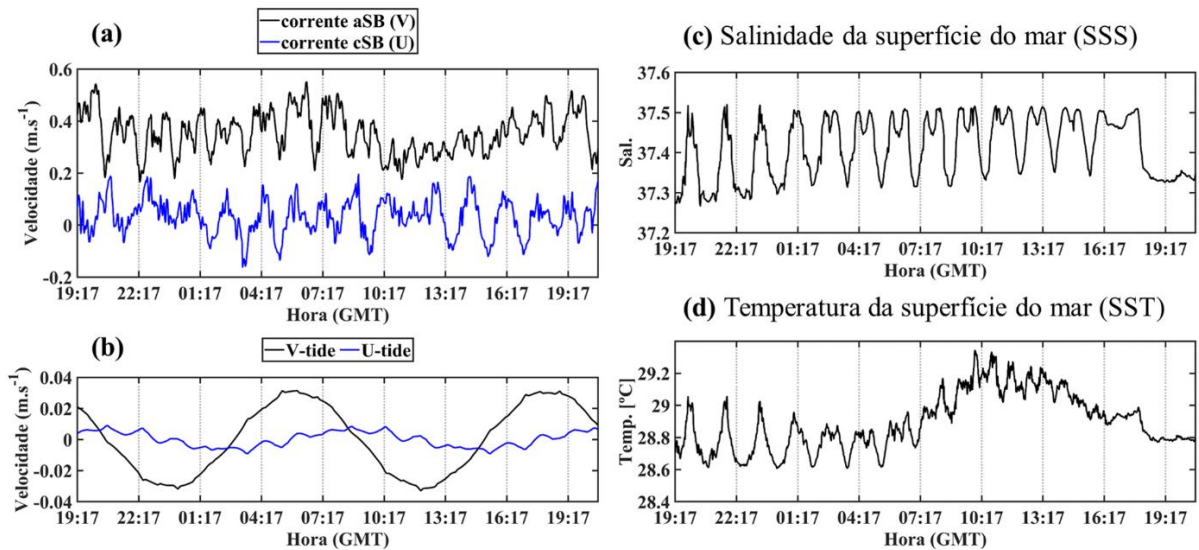
A salinidade da superfície do mar (SSS) apresentou valores médios de 37.41 ± 0.07 e amplitude de 0.25 (Fig. 13c). A temperatura da superfície do mar (SST) média foi de 28.90 ± 0.18 °C e amplitude de 0.73 °C (Fig. 13d). Apesar das pequenas amplitudes, ambas SST e SSS apresentaram padrões de oscilação consistentes com a mudança de profundidade, sendo este padrão mais pronunciado no início da série temporal. O vento local apresentou baixas intensidades por volta de 2.05 ± 0.80 m.s⁻¹ (mín./máx. 0.42/4.20 m.s⁻¹) com direção predominante de sudeste-sul (SE/S 62.20/28.71%).

Figura 12 - Componente cSB - U (a), aSB – V (b), cisalhamento vertical da corrente absoluta (c) e média vertical por profundidade das componentes U (azul) e V (preta).



Picos em branco em (a-c) representam o fundo. A isoclina em (b) representa a velocidade de V de 0.6m.s^{-1} utilizada para delimitar o núcleo da SCNB. Fonte: A autora (2020)

Figura 13 - Série temporal da média da componente U (azul) e V (preta) para os primeiros 50m (a), corrente de maré U-tide (azul) e V-tide (preto) (b), salinidade (c) e temperatura (d) da superfície do mar.



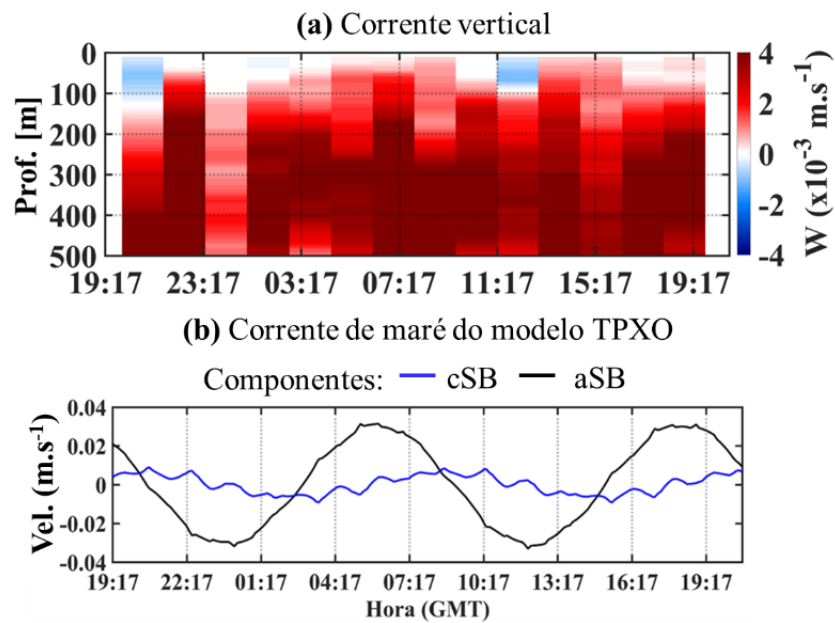
Fonte: A autora (2020)

A corrente vertical calculada para cada MGRT é apresentada na Fig. 14a. Velocidades positivas (i.e. para cima), na ordem de 10^{-3} m.s^{-1} , foram dominantes em profundidades maiores do que 100m. Profundidades menores apresentaram momentos de downwelling/upwelling fortes e fracos, na ordem de $\pm 10^{-4}$. Alguns momentos de downwelling parecem estar de acordo com os momentos de maré baixa da componente aSB do modelo de maré Fig. 14b.. Deve-se, entretanto, ressaltar que a aproximação utilizada para obter esses valores apresenta um erro de 60 minutos (metade do tempo para uma repetição de um MGRT) no tempo utilizado para interpolar os valores. Isto significa que os valores apresentados podem possuir uma defasagem de tempo de no máximo 1 hora em relação ao tempo apresentado na Fig. 14.

Para identificar e compreender o comportamento e as escalas de variabilidade da corrente (primeiros 50m), salinidade e temperatura da superfície do mar, aplicamos a *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD, ver seção 3.5). A análise resulta em funções de modo intrínseco (IMFs) que representam a variabilidade de cada escala de tempo da série temporal original, desde a maior frequência até à menor. Para cada IMF, o período pode ser obtido a partir da frequência média. Adicionalmente, o percentual de variância representa a importância de cada escala (IMFs) para a variabilidade total observada na série original. De forma a comparar as correntes, também foi aplicado o método as componentes da maré V-tide e U-tide. As correlações ao longo do tempo entre as diferentes IMFs foram investigadas com o método *Time-Dependent Intrinsic Correlation* (TDIC, ver seção 4.5). Com este método é possível obter

a correlação ao longo do tempo para duas séries temporais em diferentes janelas de tempo (dimensão de janelas deslizantes) utilizadas para calcular a correlação (tamanhos de janelas). O resultado é uma matriz triangular de índices de correlação (CI), onde o valor extremo superior (na figura, ponta superior do triângulo) corresponde à correlação global entre duas IMFs calculada com a janela máxima de tempo (metade do tempo total de observações). Para grande parte das IMFs investigadas, foram utilizadas as correlações com a batimetria para elucidar a variabilidade das variáveis em relação à posição quebra/talude.

Figura 14 - Corrente vertical (em 10^{-3} m.s^{-1}) (a) e corrente de maré cSB e aSB do modelo TPXO (b).



Fonte: A autora (2020)

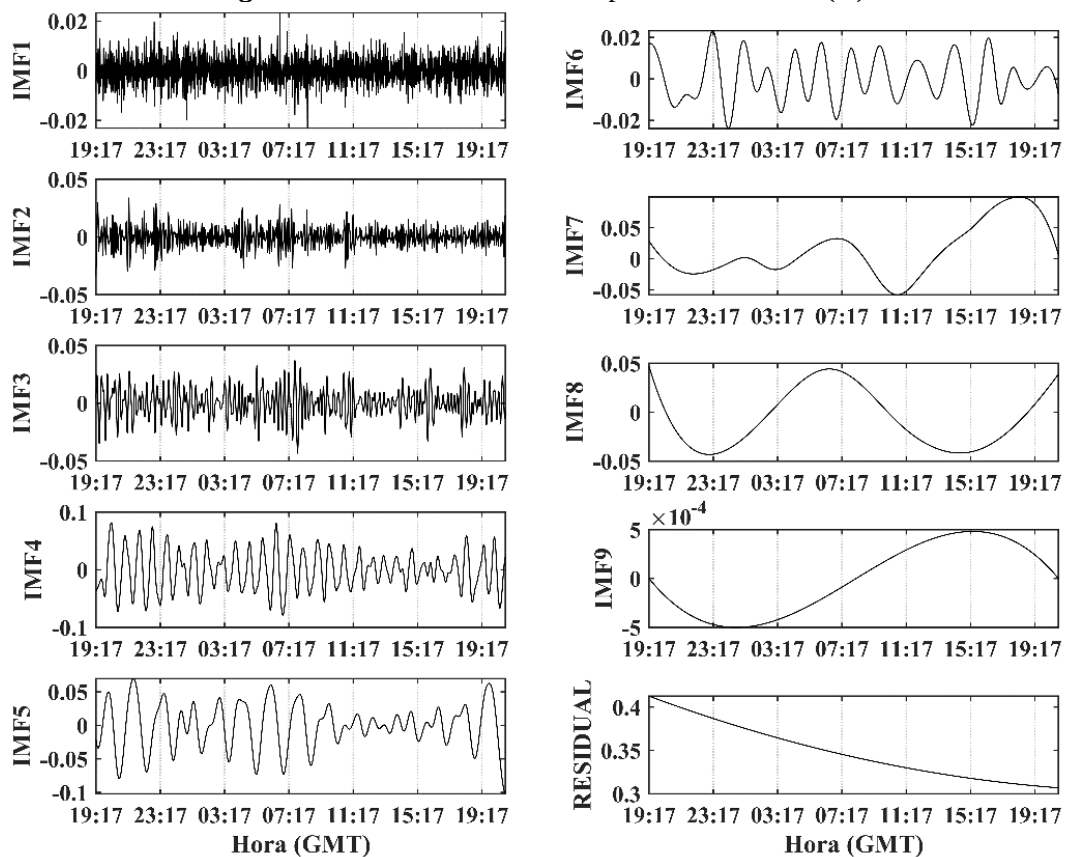
A Tabela 2 mostra o percentual de variância, o período médio e amplitude máxima para cada IMF resultante da EEMD para U, V, U-Tide, V-Tide, SSS e SST. As componentes principais são definidas como IMFs com variância individual superior 10% e cuja a soma resulte no mínimo de 60% da variância total.

A corrente V (aSB) (Fig.15) apresentou contribuição de 3 escalas principais correspondendo a 92% da variabilidade observada, distribuídas em 4 componentes (IMF8, IMF7, IMF5 e IMF4 em ordem crescente de frequência).

A IMF7 apresentou a maior variabilidade (26% de variância), com alguma correlação com a componente principal da corrente de maré (Fig. 16, CI global de 0.68 e máx./mín. de 0.82/0.51) V-tide (IMF7, Fig. 17). Entretanto, o período para esta componente de V não corresponde ao período da maré semi-diurna (período médio de $\sim 10\text{h}51\text{min}$). A componente com período correspondente à maré foi a IMF8 ($\sim 12\text{h}44\text{min}$), que apresentou 20% de variância

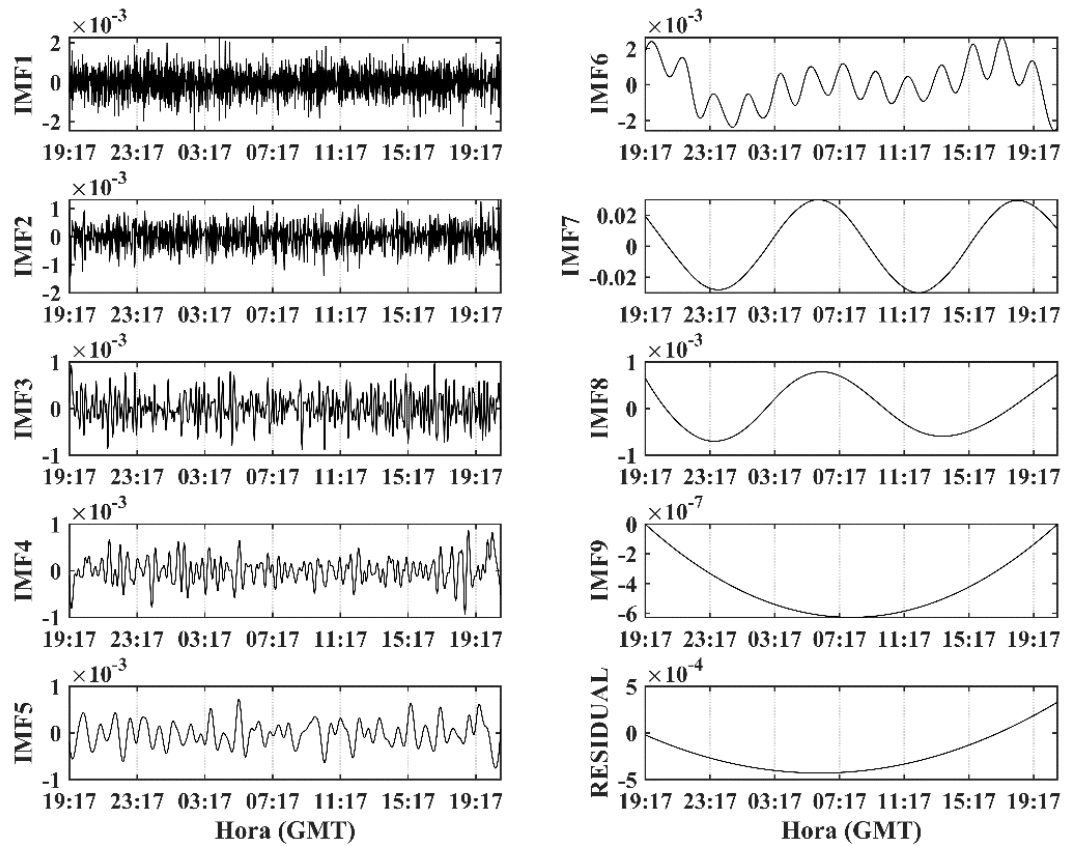
e uma maior correlação com a corrente de maré (CI global de 0.7, máx./mín. 0.97/0.62; Fig. 18). A comparação da soma da IMF7 com a IMF8 de V contra V-tide (Fig. 18) resultou em altos índices de correlação (CI global de 0.99, máx./mín. 0.98/0.92), indicando que ambos os modos correspondem a maré semi-diurna. Este resultado destaca a capacidade da EEMD de separar a corrente barotrópica com o período semi-diurno (IMF8) e a assimetria relacionada (IMF7). Essas duas IMFs correspondem a primeira escala de variabilidade e a soma da variância desses dois componentes (46%), resalta a importância da forçante barotrópica na direção da corrente aSB.

Figura 15 - Resultado da EEMD para corrente aSB (V).



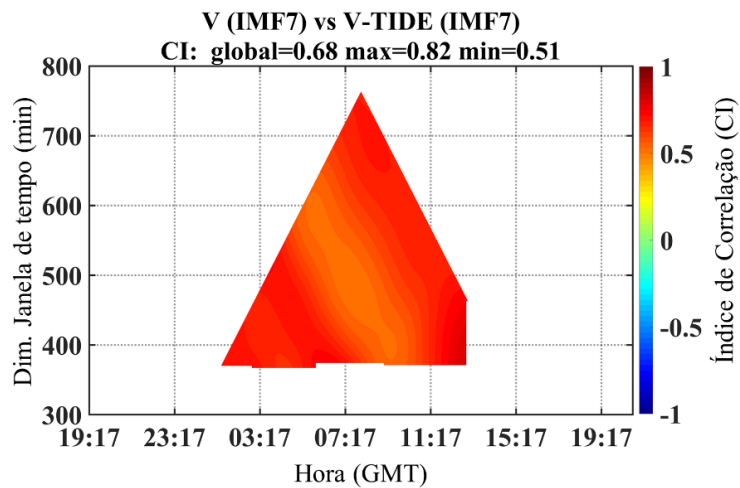
Fonte: A autora (2020)

Figura 16 - Resultado da EEMD para a componente V-tide da corrente de maré.



Fonte: A autora (2020)

Figura 17 - Correlação entre a corrente aSB (IMF7) e a corrente de maré V-tide (IMF7) obtida pela TDIC.



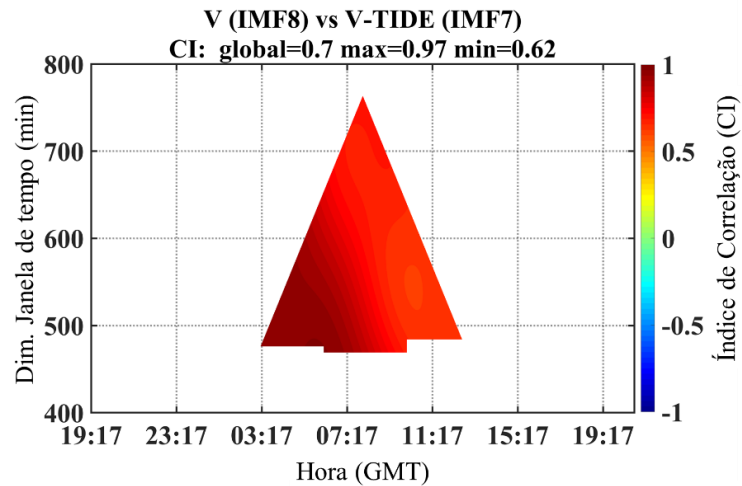
Fonte: A autora (2020)

Tabela 2 – Percentual de variância (Var), período médio (Período) e máxima amplitude (MA) para as IMFs obtidas da EEMD da corrente cSB (U), corrente aSB (V), componentes da maré (U-tide e V-tide), salinidade (SSS) e temperatura (SST) da superfície do mar.

IMF	U			V			U-tide			V-tide			SSS			SST		
	Var (%)	Período	MA (m.s ⁻¹)	Var (%)	Período	MA (m.s ⁻¹)	Var (%)	Período	MA (m.s ⁻¹)	Var (%)	Período	MA (m.s ⁻¹)	Var (%)	Período	MA	Var (%)	Período	MA (°C)
1	<1	5min	0.017	<1	5min	0.022	<1	5min	0.001	<1	5min	0.002	<1	5min	0.026	<1	5min	0.053
2	3	10min	0.053	1	9min	0.035	<1	8min	0.000	<1	8min	0.002	<1	8min	0.026	<1	8min	0.040
3	6	17min	0.052	4	18min	0.044	<1	15min	0.000	<1	14min	0.001	1	17min	0.025	<1	16min	0.043
4	15	43min	0.081	22	50min	0.088	<1	36min	0.001	<1	31min	0.001	14	49min	0.064	5	41min	0.152
5	60	1h37min	0.092	24	1h21min	0.086	9	1h29min	0.003	<1	57min	0.001	61	1h39min	0.100	18	1h08min	0.171
6	4	2h29min	0.036	3	1h58min	0.026	2	3h51min	0.001	<1	5h5min	0.003	8	2h08min	0.046	3	2h09min	0.052
7	7	6h28min	0.032	26	10h51min	0.084	86	11h50min	0.007	99	12h18min	0.029	5	9h02min	0.041	7	8h09min	0.079
8	5	12h48min	0.021	20	12h44min	0.053	3	13h06min	0.001	<1	12h09min	0.000	8	9h23min	0.031	63	12h11min	0.205
9	<1	25h44min	0.002	<1	25h29min	0.003	<1	25h29min	0.000	<1	25h29min	0.000	2	24h36min	0.013	4	25h22min	0.034

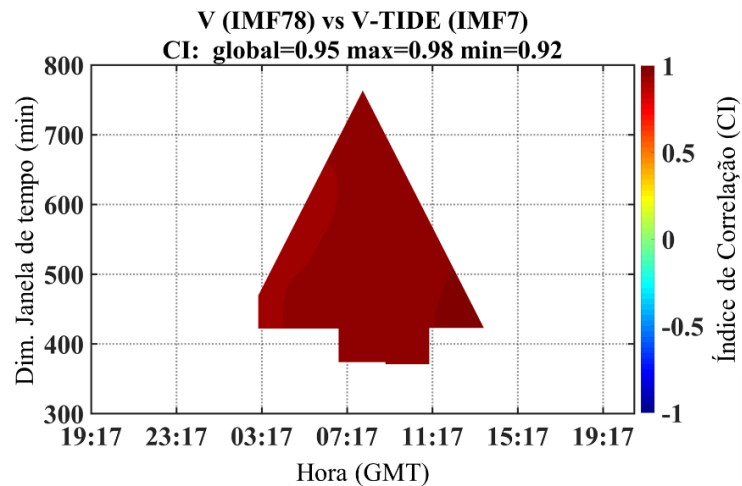
Fonte: A autora (2020)

Figura 18 - Correlação entre a corrente aSB (IMF8) e a corrente de maré V-tide (IMF7) obtida pela TDIC.



Fonte: A autora (2020)

Figura 19 - Correlação entre a corrente aSB (IMF7 + IMF8) e a corrente de maré V-tide (IMF7) obtida pela TDIC.

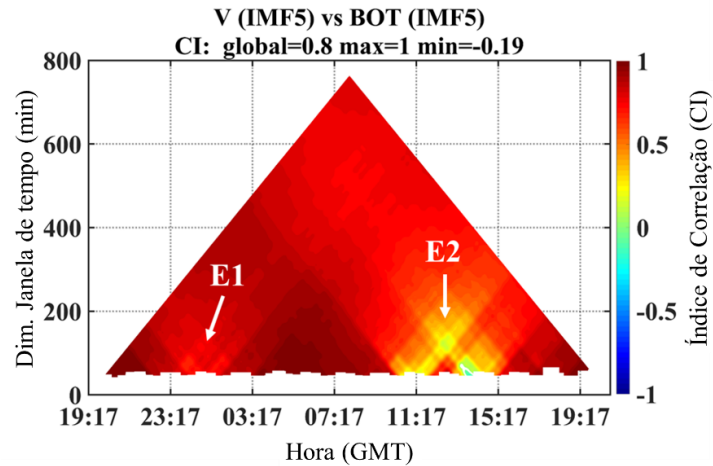


Fonte: A autora (2020)

A segunda escala de variabilidade da corrente aSB está relacionada com a mudança de profundidade (i.e., diferença devido a posição quebra/talude). Os modos correspondentes a essa variabilidade são a IMF5 e a IMF6. A IMF5 apresentou maior variabilidade (24% de variância e período médio de ~1h21min) com alta correlação com a batimetria (CI global de 0.8 e máx de 1) e alguns momentos de baixa correlação (E1 e E2, CI min. de -0.19) (Fig. 20). A IMF6 apresentou baixa variabilidade (3% de variância e ~1h58min), porém sua correlação com a batimetria (CI global de 0.61, máx./mín. de 0.99/-0.79) similar à da IMF5 incluindo o aparecimento de E2 (Fig. 21), leva a crer que esses dois modos pertencem a mesma escala. Para

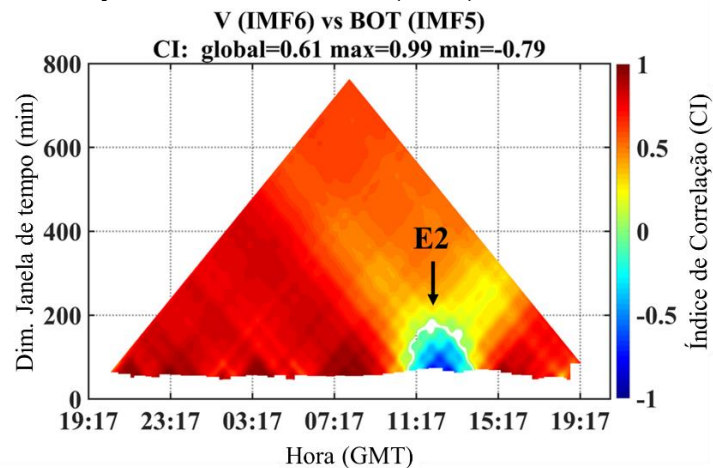
ambas as IMFs, a correlação positiva indica correntes mais intensas em regiões de maiores batimetrias, i.e., maiores velocidades na região do talude do que na região da quebra da plataforma adjacente. Isto implica na influência da SCNB nos primeiros 50 metros. Os momentos de menor correlação (E1 e E2, Fig. 20 e Fig. 21) são gerados pela diminuição da velocidade da corrente na região do talude, consistente com o afundamento da SCNB.

Figura 20 - Correlação entre a corrente aSB (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC



Fonte: A autora (2020)

Figura 21 - Correlação entre a corrente aSB (IMF6) e a batimetria obtida pela TDIC.



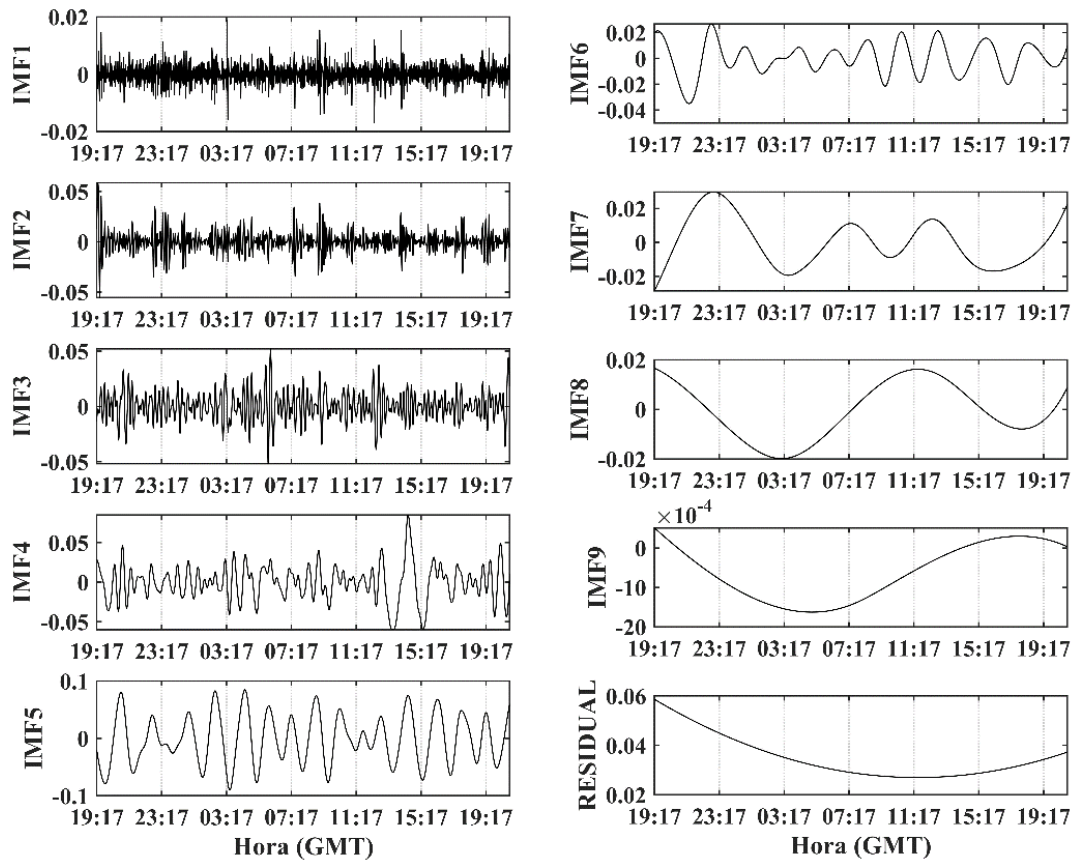
Fonte: A autora (2020)

A terceira escala de variabilidade de V está relacionada com a IMF4 (22% de variância) com período médio de 50min. Esta componente não apresentou correlação significativa com nenhuma das variáveis investigadas e sua provável origem será discutida na seção 5, porém apresentou amplitudes que parecem ser moduladas pela amplitude da maré (V IMF7+IMF8).

A corrente U (cSB) apresentou contribuição de 2 componentes principais correspondentes a 75% da variabilidade total observada (Fig. 22). A IMF5 foi o modo

dominante, com 60% de variância e período médio de $\sim 1\text{h}37\text{min}$. A correlação da IMF5 com a batimetria resulta em uma alta correlação durante o período de enchente (CI máx. de 0.99) e alta anti-correlação durante o período de vazante da maré (CI mín. de -0.98), com baixa correlação global (CI de 0.25) (Fig.23). Este resultado implica uma corrente cSB negativa em direção à costa, cuja posição (quebra/talude) é modulada pelo período de enchente/vazante.

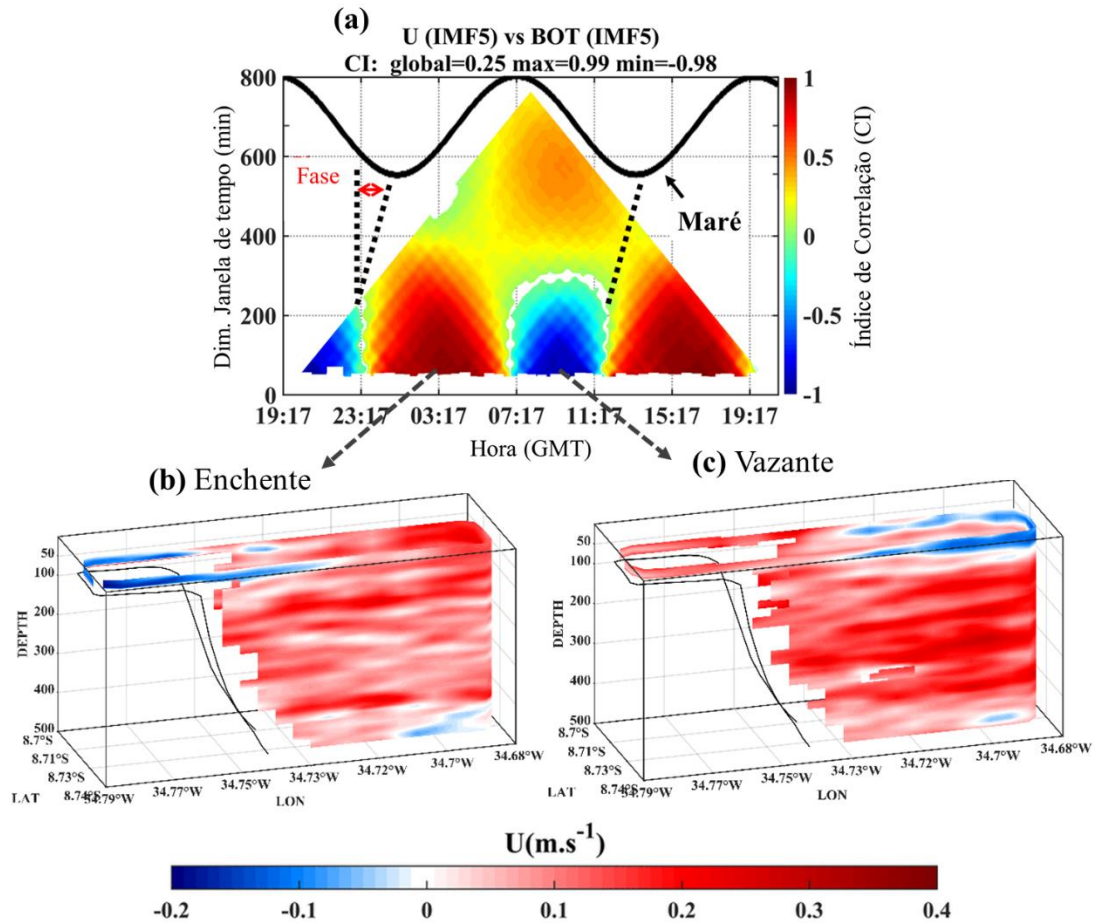
Figura 22 - Resultado da EEMD para corrente cSB (U).



Fonte: A autora (2020)

A IMF4 com período semelhante à IMF4 DE V ($\sim 43\text{min}$) correspondeu à 15% da variabilidade total de U. Assim como para V, esta não apresentou correlação significativa com nenhuma das variáveis investigadas. Adicionalmente, uma componente da maré semi-diurna de U (período médio de $\sim 12\text{h}44\text{min}$) apareceu como a IMF8, representando apenas um baixo percentual da variabilidade ($\sim 5\%$).

Figura 23 - Correlação entre a corrente cSB U (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC (a) e representação da corrente cSB nos momentos de alta correlação na enchente (b) e anti-correlação na vazante (c).



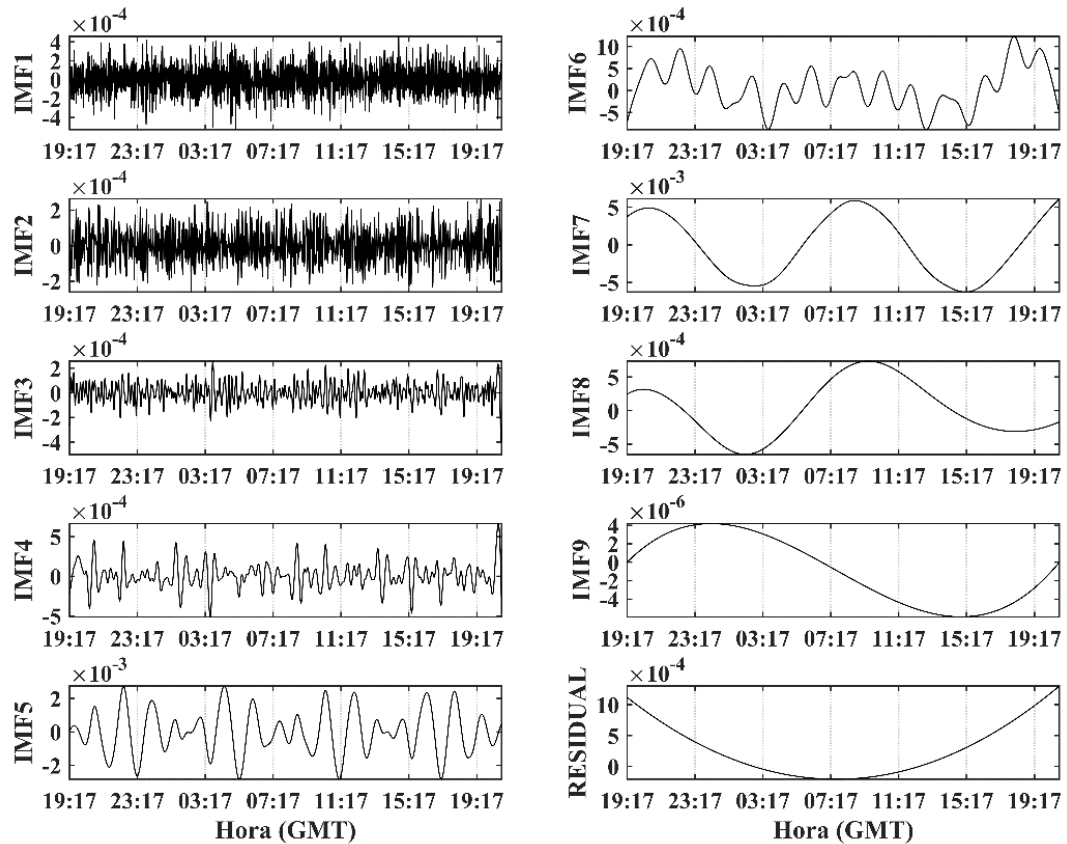
Fonte: A autora (2020)

Algumas observações devem ser feitas quanto às correntes estimadas pelo modelo de maré. O modelo subestima a corrente cSB semi-diurna (U IMF8; Fig. 24) por uma ordem de magnitude, com a amplitude máxima para a observação de 0,021 contra 0,007 m.s⁻¹ do modelo (U-tide IMF7). Para a componente aSB (Fig. 16), o modelo (V-tide IMF7) apresentou a mesma ordem de grandeza que a corrente semi-diurna (V IMF8+V IMF7), entretanto a observação apresentou valores maiores do que o dobro do estimado pelo modelo (0.08 vs. 0.03 m.s⁻¹).

Comparando a importância dos modos das IMFs, na corrente de maré U-tide (Fig. 24), teríamos maiores amplitudes no período de maré semi-diurna (IMF7) e uma baixa amplitude associada à IMF5 (~8%). O padrão inverso foi observado em U, com a maiores amplitudes na IMF5 e menores na semi-diurna. A IMF5 de U-tide, embora subestimada (amplitude máxima de 0.092 m.s⁻¹ da observação vs. 0.003 m.s⁻¹ do modelo), apresentou quase o mesmo padrão de

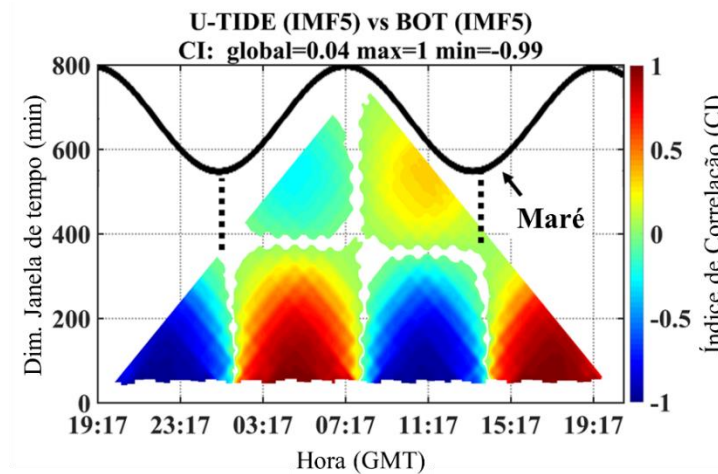
correlação com a batimetria (Fig. 25) que a IMF5 de U, com um diferença de fase de $\sim 1\text{h}50\text{min}$ (Fig. 23 e Fig. 25). Este modo provavelmente surge dos termos da equação de águas rasas do modelo de maré para compensar a diferença de profundidade (EGBERT; EROFEEVA, 2002).

Figura 24 - Resultado da EEMD para a componente U-tide da corrente de maré.



Fonte: A autora (2020)

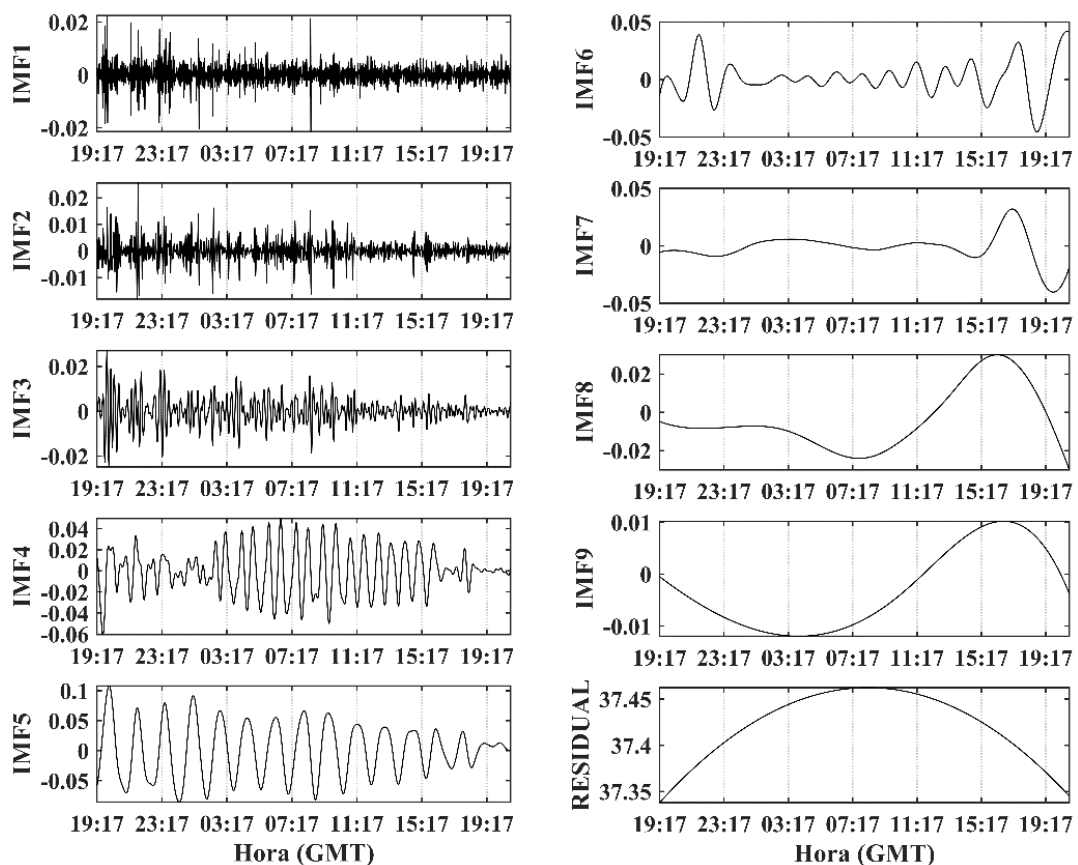
Figura 25 - Correlação entre a corrente de maré U-tide (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.



Fonte: A autora (2020)

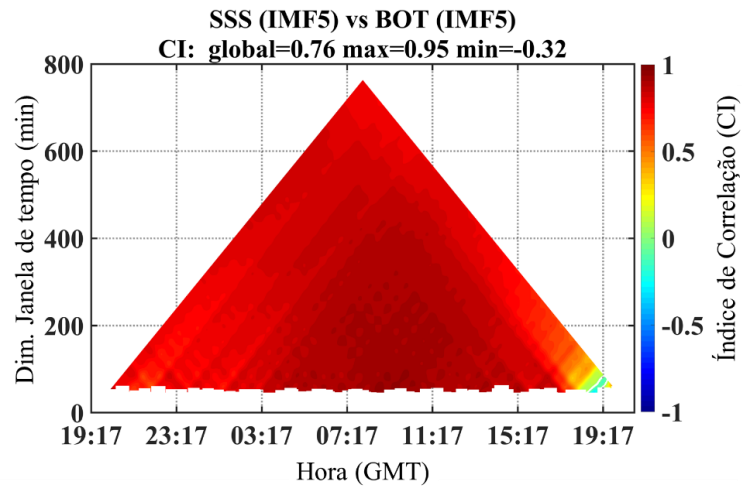
Duas escalas principais contribuíram para a 75% da variabilidade observada na salinidade da superfície do mar (Fig. 26). A IMF5 representou a maior variabilidade do sinal, explicando ~61% da variância com período médio de ~1h39min. Esse modo apresentou maiores amplitudes no início que diminuíram ao longo do tempo até valores quase nulos no fim da série temporal. O período médio próximo ao período de repetição dos transectos levou à investigação da correlação com a batimetria. Os resultados mostram alta correlação (CI global de 0.76, e máx de 0.95), que implica águas mais salinas na região do talude do que na plataforma (Fig. 27), exceto no fim da série (CI mín. de -0.32).

Figura 26 - Resultado da EEMD para a salinidade da superfície do mar.



Fonte: A autora (2020)

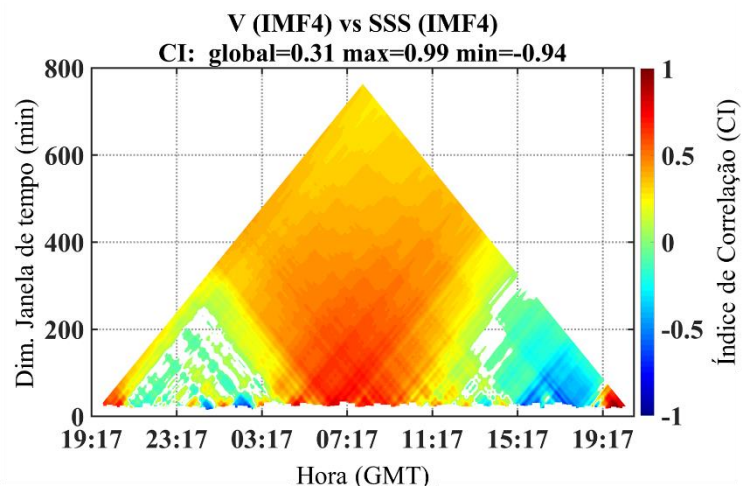
Figura 27 - Correlação entre a salinidade da superfície do mar (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.



Fonte: A autora (2020)

A segunda escala de variabilidade foi representada pela IMF4, explicando 14% da variância e período médio de 49min. Como esta apresentou frequências próximas à IMF4 de V, as duas foram testadas com a TDIC (Fig. 28). O resultado mostra alta correlação no meio da série temporal (CI de 0.99) e menor correlação nos outros períodos (CI de 0.25) o que leva à menor correlação global (CI de 0.31). No período de maior correlação, que concorda com o período de amplitude da corrente de maré observada positiva, as amplitudes das duas componentes são maiores.

Figura 28 - Correlação entre a salinidade da superfície do mar (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.



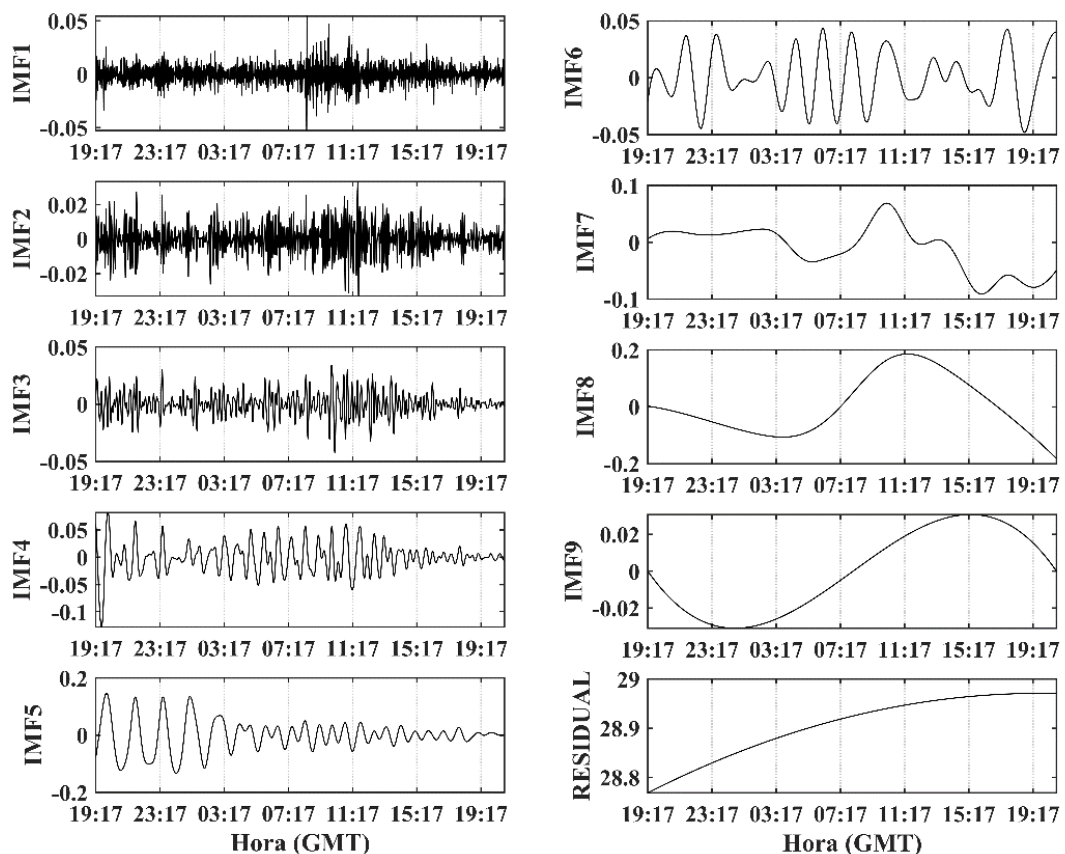
Fonte: A autora (2020)

A temperatura da superfície do mar apresentou 80% da sua variabilidade explicada por duas componentes principais, a IMF8 e a IMF6 (Fig. 29). Como esperado para uma série

temporal com 26 horas de observação, a SST apresentou maior variabilidade no modo de baixa frequência, associado ao período de incidência solar. A IMF8 (período médio de ~12h11min) explica 63% da variância e corresponde ao aquecimento/arrefecimento devido ao período dia/noite com amplitude máxima (0.2°C) próximo ao horário do meio-dia (Fig. 29).

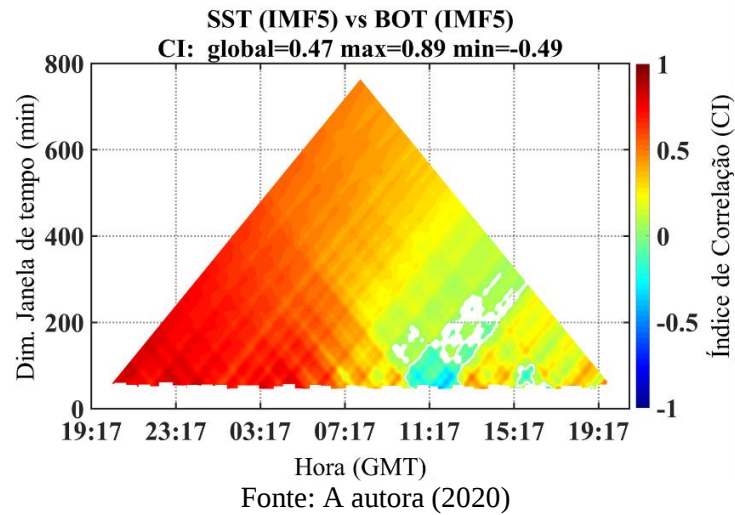
A segunda maior variância foi observada na IMF5, representando 18% da variabilidade do sinal com um período de ~1h08min. Como na IMF5 da SSS, este modo mostrou uma maior variabilidade no início da série temporal, diminuindo até o final do registro com uma taxa mais rápida do que a salinidade. Os resultados da TDIC para IMF5 para SST e a batimetria mostram alta correlação para o período noturno ($\text{CI} = 0.89$) que diminui no período diurno ($\text{CI} = -0.4$ a 0.25) (Fig. 30). Isto implica em águas mais quentes na região do talude durante a noite e, durante o dia, diminuição da influência da posição na variabilidade da temperatura. Isto é esperado uma vez que durante o dia os inputs de calor passam a dominar no sinal.

Figura 29 - Resultado da EEMD para a temperatura da superfície do mar.



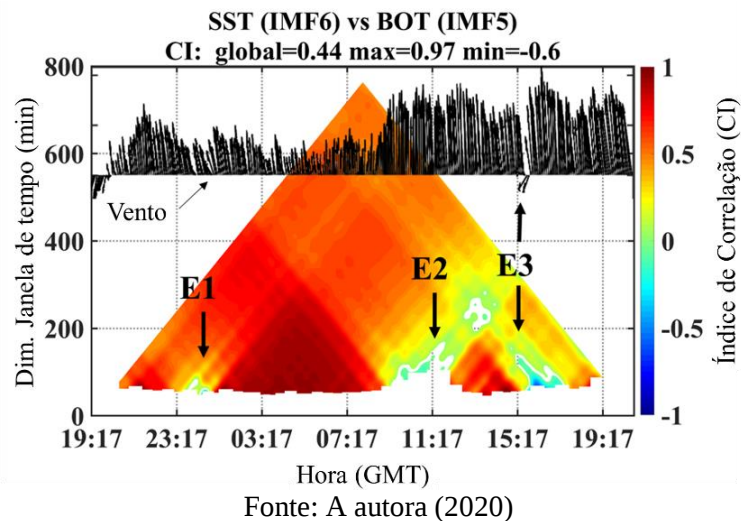
Fonte: A autora (2020)

Figura 30 - Correlação entre a temperatura da superfície do mar (IMF5) e a batimetria obtida pela TDIC.



Outro modo de baixa variabilidade da SST aparentou correlação com a batimetria. A IMF6 (3% da variância; período médio de ~2h09min) apresentou momentos de alta correlação (CI de 0.97) e momentos de baixa correlação (CI de ~0.2) (E1 e E2, Fig. 31). Os eventos de baixa correlação E1 e E2 coincidem com os Eventos 1 e 2 apresentados em V (E1 e E2, Fig. 20). Esses momentos de baixa correlação são impulsionados pela diminuição da variabilidade da temperatura. O aumento da temperatura devido à mudança de intensidade e direção do vento também apareceu na IMF6 como Evento 3 (E3, Fig. 31).

Figura 31 - Correlação entre a temperatura da superfície do mar (IMF6) e a batimetria obtida pela TDIC.

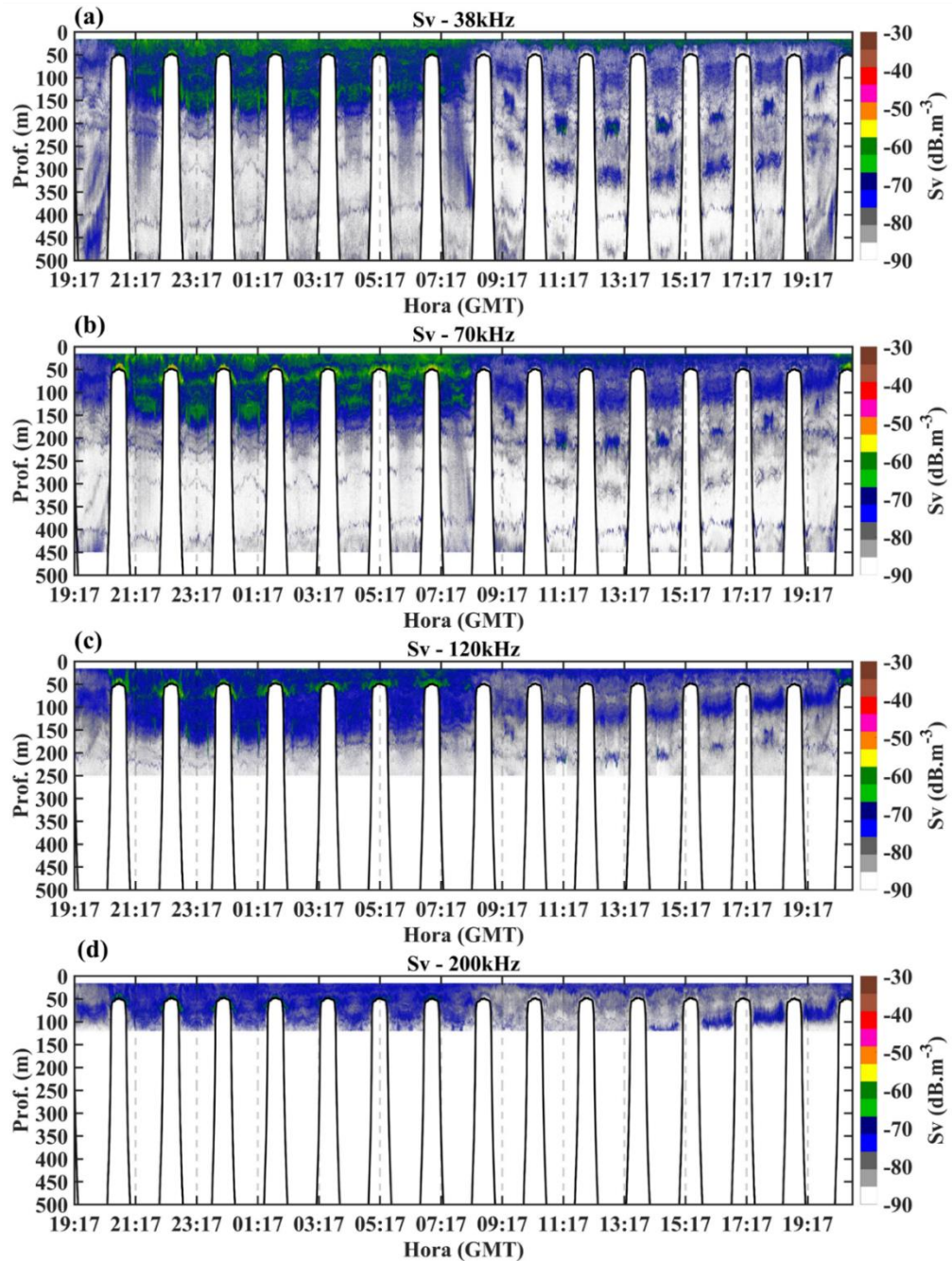


4.2 HIDROACÚSTICA E INTERAÇÕES BIOFÍSICAS

A Fig. 32 apresenta o resultado da integração na resolução de 1m vertical e 1 ping em expressa em termos S_v que é proporcional a biomassa contida nesse volume na frequência de

38kHz (a), 70 kHz (b), 120 kHz (c) e 200 kHz (d). Como esta avaliação envolve importantes migrações nictimerais, as descrições a seguir levaram em conta o período solar. O primeiro pôr-do-sol teve início às 19:00 (GMT) do dia 11 de abril até aproximadamente às 21:30 do mesmo dia dando início à noite, até o amanhecer à aproximadamente 07:10 do dia 12 de abril. O amanhecer teve seu fim às 09:35 e o dia seguiu até o próximo pôr-do-sol às 19:00 do dia 12.

Figura 32 - Eointegração para frequência de 38kHz (a), 79kHz (b), 120kHz (c) e 200kHz (d).



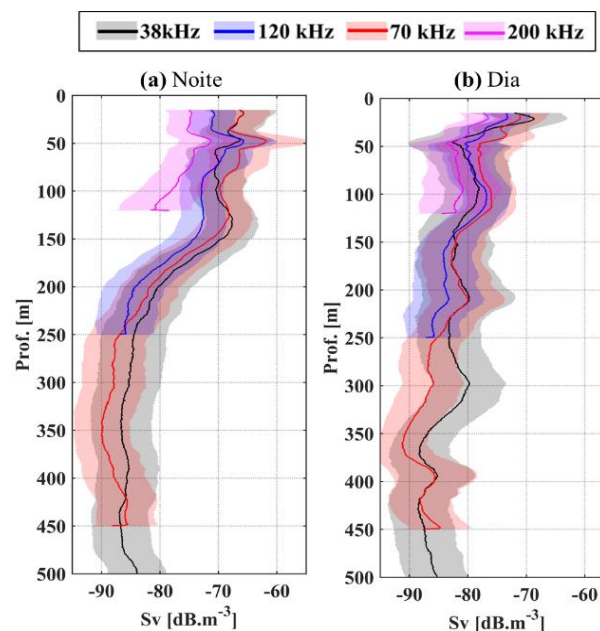
Fonte: A autora (2020)

A Fig. 33 apresenta os perfis médios verticais e o desvio padrão de Sv para os períodos da noite e do dia para as quatro frequências. Os perfis demonstram a clássica distribuição nictimeral, com maiores valores de biomassa acústica nas camadas mais superficiais (até ~200m) durante a noite do que durante o dia. Adicionalmente, foram observados cardumes próximo à parede do talude na profundidade da quebra da plataforma, o que resulta na maior intensidade observada nessa profundidade durante a noite.

Durante o dia foram encontradas as maiores intensidades em profundidades mais rasas do que a da quebra da plataforma, devido à presença de cardumes e ecos individuais de peixes observados na plataforma.

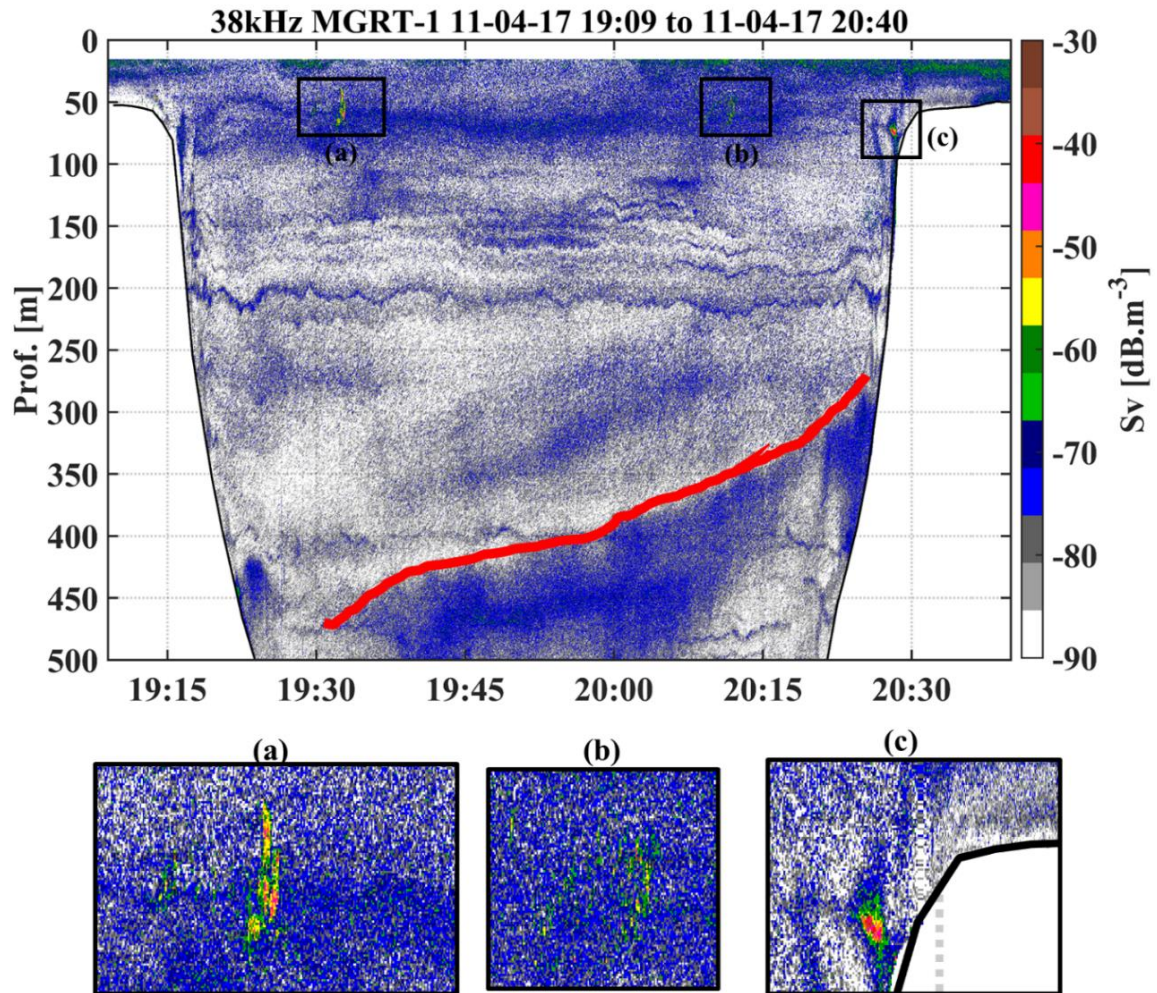
Durante o primeiro MGRT, correspondente ao pôr-do-sol, puderam ser observados ecos com características concordantes com cardumes. Os ecos na Fig. 34a e Fig. 34b fazem parte provavelmente do mesmo cardume, uma vez que estão localizados em lados opostos dos transectos zonais. Outro cardume foi observado na região próxima à quebra da plataforma (Fig. 34c). A linha vermelha na Fig. 34 destaca a nuvem de organismos executando a migração nictimeral. A intensidade dos ecos nesta nuvem é mais fraca do que a observada para os cardumes. Entretanto, temos que considerar que durante a subida o ângulo de inclinação do corpo dos organismos (principalmente dos peixes) é maior, fazendo com que a superfície que seria responsável pela resposta acústica seja menor, e consequentemente a intensidade observada.

Figura 33 - Perfis médios e desvio padrão (sombreado) do Sv para a noite (a) e dia (d).



Fonte: A autora (2020)

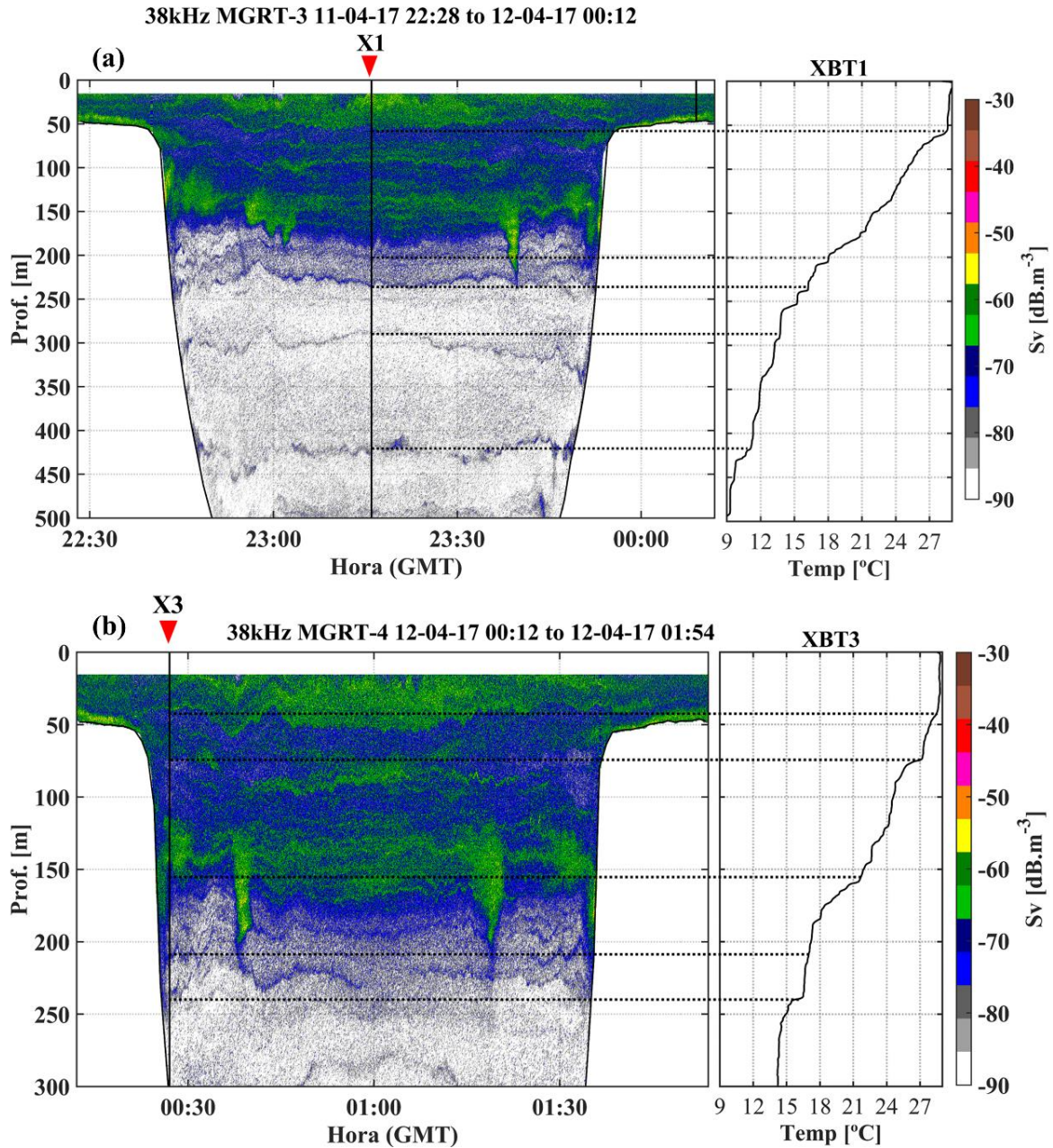
Figura 34 - MGRT 1 cardumes (a-c) e nuvem de migração nictimeral (linha vermelha).



Fonte: A autora (2020)

Outra característica marcante observada durante todos os MGRTs foi a presença de estratificações com acúmulo de organismos, geralmente associada a diferença de densidade, e características ondulatórias que concordam com a presença de ondas internas. A influência da estratificação e das estruturas em degraus fica clara quando comparamos os perfis de temperatura X1 e X3 com o sinal acústico (Fig. 35ab). De acordo com esses perfis, a camada de mistura equivaleria à primeira camada delimitada pelos resultados acústicos. Tendo isso como base, podemos observar a elevação da ML, próximo à quebra da plataforma (Fig. 35ab).

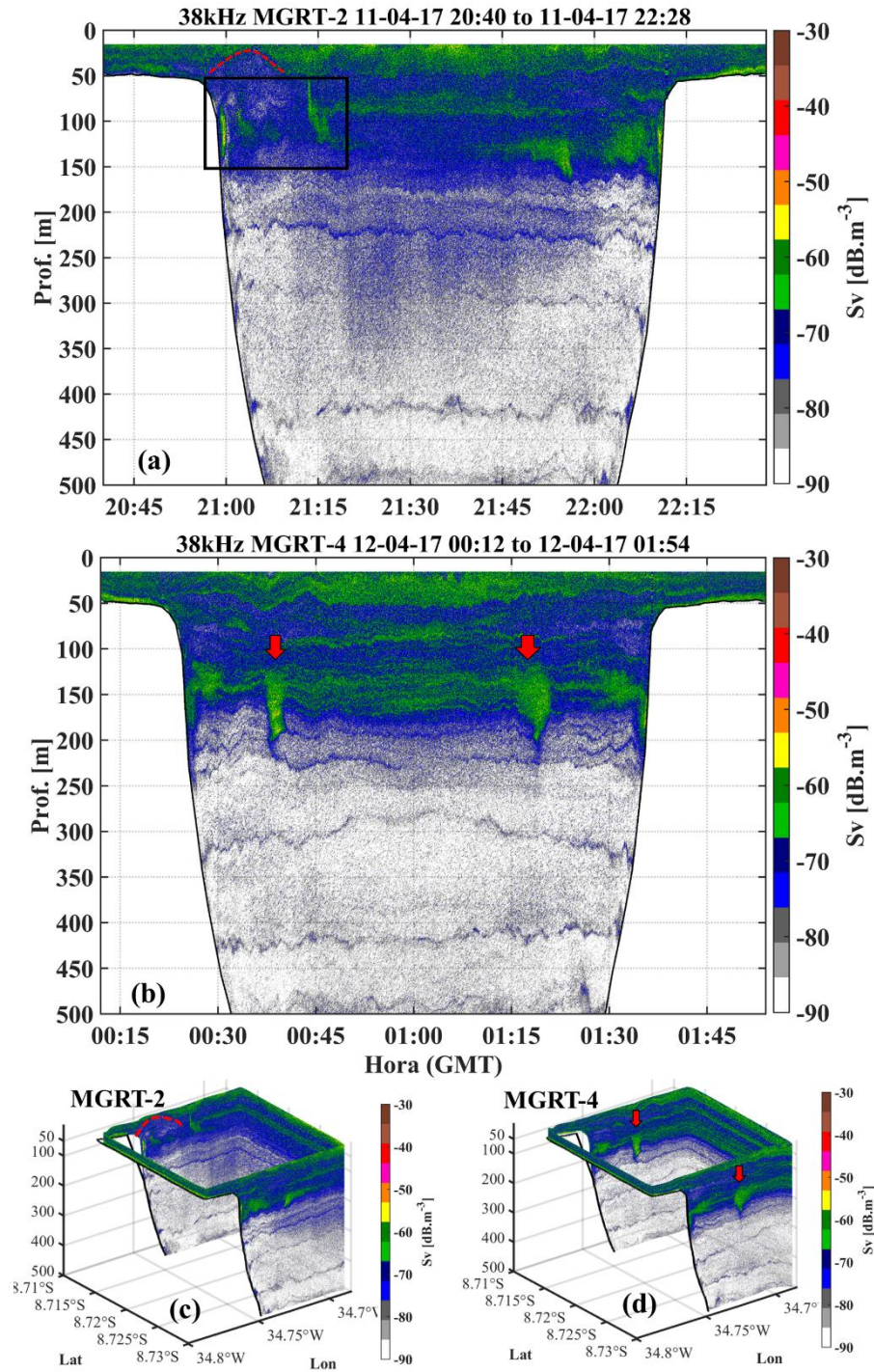
Figura 35 - MGRT 3 e perfil de temperatura do XBT X1 (a) e MGRT 4 e perfil de temperatura do XBT X3 (b).



Fonte: A autora (2020)

Em outros momentos podemos observar a supressão da ML nas camadas superficiais do sinal acústico (MGRT2, Fig. 36ac, linha vermelha). Nesses momentos de supressão, a posição e distribuição dos cardumes próximos parece ser diretamente afetada por alguma corrente vertical (MGRT2, Fig. 36a, em destaque) com reorganização nos próximos transectos (MGRT 3, Fig. 35a; MGRT 4, Fig. 36bd, setas vermelhas).

Figura 36 - MGRT 2 em duas dimensões (a) e em três dimensões (c) e MGRT 4 em duas dimensões (b) e três dimensões (d).

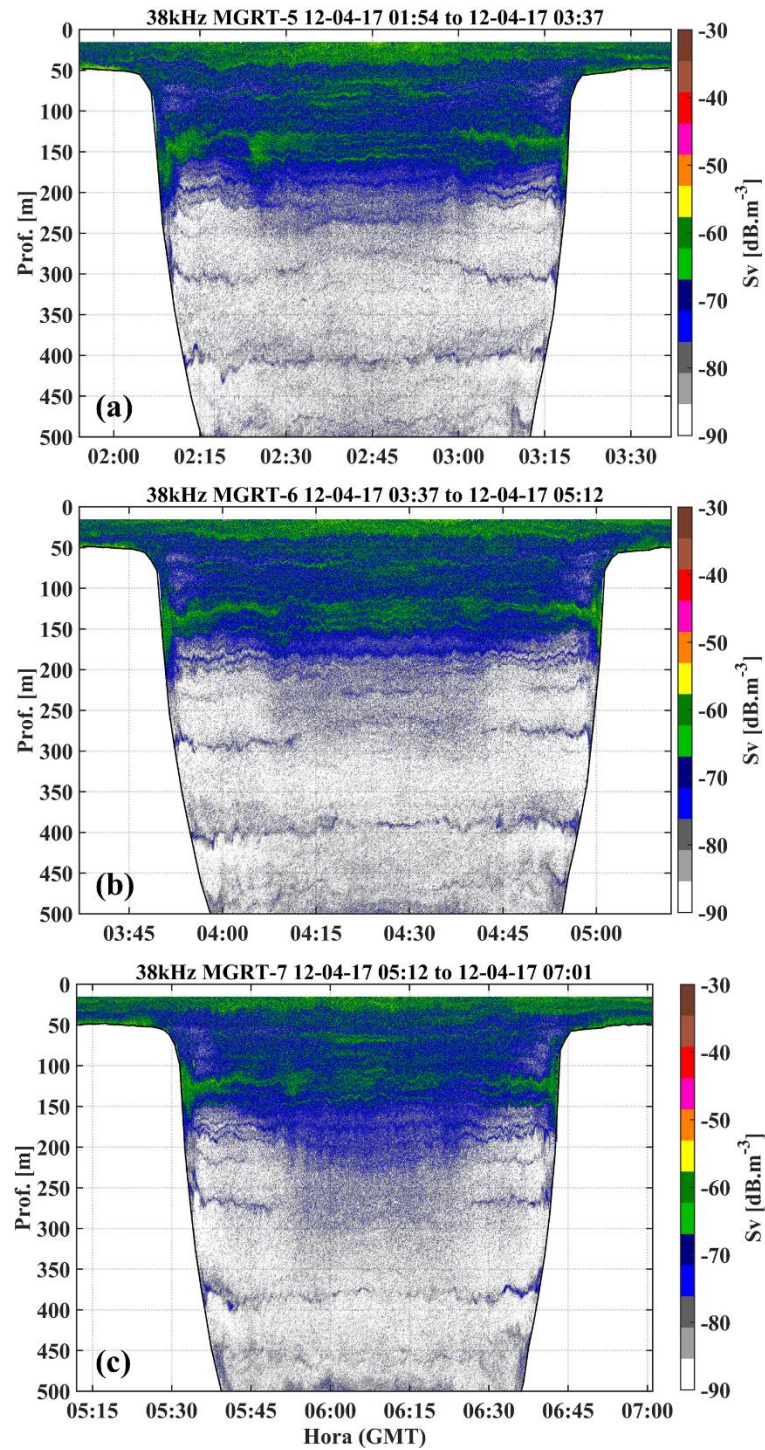


Fonte: A autora (2020)

Próximo à 2:00 (GMT), ainda no período da noite os cardumes (apontados nas figuras anteriores) começam e se dispersar horizontalmente (Fig. 37ab) e próximo a 5:45 (Fig. 37c) parte dos organismos volta a migrar para maiores profundidades. A nuvem de migração mais

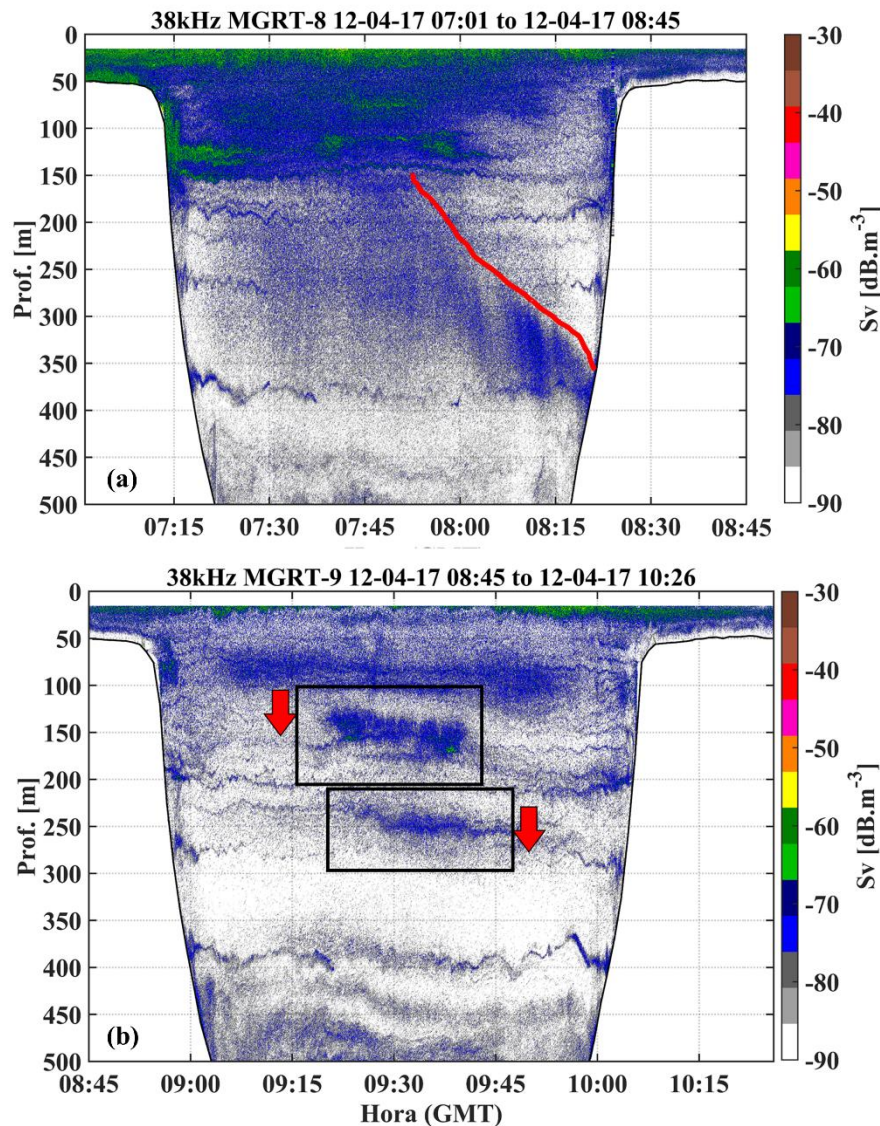
visível foi formada após o amanhecer (após 7:10) (Fig. 38) e, em particular dois grupos migraram no fim do amanhecer (Fig. 38b).

Figura 37 - MGRT 5 (a) MGRT 6 (b) e MGRT 7 (c).



Fonte: A autora (2020)

Figura 38 - MGRT 8 (a) e MGRT 9 (b).



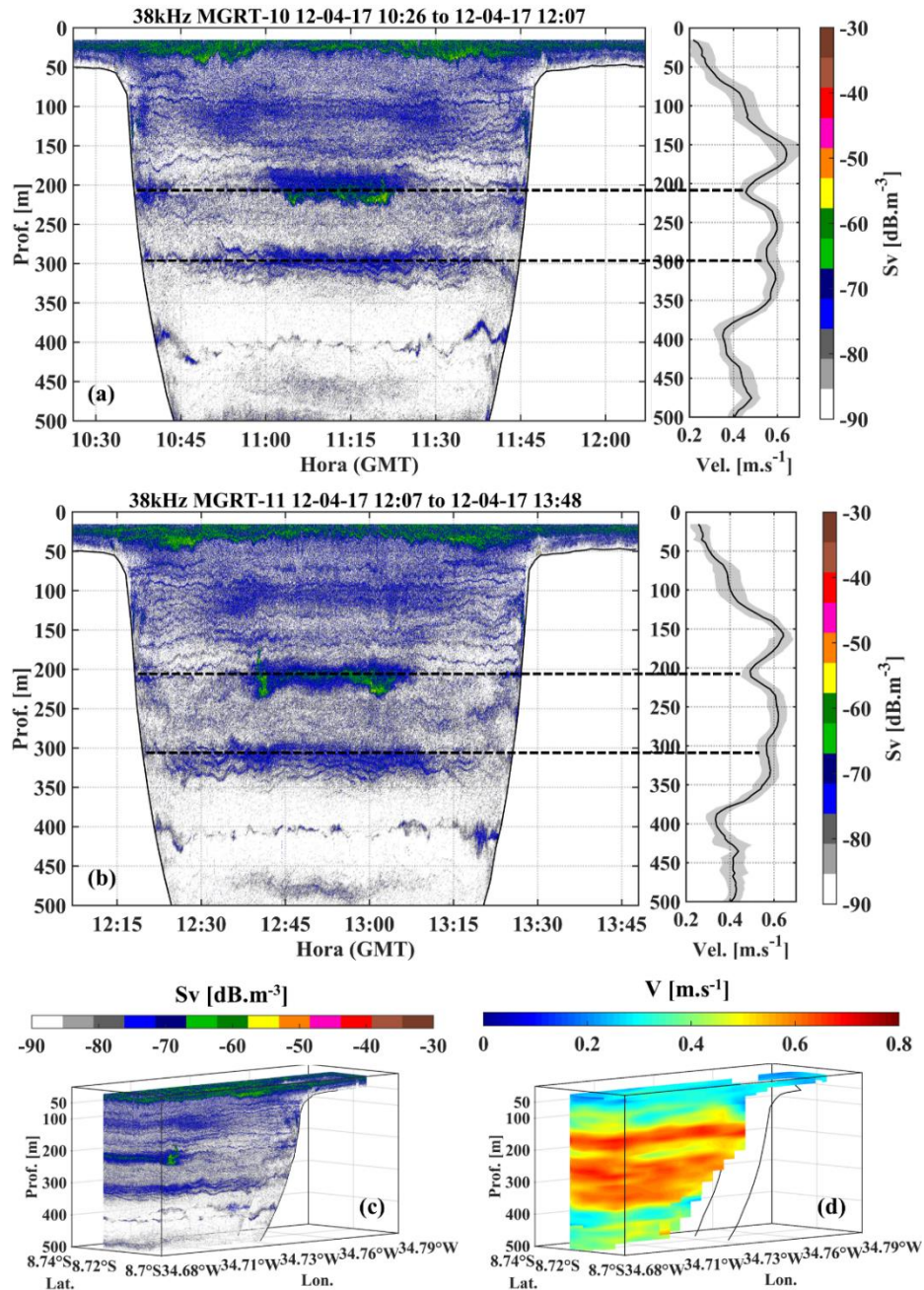
Fonte: A autora (2020)

Esses grupos não completaram a migração para águas mais profundas do que 400m como a grande maioria dos migrantes. O grupo superior, com ecos mais intensos compatíveis com peixes de pequeno porte (CANALES, 2017), se instalou por volta da profundidade de 200m (Fig. 39). O segundo grupo se instalou por volta de 300m de profundidade (Fig. 39). Não é possível ter certeza de qual classe de organismo esse segundo grupo faz parte, uma vez que ainda está em desenvolvimento o algoritmo para separação dos ecos de peixes, crustáceos, gelatinosos e algas para essa região.

Comparando as profundidades em ocupadas agora pelos dois grupos com a velocidade aSB (Fig. 39), podemos perceber a correlação com o perfil da corrente, e consequentemente com o cisalhamento vertical da corrente. A ocupação por esses organismos aparenta ser

proposital, uma vez que ela se mantém durante o restante do dia (MGRT 12, Fig. 40a; MGRT 13, Fig. 40b).

Figura 39 - MGRT 10 (a) e MGRT 11 em duas dimensões (b) e três dimensões (c) perfil médio da velocidade aSB é apresentado a direita e instantânea em três dimensões para MGRT 11 (d).

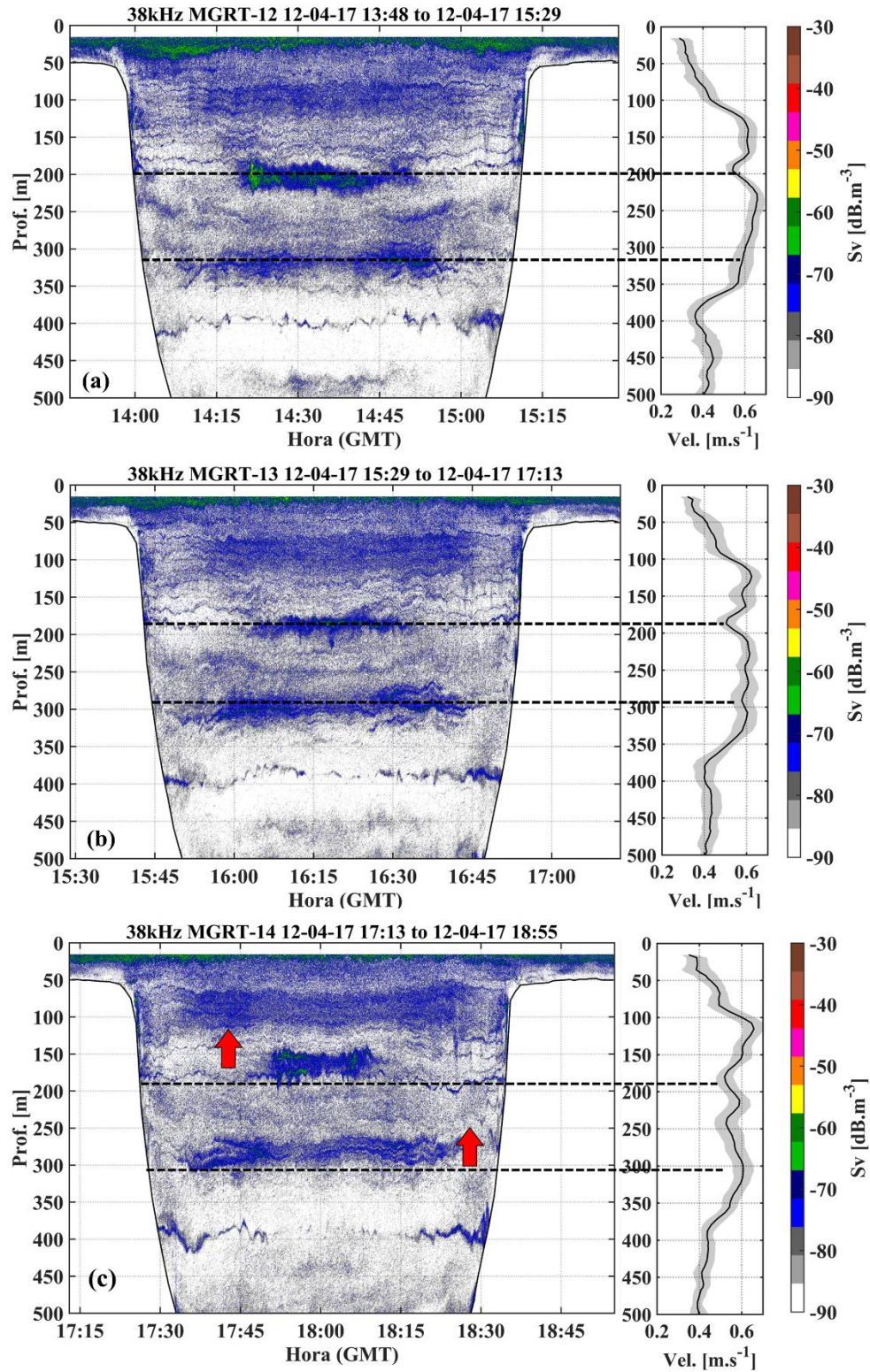


Fonte: A autora (2020)

Uma observação a ser destacada foi a diminuição da intensidade de S_v na camada considerada de peixes a partir do MGRT 13 (15:30 – 17:13, Fig. 40b). Como foi destacado anteriormente, a mudança do ângulo de inclinação dos peixes durante a subida ou descida, é a mais provável responsável pela mudança observada. Isto é corroborado na próxima observação

(MGRT 14 15:17 – 18:45, Fig. 40c) quando ambos os grupos voltam a realizar a migração nictimeral.

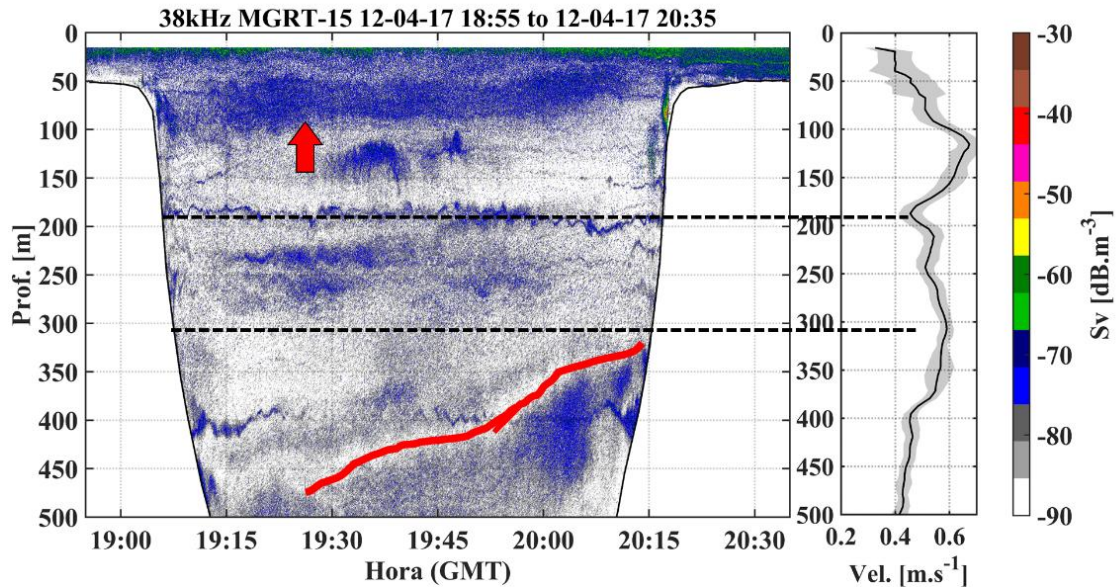
Figura 40 - MGRT 12 (a), MGRT 13 (b) e MGRT 14 (c). O perfil médio da velocidade aSB é apresentado a direita.



Fonte: A autora (2020)

Apesar de ambos os grupos darem início a subida cedo, a nuvem de migração só foi observada no MGRT 15 (Fig.41), o que é compatível com o pôr-do-sol às 19:00. A migração a partir de águas mais rasas pode ter implicações energéticas, e a subida mais cedo pode fornecer em vantagens ecológicas em termos de menor competição com outros predadores.

Figura 41 - MGRT 15. Linha vermelha destaca migração nictimeral.

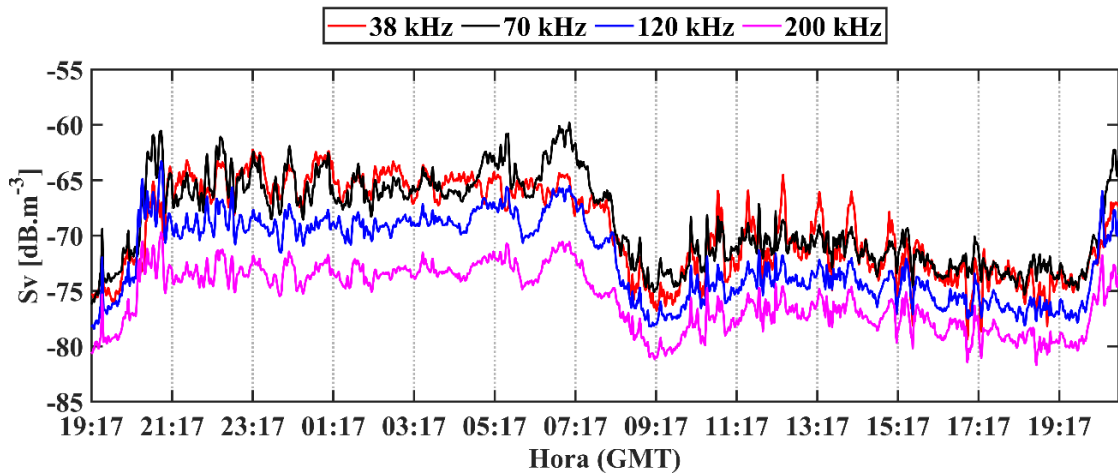


Fonte: A autora (2020)

Uma vez caracterizada a distribuição dos organismos na coluna d'água em maiores profundidades e a influência da hidrodinâmica, o próximo passo consiste em avaliar a variabilidade da resposta acústica em função da hidrodinâmica nos primeiros 50m. A Fig. 42 apresenta a série temporal da biomassa acústica para as quatro frequências. No presente trabalho, apenas o resultado da EEMD da frequência de 38kHz será apresentado. Menores frequências são comumente utilizadas para observação de organismos maiores (e.g. peixes) e devido ao maior comprimento de onda, oferecem uma resposta menor à menores tamanhos de organismos. Desta forma, a biomassa acústica investigada é representativa desses organismos maiores realizadas.

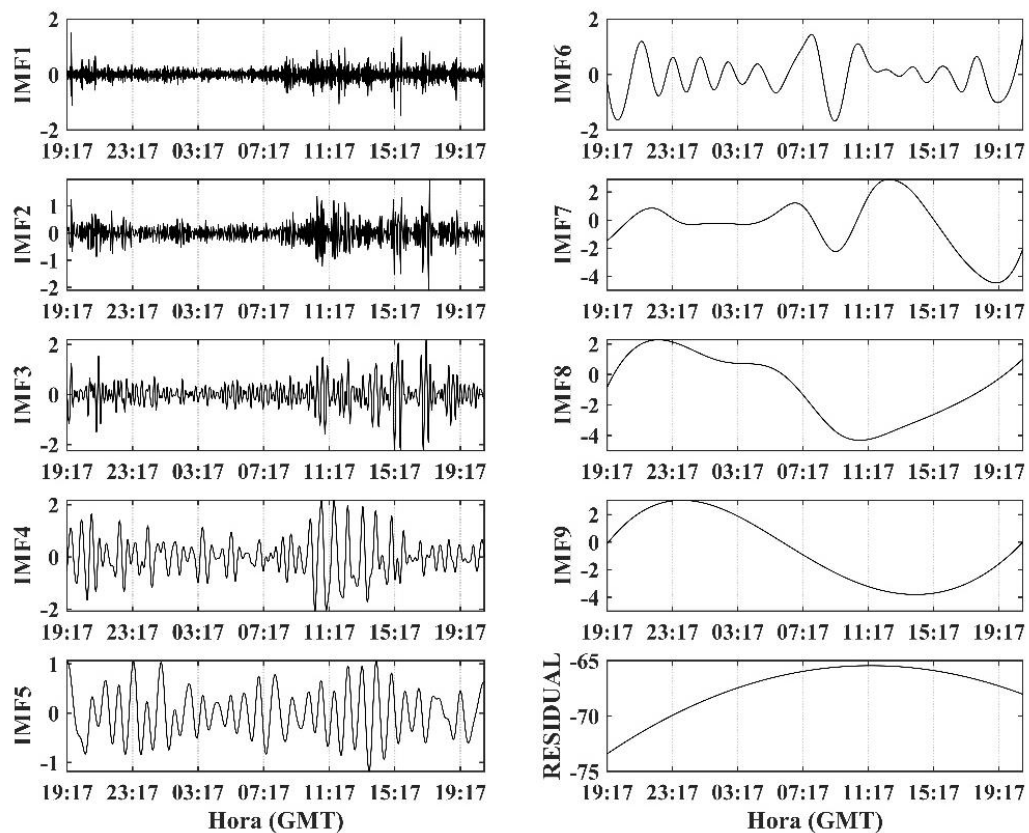
O resultado da EEMD para a frequência de 38 kHz é apresentado na Fig. 43. A Tabela 3 apresenta os valores de variância e período médio das IMFs. Como esperado, a maior contribuição para a variabilidade do sinal observado foi dada pela migração nictimeral, correspondente as três últimas escalas de variabilidade (IMF7, IMF8 e IMF9), representando 90% da variabilidade total.

Figura 42 - Serie temporal da média dos primeiros 50 metros da biomassa acústica usada para as frequências de 38, 70, 120 e 200 kHz.



Fonte: A autora (2020)

Figura 43 - Resultado da EEMD para a biomassa acústica (Sv) para a frequência de 38 kHz.



Fonte: A autora (2020)

De forma a investigar a variabilidade relacionada aos processos físicos, as variâncias foram redistribuídas para descartar padrões nictimerais. A Tabela 3 apresenta os percentuais de variância redistribuídos na última coluna. Quatro escalas de variabilidade foram investigadas, a escala de 16min (IMF3), 35 min (IMF4), 58min (IMF5) e a de 2h30 min (IMF6).

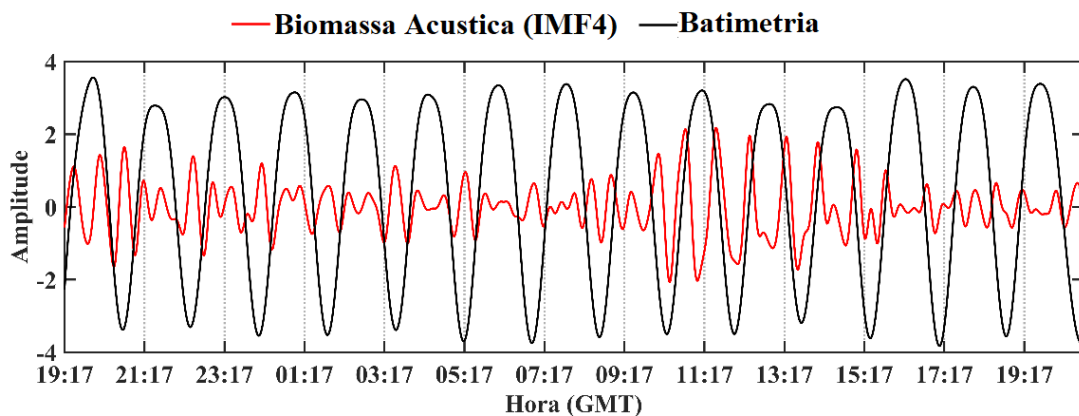
Tabela 3- Percentual de variância (Var) e período médio (Período) e variância redistribuída para as IMFs obtidas da EEMD da biomassa acústica na frequência de 38 kHz.

IMF	Sv 38 kHz		
	Var (%)	Período	Var (%)
1	0.34	5min	3.30
2	0.75	9min	7.24
3	1.72	16min	16.55
4	3.30	35min	31.79
5	1.41	58min	13.56
6	2.86	2h30min	27.57
7	21.88	8h30min	-
8	29.18	15h54min	-
9	38.55	25h25min	-

Fonte: A autora (2020)

A escala de 35 min (IMF4) foi a mais significativa das 4 e representa a variabilidade relacionada à posição próxima a quebra da plataforma, 35min é aproximadamente o tempo entre a posição na quebra da plataforma e a próxima quebra, passando pela plataforma. Isto equivale a dizer que as maiores biomassas acústicas nessa escala são encontradas exatamente na transição da quebra da plataforma para o talude durante o dia e na plataforma durante a noite. A IMF4 da biomassa acústica e a batimetria (IMF5) são apresentadas sobrepostas na Fig. 44. Devido a diferença de período médio entre a batimetria e essa escala de variabilidade, a TDIC não apresentou correlações significativas. A diferença de biomassa nessas regiões pode ser observada na Fig. 37 (noite), Fig. 39 e Fig. 40 (dia)

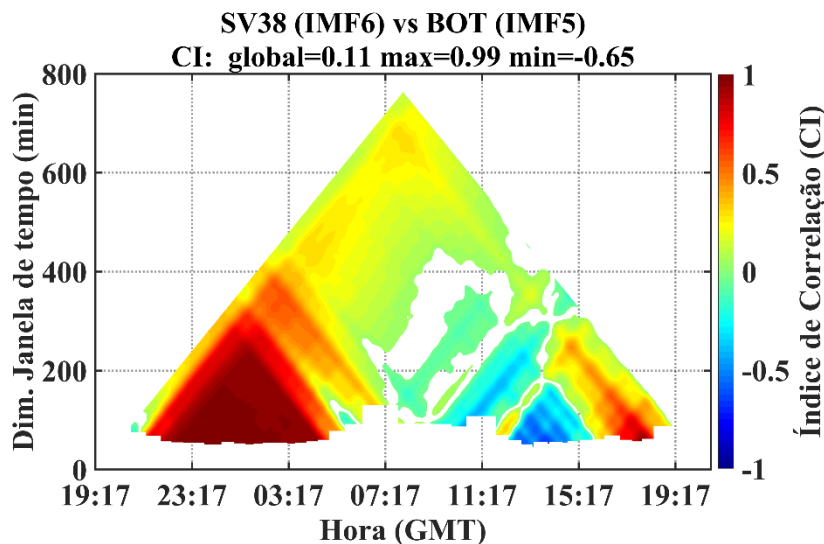
Figura 44 - IMF4 da biomassa acústica (vermelho) e batimetria (preto, IMF5 *10⁻³).



Fonte: A autora (2020)

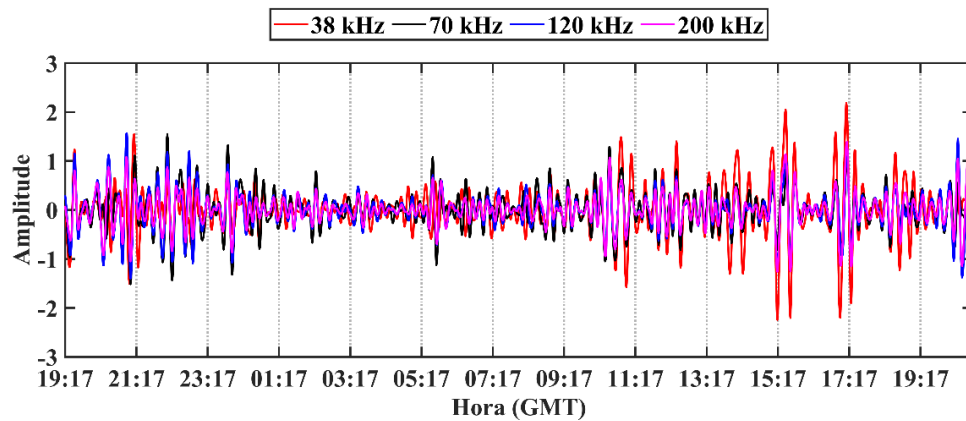
A segunda escala de variabilidade (2h30min; IMF6) é representativa da profundidade da coluna d'água. A TDIC com a batimetria indica alta correlação durante à noite (CI=0.99, Fig. 45) com maior biomassa acústica em regiões com maiores profundidades do que na plataforma. Quando é dado início a migração nictimeral para o fundo (Fig. 37c) a correlação decresce. Durante o dia a biomassa acústica não apresenta um padrão definido em relação ao talude nessa escala.

Figura 45 - Correlação entre a biomassa acústica (IMF6) e a batimetria obtida pela TDIC.



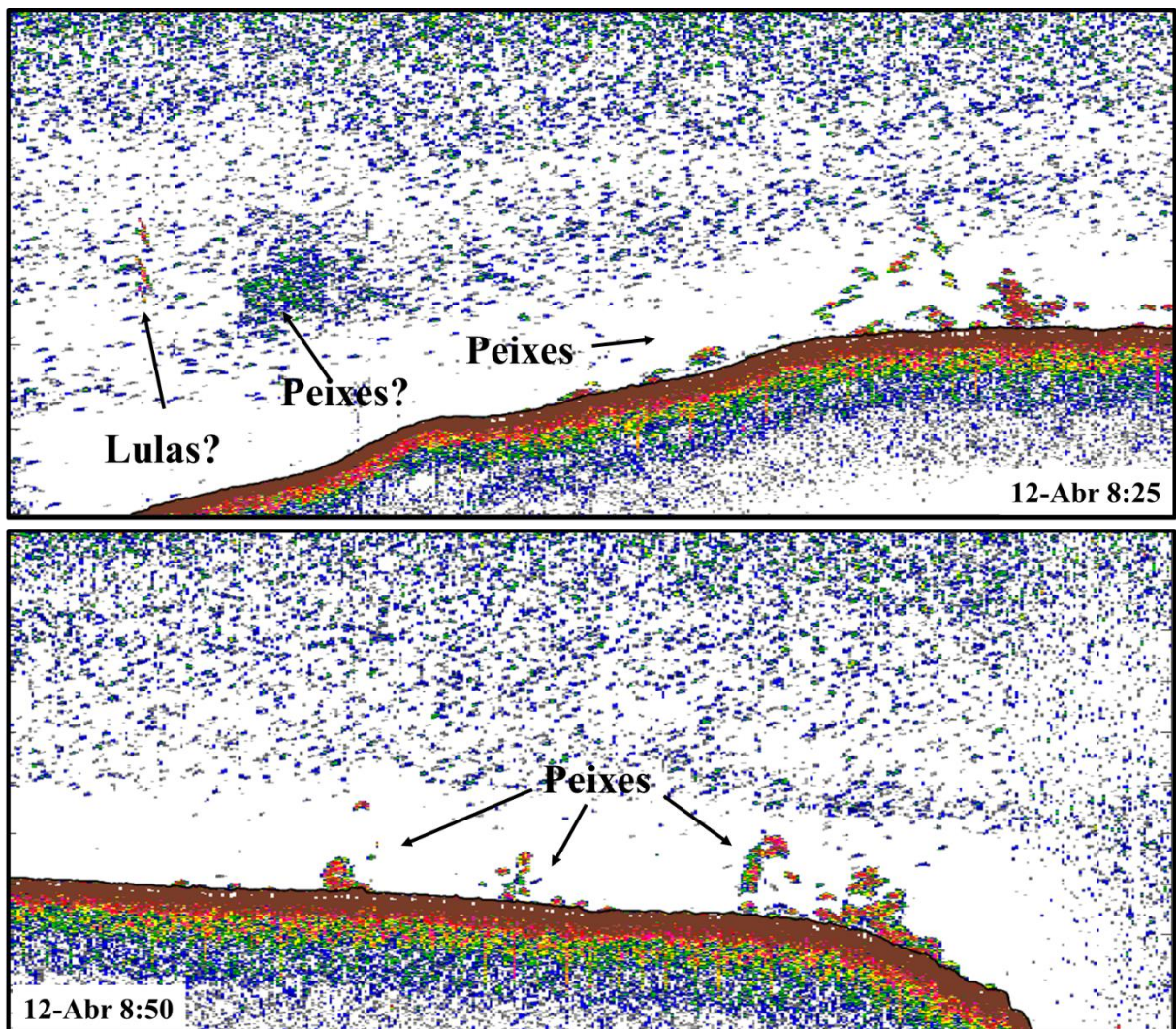
A terceira escala de variabilidade (IMF3) corresponde a ecos individuais e pequenas agregações de peixes com típica resposta da acústica. A comparação dessa componente com a componente mesma componente para as outras frequências (Fig. 46) indica uma certa consistência entre as respostas nessa escala, indicando ecos de peixes durante o dia. A Fig. 47 apresenta snapshots do ecograma durante o período da manhã, onde ecos de agregações de peixes e de (prováveis) lulas são indicados. Durante a noite existe uma diferença de amplitude das diferentes frequências que evidenciam a mudança de composição devido à migração nictimeral, além do momento de migração vertical. A Fig. 48 apresenta snapshots do ecograma durante o período da noite, com maior abundância e organismos mais dispersos na coluna d'água.

Figura 46 - Modos de variabilidade de 16min (IMF3) da biomassa acústica em 38, 70, 120 e 200 kHz.



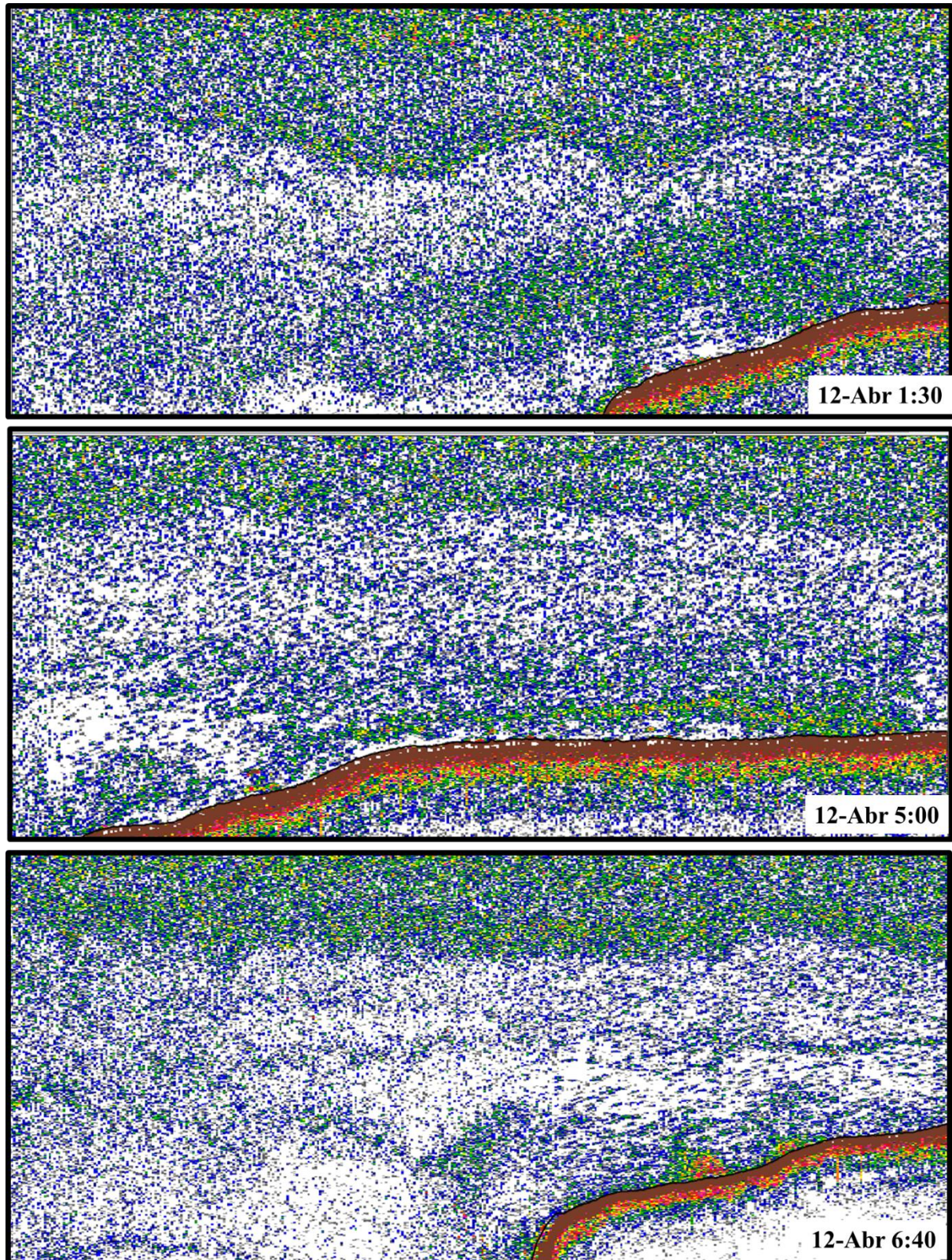
Fonte: A autora (2020)

Figura 47 - Ecograma bruto mostrando os ecos na quebra da plataforma para dois momentos do dia 12 às 8:25 (acima) e 8:50 (abaixo).



Fonte: A autora (2020)

Figura 48 - Ecograma bruto mostrando os ecos na quebra da plataforma para três momentos durante o dia 12 às 1:30 (acima), 5:00 (centro) e 6:40 (abaixo).

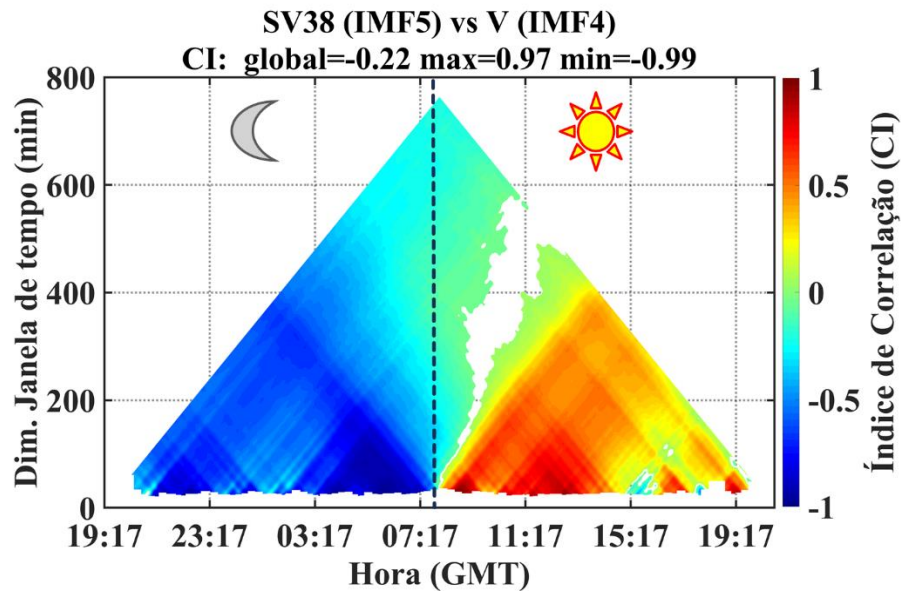


Fonte: A autora (2020)

A quarta escala de variabilidade (IMF5) correspondeu a escala de resposta à hidrodinâmica, com período médio próximo ao das ondas de maré interna da componente aSB da corrente (IMF4) (Fig. 49). O padrão observado foi o de menor biomassa acústica com maior intensidade da corrente apenas durante a noite. Durante o dia, o padrão de resposta às correntes parece ser inverso ou não influenciar a distribuição dos organismos. Isto revela uma resposta à hidrodinâmica dependente do período nictimeral, ou seja, dos organismos que estão ocupando as camadas mais superficiais da coluna d'água.

No próximo capítulo serão discutidos os resultados das principais descobertas apresentadas aqui e suas respectivas consequências.

Figura 49 - Correlação entre a biomassa acústica (IMF5) e a corrente aSB (IMF4) pela TDIC.



Fonte: A autora (2020)

5 DISCUSSÃO

Estudos recentes demonstraram que os processos de submesoescala são fundamentais para o balanço global de fluxos de calor (CAPUANO *et al.*, 2018; SU *et al.*, 2018), pois representam um caminho intermediário e complexo para a energia entre os processos turbulentos de microescala e os fluxos de quase geostróficos de mesoescala (MCWILLIAMS, 2016). Neste trabalho, foi observado que os processos predominantes atuando na região da quebra da plataforma/talude em submesoescala estavam na sua maioria correlacionados com a forçante de maré e a propagação de ondas internas.

A campanha ABRAÇOS 2 foi realizada no outono austral de 2017, período que corresponde às intensidades intermediárias da SCNB (SCHOTT *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2009b). Em abril, também são encontradas temperaturas mais altas da superfície do mar (DOMINGUES *et al.*, 2017). Os perfis de temperatura observados aqui, apresentaram camada de mistura rasas, relacionadas com os ventos mais fracos. Além disso, foi observada a elevação da isoterma de referência próxima à região da quebra da plataforma. Em todos os perfis, é clara a predominância de águas de alta salinidade (>37) em profundidades mais superficiais. Estes valores estão geralmente associados à Água de Máxima Salinidade (MSW) (ARAUJO *et al.*, 2011) de origem tropical transportada pela SCNB. Embora a Camada Barreira associada à MSW tenha sido previamente relatada para a região nordeste (ARAUJO *et al.*, 2011), os pequenos gradientes verticais de salinidade observados aqui não sustentaram esta barreira.

Os resultados também demonstram a fragmentação da termoclina representada pela estrutura "step-wise" próxima à região da quebra da plataforma. Navrotsky *et al.* (2004) observaram uma estrutura semelhante para perfis termohalinos próximos à quebra da plataforma no Mar do Japão e atribuíram essa estrutura à mistura induzida por ondas internas dentro da termoclina. As observações para o talude próximo a região do Mar Amarelo chegaram a mesma conclusão (LEE *et al.*, 2006; LIU *et al.*, 2009). O elevado gradiente vertical de velocidade (cisalhamento) associado a estrutura fragmentada corrobora com este achado, uma vez que esses gradientes podem ser resultantes da propagação e quebra de ondas internas (NAVROTSKY *et al.*, 2004).

Outra evidência de onda interna apareceu no quarto modo de variabilidade da corrente aSB. Esta oscilação parece ter maiores amplitudes nos momentos de amplitude positiva da maré e menores amplitudes em momentos negativos da amplitude da maré (Fig. 15). De forma intuitiva, este modo parece remeter à ondas internas moduladas pela maré, ou seja, maré interna

com período de $\sim 0.014N$ (N é a frequência de Brunt–Väisälä) ou $\sim 15\omega_0$ da frequência semi-diurna. A profundidade da camada de mistura, mais rasa do que a profundidade da quebra e os “degraus” da termoclina fornecem as interfaces para que estas ondas se propaguem.

A alta frequência associada indica que o local de geração para esta onda interna está próximo (ARBIC *et al.*, 2018). O próprio talude é a feição de fundo mais provável pela geração dessa onda interna, uma vez que configura o local onde a força geradora é maior (BAINES, 1973; LEGG, 2014). A propagação dessas ondas internas através da quebra da plataforma pode ser responsável pelo transporte horizontal de partículas passivas (LAMB, 1997; 2013; NOBLE *et al.*, 2009; ARTHUR; FRINGER, 2016), pelas trocas verticais significativas de calor e pela mistura através da picnoclina (SHROYER *et al.*, 2010; MOUM *et al.*, 2002). Além da organização passiva do plâncton gerada pela passagem dessas ondas internas (PINEDA, 1994), no presente trabalho pôde ser observada variabilidade no sinal acústico representando influência direta das correntes geradas por essas ondas na biomassa acústica de peixes. Os padrões apresentaram característica nictimerais, com os peixes evitando as regiões com maiores correntes durante a noite. Algumas oscilações com período médio próximo a este modo também apareceram no 4º modo para a salinidade da superfície do mar, temperatura e corrente cSB. Na última, o padrão observado provavelmente surge de interações não lineares geradas pelo cisalhamento horizontal gerado pela passagem dessas ondas. A correlação do modo da salinidade com a corrente aSB demonstra uma resposta da salinidade superficial à passagem dessas ondas quando a amplitude é maior.

A turbulência gerada pelo alto cisalhamento observado para esta região pode misturar e reorganizar os traçadores (como nutrientes) e os componentes vivos passivos do ecossistema marinho (como fitoplâncton e zooplâncton) na coluna de água (DENMAN; GARGETT, 1983; HAURY *et al.*, 1990; BERTRAND *et al.*, 2008b). Essa reorganização do plâncton na coluna d’água foi observada na região durante todo o período do MGRT (Fig. 34 – Fig. 41), sendo mais evidente próxima à parede do talude. As estruturas das ondas internas observadas através da acústica podem ser utilizadas para entender a estrutura termohalina na região onde não foram realizadas estações (STRANNE *et al.*, 2017). A comparação com os perfis de XBT indica a camada de mistura e momentos de elevação dessa camada, principalmente na região da quebra da plataforma. É de se esperar que isso seja também uma consequência da quebra de ondas internas nessa região.

Além do cisalhamento sem estrutura coerente, foram observadas bandas de forte cisalhamento atribuídas ao elevado gradiente de velocidade na presença da SCNB e ao seu núcleo reduzido (próximo de 187m). Esta relação entre CFO e bandas de cisalhamento coerentes também foi observada para a corrente de Kuroshio, onde foram descritas como resultantes da propagação de ondas internas (NAGAI *et al.*, 2017). As bandas nunca foram relatadas antes para a SCNB devido à escala observacional ou de trabalho utilizada em trabalhos anteriores (SCHOTT *et al.*, 2002, 2005; VELEDA *et al.*, 2011).

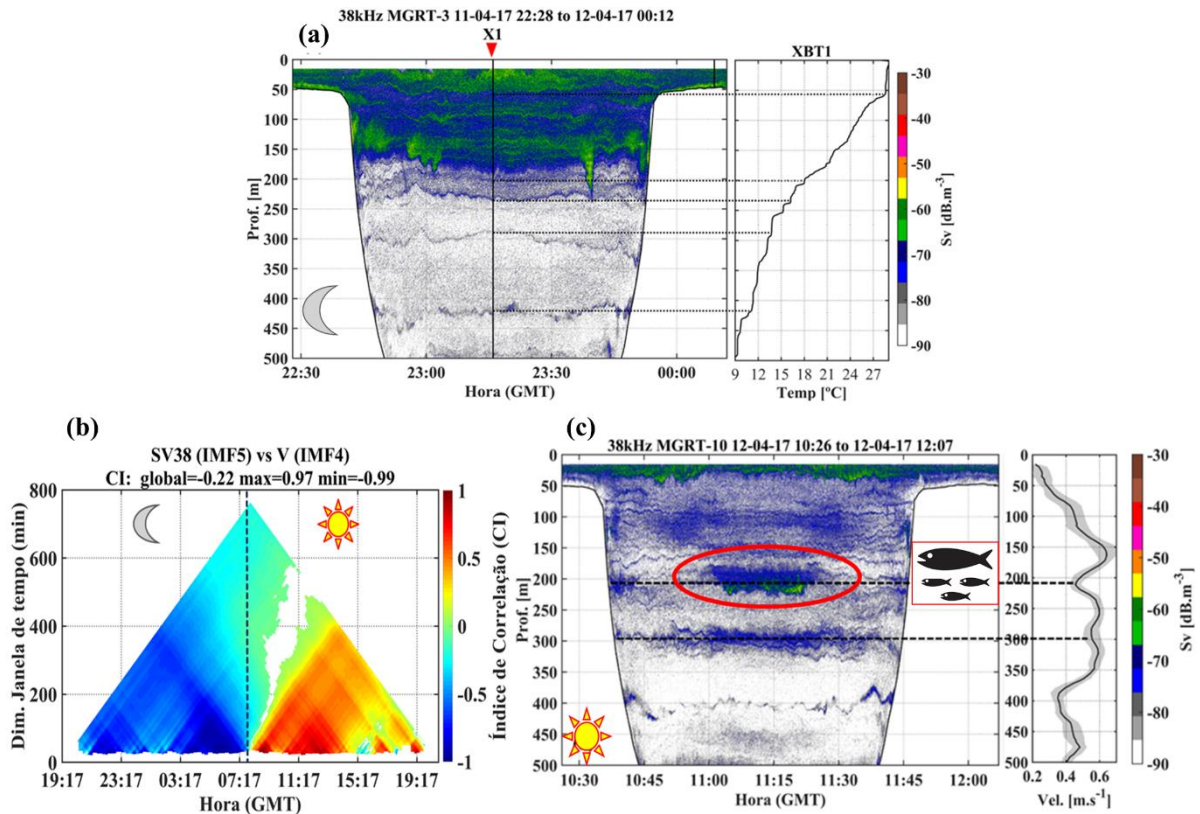
Com a passagem das ondas internas e a mistura gerada, a alternância de estabilização e desestabilização da estratificação pode fornecer nutrientes à camada eufótica superior favorecendo a produção primária (PINGREE *et al.*, 1981; LEGENDRE, 1981; NAGAI *et al.*, 2017). De forma análoga, a forçante da maré que eleva a SCNB para águas rasas aumenta o cisalhamento horizontal na região da quebra/talude, aumentando também a mistura para águas mais rasas. Como a corrente SCNB, juntamente com a Corrente Norte do Brasil (CNB), faz parte da Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico (AMOC), é importante considerar a energia turbulenta associada a esses altos gradientes de velocidade verticais e horizontais no cálculo e estimativas de fluxo de calor e energia cinética no transporte inter-hemisférico (SHROYER *et al.*, 2010; SEAGER; SIMPSON, 2016; NASH *et al.*, 2012).

A diminuição da velocidade da SCNB que gera a banda central de cisalhamento, além de ter consequências para a mistura, parece influenciar de forma direta a distribuição de um grupo de organismos que ocupa preferencialmente essa região durante o dia (Figura 39). Isto é, a região com correntes menos intensas parece oferecer uma espécie de abrigo para os organismos que precisam fazer migração nictimeral contra a forte corrente. Isto pode ter implicações energéticas e ecológicas. Do ponto de vista energético, e evasão de regiões com elevada dinâmica representa um gasto energético menor para organismos que já gastam bastante energia executando as migrações nictimerais. Já a ocupação de regiões menos profundas pode representar uma vantagem competitiva, uma vez que os organismos nessa camada atingem a superfície primeiro na migração nictimeral, fazendo com que iniciem o forrageio antes dos outros grupos. O tempo de forrageio e a vantagem competitiva assim como o menor gasto energético podem afetar diretamente o ajustamento desses organismos (RICKLEFS, 2003).

Em resumo, foram observadas influências indiretas e diretas da hidrodinâmica na distribuição dos organismos na coluna d'água. A indireta representada pela estratificação das camadas com acúmulo de organismos concomitante com a estratificação fragmentada da

termoclina (Fig. 50a). A direta foi observada nos primeiros metros e em profundidade em momentos distintos, revelando uma característica nictimeral (Fig. 50bc). Durante a noite, nos primeiros metros, os organismos evitam regiões com correntes resultantes de onda internas (Fig. 50b) e, em profundidade durante o dia, provavelmente os mesmos organismos (peixes), buscam abrigo em camadas com menores intensidades de correntes (Fig. 50c).

Figura 50 - Relações indiretas (a) e diretas para os primeiros 50m (b) e em profundidade (c) entre a hidrodinâmica e a biomassa acústica.



Fonte: A autora (2020)

Outra observação é obtida através da comparação da campanha de hidroacústica realizada no contexto do projeto REVIZEE realizada durante maio e junho de 2004 (inverno austral). A campanha foi realizada com a ecossonda EK500 na frequência de 38kHz ao longo da plataforma, talude e região oceânica adjacente do Nordeste do Brasil, incluindo Bancos Oceânicos do Ceará, Atol das Rocas e Arquipélagos de Fernando de Noronha e de São Pedro e São Paulo. Um dos resultados foi a observação para toda a costa de maiores concentrações de organismos nas camadas entre a superfície e aproximadamente os 200 m e abaixo dos 500 m. O estrato entre os 200 e 500m era raramente ocupado por concentrações organismos. Eles especularam que essas características das camadas mais superficiais estavam provavelmente associadas a termoclina permanente e mais profunda para a época do ano e à característica

oligotrófica das águas da ZEE nordestina (WEIGERT; MADUREIRA, 2011). No presente trabalho entretanto, concentrações de organismos foram encontradas dentro dessa faixa de profundidade (~300m). Isso pode refletir mais uma vez a fragmentação da estratificação com quebra da termoclina para o período observado (abril de 2017) e a importância da estratificação para a distribuição dos organismos.

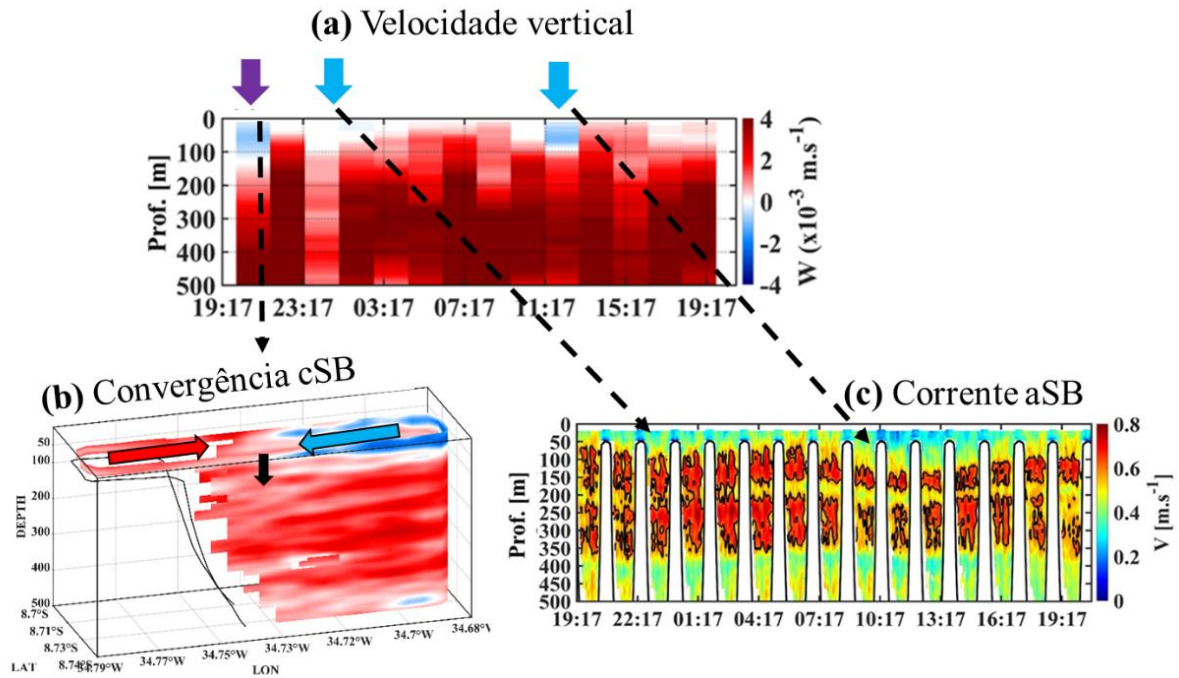
De volta ao gradiente térmico, para que a isoterma seja erguida na região da quebra da plataforma, é necessário que exista alguma corrente vertical positiva que transporte águas mais frias para menores profundidades e uma corrente cSB negativa para transportar essas águas em sub-superfície em direção à plataforma.

A velocidade vertical foi obtida a partir da equação da continuidade e evidenciou uma tendência de *upwelling* em profundidade que em alguns momentos alcançou camadas mais rasas da coluna d'água. Embora a corrente vertical não pudesse ser diretamente comparada a corrente aSB, alguns dos eventos de downwelling (Fig. 14b; Fig. 51a) parecem corresponder no tempo aos eventos de baixa correlação da corrente com o fundo nos modos 5 e 6 (E2, Fig. 21; E1 e E2, Fig. 20 e Fig. 31). Ambos E1 e E2 estão sincronizados com a maré baixa (Fig. 14a), quando a SCNB está mais profunda (Fig. 51c) e o gradiente horizontal em águas rasas entre a quebra da plataforma e o talude decresce. Esse afundamento da SCNB corresponde aos modos de variabilidade 7 e 8 da corrente aSB. Como foi apresentado, estes dois modos surgem da corrente barotrópica da maré e a assimetria de amplitude provavelmente surge devido a interações da corrente com a morfologia de fundo (LEGG, 2004). O primeiro evento de downwelling (Fig. 14b; Fig. 51b), não relacionado com a maré baixa, surge da forte corrente cSB em direção ao oceano na plataforma e em direção a costa no talude quando a quando a diferença da corrente aSB entre os transectos zonais é pequena. Pela continuidade, isto cria uma forte convergência que gera uma corrente vertical negativa no centro do MRGT.

Devemos também notar que o modo 6 da corrente aSB parece ser um componente residual para do modo 5 e isso pode indicar processos com variabilidade em frequências próximas à da repetição dos transectos do MGRT.

Quanto a corrente cSB, investigações anteriores para a plataforma continental de Pernambuco relataram durante o verão a ocorrência inesperada de uma componente frequente em direção à costa na região mais externa da plataforma (DOMINGUES *et al.*, 2017). No trabalho os autores não puderam determinar qual a origem dessa corrente, apenas que ela não estava associada com o vento.

Figura 51 - Velocidade vertical e momentos de downwelling (a) e suas forçantes cSB (b) e aSB (c).



Fonte: A autora (2020)

No presente trabalho, foi observado que esta corrente em direção a costa está relacionada a uma corrente residual, gerada provavelmente pela compensação da maré devido a diferença de profundidade da plataforma e do talude. Durante a enchente, a corrente em direção à costa está localizada na quebra da plataforma (e em direção ao oceano no talude) e durante a vazante na região do talude (e em direção ao oceano na quebra). Ainda que a corrente média cSB seja uma ordem de grandeza menor do que a corrente aSB, durante períodos de enchente, quando o valor absoluto aumenta para 0.16 m.s^{-1} , essa corrente que atravessa a quebra pode contribuir significativamente para o transporte em direção a costa.

Quando comparamos as componentes residual e a semi-diurna cSB do modelo de maré com a observação, temos que ambas são subestimadas pelo modelo, sendo duas ordens de grandeza para a primeira e uma ordem de grandeza para a segunda. As trocas cSB são um tópico de interesse para os fluxos e balanços globais, e sua resposta às mudanças climáticas e atividades humanas (HUTHNANCE, 1995). A variabilidade anômala nas trocas cSB pode indicar mudanças na dinâmica do CFO adjacente no contexto de mudanças climáticas, como foi observado por Gawarkiewicz *et al.* (2018). Isso justifica ainda mais a necessidade de monitoramento de longo prazo nas regiões próximas a quebra/talude. No entanto, apesar da

importante contribuição da corrente residual, não foram observadas influências dessa componente para a variabilidade da biomassa acústica dos organismos na frequência de 38kHz.

Enquanto os momentos de enchente/vazante (divergência/convergência) da corrente cSB podem remeter uma frente (YANAGI, 1987; GREGORY; MANNING, 2001), a temperatura e a salinidade da superfície do mar apresentaram apenas um pequeno gradiente horizontal com a variabilidade relacionada com a localização (quebra/talude). Para a temperatura, esta variabilidade correspondia a águas mais quentes no talude e a águas mais frias na quebra durante a noite e pouca dependência do local durante o dia. Isto é, a forçante hidrodinâmica dominou durante a noite e as trocas com a atmosfera (fluxos de calor) durante o dia. Para a salinidade, a região do talude apresentou águas ligeiramente mais salinas em comparação com a região de quebra. Isto indica que ou não há uma frente ou ela se dá em sub-superfície.

Os maiores gradientes no início da série temporal, diminuindo até o final do registro, tanto para a salinidade como para a temperatura parecem ser consistentes com a propagação de *solitons* (SANDSTROM; OAKEY, 1995; XIE *et al.*, 2013). A temperatura diminuiu mais rapidamente do que a salinidade, o que é esperado devido às diferenças nas taxas de difusão destas duas variáveis. Caso essa onda interna tenha se propagado nesta frequência, que é muito próxima da frequência da repetição dos transectos MRGT, isso pode explicar a separação dos modos 5 e 6 da temperatura e da corrente aSB.

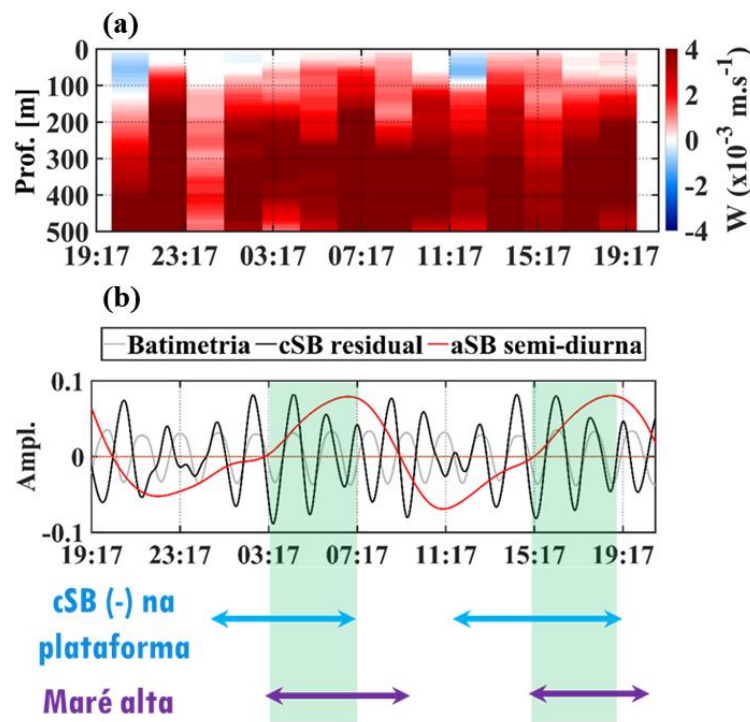
Para o modo 6 da temperatura a correlação com a posição da quebra/talude revela o *timing* dos eventos E1 e E2 (downwelling) no entanto, a pequena amplitude máxima para esta IMF (0.05°C), juntamente com os perfis CTD e XBT, indica que o principal efeito do *upwelling* e do transporte cSB é encontrado em profundidades sub-superficiais.

Conectando todos os achados, o quadro geral mostra uma corrente vertical gerada próxima ao talude pela interação das marés e ondas internas com o fundo (que provocam o cisalhamento). Essa corrente vertical por vezes eleva águas profundas mais frias (ST2, X5) que, através da corrente cSB, pode ser transportada em direção à quebra da plataforma (Estação 8) ou em direção ao oceano (X5) na sub-superfície. Uma vez na plataforma através do cisalhamento horizontal, as águas são gradualmente misturadas (Estação 10) até que não haja gradiente vertical termohalino (ST1). O momento para o transporte das águas enriquecidas para a plataforma depende do sincronismo entre a corrente vertical e o transporte cSB. Se o *upwelling* acontecer antes ou ao mesmo tempo que o período de enchente, as águas enriquecidas

alcançam a plataforma, caso contrário esta massa de água pode ficar presa na região do talude e serem novamente submersas durante a vazante.

A Fig. 52b apresenta a corrente residual cSB (IMF5), a componente semi-diurna da corrente aSB (soma dos modos 7 e 8) e a variação da batimetria; isto destaca os momentos em que o *upwelling* (Fig. 52a) deveria ter alcançado a região da plataforma (sombreamento em verde). Para uma corrente negativa na quebra da plataforma, a corrente residual e a batimetria estão em fase e, para que não exista downwelling nos primeiros metros, a maré tem que estar alta. A intersecção desses dois momentos é a janela potencial de transporte das águas mais frias para a plataforma.

Figura 52 - Velocidade vertical (a) e sobreposição do modo 5 da velocidade cSB (IMF5), soma dos modos 7 e 8 da corrente aSB (IMF7+IMF8) e da variação da batimetria (b).



Sombreado em (b) destaca momentos de possível transporte de massas d'água aflorada em direção a plataforma. Fonte: A autora (2020)

Isto resulta em aproximadamente 12h entre o início da primeira e da segunda janela para o transporte cSB. Se traçarmos para trás, assumindo que o período não mudou no dia anterior, a estação ST8 (11-04-2017 18:45) foi realizada durante esta janela. Adicionalmente, o perfil X5 foi realizado logo após o MGRT e ainda sob influência da maré alta, porém a corrente cSB em direção ao oceano no mesmo momento não permitiria que as águas afloradas chegassem à região da quebra da plataforma. Um fator que pode interferir com o quadro geral é o colapso e

a propagação de ondas internas na região da quebra da plataforma, que pode alterar o campo turbulento *background* (NAVROTSKY *et al.*, 2013; LAMB, 2013; MOUM *et al.*, 2002; SHROYER *et al.*, 2010) e reduzir ou aumentar o potencial de transporte do fluxo cSB e a mistura.

Este fornecimento periódico de águas mais ricas para a região da quebra da plataforma pode ter implicações importantes para a produção primária dentro dos ciclos da maré (MANN; LAZIER, 2006). Além disso, pode ter efeitos em cascata para os predadores de topo (e pesca) através da estruturação “bottom-up” (BERTRAND *et al.*, 2008b), favorecendo a ocupação de zonas próximas à quebra da plataforma/talude. Se esse transporte cSB não se limitar apenas à região do MGRT, essa observação poderia explicar as áreas de alta densidade e diversidade de peixes encontradas próximas à quebra da plataforma (entre 30 e 60 m de profundidade) no Nordeste do Brasil, relatadas por Eduardo *et al.* (2018).

Em última instância, a região de estudo apresenta feições geológicas como paleocanais, caniões submarinos e o próprio Platô de Pernambuco, as consequências da interação das correntes e outras forçantes físicas neste ambiente ainda é pouco estudada (ZEMBRUSCKY *et al.*, 1972; COUTINHO, 1996; CAMARGO *et al.*, 2007). Embora a escala observacional não tenha sido capaz de identificar essa influência, é provável que a presença do platô (e dos canais profundos como condutores para a plataforma) eleva a SCNB trazendo águas mais profundas e salinas até profundidades mais rasas e favorecendo a produção primária e os níveis tróficos superiores. Isto poderia explicar o maior gradiente térmico *alongshore* observado por Domingues *et al.* (2017), a mudança da diversidade de peixes ao sul de 8°S observada por Eduardo *et al.* (2018), e até mesmo o grande número de embarcações de pesca (~75 na faixa de latitude entre 8 e 9°S, contra 88 entre 3 e 7.9°S) observados na região sob influência do Platô (ABRAÇOS 1 e 2, BERTRAND, 2015; 2017). Futuras investigações serão realizadas para compreender como esses processos de interação e trocas entre o mar aberto e a plataforma contribuem para a distribuição dos organismos em outras escalas observacionais na região do sudoeste do Atlântico Tropical.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sucesso do manejo dos recursos pesqueiros depende fundamentalmente do conhecimento do tamanho e distribuição população explorada, que pode variar de forma imprevisível de ano para ano (SIMMONDS; MACLENNAN, 2005). Todavia, os processos físicos criam as condições para muitos processos biológicos importantes, de forma que a biologia não pode ser entendida se considerada isoladamente. O movimento da água altera as camadas limítrofes ao redor dos organismos, transporta os nutrientes, auxilia as migrações e influencia a taxa de encontro entre os predadores planctônicos e suas presas. A estratificação causa a retenção de organismos planctônicos na camada superior do oceano, tornando a luz mais disponível, mas limitando o acesso a nutrientes inorgânicos. A temperatura da água tem uma influência profunda nas taxas em que os processos biológicos ocorrem, e as diferenças no movimento da água, de um lugar para outro, determinam em grande parte os tipos de organismos que colonizam esses lugares (MANN; LAZIER, 2013).

Desta forma, destacam-se os métodos de Avaliação Integrada dos Ecossistemas (*Integrated Ecosystem Assessment* - IEA), que consistem em avaliações de vários aspectos visando fornecer subsídios para a gestão baseada no ecossistema como um todo (*Ecosystem Based Management* – EBM), não apenas componentes individuais do ecossistema (LEVIN; WELLS, 2008; LEVIN *et al.*, 2009). Uma das propostas para uma IEA, consiste na avaliação do ecossistema considerando diversas espécies, suas interações tróficas e suas forçantes ambientais (MÖLLMANN *et al.*, 2014). É neste contexto que o presente trabalho se encaixa. Uma vez que são compreendidos os processos que regem a distribuição e a variabilidade temporal dos organismos, é possível mapear áreas de potencial interesse de forma indireta, com base nas informações disponíveis de estudos prévios para diversas regiões. Além disso, através de cenários de mudanças climáticas, é possível estimar prováveis impactos de alterações na hidrodinâmica na estrutura da comunidade.

Diante disto a pesquisa apresentada teve como objetivo geral a investigação dos processos físicos atuantes no talude oceânico em frente ao Município de Tamandaré - PE e a determinação da influência desses processos sobre a distribuição de organismos vivos dentro de um período nictimeral. O objetivo geral foi alcançado durante o decorrer da pesquisa e foram identificadas influências diretas e indiretas da hidrodinâmica na distribuição dos organismos na coluna d'água na região do talude. A influência indireta foi evidenciada pela estratificação das camadas com acúmulo de organismos de forma concomitante com a estratificação fraturada da

termoclina devido ao elevado cisalhamento vertical das correntes. A influência direta foi evidenciada nos primeiros metros e em profundidade em momentos distintos, revelando uma certa característica nictimeral e levando hipótese que um mesmo grupo de organismos evita regiões com maiores correntes nas camadas superiores durante a noite, e durante o dia migram para maiores profundidades até camadas com menores intensidades de correntes.

O presente trabalho partiu da hipótese de que os processos hidrodinâmicos na quebra da plataforma/talude alteram a hidrologia local e favorecem ocupação desse espaço pelos organismos marinhos. Durante o trabalho, descobriu-se que existe uma corrente que cruza a quebra da plataforma, relacionada com a maré, que transporta em alguns momentos águas mais frias em sub-superfície em direção a costa. Essas águas mais frias são originárias de camadas mais profundas que afloram na região oceânica devido à maré e ondas internas. Esses processos podem favorecer a produção primária e os níveis tróficos superiores através de relações presa-predador. Em conjunto, essas evidências levam a crer que a hipótese é verdadeira.

Para investigar os problemas de interesse, foi utilizado método de levantamento do tipo “quadrado mágico” associado ao método de análise de sinais adaptativa *Ensemble Empirical Mode Decomposition* (EEMD) seguida pela *Time-dependent Intrinsic Correlation* (TDIC). A combinação desses métodos com observações descritivas foi capaz de fornecer uma grande quantidade de informações sobre a dinâmica na quebra da plataforma/talude e sua influência sobre a distribuição dos organismos.

O baixo índice de correlação global, comparado com a alta correlação e anti-correlação, em janelas de menor tamanho entre a velocidade cSB e a batimetria, exemplificam a importância da escolha do método de análise. Como foi observado para grande parte dos resultados, devido à particular característica lagrangeana e euleriana dos dados aqui utilizados, as correlações variam em muito com o tempo (e espaço) e com a escala de observação. O método de análise utilizado comporta essas premissas e, dentro de suas limitações, apresentou bons resultados na separação das escalas.

Uma das limitações encontradas na EEMD foi a dificuldade de identificar e distinguir modos que variem próximo ou com a mesma frequência da repetição dos transectos. Isto deve ser tomado em conta em futuras investigações com o desenho amostral do “quadrado mágico” para não mascarar as escalas de variabilidade do parâmetro de interesse. Ademais, o investigador deve ter cautela na interpretação dos resultados de modo a evitar correlações espúrias, tendo como base seu conhecimento prévio do objeto de estudo.

Ainda que as observações de correlações de perfis verticais da resposta acústica dos organismos com a corrente tenham sido feitas, ainda se faz necessário uma ferramenta estatística robusta que considere a forma dos perfis verticais para essa comparação. Adicionalmente, esforços recentes pelo LMI-TAPIOCA estão sendo direcionados para o desenvolvimento de um algoritmo que permita a identificação dos principais grupos de organismos observados através da acústica. Em futuras investigações, isto permitirá um maior refinamento na descrição das respostas em diferentes classes e tamanhos de organismos ao longo da cadeia trófica à hidrodinâmica.

Investigações ainda são necessárias, pois as observações apresentadas aqui estão condicionadas ao contexto da observação em maré de sizígia no outono austral; isto levanta outras questões sobre como se dá a relação das correntes no talude em outras estações e com regime de maré de quadratura. Uma vez que a estratificação tem um papel fundamental no controle da dinâmica e das trocas com a plataforma, recomenda-se que futuras campanhas sejam realizadas principalmente durante o verão austral. Este período corresponde a uma estratificação mais forte e mais rasa na região de interesse.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, Victor C. Sound scattering from a fluid sphere. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 22, n. 4, p. 426-431, 1950. DOI 10.1121/1.1906621. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.1906621>. Acesso em: 03 abr. 2018.
- ANDREEVA, I. B. Scattering of sound by air bladders of fish in deep sound-scattering ocean layers. **Soviet Physics-Acoustics**, v. 10, n. 1, p. 17-20, 1964.
- ARAUJO, M.; LIMONGI, C.; SERVAIN, J.; SILVA, M.; LEITE, F. S.; VELEDA, D.; LENTINI, C. A. D. Salinity-induced mixed and barrier layers in the southwestern tropical Atlantic Ocean off the northeast of Brazil. **Ocean Science**, v. 7, n. 1, p. 63-73, 2011. DOI 10.5194/os-7-63-2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/os-7-63-2011>. Acesso em: 11 nov. 2019.
- ARAUJO, M.; NORIEGA, C.; MEDEIROS, C.; LEFÈVRE, N.; IBÁÑHEZ, J. S. P.; FLORES MONTES, M.; SILVA, A. C.; SANTOS, M. L. On the variability in the CO₂ system and water productivity in the western tropical Atlantic off North and Northeast Brazil. **Journal of Marine Systems**, v. 189, p. 62-77, 2019. DOI 10.1016/j.jmarsys.2018.09.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.09.008>. Acesso em: 11 nov. 2019.
- ARBIC, Brian K. *et al.* A Primer on Global Internal Tide and Internal Gravity Wave Continuum Modeling in HYCOM and MITgcm. **New Frontiers in Operational Oceanography**, p. 307-392, 2018. DOI 10.17125/gov2018.ch13. Disponível em: <https://doi.org/10.17125/gov2018.ch13>. Acesso em: 11 nov. 2019.
- ARNTZ, W. E.; TARAZONA, J.; GALLARDO, V. A.; FLORES, L. A.; SALZWEDEL, H. Benthos communities in oxygen deficient shelf and upper slope areas of the Peruvian and Chilean Pacific coast, and changes caused by El Niño. **Geological Society**, London, Special Publications, v. 58, n. 1, p. 131-154, 1 jan. 1991. DOI 10.1144/GSL.SP.1991.058.01.10. Disponível em: <https://doi.org/>
- ARTHUR, R. S.; FRINGER, O. B. Transport by breaking internal gravity waves on slopes. **Journal of Fluid Mechanics**, v. 789, p. 93-126, 2016. DOI 10.1017/jfm.2015.723. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/jfm.2015.723>. Acesso em: 03 abr. 2018.
- BAINES, P. G. The generation of internal tides by flat-bump topography. **Deep-Sea Research and Oceanographic Abstracts**, v. 20, n. 2, p. 179-205, 1973. DOI 10.1016/0011-7471(73)90050-8. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0011-7471\(73\)90050-8](https://doi.org/10.1016/0011-7471(73)90050-8). Acesso em: 03 abr. 2018.
- BAINES, Peter G. Internal tides, internal waves and near-inertial motions. In: **Baroclinic Processes on Continental Shelves**, v. 3p. 19-31. DOI 10.1029/CO003p0019. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/CO003p0019>. Acesso em: 03 abr. 2018.
- BENOIT-BIRD, K. J.; AU, W. W. L. Target strength measurements of Hawaiian mesopelagic boundary community animals. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 110, n.

2, p. 812–819, ago. 2001. DOI 10.1121/1.1382620. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.1382620>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BERTRAND, Arnaud. **ABRACOS cruise, Antea R/V**, 2015. DOI 10.17600/15005600. Disponível em: <https://doi.org/10.17600/15005600>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BERTRAND, Arnaud. **ABRACOS 2 cruise, Antea R/V**, 2017. DOI 10.17600/17004100. Disponível em: <https://doi.org/10.17600/17004100>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BERTRAND, A., GERLOTTO, F., BERTRAND, S., GUTIÉRREZ, M., ALZA, L., CHIPOLLINI, A. Schooling behaviour and environmental forcing in relation to anchoveta distribution: an analysis across multiple spatial scales. **Progress in Oceanography**, v. 79, n. 2, p. 264–277, 2008a. DOI 10.1016/j.pocean.2008.10.018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.018>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BERTRAND, S.; DEWITTE, B.; TAM, J.; DÍAZ, E.; BERTRAND, A. Impacts of Kelvin wave forcing in the Peru Humboldt Current system: Scenarios of spatial reorganizations from physics to fishers. **Progress in Oceanography**, v. 79, n. 2–4, p. 278–289, 2008b. DOI 10.1016/j.pocean.2008.10.017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2008.10.017>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BERTRAND, A.; BALLÓN, M.; CHAIGNEAU, A. Acoustic Observation of Living Organisms Reveals the Upper Limit of the Oxygen Minimum Zone. **PLoS ONE**, v. 5, n. 4, p. e10330, 30 abr. 2010. DOI 10.1371/journal.pone.0010330. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010330>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BERTRAND, A.; GRADOS, D.; COLAS, F.; BERTRAND, S.; CAPET, X.; CHAIGNEAU, A.; VARGAS, G.; MOUSSEIGNE, A.; FABLET, R. Broad impacts of fine-scale dynamics on seascape structure from zooplankton to seabirds. **Nature Communications**, v. 5, n. 1, p. 5239, 2014. DOI 10.1038/ncomms6239. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ncomms6239>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BERTRAND, A.; BERTRAND, S.; ASSUNCAO, R.; DOCEAN, A. S.; VARGAS, G.; LUCENA-FREDOU, F.; TRAVASSOS, P.; LEBOURGES-DHAUSSY, A.; ROUDAUT, G. Underwater acoustics for ecosystem research: Synthesis of current knowledge and current advances and perspectives in Northeast Brazil. **IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium, RIO Acoustics 2017**, v. 2018- Janua, p. 1–4, 2018. DOI 10.1109/RIOAcoustics.2017.8349758. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/RIOAcoustics.2017.8349758>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BOUMA, Arnold H. Naming of undersea features. **Geo-Marine Letters**, v. 10, n. 3, p. 119–125, 1990. DOI 10.1007/BF02085926. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02085926>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BRACCO, A.; CHOI, J.; JOSHI, K.; LUO, H.; MCWILLIAMS, J. C. Submesoscale currents in the northern Gulf of Mexico: Deep phenomena and dispersion over the continental slope. **Ocean Modelling**, v. 101, p. 43–58, 2016. DOI 10.1016/j.ocemod.2016.03.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2016.03.002>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BRIERLEY, A. S.; AXELSEN, B. E.; BOYER, D. C.; LYNAM, C. P.; DIDCOCK, C. A.; BOYER, H. J.; SPARKS, C. A.; PURCELL, J. E.; GIBBONS, M. J. Single-target echo detections of jellyfish. **ICES Journal of Marine Science**, v. 61, n. 3, p. 383–393, 1 de maio 2004. DOI 10.1016/j.icesjms.2003.12.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2003.12.008>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BRIERLEY, A. S.; AXELSEN, B. E.; BUECHER, E.; SPARKS, C. A. J.; BOYER, H.; GIBBONS, M. J. Acoustic observations of jellyfish in the Namibian Benguela. **Marine Ecology Progress Series**, v. 210, p. 55–66, 2001. DOI 10.3354/meps210055. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/meps210055>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BRIERLEY, A. S.; BOYER, D. C.; AXELSEN, B. E.; LYNAM, C. P.; SPARKS, C. A. J.; BOYER, H. J.; GIBBONS, M. J. Towards the acoustic estimation of jellyfish abundance. **Marine Ecology Progress Series**, v. 295, p. 105–111, 2005. DOI 10.3354/meps295105. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/meps295105>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BRINK, K. H. Cross-Shelf Exchange. **Annual Review of Marine Science**, v. 8, n. 1, p. 59–78, 2016. DOI 10.1146/annurev-marine-010814-015717. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015717>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BRUTO, L.; ARAUJO, M.; NORIEGA, C.; VELEDA, D.; LEFÈVRE, N. Variability of CO₂ fugacity at the western edge of the tropical Atlantic Ocean from the 8°N to 38°W PIRATA buoy. **Dynamics of Atmospheres and Oceans**, v. 78, p. 1–13, 2017. DOI 10.1016/j.dynatmoce.2017.01.003. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2017.01.003>. Acesso em: 03 abr. 2018.

BUARQUE, B. V.; BARBOSA, J. A.; MAGALHÃES, J. R. G.; CRUZ OLIVEIRA, J. T.; FILHO, O. J. C. Post-rift volcanic structures of the Pernambuco Plateau, northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 70, p. 251–267, 2016. DOI 10.1016/j.jsames.2016.05.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.05.014>. Acesso em: 03 abr. 2018.

CACCHIONE, D. A. The Shaping of Continental Slopes by Internal Tides. **Science**, v. 296, n. 5568, p. 724–727, 2002. DOI 10.1126/science.1069803. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1069803>. Acesso em: 03 abr. 2018.

CALAZANS, Danilo (org.). **Estudos oceanográficos: do instrumental ao prático**. Editora Textos, Pelotas, 2011. 462 p. ISBN: 978-85-99333-06-8.

CAMARGO, J. M. R. de; ARAÚJO, T. C. M. de; MAIDA, M.; USHIZIMA, T. M. Morfologia da plataforma continental interna adjacente ao município de Tamandaré, sul de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 79–89, 2007. DOI 10.1590/S0102-261X2007000500008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2007000500008>. Acesso em: 03 abr. 2018.

CANALES, Gary Renato Vargas. **O uso da acústica multifrequência na caracterização das comunidades pelágicas em Ilhas Oceânicas do Atlântico Sul, Brasil**. 2017. 62 f. Dissertação

(Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

CAPUANO, T. A.; SPEICH, S.; CARTON, X.; BLANKE, B. Mesoscale and Submesoscale Processes in the Southeast Atlantic and Their Impact on the Regional Thermohaline Structure. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 123, n. 3, p. 1937–1961, 2018. DOI 10.1002/2017JC013396. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2017JC013396>. Acesso em: 11 nov. 2018.

CASTELAO, Renato. Intrusions of Gulf Stream waters onto the South Atlantic Bight shelf. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 116, n. 10, p. 1–10, 2011. DOI 10.1029/2011JC007178. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2011JC007178>. Acesso em: 03 abr. 2018.

CASTELLO, J. P.; HABIAGA, R. P.; AMARAL, J. C.; LIMA JR., I. Prospeccao hidroacustica e avaliacao da biomassa de sardinha e anchoita, na regioao sudeste do Brasil. **Publicacao Esp. Inst. Oceanogr**, Sao Paulo, v. 8, p. 15–29, 1991.

CESSI, P.; IERLEY, G. R. Nonlinear disturbances of western boundary currents. **Journal of Physical Oceanography**, v. 23, n. 8, p. 1727–1735, 1993. DOI 10.1175/1520-0485(1993)023<1727:NDOWBC>2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1993\)023<1727:NDOWBC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1993)023<1727:NDOWBC>2.0.CO;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

CHEN, X.; WU, Z.; HUANG, N. E. The Time-Dependent Intrinsic Correlation Based On The Empirical Mode Decomposition. **Advances in Adaptive Data Analysis**, v. 02, n. 02, p. 233–265, 2010. DOI 10.1142/S1793536910000471. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S1793536910000471>. Acesso em: 03 abr. 2018.

CHU, D.; YE, Z. A phase-compensated distorted wave Born approximation representation of the bistatic scattering by weakly scattering objects: Application to zooplankton. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 106, n. 4, p. 1732–1743, out. 1999. DOI 10.1121/1.428036. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.428036>. Acesso em: 03 abr. 2018.

CLAY, C. S. Composite ray-mode approximations for backscattered sound from gas-filled cylinders and swimbladders. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 92, n. 4, p. 2173–2180, out. 1992. DOI 10.1121/1.405211. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.405211>. Acesso em: 03 abr. 2018.

COCHRANE, N. A.; SAMEOTO, D.; HERMAN, A. W.; NEILSON, J. Multiple-Frequency Acoustic Backscattering and Zooplankton Aggregations in the Inner Scotian Shelf Basins. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 48, n. 3, p. 340–355, mar. 1991. DOI 10.1139/f91-046. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/f91-046>. Acesso em: 03 abr. 2018.

COTTÉ, C.; SIMARD, Y. Formation of dense krill patches under tidal forcing at whale feeding hot spots in the St. Lawrence Estuary. **Marine Ecology Progress Series**, v. 288, p. 199–210, 2005. DOI 10.3354/meps288199. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/meps288199>. Acesso em: 03 abr. 2018.

COUTINHO, P. N. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil-Oceanografia Geológica. Região Nordeste. **Programa REVIZEE**. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA). Brasília, 97pp, 1996.

DALE M. R. T., FORTIN M-J., **Spatial analysis: a guide for ecologists**, 2nd ed. Cambridge University Press, Cambridge/New York, 454 f., 2014. ISBN: 9780521143509.

DAVIS, K. A.; LEICHTER, J. J.; HENCH, J. L.; MONISMITH, S. G. Effects of western boundary current dynamics on the internal wave field of the Southeast Florida shelf. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 113, n. 9, p. 1–15, 2008. DOI 10.1029/2007JC004699. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2007JC004699>. Acesso em: 03 abr. 2018.

DEMER, D. A.; CONTI, S. G. Validation of the stochastic distorted-wave, Born-approximation model with broad-bandwidth, total target-strength measurements of Antarctic krill. **ICES Journal of Marine Science**, v. 60, n. 3, p. 625–635. Erratum, 61: 155–156 (2004), 2003. DOI 10.1016/S1054-3139(03)00063-8. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S1054-3139\(03\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S1054-3139(03)00063-8). Acesso em: 03 abr. 2018.

DENMAN, K. L.; GARGETT, A. E. Time and space scales of vertical mixing and advection of phytoplankton in the upper ocean. **Limnology and Oceanography**, v. 28, n. 5, p. 801–815, 1983. DOI 10.4319/lo.1983.28.5.0801. Disponível em: <https://doi.org/10.4319/lo.1983.28.5.0801>.

DEVER, E. P. Wind-forced cross-shelf circulation on the Northern California shelf. **Journal of Physical Oceanography**, v. 27, n. 8, p. 1566–1580, 1997. DOI 10.1175/1520-0485(1997)027<1566:WFCSCO>2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1997\)027<1566:WFCSCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1997)027<1566:WFCSCO>2.0.CO;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

DOMINGUES, E. C.; SCHETTINI, C. A. F.; TRUCCOLO, E. C.; OLIVEIRA FILHO, J. C. Hydrography and currents on the Pernambuco Continental Shelf. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 22, n. 0, 2017. DOI 10.1590/2318-0331.0217170027. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.0217170027>. Acesso em: 03 abr. 2018.

EDUARDO, L. N.; FRÉDOU, T.; LIRA, A. S.; FERREIRA, B. P.; BERTRAND, A.; MÉNARD, F.; FRÉDOU, F. L. Identifying key habitat and spatial patterns of fish biodiversity in the tropical Brazilian continental shelf. **Continental Shelf Research**, v. 166, p. 108–118, 2018. DOI 10.1016/j.csr.2018.07.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2018.07.002>. Acesso em: 11 nov. 2019.

EGBERT, G. D.; EROFEEVA, S. Y. Efficient Inverse Modeling of Barotropic Ocean Tides. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 19, n. 2, p. 183–204, 2002. DOI 10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

EKAU, W.; KNOPPERS, B. An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian shelf. **Archive of Fishery and Marine Research**, v. 47, n. 2/3, p. 113–132, 1999.

FEDOTOVA, T.; SHATOBA, O.; NAKKEN, O.; VENEMA, S. Acoustic backscattering cross section of cod averaged by sizes and inclination of fish. **FAO Fisheries Report (FAO)**, 1983.

FOOTE, K. G.; FRANCIS, D. T. I. Comparing Kirchhoff-approximation and boundary-element models for computing gadoid target strengths. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 111, n. 4, p. 1644–1654, abr. 2002. DOI 10.1121/1.1458939. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.1458939>. Acesso em: 03 abr. 2018.

FOURNIER, R. O.; MARRA, J.; BOHRER, R.; DET, M. V. Plankton Dynamics and Nutrient Enrichment of the Scotian Shelf. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada**, v. 34, n. 7, p. 1004–1018, 1977. DOI 10.1139/f77-153. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/f77-153>. Acesso em: 03 abr. 2018.

FOX-KEMPER, Baylor *et al.* Challenges and prospects in ocean circulation models. **Frontiers in Marine Science**, v. 6, n. FEB, p. 1–29, 2019. DOI 10.3389/fmars.2019.00065. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00065>. Acesso em: 01 dez. 2019.

GAWARKIEWICZ, Glen. Linear Stability Models of Shelfbreak Fronts. **Journal of Physical Oceanography**, 1991. DOI 10.1175/1520-0485(1991)021<0471:lsmosf>2.0.co;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1991\)021<0471:lsmosf>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1991)021<0471:lsmosf>2.0.co;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

GAWARKIEWICZ, G.; TODD, R.; ZHANG, W.; PARTIDA, J.; GANGOPADHYAY, A.; MONIM, M.; FRATANTONI, P.; MALEK MERCER, A.; DENT, M. The Changing Nature of Shelf-Break Exchange Revealed by the OOI Pioneer Array. **Oceanography**, v. 31, n. 1, p. 60–70, 2018. DOI 10.5670/oceanog.2018.110. Disponível em: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2018.110>. Acesso em: 11 nov. 2019.

GOMES, G.; DA SILVA, A. C. Nearshore wave analysis in the Brazilian Northeast based on observations and numerical models. **Journal of Operational Oceanography**, v. 11, n. 1, p. 44–53, 2018. DOI 10.1080/1755876X.2018.1438567. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1755876X.2018.1438567>. Acesso em: 11 nov. 2019.

GRADOS, D.; BERTRAND, A.; COLAS, F.; ECHEVIN, V.; CHAIGNEAU, A.; GUTIÉRREZ, D.; VARGAS, G.; FABLET, R. Spatial and seasonal patterns of fine-scale to mesoscale upper ocean dynamics in an Eastern Boundary Current System. **Progress in Oceanography**, v. 142, p. 105–116, 2016. DOI 10.1016/j.pocean.2016.02.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2016.02.002>. Acesso em: 03 abr. 2018.

GREENLAW, C. F. Acoustical estimation of zooplankton populations. **Limnology and Oceanography**, v. 24, n. 2, p. 226–242, 1 mar. 1979. DOI 10.4319/lo.1979.24.2.0226. Disponível em: <https://doi.org/10.4319/lo.1979.24.2.0226>. Acesso em: 03 abr. 2018.

GREGORY LOUGH, R.; MANNING, J. P. Tidal-front entrainment and retention of fish larvae on the southern flank of Georges Bank. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 48, n. 1–3, p. 631–644, 2001. DOI 10.1016/S0967-0645(00)00130-2. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(00\)00130-2](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(00)00130-2). Acesso em: 03 abr. 2018.

GULA, J.; MOLEMAKER, M. J.; MCWILLIAMS, J. C. Topographic vorticity generation, submesoscale instability and vortex street formation in the Gulf Stream. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 10, p. 4054–4062, 2015. DOI 10.1002/2015GL063731. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015GL063731>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HAURY, L. R.; YAMAZAKI, H.; ITSWEIRE, E. C. Effects of turbulent shear flow on zooplankton distribution. **Deep Sea Research Part A, Oceanographic Research Papers**, v. 37, n. 3, p. 447–461, 1990. DOI 10.1016/0198-0149(90)90019-R. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(90\)90019-R](https://doi.org/10.1016/0198-0149(90)90019-R). Acesso em: 03 abr. 2018.

HERBERT, G.; KERMAON, C.; GRELET, J.; BOURLES, B. French PIRATA cruises S-ADCP data processing. **Mercator Ocean - Quaterly Newsletter**, Ird, France, n. 52, p. 22–26, 2015. Disponível em: <https://archimer.ifremer.fr/doc/00272/38320/>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HOLLAND, William R. Baroclinic and topographic influences on the transport in western boundary currents. **Geophysical Fluid Dynamics**, v. 4, n. 1, p. 187–210, 1972. DOI 10.1080/03091927208236095. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03091927208236095>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HU, Dunxin *et al.* Pacific western boundary currents and their roles in climate. **Nature**, v. 522, n. 7556, p. 299–308, 2015. DOI 10.1038/nature14504. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature14504>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HUANG, K.; CLAY, C. S. Backscattering cross sections of live fish: PDF and aspect. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 67, n. 3, p. 795–802, mar. 1980. DOI 10.1121/1.383954. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.383954>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HUANG, N. E.; SHEN, S. S. P. Hilbert Huang Transform and Its Applications. In: **Interdisciplinary Mathematical Sciences**, Vol. 16. World Scientific Publishing Company, 2 Ed., 386 f., 2014. ISBN-10: 9814508233.

HUANG, N. E.; SHEN, Z.; LONG, S. R. A New View Of Nonlinear Water Waves: The Hilbert Spectrum. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 31, n. 1, p. 417–457, 1999. DOI 10.1146/annurev.fluid.31.1.417. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.31.1.417>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HUANG, N. E.; SHEN, Z.; LONG, S. R.; WU, M. C.; SHIH, H. H.; ZHENG, Q.; YEN, N.; TUNG, C. C.; LIU, H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. **Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 454, n. 1971, p. 903–995, 1998. DOI 10.1098/rspa.1998.0193. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspa.1998.0193>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HUANG, N. E.; WU, Z. A Review on Hilbert-Huang Transform: Method and Its Applications. **Reviews of Geophysics**, v. 46, n. 2007, p. 1–23, 2008. DOI 10.1029/2007RG000228.1.INTRODUCTION. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2007RG000228.1.INTRODUCTION>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HUANG, N. E.; SHEN, S. S. P. **Hilbert-Huang Transform and Its Applications**. 2ª Ed. Interdisciplinary Mathematical Sciences, Vol. 16. World Scientific, 2014. ISBN: 978-981-4508-23-0

HUANG, Y.; SCHMITT, F. G. Time dependent intrinsic correlation analysis of temperature and dissolved oxygen time series using empirical mode decomposition. **Journal of Marine Systems**, v. 130, p. 90–100, 2014. DOI 10.1016/j.jmarsys.2013.06.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.06.007>. Acesso em: 03 abr. 2018.

HUTHNANCE, John M. Slope Currents and “JEBAR”. **Journal of Physical Oceanography**, 1984. DOI 10.1175/1520-0485(1984)014<0795:sca>2.0.co;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1984\)014<0795:sca>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1984)014<0795:sca>2.0.co;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

HUTHNANCE, John M. Circulation, exchange and water masses at the ocean margin: the role of physical processes at the shelf edge. **Progress in Oceanography**, v. 35, n. 4, p. 353–431, 1995. DOI 10.1016/0079-6611(95)80003-C. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(95\)80003-C](https://doi.org/10.1016/0079-6611(95)80003-C). Acesso em: 03 abr. 2018.

HYUN, K. H.; HE, R. Coastal upwelling in the South Atlantic Bight: A revisit of the 2003 cold event using long term observations and model hindcast solutions. **Journal of Marine Systems**, v. 83, n. 1–2, p. 1–13, 2010. DOI 10.1016/j.jmarsys.2010.05.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2010.05.014>. Acesso em: 03 abr. 2018.

JECH, J. M.; DE ROBERTIS, A.; MCKELVEY, D. R.; RESSLER, P. H. Development and application of an empirical multifrequency method for backscatter classification. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 67, n. 9, p. 1459–1474, set. 2010.

JECH, J. M.; MICHAELS, W. L. A multifrequency method to classify and evaluate fisheries acoustics data. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 63, n. 10, p. 2225–2235, out. 2006. DOI 10.1139/F10-075. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/F10-075>. Acesso em: 03 abr. 2018.

JING, Z.; WU, L. Intensified diapycnal mixing in the midlatitude western boundary currents. **Scientific Reports**, v. 4, p. 1–6, 2014. DOI 10.1038/srep07412. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep07412>. Acesso em: 03 abr. 2018.

JOSEPH, Antony. **Measuring Ocean Currents**. Elsevier, 2014. DOI 10.1016/C2011-0-05833-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05833-7>. Acesso em: 03 abr. 2018.

KORNELIUSSEN, R. J.; DINER, N.; ONA, E.; BERGER, L.; FERNANDES, P. G. Proposals for the collection of multifrequency acoustic data. **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, n. 6, p. 982–994, 14 abr. 2008. DOI 10.1093/icesjms/fsn052. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn052>. Acesso em: 03 abr. 2018.

KORNELIUSSEN, R. J.; ONA, E. An operational system for processing and visualizing multi-frequency acoustic data. **ICES Journal of Marine Science**, v. 59, n. 2, p. 293–313, 1 abr. 2002.

DOI 10.1006/jmsc.2001.1168. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1168>. Acesso em: 03 abr. 2018.

KOTLIAR, N. B.; WIENS, J. A. Multiple Scales of Patchiness and Patch Structure: A Hierarchical Framework for the Study of Heterogeneity. **Oikos**, v. 59, n. 2, p. 253, 1990. DOI 10.2307/3545542. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3545542>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LAMB, Kevin G. Internal Wave Breaking and Dissipation Mechanisms on the Continental Slope/Shelf. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 46, n. 1, p. 231–254, 2013. DOI 10.1146/annurev-fluid-011212-140701. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-011212-140701>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LAMB, Kevin G. Particle transport by nonbreaking, solitary internal waves. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 102, n. C8, p. 18641–18660, 1997. DOI 10.1029/97JC00441. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/97JC00441>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LEBOURGUES-DHAUSSY, A.; COETZEE, J.; HUTCHINGS, L.; ROUDAUT, G.; NIEUWENHUY, C. Zooplankton spatial distribution along the South African coast studied by multifrequency acoustics, and its relationships with environmental parameters and anchovy distribution. **ICES Journal of Marine Science**, v. 66, n. 6, p. 1055–1062, 1 jul. 2009. DOI 10.1093/icesjms/fsp129. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp129>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LEE, J. H.; LOZOVATSKY, I.; JANG, S. T.; JANG, C. J.; HONG, C. S. Episodes of nonlinear internal wave in the northern East China Sea. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 18, p. 2–6, 2006. DOI 10.1029/2006GL027136. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL027136>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LEGENDRE, L. Hydrodynamic control of marine phytoplankton production: The paradox of stability. **Elsevier Oceanography Series**, v. 32, n. C, p. 191–207, 1981. DOI 10.1016/S0422-9894(08)70410-0. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70410-0](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70410-0). Acesso em: 03 abr. 2018.

LEGENDRE, L.; DEMERS, S. Towards Dynamic Biological Oceanography and Limnology. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 41, n. 1, p. 2–19, jan. 1984. DOI 10.1139/f84-001. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/f84-001>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LEGENDRE, P.; FORTIN, M. J. Spatial pattern and ecological analysis. **Vegetatio**, v. 80, n. 2, p. 107–138, jun. 1989. DOI 10.1007/BF00048036. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00048036>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LEGG, Sonya. Internal Tides Generated on a Corrugated Continental Slope. Part II: Along-Slope Barotropic Forcing*. **Journal of physical oceanography**, p. 1824–1838, 2004. DOI 10.1175/1520-0485(2004)034<1824:ITGOAC>2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2004\)034<1824:ITGOAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2004)034<1824:ITGOAC>2.0.CO;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

LEGG, Sonya. Scattering of low-mode internal waves at finite isolated topography. **Journal of Physical Oceanography**, v. 44, n. 1, p. 359–383, 2014. DOI 10.1175/JPO-D-12-0241.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JPO-D-12-0241.1>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LEVIN, P. S.; FOGARTY, M. J.; MURAWSKI, S. A.; FLUHARTY, D. Integrated ecosystem assessments: Developing the scientific basis for ecosystem-based management of the ocean. **PLoS Biology**, v. 7, n. 1, 2009. DOI 10.1371/journal.pbio.1000014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1000014>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LEVIN, P.; WELLS, B. What Is an Integrated Ecosystem Assessment? **NOAA Technical Memorandum NMFS-NWFSC**, 2008.

LÉVY, M.; FERRARI, R.; FRANKS, P. J. S.; MARTIN, A. P.; RIVIÈRE, P. Bringing physics to life at the submesoscale. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 14, 2012. DOI 10.1029/2012GL052756. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2012GL052756>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LÉVY, M.; FRANKS, P. J. S.; SMITH, K. S. The role of submesoscale currents in structuring marine ecosystems. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 4758, 2018. DOI 10.1038/s41467-018-07059-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07059-3>. Acesso em: 30 jan. 2019.

LIMA, I. D.; CASTELLO, J. P. Distribución y abundancia de la anchoita (*Engraulis anchoita*) en la costa sur de Brasil. **Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo, Montevideo, Frente Marítimo**, v. 15, p. 87-99, 1994.

LIU, Y.; WEISBERG, R. H. Momentum balance diagnoses for the West Florida Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 25, n. 17, p. 2054–2074, 2005. DOI 10.1016/j.csr.2005.03.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2005.03.004>. Acesso em: 03 abr. 2018.

LIU, Z.; WEI, H.; LOZOVATSKY, I. D.; FERNANDO, H. J. S. Late summer stratification, internal waves, and turbulence in the Yellow Sea. **Journal of Marine Systems**, v. 77, n. 4, p. 459–472, 2009. DOI 10.1016/j.jmarsys.2008.11.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.001>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MAHADEVAN, Amala. The Impact of Submesoscale Physics on Primary Productivity of Plankton. **Annual Review of Marine Science**, v. 8, n. 1, p. 161–184, 2016. DOI 10.1146/annurev-marine-010814-015912. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010814-015912>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MANN, K. H.; LAZIER, J. RN. Dynamics of marine ecosystems: biological-physical interactions in the oceans. 3ª Ed. John Wiley & Sons, 2013. 496 p. ISBN: 978-1-4051-1118-8

MARGALEF, R. The Organization of Space. **Oikos**, v. 33, n. 2, p. 152, 1979. DOI 10.2307/3543992. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/3543992>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MARRA, J.; HOUGHTON, R. W.; GARSIDE, C. Phytoplankton growth at the shelf-break front in the Middle Atlantic Bight. **Journal of Marine Research**, v. 48, n. 4, p. 851–868, 1990.

DOI 10.1357/002224090784988665. Disponível em: <https://doi.org/10.1357/002224090784988665>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MARTINI, K. I.; ALFORD, M. H.; KUNZE, E.; KELLY, S. M.; NASH, J. D. Observations of internal tides on the oregon continental slope. **Journal of Physical Oceanography**, v. 41, n. 9, p. 1772–1794, 2011. DOI 10.1175/2011JPO4581.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/2011JPO4581.1>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MARTINS, L. R.; COUTINHO, P. N. The Brazilian continental margin. **Earth Science Reviews**, v. 17, n. 1–2, p. 87–107, 1981. DOI 10.1016/0012-8252(81)90007-6. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90007-6). Acesso em: 03 abr. 2018.

MATSUURA, Y. **Ocorrência de peixes pelágicos ea estrutura oceanográfica da região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e Cananeia (SP), em Jan-Fev/1979**. Ser. Doc. Tecn. PDP/SUDEPE, Brasília, v. 33, p. 3-70, 1985. ISSN: 0100-4050

MCCLATCHIE, S.; MACAULAY, G.; COOMBS, R. F.; GRIMES, P.; HART, A. Target strength of an oily deep-water fish, orange roughy (*Hoplostethus atlanticus*) I. Experiments. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 106, n. 1, p. 131–142, jul. 1999. DOI 10.1121/1.427042. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.427042>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MCWILLIAMS, James C. Submesoscale currents in the ocean. **Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Science**, v. 472, n. 2189, p. 20160117, 2016. DOI 10.1098/rspa.2016.0117. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rspa.2016.0117>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MEDWIN, H.; CLAY, C. S. **Fundamentals of acoustical oceanography**. Academic Press, London, 1998. 712 p. ISBN: 0-12-487570-X.

MIYANOYAMA, Y.; ISHII, K.; FURUSAWA, M. Effect of beam pattern and fish behaviour on averaged target strength. **Bull. Natl. Res. Inst. Fish. Eng.**, (Japan)/Suikoken Hokoku, v. 7, p. 87–96, 1986.

MIZOBATA, K.; SAITOH, S. I.; WANG, J. Interannual variability of summer biochemical enhancement in relation to mesoscale eddies at the shelf break in the vicinity of the Pribilof Islands, Bering Sea. **Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 55, n. 16–17, p. 1717–1728, 2008. DOI 10.1016/j.dsr2.2008.03.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.03.002>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MÖLLMANN, C.; LINDEGREN, M.; BLECKNER, T.; BERGSTRÖM, L.; CASINI, M.; DIEKMANN, R.; FLINKMAN, J.; MÜLLER-KARULIS, B.; NEUENFELDT, S.; SCHMIDT, J. O.; TOMCZAK, M.; VOSS, R.; GÅRDMARK, A. Implementing ecosystem-based fisheries management: from single-species to integrated ecosystem assessment and advice for Baltic Sea fish stocks. **ICES Journal of Marine Science**, v. 71, n. 5, p. 1187–1197, 1 ago. 2014. DOI 10.1093/icesjms/fst123. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst123>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MORSE, P. M.; INGARD, K. U. Ch. 8: The Scattering of Sound. In: **Theoretical Acoustics**, New Jersey: Princeton University Press, 1968. ISBN: 0691024014.

MOUM, J. N.; CALDWELL, D. R.; NASH, J. D.; GUNDERSON, G. D. Observations of boundary mixing over the continental slope. **Journal of Physical Oceanography**, n. 7, p. 2113–2130, 2002. DOI 10.1175/1520-0485(2002)032<2113:OOBMOT>2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2002\)032<2113:OOBMOT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2002)032<2113:OOBMOT>2.0.CO;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

MUKAI, T.; IIDA, K. Depth dependence of target strength of live kokanee salmon in accordance with Boyle's law. **ICES Journal of Marine Science**, v. 53, n. 2, p. 245–248, 1 abr. 1996. DOI 10.1006/jmsc.1996.0029. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0029>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MUNK, P.; LARSSON, P. O.; DANIELSEN, D.; MOKSNESS, E. Larval and small juvenile cod *Gadus morhua* concentrated in the highly productive areas of a shelf break front. **Marine Ecology Progress Series**, v. 125, n. 1–3, p. 21–30, 1995. DOI 10.3354/meps125021. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/meps125021>. Acesso em: 03 abr. 2018.

MUTLU, E. Target strength of the common jellyfish (*Aurelia aurita*): a preliminary experimental study with a dual-beam acoustic system. **ICES Journal of Marine Science**, v. 53, n. 2, p. 309–311, 1 abr. 1996. DOI 10.1006/jmsc.1996.0040. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0040>. Acesso em: 03 abr. 2018.

NAGAI, T.; HASEGAWA, D.; TANAKA, T.; NAKAMURA, H.; TSUTSUMI, E.; INOUE, R.; YAMASHIRO, T. First evidence of coherent bands of strong turbulent layers associated with high-wavenumber internal-wave shear in the upstream kuroshio. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–14, 2017. DOI 10.1038/s41598-017-15167-1. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15167-1>. Acesso em: 03 abr. 2018.

NAKKEN, O.; OLSEN, K. Target strength measurements of fish. **Rapports et Proces-Verbaux des Reunions (ICES)**, 1977.

NASH, J. D.; ALFORD, M. H.; KUNZE, E.; MARTINI, K.; KELLY, S. Hotspots of deep ocean mixing on the Oregon continental slope. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 1, p. 2–7, 2007. DOI 10.1029/2006GL028170. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2006GL028170>. Acesso em: 03 abr. 2018.

NASH, J.; SHROYER, E.; KELLY, S.; INALL, M.; DUDA, T.; LEVINE, M.; JONES, N.; MUSGRAVE, R. Are Any Coastal Internal Tides Predictable? **Oceanography**, v. 25, n. 2, p. 80–95, 2012. DOI 10.5670/oceanog.2012.44. Disponível em: <https://doi.org/10.5670/oceanog.2012.44>. Acesso em: 03 abr. 2018.

NAVROTSKY, V.; LOZOVATSKY, I.; PAVLOVA, E.; FERNANDO, H. J. Observations of internal waves and thermocline splitting near a shelf break of the Sea of Japan (East Sea). **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 12, p. 1375–1395, 2004. DOI 10.1016/j.csr.2004.03.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2004.03.008>. Acesso em: 03 abr. 2018.

NAZARIAN, R. H.; LEGG, S. Internal wave scattering in continental slope canyons, Part 2: A comparison of ray tracing and numerical simulations. **Ocean Modelling**, v. 118, p. 16–30, 2017. DOI 10.1016/j.ocemod.2017.07.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2017.07.005>. Acesso em: 03 abr. 2018.

NOBLE, M.; JONES, B.; HAMILTON, P.; XU, J.; ROBERTSON, G.; ROSENFELD, L.; LARGIER, J. Cross-shelf transport into nearshore waters due to shoaling internal tides in San Pedro Bay, CA. **Continental Shelf Research**, v. 29, n. 15, p. 1768–1785, 2009. DOI 10.1016/j.csr.2009.04.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.04.008>. Acesso em: 03 abr. 2018.

OKE, P. R.; MIDDLETON, J. H. Topographically induced upwelling off Eastern Australia. **Journal of Physical Oceanography**, v. 30, n. 3, p. 512–531, 2000. DOI 10.1175/1520-0485(2000)030<0512:TIUOEA>2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(2000\)030<0512:TIUOEA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(2000)030<0512:TIUOEA>2.0.CO;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

PERRUCHE, C.; RIVIÈRE, P.; LAPEYRE, G.; CARTON, X.; PONDAVEN, P. Effects of surface quasi-geostrophic turbulence on phytoplankton competition and coexistence. **Journal of Marine Research**, v. 69, n. 1, p. 105–135, 2011. DOI 10.1357/002224011798147606. Disponível em: <https://doi.org/10.1357/002224011798147606>. Acesso em: 03 abr. 2018.

PINGREE, R. D.; MARDELL, G. T.; CARTWRIGHT, D. E. Slope Turbulence, Internal Waves and Phytoplankton Growth at the Celtic Sea Shelf-Break [and Discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 302, n. 1472, p. 663–682, 1981. DOI 10.1098/rsta.1981.0191. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsta.1981.0191>. Acesso em: 03 abr. 2018.

PINEDA, J. Internal tidal bores in the nearshore: warm-water fronts, seaward gravity currents and the onshore transport of neustonic larvae. **Journal of Marine Research**, [S. l.], v. 52, n. 3, p. 427–458, 1994. DOI 10.1357/0022240943077046. Disponível em: <https://doi.org/10.1357/0022240943077046>. Acesso em: 03 abr. 2018.

PRAIRIE, J. C.; SUTHERLAND, K. R.; NICKOLS, K. J.; KALTENBERG, A. M. Biophysical interactions in the plankton: A cross-scale review. **Limnology and Oceanography: Fluids and Environments**, v. 2, n. 1, p. 121–145, 2012. DOI 10.1215/21573689-1964713. Disponível em: <https://doi.org/10.1215/21573689-1964713>. Acesso em: 03 abr. 2018.

RAHN, E.; SANTOS, A. **Pesca exploratória de lulas (*Loligo spp*) e calamares (*Illex argentinus*) nas costas de Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. SUDEPE-PDP Relatório Síntese, n. 5, 1978.

REEDER, D. B.; JECH, J. M.; STANTON, T. K. Broadband acoustic backscatter and high-resolution morphology of fish: Measurement and modeling. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 116, n. 2, p. 747–761, ago. 2004. DOI 10.1121/1.1648318. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.1648318>. Acesso em: 03 abr. 2018.

RICKLEFS, Robert E. **A economia da natureza**. 5ed. Editora Guanabara-Koogan, 503 p., 2003. ISBN: 978-85-27707-98-5.

RIJAVEC, L.; AMARAL, J. C. Distribuição e abundância de peixes pelágicos na costa sul e sudeste do Brasil. Resultados da pesquisa com ecointegrador. **Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Pesqueiro do Brasil, Documentos Técnicos**, Brasília, DF (Brazil), nº 24, 55 p. 1977.

ROUGHAN, M.; MIDDLETON, J. H. A comparison of observed upwelling mechanisms off the east coast of Australia. **Continental Shelf Research**, v. 22, n. 17, p. 2551–2572, 2002. DOI 10.1016/S0278-4343(02)00101-2. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(02\)00101-2](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(02)00101-2). Acesso em: 03 abr. 2018.

SANDSTROM, H.; OAKLEY, N. S. Dissipation in Internal Tides and Solitary Waves. **Journal of Physical Oceanography**, v. 25, n. 4, p. 604–614, 1995. DOI 10.1175/1520-0485(1995)025<0604:DIITAS>2.0.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1995\)025<0604:DIITAS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1995)025<0604:DIITAS>2.0.CO;2). Acesso em: 03 abr. 2018.

SCHAEFFER, A.; ROUGHAN, M.; MORRIS, B. D. Cross-Shelf Dynamics in a Western Boundary Current Regime: Implications for Upwelling. **Journal of Physical Oceanography**, v. 43, n. 5, p. 1042–1059, 2013. DOI 10.1175/jpo-d-12-0177.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/jpo-d-12-0177.1>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SCHNEIDER, David. Fronts and Seabird Aggregations in the Southeastern Bering Sea. **Marine Ecology Progress Series**, v. 10, p. 101–103, 1982. DOI 10.3354/meps010101. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/meps010101>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SCHOTT, F. A.; DENGLER, M.; ZANTOPP, R. The shallow and deep western boundary circulation of the South Atlantic at 5–11° S. **Journal of Physical**, 2005. DOI 10.1175/JPO2813.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JPO2813.1>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SCHOTT, F. A.; BRANDT, P.; HAMANN, M.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. On the boundary flow off Brazil at 5–10°S and its connection to the interior tropical Atlantic. **Geophysical Research Letters**, v. 29, n. 17, p. 21-1-21-4, 2002. DOI 10.1029/2002GL014786. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2002GL014786>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SCHOTT, F. A.; DENGLER, M.; ZANTOPP, R.; STRAMMA, L.; FISCHER, J.; BRANDT, P. The shallow and deep western boundary circulation of the South Atlantic at 5°–11°S. **Journal of Physical Oceanography**, v. 35, n. 11, p. 2031–2053, 2005. DOI 10.1175/JPO2813.1. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JPO2813.1>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SEAGER, R.; SIMPSON, I. R. Western boundary currents and climate change. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 121, n. 9, p. 7212–7214, 2016. DOI 10.1002/2016JC012156. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2016JC012156>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SHEARS, N. T.; BOWEN, M. M. Half a century of coastal temperature records reveal complex warming trends in western boundary currents. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017. DOI

10.1038/s41598-017-14944-2. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14944-2>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SHROYER, E. L.; MOUM, J. N.; NASH, J. D. Vertical heat flux and lateral mass transport in nonlinear internal waves. **Geophysical Research Letters**, v. 37, n. 8, p. 1–5, 2010. DOI 10.1029/2010GL042715. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2010GL042715>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SIEGEL, D. A.; PETERSON, P.; MCGILLICUDDY, D. J.; MARITORENA, S.; NELSON, N. B. Bio-optical footprints created by mesoscale eddies in the Sargasso Sea. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 13, 2011. DOI 10.1029/2011GL047660. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2011GL047660>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SILVA, M.; ARAÚJO, M.; SERVAIN, J.; PIERRICK, P. Circulation and heat budget in a regional climatological simulation of the Southwestern Tropical Atlantic. **Tropical Oceanography**, v. 37, n. 1–2, 2009a. DOI 10.5914/tropocean.v37i1-2.5156. Disponível em: <https://doi.org/10.5914/tropocean.v37i1-2.5156>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SILVA, M.; ARAUJO, M.; SERVAIN, J.; PENVEN, P.; LENTINI, C. A. D. High-resolution regional ocean dynamics simulation in the southwestern tropical Atlantic. **Ocean Modelling**, v. 30, n. 4, p. 256–269, 2009b. DOI 10.1016/j.ocemod.2009.07.002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2009.07.002>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SIMMONDS, J.; MACLENNAN, D. **Fisheries Acoustics**. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2005. ISBN: 0-632-05994-X.

STANTON, T. K. Sound scattering by cylinders of finite length. I. Fluid cylinders. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 83, n. 1, p. 55–63, jan. 1988. DOI 10.1121/1.396184. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.396184>. Acesso em: 03 abr. 2018.

STANTON, T. K.; CHU, D. Review and recommendations for the modelling of acoustic scattering by fluid-like elongated zooplankton: euphausiids and copepods. **ICES Journal of Marine Science**, v. 57, n. 4, p. 793–807, 2000. DOI 10.1006/jmsc.1999.0517. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0517>. Acesso em: 03 abr. 2018.

STANTON, T. K.; CHU, D.; WIEBE, P. H. Sound scattering by several zooplankton groups. II. Scattering models. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 103, n. 1, p. 236, 7 dez. 1998. DOI 10.1121/1.421110. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.421110>. Acesso em: 03 abr. 2018.

STANTON, T. K.; CHU, D.; WIEBE, P. H.; CLAY, C. S. Average echoes from randomly oriented random-length finite cylinders: Zooplankton models. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 94, n. 6, p. 3463–3472, dez. 1993a. DOI 10.1121/1.407200. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.407200>. Acesso em: 03 abr. 2018.

STANTON, T. K.; CLAY, C. S.; CHU, D. Ray representation of sound scattering by weakly scattering deformed fluid cylinders: Simple physics and application to zooplankton. **The**

Journal of the Acoustical Society of America, v. 94, n. 6, p. 3454–3462, dez. 1993b. DOI 10.1121/1.407199. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.407199>. Acesso em: 03 abr. 2018.

STANTON, T.; CHU, D.; WIEBE, P. H. Acoustic scattering characteristics of several zooplankton groups. **ICES Journal of Marine Science**, v. 53, n. 2, p. 289–295, 1 abr. 1996. DOI 10.1006/jmsc.1996.0037. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1996.0037>. Acesso em: 03 abr. 2018.

STANTON, T.; WIEBE, P. H.; CHU, D.; BENFIELD, M. C.; SCANLON, L.; MARTIN, L.; EASTWOOD, R. L. On acoustic estimates of zooplankton biomass. **ICES Journal of Marine Science**, v. 51, n. 4, p. 505–512, 1 nov. 1994. DOI 10.1006/jmsc.1994.1051. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jmsc.1994.1051>. Acesso em: 03 abr. 2018.

STRANNE, C.; MAYER, L.; WEBER, T. C.; RUDDICK, B. R.; JAKOBSSON, M.; JERRAM, K.; WEIDNER, E.; NILSSON, J.; GÅRDFELDT, K. Acoustic mapping of thermohaline staircases in the arctic ocean. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017. DOI 10.1038/s41598-017-15486-3. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15486-3>. Acesso em: 03 abr. 2018.

SU, Z.; WANG, J.; KLEIN, P.; THOMPSON, A. F.; MENEMENLIS, D. Ocean submesoscales as a key component of the global heat budget. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, 2018. DOI 10.1038/s41467-018-02983-w. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-02983-w>. Acesso em: 11 nov. 2019.

TAYLOR, J. R. Turbulent mixing, restratification, and phytoplankton growth at a submesoscale eddy. **Geophysical Research Letters**, v. 43, n. 11, p. 5784–5792, 2016. DOI 10.1002/2016GL069106. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2016GL069106>. Acesso em: 03 abr. 2018.

THOMPSON, A. F.; STEWART, A. L.; SPENCE, P.; HEYWOOD, K. J. The Antarctic Slope Current in a Changing Climate. **Reviews of Geophysics**, v. 56, n. 4, p. 741–770, 2018. DOI 10.1029/2018RG000624. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2018RG000624>. Acesso em: 03 abr. 2018.

TRENKEL, V. M.; BERGER, L. A fisheries acoustic multi-frequency indicator to inform on large scale spatial patterns of aquatic pelagic ecosystems. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 649, 2013. DOI 10.1016/j.ecolind.2013.05.005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.05.005>. Acesso em: 03 abr. 2018.

TREVORROW, M. V.; MACKAS, D. L.; BENFIELD, M. C. Comparison of multifrequency acoustic and in situ measurements of zooplankton abundances in Knight Inlet, British Columbia. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 117, n. 6, p. 3574–3588, jun. 2005. DOI 10.1121/1.1920087. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.1920087>. Acesso em: 03 abr. 2018.

VELEDA, D.; ARAÚJO, M.; SILVA, M.; MONTAGNE, R. Seasonal and interannual variability of the southern south Equatorial Current bifurcation and meridional transport along the eastern brazilian edge. **Tropical Oceanography**, v. 39, n. 1, p. 27–59, 2011. DOI

10.5914/to.2011.0051. Disponível em: <https://doi.org/10.5914/to.2011.0051>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WARREN, J.; STANTON, T. K.; BENFIELD, M. C.; WIEBE, P. H.; CHU, D.; SUTOR, M. In situ measurements of acoustic target strengths of gas-bearing siphonophores. **ICES Journal of Marine Science**, v. 58, n. 4, p. 740–749, 1 ago. 2001. DOI 10.1006/jmsc.2001.1047. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/jmsc.2001.1047>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WEATHERALL, P.; MARKS, K. M.; JAKOBSSON, M.; SCHMITT, T.; TANI, S.; ARNDT, J. E.; ROVERE, M.; CHAYES, D.; FERRINI, V.; WIGLEY, R. A new digital bathymetric model of the world's oceans. **Earth and Space Science**, v. 2, n. 8, p. 331–345, 1 ago. 2015. DOI 10.1002/2015EA000107. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2015EA000107>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WEIGERT, S. C.; MADUREIRA, L. S. P. Registros acústicos biológicos detectados na Zona Econômica Exclusiva da região nordeste do Brasil—uma classificação em ecotipos funcionais. **Atlântica (Rio Grande)**, v. 33, n. 1, p. 15–32, 2011. DOI 10.5088/atl.2011.33.1.15. Disponível em: <https://doi.org/10.5088/atl.2011.33.1.15>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WIERWILLE, W. W. A Theory and Method for Correlation Analysis of Nonstationary Signals. **IEEE Transactions on Electronic Computers**, v. EC-14, n. 6, p. 909–919, 1965. DOI 10.1109/PGEC.1965.264087. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/PGEC.1965.264087>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WOILLEZ, M.; RESSLER, P. H.; WILSON, C. D.; HORNE, J. K. Multifrequency species classification of acoustic-trawl survey data using semi-supervised learning with class discovery. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 131, n. 2, p. EL184–EL190, 8 abr. 2012. DOI 10.1121/1.3678685. Disponível em: <https://doi.org/10.1121/1.3678685>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WU, Lixin *et al.* Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 3, p. 161–166, 2012. DOI 10.1038/nclimate1353. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1353>. Acesso em: 03 abr. 2018.

WU, ZH.; HUANG, N. E. Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise-Assisted Data Analysis Method. **Advances in Adaptive Data Analysis**, v. 01, n. 01, p. 1–41, 2009. DOI 10.1142/S1793536909000047. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S1793536909000047>. Acesso em: 03 abr. 2018.

XIE, X. H.; CUYPERS, Y.; BOURUET-AUBERTOT, P.; FERRON, B.; PICHON, A.; LOURENÇO, A.; CORTES, N. Large-amplitude internal tides, solitary waves, and turbulence in the central Bay of Biscay. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 11, p. 2748–2754, 2013. DOI 10.1002/grl.50533. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/grl.50533>. Acesso em: 03 abr. 2018.

YANAGI, Tetsuo. Classification of “siome”, streaks and fronts. **Journal of the Oceanographical Society of Japan**, v. 43, n. 3, p. 149–158, 1987. DOI 10.1007/BF02109215. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02109215>. Acesso em: 03 abr. 2018.

YULE, G. U. Why do we Sometimes get Nonsense-Correlations between Time-Series?--A Study in Sampling and the Nature of Time-Series. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 89, n. 1, p. 1, 1926. DOI 10.2307/2341482. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2341482>. Acesso em: 03 abr. 2018.

ZEMBRUSKI, S. G.; BARRETO, H. T.; PALMA, J. C.; MILLIMAN, J. D. **Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira**. In: Anais do Congresso Brasileiro De Geologia, v. 26, p. 187–209, 1972.