

4.1 – MEIO FÍSICO

A área da Atividade de Pesquisa Sísmica Marítima 3D na Bacia Sedimentar do Ceará da PGS, no Programa CEARA R11 3D, está situada na porção sudeste da Bacia Sedimentar do Ceará, na divisa com a Bacia Potiguar.

A bacia do Ceará localiza-se na plataforma continental da margem equatorial brasileira, abrangendo uma área de aproximadamente 35.000 km². Está separada da bacia Potiguar pelo Alto de Fortaleza, a sudeste, e limita-se a oeste com a bacia de Barreirinhas pelo Alto de Tutóia (Figura 4.1).

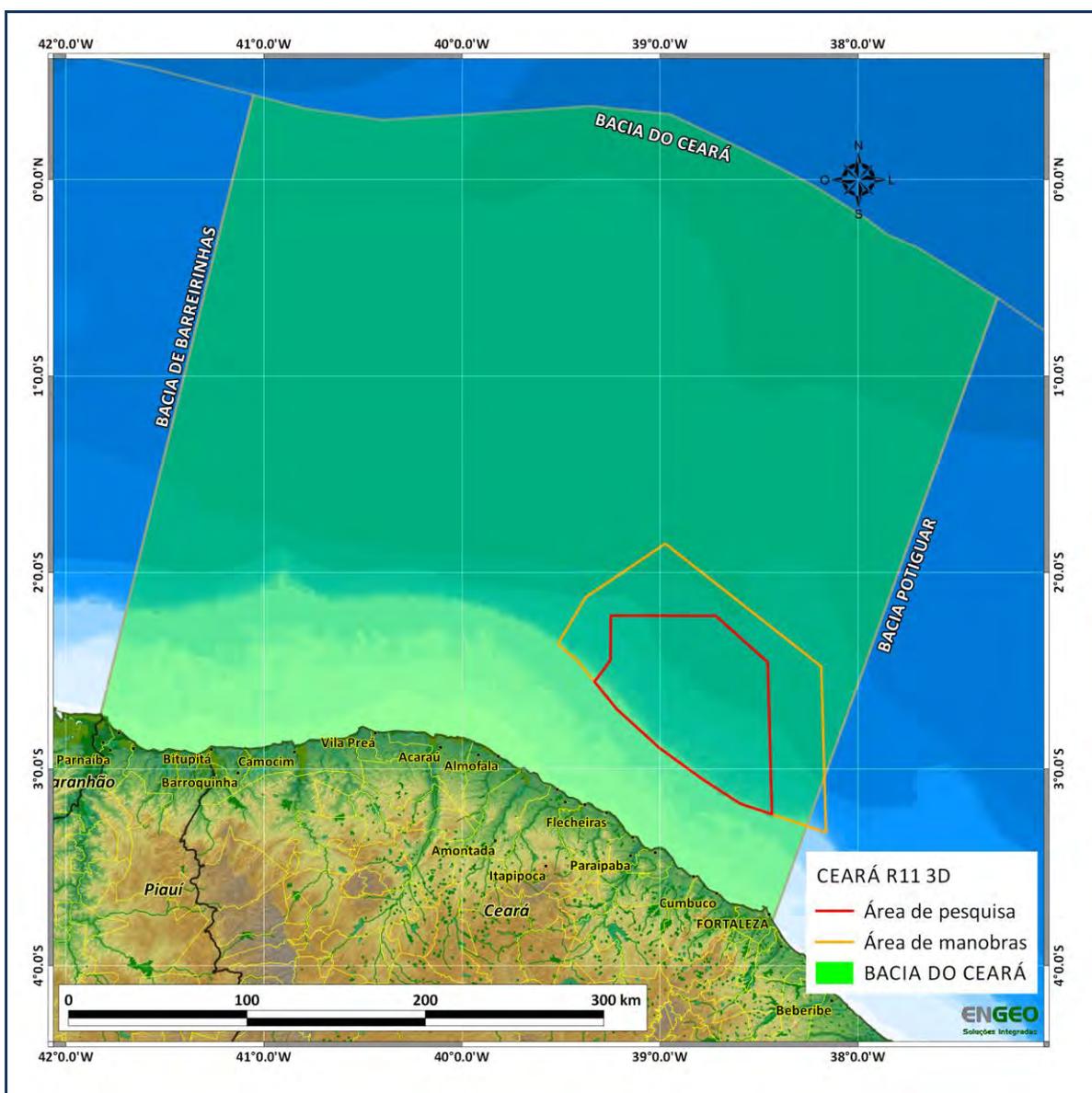


Figura 4.1 - Localização da Bacia Sedimentar do Ceará e do polígono do Programa CEARÁ R11 3D em relação à mesma.

O Bloco do Programa CEARÁ R11 3D está a uma distância mínima da costa de 46 km ou 24,8 milhas náuticas em relação ao município de Paracuru – CE.

Nesse item do Estudo Ambiental de Sísmica serão apresentadas as principais características ambientais, geomorfológicas e oceanográficas, da área de influência da atividade de pesquisa sísmica marítima da PGS a ser realizada na Bacia do Ceará no Programa CEARÁ R11 3D.

4.1.1 Geologia e Geomorfologia

A área de atividade de pesquisa sísmica da PGS, no Programa CEARÁ R11 3D, está posicionada na margem continental brasileira, parte sobre a quebra da plataforma continental e parte sobre o talude continental.

Margem continental brasileira

A margem continental brasileira é do tipo Atlântica, ou seja, margem do tipo passiva, onde a mesma não coincide com nenhuma placa tectônica e está distante de qualquer tectonismo pronunciado (Cadeia Mesoceânica, margem construtiva entre América e África). Compreende uma área total de 5.003.397 km², equivalente a 59% do território brasileiro emerso (Figura 4.1.1a).

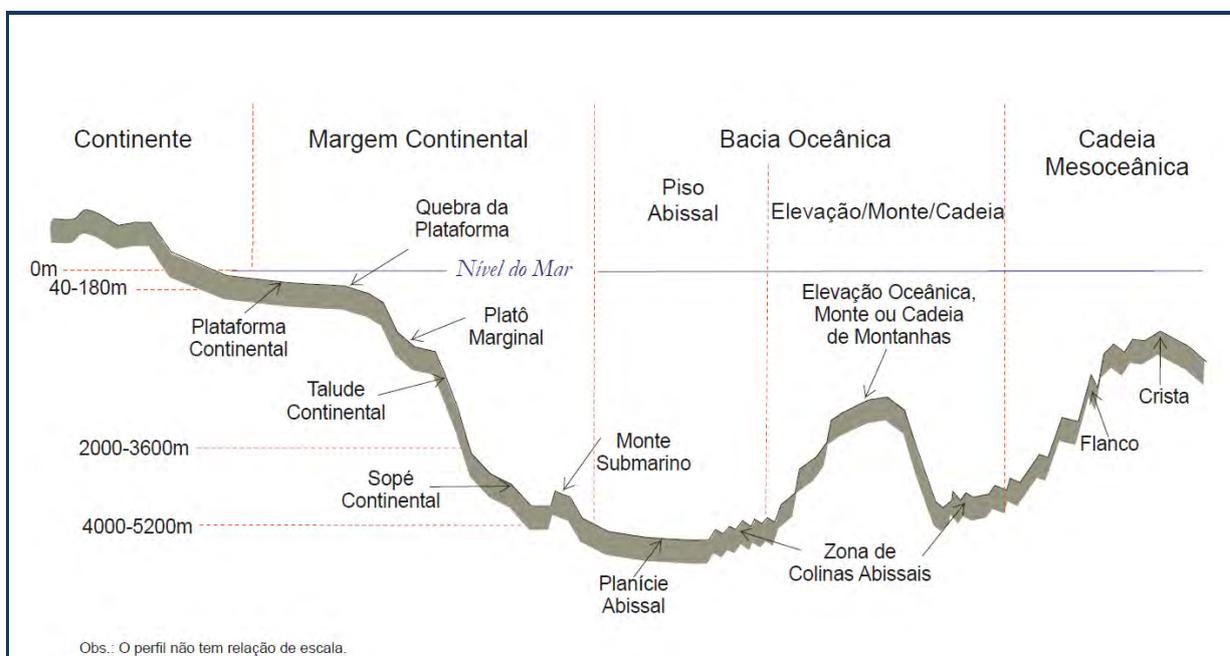


Figura 4.1.1a - Perfil Fisiográfico Esquemático de uma Margem Tipo "Atlântica" (Modificado de COUTINHO, 2000).

A plataforma continental brasileira constitui a faixa de terras submersas compreendida entre a linha da costa e o contorno batimétrico de 200 metros (FONSECA, 1969). As características da plataforma continental na região onde está inserida a área de atividades do Programa CEARÁ R11 3D (porção entre o Delta do Parnaíba e o Cabo Calcanhar) pode ser considerada estreita, atingindo 50 km próximo ao Cabo Calcanhar (até 75-80 km próximo a Fortaleza), reduzindo-se em direção à Costa Nordeste para 40-50 km, enquanto a quebra da plataforma ocorre a uma profundidade de 80 m. A plataforma mais estreita e mais rasa favorece, ao mesmo tempo, a diminuição das correntes de maré e o aumento da influência das correntes costeiras sobre o litoral. A constância dos ventos alíseos de sudeste, o clima semiárido com drenagem pouco expressiva e a aproximação do eixo da Corrente Costeira Norte Brasileira segundo Palma (1979), concorreu para regularização do litoral. Essas condições favorecem o desenvolvimento da sedimentação carbonática, típica da área, que contrasta com o setor norte onde predomina a sedimentação terrígena. O relevo da plataforma interna e média reflete o padrão desenvolvido na planície costeira. Ondas de areia com sotavento aparentemente voltado para oeste sugerem a predominância das correntes naquele sentido (REVIZEE/MMA, 2000).

Na altura de 39° W e 2° - 2°30' S, o talude continental é interrompido pelo terraço do Ceará, desenvolve-se desde o talude próximo de 2° N e 39° W como uma feição do tipo platô, localizada a profundidades que variam de 2.000 a 2.500 m. O terraço alcança a largura máxima de 30 km, com gradientes em torno de 1:50 e 1:60. Outra feição característica nesse setor (no intervalo de 37 a 38° W) é o Guyot do Ceará (platô), um monte submarino de topo plano, com superfície de cerca de 850 Km² que se situa entre as profundidades de 230 e 260 m. Nesse setor, ocorrem vários montes submarinos que se elevam acima do sopé continental, entre 2°50' e 4°30' S, estendendo-se da base do talude continental até a altura de 31° W (Zembruski *et al.* 1972). Dentre os bancos oceânicos da região, o Banco Canopus (conhecido popularmente como banco do Ceará ou banco Pequeno) destaca-se pela proximidade da costa, aproximadamente a 65 milhas náuticas (124 km) ao norte de Fortaleza (Figura 4.1.1b).

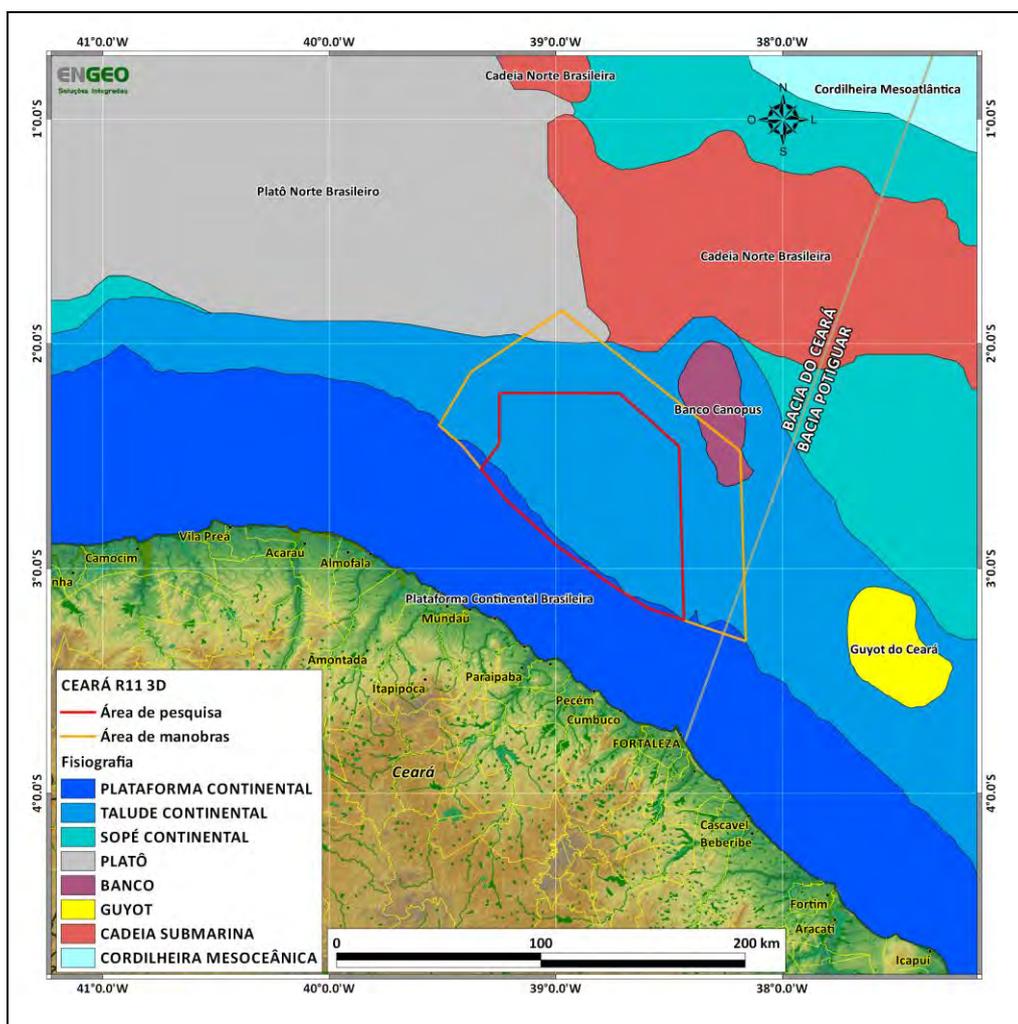


Figura 4.1.1b – Unidades fisiográficas na área da atividade de pesquisa sísmica (CPRM, 2009).

A continuidade do sopé continental é interrompida, entre 46 e 35° W, pela topografia irregular, rugosa, dos Montes Submarinos da Cadeia Norte Brasileira, disposta paralelamente à base do talude continental, e que se apresenta como uma crista estreita, alongando-se quase paralelamente à costa, por 1.300 km (46 a 35° W), a uma distância de cerca de 150 a 200 km do talude continental. A oeste de 39° W, sua continuidade é interrompida por passagens cada vez mais largas. A cadeia divide-se em dois segmentos, ambos com direção E-W, ligados por um segmento intermediário, de direção NW-SE. Esta feição eleva-se acima do sopé continental, com um relevo que varia de 300 a 400 m; geralmente, tem largura em torno de 45 km na base, exceto em regiões com dois picos, onde se alarga para 75 km. (REVIZEE/MMA, 2000).

Cobertura sedimentar na área de influência da atividade

A distribuição dos tipos de sedimento de fundo em plataformas continentais é resultado de fatores diversos, incluindo as fontes de sedimento, a energia das correntes, marés e ondas, a produtividade biológica e a variação do nível do mar ao longo dos anos. Em função de todos estes fatores agindo de forma diferenciada, de um local para outro, a distribuição dos tipos de sedimento de fundo obedece a uma organização discreta. O domínio lamoso tem a maior expressão de continuidade lateral ao longo das isóbatas e também cruzando as isóbatas. O domínio carbonático apresenta-se mais restrito e em formato mais alongado e geralmente na borda da plataforma. O domínio arenoso está relacionado às desembocaduras atuais e pretéritas dos grandes rios (CPRM, 2009).

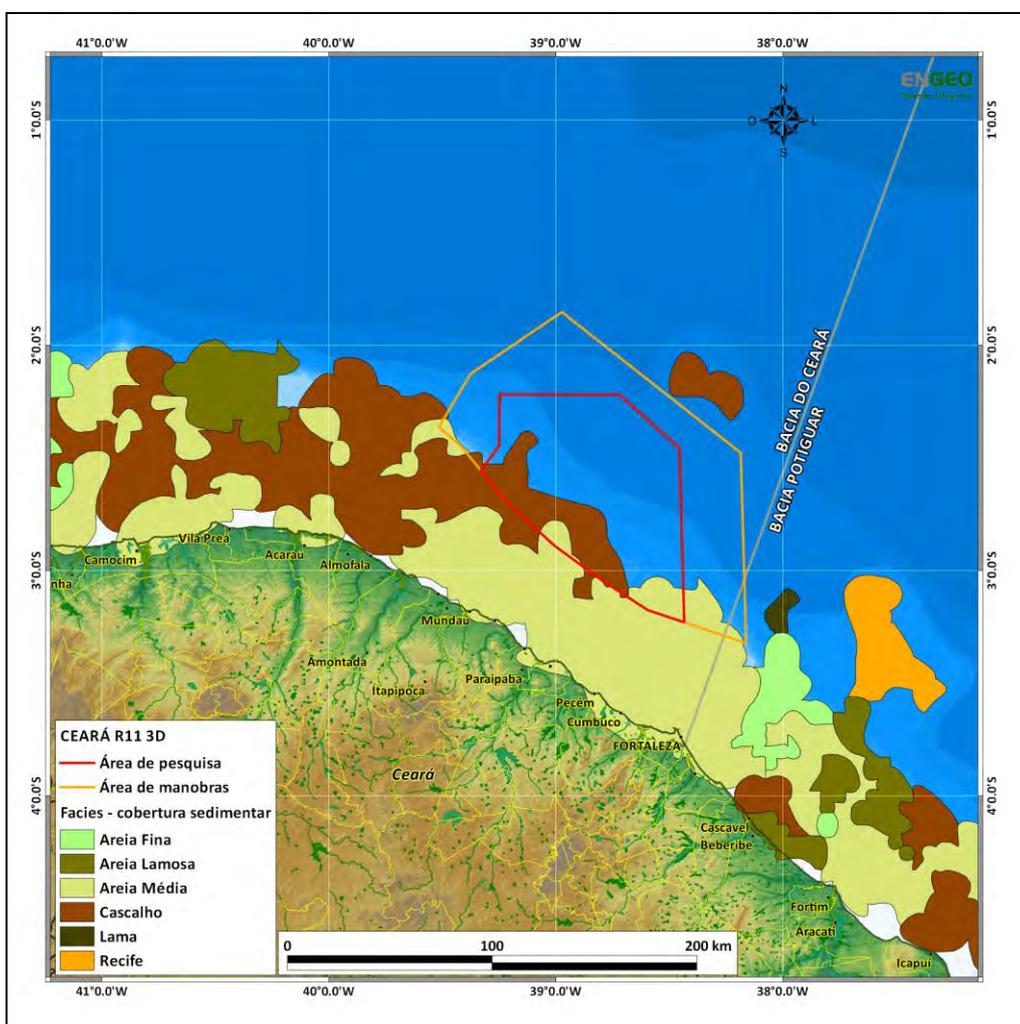


Figura 4.1.1c - Distribuição das fácies sedimentares na área da atividade de pesquisa sísmica (CPRM, 2009).

O CPRM publicou em 2009 um DVD intitulado “Geologia da Plataforma Continental Jurídica Brasileira - PCJB e áreas oceânicas adjacentes em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG)”. No acervo dessa publicação consta o “Mapa dos depósitos superficiais da Plataforma Continental Brasileira”, o mesmo foi elaborado a partir dos dados sobre cerca de 24.000 amostras de sedimentos superficiais da plataforma continental brasileira, coletadas em vários cruzeiros realizados por navios estrangeiros e por navios da DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, principalmente, quando das operações GEOMAR e do Projeto REMAC. Esses dados estão armazenados no BNDO - Banco Nacional de Dados Oceanográficos, mantido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da marinha brasileira. Este mapa, na forma de arquivo digital, mostrando a distribuição espacial dos sedimentos superficiais da plataforma, foi construído a partir da reclassificação dessas 24.000 amostras em 10 classes, propostas por DIAS, 1999 (CPRM, 2009).

Na porção da plataforma continental, onde está inserida a área do Programa CEARÁ R11 3D, se observa predomínio das fácies sedimentares identificadas como areia média e cascalho (Figura 4.1.1c).

4.1.2 Oceanografia

Os dados oceanográficos desse estudo contemplam informações georreferenciadas obtidas pelo eWOCE (*World Ocean Circulation Experiment*), OSCAR (*Ocean Surface Current Analysis Real-time*), AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data*) e demais trabalhos publicados que descrevem as características oceanográficas para a Bacia do Ceará ou região próxima.

Massas de água

Na Costa Nordeste, as correntes superficiais são dominadas pelo giro anticiclônico subtropical. Acima dos 50 – 100 metros, as águas do fluxo noroeste da Corrente Equatorial Sul (CSE) formam o ramo oriental do giro subtropical. A CSE consiste de dois ramos, o principal fluindo ao sul de 10°S. e outro, fluindo rapidamente, entre 2 e 4°S. Na área equatorial, estes dois ramos são separados pela Contracorrente Sul Equatorial (CCSE), que se dirige para leste e, na latitude aproximada de 10°S. da margem continental brasileira divide-se na Corrente do Brasil, que flui para o sul e, na Corrente Norte do Brasil, que flui para norte, a qual contribui para a Contracorrente Equatorial Norte, que segue para leste.

Atualmente, a CSE por apresentar uma estrutura muito complexa é subdividida em 3 ramos distintos: um mais ao norte (Corrente Sul Equatorial ramo Norte - CSEN), um central (Corrente Sul Equatorial ramo Central - CESC) e um ao sul (Corrente Sul Equatorial ramo Sul - CSES). Tais ramos são separados, respectivamente, pela corrente sul equatorial subsuperficial (CSESS) que flui entre 3°S e 5°S. e pela Contracorrente Sul Equatorial (CCSE) que flui para leste entre 7°S e 9°S.

Próximo à costa do Brasil, a sul de 10°S., a CSES ramifica-se formando a Corrente do Brasil (CB) que flui para sul com velocidade média de 10 - 15 cm/s (0,2 – 0,3 nós) e a Corrente Norte do Brasil (CNB) que cruza o equador e acelera, alcançando em 2°N a velocidade de 81 cm/s (1,6 nós). Nesta localidade, 2°N, a CNB une-se à CSEN, fluindo próximo à costa na direção norte. Devido à complexa estrutura da CSE no lado oeste da bacia atlântica, a localização exata da origem da CNB não é bem definida (SILVEIRA et al., 1994). (Figuras 4.1.2a e 4.1.2b).

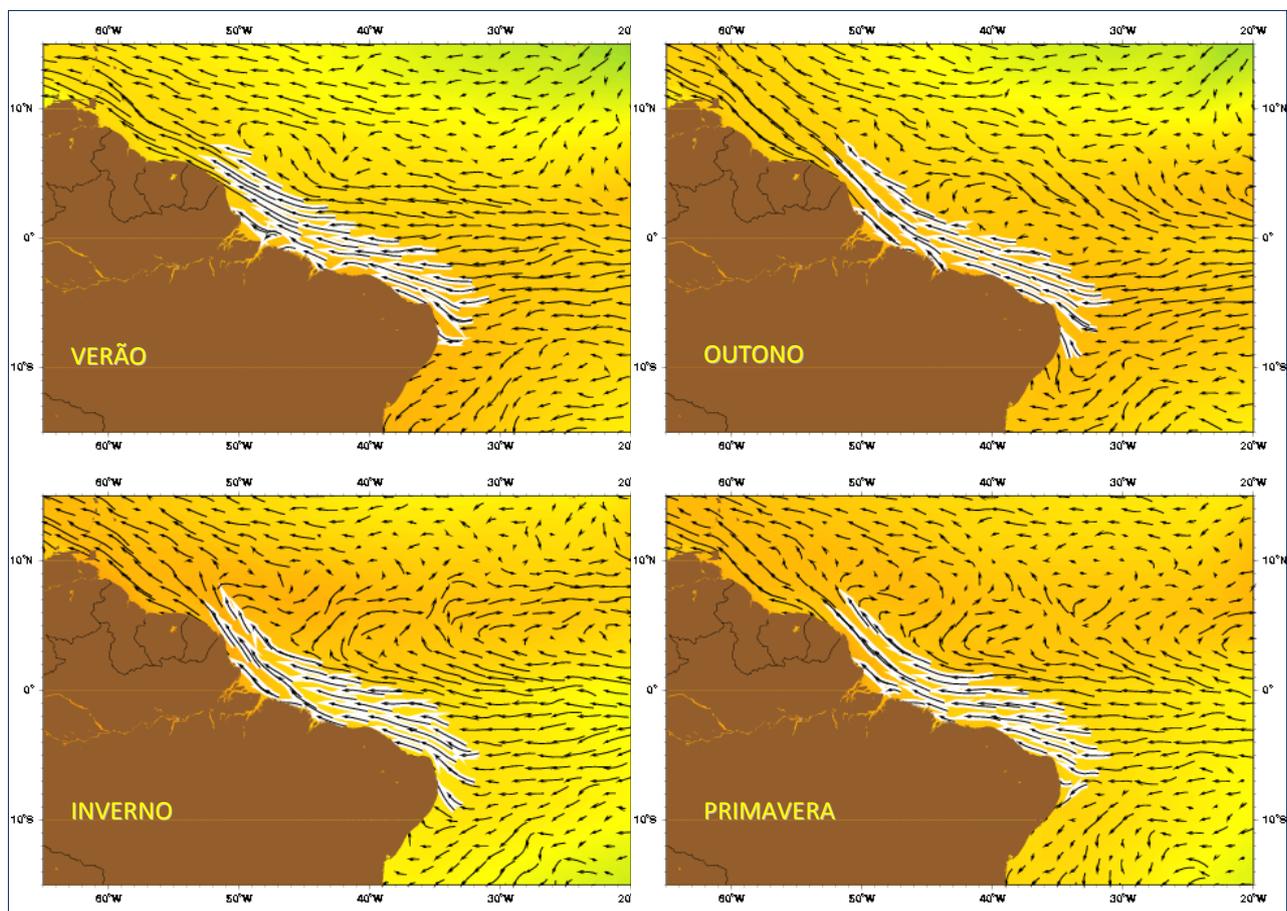


Figura 4.1.2a – Comportamento sazonal da Corrente Norte do Brasil (Modificado de: BISCHOF *et al*, 2003)

Temperatura e Salinidade

Dados de temperatura e salinidade para a costa Nordeste foram obtidos nas expedições oceanográficas do REVIZEE/NE II e III, no verão de 1997 e outono de 1998, respectivamente. Obteve-se dados da temperatura superficial, temperatura à profundidade com 50% de luminosidade e à profundidade com 1% de luminosidade. Bem como o gradiente de temperatura da termoclina (Tabela 4.1.2a).

Tabela 4.1.2a - Valores Médios, Mínimos e Máximos da Temperatura, Coletados Durante as Expedições Oceanográficas do REVIZEE/NE II e III, nos Anos de 1997 e 1998 (Modificado de BECKER, 2002)

PROFUNDIDADE	TEMPERATURA (°C) - 1997			TEMPERATURA (°C) - 1998		
	MÍN.	MÉDIA ± DP	MÁX.	MÍN.	MÉDIA ± DP	MÁX.
SUPERFÍCIE	27,12	27,68±0,18	28,26	26,86	28,08±0,48	28,80
50 % DE LUMINOSIDADE	27,12	27,62±0,18	27,98	26,86	28,07±0,47	28,80
1 % DE LUMINOSIDADE	21,94	26,17±1,73	27,84	19,94	26,09±2,20	28,93
INÍCIO DA TERMOCLINA SAZONAL	22,36	26,59±1,14	27,84	16,16	26,37±2,39	28,93
MEIO DA TERMOCLINA SAZONAL	15,15	19,66±2,64	25,45	8,36	19,41±3,59	27,36
FINAL DA TERMOCLINA SAZONAL	11,18	14,44±1,28	19,36	7,50	13,74±2,83	23,67
FINAL DA TERMOCLINA	6,74	9,14±1,48	13,13	5,06	7,94±2,62	16,36

Na Tabela 4.1.2a, os valores apresentados resumem todo o período de amostragem das expedições oceanográficas do REVIZEE/NE II e III. Os máximos valores de salinidade encontrados foram: 36,97‰ a 50‰ de luminosidade, no verão de 1997; e, 37,03‰ a 1‰ de luminosidade e no início da termoclina sazonal no outono de 1998. Os mínimos valores foram: para o verão de 1997, 33,17‰ no final da termoclina; e, para o outono de 1998, 34,34‰ na porção da coluna de água correspondente ao final das termoclina sazonal.

Na Costa Nordeste, no verão, a temperatura é mais homogênea. Um gradiente crescente e suave pode ser observado na área oceânica ao norte da região dos bancos de Fernando de Noronha. A temperatura na camada superficial da água do mar, segundo os dados apresentados, no verão (1997) teve 27,12°C de mínima e 28,66°C de máxima, a média ficou em 27,68°C com um desvio padrão de 0,18°C. No outono (1998), a temperatura mínima medida foi de 26,86°C, a máxima de 28,80°C e a média ficou em 28,08°C com desvio padrão de 0,48°C, o que representou uma maior amplitude de variação térmica nessa estação do ano (BECKER, 2002).

Correntes

A Corrente do Brasil se divide em vários braços. O braço principal flui na região central da plataforma continental, aproximadamente a 140 km da costa, em direção sudeste a uma velocidade máxima da ordem de 0,7 m/s (1,36 nós) até Cabo Frio/RJ. Após, a CB perde velocidade devido aos meandros e vórtices originados pela topografia do fundo.

Na área de influência da atividade de pesquisa sísmica no Programa CEARÁ R11 3D, usualmente as direções predominantes de corrente são de nordeste (NE) para sudoeste (SO), de este-nordeste (ENE) para oeste-sudoeste (OSO) e de sudeste (SE) para noroeste (NO) em eventos de frentes frias. As direções e velocidades da corrente variam moderadamente na coluna de água, mas é observado que essa variação pode ser mais representativa em profundidades maiores, a partir do talude continental.

O sistema OSCAR (Ocean Surface Current Analysis Real-time), que contém dados com as estimativas atuais próximas da superfície dos oceanos, derivadas de equações quasi-lineares e de fluxo constante, tem a velocidade horizontal diretamente calculada a partir altura da superfície do mar, do vetor vento à superfície e temperatura da superfície do mar. OSCAR é um projeto de investigação em curso, destina-se a melhorar o cálculo das correntes de superfície a partir de dados de satélite e métodos de validação. Estes dados são coletados de vários satélites e validados através de instrumentos *in situ* (boias e derivadores oceanográficos). A formulação do modelo combina a corrente geostrófica, dinâmica de cisalhamento e um termo complementar do gradiente flutuabilidade à superfície. De posse desses dados foi possível elaborar imagens para análise das direções de corrente superficial. Os dados utilizados compreendem um ano (maio de 2013 a abril de 2014) de valores de média mensal da velocidade (m/s) e direção da corrente superficial, filtrados em grade de coordenada 1x1 (graus), georreferenciados e apresentados em relação a área da atividade de pesquisa sísmica. Nessa análise se observa que na primavera e no verão (Figura 4.1.2e) a predominância de correntes oriundas do quadrante NE e no outono e inverno (Figura 4.1.2f) uma maior variação na direção das correntes, sem uma predominância bem marcada, aparentemente resultado da maior incidência de eventos de frentes frias.

Os dados de variação sazonal da corrente de superfície dentro da área de atividade de pesquisa sísmica são apresentados na Tabela 4.1.2b.

Tabela 4.1.2b - Variação sazonal dos dados de velocidade da corrente superficial na porção compreendida entre as latitudes 01° e 04°S e as longitudes 041° e 038°W, obtidos do sistema OSCAR (*Ocean Surface Current Analysis Real-time*)

VELOCIDADE DA CORRENTE SUPERFICIAL (m/s)		OUTONO	INVERNO	PRIMAVERA	VERÃO
		Média	0,14	0,22	0,20
Mínima	0,01	0,00	0,02	0,03	
Máxima	0,35	0,48	0,50	0,46	

Ondas

O sentido da linha de costa praticamente condiciona a orientação das ondas, principalmente as associadas às frentes frias que são as de maior altura e períodos mais longos. As ondas propagam-se paralelamente à costa, mas sofrem refração ao encontrarem águas rasas incidindo em ângulo reto sobre a linha de costa.

Na área de influência da atividade de pesquisa sísmica o regime de ondas segue um padrão interanual e sazonal, como quase em toda a costa brasileira, sofrendo anomalias de acordo com o regime dos ventos alíseos.

Nos registros de média, máxima e mínima altura significativa de onda, se observa valores das médias variando entre 1,2 e 2,2 m ao longo do ano. Na Tabela 4.1.2c são apresentadas os valores registrados para cada mês oriundos dos dados do sistema AVISO.

Tabela 4.1.2c - Variação mensal dos dados de altura de onda na porção compreendida entre as latitudes 01° e 04°S e as longitudes 041° e 038°W, obtidos do sistema AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data*)

ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDA (m)		MAI/13	JUN/13	JUL/13	AGO/13	SET/13	OUT/13	NOV/13	DEZ/13	JAN/14	FEV/14	MAR/14	ABR/14
		Média	2,09	1,64	1,19	2,17	2,03	1,87	1,92	1,97	1,92	1,83	1,74
Mínima	2,00	1,59	1,09	2,06	1,85	1,82	1,87	1,86	1,82	1,59	1,59	1,96	
Máxima	2,21	1,68	1,29	2,30	2,19	1,91	2,00	2,05	1,99	2,21	2,21	2,25	

Direções mais frequentes de trem de ondas para a Bacia do Ceará são oriundas dos quadrantes nordeste, este-nordeste, este, este-sudeste, sudeste.

Com os dados do sistema AVISO (*Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data*), interpolados e georreferenciados através do programa Quantum GIS 2.2, foi possível apresentar e comparar as variações mensais da altura média de ondas significativas no entorno da área pretendida para a atividade de pesquisa sísmica (Figura 4.1.2b e Figura 4.1.2c).

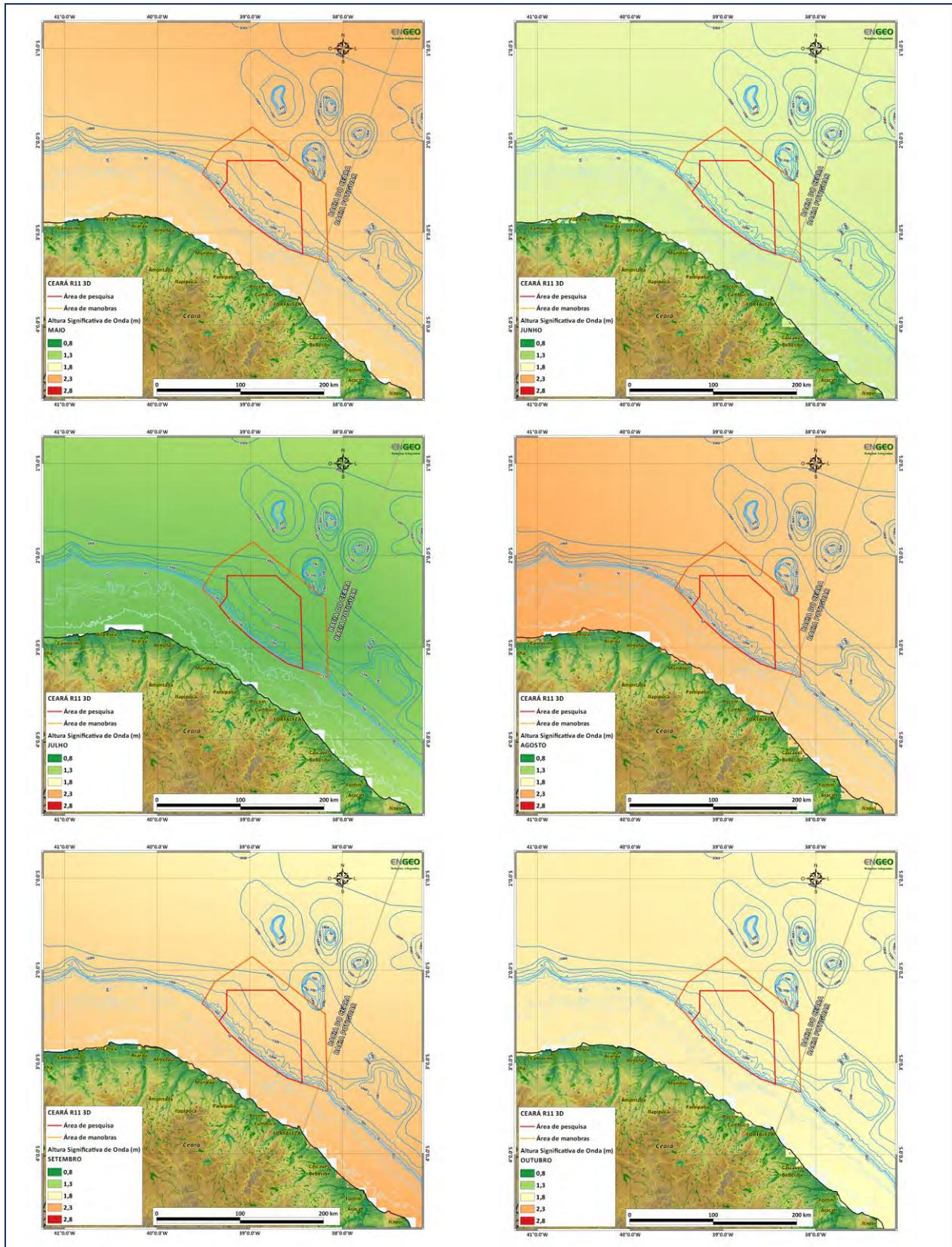


Figura 4.1.2b - Variação da altura média de onda significativa, apresentada mensalmente (MAI-13 a OUT-13), interpolado de dados originados em grade 1x1 graus de coordenada (Modificado de: AVISO, 2013).

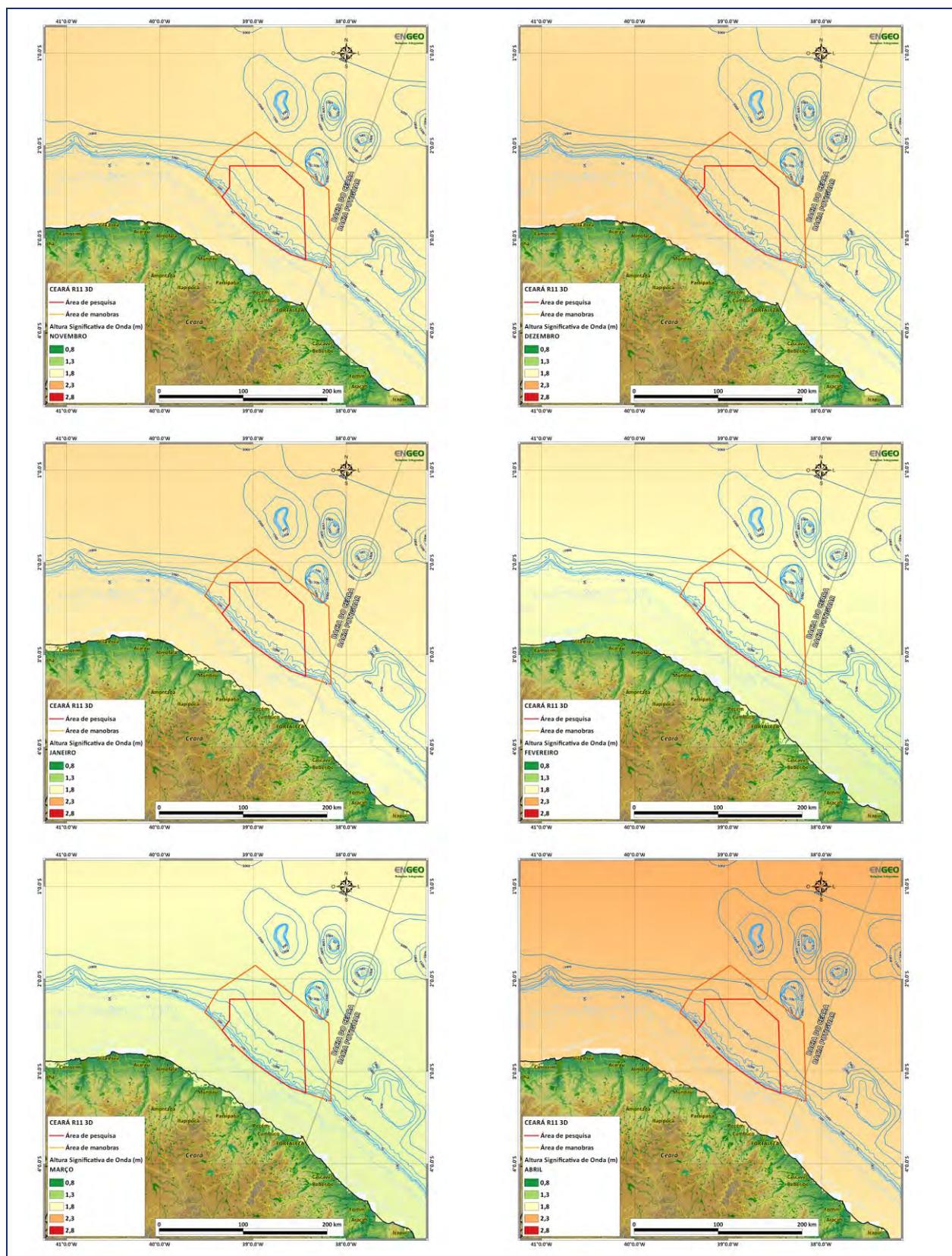


Figura 4.1.2c - Variação da altura média de onda significativa, apresentada mensalmente (NOV-13 a ABR-14), interpolado de dados originados em grade 1x1 graus de coordenada (Modificado de: AVISO, 2013).



4.1.3 Bibliografia

AVISO. **Near-real time significant wave height** "The altimeter products were produced and distributed by Aviso (<http://www.aviso.oceanobs.com/>), as part of the Ssalto ground processing segment". 2014.

BECKER, H. **Hidrologia dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro. Uma contribuição ao programa REVIZEE**. UFSCar. São Carlos. 158p. 2002.

BISCHOF, B., ROWE, E., MARIANO, A. J., RYAN, E. H. "The North Brazil Current." **Ocean Surface Currents**. (2003). <http://oceancurrents.rsmas.miami.edu/atlantic/north-brazil.html>.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; & GONÇALVES, J. H., **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas & SIG**. (eds.) CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 692 p. 2003.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Geologia da Plataforma Continental Jurídica Brasileira e Áreas Oceânicas Adjacentes – Dados organizados em Sistema de Informação Geográfica. 1 DVD. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2009.

FONSECA, J.I. **Plataforma continental brasileira – perspectivas petrolíferas, trabalhos realizados e programados**. Boletim Técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p. 15-20, jan./mar. 1969.

OSCAR. **Ocean Surface Current Analysis Real-time**. <http://www.oscar.noaa.gov/index.html>. 2014

SCHLITZER, R., Electronic Atlas of WOCE (**World Ocean Circulation Experiment**) Hydrographic and Tracer Data Now Available, Eos Trans. AGU, 81(5), 45, 2000.

SCHLITZER, R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2014.

STRAMMA, L. e SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research II**, 46: 279-303p. 1999.

ZEMBRUSKI, S.G., BARRETTO, H. T., PALMA, J. C. & MILLIMAN, J. D. Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira. **Anais XXVI Congresso Brasileiro de Geologia**. Belém. (2): 187-209. 1972.