



Ensaio sobre a caracterização ecossistêmica, circulação das correntes e a exploração de petróleo nos montes submarinos da Cadeia de Fernando de Noronha

grafia: Jaime Spaniol - Unsplas

Sumário

03	Resumo
04	Introdução
10	Visão geral da paisagem submarina de bancos oceânicos mesofóticos da cadeia de Fernando de Noronha
17	Circulação oceânica na cadeia de montes submarinos de Fernando de Noronha
19	Circulação superficial e subsuperficial na região da Bacia Potiguar
25	Conclusões
26	Referências

Realização

Observatório do Clima

Autores

Mauro Maida Moacyr Araujo Beatrice Padovani Ferreira Mirella B. S. F. Costa Julia Araujo

Design Editorial

Thiago Oliveira Basso

Como citar

Ensaio sobre a caracterização ecossistêmica, circulação das correntes e a exploração de petróleo nos montes submarinos da Cadeia de Fernando de Noronha (2021). Observatório do Clima. — 28 páginas. O conteúdo desta publicação pode ser usado por qualquer pessoa, contanto que seja reconhecida a autoria do Observatório do Clima e citado os autores. Isto não representa uma licença para realizar uma releitura ou revenda de qualquer informação apresentada. Na medida permitida pela lei, o Observatório do Clima não aceita ou assume qualquer compromisso, responsabilidade ou dever de arcar com qualquer consequência de qualquer outra pessoa agindo ou se abstendo em função das informações contidas neste relatório ou por qualquer decisão nele baseada.

ISBN 978-65-998407-3-9

1. Ecossitemas

- 2. Fernando de Noronha, Arquipélago (PE)
- 3. Petróleo e gás Brasil

© 2021 Observatório do Clima. Todos os direito reservados.

Resumo

Este ensaio elaborado a partir de um acordo de cooperação técnica entre a Universidade Federal de Pernambuco e o Observatório do Clima, tem por objetivos caracterizar a paisagem submarina do topo de alguns bancos oceânicos localizados na porção leste da Cadeia de Fernando de Noronha onde estão inseridos os blocos na Bacia Potiguar oferecidos a leilão na 17ª rodada da ANP e, através da modelagem da circulação oceânica de macro e meso escalas, interpretar como os regimes das correntes marinhas favorecem a conectividade ecológica entre as principais formações recifais de leste a oeste da Cadeia de Fernando de Noronha. Os dados foram obtidos durante expedições oceanográficas na Cadeia de Fernando de Noronha no âmbito dos seguintes projetos: "Caracterização de Vertebrados nos Bancos Oceânicos da Bacia Potiguar", Cadeia de Noronha, do Programa Potiguar Águas Profundas, Condicionante específica 2.11

- IBAMA, (Spectrum Geo-Interface Oceânica-UFPE-CEPENE-Centro Tamar, 2017 e 2019); Projeto "Recifes Mesofóticos do Arquipélago de Fernando de Noronha (UFPE-Fundação Grupo o Boticário de Proteção à Natureza-IRCOS, 2016-2019); Projeto Acoustic along the BRAzilian COaSt - ABRAÇOS (UFPE-UFRPE-IFREMER, 2015 e 2017) para a modelagem das correntes. Este ensaio mostra a grande similaridade da paisagem marinha entre os recifes mesofóticos de leste a oeste da Cadeia de Fernando de Noronha, indicando que todos os montes oceânicos da cadeia fazem parte de único ecossistema recifal, e que um complexo regime de correntes superficiais (de Leste para Oeste) e subsuperficiais (de Oeste para Leste), garantem a conectividade ecológica desse ecossistema, que possivelmente se estende até os bancos oceânicos da Cadeia Norte Brasileira, formando um super ecossistema recifal, a fronteira norte dos recifes de corais brasileiros.



Introdução

Montes oceânicos são formações geológicas, na maioria dos casos formadas por atividades vulcânicas no assoalho oceânico, normalmente associadas aos limites das placas, zonas de fraturas e "hotspots" vulcânicos, emergindo de profundidades entre um e cinco mil metros e alcancando até poucas dezenas de metros, ou aflorando na superfície marinha, formando ilhas e bancos oceânico (Murray, 1941; Menard, 1964; Wessel, 2007). O fato da origem dos montes oceânicos ser vulcânica, torna disponível uma enorme quantidade de substrato sólido sobre a qual se desenvolve a vida marinha profunda (Fryer, 1992; Schmidt e Schminke, 2000). Toda essa biodiversidade é suprida por ressurgências de águas profundas enriquecidas de nutrientes, promovida pelos padrões de circulação oceânica sobre a distribuição e forma dessas estruturas geomorfológicas (White et al., 2007).

Nos oceanos tropicais, entre as latitudes 30° Norte e 30° Sul, os montes que tiveram seus cumes elevados pelo vulcanismo até a zona fótica (profundidade de penetração de luz na água do mar) ou afloraram como ilhas oceânicas, o conjunto de fatores ambientais como temperaturas de água mais elevadas, águas oceânicas transparente e com grandes quantidade de nutrientes disponibilizados pelos fenômenos de ressurgência de águas profundas, são ideais para a colonização de espécies fotossintetizantes que secretam carbonato de cálcio, como corais e algas calcáreas (Schlager, 2005).

Localizada na Margem Equatorial Brasileira, a Bacia Potiguar apresenta uma porção submersa de 195.974 km², equivalente a aproximadamente 88% da sua área total, e se estende até o limite das águas territoriais brasileiras (PESSOA NETO *et al.*, 2007). Nesta região encontram-se os montes submarinos da Cadeia Norte Brasileira, situada entre 1-4°S e 37-39°O, se estendendo por cerca de 560 quilômetros na direção SE-NW; e os montes submarinos da Cadeia de Fernando de Noronha, situada entre 3-5°S e 32-38°O, se estendendo por 690 quilômetros na direção L-O. Acredita-se que essas cadeias foram originadas através de atividades vulcânicas de hotspots em três zonas de fraturas da Cordilheira Meso-Oceânica Zonas de Fratura São Paulo e Romanche (Cadeia Norte) e Zona de Fratura de Fernando de Noronha-Chain (Almeida, 2006; Araújo, 2018), Figura 1.

O relevo oceânico da Margem Equatorial Brasileira apresenta características geomorfológicas diversas, variando entre platô, montes submarinos, bancos ou guyots, atol e ilha oceânica. Os platôs marginais são feições semelhantes às plataformas continentais, contudo se estendem entre profundidades superiores de 200 m e 2.400 m, assemelhando-se a degraus ou terraços no perfil batimétrico da margem continental. Já os montes submarinos são caracterizados como elevações em formato cônico e laterais escarpadas com um relevo superior a 1.000 m. Os bancos, por sua vez, são semelhantes aos montes, porém apresentam topos mais planares e formato não necessariamente cônico. Os guyots são estruturas de formato cônico e topos planos.

Essa grande diversidade de feições do relevo submarino interage com e a circulação oceânica circundante provocando processos físicos hidrodinâmicos, como a formação de frentes e vórtices, e ressurgência de águas mais profundas, capazes de enriquecer a região com os nutrientes necessários ao longo de todos os níveis tróficos, e consequentemente promover a manutenção da produtividade local (TRAVASSOS et al., 1999; WHITE et al., 2007; MCGILLICUDDY, 2016). Este conjunto de formações geológicas e suas interações com a circulação oceânica, inseridos num ambiente oceânico tropical oligotrófico constitui, portanto, verdadeiros oásis marinhos propícios para abrigar uma alta biodiversidade de espécies (SAMADI et al., 2007).

A Cadeia Norte Brasileira, conhecida como Bancos do Ceará, é formada por 18 principais formações que se elevam do assoalho oceânico a partir de profundidades entre 4700 e 3300 metros, figura 2. Figura 1: Mapa topográfico da Margem Equatorial Brasileira com destaque aos montes oceânicos da Cadeia Norte Brasileira e da Cadeia de Fernando de Noronha, que geologicamente evoluíram a partir de três zonas de fratura, ZF São Paulo, ZF Romanche e ZF Fernando de Noronha (não visível na imagem)



Em azul os limites da Zona Econômica Exclusiva brasileira na região.

Figura 2: Perfil batimétrico das principais elevações da Cadeia Norte Brasileira



Perfil batimétrico segue a linha azul da esquerda para direita. Fonte: Google Earth, GEBCO, 2021.

Comparativam ente com a Cadeia de Fernando de Noronha, o topo dos montes da Cadeia Norte que atingem a zona fótica marinha (bancos Mundaú, do Meio, Leste e Canopus), são mais rasos.

Na Cadeia Fernando de Noronha (CFN), as principais formações, além do arquipélago Fernando de Noronha, englobam também o Atol das Rocas, o banco Guará, o banco Sirius (ou Caiçara), o banco Touros, o guyot Maracatu (ou banco Grande), o guyot Baião (ou banco Pequeno) (BRASIL, 2017; REZENDE et al. 2020), e ainda os guyots Sudeste e Nordeste do Atol das Rocas. Segundo Coutinho (1996), estas formações rochosas irregulares estão dispostas paralelamente à plataforma continental e se estendem por 1.300 km. A Cadeia abrange 14 formações geológicas, 11 delas com altura acima de 3000 metros, sendo o Arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas as únicas feições com alcance acima do atual nível do mar (TEIXEIRA et al., 2003), figura 3. O Platô do Ceará, o mais ocidental e possivelmente o mais antigo, tem sido também associado ao alinhamento vulcânico Atol das Rocas-Fernando de Noronha-Mecejana (Gorini e Bryan, 1976; Almeida, 2006; Araújo, 2018).

De todos os bancos identificados na figura 3, somente o Platô do Ceará, o Banco Guará e o Banco Touros não alcançaram a zona fótica tendo seus topos abaixo dos 150 metros de profundidade. O monte oceânico do Arquipélago de Fernando de Noronha e do Atol das Rocas se elevam acima do nível do mar, enquanto que os Bancos Sirius, Maracatú, Baião, Sudeste e Nordeste de Rocas apresentam seus topos com profundidade aproximada de 50 metros, figura 4.

A Cadeia de Fernando de Noronha é de extrema importância ecológica para os ecossistemas marinhos tropicais brasileiros por servir como habitats de berçário, abrigo, alimentação e reprodução de centenas de espécies de peixes e invertebrados residentes e de peixes de passagem, bem como de várias espécies da megafauna como tartarugas marinhas, cetáceos, tubarões, golfinhos e inúmeras espécies de aves marinhas (CDB-ONU, 2015). Um enorme número de animais marinhos ameaçados de extinção, ocupam essa região em alguma fase dos seus ciclos de vida.

Esse ecossistema é também de extrema importância para a sustentabilidade socioeconômica da pesca artesanal do nordeste, o ecossistema recifal mais ao norte da Zona Econômica Exclusiva brasileira.

O Arquipélago Fernando de Noronha e o Atol das Rocas, único atol do Atlântico Sul, são considerados ambientes de grande riqueza natural (hotspots) devido à sua alta biodiversidade e quantidade de espécies endêmicas, ou seja, espécies restritas à região (ROCHA, 2003). Apontados ainda como Áreas Importantes de Aves (*Important Bird Areas*) pela organização BirdLife International. Ambos estão no corredor de migração de aves mais importante do Atlântico.

A similaridade entre a fauna de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas é atribuída à presença dos montes submarinos e bancos adjacentes, que servem como trajetórias para a distribuição das espécies na região, "stepping stones" (SAMPAIO et al., 2004). O complexo regime de correntes moldadas pela circulação oceânica de grande e média escala em interação com o relevo submarino, facilitam e garantem a conectividade ecológica entre os bancos, montes oceânicos, o Atol e ilhas da Cadeia de Fernando de Noronha e Cadeia Norte, promovendo a distribuição das espécies entre esses ambientes com a plataforma continental do nordeste brasileiro (LESSA et al., 2009).

Devido a beleza cênica da paisagem e a grande importância ecológica desses ecossistemas recifais, o Atol das Rocas se tornou em 1979, a primeira Unidade de Conservação marinha do Brasil, estabelecido como uma Reserva Biológica, seguida pelo Parque Nacional Marinho dos Abrolhos em 1983 e o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha em 1988 (ICMBIO, 2016). No ano seguinte, em 1989, todas as áreas do Arquipélago de Fernando de Noronha e seu entorno foram decretadas como Área de Proteção Ambiental (REIS & HAYWARD, 2013).

Figura 3: Principais montes oceânicos da Cadeia de Fernando de Noronha



Figura 2: Perfil batimé Figura 4: Perfil batimétrico das principais elevações da Cadeia de Fernando de Noronha. Perfil batimétrico segue a linha azul da esquerda para direita. Ftrico das principais elevações da Cadeia Norte Brasileira



Fonte: Google Earth, GEBCO, 2021.

Figura 5: Limites da área designada pela Convenção da Diversidade Biológica - ONU como "Área Marinha de Relevante Interesse Ecológico e Biológico- EBSA" na região dos montes oceânicos da Cadeia Norte e da Cadeia de Fernando de Noronha



A área que inclui a Cadeias Norte Brasileira e a Cadeia de Fernando de Noronha foram identificadas e delimitadas como uma "Área Marinha Ecológica ou Biologicamente Significante" (*Ecologically or Biologically Significant Marine Areas - EBSAs*) (COP 11, 2012; SCBD, 2014 CBD-UM, 2015), figura 5. As EBSAs são áreas oceânicas de alta relevância para o funcionamento saudável dos ecossistemas marinhos, destacando e evidenciando locais necessitados de proteção para incentivar políticas públicas de países e organizações internacionais e regionais no combate a ameaças como a sobrepesca e impactos da extração mineral (SCBD, 2014).

Em outro reconhecimento internacional da importância ecossistêmica, o Arquipélago de Fernando de Noronha e o Atol das Rocas (Figura 6) foram reconhecidos em 2001 como Patrimônio Natural Mundial pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultural (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO*) (UNESCO WHC, 2017).





Figura 6: Áreas decretadas Patrimônio Natural Mundial pela UNESCO e partes da Área Marinha Ecológica e Biologicamente Significante (EBSA) da Cadeia de Fernando de Noronha. O Atol das Rocas (esquerda) e o Arquipélago Fernando de Noronha (direita). Fontes: Ministério do Meio Ambiente (esquerda) e Fernanda Frazão (direita). A beleza cênica, a importância ecológica e a presença de terra firme nessa região oceânica, tornou o Atol das Rocas e o Arquipélago de Fernando de Noronha um dos ecossistemas tropicais marinhos mais estudados do Brasil. nos mais variados campos das ciências oceanográficas, conhecimento este que conferiu o nível de proteção nacional e o reconhecimento internacional. A facilidade para serem conduzidas pesquisas in situ através de técnicas de mergulho autônomo no Atol das Rocas e em Fernando de Noronha, bem como a intensa atividade de mergulho recreativo no Arquipélago ajudaram a trazer para o conhecimento público, através de fotografias e vídeos submarinos, a paisagem submarina dessas duas unidades de conservação.

Em contraste, pouco se conhece sobre a paisagem submarina dos outros bancos oceânicos que compõem o grande sistema recifal mesofótico (abaixo de 50 metros de profundidade) da Cadeia de Fernando de Noronha. A maioria dos estudos foram conduzidos durante esporádicas expedições oceanográficas que visavam caracterizar o ambiente e sua flora e fauna através de técnicas de dragagem e pesca, inferindo indiretamente sobre a paisagem marinha desses ecossistêmas (Ref. REVIZEE).

Desde 2012, o departamento de Oceanografia da UFPE e o CEPENE vem desenvolvendo um sistema de aquisição de vídeo remoto ao vivo (Sassanga) que permite o levantamento em grande escala da paisagem submarina através de imagens de alta resolução georreferenciadas, e com baixo custo operacional. Esse sistema tem sido usado para o mapeamento da plataforma continental do litoral sul de Pernambuco e norte de Alagoas (Projeto PELD-TAMS), bem como o mapeamento da plataforma insular do Arquipélago de Fernando de Noronha (Projeto UFPE-CEPENE-Boticário-Ircos).

Entre 2017 e 2019 foram realizadas duas expedições que permitiram a realização de um levantamento em grande escala da zona fótica de três bancos da Cadeia de Noronha: Sirius, Maracatú e Baião, para atender uma condicionante determinada pelo IBAMA no processo de licenciamento de atividades de prospecção sísmica nos blocos de petróleo da Bacia Potiguar leiloados na 15ª rodada em 2015, (Caracterização dos Vertebrados nos Bancos Oceânicos da Bacia Potiguar", Cadeia de Noronha, do Programa Potiguar Águas Profundas (Fase II, LPS 113/2016 - Condicionante específica 2.11 - IBAMA) (Spectrum Geo-Interface Oceânica-UFPE-Centro Tamar).

O levantamento se deu através de transectos de vídeos submarinos realizados sobre os bancos até uma profundidade de 130 metros. A aquisição de dezenas de horas de vídeo submarino ao longo de dezenas de quilômetros sobre o fundo desses bancos, permitiu pela primeira vez conhecermos em detalhes, e ao vivo a paisagem submarina do sistema recifal mesofótico de alguns bancos submersos da Cadeia de Fernando de Noronha (em preparação). A descrição a seguir foi baseada nas imagens coletadas ao longo de 8 dias de expedição.



Visão geral da paisagem submarina de bancos oceânicos mesofóticos da cadeia de Fernando de Noronha

Ao longo de milhares de anos a constante acreção de carbonato de cálcio depositados por organismos fotossintetizantes formou, no topo dos bancos mesofóticos visitados. extensos sistemas recifais constituídos por corais, algas calcáreas, e bancos de rodolitos. As sucessivas camadas de rocha carbonática biogênica (recifes) recobrem completamente o topo da rocha vulcânica original dos bancos Sirius, Maracatú e Baião. Apesar da escassez de amostras geológicas sobre os bancos submersos, estimasse que ao longo da Cadeia de Fernando de Noronha, o Arquipélago é o único monte que ainda tem as rochas vulcânicas originárias expostas, pois é o segundo monte mais novo, cuja atividade vulcânica se extinguiu a cerca de 1,8 milhões de anos (Cordiani, 1970, in Almeida, 2006), figura 7.

Os montes cujo topo, devido ao seu relevo, ocorrem em ambientes de alta energia com fluxos de correntes intensos, como o caso do Banco Sirius, o sedimento carbonático produzido pelos processos erosivos é carreado pelas correntes em direção a borda de sotavento (back reef). A baixa taxa de sedimentação, a exposição do substrato consolidado e a intensidade luminosa no topo desse tipo de monte favorece a colonização de animais como corais, esponjas e algas calcáreas que necessitam substrato consolidado para a fixação, e que são os principais responsáveis pela construção de extensas estruturas recifais, figura 8. O crescimento contínuo dos sistema recifais aumenta a tridimensionalidade da área, a disponibilidade de habitats e consequentemente a diversidade da flora e fauna, como observado no Banco Sirius, figura 9.





Figura 7: Matacões e blocos de rochas vulcânicas originárias expostas no "mar de dentro" do Arquipélago de Fernando de Noronha. a) Enseada do Portão, 26 metros, tubarão-cabeça-de-cesto Carcharhinus perezi; b) Cacimba do Padre, 15 metros, pirambú ou sargo-de-beiço *Anisotremus surinamensis* e sargentinho *Abudefduf saxatilis*, (Expedição UFPE-Boticário 2016)



Figura 8: Formação recifal no topo do Banco Sirius (54 metros), formando o cume do banco. O Sirius é o único banco visitado da Cadeia de Fernando de Noronha que apresenta substrato consolidado em seu cume. A baixa taxa de sedimentação permite que quase toda a superfície seja colonizada por organismos recifais. Destaque para a assembleia de tubarões-lixa (*Ginglymostoma cirratum*), espécie recifal classificada como vulnerável pela IUCN (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019).





Figura 9. Recifes mesofóticos do cume do Banco Sirius concentram uma grande diversidade de espécies. a) colônias do coral verdadeiro *Montastrea cavernosa* (54 metros); b) diversidade de esponjas da Classe Demospongiae, com destaque para o peixe dentão Lutjanus jocu (56 metros). (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019)

Já os montes com relevo negativo em seu topo são sujeitos à um grande acúmulo de sedimento carbonático, produzidos pela erosão dos flancos carbonáticos no barlavento dos bancos e transportados para o topo pelas correntes, como observado no topo dos bancos Maracatu e Baião, figura 10. Dependendo da topografia do topo e do regime de correntes, a camada acumulada de sedimentos pode chegar a ter centenas de metros de espessura (Wessel, 2007; Araújo, 2018).



Figura 10: a) Topo do banco Baião coberto por sedimento carbonático fino, 52 metros; b) Abundante fauna de pequenos peixes das famílias Labridae e Gobiidae, e jardim de enguias (*Heteroconger camelopardalis*) no topo sedimentar do Banco Maracatu, 56 metros. (Expedição UFPE- Spectrum Geo, 2017).

Apesar desse acúmulo de sedimento tornar a paisagem submarina aparentemente monótona, esses habitats abrigam uma grande variedade e abundância de vida, que incluem invertebrados e peixes especializados que usam a camada sedimentar como abrigo (infauna), Figura 10b. Essa abundante comunidade que ocupa os topos sedimentares atrai várias espécies de predadores de passagem também especializados, como por exemplo espécies de elasmobrânquios (raias e tubarões martelo), figura 11.







Figura 11: As raias são os principais predadores desses habitats sedimentares a) Mar de dentro de Fernando de Noronha – 51 metros, (Expedição UFPE-Boticário, 2016); b) Topo do Banco Maracatú - 56 metros, (Expedição UFPE- SpectrumGeo, 2017).

Nos bancos com o topo acumulado de sedimentos, como o Banco Maracatú e o Baião na Cadeia de Fernando de Noronha, os substratos consolidados (formações recifais) são mais frequentes em suas bordas, figura 12.





Figura 12: a) Escarpas de rocha carbonática construídas pelo coral *Montastrea cavernosa* e algas calcáreas na borda norte do Banco Maracatú, 75 metros; b) Grande colônia de *Montastrea cavernosa*, principal coral construtor dos recifes mesofóticos da Cadeia de Fernando de Noronha, borda da margem norte do Banco Maracatú, 82 metros, (Expediçãp UFPE- Spectrum Geo, 2019).

Mesmo em bancos com topos com predominância sedimentar, o crescimento concêntrico de algas coralinas crostosas independentes, conhecidas como rodolitos (Coralina Phycidae), criam pequenos substratos consolidados que eventualmente se aglomeram e formam bancos de rodolitos, e permitem a colonização de animais sésseis como esponjas e outros invertebrados (figura 13), podendo formar extensos bancos consolidados como os observados no Arquipélago de Fernando de Noronha (Amado-Filho 2012 (Zaira), Mendonça, 2017 (dissertação), e no Banco Sirius, figura 14.





Figura 13: A mistura de sedimentos carbonáticos e rodolitos fornecem substrato suficientemente consolidados para a fixação de organismos sésseis como esponjas. a): Borda sudoeste do Banco Maracatú, 65 metros, detalhe para o tubarão-lixa *Gynglymostoma cirratum*, (Expedição SpectrumGeo 2017); b): Borda noroeste do Banco Maracatú, 68 metros (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019)







Figura 14: Substrato sedimentar consolidado por acúmulo de rodolitos. a) Mar de dentro de Fernando de Noronha, 50 metros, com destaque para a espécie *Sphyrna sp.*, ameaçada de extinção segundo a IUCN. (Expedição Reef Check, UFPE-MMA-IRCOS, 2013); b): Extenso banco de rodolitos no Banco Sirius, 80 metros, destaque para o tubarão-tigre *Galeocerdo cuvier* também ameaçado de extinção. (Expedição Spectrum 2017).

Um dos habitats mais importantes da estrutura dos bancos oceânicos devido a tridimensionalidade e complexidade são as margens ou bordas, áreas definidas entre o limite externo do topo e o talude íngreme da encosta dos montes oceânicos. As margens de barlavento que recebem a ação frontal das correntes predominantes, são normalmente arredondadas apresentando escarpas erodidas (figura 15). O intenso processo erosivo e de transporte de sedimentos (Bosence e Wilson (2003b), tornam esses habitats altamente abrasivos e inóspitos para a plena colonização da maioria da fauna bentônica (figura 16a). No entanto um pouco acima do flanco frontal, onde a abrasão é amenizada, inicia-se a colonização do substrato principalmente por assembleias de esponjas de pequeno porte (figura 16b).





Figura 15: Perfil frontal do Banco Baião com forma arredondada e escarpas erodidas, (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019).





Figura 16: Flanco frontal do Banco Baião. a): Área frontal de intensa abrasão e pouca colonização bêntica, 90 metros; b): Zona de início de colonização bêntica no flanco frontal, 70 metros. (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019)

Do lado oposto do banco, na borda de sotavento, devido ao acúmulo de sedimentos trazido do topo dos bancos pelas correntes, a declividade é suave até a sua borda, que é interrompida por uma quebra abrupta no talude posterior do banco (Bosence e Wilson,2003; Araújo, 2018). Esse ambiente sedimentar favorece o intenso crescimento de extensos bancos de rodolitos. Como mencionado anteriormente, mesmo sendo um substrato de origem sedimentar, a grande produção de rodolitos nessa porção do banco, auxilia na compactação do substrato e o torna disponível para a colonização de organismos sésseis como corais, esponjas, algas e da respectiva fauna recifal e pelágica associadas, formando paisagens marinhas diversificadas, que incluem: assembléias de organismos construtores de recifes (figura 17) assembleias de algas e esponjas (figura 18), assembleias de algas e hidróides (figura 19), assembleias de algas e corais moles (figura 20).





Figura 17: Campo sedimentar consolidado e colonizado por corais, algas calcárias e organismos associados aos recifes de coral. Destaque para o coral *Montastrea cavernosa*, principal construtor dos recifes mesofóticos brasileiros. Banco Baião, 56 metros, (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019).



Figura 19: Campo de algas, rodolitos e hidroides no Banco Maracatú, 60 metros, (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019).





Figura 18: Declividade de sotavento do Banco Sirius: a) assembléia de algas e esponjas; b) assembléia de rodolitos e esponjas. Destaque para as esponjas parabólicas, *Demospongiae*, que crescem com seu lado côncavo de frente à direção da corrente Leste-Oeste. (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019).





Figura 20: Banco de algas, rodolitos e corais moles alcionáceos, *Neopongodes sp.*, Banco Maracatú, 58 metros, (Expedição UFPE-SpectrumGeo 2019).

No início do talude da borda de sotavento dos bancos, a formação de escarpas construídas pelo coral Montastrea cavernosa e algas calcáreas são características dos montes oceânicos da Cadeia de Fernando de Noronha. Essas escarpas formam cavernas no talude superior e se tornam habitat para uma inúmera variedade de peixes incluindo peixes de grande porte, figura 21.







Figura 21: Escarpas carbonáticas são estruturas características do talude superior a sotavento dos montes oceânicos visitados da cadeia de Fernando de Noronha. Banco Maracatú, a) 75 metros; b) 100 metros, destaque para o peixe sirigado *Mycteroperca sp.*

A grande quantidade de nutrientes na porção sotavento dos bancos, e possíveis fenômenos de retenção da água sobre os bancos, favorece a estruturação energética para todos os níveis tróficos da cadeia alimentar, tornando essa zona a mais diversa e produtiva de um banco oceânico onde encontra-se a maior agregação de invertebrados (figura 22) e peixes (figura 23), e consequentemente a mais explorada pelas atividades pesqueiras.







Figura 22: Diversidade de invertebrados na porção sotavento dos bancos, a) recife do cume do Banco Sirius, 57 metros e b) 54 metros; c) Lagosta e esponja, Banco Sirius 63 metros (2017); d) esponja e campo de enguias, Banco Baião, 55 metros.

Em uma visão geral, os recifes mesofóticos mapeados nos Bancos Sirius, Maracatu e Baião, se assemelham aos recifes mesofóticos descritos para o Atol das Rocas e o Arquipélago de Fernando de Noronha. Isso indica que esse conjunto de montes submarinos da zona fótica da Cadeia de Fernando de Noronha são ecologicamente conectados pelo regime de grande e média escala das correntes oceânicas e fazem parte do mesmo ecossistema recifal, como será discutido a seguir.









Figura 23: A porção de sotavendo dos bancos apresentam a maiores agregações de peixes. a) aracimbora, Banco Sirius, 56 metros; b) raias no Banco Maracatú, 65 metros; c) agregação de Paranthias furcifer na borda posterior sul do Banco Maracatú, 100 metros; d) agregação de barracudas (Sphyraena barracuda) na borda sul do Banco Maracatú, 120 metros; e) agregação de xarêu negro (Caranx nigrens) na borda posterior norte do Banco Maracatú; f) agregação de garoupa mármore na borda posterior do Banco Baião, 82 metros (2017).

Circulação oceânica na cadeia de montes submarinos de Fernando de Noronha

A circulação nos oceanos é de extrema importância para a vida no planeta. Os principais movimentos das correntes superficiais se dão através da ação dos ventos na superfície do oceano, enquanto que as correntes intermediárias e profundas sofrem maior influência das diferenças de densidades entre as águas. Este conjunto de correntes formam a chamada Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico (*Atlantic Meridional Overturning Circulation – AMOC*) (Figura 24). Outros fatores, como a rotação da Terra, as linhas das costas, o relevo do fundo oceânico e as marés, também influenciam nestes movimentos, estes últimos em escala mais regional.



Figura 24: Desenho esquemático da circulação das correntes forçadas pela ação do vento (linhas amarelas) e circulação das correntes forçadas pelas diferenças de densidade (linhas vermelhas e azuis) no oceano Atlântico. As linhas vermelhas indicam a porção mais superficial e as linhas azuis indicam a porção mais profunda da circulação termohalina. Fonte: Julia Araujo (2021).

A circulação regulada pela ação dos ventos e influenciada pela rotação da Terra cria giros circulares assimétricos em cada hemisfério (Figura 24, em amarelo), nos quais as correntes de borda oeste são mais intensas do que as de borda leste dos oceanos. Já a circulação forçada pelas diferenças de densidades das águas (Figura 24, em vermelho e azul), também conhecida como circulação termohalina, age na regulação do clima em escalas globais e regionais transportando águas mais quentes do hemisfério sul para o hemisfério norte. Através das correntes, torna-se possível o transporte de nutrientes e oxigênio, indispensáveis para os seres vivos presentes no oceano, e o transporte da própria vida marinha como rota de migração de diversas espécies por todo o planeta.

Próximo à plataforma continental do Nordeste brasileiro, o sistema de correntes da borda oeste do Atlântico tropical tem como principais componentes a Corrente Norte do Brasil (CNB) e Subcorrente Norte do Brasil (SNB) na porção superior do oceano (superficial e subsuperficial). Nesta região, observa-se igualmente um largo fluxo superficial vindo de leste denominado de ramo central da Corrente Sul Equatorial (cCSE), um fluxo subsuperficial meandrante para leste como a Subcorrente Sul Equatorial (SSE), e a Subcorrente Equatorial (SE) também para leste em subsuperfície mais ao norte próximo ao equador. A Figura 25 demonstra um desenho esquemático das principais correntes que compõem a circulação geral da porção superior do oceano na Bacia Potiguar e áreas adjacentes.



Figura 25: Circulação superficial e subsuperficial de grande escala da região próxima à Bacia Potiguar. SE – Subcorrente Equatorial; CCSE – Ramo Central da Corrente Subequatorial; CNB - Corrente Norte do Brasil; SSE – Subcorrente Sul Equatorial; SNB – Subcorrente Norte do Brasil Fonte: Julia Araujo (2021).

Considerada uma das correntes de contorno de borda oeste mais fortes dos oceanos. o sistema SNB-CNB é a principal rota para transferência interhemisférica de massa, calor, nutrientes e oxigênio, sendo portanto, de fundamental importância para o balanço de temperatura do planeta e para a compreensão dos processos climáticos globais e regionais (LUMPKIN; SPEER, 2007; CUNNINGHAM et al., 2007; ZHANG et al., 2015). As correntes zonais próximas ao equador - dentre elas a Corrente Sul Equatorial Central (cCSE), a SSE e a SE - são também de grande importância como parte da circulação responsável pela ventilação e transporte de águas ricas em nutrientes e oxigênio da borda oeste para o interior do oceano e as áreas de ressurgência na borda leste do Atlântico (BRANDT et al., 2010; GOES et al., 2013; DUTEIL et al., 2014).

Montes submarinos podem influenciar a circulação oceânica local, amplificando e retificando fluxos, incluindo as correntes de maré, particularmente perto dos cumes dos montes submarinos, aumentando a mistura vertical, e criando células de retenção conhecidas como colunas de Taylor ou cones sobre alguns montes submarinos. Essas células de retenção, permitem que os nutrientes trazidos pelas ressurgências e o e o plâncton permaneçam sobre os bancos, e proporcionem alimento

Citiz in

para a diversa fauna de organismos filtradores que habitam o topo dos montes, como os cnidários, corais verdadeiros (*Hexacorallia*), corais negros (*Antipatharia*), gorgônias e corais moles (*Octocorallia*), bem como dezenas de espécies de esponjas (Rogers *et al.* 2007).

A existência de fenômenos de retenção e recirculação da coluna d'água sobre o topo dos montes dependem de muitos fatores, incluindo o tamanho (altura e diâmetro) do monte submarino em relação à profundidade da água, o relevo do topo, a latitude em que ocorrem e o caráter do fluxo ao redor do monte submarino (White *et al.*, 2007).

Para a análise e descrição das correntes superficiais e subsuperficiais e a influência do relevo dos montes oceânicos da região da Bacia Potiguar, foram utilizados resultados do modelo numérico GLORYS12V1 (*Copernicus Marine Environment Monitoring Service - CMEMS*) (LELLOUCHE *et al.*, 2018). Esta reanálise foi previamente validada para a área de interesse e possui resolução espacial horizontal de 1/12° e vertical de 50 níveis, e resolução temporal com frequência diária cobrindo 26 anos (1993-2018). Desta forma, as médias dos padrões de circulação aqui apresentadas foram calculadas para toda a série temporal, sendo assim representativas da circulação na região da Bacia Potiguar.

Circulação superficial e subsuperficial na região da Bacia Potiguar

A Corrente Sul Equatorial (cCSE) é uma larga corrente que atravessa o Atlântico em superfície de leste para oeste, com extensão meridional de 20°S a 4°N, sendo, portanto, dividida em três ramos diferentes: o ramo sul (sCSE). de 20°S a 8°S; o ramo central (cCSE), centrada em 4°S; e o ramo norte (nCSE), localizado no hemisfério norte próximo a 2°N (MOLINARI, 1982; LUMPKIN; GARZOLI, 2005). A sCSE chega à costa brasileira à aproximadamente 12-14°S e bifurca resultando na Corrente do Brasil (CB) para sul e a Subcorrente Norte do Brasil (SNB) para norte (SILVEIRA et al., 1994). Originada da subsidência de águas oriundas do segmento norte da bifurcação, a SNB chega a transportar um volume de 40 x 106 m³ s⁻¹ (40 Sv; 1 Sv = 1 x 106 m³ s⁻¹) ao longo da costa do Nordeste do Brasil em profundidade próxima de 200m (SCHOTT et al., 2005; RODRIGUES et al., 2007; HUMMELS et al., 2015). Próximo ao Cabo do Calcanhar - Rio Grande do Norte (RN), com a chegada da Corrente Sul Equatorial Central (cCSE), o sistema de correntes apresenta um perfil de dois núcleos, em que parte das águas subsuperficiais da Subcorrente Norte do Brasil (SNB) tende a se fundir e formar a Corrente Norte do Brasil (CNB) superficialmente para noroeste e parte da Subcorrente Norte do Brasil (SNB) muda de direção, retrofletindo e alimentando a Subcorrente Sul Equatorial (SSE) para leste (SILVEIRA et al., 1994; SCHOTT et al., 1998). A CNB flui próxima à plataforma continental, predominantemente na direção noroeste, com velocidades variando entre 0,5 m s⁻¹ e 1,0 m s⁻¹ (RICHARDSON *et al.*, 1994; SCHOTT et al., 1998). O transporte médio anual da Corrente Norte do Brasil (CNB) é de aproximadamente 26 Sv, variando entre 13 Sv em abril e maio, e 35 Sv em julho e agosto (JOHNS et al., 1998).

Os resultados expostos no mapa da circulação média na profundidade de 40m mostram a região da Bacia Potiguar dominada pelo jato forte do sistema de correntes de contorno de borda oeste da Subcorrente Norte do Brasil (SNB) e Corrente Norte do Brasil (CNB), Figura 26. A Corrente Sul Equatorial Central (cCSE) se apresenta como um escoamento largo vindo de leste e alimentando a Corrente Norte do Brasil (CNB) de forma a intensificá-la, principalmente, em sua porção a oeste de 38°W.



Figura 26: Mapa de velocidade média das correntes superficiais a 40m de profundidade com destaque para as formações geológicas mais importantes da região em laranja e para as setas esquemáticas amarelas indicando o padrão geral de trajetória das correntes. Fonte: Julia Araujo (2021).

Em todas as profundidades analisadas, é possível observar a retroflexão, ou seja, a mudanca de direção da Subcorrente Norte do Brasil (SNB) alimentando a Subcorrente Sul Equatorial (SSE) e fluindo para leste sobre a região da Bacia Potiguara, aproximadamente, 4,5°S e 34,5°W. O mapa da circulação média na profundidade de 220m, correspondente à profundidade do núcleo da Subcorrente Sul Equatorial (SSE), apresenta maior intensidade da corrente com velocidade média próxima de 0,3 m s⁻¹. Na profundidade de 500m, o fluxo interage mais evidentemente com o relevo oceânico, ressaltando uma segunda retroflexão fluída entre os guyots Touros e Maracatu. Mais ao norte, uma terceira retroflexão é igualmente observada para as três profundidades próximo a 2°S e 38°W, transportando águas ricas em nutrientes e oxigênio do Atlântico Sul mais uma vez para sudeste na direção das feições geológicas da Bacia Potiguar e em seguida para leste na direção do Atol das Rocas e do Arquipélago Fernando de Noronha.

É importante ressaltar que, além da retroflexão da Subcorrente Norte do Brasil (SNB) e formação da Subcorrente Sul Equatorial (SSE) a 4,5°S e 34,5°W, outras retroflexões ocorrem ao longo da Corrente Norte do Brasil (CNB) mais a norte da região da Bacia Potiguar que interagem com o relevo dos montes oceânicos da Cadeia Norte Brasileira. Em superfície e subsuperfície, há uma conexão entre a Corrente Norte do Brasil (CNB) e a Sudeste próximo a 2°N e 46°W e, ainda mais para norte da região, há uma retroflexão com variação sazonal em superfície a 7°N e 52°W que alimenta a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE) igualmente para leste (SCHOTT, 1998; FRATANTONI; GLICKSON, 2002; JOCHUM; MALANOTTE-RIZZOLI, 2003).

A partir das análises da Figura 6 fica nítida a existência de um transporte subsuperficial (em diferentes profundidades) para leste, conectando a Bacia Potiguar aos bancos e ilhas da Cadeia Norte Brasileira e da Cadeia Fernando de Noronha. De fato. diversos cruzeiros oceanográficos têm colecionado medições de correntes que atestam a presença de um fluxo importante para leste da Subcorrente Sul Equatorial (SSE) atingindo o Atol das Rocas e o Arquipélago de Fernando de Noronha. A Figura 28 traz, por exemplo, o resultado das medições realizadas durante as duas campanhas oceanográficas Acoustic along the BRAzilian COaSt - ABRACOS, realizadas nos anos de 2015 e 2017 (ABRACOS 1, 30 Set-08 Out. 2015 e ABRACOS 2, 26 Abr.-03 Maio 2017) (Silva et al., 2021).



Figura 27: Mapa de velocidade e direção das correntes subsuperficiais a 220m, 500m e a 1.000m de profundidade com destaque para as formações geológicas mais importantes da região em laranja e para as setas esquemáticas amarelas indicando o padrão geral de trajetória das correntes. Fonte: Julia Araujo (2021).



Figure 28: Painel da esquerda: Mapa batimétrico indicando as os transectos de medição de correntes (ADCP) ao redor do Atol das Rocas e do Arquipélago de Fernando de Noronha durante as campanhas ABRAÇOS 1 2015 (A) e ABRACOS 2 2017 (B). Os pontos cor de rosa indicam a localização das estações de perfilagem de CTDO. Destaque para o transecto da (linha azul). Painel da direita: Correntes/velocidade médias zonas obtidas nos transectos Ta durante as campanhas ABRAÇOS 1 2015 (A) e ABRACOS 2 2017 (B). Velocidades para leste positivas e velocidades para oeste negativas. cSEC - central branch of the South Equatorial Current, SEUC – South Equatorial Undercurrent. Fonte: Silva *et al.* (2021).

Os resultados apresentados na Figura 28 indicam a presença de um transporte para oeste pela cSEC nos primeiros 100m superficiais. Entretanto, estas medições atestam, igualmente de forma clara, a presença da Subcorrente Sul Equatorial (SSE) (*South Equatorial Undercurrent – SEUC*) entre 100-500m de profundidade em Fernando de Noronha, com um núcleo que pode atingir velocidades de até 0.7 m s-1, transportando assim grandes volumes de água para leste, sobretudo durante os meses de Setembro e Outubro (ABRACOS 1).

Estruturas de mesoescala na Bacia Potiguar

Para além da circulação média, os resultados analisados indicam também a presença de estruturas de mesoescala (vórtices e meandros) na região da Bacia Potiguar. Os vórtices são correntes circulares, de tamanho relativamente pequeno no oceano, com capacidade de girar no sentido horário, chamados de ciclônicos no hemisfério sul, ou no sentido anti-horário, chamados de anticiclônicos no hemisfério sul. Estas estruturas de mesoescala possuem dimensões horizontais na ordem de 100 km e são de extrema importância tanto para os processos físicos como para os biológicos. Os vórtices são capazes de gerar fluxos de nutrientes para a superfície, contribuindo para 20-50% da produção primária do planeta (FALKOWSKI et al., 1991). Esta produtividade biológica abundante torna as estruturas de mesoescala habitats bastante favoráveis para organismos marinhos desde os baixos aos altos níveis tróficos (GODØ et al., 2012; SÁNCHEZ-VELASCO et al, 2013). Além de alta produção primária, estes ambientes estão associados à abundância, crescimento e assentamento de larvas de peixe, à migração de peixes e ao recrutamento de peixes juvenis (LUO, et al, 2015; SHULZITSKI et al., 2016). Do ponto de vista dos processos físicos envolvidos, os vórtices são capazes de aprisionar águas em seus núcleos e transportá-las ao se deslocarem espacialmente, sendo assim responsáveis pelo transporte de massa oceânica no planeta comparável com os transportes da circulação global induzida pela ação do vento e da termohalina (FLIERL, 1981; ZHANG; WANG; QIU, 2014). Além do transporte de massa, estas estruturas de mesoescala carregam calor, carbono dissolvido,

oxigênio e nutrientes. Quando formados próximo à costa, formam frentes e possibilitam o transporte de águas costeiras mais produtivas para o interior do oceano oligotrófico. Através de interações com o vento, os vórtices também são capazes de transportar verticalmente águas profundas mais ricas em nutrientes para regiões mais rasas próximas à superfície e biologicamente disponíveis para produção primária (MCGILLICUDDY, 2016).

A região da Bacia Potiguar e áreas adjacentes é bastante rica em estruturas de mesoescala. Devido ao cisalhamento, ou seja, o atrito entre o ramo central da Corrente Sul Equatorial (cSE) e a Subcorrente Equatorial (SE), feições vorticais e meandrantes são formados e propagados para oeste no Atlântico tropical (SCHUCKMANN et al., 2008). Sobre a Bacia Potiguar, especificamente, observa-se a presença de uma estrutura de mesoescala próximo à costa: o Vórtice Potiguar (VP). O VP é um vórtice anticiclônico (gira no sentido anti-horário) elíptico subsuperficial com dimensões de 130km e 330km, que se estende entre as profundidades de 100m e 400m. A estrutura atinge velocidades de 0,6 m s-1 e é capaz de recircular cerca de 2 Sv de águas da SNB, possuindo característica estacionária. Em outras palavras, a assinatura do vórtice é visível durante todo o ano (KRELLING et al., 2020). No mapa da circulação média na região mais próxima à costa sobre a Bacia Potiguar, ilustrado na Figura 29, é possível observar a presença da estrutura de mesoescala anticiclônica identificada como o VP.



Figura 29: Mapa de velocidade das correntes subsuperficiais a 220 m de profundidade com destaque para as formações geológicas mais importantes da região em laranja e para as setas esquemáticas amarelas indicando o padrão geral de trajetória das correntes e o vórtice Potiguar. Fonte: Julia Araujo (2021).

Em resumo, o complexo regime de correntes descrito acima dá condições para que exista a conectividade ecológica entre os montes oceânicos ao longo de toda a extensão da Cadeia de Fernando de Noronha, através do transporte passivo do plâncton, larvas e propágulos, e facilitando a migração de espécies nadadoras. Essa conexão acontece com o transporte das águas superficiais com direção de leste para oeste através da Corrente Sul Equatorial e, subsuperficialmente, através do transporte de águas em diferentes profundidades de oeste para leste, com a ação da Subcorrente Sul Equatorial (SSE).

Sobreposição de blocos de petróleo sobre os montes oceânicos da Cadeia de Fernando de Noronha

A figura 30 abaixo mostra que a ANP resolveu disponibilizar para leilão na 17ª rodada, além de blocos para a exploração de petróleo na Bacia Sedimentar Potiguar, oferece também cinco blocos para a exploração sobre os bancos submarinos da Cadeia de Fernando de Noronha, a saber: bancos Guará, Sirius e Touros.

Com o leilão dos blocos denominados 768 e 770 serão dadas concessões para a exploração em cerca de 50% da área da base e cerca de 65% da área do topo raso do banco Sirius, além dos topos rasos dos bancos Guará e Touros, blocos 768 2 776 respectivamente (figura 30).

O Banco Sirius, é o maior banco mesofótico, e o que tem em seu topo o maior e mais espetacular recife mesofótico do nordeste do Brasil, figuras 32 e 33. Localizado no extremo oeste da Cadeia de Fernando de Noronha, na região cuja circulação oceânica cria o Vórtice Potiguar (figura 29), é também o banco mais importante para a manutenção da conectividade entre os ecossistemas oceânicos e costeiros do Nordeste. Figura 30: Imagem mostrando a localização de blocos de exploração de petróleo na Bacia Potiguar e sobre os montes oceânicos da Cadeia de Fernando de Noronha



Blocos leiloados na 15^a rodada ANP (em vermelho); blocos oferecidos na 17^a rodada ANP (em amarelo); limite da Área de Significante Interesse Ecológico e Biológico, CDB-ONU (em branco). Fonte Google Earth, ANP e EBSA/CDB/ONU.

Figura 31: Blocos de exploração para a exploração de petróleo da 17ª rodada ANP, sobre os montes oceânicos da Cadeia de Fernando de Noronha



O gráfico em rosa representa o perfil batimétrico dos 3 bancos, traçado na linha branca do lado norte dos blocos. Note no perfil que a porção rasa dos 3 bancos estariam sujeitas a exploração de petróleo.

Figura 32: Sobreposição dos blocos de exploração de petróleo sobre os bancos Guará, Sirius e Touro



A forma escura no bloco 770 são os locais onde foram realizados os levantamentos por transects de vídeo no banco Sirius, e que revelou o maior e mais espetacular recife mesofótico da Cadeia de Fernando de Noronha. Metade da área desse está dentro do bloco 770.





Figura 33: Paisagem marinha do recife mesofótico do topo do banco Sirius



Conclusões

É de conhecimento comum que as atividades rotineiras de exploração de óleo e gás podem causar impactos ambientais durante cada uma das fases de exploração, produção, transporte e descomissionamento das plataformas. Cordes et al. 2016 apresentaram uma extensa revisão sumarizada abaixo sobre os impactos, as mitigações e a recuperação de áreas impactadas pela exploração de petróleo em águas profundas. Na fase de exploração os principais impactos são aqueles relacionados à prospecção sísmica, ao processo de instalação da plataforma no fundo do mar e, durante a perfuração, os impactos principais estão relacionados à dispersão de contaminantes oriundos de fluidos de perfuração. Durante a fase de produção, os derrames de petróleo causados pela liberação acidental ou explosão do poço, e durante o transporte, têm sido responsáveis pelos grandes impactos ambientais registrados na história da exploração do petróleo.

Modelagens de risco sugerem, por exemplo, que eventos das dimensões do incidente Deepwater Horizon, podem ocorrer em intervalos entre 8 e 91 anos, com uma média aproximada de uma vez a cada 17 anos. Embora todos esses exemplos representam descargas acidentais, a frequência com que ocorrem em águas offshore sugere que podem ser esperadas durante a operações típicas de uma plataforma (Cordes *et al.* 2016). Da mesma forma que o regime de correntes descrito acima, promove a conectividade ecológica entre os montes oceânicos da Cadeia de Fernando de Noronha, pode também promover uma rápida dispersão de um hipotético derramamento de óleo ao longo de toda Cadeia de Fernando de Noronha, Cadeia Norte e do extremo norte do Brasil

O fato é que riscos existem e deveriam ser evitados em uma região marinha reconhecida internacionalmente como "Patrimônio da Humanidade" e uma "Área de Significante Importância Ecológica e Biológica", e de extrema importância socioeconômica para o nordeste brasileiro, como é o sistema recifal da Cadeia de Montes Oceânicos de Fernando de Noronha, a fronteira norte dos recifes de corais brasileiros.

Recomendações

- Sugerir que a Agência Nacional do Petróleo retire os blocos da Bacia Potiguar.
- Iniciar o processo de sensibilização para a criação de uma Área de Proteção Ambiental nos montes oceânicos da Cadeia Norte da Cadeia de Fernando de Noronha (EBSA).



Referências

- ALMEIDA, F.F.M., Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. Terrae Didat. 2, 3–18, 2006.
- ARAÚJO, I. R. F.. Platô do Ceará: Uma Plataforma Carbonática Isolada e Afogada aa Margem Equatorial Brasileira. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica – UFRN, 117 p., 2018.
- BAPTISTA NETO, J. A.; PONZI, V. R. A.; SICHET, S. E. Introdução à geologia marinha. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda, 2004.
- BRANDT, P. et al. Changes in the ventilation of the Oxygen Minimum Zone of the tropical north Atlantic. Journal of Physical Oceanography, 40(8),1784–1801. doi:10.1175/2010jpo4301.1, 2010.
- BRASIL. Executive Summary. Continental Shelf and UNCLOS Article 76. Brazilian Partial Revised Submission to the Commission on the Limits of the Continental Shelf. Brazilian Equatorial Margin. Brasília-DF, p. 20, 2017.
- CDB. Ecologically or Biologically Significant Areas (EBSAs) : Banks Chain of Northern Brazil and Fernando de Noronha. Convention on Biological Diversity 2015.https://chm.cbd.int/database/ record?documentID=200103
- COP 11. Decisions, Fourteenth meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity Sharm El-Sheikh, Egypt 17-29 November 2012.
- CORRÊA, I. C. S. Sedimentologia do Ambiente Marinho, e-Book. Porto Alegre: CECO/PGGM/IGEO/UFRGS. Edição do autor, 2021.
- COUTINHO, P. N. C. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil: Oceanografia Geológica. Programa REVIZEE. p. 97, 1996.
- CUNNINGHAM, S. A. *et al.* Temporal variability of the Atlantic Meridional Overturning Circulation at 26,5°N. Science, v. 317, p. 936-938, 2007.
- DUTEIL, O. et al. Major role of the equatorial current system in setting oxygen levels in the eastern tropical Atlantic Ocean: A high@resolution model study, Geophysical Research Letters, v. 41, p. 2033–2040, doi:10.1002/ 2013GL058888, 2014.
- FALKOWSKI, P. G. *et al.* Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. Nature 352, 55–58, 1991.

- FLIERL, G. R. Particle motions in largeamplitude wave fields. Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics v. 18, p. 39–74, 1981.
- FRATANTONI, D. M.; GLICKSON, D. A. North Brazil Current ring generation and evolution observed with SeaWiFS. Journal of Physical Oceanography, v. 32, p. 1058-1074, 2002.
- FRYER, P. Mud volcanoes of the Marianas. Scientific American, 266, p. 46–52, 1992.
- GODØ, O. R. *et al.* Mesoscale eddies are oases for higher trophic marine life. PLoS ONE, 7, e30161, https://doi. org/10.1371/journal.pone.0030161, 2012.
- GOES, M. et al. Variability of the Atlantic off-equatorial eastward currents during 1993-2010 using a synthetic method. Journal of Geophysical Research: Oceans, 118(6), 3026–3045. doi:10.1002/jgrc.20186, 2013.
- HUMMELS, R. *et al.* Interannual to decadal changes in the Western Boundary Circulation in the Atlantic at 11°S. Geophysical Research Letters, v. 42, n. 18, p. 7615-7622, 2015.
- JOCHUM, M.; MALANOTTE-RIZZOLI, P. On the generation of North Brazil Current rings. Journal of Marine Research, v. 61(2), p. 147-173, 2003.
- JOHNS, W. E. *et al.* Annual cycle and variability of the North Brazil Current. Journal of Physical Oceanography, v. 28, p. 103-128, 1998.
- KRELLING, A. P. M. et al. A newly observed quasi⊠stationary subsurface anticyclone of the North Brazil undercurrent at 4°S: The Potiguar Eddy. Journal of Geophysical Research: Oceans, 125, e2020JC016268. https:// doi.org/10.1029/2020JC016268, 2020.
- LELLOUCHE, J. M. The Copernicus Marine Environment Monitoring Service global ocean 1/12° physical reanalysis GLORYS12V1: description and quality assessment, p. 19806, 2018.
- LESSA, R. P. et al. Oceanografia biológica: Composição, distribuição e abundância do ictioneuston na ZEE da Região Nordeste do Brasil. (Fabio Hazin, Ed). Programa REVIZEE, vol. 2, p. 166-194, 2009.
- LUMPKIN, R.; GARZOLI, S. L. Near-surface circulation in the Tropical Atlantic Ocean. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, v. 52, n. 3, p. 495–518, 2005.
- LUMPKIN, R.; SPEER, K. Global Ocean Meridional Overturning. Journal of Physical Oceanography, v. 37, p. 2550-2562, 2007.

- LUO, J. *et al.* Ocean heat content reveals secrets of fish migrations. PLoS ONE, v. 10, e0141101, https://doi. org/10.1371/journal.pone.0141101, 2015.
- MCGILLICUDDY, D. J. Mechanisms of physical-biological-biogeochemical interaction at the oceanic mesoscale. Annu. Rev. Mar. Sci. 8, p. 125–159, 2016.
- MOLINARI, R. L. Observations of eastward currents in the tropical South Atlantic Ocean: 1978-1980. Journal of Geophysical Research, v. 87, p. 9707–9714, 1982.
- PESSOA NETO, O. C. *et al.* Bacia Potiguar. Boletim de Geociências da Petrobrás 15, 357–369, 2007.
- REIS, A.; HAYWARD P. Pronounced particularity: a comparison of governance structures on Lord Howe Island and Fernando de Noronha. Island Studies Journal, vol. 8, n. 2, p. 285-298, 2013.
- ROCHA, L. A. Patterns of distribution and processes of speciation in Brazilian reeffishes. Journal of Biogeography, 30(8), p. 1161-1171, http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2699.2003.00900, 2003.
- RODRIGUES, R. R. et al. Seasonal variability of the South Equatorial Current bifurcation in the Atlantic Ocean: a numerical study. Journal of Physical Oceanography, v. 37, p. 16-37, 2007.
- SAMADI, S.; SCHLACHER, T.; FORGES, B.R. Seamount Benthos. In Pitcher T. J., Morato T., Hart P. J.B., Clark M. R., Haggan N., Santos R. S. 2007. Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation. Blackwell Publishing. p. 119-140, 2007.
- SAMPAIO, C. L. S.; NUNES, J. A. C. C.; MENDES, L. F. Acyrtus pauciradiatus, a new species of clingfish (Teleostei: Gobiesocidae) from Fernando de Noronha Archipelago, Pernambuco state, Northeastern Brazil. Neotrop. Ichthyol. 2, p. 205-208, 2004.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSAs): Special places in the world's oceans, vol. 2: Wider Caribbean and Western Mid-Atlantic Region, p. 86, 2014.
- REZENDE, S. M.; MAIDA, M.; FERREIRA, B. P.; MESSIAS, I. T.; BELLINI, C.. Caracterização dos vertebrados marinhos dos bancos oceânicos da Bacia Potiguar – RN. In Barbosa, A. F.; Owens, A. L.: IBAMA e Indústria de Pesquisa Sísmica: em busca do conhecimento e sustentabilidade através do licenciamento ambiental. p. 160-174, web livro. 2020.

- RICHARDSON, P. L. *et al*. North Brazil Current retroflection eddies. Journal of Geophysical Research, v. 99, p. 5081-5093, 1994.
- SÁNCHEZ-VELASCO, L. et al. Threedimensional distribution of fish larvae in a cyclonic eddy in the Gulf of California during the summer. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, v. 75, p. 39–51, https://doi.org/10.1016/j.dsr.2013.01.009, 2013.
- SCHMIDT, R.; SCHMINKE, H. U. Seamounts and island building. In: Encyclopedia of Volcanoes, p. 383-402. Academic Press, San Diego, CA. ISBN-13: 978-1-4051-3343-2, 2000.
- SCHOTT, F. A. et al. Transports and pathways of the upper-layer circulation in the western tropical Atlantic. Journal of Physical Oceanography, v. 28, p. 1904-1928, 1998.
- SCHOTT, F. et al. The shallow and deep western boundary circulation of the South Atlantic at 5°S-11°S. Journal of Physical Oceanography, 35, n. 11, p. 2031-2053, 2005.
- SCHUCKMANN, K.; BRANDT, P.; EDEN, C. Generation of tropical instability waves in the Atlantic Ocean, J. Geophys. Res., v. 113, C08034, doi:10.1029/ 2007JC004712, 2008.
- SHULZITSKI, K. et al. Encounter with mesoscale eddies enhances survival to settlement in larval coral reef fishes. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 113, p. 6928–6933, https://doi.org/10.1073/ pnas.1601606113, 2016.
- SILVA, A. C.; CHAIGNEAU, A.; DOSSA, A.; ELDIN, G.; ARAUJO, M.; BETRAND, A. G Surface circulation and vertical structure of upper ocean variability around Fernando de Noronha archipelago and Rocas atoll during spring 2015 and fall 2017, Frontiers in Marine Science, doi: 10.3389/ fmars.2021.598101, 2021.
- SILVEIRA, I. C. A. et al. On the origins of the North Brazil Current. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 99, n. C11, p. 22501-22512, 1994.

- Schlager, W.. Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy. Vol. 8, SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology. 200 p. 2005.
- TEIXEIRA W. *et al*. Arquipélago Fernando de Noronha: o paraíso do vulcão. São Paulo: Terra Virgem Ed., p. 1-167, 2003.
- TRAVASSOS, P. *et al.* Thermohaline structure around seamounts and islands of Northeast Brazil. Archive of Fishery and Marine Research, v 47, n 2/3, p. 211-222, 1999.
- UNESCO WHC (Centro do Patrimônio Mundial da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura) Brazilian Atlantic Islands: Fernando de Noronha and Atol das Rocas Reserves, 2018. Disponível em: http://whc.unesco.org/en/list/1000. Acesso em: 09 abril 2021.
- WESSEL, P. Introduction and Characterization of Seamounts. In Pitcher T. J., Morato T., Hart P. J.B., Clark M. R., Haggan N., Santos R. S. 2007. Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation. Blackwell Publishing. p. 3-25, 2007.
- WHITE M. et al. Part II Biophysical coupling on seamounts: Physical processes and seamount productivity.
 In Pitcher T. J., Morato T., Hart P. J.B., Clark M. R., Haggan N., Santos R. S. 2007. Seamounts: Ecology, Fisheries & Conservation. Blackwell Publishing. p. 63-65, p. 556, 2007.
- ZHANG, D. et al. Multidecadal variability of the North Brazil Current and its connection to the Atlantic Meridional Overturning Circulation. Journal of Geophysical Research, v. 116, 2015.
- ZHANG, Z.; WANG, W.; QIU, B. Oceanic mass transport by mesoscale eddies. Science, v. 345(6194), p. 322–324. doi:10.1126/science.1252418, 2014.

Observatório do Clima

www.oc.eco.br www.climaeoceano.oc.eco.br youtube.com/observatoriodoclima 🕞

- twitter.com/obsclima 🕑
- facebook.com/observatorioclima 👔
- instagram.com/observatoriodoclima 🞯



