

BIOTURBAÇÃO NOS SEDIMENTOS CARBONÁTICOS DO ATOL DAS ROCAS (ATLÂNTICO SUL EQUATORIAL)

Bioturbation in carbonate sediments from the Rocas Atoll
(Equatorial South Atlantic)

Marcelo de Oliveira Soares¹, Valesca Brasil Lemos²

RESUMO

Os sedimentos carbonáticos das ilhas oceânicas são frequentemente caracterizados pelo grande número de estruturas de bioturbação produzidas pelas espécies marinhas e terrestres que modificam sua geomorfologia, mas existem poucos estudos relativos às ilhas do Atlântico Sudoeste Equatorial. Dentro desse contexto, analisaram-se as estruturas de bioturbação presentes nos principais sistemas de deposição sedimentar no Atol das Rocas: ilhas arenosas, laguna e no depósito arenoso intermaré. Os resultados demonstram uma série de bioturbações originadas pela ação de táxons terrestres, semi-terrestres e marinhos. Aves, tartarugas e crustáceos são os principais táxons nas ilhas arenosas nas zonas de supralitoral e mesolitoral, enquanto os organismos da infauna (nematódeos, poliquetas, oligoquetas e crustáceos) e da ictiofauna são os responsáveis pela intensa bioturbação nas piscinas, laguna e no depósito arenoso intermaré. A granulometria dos sedimentos variou de areia muito fina a cascalhos, sendo a areia fina e a grossa as mais comuns nas estruturas em zonas emersas. A ilha de areia carbonática biogênica com maior extensão de área, maior diversidade biológica e menores taxas de erosão, apresentou a maior quantidade de bioturbações. As estruturas de bioturbação são fundamentais para a compreensão da geologia sedimentar e evolução do único atol do Atlântico Sul Equatorial.

Palavras-chaves: sedimentos bioclásticos, ilhas, geobiologia, estruturas de bioturbação, Atol das Rocas.

ABSTRACT

The carbonate sediments of oceanic islands are often characterized by the great number of bioturbation structures produced by species that modify their geomorphology, but there few studies related to islands of the Tropical Southwest Atlantic. The structures present in the main sedimentary deposition systems in Rocas Atoll were observed: sand cays, lagoon and in the intertidal sand flat. The results show a series of bioturbations originated by the action of land, semi-land and sea taxons. Birds, turtles and crustaceans are the main bioturbators in the sand cays (islands) in the supralitoral and mesolitoral zones, while infauna organisms (nematodes, polychaetes, oligochaetes and crustaceans) and ichthyofauna is the main responsible for the intensive bioturbation in the pools, lagoon and intertidal sand flat. The grain size of the sediments varied from very fine sand to pebbles, fine and coarse sand being the most common in structures in emersed zones. The island of biogenic carbonate sand, with greater area extension, high biological diversity and lower erosion rates, had the greatest quantity of bioturbations. The bioturbation structures are fundamental for understanding the sedimentary geology and evolution of the only atoll in the Equatorial South Atlantic.

Keywords: bioclastic sediments, islands, geobiology, bioturbation structures, Rocas Atoll.

¹ Professor Adjunto, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. E-mail: marcelosoares@ufc.br

² Professora Associada, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: valesca.lemos@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

O estudo das estruturas biogênicas pode fornecer importantes dados para a caracterização de sedimentos, do fluxo de partículas e dos ambientes deposicionais. Muitos sedimentos incluem um *biomanto* que representa uma camada superficial composta não só por organismos que recobrem e/ou modificam o solo através de efeitos bioquímicos, mas por táxons vegetais e animais que misturam o sedimento no fenômeno da bioturbação (Friedrichs *et al.*, 2009).

Os sedimentos inconsolidados são uma expressão dos impactos cumulativos da biosfera nos processos de superfície. A interação entre geologia, clima, biota, topografia e tempo confere características únicas nos sedimentos e em seus respectivos ambientes deposicionais. Pesquisas dos efeitos biológicos nos sedimentos foram tradicionalmente concentradas nos aspectos bioquímicos, ecológicos e edáficos, entretanto a compreensão dos efeitos da bioturbação tem despertado um grande interesse ultimamente (Phillips, 2009; Robert & Juniper, 2012). Este efeito de perturbação do sedimento pela presença de indivíduos, conhecida como bioturbação, representa, talvez, a menor escala em que uma perturbação física pode operar (Hall, 1994).

Os estudos envolvendo perturbações biológicas no sedimento, como a bioturbação, resultante de atividades da fauna como alimentação e locomoção, tornaram-se mais intensos atualmente, inserindo-se comparações com parâmetros sedimentares e comunidades associadas a ambientes terrestres e aquáticos (Aller *et al.*, 1983; Aller & Yingst, 1985; Posey, 1987; Findlay *et al.*, 1990; Pope *et al.*, 1996; Stoeck & Krönche, 2001; Kinoshita *et al.*, 2003; Friedrichs *et al.*, 2009; Araújo *et al.*, 2012).

A maioria dos estudos de bioturbação é focada em ambientes recentes, onde o retrabalhamento de sedimentos pode ser observado e medido. Tais estudos “atualísticos” têm se mostrado úteis para interpretação de ambientes deposicionais antigos e das suas estruturas sedimentares biogênicas como os icnofósseis na Paleoceanografia (Myrick & Flessa, 1996). Nos processos de fossilização o retrabalhamento e a bioturbação são agentes efetivos na mistura de elementos esqueléticos não contemporâneos (mistura temporal), podendo produzir tendências tafonômicas nos padrões de diversidade e variação morfológica (Holz & Simões, 2002). A bioturbação é um dos principais processos ecossistêmicos nos ambientes marinhos, devido à modificação dos gradientes geoquímicos e à redistribuição dos recursos alimentares (Kristersen *et al.*, 2012).

Apesar da importância dos estudos de bioturbação nos estudos sedimentológicos, geológicos e oceanográficos não existem trabalhos abordando o assunto no Atol das Rocas (NE, Brasil). Esta ilha oceânica apresenta grande relevância científica devido à riqueza da biodiversidade insular, a formação das ilhas por areias bioclásticas carbonáticas e o fato das atividades humanas permitidas serem restritas apenas a pesquisas científicas. Assim, este artigo pretende identificar as estruturas de bioturbação nos ambientes do único Atol do Atlântico Sul Equatorial, através de uma abordagem interdisciplinar.

MATERIAIS E MÉTODOS

A região Equatorial do Oceano Atlântico compreende a plataforma continental e planície abissal do Norte do Ceará ao Sul de Pernambuco. Nesta área localiza-se a Cadeia Norte do Brasil e a Cadeia de Fernando de Noronha, da qual também faz parte o Atol das Rocas. Único atol do Atlântico Sul Equatorial e primeira Reserva Biológica Marinha do Brasil, Rocas (3°05' S; 33°40' W) está situado a 267 km a E-NE da cidade de Natal, e 148 km a W do Arquipélago de Fernando de Noronha (Kikuchi, 1994; Soares *et al.* 2011) (Figura 1).

O Atol tem origem vulcânica e uma estrutura carbonática recifal, possuindo uma estrutura ligeiramente elipsoidal, quase circular em seu eixo maior (E-W) com 3,7 km e o menor eixo (N-S) com aproximadamente 2,5 km. Dentro do anel recifal, existem duas ilhas: Ilha do Farol e Ilha do Cemitério, ambas compreendendo 7,2 km² de área emersa (Gherardi & Bosence, 2005). No platô recifal também ocorrem importantes zonas de deposição de sedimentos como a Laguna e o Depósito Arenoso Intermaré (Figura 2).

A direção do movimento da água no depósito arenoso do Atol das Rocas, durante todos os períodos de maré, é originada no platô recifal a barlavento em direção ao canal recifal a NW e a laguna. Entretanto as correntes de maré, que são os agentes mais efetivos do transporte de sedimento no depósito arenoso (Gherardi & Bosence, 1999), causam um fluxo constante de sedimento do platô a barlavento para o canal a sotavento.

A análise das estruturas de bioturbação foi realizada em trabalho de campo na REBIO (Reserva Biológica) Atol das Rocas mediante licença de pesquisa concedida pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO) tendo em vista que o manejo da reserva só permite atividades científicas. Os trabalhos foram feitos durante os

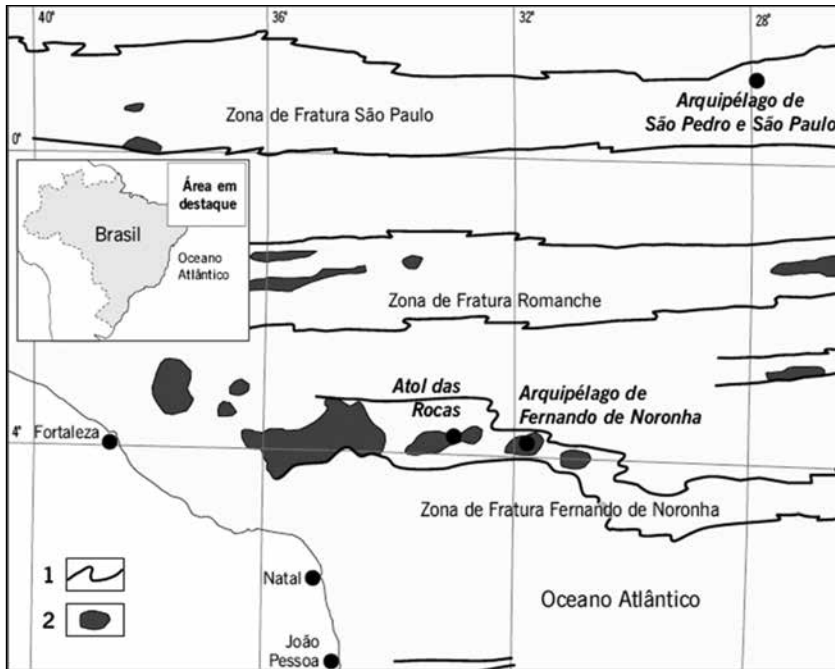


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo (modificado de Almeida, 2006).

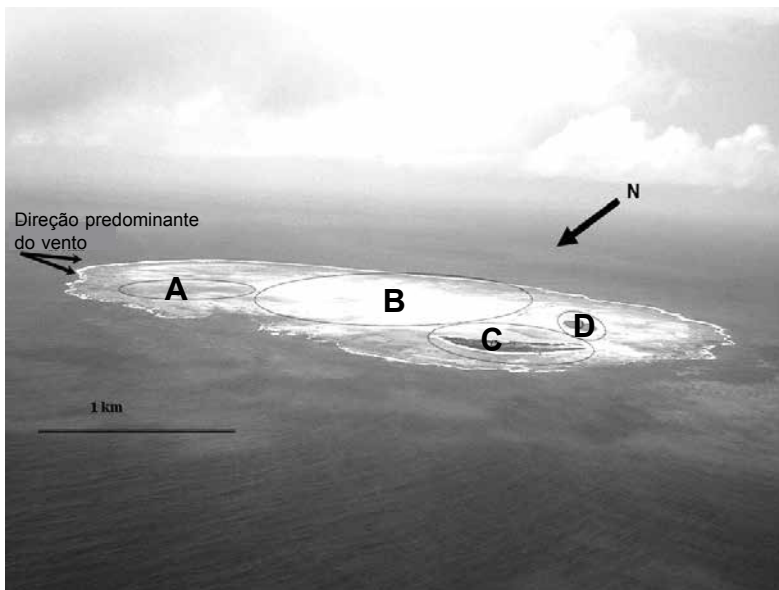


Figura 2 - Imagem aérea do Atol das Rocas mostrando importantes zonas de deposição de sedimentos carbonáticos biogênicos que comumente apresentam estruturas de bioturbação: (A) Laguna; (B) Depósito arenoso intermaré; (C) Ilha do Farol e (D) Ilha do Cemitério. Foto obtida a partir de trabalhos de campo com auxílio da FAB (Força Aérea Brasileira) em situação de maré baixa de sizígia.

meses de janeiro e fevereiro de 2008 através de coletas em períodos de maré baixa e com uso de mergulhos livre e autônomo utilizando equipamento SCUBA. Os compartimentos geomorfológicos analisados foram as ilhas arenosas (Farol e Cemitério), Laguna e o Depósito arenoso intermarés, mapeados na Figura 2.

principais responsáveis pela geração dessas estruturas sedimentares biogênicas em ambientes emersos, entremarés e submersos (Tabela I). Tais estruturas foram encontradas na laguna, depósito arenoso intermarés e nas ilhas arenosas (Farol e Cemitério) que são os principais ambientes de deposição de sedimentos carbonáticos bioclásticos (Figura 3).

Durante as coletas de sedimento pode-se observar a presença de organismos que foram conservados em álcool 70%, para posterior análise no Laboratório de Invertebrados Marinhos da Universidade Federal do Ceará. As espécies da infauna bentônica bioturbadora foram analisadas sob microscopia estereoscópica para identificação ao menor nível taxonômico possível.

Os sedimentos com presença de estruturas de bioturbação nas zonas emersas foram coletados para análise granulométrica e postos em um becker de 50 ml, para serem secados em estufa a 80°C durante 48 horas. Posteriormente foram pesados para processar a separação de suas frações através de seis peneiras colocadas no rotap, processando-se a vibração durante 10 minutos. A quantidade em cada peneira foi pesada separadamente a fim de estimar a percentagem de cada um dos componentes granulométricos, sendo esta etapa realizada no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará.

O teste do χ^2 foi realizado ao nível de significância (α) de 5% para verificar se havia diferença significativa no número de estruturas de bioturbação entre os compartimentos geomorfológicos mapeados. O software utilizado para tais análises foi o PAST (*Paleontological Data Analysis*) versão 1.89.

RESULTADOS

Foram encontradas estruturas de bioturbação relacionadas a pelo menos 13 espécies no Atol das Rocas (Atlântico Sul Equatorial). Táxons como vertebrados, artrópodes, nematódeos e poliquetas são os

Tabela I - Táxons produtores de estruturas de bioturbação nos sedimentos do Atol das Rocas, Oceano Atlântico Sul Equatorial. A letra "X" indica a presença da estrutura de bioturbação no compartimento geomorfológico indicado na coluna.

Táxon	Ilha do Farol	Ilha do Cemitério	Laguna	Depósito arenoso
<i>Chelonia midas</i>	X			X
<i>Gecarcinus lagostoma</i>	X	X		
<i>Anous stolidus</i>	X	X		X
<i>Sula</i> sp.	X	X		
<i>Syllis</i> sp.			X	X
<i>Sphaeromopsis</i> sp.				X
<i>Metoncholaimus</i> sp.				X
<i>Mesacanthion</i> sp.				X
Nematoda spp.			X	
Oligochaeta spp.				X
Crustacea sp.1	X			
Crustacea sp.2	X			
Crustacea sp.3	X	X		
<i>Malacanthus plumieri</i>			X	
<i>Goniopsis cruentata</i>	X			

Na ilha do Farol foram encontradas estruturas de bioturbação de escavações (Figura 4: A-D) em areias bioclásticas produzidas por tartarugas e caranguejos, feições sedimentares biogênicas que in-

fluenciam nos processos erosivos da ilha, pois tais organismos retiram sedimentos compactados da zona de supralitoral e os disponibilizam para erosão eólica. Nesta mesma ilha, foram encontradas rugosidades salientes produzidas nos sedimentos por ação de organismos da infauna (Figura 4: B-C) pertencentes a crustáceos talassinídeos que vivem nas porções emersas deste recife oceânico.

Estruturas de movimentação de organismos nas porções emersas são agentes intensos de processos de bioturbação. Feições sedimentares biogênicas de locomoção de *Chelonya midas*, aves e de artrópodes conferem depressões a superfície dos sedimentos carbonáticos na ilha do Farol (Figs. 5A e 5B) e Cemitério (Fig. 5C e 6D).

No ambiente marinho submerso do Atol das Rocas a NE podem-se observar estruturas de bioturbação referentes a escavações de peixes teleósteos nos sedimentos de fundo da laguna (Figura 6-A). A laguna e o depósito arenoso intermarés compartilham uma infauna de poliquetas e nematódeos que são intensos agentes de retrabalhamento do sedi-

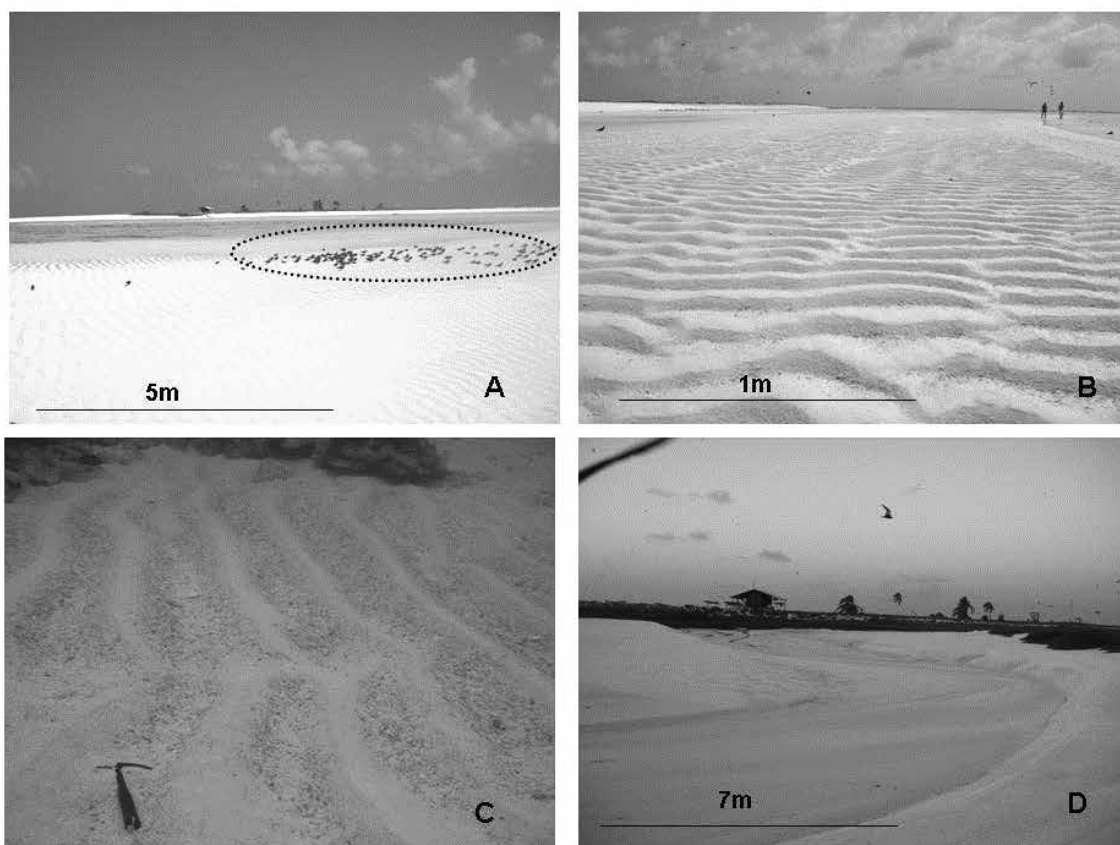


Figura 3 - Ambientes sedimentares carbonáticos que sofrem intensa bioturbação no Atol das Rocas: (A) Sedimento da zona de mesolitoral da Ilha do Cemitério que apresenta ripples formadas por fluxo oscilatório e intensa bioturbação por aves que revolvem o sedimento (marcadas com elipse); (B) Depósito arenoso intermarés mostrando estruturas sedimentares de marcas de onda com cristas descontínuas; (C) Fundo da Laguna em profundidade de 5m que sofre freqüente ressuspensão de sedimentos bioclásticos; (D) Canal de maré na Ilha do Farol.

mento. Nos períodos de maré baixa no depósito arenoso pode-se observar a geração de feições sedimentares bioturbadas pela ação destes Anelídeos (Figura 6-B) com formação de glóbulos de areia carbonática biogênica. Estruturas biogênicas marinhas são todos os tipos de elementos de rugosidade saliente ou depressões nos sedimentos produzidos por organismos bentônicos, sendo uma característica comum nas águas rasas deste recife, sobretudo nas lagunas e piscinas deste recife oceânico. A interação dessas estru-

turas com o fluxo de corrente próxima ao fundo da laguna ou em períodos de maré alta no depósito arenoso podem resultar em aprisionamento ou ressuspensão das partículas na laguna e no depósito arenoso intermarés do Atol. Tais processos sedimentares não dependem apenas do comportamento dos organismos bentônicos, do tamanho ou forma e da densidade populacional destas estruturas de bioturbação, mas também das condições de velocidade de fluxo e das características sedimentares das partículas na área.

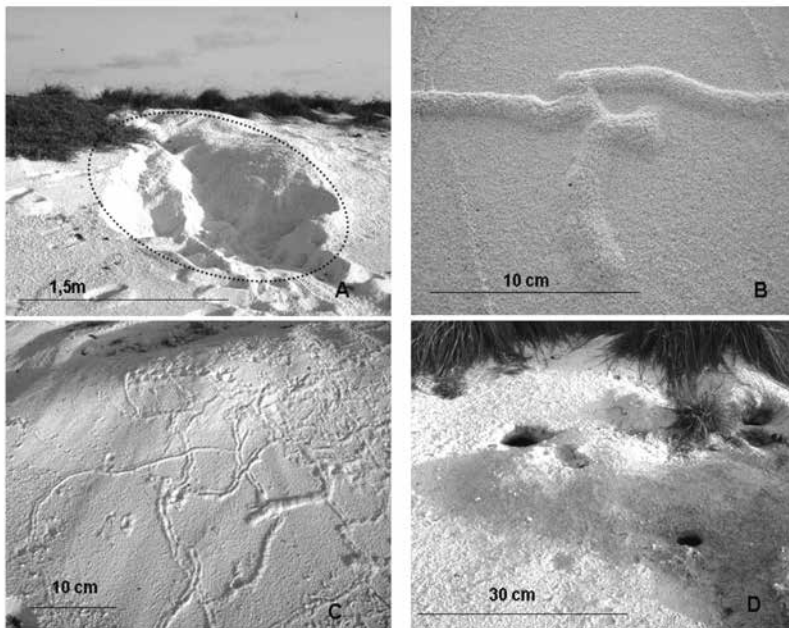
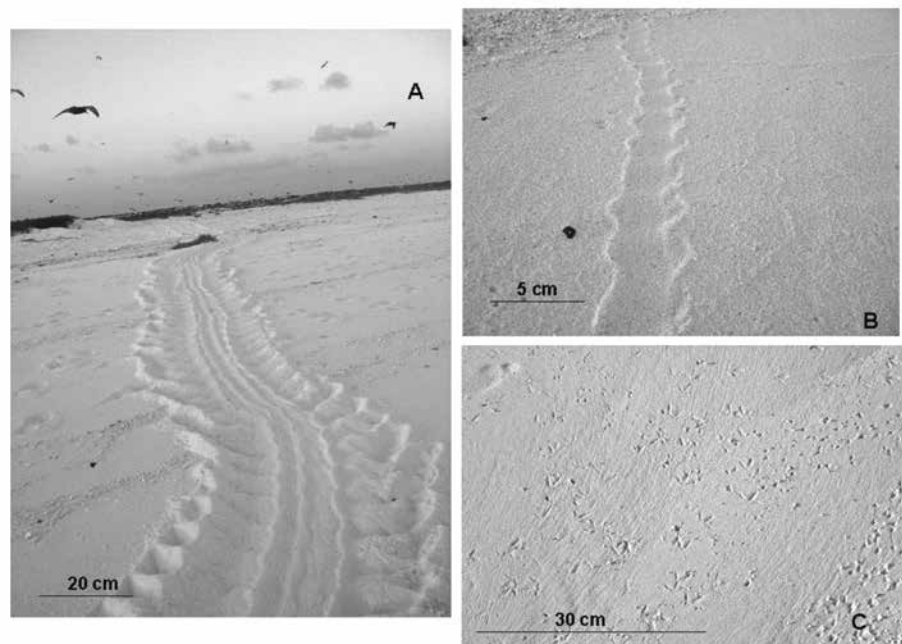


Figura 4 - Estruturas de bioturbação no Atol das Rocas: (A) Estrutura de bioturbação da tartaruga *Chelonyx mydas* (área circular) resultante de atividade reprodutiva (postura de ovos) na ilha do Farol; (B) Estrutura de galeria do Crustacea sp.1 (infauna bentônica) na zona de mesolitoral e supralitoral da ilha do Farol. Observa-se rugosidade saliente; (C) Grande número de tubos de crustáceos na zona de mesolitoral da ilha do Farol; (D) Estrutura de bioturbação de formação de tubos do caranguejo *Gecarcinus lagostoma* na ilha do Farol.

Figura 5 - Estruturas de bioturbação nas ilhas arenosas do Atol das Rocas: (A) Estrutura de bioturbação da tartaruga *Chelonyx mydas* resultante de movimentação ("megatrack") na ilha do Farol com depressões no sedimento carbonático bioclástico; (B) Estrutura de bioturbação de Arthropoda sp.2 resultante de movimentação na ilha do Farol com depressões de pequeno porte; (C) Grande acúmulo de estruturas biogênicas originadas pela população das aves *Anous stolidus* na ilha do Cemitério.



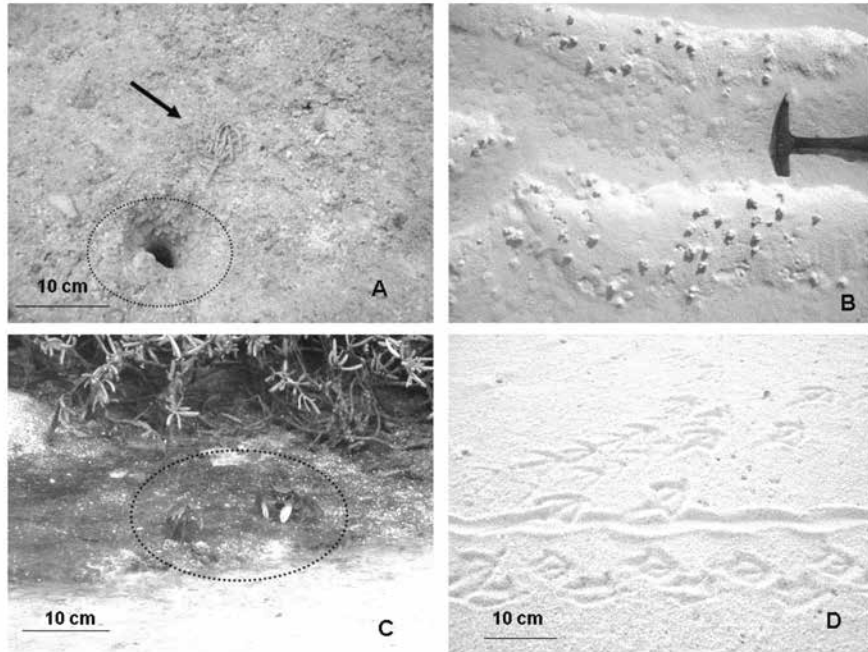


Figura 6 - Estruturas biogênicas em ambiente lagunar, canal de maré e zona de mesolitoral das ilhas oceânicas do Atol das Rocas: (A) Atividade de bioturbação do peixe *Malacanthus plumieri* na laguna do recife. Círculo representa escavação no sedimento carbonático e as setas mostram pelotas fecais com partículas sedimentares; (B) Intensa atividade de bioturbação de poliquetas no depósito arenoso intermarés originando glóbulos de sedimentos; (C) Atividade de bioturbação do caranguejo *Goniopsis cruentata* em tapetes microbiais que trapeiam o sedimento no canal de maré da ilha do Farol (ambiente hipersalino e com alto acúmulo de matéria orgânica particulada); (D) Mistura de estruturas de bioturbação com crustáceos e aves *Sula* sp. no mesolitoral da ilha do Cemitério.

Na Ilha do Farol, além das estruturas nas zonas de mesolitoral e supralitoral já citadas, pode-se observar no canal de maré uma frequente bioturbação de caranguejos da espécie aratu, *Goniopsis cruentata* em áreas de tapetes microbiais (Figura 6-C). Observa-se uma maior quantidade de estruturas de bioturbação na ilha do Farol do que na ilha do Cemitério, de modo significativo (teste do χ^2 , $p=0,014$). Tal fato é decorrente de uma maior faixa sedimentar e maior número de espécies na Ilha do Farol e de uma menor erosão em determinadas zonas desta.

As ilhas do Farol e o Depósito arenoso intermarés foram os ambientes de sedimentação com maior número de estruturas de bioturbação (Figura 7). A diferença estatística entre o número de feições sedimentares bioturbadas comparando esses dois compartimentos recifais foi insignificante (teste do χ^2 , $p=0,62$). Entretanto, existe diferença significativa entre o número de estruturas biogênicas destas zonas geomorfológicas com a Laguna e a ilha do Cemitério que tiveram uma abundância relativa bem menor (teste do χ^2 , $p=0,48$).

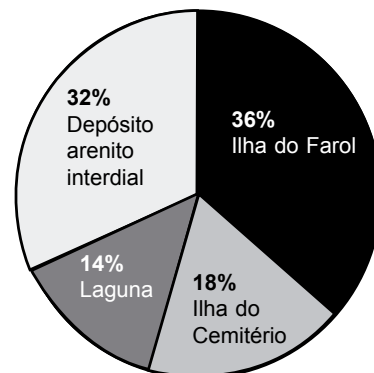


Figura 7 - Abundância relativa das estruturas de bioturbação nos sedimentos carbonáticos bioclásticos do Atol das Rocas, Atlântico Sul.

Nas zonas emersas as principais estruturas são relacionadas a sedimentos de areias carbonáticas bioclásticas finas e grossas (Teste do χ^2 , $p=0,0022$) como observado para as ilhas (Figuras 8 e 9), entretanto a granulometria dos sedimentos bioturbados variou de areia muito fina a cascalhos.

Comparativamente, as ilhas não tiveram diferença na composição das estruturas sedimentares

biogênicas entre si (teste do χ^2 , $p=0,52$). Tal ausência de diferenciação textural entre as ilhas pode ser denotada a proximidade entre as ilhas, o retrabalhamento sedimentar na área interna do atol e a fatores biológicos como espécies bioturbadoras semelhantes o que gera seleção de grãos.

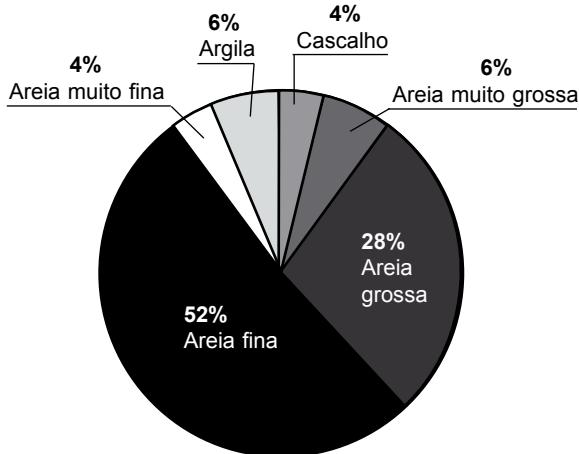


Figura 8 - Granulometria das estruturas de bioturbação na Ilha do Farol, Atol das Rocas.

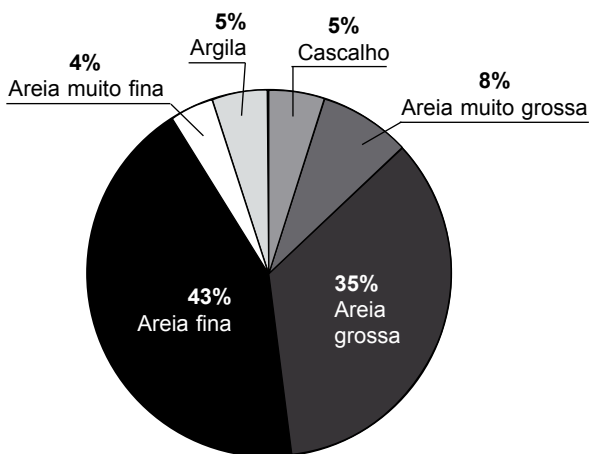


Figura 9 - Granulometria das estruturas de bioturbação na Ilha do Cemitério, Atol das Rocas.

A predominância de areias finas nas estruturas de bioturbação das ilhas pode-se ser denotada devido à origem destes sedimentos transportados a partir do depósito arenoso intermarés (sentido barlavento para sotavento). A abrupta mudança na topografia do platô recifal a barlavento para o depósito arenoso, comumente gera aprisionamento de material orgânico e sedimento de areias finas que é frequentemente bioturbado pelos poliquetas, nematódeos e oligoquetas sendo facilmente passível de ressuspensão e transporte para as ilhas do único Atol do Atlântico Sul Equatorial.

DISCUSSÃO

De todos os processos de perturbação física dos sedimentos, a bioturbação é provavelmente o que tem recebido maior atenção e as principais espécies bioturbadoras estudadas pertencem aos crustáceos e poliquetas que vivem em galerias e tubos (Hall, 1994), semelhantes aos que vivem no na laguna e no depósito arenoso do Atol das Rocas. Porém, existem estudos envolvendo bolachas-do-mar, holotúrias, gastrópodes e peixes, dentre outros táxons (Posey, 1987). Entre as principais espécies estudadas estão os talassinídeos (maior número de estudos) e os poliquetas. Há poucos estudos envolvendo espécies de tartarugas e aves como agentes de bioturbação (Snelgrove & Buttman, 1994) como verificado para o único Atol do Atlântico Sul Equatorial. As poucas estruturas de bioturbações de organismos como moluscos, crustáceos e equinodermos no Atol das Rocas pode ser resultado de sua baixa diversidade e abundância (Netto *et al.*, 1999), devido ao intenso stress físico no depósito arenoso e na laguna.

Pillay & Branch (2011) demonstraram que os camarões talassinídeos bioturbadores são importantes engenheiros de ecossistemas, exercendo grande influência sobre os processos e a estrutura das comunidades. Sua atividades de escavação e ventilação podem afetar substancialmente as propriedades e processos sedimentares e biogeoquímicos, gerando efeitos positivos e negativos sobre efeitos sobre a co-ocorrência de bactérias, microalgas, meiofauna, macrofauna e algas marinhas e, possivelmente, até afetando a cadeia alimentar de peixes e aves.

Jumars & Nowell (1984) concluíram em sua revisão sobre os efeitos dos organismos bentônicos no transporte de sedimentos, que um grupo funcional consistente de organismos estabilizadores ou desestabilizadores não é possível, especialmente devido aos vários tipos de estratégias comportamentais. A estabilidade do sedimento gerada pela colonização e atividade de organismos é comum no bentos através da construção de tubos e pelo tamanho das agregações. Densas agregações de organismos grandes tendem a perturbar o sedimento através de atividades de escavação e alimentação (Hall, 1994). As densas agregações dos organismos (tartarugas, aves e organismos da infauna) no Atol são geradores de intensa perturbação nas ilhas arenosas, na laguna e no depósito arenoso. Aspectos positivos da bioturbação foram considerados como uma maior oxigenação, redistribuição e melhor distribuição de recursos alimentares e menor compactação dos sedimentos (Friedrichs *et al.*, 2009; Kristensen *et al.*, 2012) devido aos movi-

mentos dos organismos da macrofauna bêntica (oligoquetas, nematódeos e poliquetos) como os encontrados no depósito arenoso, lagunas e piscinas do platô recifal do Atol das Rocas. Tais organismos são dominantes nesta comunidade que vive enterrada nos sedimentos carbonáticos (Netto, *et al.*, 1999).

A bioturbação está acoplada com a biogeoquímica dos sedimentos através de processos de transporte de partículas e bombeamento de água para dentro e para fora do sedimento (Rhoads & Boyer, 1982). É importante ressaltar que o enterramento de matéria orgânica proveniente da coluna d'água, como por exemplo, pelotas fecais de zooplâncton e fitodetritos, é um importante mecanismo de remineralização de carbono orgânico. Após a deposição da matéria orgânica particulada, os compostos lábeis (como clorofila-a) são rapidamente degradados por organismos bênticos na interface sedimento-água. Porém, o enterramento rápido pela bioturbação pode transportar compostos orgânicos lábeis para zonas mais profundas da coluna sedimentar, onde esses compostos são oxidados (Graf, 1989). O caranguejo *Goniopsis cruentata* na ilha do Farol e os organismos da infauna bentônica têm esse papel de enterramento rápido por atividades bioturbadoras na laguna, no canal de maré da ilha do Farol e nos períodos de maré alta no depósito arenoso intermarés.

A presença de estruturas de bioturbação serem predominantemente em areias bioclásticas finas e grossas pode ser relacionada a modificações na seleção de grãos pela biota ou por serem as texturas predominantes nas zonas emersas (ilhas arenosas) no Atol como salientado por Kikuchi (1994), Pereira *et al.* (2008) e Pereira *et al.* (2010). Paton *et al.* (1995) propôs a bioturbação como uma causa comum de diferenciação textural.

Agradecimentos - O autor principal agradece ao CNPq pela concessão de bolsa de Doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Geociências (UFRGS). À PETROBRAS e Fundação SOS Mata Atlântica, pelo financiamento da pesquisa dos trabalhos de campo. Ao ICMBIO, pela concessão de licença de pesquisa (12228-1) e apoio nas atividades de campo (principalmente à coordenadora da Reserva Biológica do Atol das Rocas, Maurizélia Brito Silva).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aller, R.C. & Yingst, J.Y. Effects of the marine deposit-feeders *Heteromastus filiformis* (Polychaeta),

Macoma balthica (Bivalvia) and *Tellina texana* (Bivalvia) on averaged sedimentary solute transport, reaction rates, and microbial distributions. *J. Mar. Res.*, v.43, p. 615-645, 1985.

Aller, R.C.; Yingst, J.Y. & Ulman, W.J. Comparative biogeochemistry of water in intertidal *Onuphis* (Polychaeta) and *Upogebia* (Crustacea) burrows: temporal patterns and causes. *J. Mar.Res.*, v. 41, p. 571-604, 1983.

Almeida, F.F.M. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terrae Didactica*, v.2, n. 1, p. 3-18, 2006.

Araújo Jr., J.M.C.; Otero, X.L.; Marques, A.G.B.; Nóbrega, G.N.; Silva, J.R.F. & Ferreira, T.O. Selective geochemistry of iron in mangrove soils in a semiarid tropical climate: effects of the burrowing activity of the crabs *Ucides cordatus* and *Uca maracoani*. *Geomarine Letters*, v. 32, n.4, p. 289-300, 2012.

Findlay, R.H.; Trexler, M.D. & White, D.C. Response of a benthic microbial community to biotic disturbance. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, v.62, p. 135-148, 1990.

Friedrichs, M.; Leipe, T.; Peine, F. & Graf, G. Impact of macrozoobenthic structures on near-bed sediment fluxes. *J. Mar.Syst.*, v.75, p. 336-347, 2009.

Gherardi, D.F.M. & Bosence, D.W.J. Modelling of the ecological succession of encrusting organisms in recent coralline-algal frameworks from Atol das Rocas, Brazil. *Palaios*, v.14, n.2, p. 145-158, 1999.

Gherardi, D.F.M. & Bosence, D.W.J. Late holocene reef growth and relative sea-level changes in Atol das Rocas, Equatorial South Atlantic. *Coral Reefs*, v.24, p. 264-272, 2005.

Graf, G. Benthic-pelagic coupling in a deep-sea benthic community. *Nature*, v.341, p. 437-439, 1989.

Hall, S.J. Physical disturbance and marine benthic communities: life in unconsolidated sediments. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, v.32, p. 179-239, 1994.

Holz, M. & Simões, M.G. *Elementos fundamentais de tafonomia*. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 231p., Porto Alegre, 2002.

Kikuchi, R.K.P. *Geomorfologia, estratigrafia e sedimentologia do Atol das Rocas (REBIO-IBAMA/RN)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal da Bahia, 144 p., Salvador, 1994.

Kinoshita, M.W.; Kogure, K. & Furota, T. Mud shrimps burrows as dynamic traps and processors of

- tidal-flat materials. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, v.247, p. 159-164, 2003.
- Kristensen, E.; Penha-Lopes, G.; Delefosse, M.; Thomas Valdemarsen, T.; Quintana, C.O.; & Banta, G.T. What is bioturbation? The need for a precise definition for fauna in aquatic sciences. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, v. 446, p. 285-302, 2012.
- Jumars, P.A. & Nowell, A.R.M. Effects of benthos on sediment transport: difficulties with functional grouping. *Contin. Shelf Res.*, v.3, n.2, p. 115-130, 1984.
- Myrick, J.L. & Flessa, K.W. Bioturbation rates in Bahía La Choya, Sonora, Mexico. *Cien. Mar.*, v.22, n.1, p. 23-46, 1996.
- Netto, S.A.; Attrill, M.J. & Warwick, R.M. The effect of a natural water-movement related disturbance on the structure of meiofauna and macrofauna communities in the intertidal sand flat of Rocas Atoll (NE, Brazil). *J. Sea Res.*, v.42, p. 291-302, 1999.
- Paton, T.R.; Humphreys, G.S. & Mitchell, P.B. *Soils: a new global view*. UCL Press, 213 p., London, 1995.
- Pereira, N.S.; Marins, Y.O.; Silva, A.M.C.; Oliveira, P.G.V. & Silva, M.B. Influência do ambiente sedimentar na distribuição dos organismos meiobentônicos do Atol das Rocas. *Est. Geol.*, v.18, n.2, p.67-80, 2008.
- Pereira, N.S., Manso, V.A.V., Silva, A.M.C. & Silva, M.B. Mapeamento geomorfológico e morfológico do Atol das Rocas, Atlântico Sul. *Rev. Gest. Cost. Integr.*, v.10, n.3, p. 331-345, 2010.
- Pillay D. & Branch, G.M. Bioengineering effects of burrowing thalassinidean shrimps on marine soft-bottom ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, v. 49, p.137-192, 2011.
- Phillips, J.D. Soils as extended composite phenotypes. *Geoderma*, v.149, p. 143-151, 2009.
- Pope, R.H.; De Master, D.J., Smith, C.R. & Seltmann Jr., H. Rapid bioturbation in Equatorial Pacific sediments: evidence from excess ²³⁴Th measurements. *Deep-Sea Res.*, v.43, n.4, p. 1339-1364, 1996.
- Posey, M.H. Influence of relative mobilities on the composition of benthic communities. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, v.39, p. 99-104, 1987.
- Robert, K. & Juniper, S. K. Surface-sediment bioturbation quantified with cameras on the NEPTUNE Canada cabled observatory. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, v. 453, p.137-149, 2012.
- Rhoads, D.C. & Boyer, L.F. The effects of marine benthos on physical properties of sediments: a successional perspective, p.3-52, in McCall, P.L. & Tevez, J.S. (eds.). *Animal-sediment relations*. Plenum Press, 156 p., New York, 1982.
- Snelgrove, P.V.R. & Buttman, C.A. Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, v.32, p. 111-177, 1994.
- Soares, M.O.; Lemos, V.B. & Kikuchi, R.K.P. Aspectos biogeomorfológicos do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. *Rev. Bras. Geociên.*, v. 41, p. 85-94, 2011.
- Stoeck, T. & Kroncke, I. Influence of particle mixing on vertical profiles of chlorophyll-*a* and bacterial biomass in sediments of the German Bight, Oyster Ground and Dogger Bank (North Sea). *Est. Coast. Shelf Sci.*, v.52, p. 783-795, 2001.