

DIATOMÁCEAS EM BIOFILME DA INTERFACE SEDIMENTO-ÁGUA NO MANGUEZAL DE COROA GRANDE, BAÍA DE SEPETIBA, RJ

Diatoms from the biofilm at the sediment-water interface in the mangroves of Sepetiba Bay, Rio de Janeiro State, Brazil

Luiz Carlos Pires¹, Luiz Drude de Lacerda²

RESUMO

É caracterizada a flora de diatomáceas que forma um biofilme na interface sedimento-água do manguezal de Coroa Grande, Baía de Sepetiba, RJ. A comunidade de microalgas é constituída pelas seguintes espécies: *Auliscus coelatus* Bail, *Actinophycus undulatus*, *Biddulphia sp.*, *Cocconeis scutellum*, *Cyclotella stylorum* Bright, *Fragilaria sp.*, *Melosira nummuloides*, *Navicula lanceolata*, *Thalassionema sp.* e *Thalassiosira sp.*. O biofilme encontra-se associado a sedimentos argilosos da superfície do manguezal. As interações entre os microorganismos do biofilme e o ambiente do mangue são sugeridas através da existência de biominerais. Esta biomineralização induzida inclui os finos filmes minerais argilosos das superfícies das diversas espécies de diatomáceas, como também grânulos e microcristais associados. A análise microscópica da comunidade de diatomáceas sugere sua efetiva participação nos processos biogeoquímicos da interface sedimento-água em ecossistemas de manguezal.

Palavras-chaves: diatomáceas, manguezal, biofilme, biomineralização.

ABSTRACT

This study describes the diatom flora from the biofilm of the sediment-water interface at the mangroves of Coroa Grande, Sepetiba Bay, Rio de Janeiro State, Brazil. The microalgal community is constituted by *Auliscus coelatus* Bail, *Actinophycus undulatus*, *Biddulphia sp.*, *Cocconeis scutellum*, *Cyclotella stylorum* Bright, *Fragilaria sp.*, *Melosira nummuloides*, *Navicula lanceolata*, *Thalassionema sp.* and *Thalassiosira sp.*. The biofilm is associated to clay sediments on the surface of the mangrove soil. The interaction between these microalgae and the mangrove environment are suggested by the presence of biominerals. This induced biomineralization includes fine clay films on the surface of the diatoms as well as associated granules and microcristals. The microscopic analysis of the diatom community suggests its effective participation on the biogeochemical processes at the sediment-water interface of mangrove forests.

Key words: diatoms, mangroves, biofilm, biomineralization..

¹ Geólogo, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 24020-007, RJ.

² Professor Titular, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 60165-081, CE.

INTRODUÇÃO

A associação de microorganismos (bactérias, algas, fungos, diatomáceas e cianobactérias) interage diretamente com a matriz geológica dos sedimentos de manguezal na interface sedimento/água em ambientes costeiros. A formação de biofilmes inicia-se com a adsorção de macromoléculas, e pequenas moléculas orgânicas (ácidos graxos, lipídios) nas interfaces líquido/sólido e gás/líquido, formando um filme abiótico (Oliveira, 1998). Em seguida, ocorre a colonização por microorganismos que iniciam a produção de substâncias adesivas, predominantemente exopolissacarídeos (EPS), as quais auxiliam na formação de micro colônias e filmes microbiais. A acumulação do biofilme é, portanto, o conjunto de resultados representados pelos processos de fixação, crescimento, morte, erosão e desprendimento das comunidades de microorganismos na interface sedimento-água.

A formação específica dessas comunidades depende de fatores abióticos (ação das ondas, luminosidade, temperatura, variação da maré, salinidade, poluição), e bióticos (colonização inicial, sucesso dos colonizadores, recrutamento, predação e competição) (Shiah & Duklow, 1997). De um modo geral, na estruturação do biofilme, as bactérias iniciam a colonização. Este filme bacteriano, que é formado em poucas horas, estimula o recrutamento e crescimento de diatomáceas sésseis. Posteriormente, diatomáceas, algas e protozoários, podem formar um filme primário em apenas 24 h. Detritos orgânicos e inorgânicos, lama, argila e outros materiais particulados em suspensão na água podem ser incorporados a este biofilme, recebendo a denominação de geral de "perifiton" (Oliveira, 1998).

Em manguezais, a biomineralização tem sido apontada como mecanismo significativo na biogeoquímica de nutrientes (Alongi *et al.*, 1999), metais-traço (Lacerda, 1998), além de micro-poluentes orgânicos (Japenga *et al.*, 1988). Entretanto, a composição específica dos componentes principais deste biofilme ainda é pouco conhecida, dificultando a real apreciação de seu papel nos processos biogeoquímicos dominantes na interface sedimento-água dos ecossistemas de manguezal. No presente estudo, é caracterizada a flora de diatomáceas presentes em biofilmes no ambiente do mangue de Coroa Grande e, através de sua análise química e mineralógica, são discutidos seu papel na dinâmica da formação destas estruturas e sua importância para a biogeoquímica do ecossistema.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O manguezal de Coroa Grande está localizada a oeste da cidade do Rio de Janeiro, na Baía de Sepetiba (22°54'06" - 23°04'18"S e 43°33'44" - 44°02'30"W), que constitui um corpo de água salgada relativamente confinada, com área total de cerca de 419 km². A região de Coroa Grande possui um clima sub-equatorial, sem estação seca definida e com umidade relativa do ar de cerca de 77 %. A temperatura média é de 23°C, e o período de maior pluviosidade ocorre no verão, com cerca de 200 a 250 mm mensais. O manguezal de Coroa Grande é composto por uma floresta de franja típica dominada por *Avicennia schaueriana*, *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*. A floresta é limitada ao norte pelo continente, cuja geologia é representada por planícies quaternárias litorâneas e elevações do arcabouço granito-gnássico Pré-Cambriano da Serra do Mar, que constitui a principal fonte de material geológico para região (Moura, 1981). A floresta do mangue em alguns pontos apresenta, durante a maré baixa, a ocorrência de biofilme caracterizado por uma textura aveludada, de coloração cinza-esverdeada a branca, o qual surge próximo às raízes das plantas superiores, e espalha-se sobre os sedimentos do mangue. Durante a maré alta, o biofilme é em grande parte removido pelas águas, sendo dificultada sua localização durante esta fase da maré.

MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas foram realizadas em duas campanhas entre a foz dos rios Itingussu e Itimirim, no interior da floresta de manguezal de Coroa Grande. Amostras do biofilme foram coletadas durante o período de maré baixa na interface sedimento-água, quando este apresenta a sua maior extensão e ocorrência. Foram utilizadas seringas plásticas descartáveis de 50 ml para a coleta diretamente sobre o biofilme. As amostras foram acondicionadas em fracos plásticos de 100 ml, previamente lavados com soluções de Extran (MERCK) alcalino a 5 %, e em seguida com HCl 0,5N e água destilada. Após a coleta, num prazo máximo de 6h, as amostras foram preservadas em freezer, a temperaturas de -5 °C a -10 °C.

Durante a amostragem do biofilme foram determinados pH, Eh, e salinidade na água diretamente sob o biofilme em contacto com o sedimento no interior da floresta de mangue, utilizando-se eletrodos e potenciômetros (HI 8014, Hanna Instruments) e salinômetro (Refractometer S-1,

Shibuya Optical Co.). Os erros analíticos nas medidas foram de no máximo 10 %.

As amostras de biofilme foram analisadas usando-se difratometria de raios-X (para análise mineralógica global e para minerais de argila) e absorção atômica (para determinação de metais) no Laboratório Central de Análises Mineraias da Companhia de Pesquisa e Recursos Mineraias, Urca, Rio de Janeiro. As análises de MEV, EDX e EMAX foram realizadas no Departamento de Agricultura da Universidade Nacional de Kobe, Japão.

Para as análises de raios-X, foi usado o Difratômetro Philips PW 1140/00 (40 kV, Fekα). Para a mineralogia global as amostras foram pulverizadas com preparação desorientada. Para a mineralogia das argilas foi obtida por extração da fração fina (inferior a 4 μm) em meio aquoso, após duas horas de repouso da suspensão e orientação em lâmina delgada, seca em estufa a 60 °C. As amostras foram analisadas por difração de raios X na preparação normal, glicolada (etileno glicol) e aquecida a 500 °C por cinco dias.

Como procedimento para análise microscópica, algumas gotas da amostra foram depositadas sobre a lâmina e recobertas por lamínulas, sendo assim observadas. O biofilme foi lavado com soluções de água destilada-etanol (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 % de etanol, respectivamente) (Pires & Tazaki, 1992 e 1993; Pires, 1993). As estruturas orgânicas puderam ser mantidas no estado mais próximo ao que se apresentam na natureza. Foram usadas fitas adesivas de dupla face não condutoras para fixar as amostras nos cilindros, e secas à temperatura ambiente (25 °C). Em seguida, foram metalizadas com Pt-Pd, usando-se o Pt-Pd Hitachi E-1030 Sputtering (uma vez que não foi disponível a utilização de Au ou C como agentes pulverizantes), e observadas no microscópio eletrônico de varredura Hitachi SEM S-2460 N (25 kV, 2,5 A, Fekα), com janela de Be, e imagens de MEV eletro

espalhados. As análises de microsonda (através do espectro de Energia Dispersiva de Raios-X, EDX) foram feitas nas amostras mais representativas e de maior relevância, usando-se o EDX Horiba S-781 XI.

RESULTADOS

As características físico-químicas medidas revelam um ambiente tipicamente estuarino com salinidade média de 15,3. Os valores médios de pH e Eh foram respectivamente: pH = 6,1 e Eh = +192 mV, no período de seca, e pH = 6,3 e Eh = -235 mV, no período chuvoso. A mineralogia geral para sedimentos e biofilmes revelou a presença de: quartzo, micas, feldspato, mica-vermiculita e anfibólio. A mineralogia dos argilo-minerais revela presença de: caolinita, illita, esmectita, clorita, e camadas mistas irregulares de illita-clorita e illita-esmectita. Esta mineralogia tem sido reportada como típica dos sedimentos da Baía de Sepetiba (Lacerda, 1998).

As diatomáceas identificadas foram: *Cocconeis scutellum* (Figura 1A), *Thalassiosira* sp. (Figura 1B), *Auliscus caelatus* Bail (Figura 2A), *Cyclotella stylonum* Bright (Figura 2B), *Actinophycus undulatus* (Figura 3A), *Biddulphia* sp. (Figura 3B), *Fragilaria* sp. (Figura 3B), *Navicula lanceolata* (Figura 4A), *Thalassionema* sp. (Figura 4B), e *Melosira nummuloides* (Figuras 5A e 5B). Observando-se as diatomáceas sob os métodos de MEV e EDX, algumas características interessantes puderam ser observadas. As diatomáceas, como os outros microorganismos, mostram um filme mineral e microcristais associados à porção externa das suas valvas, como pode ser observado nas fotomicrografias de MEV. Os dados de EDX ilustram as diferenças químicas entre estes e as valvas, sendo os elementos: Si, Al, Cu e Fe os maiores constituintes destes materiais. Detalhes das concentrações destes elementos são relatados em Pires & Lacerda (2005).

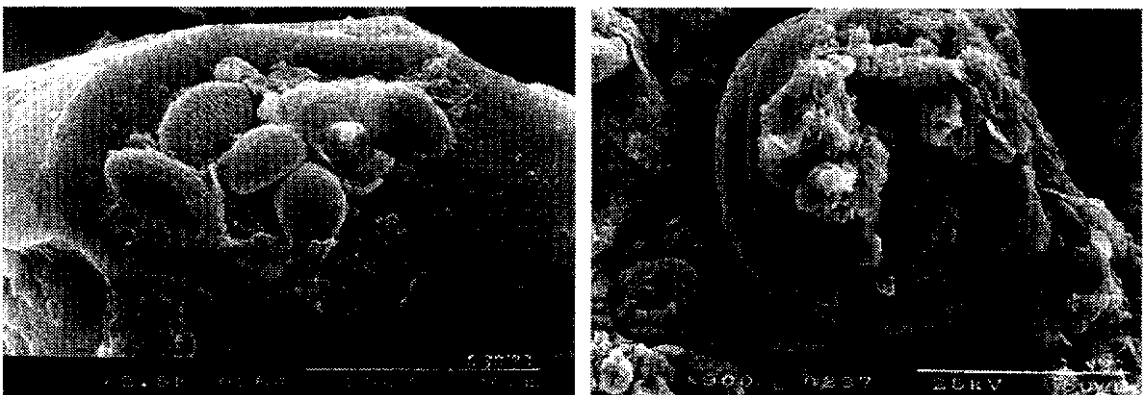


Figura 1 - Fotomicrografias de *Cocconeis scutellum* (A) e *Thalassiosira* sp. (B). Em (A) as diatomáceas da espécie *Cocconeis scutellum* apresentam-se total ou parcialmente recobertas por material argiloso. (B), visões valvar e pleural da diatomácea *Thalassiosira* sp., associada à grãos e microcristais de argilo mineralis.

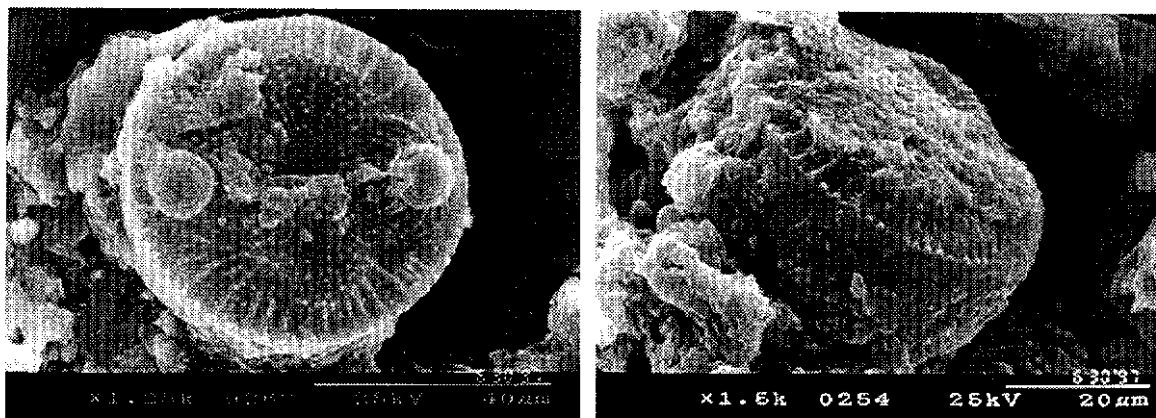


Figura 2 (A) - Fisão valvar de *Auliscus coelatus* Bail, (B) *Cyclotella stylorum* Bright., visões valvar e pleural. Em ambos os casos recobertas por microcristais e fino filme de argilo minerais.

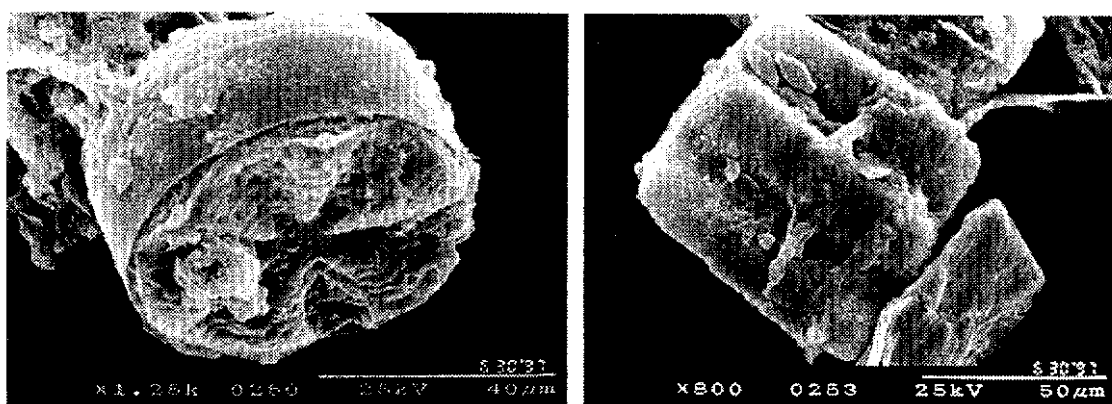


Figura 3 - Fotomicrografias da diatomácea (A) *Actinophthycus undulatus* e (B) *Biddulphia* sp. e *Fragilaria* sp. (A) visão valvar da frústula de *Actinophthycus undulatus* recoberta por fino filme mineral e grânulos do mesmo material. (B) mostra a diatomácea *Biddulphia* sp. (de maior tamanho) associada à diatomácea penata epífita *Fragilaria* sp. (em menor tamanho).

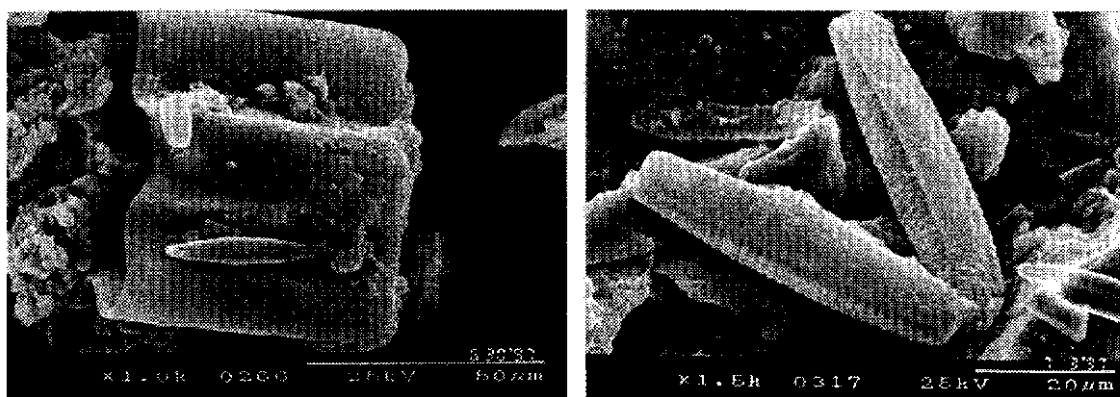


Figura 4 - Fotomicrografias das diatomáceas (A) *Biddulphia* sp. e *Navicula lanceolata*, (B) *Thalassionema* sp. (A) diatomácea *Biddulphia* sp. (de maior tamanho) associada à diatomácea penata epífita *Fragilaria* sp. (em menor tamanho). (B) Duas frústulas de *Thalassionema* sp. recobertas por fino filme mineral e grânulos associados.

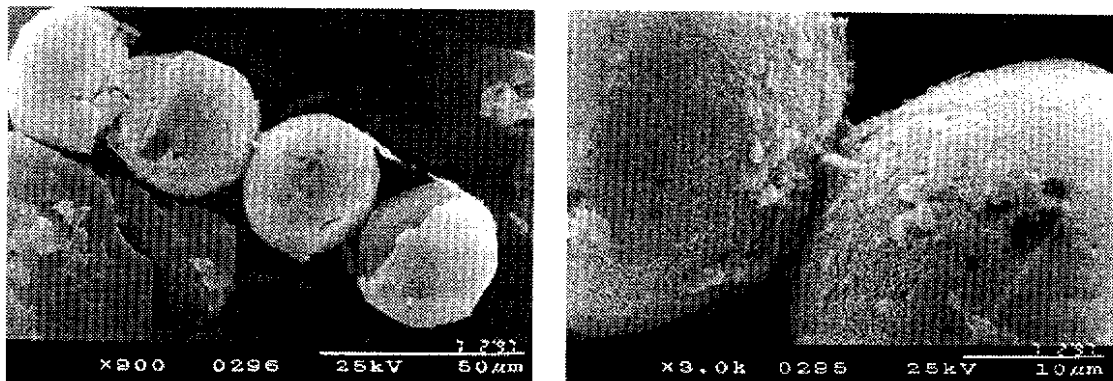


Figura 5 - Fotomicrografias da diatomácea *Melosira nummuloides*. (A) Visão geral, (B) Detalhe da estrutura onde as frústulas estão interligadas, e toda a estrutura está revestida por uma fina camada de material argiloso.

DISCUSSÃO

Como organismos constituintes do biofilme foram identificadas as diatomáceas: *Auliscus coelatus* Bail, *Actinophthycus undulatus*, *Biddulphia* sp., *Cocconeis scutellum*, *Cyclotella stylorum* Bright, *Fragilaria* sp., *Melosira nummuloides*, *Navicula lanceolata*, *Thalassionema* sp. e *Thalassiosira* sp.. Na identificação foram utilizadas as seguintes referências: Müller-Melchers (1957), Peragallo (1965), Hasle & Fryxell (1976, 1977, 1979 e 1980), Lange-Bertalot (1980a/b), Germain (1981) e Thomas (1996).

As diatomáceas encontradas no biofilme do manguezal de Coroa Grande são espécies de distribuição pan-tropical, comum em águas salinas, exceto nas mais quentes e nas mais hipersalinas (Round *et al.*, 1990). Como característica de hábito, *Cyclotella stylorum* Bright, *Melosira nummuloides* e *Fragilaria* sp. são classificadas como bentônicas; *Actinophthycus undulatus*, *Thalassionema* sp., *Thalassiosira* sp. são ticolplantônicas; *Auliscus coelatus* Bail, *Cocconeis scutellum*, *Navicula lanceolata* são planctônicas e, por fim, *Biddulphia* sp. é comum em todos os hábitos anteriores. Em alguns casos, *Navicula lanceolata* (Figura 4B) e *Fragilaria* sp. (Figura 3B), ocorrem como penatas epifitas, e quanto à biogeografia, *Actinophthycus undulatus*, *Biddulphia* sp., *Cocconeis scutellum*, *Cyclotella stylorum* Bright e *Navicula lanceolata*, todas são classificadas como tropicais, sendo que as demais são cosmopolitas (Thomas, 1996).

A presença destas diatomáceas está diretamente relacionada com o desenvolvimento do biofilme. Ocorrendo o desenvolvimento do biofilme, as diatomáceas são fixadas e recrutadas juntamente com as bactérias, cianobactérias, cocolitoforídeos e outros microrganismos que se aderem ao filme

abiótico inicialmente formado (Oliveira, 1998; Batisda, 1968; Margalef, 1974; Zobell & Allen, 1989; Keough & Raimondi, 1995). A fixação tem por substrato, no caso do biofilme de Coroa Grande, a fração argilosa que compõe o sedimento/biofilme. Nas análises de MEV observa-se que as diatomáceas estão recobertas por fino filme argiloso, microcristais e grânulos, os quais, através do EDX, foram identificados como sendo constituídos por alumino silicatos (Si, Al), matéria orgânica (C, O) e metais, Fe e Cu, em sua maioria. No caso da *Cocconeis scutellum* (Figura 1A), a valva está total ou parcialmente recoberta por um fino filme. A presença de grânulos (microcristais) deste material argiloso é também observada no caso da *Actinophthycus undulatus* (Figura 3A), onde ocorrem num estágio incipiente de cristalização, diferente da existente na superfície da *Thalassiosira* sp. (Figura 1B). Na cadeia formada pela *Melosira nummuloides* (Figura 5 A e B) além do recobrimento, a estrutura de interligação entre as valvas também está presente, formada por sílica amorfa.

A composição química do fino filme e dos microcristais encontrados na parte externa das diatomáceas obedece a um padrão de distribuição quanto aos elementos que os compõem, geralmente: C>O>Si>Al>Fe>Cu. O material aderido na porção externa da diatomácea é similar ao observado em Pires (1993) e Pires & Tazaki (1993), onde eram formados por óxidos e hidróxidos de Fe e Cu.

As diatomáceas possuem valvas compostas por sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), que é retirada do meio ambiente pelo organismo sob a forma de ácido ortossilícico em solução, $\text{Si}(\text{OH})_4$, e armazenada dentro da célula nas vesículas de deposição de sílica (VDS). A sílica aí armazenada é usada para formar as paredes celulares, como também em processos metabólicos na síntese protéica, DNA, clorofila, carotenóide etc, e na divisão celular. Dentro da VDS a sílica é

polimerizada para produzir depósitos de sílica amorfa hidratada (Round *et al.*, 1990). Durante a divisão celular novas valvas são formadas usando este material. Com relação à biomineralização, a valva da diatomácea é classificada como sendo uma biomineralização biologicamente controlada (Lowenstam & Werner, 1989).

As diatomáceas do biofilme do mangue, pelas observações de MEV e EDX indicam que as valvas são formadas por Si, e os filmes e microcristais de argilo minerais por Si e Al. As interações entre as proteínas, glicoproteínas e outros compostos orgânicos, com as argilas podem explicar o aparecimento do produto da biomineralização. Theng (1979) mostra que as interações entre as argilas e os proteínas oriundas das diatomáceas estão envolvidas diretamente com as carboxilas e os cátions trocáveis (Ca^{2+}) formando complexos argila-polímeros. Estas interações ocorreriam inicialmente nas bordas dos cristais de argilas (Moavard *et al.*, 1974). Em um estudo mais recente, Cooksey & Wigglesworth-Cooksey (1995) demonstram que a adesão de diatomáceas em ambiente marinho requer a síntese de glicoproteínas e proteínas, sendo Ca^{2+} -dependente, pois O Ca^{2+} -quelante, EGTA, causa uma quebra na adesão usada para prender outros materiais na superfície da diatomácea. A adesão é caracterizada, portanto, como um processo de secreção.

CONCLUSÃO

Através dos estudos dos sedimentos e do biofilme que ocorrem no mangue de Coroa Grande, pode-se concluir que o biofilme de coloração cinza-avermelhado a branco, cuja maior distribuição areal ocorre durante a fase de maré baixa, é constituído pelas seguintes diatomáceas: *Auliscus coelatus* Bail, *Actinophthycus undulatus*, *Biddulphia* sp., *Cocconeis scutellum*, *Cyclotella stylorum* Bright, *Fragilaria* sp., *Melosira nummuloides*, *Navicula lanceolata*, *Thalassionema* sp., e *Thalassiosira* sp. Este biofilme encontra-se associado a sedimentos argilosos da superfície do mangue (caolinita, gibsitita, vermiculita, mica-vermiculita), halita, feldspatos, quartzo e micas.

O biofilme sofre influência das condições anaeróbica (Eh -235 mV) e aeróbica (Eh +192 mV) da superfície do mangue de acordo com a época do ano, proporcionando maior disponibilidade de certos compostos e nutrientes; do pH (6,2 em média); da salinidade (15,3); da luminosidade, da temperatura. As interações entre os microorganismos do biofilme e o ambiente do mangue são sugeridas através da existência de biominerais. Nesta categoria de biomineralização induzida, estão incluídos os finos

filmes minerais das superfícies das diversas diatomáceas, como também grânulos e microcristais associados a esses finos filmes. De um modo geral, as composições dos finos filmes de argilo minerais (Si, Al) contém Fe e Cu, não diferindo das dos microcristais e grânulos, podendo se apresentar completamente desprovidas de revestimento externo, caracterizando a biomineralização controlada através da produção da valva; e biomineralização induzida através dos grânulos, finos filmes argilosos e microcristais.

Agradecimentos - Este trabalho contou com apoio do programa PRONEX/CNPq e PRONEX FAPERJ (Proc. N. E-26-171.175/ 2003). Agradecemos a colaboração da CPRM, do Governo do Japão, através da JICA e a Profa. Dra. Tetsu Nakanishi, da Universidade Nacional de Kobe, pela realização de parte das análises.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alongi, R.C.; Tirendi, F.; Dixon, P.; Trott, L.A. & Brunskill, G.J. Mineralization of organic matter in intertidal sediments of a tropical semi-enclosed delta. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, v. 48, p. 451-467, 1999.
- Batisda, R. *Las Incrustaciones Biologicas en el Puerto de Mar del Plata, período 1966/67 (1a. parte)*. Laboratorio de Ensayo de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 1968.
- Connell, J.H. The consequences of variation in initial settlement vs. post-settlement mortality in rocky intertidal communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, v. 93, p.11-45, 1985.
- Cooksey, K.E. & Wigglesworth-Cooksey, B. Adhesion of bacteria and diatoms to surfaces in the sea: a review. *Aquat. Microb. Ecol.*, v.9, p.87-96, 1995.
- Germain, H. *Flore des Diatomées Diatomophycées*. Paris, Soc. Nouvelle Ed. Boubée, 443 p, 1981.
- Hasle, G.R. & Fryxell, G.A. The genus *Thalassiosira*: some species with modified ring of central strutted process. *Nova Hedwigia*, v. 64, p.67-98, 1976.
- Hasle, G.R. & Fryxell, G.A. The genus *Thalassiosira*: *T. trifulta* sp. nova and other species with tricolunar supports on strutted processes. *Nova Hedwigia*, v. 67, p.13-40, 1979.
- Hasle, G.R. & Fryxell, G.A. The marine diatom *Thalassiosira oestrupii*: structure, taxonomy and distribution. *Amer. J. Bot.*, v. 67, n. 5, p. 804-814, 1980.
- Japenga, J.; Wagennar, W.J.; Salomons, W.; Lacerda, L.D.; Patchineelam, S.R. & Leitão, C.M. Organic micro-pollutants in the Rio de Janeiro coastal region, Brazil. *Sci. Tot. Environm.* Vol. 75, p. 169-180, 1988.

- Keough, M.J. & Downes, B.J. Recruitment of marine invertebrates: the role of active larval choices and early mortality. *Ecology*, v.54, p. 348-352, 1982.
- Keough, M.J. & Raimondi, P.T. Responses of settling invertebrate larvae to bioorganic films: Effects of large-scale variation in films. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, v. 207, p.59-78, 1995.
- Lacerda, L.D. *Biogeochemistry of trace metal and diffuse pollution in mangrove ecosystems*. International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan, 65 p., 1998.
- Lange-Bertalot, H. Zur taxonomischen revision einiger ökologisch wichtiger *Naviculae lineolatae* Cleve. Die Formkreise um *Navicula lanceolata*, *N. viridula*, *N. cali*. *Cryptogamie et Algologie*, v. 1, n. 1, p. 29-50, 1980a.
- Lange-Bertalot, H. Zur systematischen Bewertung der bandförmigen kolonien bei *Navicula* und *Fragilaria*. *Nova Hedwigia*, v. 33, p.723-787, 1980b.
- Lowenstan, H.A. & Werner, S. *On biomineralization*. Oxford, University Press, 350 p. 1989.
- Margalef, R. *Ecología*. Omega, 370 p., Barcelona, 1974.
- Moavadi, H.; Guzev, V.S.; Bab'yeva, I.P. & Zvyagintsev, D.G. Adsorption of extracellular polysaccharide of the yeast *Lipomyces lipofer* on kaolinite. *Pochvovedenie*, p. 79-94, in Theng, B.K.G. (ed.), *Formation and properties of clay-polymer complexes*. Vol. 11. Elsevier, New York, 1979.
- Moura, J.A. Modelo ambiental de laguna costeira clássica - Baía de Sepetiba, RJ, p. 135-152, in *Simpósio do Quaternário no Brasil*, 4. Sociedade Brasileira de Geologia, 1982,.
- Müller-Melchers, F.C. Plankton diatoms of the "Toko Maru" voyage (Brazil Coast). *Bol. Inst. Ocean.*, v. 8, n. 1/2, p.111-138, 1957.
- Oliveira, M.G.N. *Colonização inicial da comunidade epibentônica em substratos artificiais na Ilha de Cabo Frio, Arraial do Cabo, RJ*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 98 p., Rio de Janeiro, 1998.
- Peragallo, M. *Diatoms marine de France et des districts maritimes voisins*. A. Ascher & CO. Publishers, 493 p., Amsterdam, 1965.
- Pires, L.C. *Biomineralization occurrences in acid streams sediments. Homan Area, Matsue, Japan*. Dissertação de Mestrado, Shimane University, 72 p., Matsue, 1993.
- Pires, L.C. & Lacerda, L.D. A geoquímica das pirritas framboidais em sedimentos dos manguezais de Cora Grande, Baía de Sepetiba, RJ. *Geoq. Brasil.*, (no prelo), 2005.
- Pires, L.C. & Tazaki, K. The occurrence of iron oxide material by biomineralization with clay minerals in acid river sediments, p. 32-33, in *Toronkai Koen Yoshishu, Nippon Nendo Gakkai*, 36. Nishi Tokyo Gakka University, v. 1, 1992.
- Pires, L.C. & Tazaki, K. A biomineralization of Diatoms in acid river sediments. *The Science Report of Kanazawa University*, v. 38, n. 1/2, p. 95-106, 1993.
- Round, F.E., Cracoford, R.M. & Mann, D.G. *The diatoms: biology and morphology of the genera*. Elsevier, 729 p., London, 1990.
- Shiah, F.K. & Ducklow, H.W. Bacterioplankton growth responses to temperature and chlorophyll variations in estuaries measured by thymidine: leucine incorporation ratio. *Aquat. Microb. Ecol.*, v. 13, n. 2, p.151-159, 1997.
- Simkiss, K. & Wilbur, K.M. *Biomineralization - cell biology and mineral deposition*. Academic Press, 337 p., New York, 1989.
- Theng, B.K.G. *Formation and properties of clay-polymer complexes*. Elsevier, 362 p., New York, 1979.
- Thomas, C.R. *Identifying marine diatoms and dinoflagellates*. Academic Press Inc., 598 p., San Diego, 1996.
- Zobell, C.E. & Allen, E.C. Attachment of marine bacteria to submerged slides. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, v. 30, p. 1409-1411, 1989.