ESTRUTURAS MICROBIANAS RECENTES DA LAGOA PERNAMBUCO, ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL

L. H. SILVA E SILVA, M. C. E. SENRA, T. C. L. M. FARUOLO, S. B. V. CARVALHAL,
S. A. P. M. N. ALVES, C. M. DAMAZIO, V. T. A. SHIMIZU, R. C. SANTOS & A. A. C. IESPA
Laboratório de Taxonomia Algal, UNIRIO, Av. Pasteur, 458, 22290-240, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
loreineh@unirio.br

RESUMO - A lagoa Pernambuco está localizada entre 22°55'31"- 22°56'02"S e 42°20'21"- 42°17'26"W no nordeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Sua extensão é de 5 km N-S e encontra-se paralela ao Oceano Atlântico. A evolução geológica da lagoa Pernambuco está intimamente associada com as oscilações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior. As estruturas aqui identificadas - esteiras microbianas, estromatólitos estratiformes e estromatólitos calcários estão sempre acompanhadas por cianobactérias, assim distribuídas: 25 espécies nas esteiras microbianas, 15 nos estromatólitos estratiformes e 14 nos estromatólitos calcários. Os estromatólitos litificados são das formas colunar, domal e contínuo. As esteiras microbianas podem ser lisas, tufadas, pustuladas, em bolha e poligonal. A família Synechococcaceae Komárek & Anagnostidis foi a de maior frequência para a área. A alta frequência de cianobactérias na área de estudo é justificada pela elevada adaptação à hipersalinidade, aliada à baixa competição.

Palavras-chave: cianobactéria, esteiras microbianas, estromatólitos estratiformes, estromatólitos calcários, lagoa Pernambuco.

ABSTRACT - RECENT MICROBIAL STRUCTURES OF THE PERNAMBUCO LAGOON, RIO DE JANEIRO STATE, BRAZIL. The Pernambuco lagoon is located between 22°55'31"- 22°56'02"S and 42°20'21"- 42°17'26"W in the northeast of the Rio de Janeiro State, Brazil. Its extension is 5 km N-S and it lies parallel to the Atlantic Ocean. The Pernambuco lagoon geological evolution is closely associated with the oscillation of the relative sea level during the Upper Quaternary. The types of microbial structures verified at Pernambuco Lagoon were microbial mats, stratiform stromatolites and calcareous stromatolites. In all three stages were found cyanobacteria. The analysis of its substrate enabled the identification of 25 species of cyanobacteria in microbial mats, 15 in stratiform stromatolites and 14 in calcareous stromatolites. The lithified stromatolites were columnar, domal and continuous forms. The microbial mats may be flat, tufted, pustuled, blistered and polygonal. The family Synechococcaceae Komárek & Anagnostidis was the most frequent in the area. The high frequency of cyanobacteria is justified by the elevated adaptation to hipersalinity, together with the low competition in the study area.

Key words: cyanobacteria, microbial mats, stratiform stromatolites, calcareous stromatolites, Pernambuco lagoon.

INTRODUÇÃO

Extensas áreas de sedimentação quaternária, formando planícies litorâneas arenosas, são relativamente frequentes ao longo da costa brasileira (Suguio & Tessler, 1984). As zonas costeiras do Estado do Rio de Janeiro mostram excelentes exemplos de seqüências sedimentares regressivas e transgressivas associadas às variações relativas do nível do mar durante o Quaternário (Dias & Silva, 1984). As lagoas costeiras são ecossistemas que ocorrem ao longo de toda a costa do Brasil, sendo que o maior número delas é encontrado nos estados do Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul (Esteves, 1998). Estas

lagoas apresentam características peculiares, o que as torna interessantes para estudos de sedimentologia e processos de formação de rochas sedimentares.

Uma lagoa costeira pode ser definida como sendo uma extensão rasa de águas, frequentemente orientada de forma paralela à costa, parcialmente ou completamente separada do oceano por uma pequena restinga, recife ou ilha barreira (Phleger, 1969). Elas podem conter desde água doce até hipersalina, dependendo das proporções relativas do influxo de água doce, da entrada de água salgada através de canal de maré, da evaporação e da profundidade.

A lagoa Pernambuco é uma lagoa costeira hipersalina onde

ocorrem estruturas biossedimentares formadas por atividades microbianas denominadas de estromatólitos. São considerados como sendo as mais antigas evidências macroscópicas de vida na Terra (Srivastava, 1997). As cianobactérias são o principal conteúdo biótico dos estromatólitos, possuem independência nutricional proporcionando grande capacidade de adaptação às condições variadas do meio (Silva e Silva *et al.*, 2002). Essas adaptações estão relacionadas a numerosas particularidades morfo-fisiológicas, onde as condições ambientais favorecem a sobrevivência, sendo o sedimento um dos fatores abióticos mais importantes para a formação da população (Baeta Neves & Mello, 2002).

ÁREA DE ESTUDO

A lagoa Pernambuco é um corpo aquático costeiro, situado a leste da cidade de Araruama e a oeste da cidade de Cabo Frio, cerca de 100 km da cidade do Rio de Janeiro, no litoral nordeste do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Localiza-se entre as latitudes 22°55'31" e 22°52'02"S e as longitudes 42°20'21" e 42°17'26"W.

A linha de costa é caracterizada por um sistema lagunar que, segundo Coe Neto (1984), tem sua origem ligada às subidas sucessivas, relativamente recentes, do nível do mar. Estes avanços foram responsáveis pelo aparecimento de duas séries de cordões litorâneos arenosos, de idades diferentes (flândria e pós-flândria), que ocasionaram o aparecimento e o fechamento de um sistema de pequenas lagoas existentes na região, no qual a lagoa Pernambuco está inserida. Esses cordões foram alimentados, sobretudo, pelos depósitos continentais acumulados sob a forma de glaciais em um período de regressão marinha (pré-flândria). Nesta lagoa são observadas estruturas biossedimentares produzidas por processos sedimentológicos e biológicos relacionados ao desenvolvimento e crescimento de comunidades de cianobactérias bentônicas (Silva e Silva, 2002).

A lagoa tem formato alongado, e é constituída por uma série de bolsões separados por pontas. Apresenta largura máxima de 0,55 km e 5 km de comprimento, com perímetro de 12,34 km e área de 1,89 km² (Primo & Bizerril, 2002). Caracteriza-se por possuir bacia hidrográfica praticamente ausente (Andrade & Silva e Silva, 2000) e faz parte do sistema lagunar de Araruama. Possui salinidade elevada devido à pequena extensão, à pouca profun-

didade, ao mínimo aporte de águas fluviais, à baixa pluviosidade e à alta incidência de ventos. A alta salinidade relaciona-se com a evaporação maior que a precipitação e com a entrada de água na lagoa, através do canal da lagoa de Araruama, que também é hipersalina. Conforme Coutinho *et al.* (1999), a evaporação média na região é de 1.400 mm/ano e as chuvas atingem 900 mm/ano, apesar da grande variação.

O primeiro estudo na área registrou estromatólitos recentes somente na borda da lagoa (Andrade & Silva e Silva, 2001), tendo sido observado na região de inframaré esteiras microbianas, na de intermarés estromatólitos estratiformes e na de supramaré estromatólitos individuais (domais e colunares) e contínuos. Não foram registradas ocorrências de estruturas estromatolíticas em condições submersas.

CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DO COMPLEXO ESTROMATOLÍTICO

As esteiras microbianas possuem variação de cor do cinza até o marrom-avermelhado, e apresentam-se coesas, inconsistentes ou constituídas por pequenas placas arredondadas, ricas em matéria orgânica. Formadas por depósitos de cianobactérias, resultam da captação e coalescência do sedimento e da precipitação do carbonato de cálcio, possuindo espessura média de 15 cm, o que é corroborado pelos dados apresentados por Lee (1999). Os arranjos formados pelos talos destas cianobactérias e pela bainha de mucilagem são responsáveis pelo aprisionamento dos sedimentos. Elas determinam o primeiro estágio do crescimento dos estromatólitos.

A composição microbiana das esteiras adquiriu especialização e adaptação devido à pressão do meio. Estas condições garantiram a sobrevivência em ambientes estressados, com elevadas taxas de salinidade e alcalinidade.

A semelhança do observado por Lemos (1966) para a Lagoa Salgada, a proliferação da esteira microbiana é influenciada por parâmetros ambientais como variação de marés, oscilação da taxa de oxigênio dissolvido e dessecação, e por condições mecânicas como acúmulo de água e elevadas taxas de sedimentação. Destes fatores, a analogia do que ocorre em outras lagoas, a variação de maré desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das esteiras microbianas, que sofrem submersão intermitente, de acordo com Silva e Silva & Senra (2000).

Figura 1. Esteira microbiana poligonal.
Figure 1. Polygonal microbial mat.

Figura 2. Esteira microbiana em bolha.
Figure 2. Blistered microbial mat.

Figura 3. Detalhe da esteira microbiana pustular.
Figure 3. Detail of pustular microbial mat.

Nota-se a presença de esteiras com formas lisa, tufada, pustulada, em bolha e poligonal, constatando a frequência tanto de exemplares filamentosos quanto esféricos, apresentando laminações ou não (Figuras 1-3).

Os estromatólitos estratiformes, segundo estágio na evolução, variam em espessura, apresentam cimentação superficial frágil e alta porosidade. Possuem coloração do cinza ao branco e podem apresentar manchas avermelhadas, devido à concentração de cianobactérias epilíticas. Eles são constituídos por placas poligonais, delimitados por fendas de ressecamento, de largura variável. Ocorrem acúmulos de biodetritos nestas fendas, principalmente compostos por moluscos (biválvios e microgastrópodes), ostracodes e foraminíferos.

Os estromatólitos individuais do tipo domal apresentam laminações alternadas relativamente finas, cabeços circulares a irregulares, cimentação frágil na poção mediana, altura média de 15 cm, e largura média de 12 cm (Figura 4).

Nas esteiras microbianas foram verificadas 25 espécies de cianobactérias: *Aphanothece castagnei* (Brébisson) Rabenhorst 1865; *A. clathrata* West & West 1906; *A. halophytica* Hof & Frémy 1933; *A. marina* (Ercegovic) Komárek & Anagnostidis 1995; *A. pallida* (Kützing) Rabenhorst 1863; *A. saxicola* Nägeli 1849; *A. stagnina* (Sprengel) A. Braum 1865; *Bachytrichia quoyi* (Agardh) Bornet & Flahault 1888; *Calothrix crustacea* Thuret 1876; *Chroococcus minor* Nägeli 1849; *C. turgidus* Nägeli 1849; *C. limneticus* Lemmerman 1898; *Joanesbaptista pellucida* (Dickie) Taylor & Drouet 1938; *Leptolyngbya komarovii* (Anissimova) Anagnostidis & Komárek 1988; *Lyngbya confervoides* C. Agardh 1892; *Microcoleus chthonoplastes* Thuret 1875; *M. tenerimus* Gomont 1892; *M. vaginatus* (Vaucher) Gomont 1892; *Oscillatoria articulata* Gardner 1927; *O. limosa* (Roth) C. Agardh 1812; *O. subbrevis* Schmidle 1901; *O. terebriformis* f. *amphigranulata* (Agardh ex Gomont) Anagnostidis & Komárek 1988; *Schizothrix friesii* Gomont 1892; *Spirulina subsalsa* Oersted 1842 e *S. subtilissima* Kützing 1843.

Nos estromatólitos estratiformes identificou-se 15 espécies: *Aphanothece castagnei* (Brébisson) Rabenhorst 1865; *A. halophytica* Hof & Frémy 1933; *A. saxicola* Nägeli 1849; *A. stagnina* (Sprengel) A. Braum 1865; *Bachytrichia quoyi* (Agardh) Bornet & Flahault 1888; *Calothrix crustacea* Thuret 1876; *Chroococcus minor* Nägeli 1849; *C. turgidus* Nägeli 1849;

Leptolyngbya komarovii (Anissimova) Anagnostidis & Komárek 1988; *Lyngbya aestuarii* Lieberman (Gomont) 1892; *Microcoleus chthonoplastes* Thuret 1875; *M. tenerimus* Gomont 1892; *M. vaginatus* (Vaucher) Go-

mont 1892; *Schizothrix friesii* Gomont 1892 e *S. subtilissima* Kützing 1843.

A composição microbiana dos estromatólitos individuais é formada por 14 espécies: *Aphanothece castagnei* (Brébisson) Rabenhorst 1865; *A. halophytica* Hof & Frémy 1933; *A. saxicola* Nägeli 1849; *A. stagnina* (Sprengel) A. Braum 1865; *Bachytrichia quoyi* (Agardh) Bornet & Flahault 1888; *Calothrix crustacea* Thuret 1876; *Chroococcus minor* Nägeli 1849; *C. turgidus* Nägeli 1849; *Leptolyngbya komarovii* (Anissimova) Anagnostidis & Komárek 1988; *Microcoleus chthonoplastes* Thuret 1875; *M. tenerimus* Gomont 1892; *M. vaginatus* (Vaucher) Gomont 1892; *Schizothrix friesii* Gomont 1892 e *S. subtilissima* Kützing 1843.

Verificou-se que a lagoa possui baixa taxa de oxigênio dissolvido tendo média de 3,46 mg/l, favorecendo o crescimento de espécies microbianas. A água é clara com salinidade de 75,4‰, pH médio de 8,38, temperatura média do sedimento 27,3° C e temperatura média da água de 25,7° C.

CONCLUSÕES

A lagoa Pernambuco é um ambiente peculiar por apresentar sedimentação carbonática, possuindo esteiras microbianas típicas e estromatólitos quaternários. As esteiras presentes se formam primeiro e são o substrato fixo inicial e necessário para a formação dos estromatólitos individuais.

Tanto os estromatólitos estratiformes quanto os estromatólitos individuais estão dispersos nas porções marginais, não sendo verificadas estruturas estromatolíticas no interior da lagoa.

A análise dos valores médios obtidos aponta a temperatura da água ligeiramente elevada, pH alcalino, diminuição nos teores de oxigênio dissolvido na água e salinidade elevada. A água clara associada aos parâmetros anteriores propicia o desenvolvimento das cianobactérias, que suportam ambientes inóspitos. Estes fatores bióticos e abióticos reunidos favorecem o fenômeno de fotossíntese, que facilita a precipitação do carbonato de cálcio. Nestas áreas com grande estresse ambiental, ocorrem poucas espécies, aparecendo porém um grande número de indivíduos.

Fatores como intensidade luminosa e temperatura podem ser limitantes para as cianobactérias, ocorrendo a morte de parte das filamentosas e aumento das formas esféricas, adaptáveis às fracas intensidades luminosas.

Microcoleus chthonoplastes e *Schizothrix friesii* aparecem no complexo estromatolítico quantitativamente mais expressivas que as demais filamentosas. O gênero *Schizothrix* Kützing ex Gomont 1892 já foi mencionado para outros ambientes onde ocorrem estromatólitos em diversas partes do mundo. No Brasil, estes gêneros foram verificados em estruturas estromatolíticas da lagoa Salgada, também localizada no Estado do Rio de Janeiro (Silva e Silva *et al.*, 2002). O gênero *Aphanothece* Nägeli 1849 é mais tolerante a fortes salinidades, como ocorre na área de estudo.

Foram identificadas espécies endolíticas, justificando sua presença nos estromatólitos e esteiras. Cianobactérias casmoendolíticas foram constatadas estabelecendo-se nos

Figura 4. Estromatólito domal.
Figure 4. Domal stromatolite.

estromatólitos individuais domais devido a sua porosidade, fissuras e microcavidades. Também foram observadas espécies epilíticas, principalmente sobre as esteiras microbianas.

Os restos esqueléticos que aparecem associados às construções estromatolíticas apresentam-se na localidade como uma das fontes de carbonato de cálcio. As estruturas estromatolíticas recentes estudadas são formadas em águas rasas, com variações de salinidade, sob clima quente e úmido e com elevada taxa de evaporação. Sua relevância geológica relaciona-se à reconstrução paleoambiental destes registros fossilíferos apontando que condições ambientais semelhantes prevaleciam no passado.

REFERÊNCIAS

- Andrade, M.M. & Silva e Silva L.H. 2000. Determinação de microalgas para a Lagoa Pernambuco, Rio de Janeiro, Brasil. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, 22, 2000. *Resumos*, Feira de Santana, SBB/RJ,ES,BA, p. 136.
- Andrade, M.M. & Silva e Silva L.H. 2001. Caracterização do conteúdo paleobiológico da lagoa Pernambuco, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8, 2001. *Resumos*, Imbé, ABEQUA, p. 424-426.
- Baeta Neves, M.H. & Mello, F.S. 2002. Diversidade ecológica das cianobactérias marinhas no costão rochoso da enseada da Praia, Arraial do Cabo, RJ. In: JORNADA FLUMINENSE DE BOTÂNICA, 21, 2002. *Resumos Expandidos*, Seropédica, SBB/RJ, p. 57-58.
- Coe Neto, R. 1984. Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de Araruama. In: SIMPÓSIO DE RESTINGAS BRASILEIRAS, 1, 1984. *Anais*, Niterói, UFF, p. 61-63.
- Coutinho, R.; Ribeiro, P.; Kjerfve, B.; Knoppers, B.; Muehe, D. & Valentin, J.L. 1999. Araruama: uma lagoa ameaçada. *Ciência Hoje*, 25:24-31.
- Dias, G.T.M. & Silva, C.G. 1984. Geologia dos depósitos arenosos costeiros emersos – exemplos ao longo do litoral fluminense. In: SIMPÓSIO DE RESTINGAS BRASILEIRAS, 1, 1984. *Anais*, Niterói, UFF, p. 47-60.
- Esteves, F.A. 1998. *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Juturnaíba e do município de Macaé (RJ)*. 1ª ed. Rio de Janeiro, NUPEM/UFRJ, 442 p.
- Lee, R.E. 1999. *Phycology*. 3ª ed. Cambridge, Cambridge University Press, p. 95-97.
- Lemos, R.M.T. 1996. *Estudo das fácies deposicionais e das estruturas estromatolíticas da Lagoa Salgada – Rio de Janeiro*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 122 p.
- Martin, L.; Suguio, K. & Flexor, J.M. 1993. As flutuações de nível do mar durante o Quaternário Superior e a evolução geológica de deltas brasileiros. *Boletim do Instituto de Geociências da USP*, 15:1-186.
- Phleger, F.B. 1969. Some general features of coastal lagoons. In: A. Ayala-Castaneres (ed.) *Lagunas Costeras*, Universidad Nacional Autónoma de México, p. 5-26.
- Primo, P.B.S. & Bizerril, C.R.S.F. 2002. *Lagoa de Araruama. Perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo*. 1ª ed. Rio de Janeiro, SEMADS, 264 p.
- Silva e Silva, L.H. 2002. *Contribuição ao conhecimento da composição microbiana e química das estruturas estromatolíticas da lagoa Salgada, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 176 p.
- Silva e Silva, L.H.; Senra, M.C.E.; Faruolo, T.C.L.M.; Carvalho, S.B.V.; Alves, S.A.P.N.M.; Damazio, C.M.; Shimizu, V.T. & Santos, R.C. 2002. Constituição ficológica das estruturas estromatolíticas da lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brasil. In: JORNADA FLUMINENSE DE BOTÂNICA, 21, 2002. *Resumos expandidos*, Seropédica, SBB/RJ, p. 130-131.
- Silva e Silva, L.H.; Faruolo, T.C.L.M.; Carvalho, S.B.V.; Alves, S.A.P.N.M.; Damazio, C.M. & Shimizu, V.T. 2002. Registro de microalgas nas estruturas estromatolíticas recentes da lagoa Salgada, RJ, Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE BIÓLOGOS, 4, 2002. *Resumos*, Ouro Preto, UFOP, p. 71.
- Silva e Silva, L.H.; Senra, M.C.E. & Srivastava, N.K. 1999. Composição ficológica dos testemunhos dos estromatólitos estratiformes e esteira algal na lagoa Salgada, Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8, 1999. *Anais*, Porto Seguro, ABEQUA, viiabequa_zcp073.pdf.
- Silva e Silva, L.H. & Senra, M.C.E. 2000. Estromatólitos da lagoa Salgada, Quaternário do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO IBÉRICO DE PALEONTOLOGIA, 1, 2000. *Resumos*, Évora, SEP, p. 95-96.
- Srivastava, N.K. 1997. Os mais antigos fósseis. *Ciência Hoje*, 22:18-19.
- Suguio, K. & Tessler, M.G. 1984. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: SIMPÓSIO DE RESTINGAS BRASILEIRAS, 1, 1984. *Anais*, Niterói, UFF, p. 15-25.