

Composição cianobacteriana e química dos estromatólitos da lagoa Salgada, Neógeno do estado do Rio de Janeiro, Brasil
Cyanobacterial and chemical composition of the stromatolites in Salgada lagoon, Neogene of Rio de Janeiro state, Brazil

Loreine Hermida da Silva e Silva¹, Siglia Andressa Pinto Monteiro do Nascimento Alves¹,
Fernanda Campante Magina¹, Sinda Beatriz Vianna Carvalhal Gomes²

¹Núcleo de Geomicrobiologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO, Avenida Pasteur 458, 4º andar, sala 409, Urca, CEP 22290-255, Rio de Janeiro, RJ, BR (loreine.prograd@gmail.com; siglia@gmail.com; fernandamagina@gmail.com)

²Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânicas, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, BR (sinda.carvalhal@gmail.com)

Recebido em 15 de março de 2012; aceito em 30 de novembro de 2012

Resumo

A lagoa Salgada é um corpo aquático costeiro, situada no norte do estado do Rio de Janeiro. A evolução geológica da lagoa está associada às oscilações do nível do mar durante o Neógeno e apresenta esteiras microbianas, estromatólitos estratiformes e estromatólitos individuais e contínuos. Estromatólitos são estruturas carbonáticas laminadas formadas pela atividade metabólica de esteiras microbianas. O estudo permitiu a identificação de 31 espécies de cianobactérias nos estromatólitos e nas esteiras microbianas. A família de maior frequência é a *Synechococcaceae*. Nove espécies ocorrem nos estágios de desenvolvimento dos estromatólitos. Os tipos de esteiras são lisa, tufada, poligonal e em bolha, tendo como seus principais agentes produtores as cianobactérias filamentosas. Os restos esqueléticos incluem bivalves, gastrópodes, ostracódios, foraminíferos e outros táxons. A alta frequência de cianobactérias ocorre pela adaptação à salinidade aliada à baixa competição na área. Os resultados possibilitam inferir os paleoambientes e eventos de sedimentação ocorridos na lagoa e podem ser aplicados na interpretação dos estromatólitos pretéritos.

Palavras-chave: Cianobactérias; Esteiras microbianas; Estromatólitos recentes; Lagoa Salgada; Brasil.

Abstract

Salgada lagoon is a coastal aquatic body in northern Rio de Janeiro state. The geological evolution of the lagoon is associated with the oscillation of sea level during the Late Neogene. The lagoon presents microbial mats, stratiform stromatolites, individual and continuous stromatolites. Stromatolites are laminated carbonate build-ups formed by the metabolic activity of microbial mats. This study identified 31 species of cyanobacteria in stromatolites and microbial mats. The Family *Synechococcaceae* is the most frequent. Nine species are usual throughout the evolution of the calcareous stromatolites. Microbial mat types include flat, tufted, polygonal and blister forms, all produced mainly by filamentous cyanobacteria. Skeletal remains include bivalves, gastropods, ostracods, foraminifers and other taxons. The high frequency of cyanobacteria in the area occurs because of their adaptation to hypersalinity allied to low competition. The results indicate that a variety of paleoenvironmental and sedimentary events occurred in the lagoon and may be applied to the interpretation of ancient stromatolites.

Keywords: Cyanobacteria; Microbial mats; Recent stromatolites; Salgada lagoon; Brazil.

INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são áreas amplas situadas entre ambientes continentais e marinhos que possibilitam a coexistência de diferentes ambientes deposicionais, como planícies de maré, deltas, praias, dunas, estuários, lagoas etc. (Souza et al., 2005). As lagoas constituem 15% da zona costeira mundial e estão entre os ecossistemas mais produtivos da biosfera (Barroso e Bernardes, 1995). São ecossistemas que ocorrem ao longo de toda a costa brasileira, sendo que o maior número é encontrado nos estados do Rio de Janeiro e do Rio Grande do Sul (Esteves, 1998). De Macaé até o Cabo de São Tomé aparece um extenso cordão litorâneo que isola uma série de lagoas do contato com o mar (Silva, 1987). Estes ecossistemas variam em tamanho e diferenciam-se quanto ao grau de salinidade (Roland, 1998). A hipersalinidade nas lagoas costeiras pode estar relacionada às mudanças climáticas e ao impacto humano (Moreira-Turcq, 2000). Caracterizam-se por serem ambientes rasos e por sofrerem forte ação de ventos, fatores estes que geralmente levam a uma maior homogeneidade da coluna d'água (Petruccio, 1998).

O curso natural da evolução geológica das lagoas costeiras de origem marinha é o seccionamento em várias pequenas lagoas, redução do espelho d'água e finalmente, desaparecimento por colmatação (Martin, Suguio, Flexor, 1993). Nestas lagoas podem ser observadas estruturas estromatolíticas (Ignaccolo et al., 2004). Conhecidas desde o Arqueano até o Holoceno (Srivastava, 2000), tais estruturas foram abundantes até o Neoproterozoico, porém no final do Proterozoico ocorreu grande declínio, tanto na diversidade quanto na abundância (Riding, 1991). Segundo Riding (2011), estromatólitos podem ser definidos como sedimentos microbianos autigênicos macroscopicamente laminados com ou sem precipitados abiogênicos intercamadas. Os principais constituintes microbianos das estruturas estromatolíticas atuais são as cianobactérias, as diatomáceas e as bactérias (Kühl, Fenchel, Kazmierczak, 2003), destacando-se bactérias purpúreas e bactérias reductoras de sulfato (Stolz, 2000).

ÁREA DE ESTUDO

A lagoa Salgada (Figura 1) se localiza às coordenadas geográficas 41°00'30" W e 21°54'10" S, no sudeste do Brasil, litoral norte do estado do Rio de Janeiro, entre os municípios de Campos dos Goytacazes e São João da Barra (Silva e Silva e Senra, 2000a, 2000b). Fica isolada na planície arenosa siliciclástica formada pelas cristas de praia, caracterizando o delta atual do rio Paraíba do Sul, que se apresenta em forma de cúspide (Dias e Gorini, 1980). A distribuição dos sedimentos evidencia um processo gradativo

de assoreamento, caracterizado por duas sequências, uma marinha e outra lagunar (Lemos, 1996). Esta lagoa pode ser classificada como uma lagoa de planície de restinga (Soffiati, 1998). De acordo com datações de ^{14}C em conchas, a idade da lagoa seria 3.800 ± 200 anos AP (Martin, Suguio, Flexor, 1993).

A extensão superficial deste corpo aquático é de 16 km², com 1,9 km de largura e 8,6 km de comprimento. A lagoa possui uma conexão com o mar através do rio Açú (Silva e Silva, 2002).

A lagoa Salgada está em uma área de monotonia térmica (Tolentino et al., 1986), onde os ventos dominam no quadrante NE, embora sejam também frequentes na direção SW (Brasil, 1981). Entre os meses de fevereiro e abril a pluviosidade é baixa, conseqüentemente, a lagoa apresenta os níveis mais baixos, chegando a ficar sem lâmina d'água. No período de agosto a setembro a precipitação pluviométrica aumenta, elevando o nível da lagoa. Quando está cheia, a lagoa alcança um metro de profundidade. A temperatura da água varia entre 27 e 32°C entre março e abril e o pH oscila de 8,0 até 9,1 em direção à porção central da lagoa (Lemos, 1996).

Atualmente, a lagoa Salgada é um dos poucos ambientes onde ocorrem estruturas biossedimentares, produzidas por processos sedimentológicos e biológicos, relacionados ao desenvolvimento e crescimento de comunidades microbianas bentônicas (Srivastava, 1997). Nesta localidade podem ser observados estromatólitos em diversos estágios de crescimento (Srivastava e Silva e Silva, 2000). Estas estruturas são formadas principalmente por cianobactérias (Silva e Silva e Senra, 2001).

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo na área se baseou em coletas mensais no período de março de 1999 a dezembro de 2009 em 5 estações na região marginal da lagoa (Figura 2). No ato da coleta, foram aferidos alguns parâmetros físico-químicos como taxa de oxigênio dissolvido, pH, salinidade, transparência e temperatura da água e do sedimento.

As estruturas estromatolíticas foram retiradas através de amostragem manual utilizando martelo de geólogo para estruturas litificadas e espátulas para esteiras microbianas. Paralelamente, a água da lagoa foi amostrada através de garrafa Van Dorn de dois litros, para análise das cianobactérias presentes. Tanto as esteiras microbianas quanto a água da lagoa foram fixadas em solução de formol a 4%.

As estruturas estromatolíticas foram selecionadas segundo os seguintes critérios: integridade, coesão, porosidade, coloração e tamanho da amostra. Foram retirados, pelo menos, dez amostras de cada estágio de desenvolvimento.

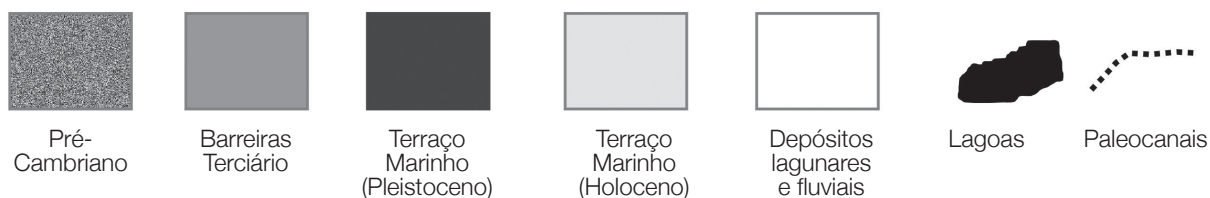
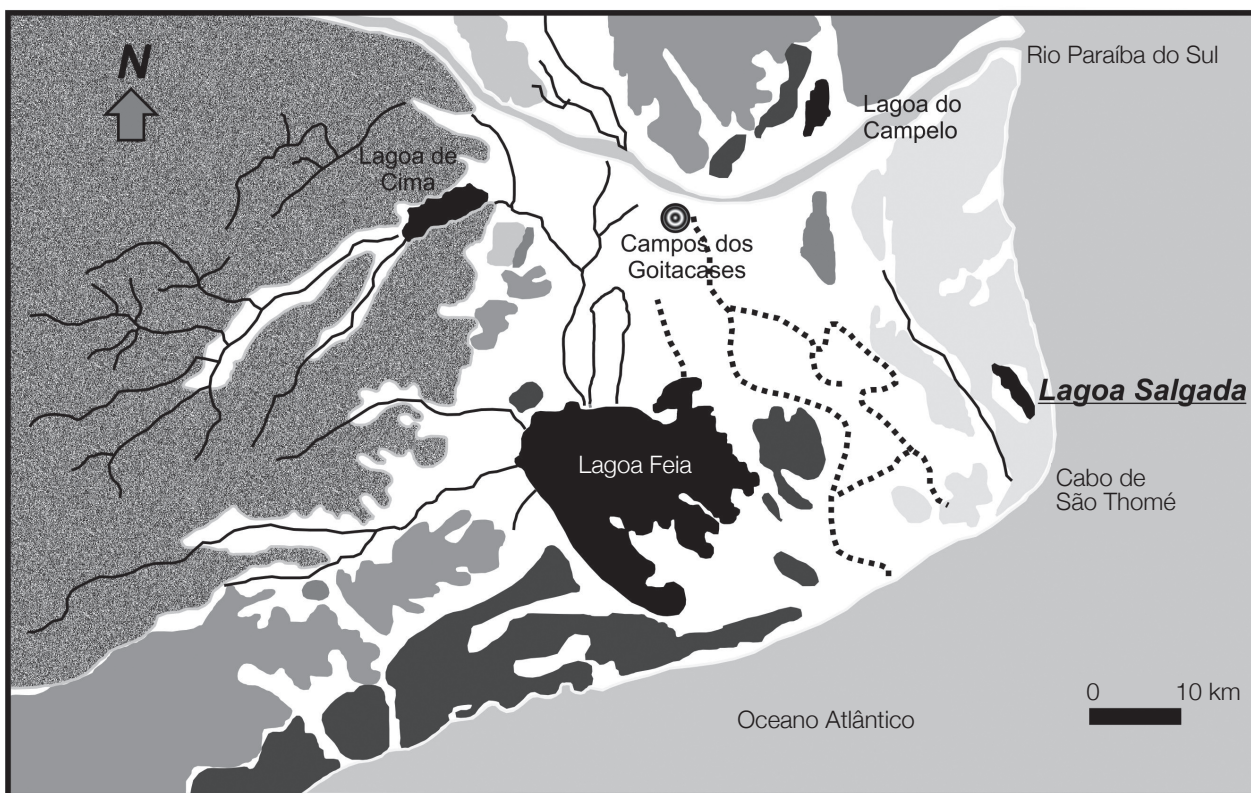
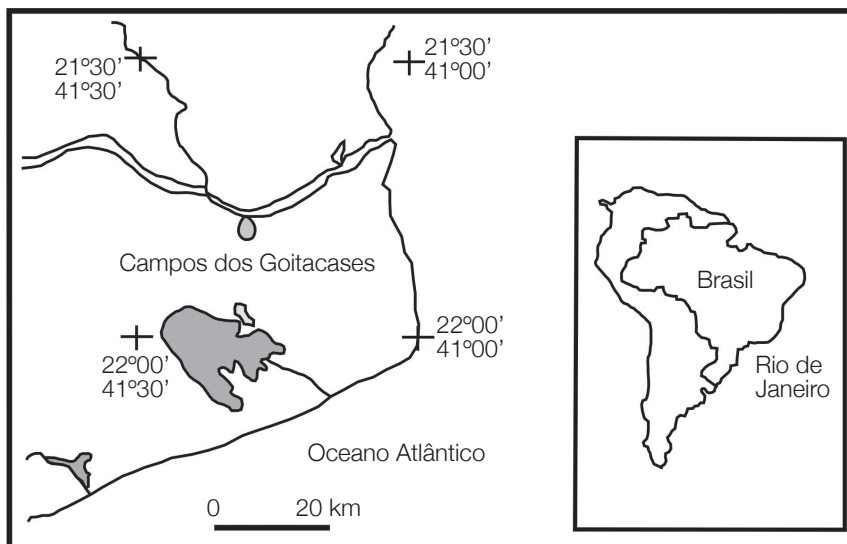


Figura 1. Mapa da região norte do estado do Rio de Janeiro, destacando a lagoa Salgada, o embasamento e sedimentos terciários e quaternários (modificado de Martin, Suguio, Flexor, 1993).

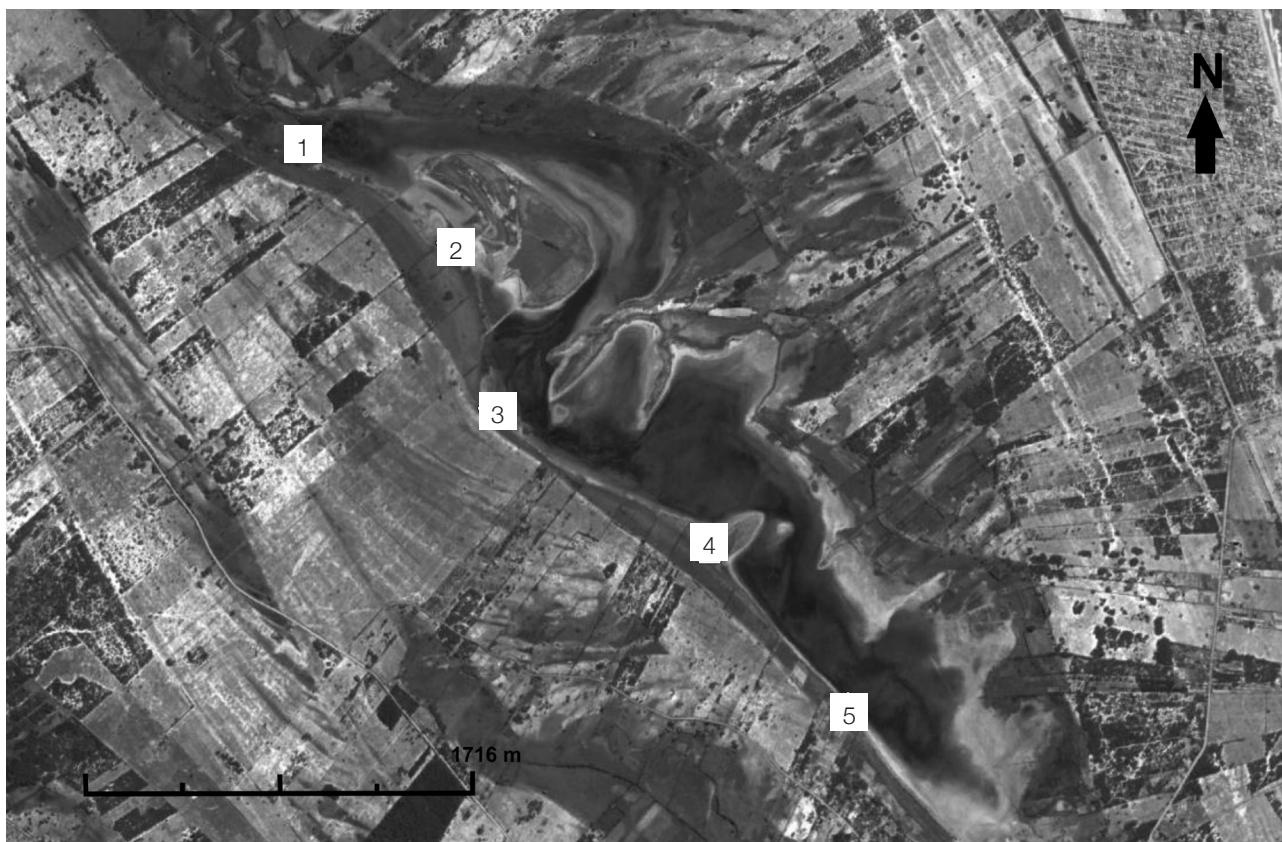


Figura 2. Imagem de satélite da lagoa Salgada. Os números de 1 a 5 indicam a localização dos pontos de coleta (modificado de Google Earth, 2004).

As amostras de estromatólitos estratiformes, individuais e contínuos foram tratadas com uma solução de ácido clorídrico (HCl) 0,1 N para dissolver os carbonatos e liberar as cianobactérias (Halperin, 1967). Após tratamento ácido, as amostras foram neutralizadas e seguiram para montagem de lâminas permanentes para análise da composição cianobacteriana. Para as esteiras microbianas, o preparo da amostra seguiu o descrito por Carvalho (2007), que envolve a retirada de subamostras de 15 mm³ e confecção de lâminas.

O enquadramento taxonômico das cianobactérias baseou-se na classificação proposta por Anagnostidis e Komárek (1988), Komárek e Anagnostidis (1989, 1999) e Prescott (1975).

RESULTADOS

Caracterização e composição química das construções estromatolíticas

Os parâmetros físico-químicos da lagoa forneceram os seguintes valores médios: águas claras, com visibilidade de 0,63 m; temperatura de 27,1°C; pH 8,74; salinidade de

64,7‰; taxa de oxigênio dissolvido de 3,7 mg/L e temperatura da esteira microbiana de 26,1°C.

As esteiras microbianas possuem espessura média de 20 cm e foram classificadas como lisa, tufada (Figura 3), poligonal (Figura 4) e em bolha. Elas apresentam um estrato verde superficial, de espessura variável entre os quatro tipos de esteiras, onde a matéria orgânica é produzida através da fotossíntese.

Os estromatólitos estratiformes consistem de placas poligonais litificadas com espessura média de 2,8 mm e diâmetro médio de 29,7 cm. Apresentam laminações irregulares, descontínuas, crescem vertical e horizontalmente, possuem coloração do cinza até o branco, podendo apresentar manchas avermelhadas e esverdeadas.

Os estromatólitos individuais e lateralmente contínuos são corpos litificados, estratificados, exibindo laminações alternadas de carbonato de cálcio (claras) e matéria orgânica (escuras). Estromatólitos individuais apresentam morfologia dômica (Figura 5) ou colunar. Os estromatólitos dômicos são porosos, cimentados densamente na porção externa e friáveis internamente; os poros variam de formato, aparecendo orifícios circulares, elípticos e irregulares, sendo que muitos deles estão ligados a fissuras rasas ou profundas. Os

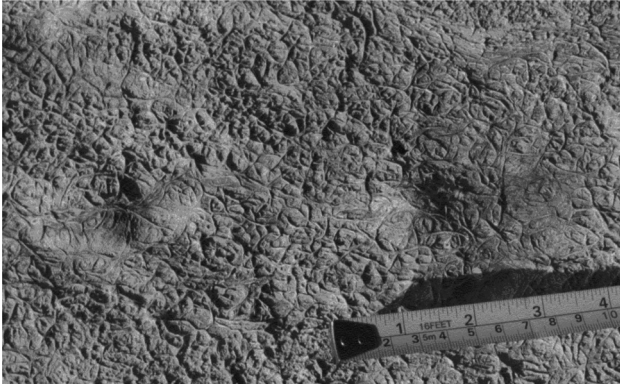


Figura 3. Esteira microbiana tufada mostrando impressões de *Lyngbya aestuarii*.

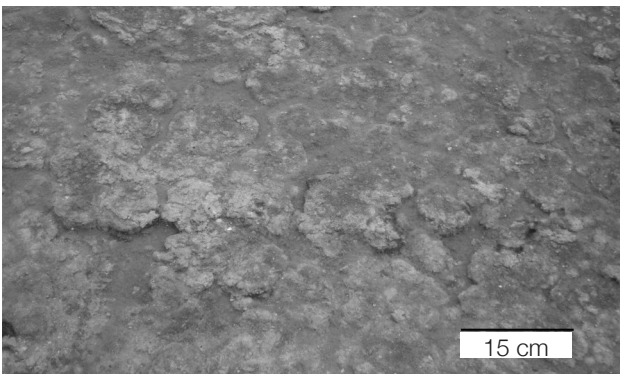


Figura 4. Esteira microbiana poligonal composta por alta frequência de cianobactérias da espécie *Microcoleus chthonoplastes*.

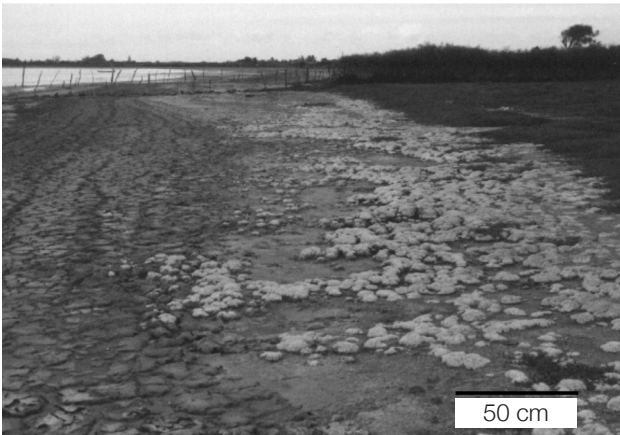


Figura 5. Vista parcial dos estromatólitos individuais dômicos.

estromatólitos colunares são subcilíndricos e se expandem em relação ao ápice. Datação realizada com ^{14}C nos estromatólitos individuais apontou idade de 2.500 AP (Srivastava e Almeida, 2000). Os estromatólitos lateralmente contínuos ocorrem em forma tabular e dômica, com altura média de 55 cm.

A análise química inorgânica dos estromatólitos e da água da lagoa são descritas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Composição biológica das estruturas

A distribuição das espécies de cianobactérias nas estruturas estromatolíticas e na coluna d'água está resumida na Tabela 3.

O levantamento taxonômico das cianobactérias apontou a presença de 19 espécies nas esteiras microbianas, sendo 4 da Família *Chroococcaceae* Nägeli 1849, 3 da *Synechococcaceae* Komárek e Anagnostidis 1995, 2 da *Phormidiaceae* Anagnostidis e Komárek 1988, 2 da *Oscillatoriaceae* [S. F. Gray] Harvey ex Kirchner 1898, 2 da *Hyellaceae* Borzi 1914, 2 da *Nostocaceae* Kützing 1843, 2 da *Pseudanabaenaceae* Anagnostidis e Komárek 1988, 1 da *Schizotricaceae* Elenkin 1934 e 1 da *Merismopediaceae* Elenkin 1933.

Nos estromatólitos estratiformes foram encontradas 15 espécies, sendo 4 da Família *Synechococcaceae* Komárek e Anagnostidis 1995, 3 da *Chroococcaceae* Nägeli 1849, 2 da *Schizotricaceae* Elenkin 1934, 2 da *Phormidiaceae* Anagnostidis e Komárek 1988, 2 da *Hyellaceae* Borzi 1914, 1 da *Oscillatoriaceae* [S. F. Gray] Harvey ex Kirchner 1898 e 1 da *Pseudanabaenaceae* Anagnostidis e Komárek 1988.

Nos estromatólitos individuais e contínuos foram identificadas 19 espécies, sendo 4 da Família *Phormidiaceae* Anagnostidis e Komárek 1988, 4 da *Synechococcaceae* Komárek e Anagnostidis 1995, 2 da *Schizotricaceae* Elenkin 1934, 2 da *Chroococcaceae* Nägeli 1849, 2 da *Oscillatoriaceae* [S. F. Gray] Harvey ex Kirchner 1898, 2 da *Mastigocladaceae* Geitler 1925, 1 da *Nostocopsidaceae* Geitler 1925, 1 da *Hyellaceae* Borzi 1914 e 1 da *Pseudanabaenaceae* Anagnostidis e Komárek 1988.

Na coluna d'água foram levantadas 30 espécies de cianobactérias planctônicas.

Associados aos estromatólitos foram encontrados bioclastos compostos por bivalves atribuídos à espécie *Anomalocardia brasiliiana* Gmelin 1791, gastrópodes incluídos no gênero *Heleobia* Stimpson 1865, ostracódios pertencentes ao gênero *Cyprideis* Jones 1857, foraminíferos e cirripédios, bem preservados e em abundância (Figura 6). Os foraminíferos foram identificados por Rodrigues, Carvalho e Dias (1981) e são representados por 75 espécies. Muitos destes restos esqueléticos ocorrem nos estromatólitos estratiformes, onde se destacam os gastrópodes, ostracódios e foraminíferos.

DISCUSSÃO

Esteiras microbianas são consideradas precursoras, ou ainda, o primeiro estágio no desenvolvimento dos

estromatólitos, pois seu empilhamento e litificação podem gerar estromatólitos de acordo com Schopf (1995); ademais, compõem a superfície de acreção dos estromatólitos já formados (Riding, 2000). Para seu desenvolvimento se fazem necessárias condições ambientais específicas, tais como alto índice de luminosidade, somado a baixa bioturbação e pastagem mínima ou ausente. Fatores ambientais como alta salinidade e temperatura têm um papel fundamental na gênese de um ambiente ótimo para desenvolvimento das esteiras microbianas segundo Kühle e Fenchel (2000). Os parâmetros físico-químicos da lagoa Salgada ofereceram valores médios que são compatíveis com o desenvolvimento estromatolítico: a lagoa apresenta águas claras, com visibilidade de 0,63 m, que permite a penetração da luz ao longo da coluna d'água garantindo o recebimento de luz solar, por todas as estruturas, submersas ou não, além de temperatura acerca de 27,1°C, pH alcalino e salinidade elevada que limitam o desenvolvimento de organismos competidores das cianobactérias.

A caracterização de Hoffman (1976) para tipos de esteiras microbianas em Hamelin Pool (Shark Bay, oeste da Austrália) utiliza a correlação entre a morfologia superficial das esteiras, seus principais componentes cianobacterianos e sua localização marginal nos corpos d'água. As esteiras tufadas da lagoa Salgada não só apresentam a característica dominância diagnóstica de *Lyngbya aestuarii* como também sua associação com *Microcoleus chthonoplastes*. Nas esteiras poligonais predominam, como descrito para o tipo anterior, *M. chthonoplastes*, assim como nos tipos em bolha e lisa, são encontrados respectivamente os gêneros *Microcoleus* e *Schizothrix* em abundância.

A estrutura interna das esteiras exibe uma estratigrafia biológica originada pela interação da microbiota residente com a variação dos fatores ambientais. Apresentam um estrato verde superficial, de espessura variável entre os quatro tipos de esteira, onde predominam as cianobactérias e a matéria orgânica produzida através da fotossíntese.

Trabalhos realizados em esteiras microbianas recentes apontam que a parte superior do estrato verde é composta de diatomáceas e carbonatos seguida por cianobactérias (Höhn, Tobschall, Maddock, 1986). Abaixo do estrato verde observa-se mais comumente um estrato vermelho composto por bactérias aeróbicas e bactérias fotossintetizantes anaeróbicas. Abaixo deste, encontra-se uma secção ou zona escura anaeróbica, altamente sulfurosa, marcando a última unidade da esteira (Stolz, 2000; Villanueva, 2005; Franks e Stolz, 2009).

Quanto à composição microbiana, foram identificadas 31 espécies de cianobactérias para todas as etapas de desenvolvimento das estruturas estromatolíticas. A família de maior frequência foi a *Synechococcaceae*

Komarék e Anagnostidis 1995 com 22,6%, seguida das famílias *Phormidiaceae* Anagnostidis e Komárek 1988 (16,2%); *Chroococcaceae* Nägeli 1849 (12,9%); *Oscillatoriaceae* [S. F. Gray] Harvey ex Kirchner 1898 (9,7%); *Hyellaceae* Borzi 1914 (6,4%); *Schizotricaceae* Elenkin 1934 (6,4%); *Pseudanabaenaceae* Anagnostidis e Komárek 1988 (6,4%); *Nostocaceae* Kützing 1843 (6,4%); *Mastigocladaceae* Geitler 1925 (6,4%); *Merismopediaceae* Elenkin 1933 (3,3%); *Nostocopsidaceae* Geitler 1925 (3,3%).

Foram comuns a todas as estruturas as seguintes espécies: *Leptolyngbya tenuis* (Gomont) Anagnostidis e Komárek 1988, *Lyngbya aestuarii* (Liebman) Gomont 1892, *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont 1892, *Schizothrix friesii* (Agardh) Gomont 1892, *Aphanothece halophytica* Hof e Frémy 1933, *Aphanothece saxicola* Nägeli 1849, *Chroococcus minor* (Kützing) Nägeli 1849, *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli 1849, *Hyella balani* Lemmermann 1903 (Figura 7).

Tabela 1. Análise química dos estromatólitos individuais.

Composto químico	%
Al ₂ O ₃	0,12
CaO	39,41
Cr ₂ O ₃	0,01
Fe ₂ O ₃	0,43
MgO	8,31
MnO	0,04
Na ₂ O ₃	0,29
P ₂ O ₅	0,03
SiO ₂	7,48
SnO ₂	0,03
TiO ₂	0,06
V ₂ O ₅	0,01
ZrO ₂	0,01
SrO	0,00029
BaO	0,00058

Tabela 2. Composição química da água da lagoa.

Elemento químico	ppm
Ca	3.120
Mg	14.600
Sr	160
Ba	6.60
Na	16.800
K	5.600

Tabela 3. Distribuição das cianobactérias nas estruturas estromatolíticas e água da lagoa Salgada.

Táxons	Esteiras microbianas	Estromatólitos estratiformes	Estromatólitos individuais e contínuos			Planctônicas
			Porção basal	Porção mediana	Porção apical	
FORMAS ESFÉRICAS	<i>Aphanocapsa litoralis</i>	X				X
	<i>Aphanothece castagnei</i>	X				X
	<i>Aphanothece halophytica</i>	X	X			X
	<i>Aphanothece saxicola</i>	X	X	X		X
	<i>Aphanothece stagnina</i>		X			
	<i>Chroococcus dispersus</i>	X	X			X
	<i>Chroococcus membraninus</i>	X				X
	<i>Chroococcus minor</i>	X	X	X		X
	<i>Chroococcus turgidus</i>	X	X			X
	<i>Cyanocystis sphaerica</i>					X
	<i>Dactylococcopsis acicularis</i>		X			
	<i>Entophysalis granulosa</i>					X
	<i>Gloeocapsa magma</i>					X
	<i>Gloeothece linearis</i>			X	X	X
	<i>Gloeothece vibrio</i>					X
	<i>Hyella balani</i>	X	X		X	X
	<i>Hyella caespitosa</i>	X	X			X
FORMAS FILAMENTOSAS	<i>Calothrix confervicola</i>	X				X
	<i>Calothrix crustacea</i>	X				X
	<i>Hapalosiphon hibernicus</i>				X	
	<i>Hapalosiphon cf. stuhlmannii</i>					X
	<i>Jaaginema geminatum</i>					X
	<i>Kyrtuthrix maculans</i>					X
	<i>Leptolyngbya komarovii</i>	X				X
	<i>Leptolyngbya tenuis</i>	X	X		X	X
	<i>Lyngbya aestuarii</i>	X	X	X	X	X
	<i>Mastigocoleus testarum</i>			X		
	<i>Microcoleus chthonoplastes</i>	X	X	X	X	X
	<i>Microcoleus vaginatus</i>			X		
	<i>Oscillatoria terebriformis</i> <i>cf. amphigranulata</i>	X				X
	<i>Oscillatoria vizagapatensis</i>				X	X
	<i>Phormidium aero-caeruleum</i>					X
	<i>Phormidium ambiguum</i>					X
	<i>Phormidium foveolarum</i>					X
	<i>Phormidium hypolimneticum</i>	X	X			X
	<i>Phormidium retzii</i>					X
	<i>Porphyrosiphon martensianus</i>					X
<i>Schizothrix arenaria</i>		X			X	
<i>Schizothrix friesii</i>	X	X	X		X	
<i>Tychonema granulatum</i>					X	

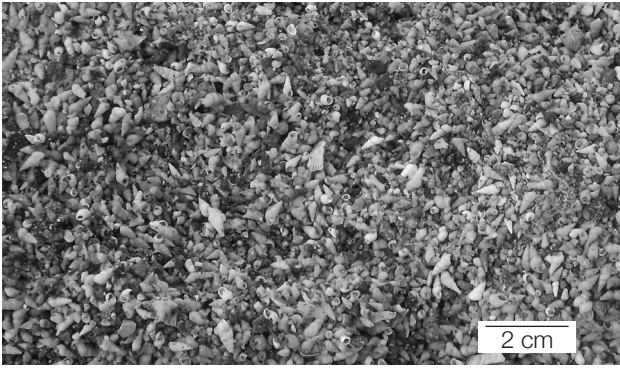


Figura 6. Bioclastos associados aos estromatólitos.

A análise da distribuição vertical das espécies apontou a existência de uma modificação da população cianobacteriana em todas as estruturas com a substituição das formas filamentosas pelas formas esféricas do topo para a base.

A Família *Phormidiaceae* Anagnostidis e Komárek 1988, composta de formas filamentosas, ocorre com maior número de espécies nos estromatólitos individuais e contínuos. *Phormidium hypolimneticum* Campbell 1985 (Figura 7) e *Hyella caespitosa* Bornet e Flahault 1889 ocorrem somente nos dois primeiros estágios do crescimento estromatolítico. Sua ausência nos estromatólitos individuais e

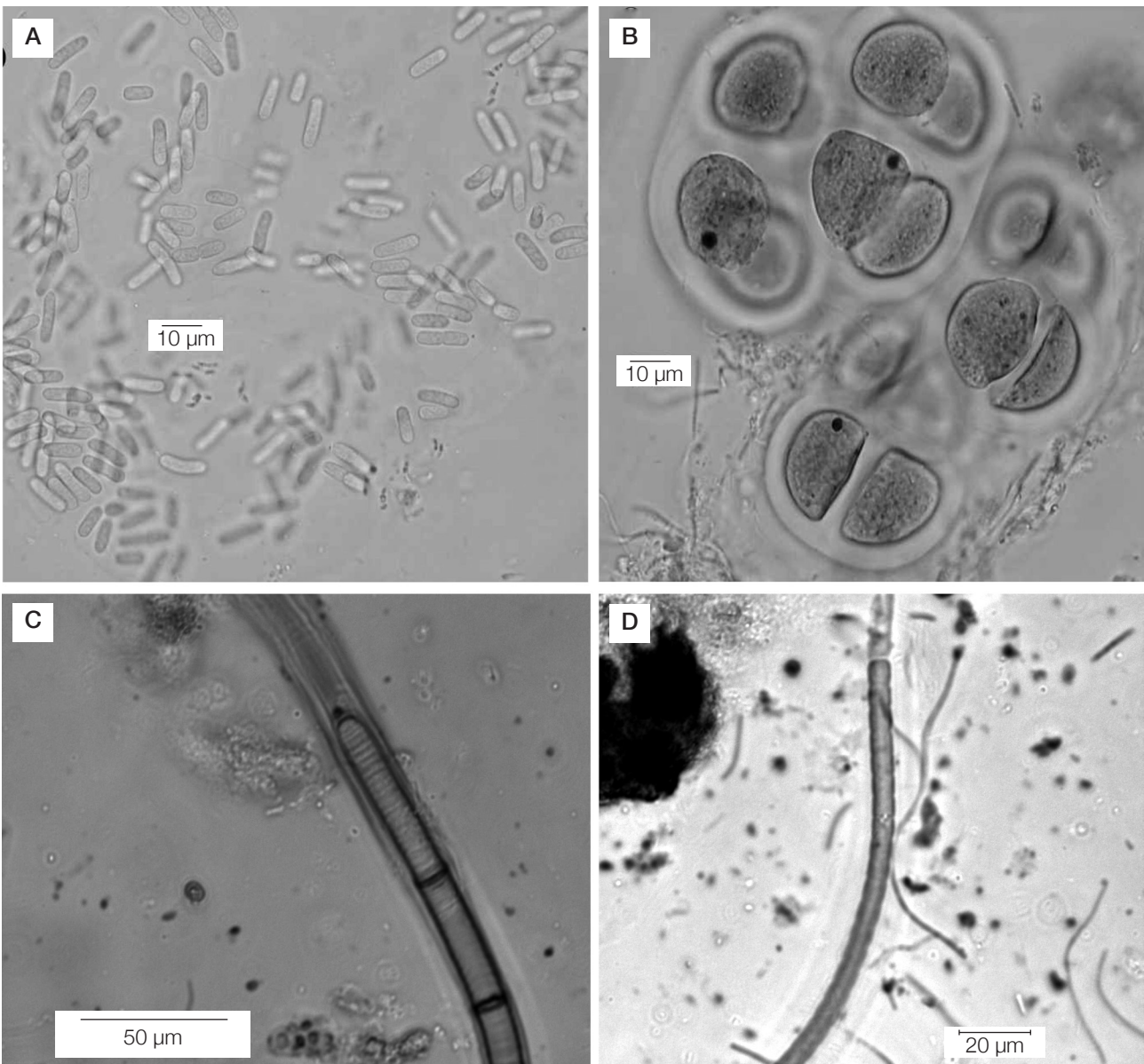


Figura 7. Cianobactérias esféricas e filamentosas. (A) *Aphanothece halophytica*; (B) *Chroococcus turgidus*; (C) *Lyngbya aestuarii*; (D) *Phormidium hypolimneticum*.

contínuos pode estar relacionada à alternância de condições de umidade e ressecamento.

As formas filamentosas e esféricas observadas nas estruturas recentes da lagoa Salgada se assemelham aos microfósseis de prováveis cianobactérias preservados em estromatólitos proterozoicos silicificados (Amard e Bertrand-Sarfati, 1997).

Como foi demonstrado pela análise química, o óxido de cálcio é o principal composto químico da sedimentação carbonática. No caso da lagoa Salgada, a taxa de CaO é cerca de 40% em relação aos demais compostos. Em geral, somente uma pequena percentagem de carbonato de cálcio disponível é ativamente precipitada pelas células das cianobactérias. Entretanto de acordo com Thompson e Ferris (1990), o envolvimento destes microrganismos autotróficos na precipitação destes minerais está intimamente relacionado à sua atividade fotossintética e a produção de biomassa. Neste cenário a retirada de CO₂ da água leva a uma depleção deste que, em resposta, causa uma mudança no equilíbrio inorgânico do carbono (para CO₃⁻²), um concomitante aumento no pH e deposição de CO₃⁻². Esta sequência de eventos leva a produção de camadas de CaCO₃ como descrito por Pearl, Steep e Reid (2001).

Os altos níveis de magnésio encontrados na água da lagoa indicam um ambiente rico neste componente e nos estromatólitos apontam para a presença de calcita magnésiana e/ou dolomita. De acordo com Sánches-Róman et al. (2011) muitos ambientes onde a dolomita ocorre são ricos em Mg dissolvido. Embora estudados de forma mais intensa desde a década de 1990 do último século (Lemos, Silva, Spadini, 1994) os estromatólitos da lagoa Salgada ainda carecem de estudos mais refinados quanto à mineralogia utilizando métodos mais modernos e precisos, como a difração de raios x.

CONCLUSÕES

O estudo ratifica que as cianobactérias são microrganismos tolerantes a intensas variações de salinidade e temperatura. Ocorrem em abundância em meios aquáticos hipersalinos, se manifestam por uma sucessão específica, apresentam uma alta taxa de ocupação do substrato e tendem a excluir os organismos menos adaptáveis, permanecendo uma população de fraca diversidade específica.

Os estromatólitos são estruturas intrincadas. Na área de estudo foram verificados três estágios de desenvolvimento dos estromatólitos. Existem diferenças entre as laminações dos estromatólitos estratiformes e dos individuais. As laminações dos estromatólitos são o resultado da natureza do crescimento microbiano e do hábito de

precipitação ou aprisionamento do carbonato de cálcio. O domínio do conteúdo biótico está relacionado às cianobactérias, que respondem pela diversidade interestrutural variável.

O estudo evidencia que as esteiras são precursoras dos estromatólitos. Existe uma relação entre a comunidade de cianobactérias e a morfologia das esteiras microbianas. Estas comunidades microbianas têm sua composição taxonômica relacionada às condições ambientais.

Estromatólitos modernos se formam em locais peculiares, com diferentes salinidades, sob climas quentes e secos, com comunidade cianobacteriana expressiva, como a lagoa Salgada. Sua importância geológica está associada à reconstrução paleoambiental destes registros fósseis, pois evidenciam condições ambientais semelhantes no passado.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), através do Instituto Virtual de Paleontologia (IVP) e pelo Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânicas (LAFO) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Departamento de Geologia/CCMN/IGEO através da confecção de imagens das cianobactérias.

REFERÊNCIAS

- AMARD, B.; BERTRAND-SARFATI, J. Microfossils in 2000 Ma old cherty stromatolites of the Franceville Group, Gabon. *Precambrian Research*, v. 81, n. 3-4, p. 197-221, 1997.
- ANAGNOSTIDIS, K.; KOMÁREK, J. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 – Oscillatoriales. *Archiv für Hydrobiologie / Algological studies*, supplement volumes, n. 50-53, p. 327-472, 1988.
- BARROSO, L. V.; BERNARDES, M. C. Um patrimônio ameaçado: poluição, invasão e turismo sem controle ameaçam as lagoas fluminenses. *Ciência Hoje*, v. 19, n. 110, p. 70-74, 1995.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. *Projeto de abertura de um passe navegável na Barra do Furado, município de Campos – estado do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias, 1981. 112 p.

- CARVALHAL, S. B. V. *Caracterização geomicrobiológica das esteiras microbianas da lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro)*. 2007. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- DIAS, G. T. M.; GORINI, M. A. A baixada campista. Estudo morfológico dos ambientes litorâneos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. *Resumos...* Santa Catarina, 1980. p. 588-602.
- ESTEVES, F. A. *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do município de Macaé (RJ)*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 56.
- FRANKS, J.; STOLZ, J. F. Flat laminated microbial mat communities. *Earth-Science Reviews*, v. 96, n. 3, p.163-172, 2009.
- GOOGLE EARTH. Imagem de satélite modificada demonstrando o aspecto geral da lagoa Salgada e pontos de coleta. 2004. Disponível em: <https://docs.google.com/file/d/0B71_cb-1Waz-VkljWE9SLUJDUjg/edit?usp=sharing>. [Imagem histórica da região em 25 mar. 2004 - armazenada em arquivo do Google Earth]. Acesso em: 14 nov. 2012.
- HALPERIN, D. R. Cianofíceas marinas de Puerto Deseado (Argentina) II. *Darwiniana*, v. 14, n. 2, p.273-354, 1967.
- HOFFMAN, P. Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: WATER, M. R. *Developments in sedimentology*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company, 1976, p. 261-271.
- HÖHN, A.; TOBSCHALL, H. J.; MADDOCK, J. E. L. Biogeochemistry of a hypersaline lagoon east of Rio de Janeiro, Brasil. *Science of the Total Environment*, v. 58, n. 1-2, p. 175-185, 1986.
- IGNACCOLO, M.; SCHWETTMANN, A.; FAILLA, R.; STORRIE-LOMBARDI, M. C.; GRIGOLINI, P. Stromatolites: Why do we care? *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 20, p. 45-148, 2004.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. Modern approach to the classification system of cyanophytes. 4-Nostocales. *Archiv für Hydrobiologie / Algological studies*, supplement volumes, n. 56, p. 247-345, 1989.
- KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K. *Süßwasserflora von Mitteleuropa Band 19/1: Cyanophyta 1. Teil: Chroococcales*. 2nd ed., Stuttgart: Gustav Fischer, 1999. 548p.
- KÜHL, M.; FENCHEL, T.; KAZMIERCZAK, J. Growth, structure and calcification potential of an artificial cyanobacterial mat. In: KRUMBEIN, W.E.; PATERSON, D. M.; ZAVARZIN, G. *Fossil and recent biofilms, a natural history of the impact of life on planet Earth*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 65-76.
- KÜHL, M. I.; FENCHEL, T. Bio-optical characteristics and the vertical distribution of photosynthetic pigments and photosynthesis in an artificial cyanobacterial mat. *Microbial Ecology*, v. 40, p. 94-103, 2000.
- LEMOS, R.M.T. *Estudo das fácies deposicionais e das estruturas estromatolíticas da lagoa Salgada - Rio de Janeiro*. 1996. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- LEMOS, R. M. T.; SILVA, C. G.; SPADINI, A. R. 1994. Estratigrafia e estromatólitos recentes da Lagoa Salgada - RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 38., Camboriú, 1994. *Anais...*, Santa Catarina, p. 258-260.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K. E.; FLEXOR, J. M. As flutuações de nível do mar durante o quaternário Superior e a evolução geológica de “deltas” brasileiros. *Boletim IG-USP*. Publicação Especial, n. 15, p. 1-186, 1993.
- MOREIRA-TURCQ, P. F. Impact of a low salinity year on the metabolism of hypersaline coastal lagoon (Brazil). *Hydrobiologia*, v. 429, n. 1-3, p. 133-140, 2000.
- PEARL, H. W.; STEEP, T. F.; REID, R. P. Bacterially mediated precipitation in marine stromatolites. *Environmental Microbiology*, v. 3, n. 2, p. 123-130, 2001.
- PETRUCIO, M. M. Caracterização das lagoas Imboassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus a partir da temperatura, salinidade, condutividade, alcalinidade, O₂ dissolvido, pH, transparência e material em suspensão. In: ESTEVES, F. A. *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga*

- de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ). Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 109-112.
- PRESCOTT, G. W. *Algae of the Western Great Lakes area*. 6th ed., Iowa: W. M. C. Brown Company, 1975. 977p.
- RIDING, R. *Calcareous algae and stromatolites*. New York: Springer-Verlag, 1991. 571p.
- RIDING, R. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilmes. *Sedimentology*, v. 47, issue supplement sl. p. 179-214, 2000.
- RIDING, R. The Nature of Stromatolites: 3,500 Million Years of History and a Century of Research. In: REITNER, J.; QUÉRIC, N-V.; ARP, G. *Advances in Stromatolite Geobiology*. Heidelberg: Springer, 2011. p. 29-74. (Lecture Notes in Earth Sciences, 131).
- RODRIGUES, M. A.; CARVALHO, M. G. P.; DIAS, G. T. M. Interpretação paleoambiental das lagoas Salgada e das Ostras (RJ) Brasil, com base em foraminíferos. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO PALEONTOLOGIA, 2., 1981, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: UFRGS, 1981. p. 893-906.
- ROLAND, F. Produção fitoplanctônica em diferentes classes de tamanho nas lagoas de Imboassica e Cabiúnas. In: ESTEVES, F. A. *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do município de Macaé (RJ)*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 159-160.
- SÁNCHEZ-ROMÁN, M.; ROMANEK, C. S.; FERNÁNDEZ-REMOLAR, D. C.; SÁNCHEZ-NAVAS, A.; MCKENZIE, J. A.; PIBERNAT, R. A.; VASCONCELOS, C. Aerobic biomineralization of Mg-rich carbonates: Implications for natural environments. *Chemical Geology*, v. 281, p. 143-150, 2011.
- SCHOPF, J. W. Ritmo e modo da evolução microbiana pré-cambriana. *Estudos Avançados*, v. 9, n. 23, p. 195-216, 1995.
- SILVA E SILVA, L. H. *Contribuição ao conhecimento da composição microbiana e química das estruturas estromatolíticas da lagoa Salgada, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil*. 2002. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SILVA E SILVA, L. H.; SENRA, M. C. E. Estromatólitos da lagoa Salgada, Quaternário do estado do Rio de Janeiro, Brasil. In: CONGRESSO IBÉRICO DE PALEONTOLOGIA, 1., 2000, Évora. *Resumos...* Évora: Fundação Luis de Molina, 2000a. p. 95-96.
- SILVA E SILVA, L. H.; SENRA, M. C. E. Estudo comparativo de esteiras microbianas presentes em duas lagoas hipersalinas. *Revista Universidade Guarulhos. Geociências*, v. 5, p. 225-227, 2000b.
- SILVA E SILVA, L. H.; SENRA, M. C. E. Ocorrência de construções estromatolíticas holocênicas na porção marginal da lagoa Salgada, Rio de Janeiro, Brasil. In: JORNADAS DE PALEONTOLOGÍA, 17., 2001, Albarracín. *Resumos...* Albarracín: SEP, 2001. p. 177-182.
- SILVA, C. G. *Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da lagoa Feia. RJ*. 1987. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- SOFFIATI, A. Aspectos históricos das lagoas do norte do estado do Rio de Janeiro. In: ESTEVES, F. A. *Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 8.
- SOUZA, C. R. G.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ESTEVES, S. L.; VITAL, H.; DILLENBURG, S. R.; PATCHINEELAM, S. M.; ADDAD, J. E. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; SANTOS, A. M.; OLIVEIRA, P. E. *Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005. p. 130-152.
- SRIVASTAVA, N. K. Estromatólitos. In: CARVALHO, I. S. *Paleontologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. p. 119-134.
- SRIVASTAVA, N. K. Os mais antigos fósseis. *Ciência Hoje*, v. 22, p. 18-19, 1997.
- SRIVASTAVA, N. K.; ALMEIDA, L. B. Lagoa Salgada recent stromatolites. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. *Abstract...* Rio de Janeiro: IUGS, 2000. CD-ROM.
- SRIVASTAVA, N. K.; SILVA E SILVA, L. H. Recent microbiolites and their phycological composition, lagoa Salgada (Rio de Janeiro), Brazil. In: INTERNATIONAL

GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. *Abstract...* Rio de Janeiro: IUGS, 2000. CD-ROM.

STOLZ, J. F. Structure of microbial mats and biofilms. In: RIDING R. E., AWRAMIK S. M. *Microbial Sediments*. Heidelberg: Spriger-Verlag, 2000. p. 1-8.

THOMPSON, J. B.; FERRIS, F. G. Cyanobacterial precipitation of gypsum, calcite, and magnesite from natural alkaline lake water. *Geology*, v. 18, n. 10, p. 995-998, 1990.

TOLENTINO, M.; ESTEVES, F. A.; ROLAND, F.; THOMAZ, S. M. Composição química do sedimento de 12 lagoas do litoral fluminense e sua utilização na tipologia destes ecossistemas. *Acta Limnológica Brasiliensia*, v. 1, p. 431-447, 1986.

VILLANUEVA, L. A. *Ecophysiological and molecular characterization of estuarine microbial mats*. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade de Barcelona, Barcelona.