



**Análise de Microbiofácies das Esteiras
Microbianas da Lagoa Pitanguinha (Região dos Lagos, RJ, Brasil)**

Microbial Mat Microbiofacies Analysis of the Pitanguinha Lagoon (Região dos Lagos, RJ, Brazil)

Lucas Rocha^{1,2} & Leonardo Borghi¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, CCMN, IGEO, Departamento de Geologia,
Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed). Av. Athos da Silveira Ramos, 274, bloco J1, s/J1-011. 21.941-916
Campus Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

² Universidade Federal do Espírito Santo, CCA, Departamento de Geologia.
Alto Universitário, s/n. (Prédio Geologia). 29.500-00 Campus Guararema, Alegre, ES, Brasil

E-mails: lucasrocha.geo@gmail.com; lborghi@geologia.ufrj.br

Recebido em: 13/12/2016 Aprovado em: 10/02/2017

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_1_191_205

Resumo

O termo ‘microbiofácies’ possui, mais comumente, uma conotação petrográfica sobre estudos faciológicos de rochas carbonáticas com grãos fósseis em microescala, para o que talvez fosse mais adequado o termo ‘biomicrofácies’; todavia esse termo é aqui empregado com uma conotação de biofácies de natureza microbianas. A ocorrência de microbialitos em diversas das lagoas (lagunas) fluminenses vem se revelando extremamente importante para o estudo de processos e fácies carbonáticas de origem microbiana, as quais ganharam evidência depois das descobertas de petróleo na “camada Pré-sal”, dessa possível natureza. Dentre tais lagoas, a Lagoa Pitanguinha apresenta não só esteiras microbianas contendo partículas carbonáticas, aqui estudadas, mas também estromatólitos, trombólitos e oncoides. O estudo caracteriza esteiras microbianas (microbialitos) em termos biossedimentológicos, tanto morfologicamente, em campo, quanto em termos de suas texturas e microestruturas presentes, através de microscopia (microscópio petrográfico), com a finalidade de se estabelecer um esquema de classificação de microbiofácies. A Lagoa Pitanguinha formou-se durante o Holoceno, como resultado de uma regressão marinha, que a isolou do mar por um conjunto de cordões praias estreito, tendo ela desenvolvido condições de hipersalinidade em suas águas devido a condições de aridez local e influxo da cunha salina marinha. Nesse contexto, identificaram-se quatro microbiofácies (MBF-C, Coliforme; MBF-Po, Poligonal; MBF-Pu, Pustular; MBF-O e Oncoidal) em observações de campo em janeiro de 2014, sob condições de nível alto da laguna (ano chuvoso), porém hipersalino, e em janeiro de 2015, sob condições de grande aridez e maior hipersalinidade. As microbiofácies mostram-se controladas peculiarmente pelo aumento da hipersalinidade, à medida em que o nível d’água rebaixa, expondo progressivamente as suas margens, durante o período de forte estiagem. Aponta-se a desidratação da esteira em ambiente subaquoso que se hipersaliniza como mecanismo precursor de fendilhamentos (gretas de sinérese) observados, que se ampliam ou remodelam quando da eventual exposição e desidratação subaérea.

Palavras-chave: Microbialito; Esteira Microbiana; Estromatólito; Lagoa Pitanguinha

Abstract

The term ‘microbiofacies’ has most commonly a petrographic connotation for faciologic studies of carbonate rocks with plenty of fossil grains in microscale, for what it might be more appropriate the term ‘biomicrofácies’; however this term is used here with a connotation of a biofacies of microbial nature. The occurrence of microbialites in several lagoons in the southeastern coast of Rio de Janeiro State (namely Região dos Lagos) has been revealing extremely important for the study of carbonate processes and facies of microbial origin, which gained evidence after the discovery of the “Pre-salt” petroleum province in Brazil, of this putative nature. Among these lagoons, the Lagoa Pitanguinha (here under study) present not only microbial mats containing carbonate particles, but also stromatolites, thrombolites and oncoids. This study characterises the microbial mats (microbialites) from a biosedimentological perspective, in terms of their morphologies and textures, in the field, and in terms of their structures and composition, by microscopy (petrographic microscope), in order to establish a microbiofacies classification scheme. The Lagoa Pitanguinha (lagoon) was formed during the Holocene, as a result of a marine regression, that isolated it from the sea by a set narrow strandplains, and developed hypersalinity conditions in its waters due to the regional climatic aridity and the invasion of marine salt wedge. In this context, four microbiofacies were possible to be identified (MBF-C, Coliform; MBF-Po, Polygonal, MBF-Pu, Pustular; MBF-O, Oncoidal) during field observations in August 2014 – under a high level of the lagoon conditions (rainy year), but hypersaline – and in January 2015 – under conditions of great aridity and greater hypersalinity. The microbiofacies show to be peculiarly controlled by increasing hypersalinity, as lagoonal water level drops, gradually exposing their margins during drought periods. Dehydration of some of the microbial mats in subaqueous environment which is been hypersalinized (synaeresis) seems to be a precursor mechanism of the cracking observed in many of the mats, which may be enhanced or remodeled by the subsequent exposure and subaerial dehydration.

Keywords: Microbialite; Microbial Mat; Stromatolite; Pitanguinha Lagoon

1 Introdução

A Geomicrobiologia trata do estudo dos organismos microbianos associados a processos biogeoquímicos como, por exemplo, dissolução e precipitação de minerais pela atividade biológica celular (*cf.* Ehrlich, 2002); por outro lado, a Biossedimentologia enfoca, dentro da visão processo–produto da Sedimentologia, o estudo do registro geológico biomineralizado (recifes), bioacumulado (coquinas) ou bioturbado (icnitos), além do bioinduzido (microbialitos) – aqui tratado – também abordado pela Geomicrobiologia.

Segundo Burne & Moore (1987), microbialitos são depósitos organossedimentares formados pela interação entre comunidades microbianas bentônicas e sedimentos químicos ou detríticos acumulados por processos de precipitação ou por aprisionamento e ligamento das partículas *in situ*, como resultado da atividade microbiana. Tais depósitos contêm estruturas sedimentares primárias biogênicas e são comumente identificados como estromatólitos.

O termo “MISS” (*microbially induced sedimentary structures*), definido por Noffke *et al.* (2001), aborda especificamente estruturas sedimentares biogênicas formadas pela interação de esteiras microbianas ou biofilmes com sedimentos terrígenos, particularmente arenosos (*q.v.* Noffke, 2003, 2008; Noffke & Krumbein, 1999); ou, ampliando-se a abrangência do termo, também com sedimentos lamosos (*e.g.*, Schieber, 1998), aloquímicos (*e.g.*, Sampaio *et al.*, 2015) e ortoquímicos (*e.g.*, Taher, 2014).

O termo “estromatólito”, o mais comum dos microbialitos carbonáticos, foi cunhado por Kalkowsky (1908), concebido como “sedimentos algais” por Black (1933) e definido por Awramik & Margulis (1974, *apud* Riding, 2011) como estruturas organossedimentares megascópicas produzidas pelo aprisionamento, ligação e/ou precipitação de sedimento como um resultado do crescimento e atividade metabólica de organismos, primariamente por cianobactérias.

Riding (1999) ressalta a definição de Burne & Moore (1987) de que todo microbialito é um depósito microbial bentônico litificado ou não, nele incluindo, além de estromatólitos, trombólitos, oncólitos,

leiólitos e dendrólitos (*q.v.* Riding, 2000; Riding & Awramik, 2000), e algumas tufas, travertinos e espeleotemas (*q.v.* Riding, 2011).

Assim, tanto os registros rochosos antigos de origem microbiana quanto os modernos e as esteiras microbianas, como as observadas nas lagunas fluminenses, podem ser considerados microbialitos (*cf.* Vasconcelos & Bahniuk, 2015).

A ocorrência de microbialitos em diversas das lagoas e brejos costeiros (lagunas) fluminenses vem se revelando extremamente importante para o estudo de processos e fácies carbonáticas de origem microbial, as quais ganharam evidência depois das descobertas de petróleo na “camada pré-sal” (Formação Barra Velha, bacia de Campos), dessa possível natureza (*q.v.* Estrella *et al.*, 2009; Wright & Barnett, 2015). Todavia, as abordagens existentes sobre essas lagunas enfocam basicamente a composição cianobacteriana das esteiras microbianas (*e.g.*, Lagoa Vermelha, Alves, 2007; Carvalhal, 2007; Lagoa Pitanguinha, Damazio Iespa, 2008; Lagoa Pernambuco, Iespa, 2006; Brejo do Espinho, Delfino, 2009; Brejo do Pau Fincado, Lopes, 2009; Lagoa Salgada, Silva, 2002) e de partículas carbonáticas (dolomita) nelas presentes (Lagoa Vermelha, Vasconcelos, 1988; Vasconcelos & McKenzie, 1997) ou a elas associadas (Brejo do Espinho, Anjos, 2004; Van Lith *et al.*, 2002); porém raramente aspectos biossedimentológicos que permitam uma análise faciológica (Lagoa Vermelha, Sampaio *et al.*, 2015; Lagoa Pitanguinha, Damazio Iespa, 2012; Lagoa Salgada, Iespa, 2010, Iespa *et al.*, 2012).

Dentre as lagunas fluminenses, a Lagoa Pitanguinha apresenta não só esteiras microbianas contendo partículas carbonáticas e sulfáticas (Carvalhal Gomes, 2011; Damazio *et al.*, 2005; Damazio & Silva, 2006; Damazio Iespa, 2008; Damazio Iespa *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2005a), mas também estromatólitos, trombólitos e microoncoides (Damazio Iespa, 2012; Damazio Iespa *et al.*, 2007), sendo aqui tomada para um ensaio de análise faciológica.

Assim, o presente estudo busca caracterizar esteiras microbianas (microbialitos) em termos biossedimentológicos, tanto morfológica- e texturalmente, em campo (mesoescala), quanto em termos de suas tramas e componentes presentes (microescala), através de microscopia (microscópio petrográfico), com a finalidade de se estabelecer,

de forma pioneira para esteiras microbianas, um esquema tentativo de classificação de microbiofácies.

2 Material e Método

A caracterização das microbiofácies encontradas na Lagoa Pitanguinha foi realizada em etapas de campo e pós-campo.

Na etapa de campo, foram realizadas observações, comparações e descrições das diferentes morfologias e texturas microbianas encontradas nas margens e no interior da lagoa; fotografiação das morfologias e sua distribuição espacial; e, por fim, coleta de amostras representativas dos pontos escolhidos.

A etapa de campo envolveu uma atividade em agosto de 2014, quando a laguna encontrava-se sob condições de hipersalinidade, porém em nível da lâmina d'água alto (período de chuvas); e uma outra, um ano após, em janeiro de 2015 sob condições de maior hipersalinidade, por conta de um ano árido (pouco chuvoso) e, portanto, em nível da lâmina d'água da laguna baixo. Coletaram-se ao todo 21 amostras, das quais foram feitas lâminas petrográficas (Tabela 1, Figura 1).

A etapa pós-campo consistiu na triagem das amostras coletadas em campo e caracterização em laboratório de suas estruturas, descritas macroscopicamente com auxílio de estereomicroscópio (ZEISS Discovery V12); e das tramas e grãos (aspecto composicional), descritos e fotomicrografados com auxílio de microscópio petrográfico (ZEISS Axioimager A2m). A abordagem geomicrobiológica segue trabalhos já publicados tanto na própria Lagoa Pitanguinha como em lagoas e brejos próximos.

3 Contexto Geológico

3.1 Microbiofácies

O termo 'microfácies' refere-se a estudos faciográficos de rochas sedimentares através de análises petrográficas microscópicas (Brown, 1943; Carelli & Borghi, 2011) ou, mais particularmente, de rochas carbonáticas (Flügel, 2010).

Já o termo 'microbiofácies', este refere-se a estudos paleoecológicos através da análise petrográfica microscópica de rochas carbonáticas com abundância de grãos fósseis (*cf.* Fairbridge, 1954), sob enfoque taxonômico e paleoecológico

Ponto	Localização	Microbiofácies	Amostra/Lâmina
LPIT-1	Lat: 22°55'54.64"S Long: 42°21'17.37"W	MBF-Po	Lâm. LPIT#1
LPIT-2	Lat: 22°55'53.21"S Long: 42°21'15.59"W	MBF-Po	Lâm. LPIT#2
LPIT-3	Lat: 22°55'51.25"S Long: 42°21'13.53"W	MBF-Po	Lâm. LPIT#3
LPIT-4	Lat: 22°55'51.72"S Long: 42°21'11.87"W	MBF-Po	Lâm. LPIT#4
LPIT-5	Lat: 22°55'54.28"S Long: 42°21'5.35"W	MBF-Pu	Lâm. LPIT#5
LPIT-6	Lat: 22°55'56.78"S Long: 42°20'57.66"W	MBF-Pu	Lâm. LPIT#6
LPIT-7	Lat: 22°55'33.04"S Long: 42°20'56.40"W	MBF-Pu	Lâm. LPIT#7
LPIT-8	Lat: 22°55'33.01"S Long: 42°20'57.90"W	MBF-Pu	Lâm. LPIT#8
LPIT-9	Lat: 22°55'47.18"S Long: 42°20'40.44"W	MBF-C	Lâm. LPIT-1
LPIT-10	Lat: 22°55'41.21"S Long: 42°20'47.09"W	MBF-C	Lâm. LPIT-2
LPIT-11	Lat: 22°55'40.46"S Long: 42°20'48.36"W	MBF-O	Lâm. LPIT-3
LPIT-12	Lat: 22°55'39.62"S Long: 42°20'50.15"W	MBF-Pu	Am. LPIT-12
LPIT-13	Lat: 22°55'33.81"S Long: 42°20'50.48"W	-	Am. LPIT-13
LPIT-14	Lat: 22°55'40.31"S Long: 42°21'15.66"W	MBF-C	Am. LPIT-14
LPIT-15	Lat: 22°55'41.69"S Long: 42°21'16.25"W	MBF-Po	Am. LPIT-15
LPIT-16	Lat: 22°55'42.92"S Long: 42°21'16.78"W	MBF-Po	Am. LPIT-16
LPIT-17	Lat: 22°55'44.21"S Long: 42°21'17.29"W	MBF-Po	Am. LPIT-17
LPIT-18	Lat: 22°55'44.23"S Long: 42°21'10.72"W	MBF-Po	Am. LPIT-18
LPIT-19	Lat: 22°55'45.03"S Long: 42°21'11.54"W	MBF-Po	Am. LPIT-19
LPIT-20	Lat: 22°55'43.07"S Long: 42°21'10.67"W	MBF-O	Am. LPIT-20
LPIT-21	Lat: 22°55'34.88"S Long: 42°20'54.46"W	MBF-Pu	Am. LPIT-21

Tabela 1 Relação sítios de observação e coleta de amostras. As microbiofácies são descritas no item 4, com apoio das amostras e lâminas petrográficas indicadas (arquivo: Lagesed – Laboratório de Geologia Sedimentar da UFRJ)

desses grãos (*cf.* Flügel, 2010), para o que talvez fosse mais adequado o termo 'biomicrofácies'; todavia, o termo microbiofácies refere-se aqui ao estudo de biofácies de natureza microbianas, quer em microescala (através de técnicas microscópicas) ou em mesoescala (amostra de mão ou afloramento), sendo definida como *massa de microbialito*

Análise de Microbiofácies das Esteiras Microbianas da Lagoa Pitanguinha (Região dos Lagos, RJ, Brasil)
 Lucas Rocha & Leonardo Borghi

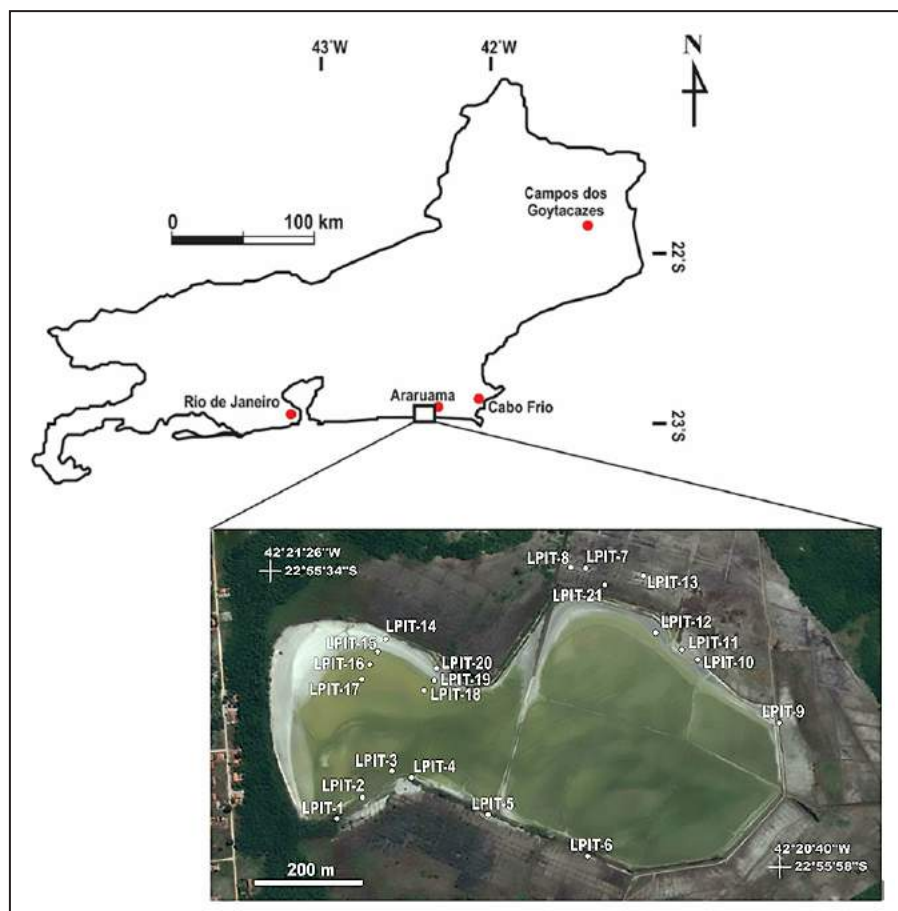


Figura 1 Localização da Lagoa Pitanguinha, Região dos Lagos, no Estado do Rio de Janeiro, com os sítios de observação e coleta de amostras (pontos LPIT-1 a LPIT-21). (Imagem: GoogleEarth, maio de 2016.)

Microbialito		L A G O A / B R E J O					
		Vermelha	Pitanguinha	Pernambuco	Pau Fincado	Espinho	Araruama
Esteira microbiana	Bol	Silva et al. (2004)	---	Silva et al. (2004)	Silva et al. (2007)	-	-
	Col	Silva et al. (2004)	Damazio & Silva (2006) Damazio et al. (2005)	Iespa & Silva (2005) Iespa et al. (2006)	-	-	-
	Fil	Silva et al. (2004)	Damazio et al. (2005) Silva et al. (2007c)	Iespa & Silva (2005)	-	-	-
	Lis	Silva et al. (2004) Silva & Carvalho (2005)	Damazio et al. (2005) Damazio Iespa et al. (2006)	Iespa & Silva (2005) Silva et al. (2004)	Silva et al. (2006c)	Silva et al. (2007a)	Silva et al. (2006a)
	Pol	Silva et al. (2004) Silva & Carvalho (2005)	Damazio et al. (2005)	Iespa & Silva (2005) Silva et al. (2004)	-	Silva et al. (2006d)	-
	Pus	Silva et al. (2004) Silva & Carvalho (2005)	Damazio et al. (2005)	Iespa & Silva (2005) Silva et al. (2004)	-	-	-
	Tuf	Silva et al. (2004)	Damazio et al. (2005)	Silva et al. (2004)	-	-	-
	MISS	Sampaio et al. (2015)	-	-	-	-	-
Estromatólito	Silva et al. (2004) Silva & Carvalho (2005) Alves & Silva (2011) Sampaio et al. (2015)	Damazio Iespa et al. (2007)	Silva et al. (2004)	-	-	-	
Trombólito	Sampaio et al. (2015)	-	Silva et al. (2006b)	-	-	-	

Tabela 2 Relação de microbialitos (Bol, esteira em bolha; Col, esteira coliforme; Fil, esteira filme; Lis, esteira lisa; Pol, esteira poligonal; Pus, esteira pustular; Tuf, esteira tufada) encontrados nas lagoas Vermelha, Pitanguinha, Pernambuco e Araruama e nos brejos do Espinho e do Pau Fincado.

caracterizada e definida pela forma, textura, estrutura, trama e composições mineral e biológica.

A *forma* (ou morfologia) refere-se à configuração externa do microbialito no momento da observação, no caso de um microbialito recente (em transformação), ou de um microbialito litificado (fóssil), enquanto que a *textura* refere-se ao aspecto da sua superfície; já a *estrutura* refere-se à configuração interna do microbialito – caracterizáveis em mesoescala. A *trama* refere-se à organização espacial dos *elementos componentes*, minerais ou biológicos – caracterizáveis em microescala.

3.2 Aspectos Biossedimentológicos das Lagunas na Região dos Lagos

Tratando-se de microbialitos recentes, o Estado do Rio de Janeiro apresenta importantes sítios com registros de depósitos organossedimentares em lagunas (denominadas localmente de lagoas e brejos) na Região dos Lagos, além da Lagoa Salgada (Iespa, 2010; Silva, 2002; Srivastava, 2002), que se situa no complexo deltaico do rio Paraíba do Sul, litoral norte-fluminense.

Dentre os corpos lagunares que ocorrem na Região dos Lagos, destacam-se aqui as lagoas Vermelha, Pitanguinha, Pernambuco e Araruama e os brejos do Espinho e do Pau Fincado, pela abordagem sobre microbialitos observada na literatura (Tabela 2), os quais se constituem de esteiras microbianas classificadas como em bolha, coliforme, filme, lisa, poligonal (ou gelatinosa), pustular e tufada (*cf.* Hoffman, 1976), além de estromatólitos e trombólitos.

O clima predominante na região mostra uma transição entre o tropical com chuvas de verão e seca de inverno (AW, na classificação de Köppen) e o semiárido quente (Bsh), com pluviosidades médias de 900 mm e evaporação de 1.400 mm anuais (*cf.* Barbière, 1985). A aridez resultante da discrepância entre chuvas e evaporação, juntamente com elevadas temperaturas anuais, ventos predominantes de NE e influxo da cunha salina marinha, conferem elevada alcalinidade (pH) e hipersalinidade a esses corpos límnicos e lênticos costeiros (Vasconcellos, 1988; Tabela 3), que apresentam depósitos organossedimentares associados à sedimentação carbonática e até evaporítica.

A presença de dolomita atribuída à ação microbial na Lagoa Vermelha (Vasconcelos, 1988;

LAGOA/BREJO	T (°C)	pH	Salinidade (‰)
Vermelha	28 ⁽¹⁾ ; 19–31 ⁽²⁾	8 ⁽¹⁾	54 ⁽¹⁾
Pitanguinha	19–31 ^(3,5) ; 30 ⁽⁴⁾	9 ⁽⁴⁾	74 ⁽⁵⁾ ; 84 ⁽⁴⁾
Pernambuco	–	–	–
Pau Fincado	–	–	–
Espinho	21–25 ⁽⁶⁾	9 ⁽⁶⁾ ; 7–10 ⁽⁷⁾	9–100 ⁽⁷⁾ ; 20–80 ⁽⁸⁾ ; 29–49 ⁽⁶⁾
Araruama	24–28 ⁽⁹⁾	–	36–50 ⁽⁹⁾

⁽¹⁾ Alves & Silva (2011); ⁽²⁾ Silva et al. (2004a); ⁽³⁾ Damazio & Silva (2006); ⁽⁴⁾ Damazio et al. (2005); ⁽⁵⁾ Silva et al. (2005b); ⁽⁶⁾ Delfino et al. (2012); ⁽⁷⁾ Feder et al. (2013); ⁽⁸⁾ Silva et al. (2007e); ⁽⁹⁾ Silva et al. (2006a)

Tabela 3 Dados de temperatura, alcalinidade (pH) e salinidade, medidos em algumas das lagoas (Vermelha, Pitanguinha e Araruama) e no Brejo do Espinho, obtidos in loco por diversos trabalhos de pesquisa sobre esteiras microbianas.

Vasconcelos & McKenzie, 1997) e no Brejo do Espinho (Anjos, 2004; Van Lith *et al.*, 2002), deram destaque mundial aos microbialitos presentes nesses corpos límnicos e lênticos costeiros.

Na Lagoa Vermelha, biolaminitos, trombólitos e pequenos estromatólitos, dentre os quais o peculiar “biscuit”, são observados (Alves & Silva, 2011; Silva & Carvalhal, 2005; Sampaio *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2007a), além de todos os sete tipos de esteiras microbianas (Silva *et al.*, 2004a) da classificação de Hoffman (1976) e de estruturas sedimentares induzidas por ação microbial (MISS), resultantes de processos de crescimento microbial, bioestabilização do substrato, metabolismo da esteira microbial e aglutinação de partículas (Sampaio *et al.*, 2015). Já no Brejo do Espinho, dois tipos de esteiras gelatinosas (ou poligonais) foram identificadas, basicamente pela constituição microbial de suas lâminas multicoloridas (Delfino *et al.*, 2012; Feder *et al.*, 2013), ambas descritas anteriormente como uma esteira lisa estratificada, pela presença dessas lâminas multicoloridas características (Silva *et al.*, 2007b).

Na Lagoa Pernambuco, pequenos estromatólitos dos tipos “colunar”, “domal” e “contínuo” são observados (Silva *et al.*, 2004b), além de todos os sete tipos de esteiras microbianas (Iespa & Silva, 2005; Iespa *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2004b) da classificação de Hoffman (1976).

No Brejo do Pau Fincado, apenas o tipo em bolha de esteira microbial é mencionado (Silva *et al.*, 2007c); enquanto que apenas a do tipo lisa o foi na Lagoa de Araruama (Silva *et al.*, 2006a).

A Lagoa Pitanguinha, aqui analisada do ponto de vista de microbiofácies, apresenta, segundo a literatura (*q.v.* Damazio & Silva, 2006; Damazio *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2007d), uma riqueza de esteiras microbianas comparável ao descrito para as lagoas Vermelha e Pernambuco, apenas não estando identificadas esteiras em bolha. Estromatólitos também estão presentes e permitiram uma análise de microfácies carbonáticas (Damazio Iespa, 2012; Damazio Iespa *et al.*, 2007), algo alcançado até o momento apenas na Lagoa Salgada (Iespa, 2010; Iespa *et al.*, 2012).

3.3 Lagoa Pitanguinha

A Lagoa Pitanguinha é uma pequena laguna que se localiza no Município de Araruama, Região dos Lagos, no Estado do Rio de Janeiro, entre as coordenadas geográficas 22°55'42"S, 22°56'00"S, 42°20'45"W e 42°21'30"W (Figura 1).

O acesso à laguna pode ser iniciado pela Cidade do Rio de Janeiro, percorrendo-se *c.*73 km pela rodovia BR-101, seguindo mais *c.*22 km na rodovia RJ 24, *c.*25 km na rodovia RJ-128 e, por fim, *c.*5 km pela rodovia RJ-102 (à direita desta rodovia), na região de Praia Seca (Damazio Iespa, 2012).

3.3.1 Aspectos Fisiográficos

A Lagoa Pitanguinha possui área aproximada de 0,55 km² (1,5 km de comprimento e 0,75 km de largura) e está geomorfologicamente inserida na Restinga da Massambaba, juntamente com as demais pequenas lagoas (lagoas Vermelha e Pernambuco; brejos do Espinho e do Pau Fincado); cerca-se por marneis e salinas que a segmentam no seu interior; e canais artificiais ligam-na com a Lagoa de Araruama, que, por vez, comunica-se com o mar (*q.v.* Bidegain & Bizerril, 2002).

A conformação da laguna (determinada pela linha de 'costa') resulta da variação da lâmina d'água produzida por marés de vento (duração de horas ou dias), pouco expressivas, ou por variações sazonais (chuvas de verão e secas no inverno, na região) ou anuais (eventos isolados ou fases de alguns anos de seca). As diversas frequências e intensidades de chuvas e secas (aspectos de ciclicidade) controlam o ambiente (correntes, ondas, pH, temperatura, salinidade, nutrientes etc.) e afetam o

desenvolvimento e evolução das esteiras microbianas, porém de forma não avaliada ou conhecida, ainda. Sugerem-se termos como acrolímnion (~supramaré), perilímnion (~intermaré), miolímnion (~inframaré) e xerolímnion (ausência de espelho d'água), para designar tanto as regiões da borda externa para o centro do corpo límnico (lagunar), quanto as situações de lâmina d'água correspondentes: respectivamente alto, intermediário, baixo e ausente, variáveis por efeito climático de períodos chuvosos e estiagens.

O clima local não difere do observado para as demais lagoas da Região dos Lagos, onde se observa um déficit do balanço chuvas e evaporação, resultando em aridez. O vento de maior frequência provém de NW (37%), predominando durante ao longo do ano, com velocidades de 4 a 6 m/s (Bidegain & Bizerril, 2002). Por apresentar profundidades baixas (< 1 m), a ação de correntes e ondas induzidas pelo vento no interior da laguna pode manter partículas finas em suspensão e transportá-las (Anjos, 1999).

Segundo Damazio Iespa (2008), a laguna apresentou valor de pH em cerca de 8,7, taxa de oxigênio dissolvido de 21,2 mg/L, salinidade entorno de 84‰ (hipersalina) e temperatura média da água de 30,4°C, realizado em anos relativamente chuvosos (maio de 2006 a abril de 2007). A temperatura atmosférica média variou entre 19°C e 31°C (*q.v.* Damazio Iespa, 2008; Damazio *et al.*, 2005; Damazio Iespa *et al.*, 2006).

3.3.2 Contexto e Evolução Depositional

O litoral fluminense é caracterizado pela ocorrência de diversas lagoas e outros corpos límnicos e lênticos costeiros, os quais se diferenciam pela área, conformação e, sobretudo, por suas características físico-químicas (salinidade e pH) e biológicas, tanto na macro- quanto na microbiota; têm, em comum, o contexto de evolução do ambiente deposicional durante o final do Pleistoceno e o Holoceno (*q.v.* Coe Neto, 1984, Turcq *et al.*, 1999).

Desde Guaratiba até Cabo Frio, o litoral fluminense apresenta dois conjuntos de ambientes límnicos/lênticos: um interno e outro externo. Os ambientes internos são formados de ambientes lagunares mais antigos e maiores, representados pelas lagoas de Jacarepaguá, Rodrigo de Freitas, Piratininga, Itaipu, Maricá, Guarapina, Jaconé, Saquarema e Araruama, as quais se separam do mar

por dois sistemas de cordões praias transgressivo–regressivos, sucessivos – uma restinga interna e outra externa (q.v. Turcq *et al.*, 1999). A zona baixa entre esses sistemas de cordões praias é ocupada, então, por pequenos corpos límnicos/lênticos, tais como as lagoas Vermelha, Pitanguinha, Pernambuco e os brejos do Espinho e do Pau Fincado (entre outros), à frente da Lagoa de Araruma, contidos localmente na Restinga da Massambaba, Região dos Lagos, que reúne os dois sistemas de cordões praias.

A formação da Lagoa Pitanguinha está relacionada a dois episódios sucessivos de regressões marinhas, que levaram ao surgimento dos sistemas de cordões arenosos relacionados (Figura 2), responsáveis pelo confinamento da lagoa. O cordão interno (Figura 2(4)) tem idades relacionadas ao final da transgressão do Flandriano (início do Holoceno; Coe Neto, 1984), ou ainda mais antiga (final do Pleistoceno?; Turcq *et al.*, 1999); enquanto que, o externo (Figura 2(6)), tem idade mais recente, após a transgressão flandriana (“pós-flandriano”, Coe Neto, 1984), provavelmente associada à regressão forçada causada por queda do nível do mar há aproximadamente 4.000 anos A.P.

Segundo Damazio Iespa (2008), o sedimento abundantemente observado no entorno da lagoa foi o de grãos de quartzo nas frações areia fina e média (0,125–0,500 mm); grãos de areia feldspática e bioclastos foram frequentemente também observados. Os bioclastos, igualmente observados no interior da lagoa, são compostos por bivalvíos (viz. *Anomalocardia brasiliana* Gmelin, 1791, *Heleobia australis* D’Orbigny, 1835 e *Rissoina cancellata* Philippi, 1847), com destaque, além de microgastrópodes, foraminíferos e ostracodes. No interior da lagoa, identificam-se macroalgas clorofíceas (Chlorophyta), além de cianobactérias das famílias Chroococcaceae (~27%), Enthophysalidaceae (~5%), Hyellaceae (<1%), Merismopediaceae (3%), Microcystiaceae (<1%), Nostocaceae (~2%) Oscillatoriaceae (~8%),

Microbiofácies	Diagnose	Interpretação	Observação Típica	Sítios de Observação
MBF-C	Formas botriodais, ovais e arredondadas; textura fenestral com cavidades, fissuras e enrugamentos.	Miolímion–perilímion; maior variação de salinidade (hipersalinidade); eventual exposição subaérea (xerolímion).	AGO’14 / JAN’15	LPIT-9 LPIT-10 LPIT-14
MBF-Po	Formas poligonais planas limitadas por gretas; textura lisa a rugosa, com tufo de cianobactérias.	Acrolímion, perilímion e miolímion; diversas condições de hipersalinidade; gretamento marcado ou acentuado por exposição subaérea (xerolímion).	AGO’14 / JAN’15	LPIT-1-4 LPIT-15-19
MBF-Pu	Forma de montículos centimétricos com distribuição irregular; textura rugosa, irregular.	Perilímion–acrolímion; pequenas variações de salinidade (hipersalinidade); frequentes exposições subaéreas (xerolímion).	AGO’14	LPIT-5-8 LPIT-12 LPIT-21
MBF-O	Formas esféricas, elipsoidais, ovais, irregulares; reentrâncias nas laterais que se curvam para baixo em direção ao centro; textura enrugada, plicada.	Acrolímion; menores variações de salinidade (hipersalinidade); frequentes exposições subaéreas (xerolímion).	AGO’14 / JAN’15	LPIT-11 LPIT-20

Tabela 4 Síntese das microbiofácies identificadas com base na morfologia e textura das esteiras microbianas.

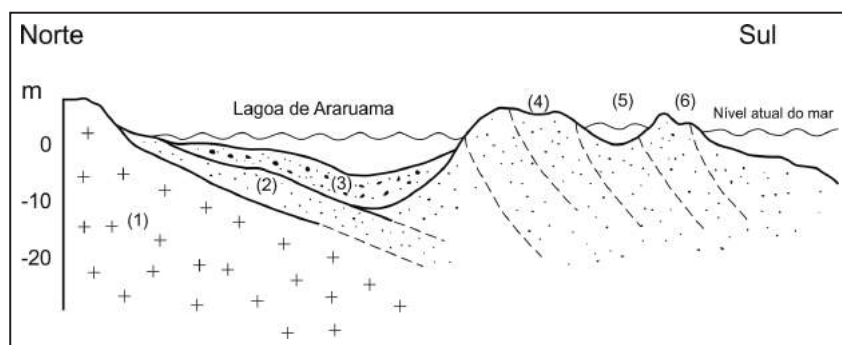


Figura 2 Evolução dos cordões litorâneos e lagunas da Região dos Lagos. (1) Rochas cristalinas (gnaisses); (2) depósitos arenosos pré-flandrianos; (3) depósitos lagunares e laguna interna (Lagoa de Araruma); (4) cordões flandrianos; (5) lagunas externas (Lagoa Pitanguinha e outras); (6) cordões pós-flandrianos. (Fonte: Coe Neto, 1984).

Phormidiaceae (~18%), Pseudoanabaenaceae (~5%), Schizothricaceae (~3%), Synecocaceae (~25%) e Xenococaceae (~3%), compondo esteiras microbianas coloforme, filme, lisa, gelatinosa (ou poligonal), pustulada e tufada (Damazio Iespa, 2008; Damazio *et al.*, 2005).

4 Microbiofácies da Lagoa Pitanguinha

Foram classificadas quatro microbiofácies (MBF), as quais foram diagnosticadas com base na morfologia e textura (Tabela 4, Figura 3).

Esteiras lisas e em bolha foram observadas, mas não consideradas para esta análise de fácies microbianas, devido às observações restritas de suas ocorrências.

Observações de textura e a composição envolveram a identificação de peloides e microoncoides (Figura 4A), bioclastos (Figura

4B), cristais de gipsita (Figura 4C), grãos de quartzo e micrita (Figura 4D), que caracterizam as microbiofácies (Tabela 5), mas não foram tomadas para sua diagnose neste estudo.

4.1 MBF-C – Microbiofácies Coloforme

Diagnose. – Formas botriodais, ovais e arredondadas, organizadas como montículos laminados dispostos em fileiras; textura fenestral com cavidades, fissuras e enrugamentos. (Figura 5)

Interpretação. – Região típica do miolímion, porém ocorrendo no perilímion, sujeitas às maiores variações de salinidade (hipersalinidade) e eventual exposição subaérea (xerolímion).

Descrição. – Encontrada nas porções noroeste, leste e sudeste da lagoa, em direção ao centro. Dimensões que variam de 15 a 30 cm de

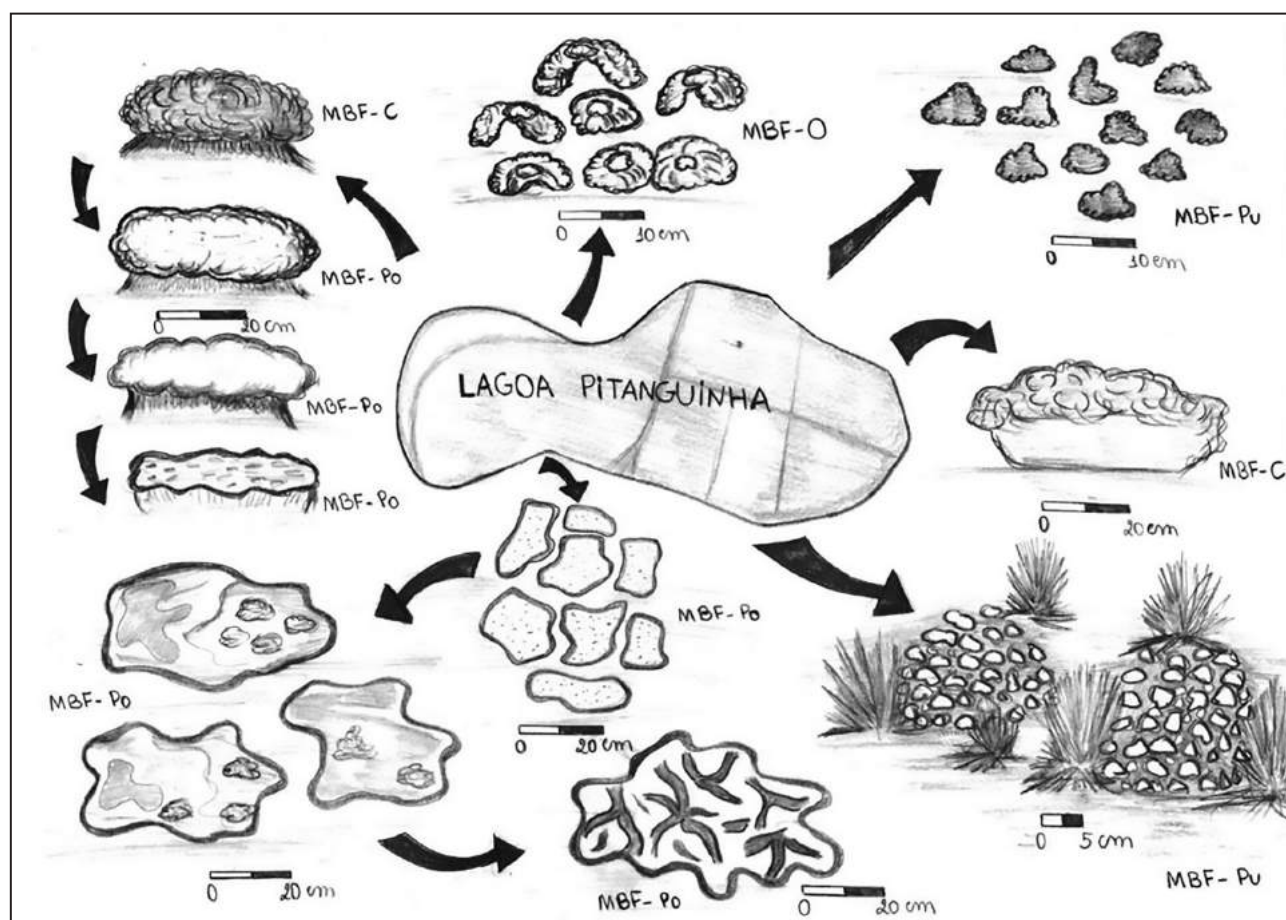


Figura 3 Aspectos morfológicos e texturais das principais esteiras microbianas observados em campo, que ensejaram a classificação de microbiofácies (viz. MBF-C, MBF-Po, MBF-Pu e MBF-O). As setas indicam a posição aproximada das esteiras ao longo do contorno da lagoa Pitanguinha. Observar que, a sul da lagoa, as setas mostram a distribuição de variantes das esteiras poligonais (MBF-Po) da parte mais interior para a exterior da lagoa.

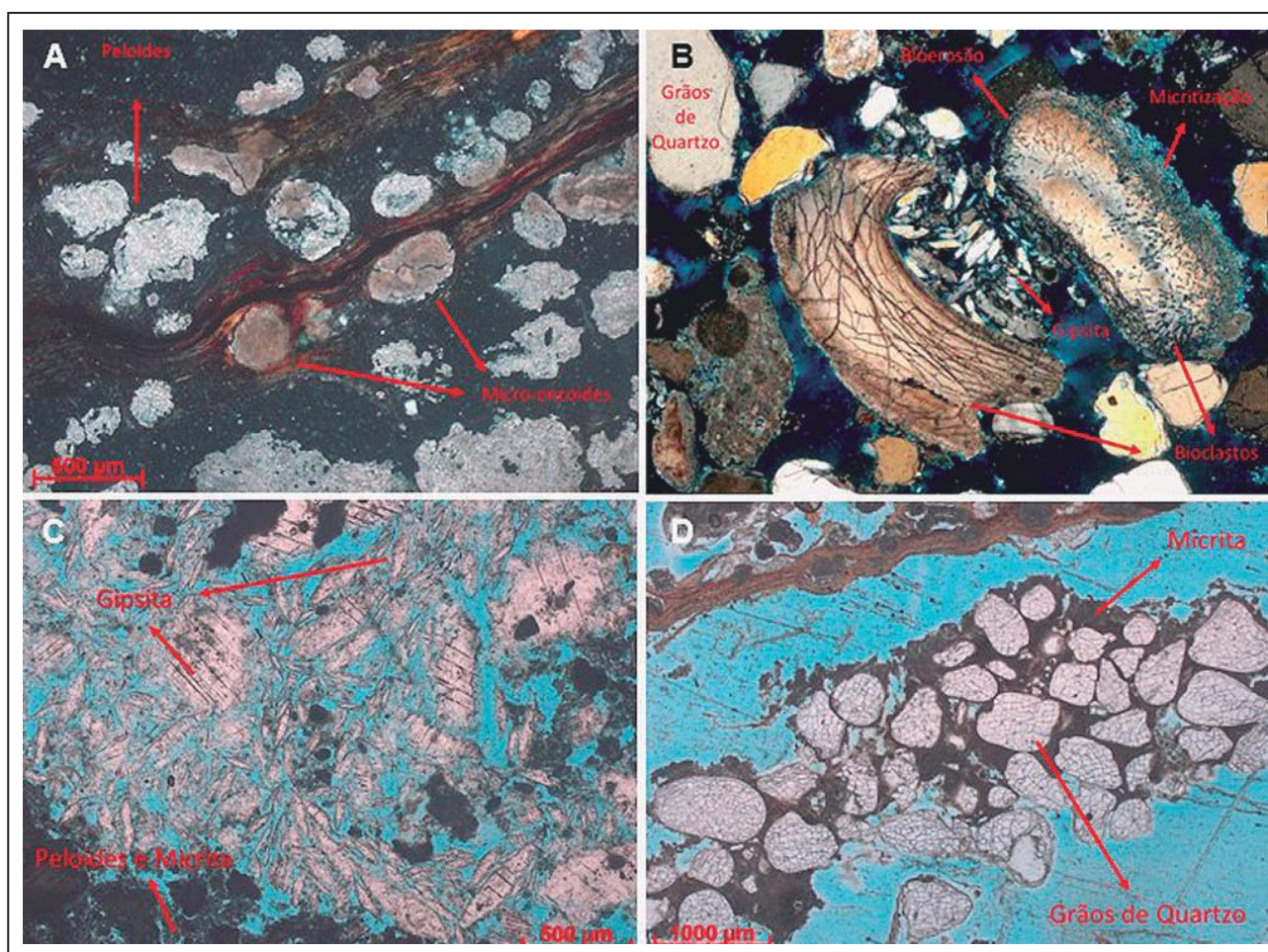


Figura 4 Fotomicrografias de (A) peloides e microoncoïdes (lâm. LPIT#1, luz polarizada, nicóis X); (B) bioclasto de bivalve, observar a valva sob bioerosão e micritização microbiana (lâm. LPIT#3, luz polarizada, nicóis X); (C) cristais de gipsita (lâm. LPIT#8, luz polarizada, nicóis //); e (D) grãos de quartzo arredondados, bem selecionados, fração areia média, cimentados por micrita (lâm. LPIT#1, luz polarizada, nicóis //).

comprimento, 7 a 20 cm de largura e 3 a 8 cm de espessura. Apresenta-se estratificada em três estratos principais, diferenciados por suas cores: um estrato superficial de coloração verde, um intermediário de coloração vermelha e um mais profundo de coloração marrom. Microscopicamente, em seu interior, pode-se encontrar micrita, peloides e bioclastos de ostracodes, foraminíferos e microgastrópodes; grãos quartzosos de silte e areia muito fina a média podem estar presentes (Tabela 5). Não foi possível identificar estruturas internas (microlaminações).

Discussão. – Observada na fase de cheia da lagoa e residualmente na fase seca, marca uma fase transicional para microbiofácies poligonal (MBF-Po), à medida em que o nível d'água reduz-se e aumenta-se a hipersalinidade. O grãos de quartzo são aportados pelo vento.

Segundo Damazio & Silva (2006), as esteiras coliformes da Lagoa Pitanguinha apresentam um

estrato superficial de cores esverdeadas, onde predominam as cianobactérias filamentosas, um intermediário de coloração marrom devido a presença de matéria orgânica, com abundância de cianobactérias cocoides e um estrato mais profundo de cor vermelha dominado por bactérias sulfurosas púrpuras e cianobactérias cocoides. Vinte e quatro tipos de cianobactérias foram identificadas, pertencendo às famílias Chroococcaceae (mais abundante), Synechococcaceae, Phormidiaceae, Oscillatoriaceae, Pseudanabaenaceae, Schizothricaceae e Entophysalidaceae (cf. Damazio & Silva, 2006).

De acordo com Silva *et al.* (2008), em estudos feitos na salina de Praia Seca, esteiras coliformes são constituídas mais por matéria orgânica do que quartzo; estes, na fração areia fina a média. Possuem diversas laminações brancas e finas de carbonato de cálcio e são o primeiro estágio na formação de estromatólitos isolados.

Grãos	Microbiofácies			
	C	Po	Pu	O
Micrita	X	X	X	X
Peloides	X	X	X	X
Micro-oncoides	---	X	---	?
Gipsita	---	X	X	?
Bioclastos	X	X	X	X
Quartzo	X	X	X	X

Tabela 5 Distribuição de atributos composicionais mais comuns pelas microbiofácies identificadas

A intensidade luminosa e temperatura agem como fatores limitantes para as cianobactérias, promovendo a troca de filamentosas por cocoides nas esteiras destas microbiofácies, conforme a profundidade aumenta; assim, a intensidade luminosa diminui e as filamentosas morrem, aumentando a quantidade de esféricas que são mais adaptáveis a esta condição (Carvalho, 2003).

4.2 MBF-Po – Microbiofácies Poligonal

Diagnose. – Placas poligonais planas limitadas por gretas; textura lisa a rugosa, com tufo de cianobactérias. (Figura 6)

Interpretação. – Regiões de acrolímnion, perilímnion e miolímnion, formando-se em diversas condições de hipersalinidade, cujo gretamento é marcado ou acentuado por exposição subaérea (xerolímnion).

Descrição. – São encontradas nas porções norte, noroeste e sudoeste, em direção à borda da

lagoa. As placas têm diâmetro típico de 20 a 60 cm de diâmetro, 2 a 5 cm de espessura; apresenta uma lâmina de coloração verde, uma intermediária de coloração marrom e uma mais profunda de cor vermelha. A lâmina superficial varia em tonalidades desde um verde escuro, passando por um marrom esverdeado e, por fim, mais abaixo, para tonalidades verde acastanhadas. Internamente, encontram-se micrita, peloides, microoncoides, gipsita e bioclastos de bivalvíos, ostracodes, foraminíferos e microgastrópodes; grãos quartzosos de silte e areia podem estar presentes (Tabela 5). Podem ser observadas microlaminações paralelas e microlaminações crenuladas (Figura 7).

Discussão. – Esta microbiofácies foi observada tanto no período chuvoso (AGO'15) quanto árido (JAN'16). Podem ser identificadas três submicrobiofácies (Figura 8), que se distinguem por (i) polígonos de maiores dimensões e com textura enrugada e contraída (MBF-PoA; Figura 6A), próprios da região de acrolímnion; (ii) por polígonos de dimensões intermediárias, francamente isolados uns dos outros (gretas amplas), com textura ondulada, com cavidades e elevações na superfície (MBF-PoB; Figura 6B), próprios da região de perilímnion; e (iii) por polígonos de dimensões menores, próximas uns dos outros, separadas por estreitas gretas, com textura lisa (MBF-PoC; Figura 6C), próprios da região de miolímnion.

Segundo Damazio Iespa (2008), as esteiras poligonais são compostas de 32 espécies de cianobactérias em suas três lâminas, apresentando uma maior variedade específica da Família

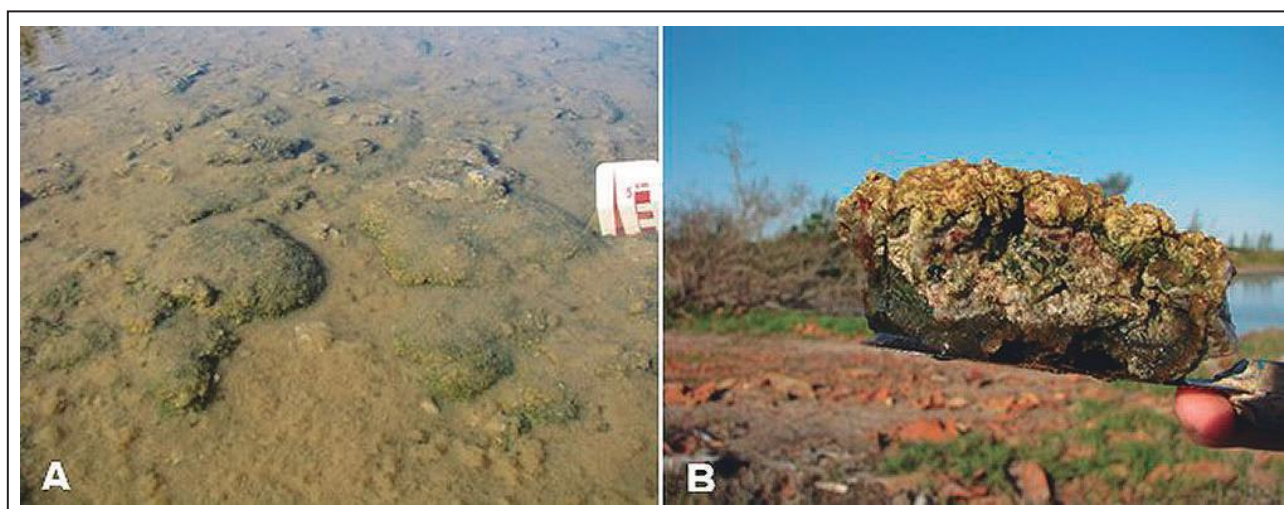


Figura 5 Microbiofácies coliforme (MBF-C). Observar em (A) o aspecto arredondado e ovalado das esteiras, como se fossem “bolhas” macias e coesas submersas na lâmina d’água (Sítio LPIT-9); (B) esteira coliforme coletada no fundo da lagoa, observar a textura coesa e as cores marcantes que diferem seus estratos superficial, intermediário e inferior (Sítio LPIT-10).

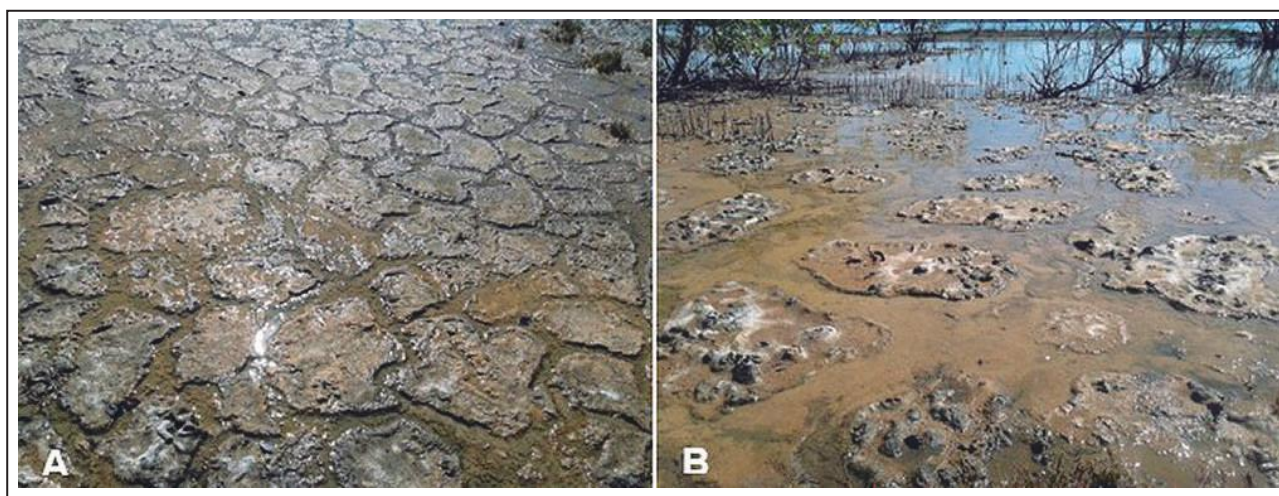


Figura 6 Microbiofácies poligonal (MBF-Po). Observar em (A) e (B) o aspecto plano das esteiras dispostas em formas poligonais deslocadas (A, Sítio LPIT-3; B, Sítio LPIT-4).

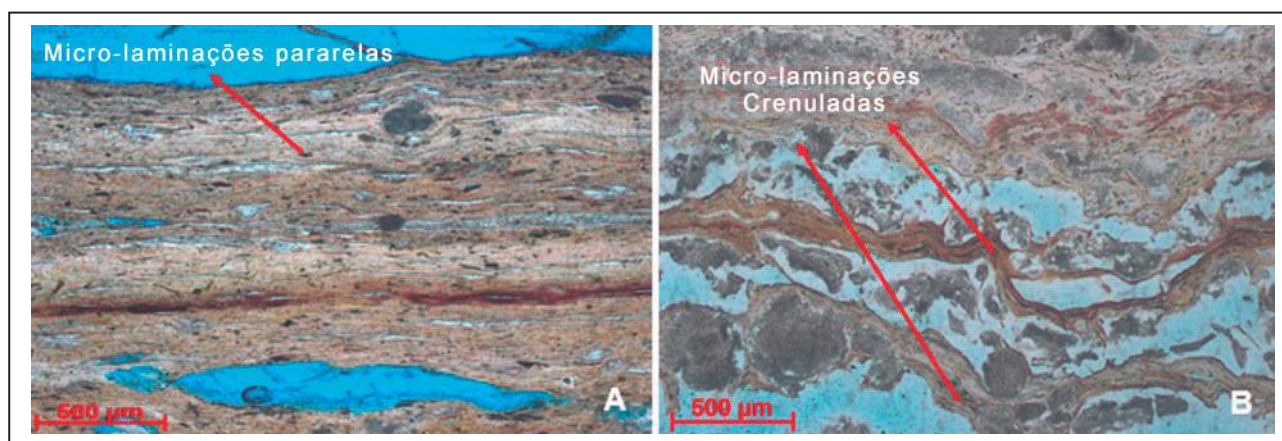


Figura 7 Fotomicrografias de (A) microlaminações paralelas (lâm. LPIT#1, luz polarizada, nicóis //); (B) micro-laminações crenuladas (lâm. LPIT#1, luz polarizada, nicóis //).



Figura 8 Submicrobiofácies PoA, PoB e PoC. Observar (A) os polígonos de maiores dimensões e com textura enrugada (MBF-PoA, Sítio LPIT-4); (B) polígonos de dimensões intermediárias, afastados uns dos outros (gretas amplas), com textura ondulada, com cavidades e elevações na superfície (MBF-PoB, Sítio LPIT-1); e (C) polígonos de dimensões menores, próximos uns dos outros, separados por gretas estreitas e com textura lisa (MBF-PoC, Sítio LPIT-3).

Chroococcaceae Nägeli 1849 em todas as lâminas – 36,7% no estrato verde, 30% no marrom e 43,75% no vermelho. As lâminas superficiais apresentam domínio quantitativo de cianobactérias filamentosas

sobre as esféricas; porém, até a lâmina mais profunda, essa relação se inverte. Nas lâminas verdes da esteira poligonal concentra-se maior número de espécies de cianobactérias em relação às demais lâminas. As

esteiras microbianas do tipo poligonal são compostas principalmente por *Microcoleus chthonoplastes* (Thuret) Gomont, 1892 e, mineralogicamente, contêm calcita e gipsita. Porém, distintamente de Damazio Iespa (2008), não foi identificado no estudo a presença de gipsita nesta microbiofácies.

4.3 MBF-Pu – Microbiofácies Pustular

Diagnose. – Montículos centimétricos com distribuição irregular; textura rugosa, irregular. (Figura 9)

Interpretação. – Regiões de perilímnion e acrolímnion, sujeitas a pequenas variações de salinidade (hipersalinidade) e frequentes exposições subaéreas (xerolímnion).

Descrição. – Os montículos são encontrados nas porções nordeste, sul e sudeste da lagoa; e apresentam-se em pequenos grumos agrupados entre si, como “pipocas” grudadas, com tamanhos variáveis de 0,5 cm a 8 cm de comprimento e 0,3 cm a 6 cm de espessura, coloração cinza a esverdeada e crostas brancas de carbonato de cálcio recobrindo-os. Sua ocorrência está relacionada ora a zonas periodicamente expostas da lagoa (acrolímnion), porém úmidas, ou em meio à vegetação (gramíneas) que a bordeja; ora se apresentam como montículos distribuídos espaçadamente um dos outros, expostos nas regiões do perilímnion e acrolímnion, não associados à vegetação. Micrita, peloides, gipsita, bioclastos de bivalvíos e grãos de quartzo na fração areia fina a média são identificados (Tabela 5). Com relação às estruturas, essa microbiofácies não se mostrou marcada por microlaminações e sua

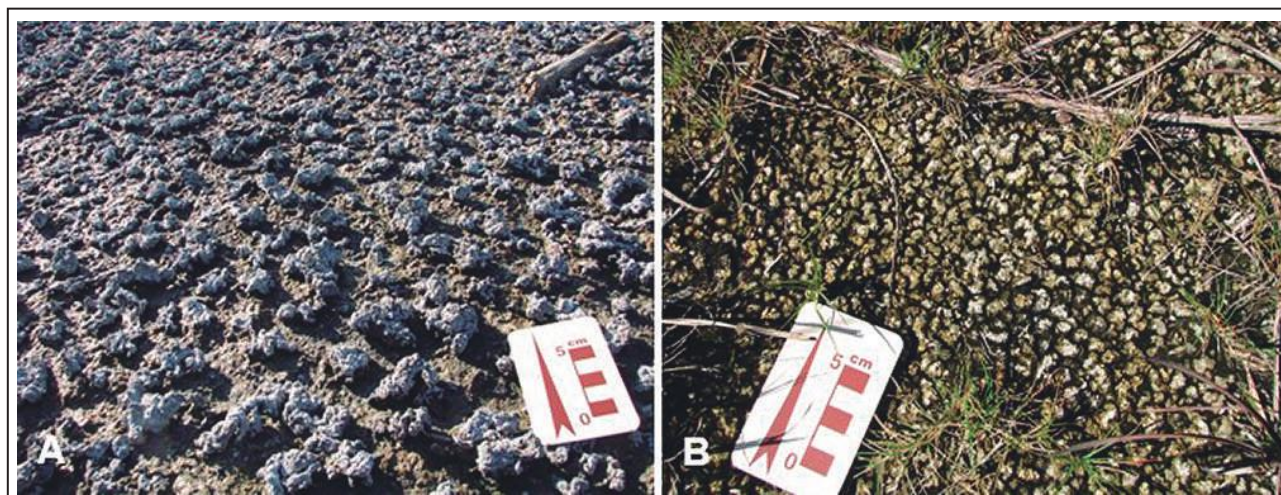


Figura 9 Microbiofácies pustular (MBF-P). Observar o aspecto em forma de montículos ou grumos desarmônicos isoladamente distribuídos. Em (A) montículos distribuídos espaçadamente um dos outros, expostos nas regiões do perilímnion e acrolímnion, não associados à vegetação (Sítio LPIT-12); (B) pequenos grumos agrupados entre si, como “pipocas” grudadas, em meio à vegetação de gramíneas (Sítio LPIT-5).

trama se dispõe em uma forma aleatória, por vezes, levemente orientada.

Discussão. – Observada na fase de nível baixo e nível alto da lagoa. Estão associadas às margens da laguna, marcadas por praias secas ou regiões um pouco mais afastadas, porém úmidas, que possivelmente são alimentadas de água freática, levando à precipitação de gipsita no interior dessas esteiras.

Segundo Damazio *et al.* (2005), as esteiras microbianas pustulares são constituídas principalmente por cianobactérias *Entophysalis conferta* (Kützing) Drouet & Daily, 1948 e *E. granulosa* Kützing, 1843.

4.4 MBF-O – Microbiofácies Oncoidal

Diagnose. – Formas esféricas, elipsoidais, ovais ou irregulares, com reentrâncias nas laterais que se curvam para baixo em direção ao centro; textura enrugada, plicada. (Figura 10)

Interpretação. – Região de acrolímnion, sujeitas às menores variações de salinidade (hipersalinidade) e frequentes exposições subaéreas (xerolímnion).

Descrição. – São encontradas nas porções noroeste e nordeste da lagoa, onde aparecem como formas desde esféricas a ovais de tamanho variável, de 5 a 8 cm de comprimento por 3 a 5 cm de espessura, apresentando consistência macia e

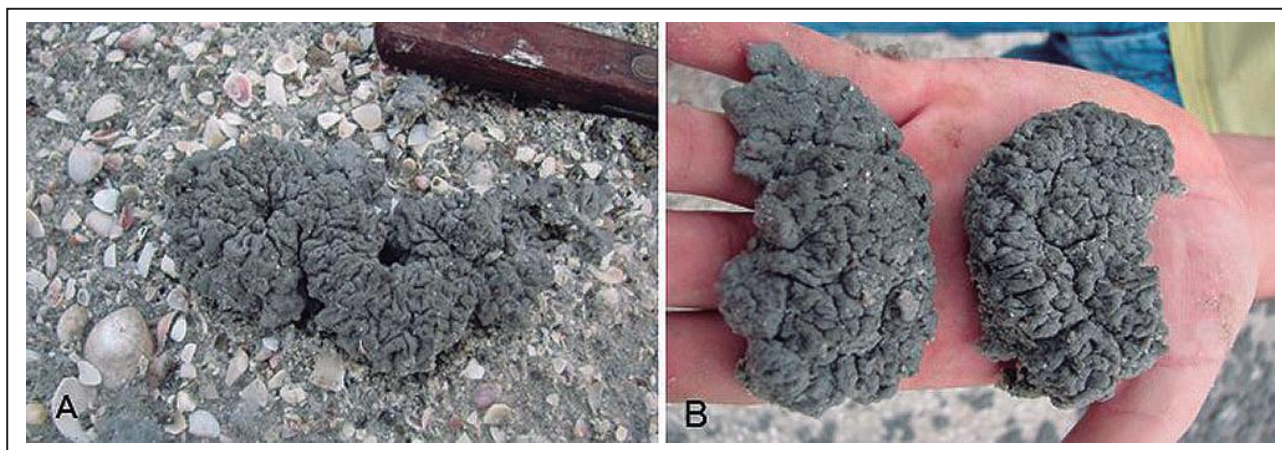


Figura 10 Microbiofácies oncoidal (MBF-O). Observar em (A) e (B) o aspecto enrugado e sua forma esférica irregular, desenvolvendo-se sobre areias quartzosas com lama carbonática e conchas de bivalvíos associados (Sítio LPIT-20).

esponjosa e laminações milimétricas claras e escuras. Geralmente são de coloração cinza claro a cinza escuro. Microscopicamente foram identificados em seu interior micrita, peloides diversos, bioclastos de bivalvíos e ostracodes e alguns poucos grãos de quartzo na fração areia muito fina (Tabela 5). A trama interna se arranja em um padrão caótico e pequenas microlaminações crenuladas podem ser observadas como microestruturas.

Discussão. – Observada nos períodos de cheia e seca da lagoa e presente nas regiões marginais e não aderidos ao substrato.

Segundo Damazio Iespa (2012), nas esteiras oncoidais são encontrados peloides carbonáticos, microoncoides de calcita, grãos de quartzo e trama de cianobactérias filamentosas, além de microfósseis como foraminíferos e bivalvíos. Microlaminações de calcita, contínuas, onduladas e crenuladas, estrutura interna organizada em micro-oncoide e microestromatólitos, representam as microestruturas identificadas. A família de cianobactéria mais representativa encontrada é a Chroococcaceae (~53%), representada pela espécie *Entophysalis granulosa*.

5 Conclusões

O estudo de microbiofácies, como aqui proposto, pode ser um caminho atualista de aproximação tentativa entre o registro organosedimentar presente e fóssil (passado), particularmente no entendimento da resposta dos microbialitos à variação de parâmetros ambientais conhecíveis.

As microbiofácies (e suas distribuições ambientais) mostram-se controladas por eventos

de exposição, por aridez, além da composição microbiana; o aumento da hipersalinidade, que precede a exposição subaérea, parece ser um fator importante na conformação da morfologia das esteiras, por desidratação subaquosa (sinérese), sobretudo como precursor do gretamento por exposição subaérea subsequente, em ambientes hipersalinos, o que participa da moldagem da forma dos microbialitos.

6 Agradecimentos

O autor L.R. agradece ao programa de bolsas IC-PIBIC/PR2-UFRJ e à UFRJ, através do Lagesed – Laboratório de Geologia Sedimentar, pelo apoio de campo e facilidades laboratoriais.

7 Referências

- Alves, S.A.P.M. 2007. *Estudo geomicrobiológico dos estromatólitos biscoito da Lagoa Vermelha (estado do Rio de Janeiro – Brasil)*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 141 p.
- Alves, S.A.P.M.N & Silva, L.H.S.S. 2011. Estudo dos estromatólitos biscoito da Lagoa Vermelha (Rio de Janeiro, Brasil). *Revista de Geologia*, 24:94-107.
- Anjos, A.P.A. 1999. *Caracterização da sedimentação atual de lagoas costeiras do litoral do Rio de Janeiro para fins de calibração de acordo com variações paleoambientais e paleoclimáticas*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 133p.
- Anjos, A.P.A. 2004. *Processo de precipitação de dolomita na Lagoa Brejo do Espinho: uma contribuição para reconstrução ambiental*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Tese de Doutorado, 150p.
- Barbière, E.B. 1985. Condições climáticas dominantes na porção oriental da Lagoa de Araruama, RJ, e suas implicações na diversidade do teor de salinidade. *Caderno de Ciências da Terra*, 59:1-39
- Bidegain, P. (Primo, P.B.) & Bizerril, C.R.S.F. 2002. *Lagoa de Araruama. Perfil ambiental do maior ecossistema lagunar hipersalino do mundo*. Rio de Janeiro: SEMADS, 160p.
- Black, M. 1933. The algal sedimentation of Andros Island Bahamas.

- Philosophical transactions of the Royal Society of London*, Series B, 222:165–192.
- Brown, J.S. 1943. Suggested use of the word microfácies. *Economic Geology*, 38:325.
- Burne, R.V. & Moore, L. 1987. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities. *Palaios*, 2:241–254.
- Carelli, Th.G. & Borghi, L. 2011. Caracterização de microfácies sedimentares em folhelhos da Formação Ponta Grossa (Devoniano) na borda Leste da bacia do Paraná. *Anuário do Instituto de Geociências*, 34:84–104.
- Carvalho, S.B.V. 2003. Bioestratificação cianobacteriana das esteiras microbianas recentes da lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brasil. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas), Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 80p.
- Carvalho, S.B.V. 2011. *Composição geomicrobiológica e microbiana das esteiras microbianas de três lagoas costeiras do Sudeste do Rio de Janeiro, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 186p.
- Carvalho, S.B.V. 2007. *Caracterização geomicrobiológica das esteiras microbianas da lagoa Vermelha (Estado do Rio de Janeiro)*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 000p.
- Coe Neto, R. 1984. Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de Araruama. In: SIMPÓSIO DE RESTINGAS BRASILEIRAS, 1, Niterói, 2007. *Anais*, p.61–63.
- Damazio, C.M. & Silva, L.H.S. 2006. Cianobactérias em esteiras microbianas coliformes da Lagoa Pitanguinha, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 9:165–170.
- Damazio, C.M.; Silva, L.H.S. & Iespa, A.A.C. 2005. Correlações entre cianobactérias endolíticas e esteiras microbianas hipersalinas da Lagoa Pitanguinha, neógeno do Rio de Janeiro, Brasil. *Geociências*, 10:11–16.
- Damazio Iespa, C.M. 2008. *Estudo sedimentológico e geomicrobiológico das esteiras microbianas da Lagoa Pitanguinha, Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 96p.
- Damazio Iespa, C.M. 2012. *Microbialitos da Lagoa Pitanguinha, Estado do Rio de Janeiro*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 100p.
- Damazio Iespa, C.M.; Silva, L.H.S. & Iespa, A.A.C. 2006. Cianobactérias e outros componentes das esteiras microbianas lisas da Lagoa Pitanguinha, Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brasil. *Gaea*, 2:41–46.
- Damazio Iespa, C.M.; Borghi, L. & Iespa, A.A.C. 2007. Microbialitos da Lagoa Pitanguinha (RJ): aspectos geomicrobiológicos aplicados à exploração de petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS – PDPetro, 5, Natal, 2007. *Anais*, 8p. Recuperável em <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/5/publicacoes/repositorio/trabalhos/10012009.1.1.2.pdf>, em maio de 2015.
- Delfino, D.O. 2009. *Caracterização sedimentológica, química e cianobacteriana, e interpretação ecológica das esteiras microbianas do Brejo do Espinho, RJ, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 209p.
- Delfino, D.O.; Wanderley, M.D.; Silva, L.H.S.; Feder, F. & Lopes, F.A.S. 2012. Sedimentology and temporal distribution of microbial mats from Brejo do Espinho, Rio de Janeiro, Brazil. *Sedimentary Geology*, 263:85–95.
- Ehrlich, H.L. 2002. *Geomicrobiology*. (4.ed.). New York: Marcel Dekker, 768p.
- Estrella, G.O.; Azevedo, R.L.M. & Formigli Filho, J.M. 2009. Pré-Sal: conhecimento, estratégia e oportunidades. In: VELLOSO, J.P.R. (coord.). *Teatro mágico da cultura, crise global e oportunidades do Brasil*. Rio de Janeiro: Editora José Olympio, p.67–78.
- Fairbridge, R.W. 1954. Stratigraphic correlation by microfácies. *American Journal of Science*, 255:683–694.
- Feder, F.; Delfino, D.O.; Wanderley, M.D. & Silva, L.H.S. 2013. Cyanobacterial composition of microbial mats, found in Brejo do Espinho and in artificial saline of Araruama, RJ, Brazil. *Advances in Microbiology*, 3:47–54.
- Flügel, E. 2010. *Microfacies of carbonate rocks*. (2.ed.) Berlin: Springer-Verlag, 984p.
- Hoffman, P. 1976. Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: Walter, M.R. (Ed.) *Stromatolites*. Amsterdam: Elsevier, Developments in Sedimentology, 20, p.261–271.
- Iespa, A.A.C. 2006. *Estudo geomicrobiológico da Lagoa Pernambuco, região dos Lagos (Estado do Rio de Janeiro)*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 116p.
- Iespa, A.A.C. 2010. *O Plexo Estromatólito–Trombólito–Oncoide, Lagoa Salgada, RJ, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 105p.
- Iespa, A.A.C. & Silva, L.H.S. 2005. Laminitos microbianos e cianobactérias na Lagoa Pernambuco, Neógeno do Rio de Janeiro, Brasil. *Geociências*, 10:5–10.
- Iespa, A.A.C.; Silva, L.H.S. & Damazio Iespa, C.M. 2006. Estudo geomicrobiológico das esteiras coliformes da Lagoa Pernambuco, Região dos Lagos (Estado do Rio de Janeiro). *Gaea*, 2:59–65.
- Iespa, A.A.C.; Damazio Iespa, C.M. & Borghi, L. 2012. Evolução paleoambiental da Lagoa Salgada utilizando microbialitos, com ênfase em microfácies carbonáticas. *Revista Geociências*, 31:371–380.
- Kalkowsky, E. 1908. Oolith und Stromatolith im nord-deutschen Buntsandstein. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 60:68–125.
- Lopes, F.A.S. 2009. *Estudo químico, geomicrobiológico e ecológico das esteiras microbianas do Brejo do Pau Fincado, Rio de Janeiro, Brasil*. Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 75p.
- Noffke, N. 2003. Microbially induced sedimentary structures. In: MIDDLETON, G.V. (Ed.) *Encyclopedia of sediments and sedimentary rocks*. Boston: Kluwer Academic Publishers, p.439–440.
- Noffke, N. 2008. Turbulent lifestyle: microbial mats on Earth's sandy beaches—today and 3 billion years ago". *GSA Today*, 18:4–9.
- Noffke, N. & Krumbein, K.E. 1999. A quantitative approach to sedimentary surface structures contoured by the interplay of microbial colonization and physical dynamics. *Sedimentology*, 46:417–426.
- Noffke, N.; Gerdes, G.; Klenke, T. & Krumbein, W.E. 2001. Microbially Induced Sedimentary Structures: a new category within the classification of primary sedimentary structures. *Journal of Sedimentary Research*, 71:649–656.
- Riding, R. 1999. The term stromatolite: towards an essential definition. *Lethaia*, 32:321–330.
- Riding, R. 2000. Microbial carbonates: the geological record of calcified bacterial-algal mats and biofilms. *Sedimentology*, 47(Suppl. 1):179–214.
- Riding, R. 2011. Microbialites, stromatolites and thrombolites. In: Reitner, J. & Thiel, V. (eds) *Encyclopedia of Geobiology*. (Encyclopaedia of Earth-Science Series). Heidelberg: Springer, p.635–654.
- Riding, R. & Awramik, S.M. (eds.) 2000. *Microbial sediments*. Heidelberg: Springer-Verlag, 331p.
- Sampaio, L.; Dal' Bó, P.F. & Borghi, L. 2015. Gênese e morfologia de estruturas sedimentares induzidas por atividade microbiana (MISS) em sedimentos da Lagoa Vermelha (Região dos Lagos, Rio de Janeiro). *Anuário do Instituto de Geociências*, 38:95–106.
- Schieber, J. 1998. Possible indicators of microbial mat deposits in shales and sandstones: examples from the Mid-Proterozoic Belt Supergroup, Montana, U.S.A. *Sedimentary Geology*, 120:105–124.
- Silva, L.H.S. 2002. *Contribuição ao conhecimento da composição microbiana e química das estruturas estromatólíticas da Lagoa Salgada, Quaternário do Rio de Janeiro, Brasil*. Programa de

- Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 176p.
- Silva, L.H.S. & Carvalho, S.B.V. 2005. Biolaminoides calcários holocênicos da Lagoa Vermelha, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 28:59–70.
- Silva, L.H.S.; Senra, M.C.E.; Faruolo, T.C.L.M.; Carvalho, S.B.V.; Alves, S.A.P.M.N.; Damazio, C.M.; Shimizu, V.T.A.; Santos, R.C. & Iespa, A.A.C. 2004a. Composição paleobiológica e tipos morfológicos das construções estromatolíticas da Lagoa Vermelha, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7:193–198.
- Silva, L.H.S.; Senra, M.C.E.; Faruolo, T.C.L.M.; Carvalho, S.B.V.; Alves, S.A.P.M.N.; Damazio, C.M.; Shimizu, V.T.A.; Santos, R.C. & Iespa, A.A.C. 2004b. Estruturas microbianas recentes da Lagoa Pernambuco, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7:189–192.
- Silva, L.H.S.; Damazio, C.M. & Iespa, A.A.C. 2005a. Composição cianobacteriana em trombólitos da Lagoa Pitanguinha (Holoceno), Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Gaea*, 1:75–78.
- Silva, L.H.S.; Damazio, C.M. & Iespa, A.A.C. 2005b. Identificação de cianobactérias em sedimentos da Lagoa Pitanguinha, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 28:92–100.
- Silva, L.H.S.; Iespa, A.A.C. & Damazio, C.M. 2006a. Caracterização e composição cianobacteriana das esteiras microbianas lisas da lagoa de Araruama, Rio de Janeiro, Brasil. *Gaea*, 2:18–23.
- Silva, L.H.S.; Iespa, A.A.C. & Damazio, C.M. 2006b. Trombólitos e cianobactérias da Lagoa Pernambuco, Holoceno do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 6:243–250.
- Silva, L.H.S.; Lopes, F.A.S.; Iespa, A.A.C.; Damazio, C.M. & Delfino, D.O. 2006c. Cianobactérias em esteiras microbianas lisas do brejo do Pau Fincado, Rio de Janeiro, Brasil. *Geociências*, 10:111–121.
- Silva, L.H.S.; Delfino, D.O.; Lopes, F.A.S.; Iespa, A.A.C. & Damazio, C.M. 2006d. Esteiras microbianas poligonais do Brejo do Espinho, RJ. *Revista de Geologia*, 19:155–161.
- Silva, L.H.S.; Alves, S.A.P.M.N.; Iespa, A.A.C. & Damazio Iespa, C.M. 2007a. Incidência de cianobactérias em estruturas estromatolíticas biscuit na Lagoa Vermelha, estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Geologia*, 20:33–38.
- Silva, L.H.S.; Delfino, D.O.; Feder, F.; Lopes, F.A.S. & Guimarães, Th.B. 2007b. Tapetes microbianos lisos estratificados do Brejo do Espinho, RJ, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 30:181–187.
- Silva, L.H.S.; Lopes, F.A.S.; Delfino, D.O. & Feder, F. 2007c. Chroococcales em esteiras microbianas em bolha do Brejo do Pau Fincado, Rio de Janeiro, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, UFRJ, 30:182–187.
- Silva, L.H.S.; Damazio Iespa, C.M. & Iespa, A.A.C. 2007d. Estudo sedimentológico e geomicrobiológico das esteiras microbianas tipo filme da Lagoa Pitanguinha, Região dos Lagos, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 30:67–72.
- Silva, L.H.S.; Hayakawa, R.C.S.; Iespa, A.A.C.; Damazio Iespa, C.M.; Delfino, D.O. & Lopes, F.A.S. 2007e. Cianobactérias planctônicas da Lagoa Pitanguinha, RJ, Brasil. *Revista de Biociências*, 13:63–70. S
- Silva, L.H.S.; Shimizu, V.T.A.; Iespa, A.A.C. & Damazio Iespa, C.M. 2008. Cianobactérias em esteiras microbianas coliformes da salina Praia Seca, Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Ciências da Vida*, EDUR-UFRRJ, 28:44–52.
- Srivastava, N.K. 2002. Lagoa Salgada, RJ: estromatólitos recentes. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; QUEIROZ, E.T.; WINGE, M. & BERBERT-BORN, M.L.C. (eds.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 1:203-209. [Versão digital: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio041/sitio041.pdf>, em 02.08.2016]
- Taher, A.G. 2014. Microbially induced sedimentary structures in evaporite-siliciclastic sediments of Ras Gemsa sabkha, Red Sea Coast, Egypt. *Journal of Advanced Research*, 5:577–586
- Turcq, B., Martin, L., Flexor, J. M., Suguio, K., Pierre, C. & Tasayaco-Ortega, L. 1999. Origin and evolution of the Quaternary Coastal Plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS, B.; BIDONE, E.D. & ABRÃO, J.J. (eds.). *Environmental geochemistry of coastal lagoon systems of Rio de Janeiro, Brazil*. Niterói: UFF, Série Geoquímica Ambiental, 6, p.25–46.
- Van Lith, Y.; Vasconcelos, C.; Warthmann, R.; Martins, J.C.F. & McKenzie, J.A. 2002. Bacterial sulfate reduction and salinity: two controls on dolomite precipitation in Lagoa Vermelha and Brejo do Espinho (Brazil). *Hydrobiologia*, 485:25–49.
- Vasconcelos, C. 1988. *Lagoa Vermelha: um exemplo de formação e diagênese de carbonatos*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Dissertação de Mestrado, 63p.
- Vasconcelos, C. & Bahniuk, A.M.R. 2015. Microbialitos recentes da Região dos Lagos, Estado do Rio de Janeiro. In: FAIRCHILD, T.H.R.; ROHN, R. & DIAS BRITO, D. (eds.). *Microbialitos do Brasil, do Pré-cambriano ao Recente. Um Atlas*. Rio Claro: UNESP-IGCE-UNESPetro, Obra, 2, p.60–75.
- Vasconcelos, C. & McKenzie, J.A. 1997. Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). *Journal of Sedimentary Research*, 67:378–390.
- Wright, V.P. & Barnett, A.J. 2015. An abiotic model for the development of textures in some South Atlantic early Cretaceous lacustrine carbonates. In: BOSENCE, D.W.J.; GIBBONS, K.A.; LEHERON, D.P.; MORGAN, W.A.; PRITCHARD, T. & VINING, B.A. (eds.). *Microbial Carbonates in Space and Time: Implications for Global Exploration and Production*. London: Geological Society, Special Publications, 418:209–219.