



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Departamento de Geologia

**CARACTERIZAÇÃO ORGANOFACIOLÓGICA E  
PALINOLÓGICA DE UM TESTEMUNHO  
HOLOCÊNICO DA LAGOA VERMELHA**

DÉBORA VIEIRA MARTINS GONÇALVES

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho

Rio de Janeiro  
Novembro de 2015

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
<b>2 PALINOFÁCIES</b>	<b>8</b>
<b>3 ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>10</b>
<b>4 CONTEXTO GEOLÓGICO</b>	<b>14</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>16</b>
<b>5.1 Processamento para análise de Carbono Orgânico Total</b>	<b>17</b>
<b>5.2 Processamento para análise de Palinofácies</b>	<b>18</b>
<b>5.2.1 Análise de Palinofácies</b>	<b>20</b>
<b>5.3 Processamento para análise de Palinologia</b>	<b>21</b>
<b>5.3.1 Análise de Palinologia</b>	<b>23</b>
<b>6 RESULTADOS</b>	<b>23</b>
<b>6.1 Descrição do testemunho</b>	<b>23</b>
<b>6.2 Análise de Carbono Orgânico Total, Enxofre Total e Resíduo Inorgânico</b>	<b>27</b>
<b>6.3 Descrição dos resultados de palinofácies</b>	<b>27</b>
<b>6.4 Descrição dos resultados de palinologia</b>	<b>30</b>
<b>7 DISCUSSÃO</b>	<b>31</b>
<b>7.1 Componentes da matéria orgânica</b>	<b>31</b>
<b>7.2 Correlação entre fácies sedimentares, palinofácies, palinologia e análises geoquímicas</b>	<b>34</b>
<b>8 CONCLUSÃO</b>	<b>41</b>
<b>9 AGRADECIMENTOS</b>	<b>42</b>
<b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>42</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>47</b>

# Caracterização Organofaciológica e Palinológica de um Testemunho Holocênico da Lagoa Vermelha

Débora Vieira Martins Gonçalves & João Graciano Mendonça Filho

## Resumo

A Lagoa Vermelha é uma laguna localizada a aproximadamente 100 km a leste do Rio de Janeiro, entre os municípios de Saquarema e Araruama e faz parte do sistema lagunar de Araruama. Esta laguna caracteriza-se por ser um ambiente raso, hipersalino e carbonático. O reconhecimento dos ambientes carbonáticos como tendo provável valor econômico e exploratório impulsionou a busca por análogos modernos no aspecto sedimentar, diagenético e geoquímico. Este trabalho tem como objetivo caracterizar a matéria orgânica particulada em dezesseis amostras de um testemunho (LV4) da Lagoa Vermelha, através das técnicas de palinofácies e palinologia associada à técnica de geoquímica orgânica a fim de melhorar a compreensão da evolução holocênica desses depósitos. As amostras apresentaram a predominância da matéria orgânica amorfa bacteriana em relação aos demais componentes da matéria orgânica particulada. Dois tipos de matéria orgânica amorfa bacteriana (MOAB) foram encontrados: o tipo pelicular e o tipo em placas. A MOAB pelicular apresenta-se com morfologia fina, limites difusos, coloração castanho claro, em luz branca transmitida, e fluorescência amarelada, sob luz azul incidente. Por sua vez, após sofrer retrabalhamento microbiano esse material (MOAB em placas) aparece com um aspecto denso apresentando grumos espessos, contorno definido, coloração castanho escuro, em luz branca transmitida, e alta fluorescência amarelada, sob luz azul incidente. Na base do testemunho foram encontrados Cistos de Dinoflagelados, indicando uma influência marinha, e microalgas do gênero *Botryococcus*. Nos 110 cm ficou evidente o aparecimento de estruturas organossedimentares, como esteiras microbianas e estromatólitos, corroborando com a

diminuição do valor de resíduo insolúvel, marcando a transição de um ambiente siliciclástico para um ambiente carbonático e também o momento de confinamento da Lagoa Vermelha.

**Palavras-chave:** Ambiente Carbonático, Palinofácies, Lagoa Vermelha, Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana.

## **Abstract**

The Lagoa Vermelha is a lagoon situated approximately 100 km east of Rio de Janeiro state, between the municipalities of Saquarema and Araruama and it is part of the lagoon system of Araruama. This lagoon is characterized by a shallow water, hypersaline and carbonate environment. The recognition of carbonate environments likely to have economic and exploratory value boosted the search for modern analogs in sedimentary aspect, diagenetic and geochemical. This study aims to characterize the particulate organic matter in sixteen samples of a core (LV4) from Lagoa Vermelha, through palinofácies and palinology techniques associated with organic geochemical technique in order to improve the understanding of the Holocene evolution of these deposits. Samples showed the predominance of bacterial amorphous organic matter in relation to other components of particulate organic matter. Two types of bacterial amorphous organic matter were found: the pelicular type and the plates one. The pelicular bacterial AOM appears in a fine morphology, diffuse boundaries, light brown coloration, in transmitted white light (TL), and yellow fluorescence, under blue fluorescence mode (FM). On the other hand, after suffering a microbial reworking this material (plate bacterial AOM) appears as a dense aspect, presenting thick lumpy, defined boundaries, dark brown color, in transmitted white light, and high yellow coloration under fluorescence. On the basis of the core were found Cysts of Dinoflagellates, indicating a marine influence, and microalgae of *Botryococcus* genus. In 110 cm was evident the appearance of organosedimentary structures, as microbial mats and stromatolites, agreeing the reduction of insoluble residue value, marking the transition from a siliciclastic to a carbonate environment and also the time of confinement of the Lagoa Vermelha.

**Keywords:** Carbonate Environment, Palynofacies, Lagoa Vermelha, Bacterial Amorphous Organic Matter.

## 1. INTRODUÇÃO

A principal fonte de energia primária da matriz energética mundial é o petróleo. E devido à descoberta do pré-sal (pacote de rochas de composição carbonática, microbiana, que ocorre sob espessa camada de sal) o Brasil consolida-se como um dos grandes produtores de petróleo do mundo (Garcia, 2012). Segundo Papaterra (2010) essas recentes descobertas de grandes acumulações de óleo mediano a leve e gás natural nas bacias da margem continental leste meridional brasileira apontam para a existência de novas e excelentes perspectivas para o setor petrolífero brasileiro.

Assim sendo, se faz necessário o estudo de análogos modernos de depósitos que tenham prováveis reservas comerciais de hidrocarbonetos no intervalo pré-sal com o intuito de compreender seus aspectos sedimentares, diagenéticos e geoquímicos (Estrella *et al.*, 2009). Com a descoberta desses reservatórios as rochas carbonáticas passaram a ganhar grande enfoque e conhecer as características dessas rochas se tornou um grande desafio, pois são extremamente complexas (as formações carbonáticas advêm de um processo de precipitação sedimentar não regular, de origem biológica ou química, apresentam um alto grau de heterogeneidade e anisotropia da permeabilidade) (Pandava Aum, 2011).

Em muitas partes do mundo há o predomínio de reservas de petróleo em rochas de origem marinha, porém com as descobertas nas sequências pré-sal nas bacias costeiras da América do Sul também se aumentou o interesse no potencial gerador das sequências lacustres. A importância do ambiente lacustre para a preservação da matéria orgânica com potencial para geração de hidrocarbonetos no registro geológico tem sido reconhecida há muitos anos, uma vez que muitos folhelhos betuminosos são conhecidos por terem sido depositados em lagos (Powell, 1986).

A Lagoa Vermelha, onde este estudo foi desenvolvido, é um análogo em potencial desses paleodépósitos carbonáticos. Possui clima peculiar semiárido regional e é um ambiente hipersalino, devido a condições com baixa razão precipitação/evaporação e abundante presença de precipitação carbonática (Santelli *et al.*, 2006). A lagoa apresenta outras características importantes, como: a grande variedade de minerais carbonáticos, presença de estruturas organossedimentares e processos atuais de dolomitização (Vasconcelos *et al.*, 2006). E deve-se ressaltar também que lagoas hipersalinas suportam uma produtividade orgânica bastante elevada e que a ocorrência de esteiras microbianas contribui com a produção/preservação da matéria orgânica (Höhn *et al.*, 1986).

Neste trabalho foram realizadas análises de palinofácies e palinologia associadas à geoquímica orgânica (COT e S), tendo como objetivo principal caracterizar a matéria orgânica particulada presente nos sedimentos e a interpretação das condições deposicionais durante a evolução holocênica de um testemunho (LV4) retirado da Lagoa Vermelha, localizada a leste da cidade do Rio de Janeiro.

## **2. PALINOFÁCIES**

O conceito de Palinofácies foi introduzido inicialmente por Combaz (1964) e pode ser entendido como “o estudo palinológico do total de componentes da matéria orgânica contida em um sedimento após a remoção da matriz sedimentar (mineral) pela acidificação com ácido clorídrico (HCl) e ácido fluorídrico (HF)”.

De acordo com Tyson (1995) a análise de palinofácies compreende o estudo de ambientes deposicionais e do potencial de rochas geradoras de hidrocarbonetos com

base no conteúdo palinológico presente nas rochas sedimentares. Assim, palinofácies pode ser definida como “um corpo de sedimento contendo uma assembleia distinta de matéria orgânica palinológica que reflete condições ambientais específicas, podendo ser associada a um potencial de geração de hidrocarbonetos característico”.

A análise de palinofácies consiste na caracterização quantitativa e qualitativa dos componentes orgânicos presente nos sedimentos, integrando todos os aspectos da assembleia de matéria orgânica, como: identificação dos componentes particulados individuais, determinação de suas proporções relativas, seu tamanho e estado de preservação (Tyson, 1995).

Para se estudar a matéria orgânica particulada presente nos sedimentos são utilizados métodos de isolamento da matéria orgânica (concentração do querogênio) e técnicas de microscopia como principal ferramenta para aquisição de dados e métodos estatísticos para sua interpretação (Mendonça Filho *et al.* 2009; 2010a; 2011).

A classificação geral proposta por Tyson (1993, 1995), Mendonça Filho (1999), Mendonça Filho *et al.* (2002), Menezes *et al.* (2008) e Mendonça Filho *et al.* (2010a, 2010b, 2011) foi utilizada para a identificação da matéria orgânica particulada, com o uso apropriado da nomenclatura para observação do querogênio sob luz branca transmitida e o auxílio da observação empregando luz ultravioleta incidente (fluorescência), sendo o querogênio dividido em três grupos principais:

1. Palinomorfo: refere-se a todo componente de parede orgânica resistente ao ataque com HCl (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico), sendo dividido em: esporomorfos (grãos de pólen e esporos), microplâncton de água doce (*Botryococcus* e *Pediastrum*), microplâncton marinho (acritarcos, dinocistos e prasinófitas) e zoomorfos (palinoforaminíferos, escolecodontes e quitinozoários);

2. Fitoclasto: corresponde aos fragmentos de tecidos derivados de macrófitas terrestres. Primeiramente, os fitoclastos são divididos em não opacos (coloração amarelada a marrom escuro) e opacos (pretos). Os fitoclastos não opacos e opacos são subdivididos em categorias de acordo com sua morfologia, presença ou ausência de estruturas e estado de preservação. Os fitoclastos opacos são subdivididos em: alongado, equidimensional e corroído. Já os fitoclastos não opacos, em: bioestruturado (estriado, listrado, bandado, perfurado), não-bioestruturado, cutícula e membrana;

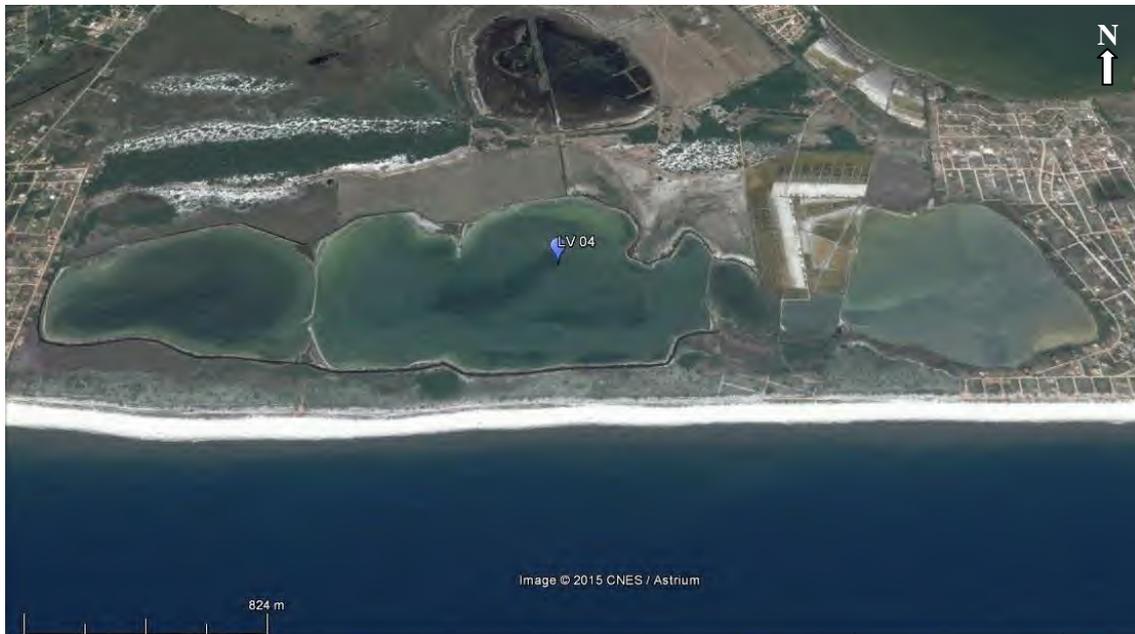
3. Grupo Amorfo: corresponde a todo componente orgânico particulado derivado de bactérias, fitoplâncton e agregados orgânicos degradados (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999; Mendonça Filho *et al.*, 2010a, 2010b, 2010c) caracterizados pela ausência de estruturação, contorno irregular e matriz granular heterogênea. Ocorre sob a forma de grumos ou dispersa, com diferentes tonalidades de marrom, quando analisada sob microscopia de luz branca transmitida, e coloração de alaranjada a amarelada, quando analisada em modo fluorescência.

### **3. ÁREA DE ESTUDO**

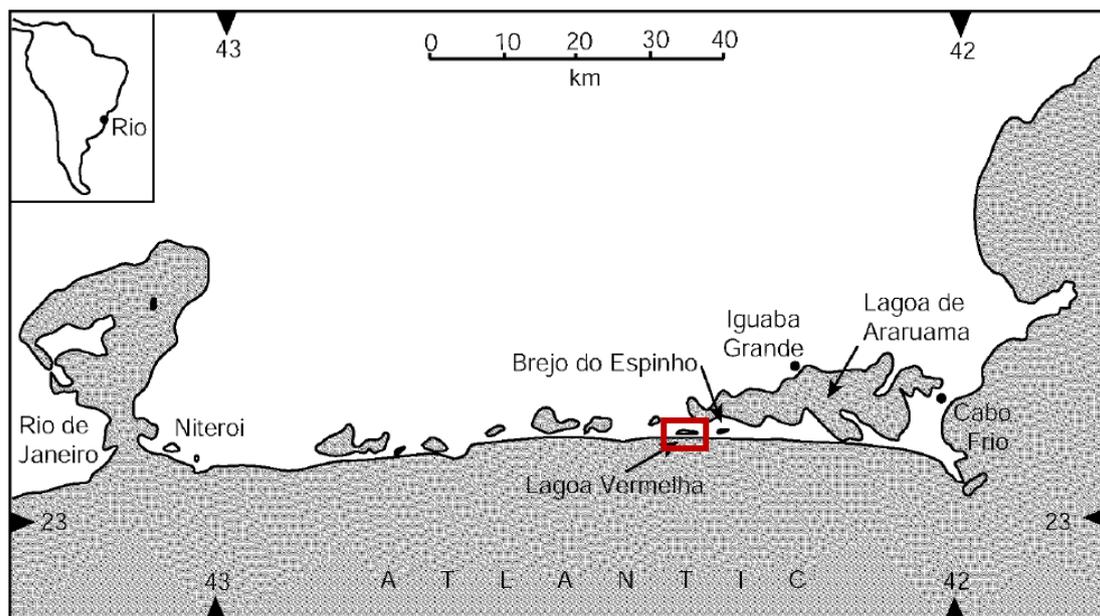
As amostras analisadas foram coletadas de um testemunho retirado do bolsão central da Lagoa Vermelha: testemunho LV4 - coordenadas 22°55'44.05" S e 42°23'2.23" O – (Figura 1).

A Lagoa Vermelha (Figura 2) faz parte do complexo lagunar de Araruama, localiza-se a cerca de 90 km a leste da cidade do Rio de Janeiro (22°55'39" e 22°56'06" Sul e 42°21'29" e 42°24'13" Oeste), na planície costeira entre os municípios de Araruama e Saquarema. Possui 4.400 m de comprimento, 250 a 850 m de largura, área total de aproximadamente 2.400 m<sup>2</sup> e encontra-se separada do Oceano Atlântico pela

restinga de Massambaba, que possui cerca de 350 m de largura e 4 m acima do nível do mar (Silva e Silva *et al.*, 2004, 2007).



**Figura 1** – Localização do testemunho LV4 na Lagoa Vermelha (modificado de Google Earth 2015).



**Figura 2** – Mapa com a localização da Lagoa Vermelha (adaptado de van Lith *et al.*, 2002).

De acordo com Vasconcelos *et al.* (2006), a Lagoa Vermelha é uma pequena laguna hipersalina rasa que faz parte de um grande sistema lagunar situado da borda do Oceano Atlântico e está situada entre dois sistemas de dunas paralelos: o mais recente (Holoceno) a separa do Oceano Atlântico e o mais antigo (Pleistoceno), da Lagoa de Araruama, esta que possui uma conexão limitada com o mar aberto na sua extremidade oriental. Vasconcelos *et al.* (2006) ressaltam também o microclima semiárido da região, que difere do clima tropical regional, devido à ocorrência de uma zona de ressurgência na região de Cabo Frio.

A profundidade de água da Lagoa Vermelha que possui 2 metros, em média, depende diretamente do clima. Variações ocorrem devido às estações secas e chuvosas e às condições do mar que podem causar ingressões, como por exemplo, marés e tempestades locais que aumentam consideravelmente o volume de água da laguna. Devido à sua geometria alongada e topografia de fundo plano, pequenas flutuações no ciclo da água, como variação na evaporação e razão de precipitação, podem resultar em mudanças na área de superfície lagunar e, conseqüentemente, na química da água (Vasconcelos *et al.*, 2006).

Segundo Vasconcelos (1988), o balanço hídrico da Lagoa Vermelha é controlado pela precipitação, evaporação e entrada de águas subterrâneas marinhas e continentais de diferentes salinidades. O influxo de água do mar (através da barreira de dunas que faz limite com o mar) e o influxo de água continental (através da barreira de dunas na parte terrestre) (Vasconcelos, 1988), juntamente com a precipitação e evaporação causam um sistema dinâmico de águas mistas com salinidade variando entre menos salino que a água do mar e condições de hipersalinidade (Höhn *et al.*, 1986; Vasconcelos, 1994). Em períodos de estiagem, a salinidade atinge valores de 84‰,

enquanto após fortes chuvas decresce a valores próximos de 40‰ (Höhn *et al.*, 1986; Silva e Silva *et al.*, 2004, 2007).

Devido ao desenvolvimento da indústria de sal na região, a Lagoa Vermelha sofreu modificações ao longo dos anos. Duas barragens dividem a laguna em três partes e um canal foi construído ao redor para evitar a entrada de águas com baixa salinidade (Höhn *et al.*, 1986; van Lith *et al.*, 2002).

A Lagoa Vermelha é uma rede acumuladora de material orgânico e inorgânico e fornece uma analogia para ambientes que ocorreram no Pré-Cambriano e que pode ter levado a formação de depósitos de petróleo e depósitos de minério de sulfeto. Em seus sedimentos são observadas camadas orgânicas preservadas e carbonatos (Maddock, 1999).

A composição mineralógica especial e as macroestruturas microbiais nos sedimentos da Lagoa Vermelha estão em contraste com as lagunas vizinhas onde há o predomínio de sedimentação detrítica. A Lagoa Vermelha possui um ambiente de sedimentação carbonático, com particularidades relevantes para o estudo da formação e diagênese de carbonatos, bem como a sua interação com cianobactérias, apresentando estruturas organossedimentares como estromatólitos e esteiras microbianas, associadas à precipitação de diversos componentes minerais e dolomita *in situ* (Vasconcelos *et al.*, 2006). A formação das esteiras microbianas na Lagoa Vermelha predomina nas bordas da lagoa e na camada inferior anaeróbica, na interface água/sedimento da parte mais profunda (Höhn *et al.*, 1986; Vasconcelos, 1994; Vasconcelos e McKenzie, 1997).

#### 4. CONTEXTO GEOLÓGICO

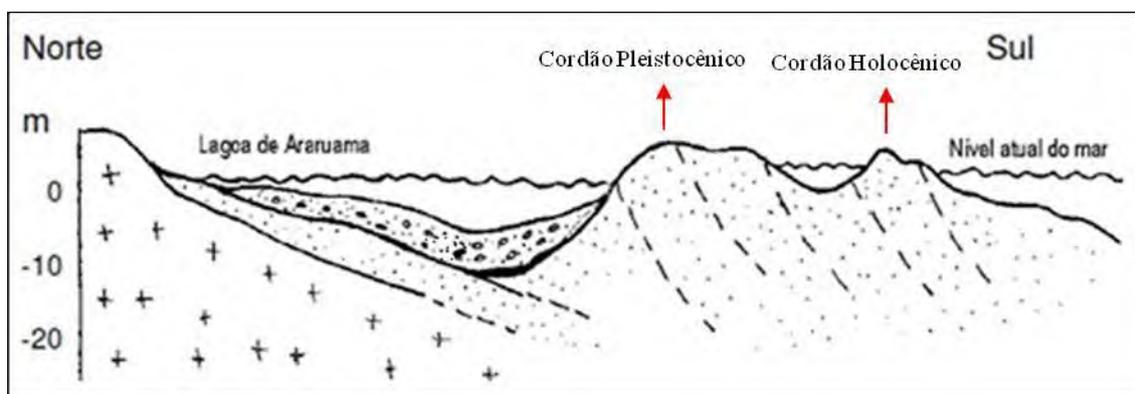
A costa sudeste do Rio de Janeiro, área denominada como Região dos Lagos, possui embasamento geológico composto por rochas gnaisse-graníticas pré-cambrianas cobertas por sedimentos cenozoicos (Penha, 1999). O setor da planície costeira brasileira onde está localizada a Lagoa Vermelha tem um trend regional Leste-Oeste, diferentemente do que ocorre com o restante do litoral (norte-sul); e as características regionais de relevo são atribuídas às atividades tectônicas do Cenozoico. As principais estruturas presentes na área são: faixas costeiras (Serra do Mar), o gráben da Guanabara, os maciços costeiros e a bacia sedimentar de Santos (Turcq *et al.*, 1999).

Oscilações relativas do nível do mar, associadas a modificações climáticas, durante o Quaternário, foram de fundamental importância na formação dos sistemas lagunares e das planícies costeiras brasileiras (Suguio *et al.*, 1985).

Dentro do Gráben da Guanabara, a planície costeira e a plataforma interna formam uma única e contínua unidade morfológica moldada pelas transgressões e regressões do Quaternário. A característica mais marcante dessa planície costeira é a presença de dois sistemas lagunares. O sistema interno, representado por grandes lagoas arredondadas, como: Jacarepaguá, Rodrigo de Freitas, Piratininga, Itaipú, Maricá, Jaconé, Saquarema e Araruama; e o sistema externo, representado por lagoas menores, localizado ao longo de uma estreita planície entre duas barreiras arenosas, incluindo Marapendi, Vermelha, Pernambuco, Brejo do Espinho etc (Turcq *et al.*, 1999).

A Lagoa Vermelha tem sua formação relacionada ao último episódio de transgressão holocênica, iniciado há 7.000 anos (Anjos, 1999). A ilha barreira interna iniciou sua formação na planície costeira de Araruama, a partir de uma transgressão no

Pleistoceno (123.000 anos), dando origem ao primeiro sistema lagunar da região. Com uma posterior regressão normal, a lagoa formada por isolamento foi sendo dessecada e redes de drenagem erodiram parte do cordão arenoso formado. Em um segundo e último episódio transgressivo, no Holoceno, em torno de 6.600 anos atrás, novas ilhas barreiras (sistema lagunar externo) se desenvolveram e os depósitos previamente depositados pela paleolagoa pleistocênica foi invadido pelo mar. Após 5.100 anos um novo evento regressivo baixou o nível lagunar, emergiu as feições das cúspides arenosas e isolou o sistema lagunar externo. Os dois conjuntos de ilhas barreiras passaram a constituir cordões arenosos, delimitando os dois conjuntos de lagoas (Figura 3).



**Figura 3** - Seção transversal esquemática representando os dois conjuntos de lagoas formadas no Quaternário pelas oscilações relativas do nível do mar (modificado de Coe Neto, 1984).

As areias da ilha barreira são compostas por material homogêneo, quartzoso, com grãos variando de muito fino a médio. Elas se encontram cimentadas, por resíduos de conchas na faixa banhada pelo mar (Silva e Silva *et al.*, 2002). Datações com carbono radioativo, em conchas de diferentes testemunhos sedimentares da barreira interna indicam uma idade entre 3.800 a 4.200 anos (Höhn *et al.*, 1986).

Os sedimentos da Lagoa Vermelha são caracterizados por diversas fácies incluindo esteiras microbianas superficiais, areia com conchas, areia e argila

carbonáticas e argila carbonática com matéria orgânica (Maddock, 1999). van Lith *et al.* (2002) dividem os sedimentos da Lagoa Vermelha em duas fácies: uma fácies lagunar caracterizada pela alternância de carbonatos e camadas ricas em carbono orgânico; e uma fácies marinha com grãos de quartzo, que variam de fino a médio, misturado com fragmentos de concha, e esta representa o ambiente marinho anterior ao isolamento da lagoa.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

As amostras cedidas para este trabalho fazem parte do Projeto Caracterização Estratigráfica, Sedimentológica, Geoquímica e de Fácies Orgânicas da Lagoa Salgada, Vermelha e Brejo do Espinho (parte II) CENPES 15190.

Foi utilizado um testemunho retirado do bolsão central da Lagoa Vermelha (Testemunho LV04) que foi coletado com a utilização de sondagens rasas (vibracores), refrigerados em “coolers” portáteis e levados ao laboratório, onde foram mantidos congelados.

Após a abertura do testemunho foi realizada a descrição dos sedimentos e, em seguida, realizada a amostragem em intervalos de 10 centímetros. O testemunho possui 161 centímetros de comprimento e foi dividido em 16 intervalos (o intervalo da base possui 11 cm).

Foram realizadas análises organogeoquímicas, de palinofácies e de palinologia nas 16 amostras. O material foi processado e analisado nos Laboratórios de Preparação de Microfósseis e de Palinofácies & Fácies Orgânica (LAFO), Departamento de Geologia, IGEO/CCMN, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## 5.1 Processamento para análise de Carbono Orgânico Total

O Carbono Orgânico Total (COT) é a abundância de matéria orgânica em sedimentos e é comumente expresso através do percentual relativo de carbono orgânico em uma base de peso seco (Jarvie, 1991). A análise de COT constitui um critério inicial na avaliação do potencial de geração de hidrocarbonetos, podendo ser importante também para estudos sobre o conteúdo orgânico em rochas sedimentares, na interpretação de outros dados como a litologia, a origem e estágio de evolução da matéria orgânica e o ambiente deposicional (Tyson, 1995; Tissot & Welte, 1984). Através desta análise também é possível obter o teor total de enxofre (S%) da amostra e o resíduo insolúvel (RI%).

As análises foram realizadas com o dispositivo LECO SC 144 que é um instrumento de quantificação simultânea de Carbono e Enxofre. Os métodos adotados foram os ASTM D 4239 (American Society for Testing and Materials - ASTM, 2008) e NCEA-C-1282 (United States Environmental Protection Agency-US EPA, 2002).

A descarbonatação é a primeira etapa da preparação das amostras. Foram separadas 3 gramas de cada amostra, previamente pulverizadas, em um recipiente de porcelana filtrante (de massa conhecida). As amostras foram acidificadas com ácido clorídrico (HCl) 1:1 a frio, por 24 horas, para eliminação da fração carbonática. Em seguida, iniciou-se a lavagem das amostras com água destilada quente (100°C) para eliminação dos cloretos, durante 1 hora, e depois com água destilada à temperatura ambiente, até que o pH ficasse próximo a seis (conferindo com o papel universal). Descartou-se o excesso de água e secou-se em estufa a 65°C, durante 3 horas.

Após o resfriamento, as amostras foram pesadas novamente para que o resíduo insolúvel fosse calculado e, conseqüentemente, o teor de carbonato.

Para combustão (queima), as amostras foram colocadas no analisador (SC 144 - LECO) e indicou-se no programa do equipamento o valor da massa inicial (massa antes da acidificação). No aparelho, as amostras foram levadas a um forno numa atmosfera de oxigênio à temperatura de 1350°C. As amostras sofreram combustão total devido à combinação da temperatura com o fluxo de oxigênio. Todo carbono e enxofre contidos nas amostras sofreram oxirredução neste processo, formando, respectivamente, CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>. A célula de infravermelho realizou a leitura dos gases e as concentrações foram obtidas em porcentagem.

O resíduo insolúvel (RI) corresponde à fração da amostra não eliminada pelo tratamento ácido, pressupondo-se que ocorreu eliminação total dos carbonatos durante a acidificação.

$$\text{RI (\%)} = \frac{\text{Peso do insolúvel} \times 100}{\text{Peso inicial da amostra}}$$

Assim, é assumida uma relação entre a porcentagem de carbonato e o RI de cada amostra, como mostra a fórmula seguinte:

$$\text{Teor de Carbonato (\%)} = 100 - \text{RI}$$

## **5.2 Processamento para análise de Palinofácies**

A preparação do material para análise de palinofácies foi realizada utilizando os procedimentos palinológicos não oxidativos padrões descritos por Tyson (1995), Mendonça Filho (1999), Mendonça Filho *et al.* (2010, 2011a) e Oliveira *et al.* (2006).

As amostras foram trituradas, sem pulverizá-las, e cerca de 30 gramas foram separadas para a preparação de palinofácies.

Em seguida, três etapas de acidificação foram realizadas: na primeira foi utilizado ácido clorídrico (HCl 37%), por 18 horas, para eliminação da fração

carbonática; a segunda consistiu no ataque com ácido fluorídrico (HF 40%), durante 24 horas, para eliminação dos silicatos; e na terceira foi adicionado ácido clorídrico (HCl 37%), por 3 horas, para eliminar possíveis fluorsilicatos que possam ter sido formados nas etapas anteriores (Tyson, 1995; Mendonça Filho, 1999). Após cada etapa de acidificação as amostras foram lavadas, sucessivamente, com água filtrada, por quatro vezes, para neutralização. O líquido sobrenadante foi passado para uma peneira com malha de 10  $\mu\text{m}$  e o material retido na peneira retornou ao béquer (Oliveira *et al.*, 2006; Mendonça Filho *et al.*, 2010)

Com o material já neutralizado e eliminado o excesso de água, transferiu-se o material mais fino para o tubo de centrífuga, foi adicionado cloreto de zinco ( $\text{ZnCl}_2$  – densidade = 1,9 a 2  $\text{g/cm}^3$ ), que possui densidade intermediária entre o material orgânico e o inorgânico, por cerca de 12 horas, com o objetivo de separar a fração orgânica da fração inorgânica remanescente por flotação. Neste processo, a fração inorgânica ficou depositada no fundo do tubo de centrífuga e a fração orgânica em suspensão foi transferida para outro tubo para a lavagem do  $\text{ZnCl}_2$ . Iniciou-se esta lavagem com água filtrada e ácido clorídrico (10%), em seguida, o tubo foi levado à centrífuga por 3 minutos a 1500 rpm. Após a centrifugação, descartou-se o sobrenadante e adicionou-se água filtrada e, novamente, o tubo foi levado à centrífuga. Este procedimento foi realizado até que o material estivesse completamente neutralizado (pH próximo a 6).

Após a eliminação do  $\text{ZnCl}_2$  e neutralização, o resíduo orgânico foi transferido para um frasco com tampa, devidamente etiquetado, e deste material foram confeccionadas as lâminas organopalinológicas. Para a montagem das lâminas, colocaram-se duas lamínulas (24x24 mm) sobre uma chapa aquecedora (50°C), uma lamínula recebeu uma gota de resíduo orgânico, não peneirado, juntamente com

algumas gotas de água filtrada e uma ou duas gotas de goma de Acácia; a outra lamínula recebeu o resíduo previamente peneirado, em malha de poliéster de 10 $\mu$ m, e algumas gotas de água filtrada e goma de Acácia. Após a secagem, as duas lamínulas foram coladas em uma mesma lâmina de vidro (24x76 mm) com resina Entellan-Merck (resina a base de xileno).

### **5.2.1 Análise de Palinofácies**

Para a análise de palinofácies foi realizado, em cada lâmina, o exame quantitativo (contagem de 300 a 500 partículas) e qualitativo (identificação das partículas) dos grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada, através da utilização de técnicas de microscopia de Luz Branca Transmitida e Luz Azul Incidente (Fluorescência).

Para esta análise utilizou-se o Microscópio Zeiss, Modelo AXIOSKOP 2-PLUS, com ocular de 10x e objetiva de 20x de aumento (quando necessário, foram utilizadas objetivas de 40x e 100x de aumento para exame mais detalhado).

A contagem foi realizada na parte peneirada fazendo-se uma cobertura da lâmina, através de seções transversais verticais, utilizando-se uma ocular com retículo cruzado graduado. Os dados de contagem foram registrados manualmente em folhas de contagem obedecendo a classificação proposta por Tyson (1995) e Mendonça Filho *et al.* (2010), sendo os fragmentos com tamanho inferior a 50  $\mu$ m ignorados, com exceção, do grupo dos palinomorfos, que foram considerados independentemente do tamanho.

Após a contagem, os valores absolutos foram normalizados para 100% e gráficos binários foram confeccionados para uma melhor visualização dos resultados.

### 5.3 Processamento para análise de Palinologia

A preparação do material para análise de palinologia foi realizada utilizando os procedimentos descritos por Oliveira *et al.* (2004) e Oliveira (2003, 2011) que adaptaram o “método palinológico por peneiramento com malha de 6  $\mu\text{m}$ ” utilizado por Brenner (1998), que favorece a concentração dos palinomorfos, e o método de Matsuoka & Fukuyo (2000) que utiliza vidro de relógio (bateamento) para recuperação de dinocistos de sedimentos recentes. Oliveira *et al.* (2004) e Oliveira (2003, 2011) utilizaram malha de 5 $\mu\text{m}$ .

Cerca de 6 gramas de sedimento foram retirados da geladeira (por volta de 4°C), levados para uma estufa por volta de 50°C até a secagem (24h) e colocados em béqueres para o processamento palinológico. Primeiramente foi utilizado ácido clorídrico (HCl 37%), por 18 horas, para eliminação do material carbonático. Este material foi neutralizado acrescentando água filtrada no béquer e, em seguida, foi transferido para uma peneira para ser lavado.

Após a neutralização, com o material ainda na peneira, acrescentou-se detergente (Extran) até cobrir a amostra. O detergente foi utilizado para tentar dissociar e degradar a matéria orgânica amorfa, os pequenos fitoclastos e as cutículas. A amostra ficou em repouso por volta de 15 minutos e, em seguida, foi lavada com água filtrada, por várias vezes, até toda espuma feita pelo detergente acabar. Após essa lavagem, colocou-se a peneira com o material no ultrassom, por três segundos, para uma melhor limpeza do material (para dissociar a matéria orgânica mais resistente, como fitoclastos, materiais cuticulares, membranas e matéria orgânica amorfa).

A etapa seguinte foi o ataque da amostra com ácido fluorídrico (HF 40%). Acrescentou-se uma quantidade de ácido fluorídrico três vezes maior do que o volume

da amostra e deixou-se repousar por cerca de 24 horas. Após o término da reação, novamente as amostras foram lavadas, sucessivamente, com água filtrada para neutralização das amostras.

As etapas com o uso do detergente e ultrassom, já mencionadas acima, foram repetidas com o intuito de dissociar e degradar a matéria orgânica amorfa.

A última acidificação ocorreu adicionando ácido clorídrico (HCl 37%), por 3 horas, para eliminar possíveis fluorsilicatos que possam ter sido formados nas etapas anteriores. E novamente as amostras foram lavadas com água filtrada para neutralização.

A preparação seguiu com o método de bateamento, proposto por Matsuoka & Fukuyo (2000), que consiste em um procedimento mecânico e artesanal para eliminar os inorgânicos resistentes ao ataque com ácidos e para concentrar os dinocistos. Colocou-se o material neutralizado em um vidro de relógio (15 cm de diâmetro) e, manualmente, gerou-se movimentos circulares, utilizando um picete com água filtrada, até que todo mineral (componente mais pesado) se concentrasse no fundo do vidro e os componentes orgânicos (mais leves) ficassem em suspensão. Este sobrenadante foi retirado com auxílio de uma pipeta e transferido para outro recipiente. Este procedimento foi repetido algumas vezes até que se obtivesse êxito na separação da fração orgânica da fração mineral.

Por fim, o resíduo orgânico foi transferido para um frasco com tampa, devidamente etiquetado, e deste material foram confeccionadas as lâminas palinológicas. Para a montagem das lâminas, colocou-se uma lamínula (24x24 mm) sobre uma chapa aquecedora (50°C). Esta lamínula recebeu o resíduo e algumas gotas de água filtrada e goma de Acácia. Após a secagem, a lamínula foi colada em uma lâmina de vidro (24x76 mm) com resina Entellan-Merck (resina a base de xileno).

### **5.3.1 Análise de Palinologia**

Para a análise de palinologia foi realizado, em cada lâmina, o exame quantitativo (contagem de 300 a 500 partículas) e qualitativo (identificação das partículas) do grupo palinomorfo (esporomorfos, microplâncton de água doce e marinho e zoomorfos), através da utilização de técnicas de microscopia de Luz Branca Transmitida e Luz Azul Incidente (Fluorescência).

Para esta análise utilizou-se o Microscópio Zeiss, Modelo AXIOSKOP 2-PLUS, com ocular de 10x e objetiva de 40x de aumento.

A contagem foi realizada no campo total de visada da lâmina, sendo os dados registrados manualmente em folhas de contagem.

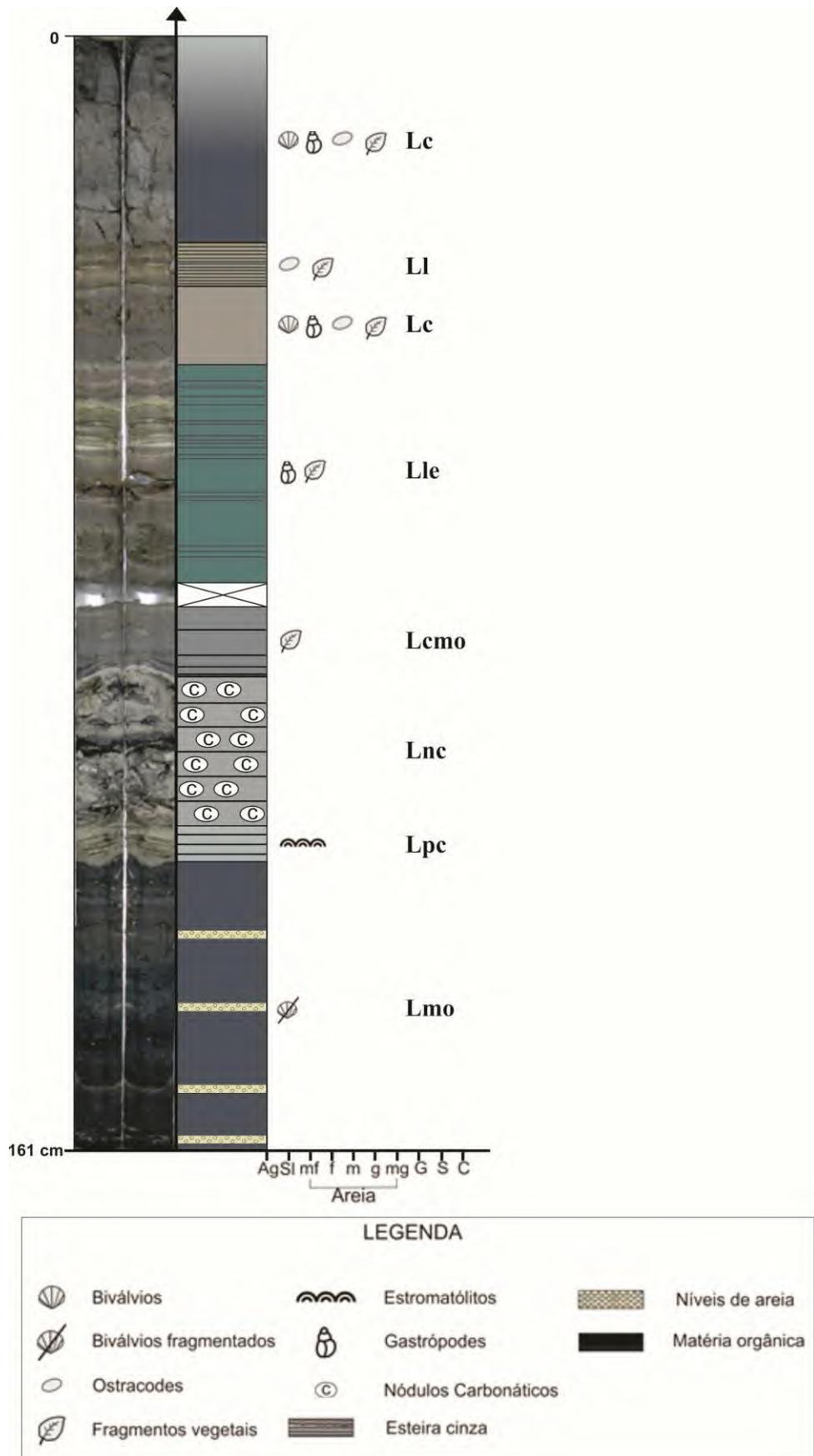
Após a contagem, os valores absolutos foram normalizados para 100% e gráficos binários foram confeccionados para uma melhor visualização dos resultados.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1 Descrição do testemunho**

O registro fotográfico e a descrição do testemunho foram realizados pela equipe do Laboratório de Geologia Sedimentar da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LAGESED), coordenado pelo Prof. Dr. Leonardo Borgh da Fonseca. A fotografia do testemunho foi utilizada para a confecção do perfil estratigráfico (Figura 4), sendo associada às fácies descritas que estão expostas no Quadro 1.

O testemunho, no geral, é composto por sedimento carbonático, de granulometria tamanho argila e com presença de matéria orgânica. A descrição detalhada do testemunho encontra-se no Quadro 1. O material retirado no topo do testemunho foi reconhecido como um intervalo remobilizado, por isso, não apresenta informações tão seguras.



**Figura 4** – Fotografia e perfil de fácies sedimentares do testemunho LV4 (Modificado de LAGESED – Geologia Sedimentar – UFRJ).

**Quadro 1** – Descrição das fácies sedimentares encontradas no testemunho LV4 (LAGESED – Geologia Sedimentar – UFRJ).

<b>Código</b>	<b>Diagnose</b>	<b>Descrição</b>
<b>Lc</b>	Lama cinza	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração cinza, constituído por carbonato peloidal. Presença de ostracodes, detritos vegetais, gastrópodes e bivalvíos.
<b>Li</b>	Lama laminada	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração cinza, constituído por intercalações milimétricas de esteiras microbianas e lâminas carbonáticas peloidais. Presença de detritos vegetais e ostracodes.
<b>Lle</b>	Lama laminada esverdeada	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração esverdeada, constituído por carbonato peloidal e intercalações milimétricas de esteiras e carbonatos. Presença de detritos vegetais, gastrópodes e bioturbações.
<b>Lcmo</b>	Lama carbonática com matéria orgânica	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração cinza, constituído por carbonato peloidal e matéria orgânica. Presença de detritos vegetais.
<b>Lnc</b>	Lama com nódulos carbonáticos	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração cinza, constituído por nódulos carbonáticos. Presença de esteiras sobre os nódulos e lama carbonática peloidal com matéria orgânica entre os nódulos.
<b>Lpc</b>	Lama com placas carbonáticas	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração cinza, constituído por placas carbonáticas laminadas ( <i>estromatólito biscuit</i> ). Presença de matéria orgânica entre algumas lâminas.
<b>Lmo</b>	Lama com matéria orgânica	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração cinza, constituído, predominantemente, por matéria orgânica. Presença de níveis de areia grossa quartzosa e fragmentos milimétricos de bivalvíos.

## 6.2 Análise de Carbono Orgânico Total, Enxofre Total e Resíduo Inorgânico

Os resultados obtidos na análise de COT, S e RI estão expostos na tabela 1. O valor de COT variou de 2,54 a 15,58%, apresentando os menores valores no intervalo de 90 a 110 centímetros de profundidade; o S variou de 0,34 a 1,78%; e o RI de 5,40 a 72,20%, com valores mais elevados na base do testemunho (120 a 161 centímetros de profundidade).

**Tabela 1:** Valores percentuais de COT, S, RI e dos três principais grupos da matéria orgânica particulada. Em destaque os valores máximos (vermelho) e mínimos (azul) encontrados de COT, S e RI - LV4.

Amostra	Profundidade (cm)	COT (%)	S (%)	RI (%)	Fitoclasto (%)	MOA (%)	Palinomorfo (%)
LV4 - 01	0-10	6,90	0,76	22,50	0,65	98,70	0,65
LV4 - 02	10-20	5,03	0,50	12,10	0,32	99,68	0
LV4 - 03	20-30	4,60	0,49	10,60	0	100	0
LV4 - 04	30-40	6,74	0,72	14,20	0,32	99,68	0
LV4 - 05	40-50	4,51	0,55	10,00	0	100	0
LV4 - 06	50-60	6,56	0,81	13,00	0	100	0
LV4 - 07	60-70	8,40	0,99	18,20	0	100	0
LV4 - 08	70-80	6,81	0,73	14,10	0	100	0
LV4 - 09	80-90	6,73	0,73	13,60	1,30	97,08	1,62
LV4 - 10	90-100	3,75	0,68	8,10	0,32	99,04	0,64
LV4 - 11	100-110	2,54	0,34	5,40	0	99,36	0,64
LV4 - 12	110-120	3,62	0,52	13,20	0	100	0
LV4 - 13	120-130	8,58	1,13	70,00	0	100	0
LV4 - 14	130-140	15,58	1,78	54,70	0	99,67	0,33
LV4 - 15	140-150	6,96	0,73	72,20	0,98	99,02	0
LV4 - 16	150-161	9,97	1,35	68,10	0,63	99,06	0,31

## 6.3 Descrição dos resultados de palinofácies

Através da análise das lâminas organopalinológicas foi possível reconhecer os três principais grupos da matéria orgânica particulada: fitoclasto, matéria orgânica

amorfa (MOA) e palinomorfo. A tabela 1 expõe os resultados percentuais dos três grupos, enquanto a tabela 2 apresenta os valores percentuais obtidos para os subgrupos.

O grupo fitoclasto não apresentou representatividade expressiva. Seus valores relativos variaram de 0 a 1,3% (Tabela 1). Os fitoclastos encontrados foram: os fitoclastos opacos (partículas de cor preta e sem fluorescência) do tipo alongado (Estampa 1 – A) e do tipo corroído (Estampa 1 – B); os fitoclastos não opacos (partículas com coloração variando de marrom claro a marrom escuro e com fluorescência variada) do tipo bioestruturado listrado (Estampa 1 – C, D) e do tipo bioestruturado estriado (Estampa 1 – E, F); e as cutículas (Estampa 1 – G, H), que se apresentaram muito claras e com fluorescência.

A matéria orgânica amorfa (MOA) foi o grupo predominante ao longo do testemunho. Seus valores variaram de 97,08 a 100% (Tabela 1). A matéria orgânica amorfa bacteriana (MOAB) encontrada foi diferenciada, por suas características, em dois tipos: MOAB em placas (Estampa 2 – A, B, C, D, I, J), que variou de 5,73 a 94,30% (Tabela 2), com valores percentuais elevados em todo testemunho, com exceção, do intervalo de 90 a 110 centímetros de profundidade (5,73%; 9,97% e 14,66% - amostras LV4-10, LV4-11 e LV4-12, respectivamente); e a MOAB pelicular (Estampa 2 – E, F, G, H, I, J), que variou de 5,38 a 93,31% (Tabela 2) e foi dominante no intervalo de 90 a 110 centímetros de profundidade (93,31%; 89,39% e 85,34% - amostras LV4-10, LV4-11 e LV4-12, respectivamente). A MOAB em placas apresentou-se com aspecto mais denso, como grumos espessos, de coloração castanho escuro (em luz branca transmitida), com alta fluorescência amarelada (sob luz azul incidente) e com inclusões que podem ser pirita e fragmentos de fitoclastos. A MOAB pelicular apresentou-se com morfologia fina, coloração castanho claro (em luz branca

transmitida), com fluorescência amarelada (sob luz azul incidente) um pouco mais fraca que a MOAB em placas e também com a presença de pequenas inclusões.

O grupo palinomorfo apresentou baixo percentual de ocorrência, variando de 0 a 1,62% (Tabela 1). Foram encontrados representantes dos esporomorfos (grão de pólen e esporo) (Estampa 3 – A, B, C, D), do microplâncton de água doce do gênero *Botryococcus* (Estampa 3 – E, F) e também dos dinocistos (microplâncton marinho) da espécie *Operculodinium centrocarpum* (Estampa 3 – G, H, I, J).

**Tabela 2:** Valores percentuais dos subgrupos da matéria orgânica particulada em relação ao total de matéria orgânica - LV4.

	Fitoclasto				MOA		Palinomorfo		
	% F.O.	% F.N.O.	% Membrana	% Cutícula	% MOAB em Placas	% MOAB Pelicular	% Esporomorfos	% Botryococcus	% Dinocistos
LV4 - 01	0,33	0	0	0,33	91,86	6,84	0,65	0	0
LV4 - 02	0,32	0	0	0	94,30	5,38	0	0	0
LV4 - 03	0	0	0	0	88,06	11,94	0	0	0
LV4 - 04	0	0	0	0,32	82,52	17,15	0	0	0
LV4 - 05	0	0	0	0	81,70	18,30	0	0	0
LV4 - 06	0	0	0	0	86,84	13,16	0	0	0
LV4 - 07	0	0	0	0	92,76	7,24	0	0	0
LV4 - 08	0	0	0	0	91,91	8,09	0	0	0
LV4 - 09	0,65	0,65	0	0	71,43	25,65	1,62	0	0
LV4 - 10	0	0	0	0,32	5,73	93,31	0	0,64	0
LV4 - 11	0	0	0	0	9,97	89,39	0	0,64	0
LV4 - 12	0	0	0	0	14,66	85,34	0	0	0
LV4 - 13	0	0	0	0	83,66	16,34	0	0	0
LV4 - 14	0	0	0	0	89,11	10,56	0	0	0,33
LV4 - 15	0,33	0,65	0	0	56,54	42,48	0	0	0
LV4 - 16	0,63	0	0	0	76,42	22,64	0	0	0,31

#### **6.4 Descrição dos resultados de palinologia**

Através da análise das lâminas palinológicas foi possível reconhecer os representantes do grupo palinomorfo (esporomorfos, microplâncton de água doce (*Botryococcus*) e microplâncton marinho (dinocistos)). A tabela 3 apresenta os resultados percentuais para este grupo.

Ao longo do testemunho LV4, com relação ao total de palinomorfos, foi possível observar valores percentuais mais elevados dos componentes continentais, representado principalmente pelos esporomorfos, com valores variando entre 48,36 e 100%, e também pelo microplâncton de água doce do gênero *Botryococcus*, que foi observado somente na amostra LV4-12, com valor pouco representativo (0,32%). Os palinomorfos marinhos, representados pelos cistos de dinoflagelados, foram encontrados somente na base do testemunho, de 100 a 161 centímetros de profundidade, com valores entre 0,33 e 51,64%.

**Tabela 3:** Valores percentuais do grupo palinomorfo com relação ao total de palinomorfos - LV4.

Amostra	Profundidade (cm)	Palinomorfos Continentais			Palinomorfos Marinhos	
		Esporomorfo (%)	<i>Botryococcus</i> (%)	Palinomorfo Continental Total	Dinocisto (%)	Palinomorfo Marinho Total
LV4 - 01	0-10	100	0	100	0	0
LV4 - 02	10-20	100	0	100	0	0
LV4 - 03	20-30	100	0	100	0	0
LV4 - 04	30-40	100	0	100	0	0
LV4 - 05	40-50	100	0	100	0	0
LV4 - 06	50-60	100	0	100	0	0
LV4 - 07	60-70	100	0	100	0	0
LV4 - 08	70-80	100	0	100	0	0
LV4 - 09	80-90	100	0	100	0	0
LV4 - 10	90-100	100	0	100	0	0
LV4 - 11	100-110	99,67	0	99,67	0,33	0,33
LV4 - 12	110-120	97,47	0,32	97,78	2,22	2,22
LV4 - 13	120-130	94,14	0	94,14	5,86	5,86
LV4 - 14	130-140	78,95	0	78,95	21,05	21,05
LV4 - 15	140-150	48,36	0	48,36	51,64	51,64
LV4 - 16	150-161	53,93	0	53,93	46,07	46,07

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1 Componentes da matéria orgânica

Dentre todos os grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada, a matéria orgânica amorfa (MOA) foi o grupo predominantemente encontrado, ao longo do testemunho. A elevada abundância relativa de MOA exibindo intensa coloração de fluorescência é característica de áreas de alta preservação de matéria orgânica devido às condições redutoras, especialmente em áreas de alta produtividade primária (Tyson, 1993, 1995). Neste trabalho, segundo a classificação de Mendonça Filho *et al.* (2010), a

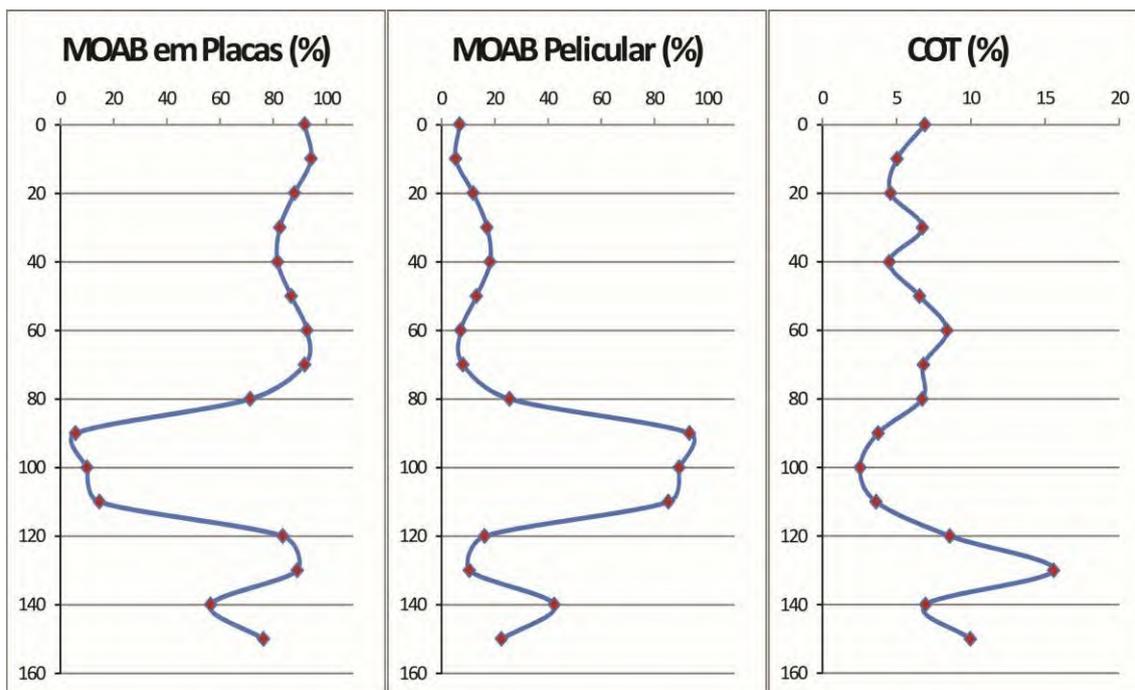
MOA foi dividida em MOA em placas e MOA pelicular, de acordo com suas características sob a observação em microscópio.

A baixa ocorrência do grupo fitoclasto e dos constituintes do microplâncton marinho e de água doce, diminuem a possibilidade destes grupos estarem sendo amorfizados e dando origem a MOA. Como muitos trabalhos registram a presença de esteiras microbianas na Lagoa Vermelha (Höhn *et al.*, 1986; van Lith *et al.*, 2002; Silva e Silva *et al.*, 2004; Vasconcelos *et al.* 2006; Santelli *et al.*, 2006; Pacton *et al.*, 2011 e outros), o que também foi observado no testemunho LV4, sugere-se que a MOA encontrada seja de origem bacteriana, que segundo Mendonça Filho *et al.* (2010) está associada a ambientes de sedimentação carbonática. A MOA pelicular pode ser derivada da atividade microbiana através das bactérias autotróficas e fotossintéticas que produzem mucilagem (EPS – Substância Polimérica Extracelular) e são associadas a baixos teores de COT (Mendonça Filho *et al.*, 2010a). A sua produção ocorre simultaneamente à precipitação carbonática, aprisionando os cristais, e pode apresentar estruturas em crateras, devido à remoção dos minerais carbonáticos pela dissolução por HCl, durante a preparação das amostras. O material mucilaginoso também pode sofrer retrabalhamento microbiológico, em condições redutoras (colônias de bactérias heterotróficas retrabalham o EPS produzido pelas bactérias autotróficas), tornando-se denso, altamente fluorescente, por vezes, com contorno definido e com aspecto de placas, o que seria a MOA em placas. Neste caso, a matéria orgânica está associada geralmente a elevados valores de COT (Mendonça Filho *et al.*, 2010a), o que pode ser confirmado neste estudo, já que os maiores valores de COT coincidem com os intervalos onde a MOA em placas é abundante, enquanto que no intervalo onde a MOA pelicular predomina, são encontrados valores de COT mais baixos (Figura 5).

Os dinocistos, representantes dos palinomorfos marinhos, ocorrem somente na base do testemunho e são de grande importância já que podem indicar uma interferência marinha na laguna. Vale ressaltar que a espécie *Operculodinium centrocarpum* identificada é considerada eurihalina (tolerante a grandes variações de salinidade) (Wall *et al.*, 1977).

As baixas concentrações observadas de fitoclastos, esporomorfos e algas do gênero *Botryococcus*, em relação ao total de matéria orgânica, destacam o pouco aporte sedimentar que chega à região.

Na contagem de Palinologia, os palinomorfos encontrados, em todo o testemunho, são predominantemente do subgrupo esporomorfo (Tabela 3). Segundo Mendonça Filho *et al.* (2010c), os esporomorfos podem ser produtos de Pteridófitas e Briófitas (esporos) ou de Gimnospermas e Angiospermas (grãos de pólen), ambos possuem origem terrestre. A presença dessas partículas sugere que podem ter sido transportadas para o interior da Lagoa Vermelha através do vento, já que não há indícios de sistemas fluviais alimentarem a laguna.



**Figura 5** – Gráficos percentuais dos valores de MOAB em placas, MOAB pelicular e COT do testemunho LV4.

## 7.2 Correlação entre fácies sedimentares, palinofácies, palinologia e análises geoquímicas

Para a interpretação ambiental e deposicional do testemunho LV4, foi feita uma correlação entre as fácies sedimentares, o estudo palinofaciológico, o estudo palinológico e as análises geoquímicas. As fácies observadas não concordam necessariamente com o intervalo amostral do testemunho (Figuras 6, 7 e 8).

A fácies **Lmo** aparece na base do testemunho (120 a 161 cm de profundidade). Trata-se de uma lama rica em matéria orgânica contendo camadas finas de areia grossa quartzosa. Apresenta os maiores valores percentuais de resíduo insolúvel, indicando um ambiente mais siliciclástico. Possui predomínio de MOAB em placas e elevado teor de COT que pode estar associado a uma maior preservação da matéria orgânica,

influenciado por um sistema com maior lâmina d'água, possível anoxia do fundo e sedimentação de material fino (Mendonça Filho *et al.*, 2011).

Esta mesma fácies foi encontrada por Silva (2014) para o testemunho LV2, por Ramos (2015) para o testemunho LV3 e por Turcq *et al.* (1999) (LV-4) que a descreveram como sendo predominantemente composta de lama orgânica contendo camadas finas de conchas. Turcq *et al.* (1999) sugere que esta sedimentação foi depositada em um ambiente restrito e este material foi datado em aproximadamente 6530 anos.

A ocorrência de cistos de dinoflagelados na base do testemunho (100 a 161 cm) indica uma influência marinha. Tal influência marinha se daria por meio de pulsos transgressivos, que poderia ser através de maré de sizígia ou “washed over”, que são canais escavados durante ressacas, que podem permanecer por algum tempo alimentando a lagoa e com isso afetando a salinidade (Vasconcelos, 1988).

A fácies **Lpc** (115 a 120 cm de profundidade) é descrita como uma lama constituída de placas carbonáticas laminadas (estromatólito *biscuit*). Por apresentar placas, esta fácies demonstra um período de clima mais árido, com aumento da salinidade e redução do corpo aquático. Possui um baixo valor percentual de COT e RI e predomínio de MOAB pelicular. Dinocistos da espécie *Operculodinium centrocarpum* e microalgas de água doce do gênero *Botryococcus* foram encontrados, em baixas proporções, nesta fácies.

Dos 110 cm de profundidade até o topo do testemunho os valores percentuais de resíduo insolúvel são baixos e por isso, a partir da fácies **Lpc** ocorre uma transição de um ambiente siliciclástico para um ambiente carbonático, que pode ser confirmado também na descrição dos sedimentos (Figura 4 e Quadro 1). Esta mesma fácies também foi encontrada por Ramos (2015) para o testemunho LV3. A precipitação carbonática

pode estar associada à salinização do ambiente que propiciou maior produção de carbonato e acúmulo de carbono. Essa mudança no ambiente foi datada por Turcq *et al.* (1999) em, aproximadamente, 3700 anos e marca o isolamento da laguna.

Após o isolamento do corpo lagunar, o regime hídrico passa a ser controlado pelas variações climáticas. Estas perturbações descritas por van Lith *et al.* (2002) como mudanças de salinidade devido à pluviosidade, a evaporação e a infiltração de água subterrânea podem ser associadas às mudanças na sedimentação.

A fácies **Lnc** (90 a 115 cm de profundidade) trata-se de uma lama carbonática, com nódulos carbonáticos e esteiras sobre estes nódulos. Apresenta os menores valores de COT, baixo valor de RI e predomínio de MOAB pelicular. Também foram encontrados, em baixíssimas proporções, dinocistos da espécie *Operculodinium centrocarpum* e microalgas de água doce do gênero *Botryococcus*.

A implantação de um ambiente carbonático, que provavelmente seguiu aumentando a salinidade até níveis restritivos, pode ter feito a produtividade diminuir e, por isso, apresenta os valores de COT mais baixos nas fácies **Lpc** e **Lnc** (90 a 110 cm).

A ocorrência de microalgas de água doce do gênero *Botryococcus* junto com os dinocistos (90 a 110 cm) não interferem na proposta de influência marinha, pois são capazes de tolerar certos níveis de salinidade, podendo sobreviver nesse ambiente junto com os dinocistos (Del Papa *et al.*, 2002; Oliveira, 2011).

A fácies **Lcmo** (82 a 90 cm de profundidade) é descrita como uma lama carbonática com matéria orgânica. O valor percentual de COT é elevado, o de RI é baixo e há o predomínio de MOAB em placas.

A fácies **Lle** (45 a 78 cm de profundidade) é uma lama carbonática com intercalações milimétricas de esteiras microbianas. O valor de COT é considerado

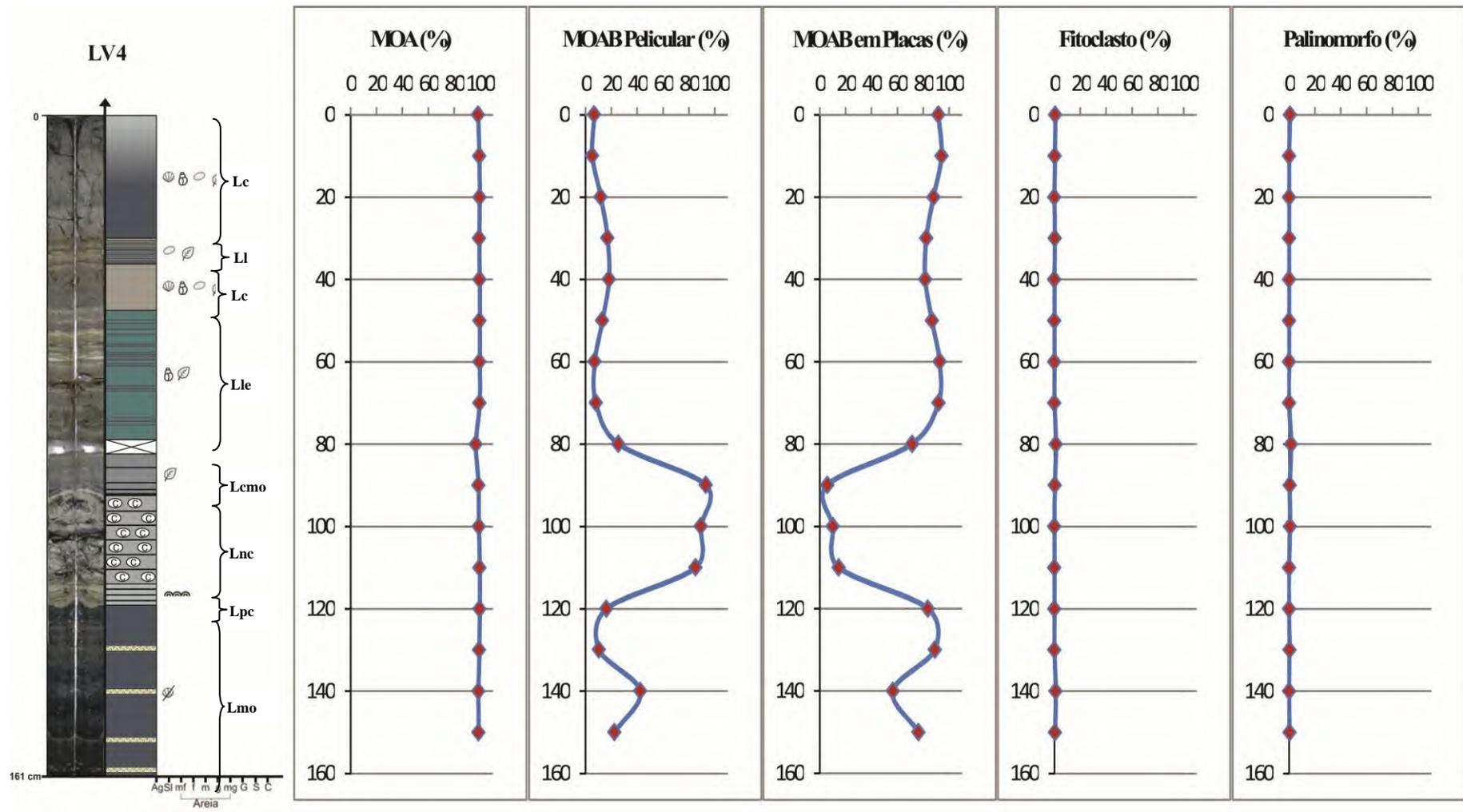
elevado, o valor de RI é baixo e a matéria orgânica particulada predominante é a MOAB em placas.

A fácies **Lc** (0 a 30 cm e de 35 a 45 cm de profundidade) trata-se de uma lama constituída de carbonato peloidal. Possui elevado teor de COT, baixo valor percentual de RI e o predomínio de MOAB em placas.

A fácies **LI** (30 a 35 cm de profundidade) é descrita como uma lama laminada constituída por intercalações milimétricas de esteiras microbianas e lâminas carbonáticas peloidais. Também apresenta elevado teor de COT, valor de RI baixo e predomínio de MOAB em placas.

Na fácies **Lcmo**, assim como nas fácies **Lle**, **LI** e **Lc**, não há a ocorrência de placas carbonáticas e isso sugere um período mais úmido, com queda na salinidade e aumento da lâmina d'água.





**Figura 7** – Gráficos percentuais dos parâmetros palinofaciológicos dos grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada em relação ao total de matéria orgânica particulada do testemunho LV4.



## 8. CONCLUSÃO

A matéria orgânica particulada predominante em todo testemunho foi a matéria orgânica amorfa bacteriana (MOAB), que foi classificada em dois subgrupos: MOAB pelicular e MOAB em placas.

A alternância de predomínio entre MOAB pelicular e MOAB em placas reflete diferentes condições climáticas. Nas fácies onde a MOAB pelicular é predominante, valores mais baixos de COT aliados à ocorrência de placas carbonáticas, indicam maior aridez, alta salinidade e redução da lâmina d'água. E nas fácies onde a MOAB em placas é predominante e os teores de COT são elevados sugerem momentos de maior umidade, menor salinidade e aumento da lâmina d'água.

A variação do resíduo insolúvel sugere uma mudança no ambiente de sedimentação. Essa transição de um ambiente não carbonático (siliciclástico?) para um ambiente predominantemente carbonático ocorre na profundidade de 110 cm.

A ocorrência de dinocistos da espécie *Operculodinium centrocarpum* na base do testemunho indica uma influência marinha na laguna, que se daria por meio de pulsos transgressivos.

Seria importante promover estudos de datação nesses sedimentos a fim de melhorar a compreensão dos dados e correlacionar com trabalhos pretéritos. Além disso, a pouca variação nos dados de palinofácies poderia ser sanada com estudos de biomarcadores, que são estruturas básicas de moléculas biológicas preservadas, e podem dar maiores informações sobre as condições ambientais.

## 9. AGRADECIMENTOS

Ao Projeto Lagoas pela concessão das amostras, aos meus orientadores Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho, Dr. Antonio Donizeti de Oliveira e M. Sc. Jaqueline Torres de Souza e aos pesquisadores, técnicos e estagiários do Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânicas (LAFO).

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, A. P. A. (1999). Caracterização da sedimentação atual de lagoas costeiras do litoral do Estado do Rio de Janeiro para fins de calibração de acordo com as variações paleoambientais e paleoclimáticas. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal Fluminense, Dissertação de Mestrado, 133 p.
- BRENNER, W. W. (1998). Grundlagen und anwendungsmöglichkeiten der mikroabsorptionsphotometrie für organisch-wandige mikrofossilien. Geomar Report, 76:38-106.
- COE NETO, R. (1984). Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de Araruama. In: Simpósio de restingas brasileiras. Anais, Rio de Janeiro, 1984, p. 61-63.
- COMBAZ, A. (1964). Les palynofaciès. *Revue de Micropaléontologie*, v. 7, p. 205-218.
- DEL PAPA, C.; GARCÍA, V.; QUATTROCCHIO, M. (2002). Sedimentary facies and palynofacies assemblage in Eocene perennial lake, Lumbra Formation, northwest Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 15: 553-569.
- ESTRELLA, G. O.; AZEVEDO, R. L. M.; FORMIGLI FILHO, J. M. (2009). “Pré-sal: Conhecimento, Estratégia e Oportunidades”. In: J. P. R. Veloso (coord.). *Teatro Mágico da Cultura, Crise Global e Oportunidades do Brasil*. Rio de Janeiro, José Olympio, pp. 67-78.
- GARCIA, R. O. (2012). O petróleo no Brasil: possibilidades de influência nas políticas externas regional e global. XV Encontro Regional de História da ANPUH-RIO, 12 p.

- HÖHN, A.; TOBSCHALL, H. J.; MADDOCK, J. E. L. (1986). Biogeochemistry of a hypersaline lagoon east of Rio de Janeiro, Brazil. *The Science of the Total Environment*. Amsterdam Elsevier Science Publishers, 58: 175-185.
- JARVIE, D. M. (1991). Total Organic Carbon (TOC) Analysis. In: MERRIL, R. K. (Ed.). *Source and Migration Processes and Evaluation techniques*, Tulsa, *Treatise of Petroleum Geology*. American Association of Petroleum Geologists, p. 113-118.
- MADDOCK, J. E. (1999). Physical and chemical characteristics of algal mats from a hypersaline lagoon: Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil. *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems*, Rio de Janeiro, Brazil. *Série Geoquímica Ambiental*, 6: 197-202.
- MATSUOKA, K. & FUKUYO, Y. (2000). *Technical Guide for Modern Dinoflagellate Cyst Study*. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC, 29 p.
- MENDONÇA FILHO, J. G. (1999). Aplicação de estudos de palinofácies e fácies orgânica em rochas do Paleozóico da Bacia do Paraná, Sul do Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 338p.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; CARVALHO, M. A.; MENEZES, T. R. (2002). Palinofácies. In: DUTRA, T. (Org.). *Técnicas e procedimentos de trabalho com fósseis e formas modernas comparativas*. São Leopoldo: Unisinos. p. 20-24.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O. (2009). Palynofacies and Organic Facies: Principles, Methods and Applications. In: *SYMPOSIUM ON ADVANCES IN ORGANIC PETROLOGY AND ORGANIC GEOCHEMISTRY*, 2009, Gramado. Curso de curta duração. Gramado: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências. Curso realizado em JOINT 61<sup>o</sup> ICCP / 26<sup>o</sup> TSOP Meeting.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, M. A.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T. (2010). Palinofácies. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). *Paleontologia*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, v. 1, p. 289-323.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; CHAGAS, R. B. A.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; DA SILVA, F. S.; SABADINI-SANTOS, E. (2010a). Organic facies of the Oligocene lacustrine system in the Cenozoic Taubaté Basin, Southern Brazil. *International Journal of Coal Geology*, v. 84, 166-178.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, M. A.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T. (2010b). Palinofácies. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). *Paleontologia*, Editora Interciência, Rio de Janeiro, v. 2, p. 379-413.

- MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; OLIVEIRA, A. D.; SOUZA, J. T.; SANTOS, V. S. S.; ARIENTI, L. M. (2010c). Aplicação da faciologia orgânica no modelo sedimentológico-estratigráfico do Oligo-Mioceno e Mioceno da Bacia de Campos. *Boletim de Geociências*. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 153-177, maio/nov. 2010.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O. (2011). Organic Composition (Palynofacies Analysis), Chapter 5. In: FLORES, D.; MARQUES, M. (Ed.). *International Committee for Coal and Organic Petrology Training Course on Dispersed Organic Matter*. Porto: Universidade do Porto, p. 33-81.
- MENDONÇA FILHO, J. G.; MENEZES, T. R.; MENDONÇA, J. O.; OLIVEIRA, A. D.; SANTANA, A. J. (2011a). Kerogen: Composition and Classification. Chapter 3. In: FLORES, D.; MARQUES, M. (Ed.). *International Committee for Coal and Organic Petrology Training Course on Dispersed Organic Matter*. Porto: Universidade do Porto, p. 17-23.
- MENEZES, T. R.; MENDONÇA FILHO, J. G.; ARAUJO, C. V.; SOUZA, I. V. A. F.; MENDONÇA, J. O. (2008). Fácies orgânica: conceitos, métodos e estudos de casos na indústria do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, p. 80-96.
- OLIVEIRA, A. D. (2003). Reconstrução paleoambiental com base nas assembleias de dinoflagelados presentes nos sedimentos do Holoceno e Pleistoceno do Talude Continental Brasileiro da Bacia de Campos, RJ-Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 198 p.
- OLIVEIRA, A. D.; MENDONÇA FILHO, J. G.; ARAUJO CARVALHO, M.; RÊGO MENEZES, T.; CUNHA LANA, C.; BRENNER W. W. (2004). Novo método de preparação palinológica para aumentar a recuperação de dinoflagelados. *Revista Brasileira de Paleontologia* 7(2):169-175, Julho/Agosto 2004.
- OLIVEIRA, A. D.; MENDONÇA FILHO, J. G.; SANT'ANNA, A. J.; SOUZA, J. T.; FREITAS, A. G.; MENEZES, T. R. (2006). Inovação no processamento químico para isolamento da matéria orgânica sedimentar. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 43°. Aracajú, SE. Anais...Aracajú: Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Bahia-Sergipe, p. 324.
- OLIVEIRA, A. D. (2011). Estudo integrado de palinofácies com cistos de dinoflagelados fósseis (dinocistos) de zona climática tropical em sedimentos Quaternário de águas profundas da Bacia de Campos, RJ-Brasil. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 229 p.
- PACTON, M.; GORIN, G. E.; VASCONCELOS, C. (2011). Amorphous organic matter – Experimental data on formation and the role of microbes. *Review of Paleobotany and Palynology*, 166: 253-267.

- PANDAVA AUM, P.T. (2011). Aplicação de sistemas microemulsionados ácidos em acidificação de poços. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Dissertação de Mestrado, 85p.
- PAPATERRA, G. E. Z. (2010). Pré-sal: conceituação geológica sobre uma nova fronteira exploratória no Brasil. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 94 p.
- PENHA, H. M. (1999). A Synthesis of geology of the east fluminense coast, state of Rio de Janeiro, Brazil. In: Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro, Brazil. Série Geoquímica Ambiental, 6: 3-10.
- POWELL, T. G. (1986). Petroleum geochemistry and depositional setting of lacustrine source rocks. *Marine and Petroleum Geology*, 3: 200-219.
- RAMOS, R. S. (2015). Análise Organofaciológica de Sedimentos Superficiais e Testemunho da Lagoa Vermelha, RJ, Brasil. Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho de Conclusão de Curso, 32p.
- SANTELLI, R. L.; WAGENER, A. L. R.; WAGENER, K.; PATCHINEELAMB, S. (2006). Assessing past environmental changes through sediment records in a hypersaline lagoon. *Croatica Chemica Acta*, 79 (1): 129-141.
- SILVA, S. B. (2014). Caracterização palinofaciológica e organogeoquímica de testemunhos da Lagoa Vermelha. Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Trabalho de Conclusão de Curso, 48p.
- SILVA E SILVA, L. H.; CARVALHAL, S. B. V.; ALVES, S. A. P. M. N.; ANDRADE, M. M.; SILVA, A. C. C.; FARUOLO, T. C. L. M.; DAMAZIO, C. M.; SHIMIZU, V. T. A. (2002). Registro algal nas esteiras microbianas da Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brasil. In: Congresso Nacional de Botânica, 53, 2002. Resumos, Recife, SBB, p. 423.
- SILVA E SILVA, L. H.; SENRA, M. C. E.; FARUOLO, T. C. L. M.; CARVALHAL, S. B. V.; ALVES, S. A. P. M. N.; DAMAZIO, C. M.; SHIMIZU, V. T. A.; SANTOS, R. C. & IESPA, A. A. C. (2004). Composição paleobiológica e tipos morfológicos das construções estromatolíticas da Lagoa Vermelha RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(2): 193-198, Julho/Agosto 2004.
- SILVA E SILVA, L. H.; ALVES, S. A. P. M. N.; IESPA, A. A. C. & IESPA, C. M. D. (2007). Incidência de cianobactérias em estruturas estromatolíticas biscuit na Lagoa Vermelha, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Revista de Geologia*, Vol. 20, nº 1, 33-38.

- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. (1985). Flutuações do nível relativo do mar durante o quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, 15(4): 273-286.
- TISSOT, B. P.; WELTE, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence* (Second revised edition), Springer-Verlag, Berlin, 699pp.
- TURCQ, B.; MARTIN, L.; FLEXOR, J. M.; SUGUIO, K.; PIERRE, C.; TASAYACO-ORTEGA, L. (1999). Origin and Evolution of 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*. Editora FINEP, Série Geoquímica Ambiental, 6: 25-46.
- TYSON, R. V., (1993). Palynofacies Analysis. In: JENKINS, D. J. (Ed.). *Applied Micropaleontology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 153-191.
- TYSON, R. V., (1995). *Sedimentary Organic Matter. Organic facies and palinofácies*. Chapman & Hall, Londres, 615 p.
- VAN LITH, Y.; VASCONCELOS, C.; WARTHMAN, R.; MARTINS, J. C. F. & MCKENZIE, J. A. (2002). Bacterial sulphate reduction and salinity: two controls on dolomite precipitation in Lagoa Vermelha and Brejo do Espinho (Brazil). *Hydrobiologia* 485, 35-49.
- VASCONCELOS, C. (1988). *Sedimentologia e geoquímica da Lagoa Vermelha - Um exemplo de formação e diagênese de carbonatos*. Programa de Geoquímica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 87p.
- VASCONCELOS, C. (1994). *Modern dolomite precipitation and diagenesis in a coastal mixed water system (Lagoa Vermelha, Brazil): a microbial model for dolomite formation under anoxic conditions*. Ph.D. thesis, Eidgenössische Technische Hochschule, Switzerland.
- VASCONCELOS, C.; MCKENZIE, J. A. (1997). Microbial mediation of modern dolomite precipitation and diagenesis under anoxic conditions (Lagoa Vermelha, Rio de Janeiro, Brazil). *J. Sediment. Res.* 67, 378-390.
- VASCONCELOS, C.; WARTHMAN, R.; MCKENZIE, J. A.; VISSCHER, P. T.; BITTERMANN, A. G.; VAN LITH, Y. (2006). Lithifying microbial mats in Lagoa Vermelha, Brazil: Modern Precambrian relics?. *Sedimentary Geology*, 185: 175-183.
- WALL, D.; DALE, B.; LOHMANN, G. P.; SMITH, W. K. (1977). The environment and climatic distribution of dinoflagellate cysts in modern marine sediments from regions in the North and South Atlantic Oceans and adjacent seas. *Revista Marine Micropaleontology*, 2: 121-200.

**ANEXOS**  
**PALINOFÁCIES**

## **LEGENDA DA ESTAMPA 1**

A – Fitoclasto Opaco Alongado. Luz branca transmitida. Objetiva de 40x.

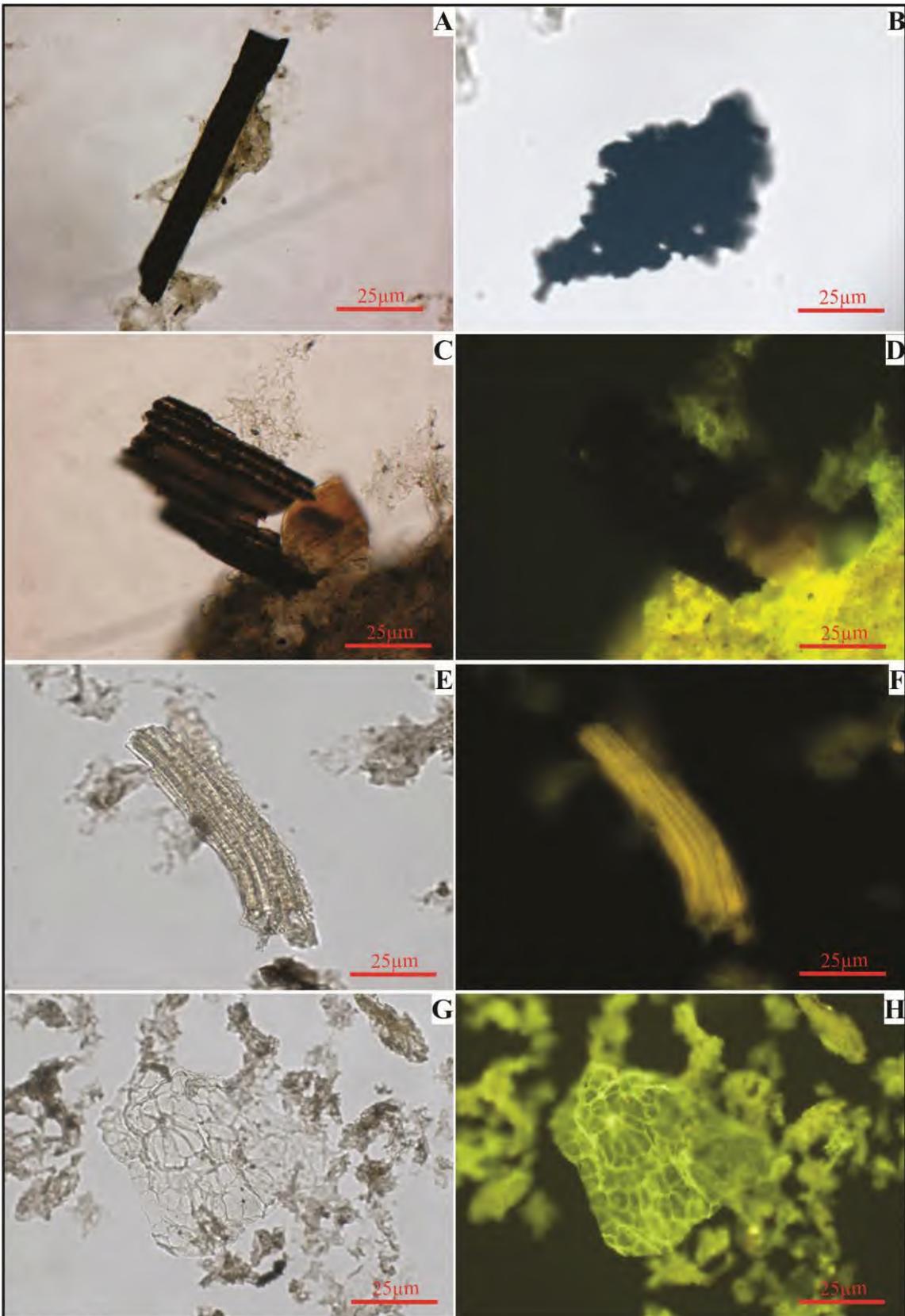
B – Fitoclasto Opaco Corroído. Luz branca transmitida. Objetiva de 40x.

C, D – Fitoclasto Não Opaco Listrado. Luz branca transmitida (C) e fluorescência (D).  
Objetiva de 40x.

E, F – Fitoclasto Não Opaco Estriado. Luz branca transmitida (E) e fluorescência (F).  
Objetiva de 40x.

G, H – Cutícula. Luz branca transmitida (G) e fluorescência (H). Objetiva de 40x.

ESTAMPA 1



## **LEGENDA DA ESTAMPA 2**

A, B – Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana em Placas. Luz branca transmitida (A) e fluorescência (B). Objetiva de 20x.

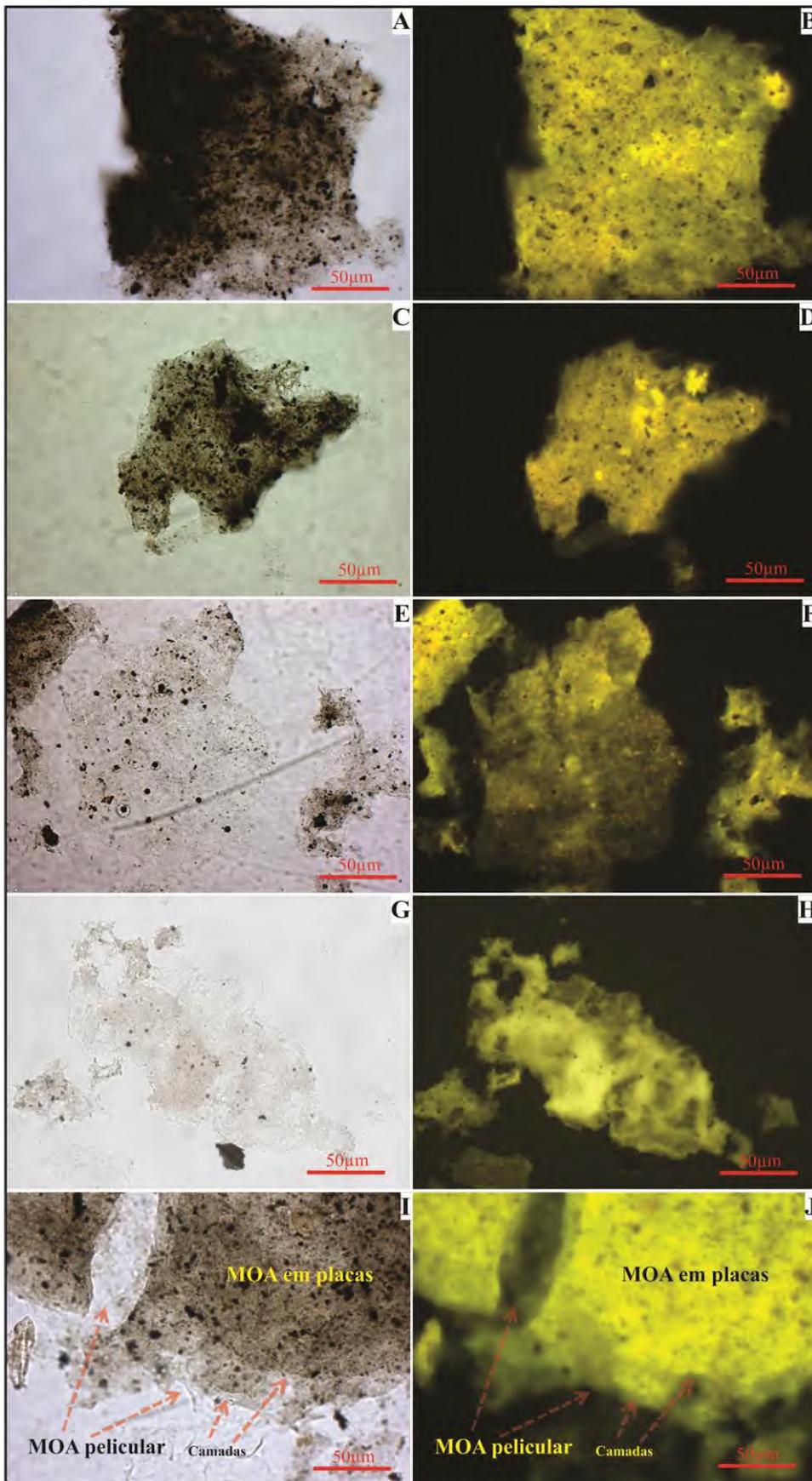
C, D – Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana em Placas. Luz branca transmitida (C) e fluorescência (D). Objetiva de 20x.

E, F - Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana Pelicular. Luz branca transmitida (E) e fluorescência (F). Objetiva de 20x.

G, H - Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana Pelicular. Luz branca transmitida (G) e fluorescência (H). Objetiva de 20x.

I, J – Comparação entre MOAB em placas e MOAB pelicular. Luz branca transmitida (I) e fluorescência (J). Objetiva de 20x.

ESTAMPA 2



### LEGENDA DA ESTAMPA 3

A, B – Grão de Pólen. Luz branca transmitida (A) e fluorescência (B). Objetiva de 40x.

C, D – Esporo. Luz branca transmitida (C) e fluorescência (D). Objetiva de 40x.

E, F – *Botryococcus*. Luz branca transmitida (E) e fluorescência (F). Objetiva de 40x.

G, H – Dinocisto da espécie *Operculodinium centrocarpum*. Luz branca transmitida (G) e fluorescência (H). Objetiva de 40x.

I, J - Dinocisto da espécie *Operculodinium centrocarpum*. Luz branca transmitida (I) e fluorescência (J). Objetiva de 40x.

ESTAMPA 3

