



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

**ANÁLISE ORGANOFACIOLÓGICA DE SEDIMENTOS
SUPERFICIAIS E TESTEMUNHO DA LAGOA VERMELHA, RJ,
BRASIL**

RENAN DA SILVA RAMOS

Orientador: Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho
Coorientadora: Dra. Sinda Beatriz Vianna Carvalhal Gomes

Rio de Janeiro
Janeiro de 2015

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT	4
1 INTRODUÇÃO	5
2 PALINOFÁCIES	6
3 ÁREA DE ESTUDO	7
4 GEOLOGIA REGIONAL	9
5 MATERIAL E MÉTODOS	10
5.1 AMOSTRAS	10
5.2 ANÁLISE DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, ENXOFRE E CARBONO INORGÂNICO TOTAL	12
5.3 PALINOFÁCIES	13
5.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	14
6 RESULTADOS	14
6.1 DISPOSIÇÃO DOS GRUPOS E SUBGRUPOS DA MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA	14
6.2 SEDIMENTOS SUPERFICIAIS	16
6.2.1 Modo-R	17
6.2.2 Modo-Q	17
6.3 TESTEMUNHO LV3	18
6.3.1 Modo-R	22
6.3.2 Modo-Q	22
7 DISCUSSÃO	24
7.1 COMPONENTES DA MATÉRIA ORGÂNICA	24
7.2 CORRELAÇÃO ENTRE FÁCIES SEDIMENTARES, PALINOFÁCIES E ANÁLISES GEOQUÍMICAS	25
8 CONCLUSÃO	28
9 AGRADECIMENTOS	28
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

Análise Organofaciológica de Sedimentos Superficiais e Testemunho da Lagoa Vermelha, RJ, Brasil

Renan da Silva Ramos, João Graciano Mendonça Filho, Sinda Beatriz Vianna Carvalhal Gomes

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, carbonático. O reconhecimento dos ambientes carbonáticos como de provável valor econômico na exploração de petróleo (pré-sal) 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 (LV3) e de sedimentos superficiais (LV S) da Lagoa Vermelha, através da técnica de palinofácies associada a técnicas de geoquímica orgânica a fim de melhorar a compreensão da formação desses depósitos. As amostras apresentaram a predominância da matéria orgânica amorfa bacteriana em relação aos demais componentes da matéria orgânica. Dois tipos de Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana foram encontrados: o tipo pelicular e a do tipo densa. A MOAB pelicular apresenta-se com morfologia fina, limites difusos, coloração castanho clara, em luz branca transmitida, e fluorescência fraca amarelada, sob luz azul/UV. Por sua vez, após sofrer retrabalhamento microbial esse material aparece com um aspecto denso apresentando grumos espessos, com inclusões de pirita e fitoclastos, contorno definido, coloração castanho escuro em luz branca transmitida e fluorescência forte amarelada, sob luz azul/UV. Os sedimentos superficiais não mostraram uma regularidade em seus componentes. O testemunho mostrou intervalos distintos, onde na base foram encontrados Cistos de Dinoflagelados indicando influência marinha e foram obtidos os valores mais elevados de carbono orgânico total (10,18%), enxofre (1,67%) e MOAB densa (85,50%). Entre 90 e 100 cm ficou evidente o aparecimento de estruturas organossedimentares, como esteiras microbianas e estromatólitos, corroborando com o aumento do valor de carbono inorgânico total, marcando o momento de confinamento da Lagoa Vermelha. O tipo de matéria orgânica encontrada no testemunho e nos sedimentos superficiais da laguna corrobora com a tipicamente associada aos sedimentos carbonáticos, concordando que a lagoa Vermelha é um ambiente de tal natureza, podendo ser tratado como análogo destes depósitos.

Palavras-chave: Lagoa Vermelha, Ambiente Carbonático, Palinofácies, Geoquímica Orgânica, 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 environment, its hypersalinity and its carbonate sedimentation. The recognition of carbonate environments as probable economic value in oil exploration (pre-salt) 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 (LV3) and superficial sediments (LV S) from Lagoa Vermelha, through palynofacies technique associated with geochemical analyses in order to improve the understanding of these deposits and its formation. Some samples showed the predominance of bacterial amorphous organic matter in relation to other components of organic matter. Two types of Bacterial Amorphous Organic Matter were found: the dense one and the pelicular one. The pelicular bacterial AOM appears in a fine morphology, diffuse boundaries, light brown color under transmitted white light (TL) and low yellow coloration under fluorescence mode (FM). On the other hand, after suffering a microbiological reworking this material appears as a dense aspect, in a plate form, with inclusions of pyrite and phytoclasts, defined boundaries, dark brown color in transmitted white light and an intense yellow coloration under fluorescence. The superficial sediments didn't show a regularity in its components. The core showed distinct intervals where on the base were found Dinoflagellate Cysts indicating marine influence were obtained the highest values of total organic carbon (10,18%), sulphur content (1,67%) and dense bacterial AOM (10,50%). Between 90 and 100 cm it was clear the appearance of organosedimentary structures, as microbial mats and stromatolites, agreeing the increase in the total inorganic carbon values marking the specific time of confinement of the Lagoa Vermelha. The organic matter type found in the core and the superficial sediments corresponds with the typically associated to the carbonate sediments, agreeing that the Lagoa Vermelha is such a similar environment, which may be considered as an analogue to these deposits.

Keywords: Lagoa Vermelha, Carbonate Environment, Palynofacies, Geochemical Analyses, Bacterial Amorphous Organic Matter

1. INTRODUÇÃO

Caracterizar a matéria orgânica contida em sedimentos e rochas sedimentares é um método muito importante para diversas áreas científicas como a geologia, biologia, química, engenharia do petróleo, entre outras. Em razão disso, um entendimento dos fatores ambientais que controlam a produção da matéria orgânica mostra-se necessário, desde os elementos ecológicos e sedimentológicos que controlam sua distribuição e deposição, os fatores geomicrobiológicos que influenciam em sua preservação e os processos geoquímicos e físicos que determinam suas modificações durante sua incorporação na geosfera. Os critérios utilizados vão depender da idade correspondente à matéria orgânica (ou ao sedimento) e dos objetivos do trabalho (Tyson, 1995; Mendonça Filho *et al.*, 2011a).

A origem da matéria orgânica amorfa é controversa, portanto tem sido objeto de estudo de muitos trabalhos científicos, em razão de que é o constituinte predominante do querogênio encontrado em rochas geradoras de petróleo (Pacton *et al.*, 2011).

Conhecer as características das rochas carbonáticas microbianas onde o petróleo do pré-sal está alojado é um dos maiores desafios que as instituições de pesquisas enfrentam, pois são extremamente complexos. Pandava Aum (2011) ressalta que as estruturas carbonáticas advêm de um processo de precipitação sedimentar não regular, de origem biológica ou química, apresentando um alto grau de heterogeneidade. À vista disso, muitos autores se interessaram em estudar análogos modernos a fim de compreender a formação, diagênese e geoquímica desses depósitos.

Assim sendo, um desses análogos em potencial é a Lagoa Vermelha a qual possui ambiente de sedimentação carbonática devido ao clima peculiar semi-árido regional e sua hipersalinidade. Höhn *et al.* (1986) afirmam que lagoas hipersalinas suportam uma produtividade orgânica bastante elevada e destacam que a ocorrência de esteiras microbianas contribui com a produção/preservação da matéria orgânica.

Este trabalho tem como propósito caracterizar a matéria orgânica particulada em um testemunho (LV3) e em sedimentos superficiais (LV S) amostrados na Lagoa Vermelha, a partir da técnica de palinofácies e de geoquímica orgânica e associar os resultados à sedimentação com a finalidade de determinar as condições paleoambientais.

2. PALINOFÁCIES

Palinofácies é provavelmente a técnica mais usada em muitas pesquisas científicas e empresas do ramo de óleo e gás para o estudo e o entendimento meticoloso da matriz orgânica faciológica. (El Diasty *et al.*, 2014)

Combaz (1964) introduziu o termo *palinofácies* para o conjunto de componentes da matéria orgânica remanescente após a remoção da matriz sedimentar pela acidificação com HCL (ácido clorídrico) e HF (ácido fluorídrico).

Tyson (1995) definiu palinofácies como “um corpo de sedimento contendo uma assembleia distinta de matéria orgânica palinológica que reflete um grupo específico de condições ambientais, podendo ser associada a um potencial de geração de hidrocarbonetos característico”.

De acordo com Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho *et al.* (2011a) o termo palinofácies se refere ao estudo da matéria orgânica particulada presente nos sedimentos e rochas sedimentares, usando os métodos de isolamento dos componentes orgânicos na preparação das amostras (concentração do querogênio), aplicando técnicas de microscopia como principal ferramenta para aquisição de dados e métodos estatísticos com o objetivo de interpretá-los.

A identificação da matéria orgânica particulada leva em consideração a morfologia e o estado de preservação dos componentes observados sob Luz Branca Transmitida e Luz Ultravioleta Incidente (fluorescência). A matéria orgânica particulada pode ser dividida em três grupos principais baseados em Tyson (1995), Mendonça Filho (1999), Mendonça Filho *et al.* (2010a, 2010b, 2011a, 2012a):

- Grupo Amorfo: Corresponde todo componente orgânico particulado sem estruturação, incluindo material orgânico de origem fitoplanctônica ou bacteriana e agregados orgânicos de origem terrestre (grupo fitoclasto) resultantes do retrabalhamento microbiano. Outros materiais amorfizados podem ser produtos de vegetais superiores, porém, este tipo de material não é considerado matéria orgânica amorfa no seu sensu usual. São subdivididos em MOA (Matéria Orgânica Amorfa), MOAB (Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana), Resina;

- Grupo Palinomorfo: Contempla os microfósseis de parede orgânica resistente ao ataque com HCl e Hf, sendo subdivididos em: Esporomorfos; Microplânctona Marinho e de Água Doce e Zoomorfos;
- Grupo Fitoclasto: Corresponde aos fragmentos de vegetais superiores terrestres, podendo ou não ter fluorescência. Este grupo é subdividido principalmente em Não-Opaco (coloração amarelada a marrom escuro) e Opaco (pretos).

3. ÁREA DE ESTUDO

A Lagoa Vermelha é uma laguna hipersalina que integra o Complexo Lagunar de Araruama.



Figura 1: Localização da área de estudo.

Localiza-se a aproximadamente 90 km a leste da cidade do Rio de Janeiro e suas coordenadas geográficas são $22^{\circ}55'39''$ – $22^{\circ}56'06''$ de latitude S e $42^{\circ}21'29''$ – $42^{\circ}24'13''$ de longitude W. Possui comprimento de 4400 m, largura 250 a 850 m e área total de cerca de 2400 m² (Höhn *et al.*, 1986; Silva e Silva *et al.*, 2004, 2007) (Figura 1).

Vasconcelos *et al.* (2006) ressaltam que a laguna situa-se entre dois sistemas de dunas paralelas (restingas), sendo uma mais recente (Holoceno) que a separa do Oceano Atlântico e uma mais antiga (Pleistoceno) a separa da Lagoa de Araruama. Destaca ainda o microclima semiárido da região sendo decorrente da uma zona de Ressurgência que difere do clima tropical regional.

Devido ao desenvolvimento da indústria de sal na região, a Lagoa Vermelha sofreu alterações ao longo dos anos. Duas barragens dividiram 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 salinidade varia de acordo com as condições meteorológicas, atingindo valores de 84‰ em períodos de estiagem, enquanto após fortes chuvas decresce a valores em torno de 40‰ (Höhn *et al.*, 1986; Silva e Silva *et al.*, 2004).

É importante ressaltar que a Lagoa Vermelha possui um ambiente de sedimentação carbonática, possuindo particularidades relevantes para o estudo da formação e diagênese de carbonatos, bem como sua interação com cianobactérias. Apresentam estruturas organossedimentares como estromatólitos e esteiras microbianas, sendo as esteiras localizadas, principalmente, na borda da laguna e na camada inferior anaeróbica, na interface água/sedimento da parte mais profunda (Vasconcelos *et al.*, 2006).

4. GEOLOGIA REGIONAL

Suguio *et al.* (1985) afirma que oscilações do nível do mar, durante o quaternário, foram de fundamental importância na evolução de planícies costeiras do Brasil.

A planície costeira e a plataforma continental formam uma contínua e única unidade morfológica que vem sendo moldada pelas transgressões e regressões marinhas (Turcq *et al.*, 1999).

De acordo com Turcq *et al.* (1999), a ilha barreira interna iniciou sua formação na planície costeira de Araruama por volta de 123.000 anos (pleistoceno) durante uma transgressão, dando origem ao primeiro sistema lagunar da região. Este sistema sofreu dessecação durante a regressão normal que se seguiu, e as barras arenosas sofreram erosão. A segunda ilha barreira (externa) iniciou sua formação por volta de 6.500 anos (plioceno), durante o segundo e último evento transgressivo, originando um novo sistema lagunar. Após 5.100 anos um novo evento baixou o nível lagunar, emergiu as feições das cúspides arenosas e isolou o sistema lagunar externo. A sedimentação carbonática iniciou-se em torno de 3.600 anos.

van Lith *et al.* (2002) estudando um testemunho da Lagoa Vermelha, divide em duas fácies os sedimentos da Lagoa Vermelha: uma fácies lagunar de um metro de espessura e uma fácies marinha. A fácies lagunar é caracterizada pela alternância de carbonatos e camadas ricas em carbono orgânico. A fácies marinha consiste de arenitos com grãos de quartzo que variam de fino a médio com inclusões de fragmentos de conchas, e esta representa o ambiente marinho anterior ao isolamento final. Segundo Vasconcelos *et al.* (2006), grãos de dolomita precipitam predominantemente em períodos de alta salinidade associado à atividade microbiana.

As areias da ilha barreira são compostas por material homogêneo variando de fino a médio e de pequenos grãos de quartzo. Elas se encontram cimentadas, por resíduos de conchas na faixa banhada pelo mar (Silva e Silva *et al.*, 2002).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. AMOSTRAS

As amostras utilizadas na realização deste trabalho foram cedidas pelos projetos Estudos Geoquímicos, Biogeoquímicos e Geomicrobiológicos nas Lagoas Fluminenses e sua Correlação com Seções Carbonático-Evaporíticas em Bacias Sedimentares (ANPETRO 14777) e Caracterização Estratigráfica, Sedimentológica, Geoquímica e de Fácies Orgânicas da Lagoa Salgada, Vermelha e Brejo Do Espinho (Parte II) (CENPES 15190) e abrangeram 23 amostras de sedimentos superficiais e 16 amostras de testemunho respectivamente.

Os sedimentos superficiais foram amostrados utilizando amostrador do tipo draga Van Veen, em intervalos de 200 metros, com o auxílio de um barco cedido pelo Programa de Pós-Graduação de Biologia Marinha da Universidade Federal Fluminense - UFF, por intermédio do Professor Dr. Lazaro Laut. As 23 amostras selecionadas visaram contemplar amostras das bordas e do meio dos bolsões a fim de se obter um maior entendimento da matéria orgânica atualmente produzida na laguna (Figura 2).



Figura 2: Localização dos pontos de coleta dos sedimentos superficiais (LV S).

A amostragem dos testemunhos foi realizada através de sondagens rasas (vibracores), realizadas no bolsão central da Lagoa Vermelha, por pesquisadores da Universidade Federal Fluminense (UFF). O testemunho escolhido para análise foi o LV3 (22° 55' 48,40" S e 42° 23,3' 27" O), devido ser o mais central, a fim de se obter um maior entendimento da superfície da laguna como um todo (Figura 3).



Figura 3: Localização do ponto de coleta do Testemunho (LV3).

Após a abertura do testemunho foi realizada a descrição sedimentológica, e registro fotográfico pelos pesquisadores do Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed) do Departamento de Geologia da UFRJ, seguindo o método de análise de fácies, para posteriormente, os dados serem carregados no programa *CORELDRAW* para a elaboração do perfil estratigráfico. Seguido da abertura, descrição e registro fotográfico o testemunho foi amostrado em intervalos de 10 cm perfazendo um total de 16 amostras.

5.2. ANÁLISE DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, ENXOFRE E CARBONO INORGÂNICO TOTAL

As análises foram realizadas no dispositivo SC-144DR (LECO), o qual é um instrumento de quantificação simultânea de Carbono e Enxofre através de um detector de infravermelho. O método segue as normas de referência da ASTM D 4239 (American Society for Testing and Materials - ASTM, 2008) e NCEA-C-1282 (*United States Environmental Protection Agency - U.S.EPA, 2002*).

Foram realizadas análises de carbono orgânico total (COT % em peso, Jarvie, 1991) no Laboratório de Geoquímica do Petróleo & Ambiental (LAGEPA) do Departamento de Geologia da UFRJ.

Inicialmente é feita a descarbonatação das amostras. Para isso, são pesados 0,26 g de cada amostra, previamente triturada, em um cadinho de porcelana filtrante (de massa conhecida). Em seguida é posto em maceração ácida (HCl 1:1 a frio) durante 24 horas, para eliminação da fração carbonática. Posteriormente, lavagem com água destilada aquecida para a eliminação dos cloretos por 1 hora, seguida de lavagem com água destilada à temperatura ambiente a fim de atingir pH próximo de 6, descartando-se o excesso de água.

Logo após as amostras são secas em estufa a 65°C durante aproximadamente 3 horas. Após o resfriamento, os cadinhos são pesados novamente. Pressupõe-se que toda a fração carbonática foi eliminada pelo tratamento ácido, obtém-se o parâmetro de resíduo insolúvel (RI) e conseqüentemente o teor de carbono inorgânico total (CIT), este a partir da subtração da massa inicial pelo resíduo insolúvel.

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

$$\text{Teor de CaCO}_3 (\%) = 100 - \text{RI}$$

Por fim as amostras são levadas a um forno em uma atmosfera de oxigênio à temperatura de 1350°C, esta associação leva a amostra à combustão total. Todo carbono e enxofre presente nas amostras sofrem oxi-redução e formam gás carbônico (CO₂) e dióxido de enxofre (SO₂). A leitura dos gases formados é feita pela célula de infravermelho respectiva.

5.3. PALINOFÁCIES

A preparação das amostras, para a análise palinofaciológica, seguiu o procedimento padrão não-oxidativo proposto por Tyson (1995) e Mendonça Filho *et al.* (2010; 2011a; 2012).

Após a secagem da amostra em estufa a 50°C, 30 g são separados para o processamento em maceração ácida. As amostras são submetidas à maceração com ácido clorídrico (37%), durante 18 horas, para a remoção de carbonatos e ácido fluorídrico (40%), durante 24 horas, para a remoção de silicatos. Por fim são novamente acidificadas com ácido clorídrico (37%), durante 3 horas, para a remoção de eventuais fluorsilicatos que tenham se formados nas etapas anteriores. Entre as etapas de acidificação as amostras são submetidas a lavagens com água filtrada para neutralização. Após neutralização segue-se a separação por flotação com adição de cloreto de zinco ($ZnCl_2$, densidade 1,9 a 2 g/cm³) a fim de separar a fração orgânica da inorgânica. A fração orgânica em suspensão é lavada com água filtrada e nova acidificação (ácido clorídrico 10%) é realizada para a eliminação do líquido denso. Após todo o procedimento são confeccionadas lâminas delgadas com o resíduo orgânico.

A caracterização palinofaciológica envolve a análise quantitativa (contando-se de 300) e qualitativa dos grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada sob Luz Branca Transmitida e Luz Azul/UV (modo fluorescência). Os valores absolutos são posteriormente recalculados e normalizados para 100%.

5.4. TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Baseado na análise quantitativa, os dados passam por um tratamento estatístico realizado no programa Statistica 7.0 (Copyright 1984-97, StatSoft, Inc.). Os dados, previamente normalizados, são submetidos à análise estatística multivariada (análise de *cluster*) ao qual visa agrupar as amostras que apresentem características geoquímicas e palinofaciológicas similares (modo-Q) e agrupar os componentes da matéria orgânica particulada (modo-R), podendo ou não correlacioná-los com teores de COT, S e CIT, a fim de estabelecer relações entre as associações.

6. RESULTADOS

6.1. DISPOSIÇÃO DOS GRUPOS E SUBGRUPOS DA MATÉRIA ORGÂNICA PARTICULADA

Através da análise ao microscópio das lâminas organopalinofaciológicas verificou-se a presença dos três principais grupos constituintes da Matéria Orgânica Particulada.

Os componentes do Grupo Amorfo encontrados são, preponderantemente tanto nos Sedimentos Superficiais quanto no Testemunho, pertencentes ao subgrupo MOAB. Foi constatado que a MOAB apresenta duas características distintas, densa e pelicular. A densa apresenta-se em grumos espessos, com inclusões de pirita e fitoclastos, contorno definido, coloração castanho escuro (em luz branca transmitida) e fluorescência forte amarelada (sob luz azul/UV). A MOAB Pelicular apresenta morfologia fina, limites difusos, coloração castanho clara (em luz branca transmitida) e fluorescência fraca amarelada (sob luz azul/UV) (Figura 4).

Os integrantes do Grupo Fitoclasto encontrados não são expressivos, mas há representantes dos subgrupos Opaco, Não-Opaco e Cutícula (Figura 4).

O grupo dos Palinomorfos é constituído pelos Esporomorfos (grãos de pólen e esporos) e microplânctons marinhos, estes representados por cistos de dinoflagelados (Figura 4).

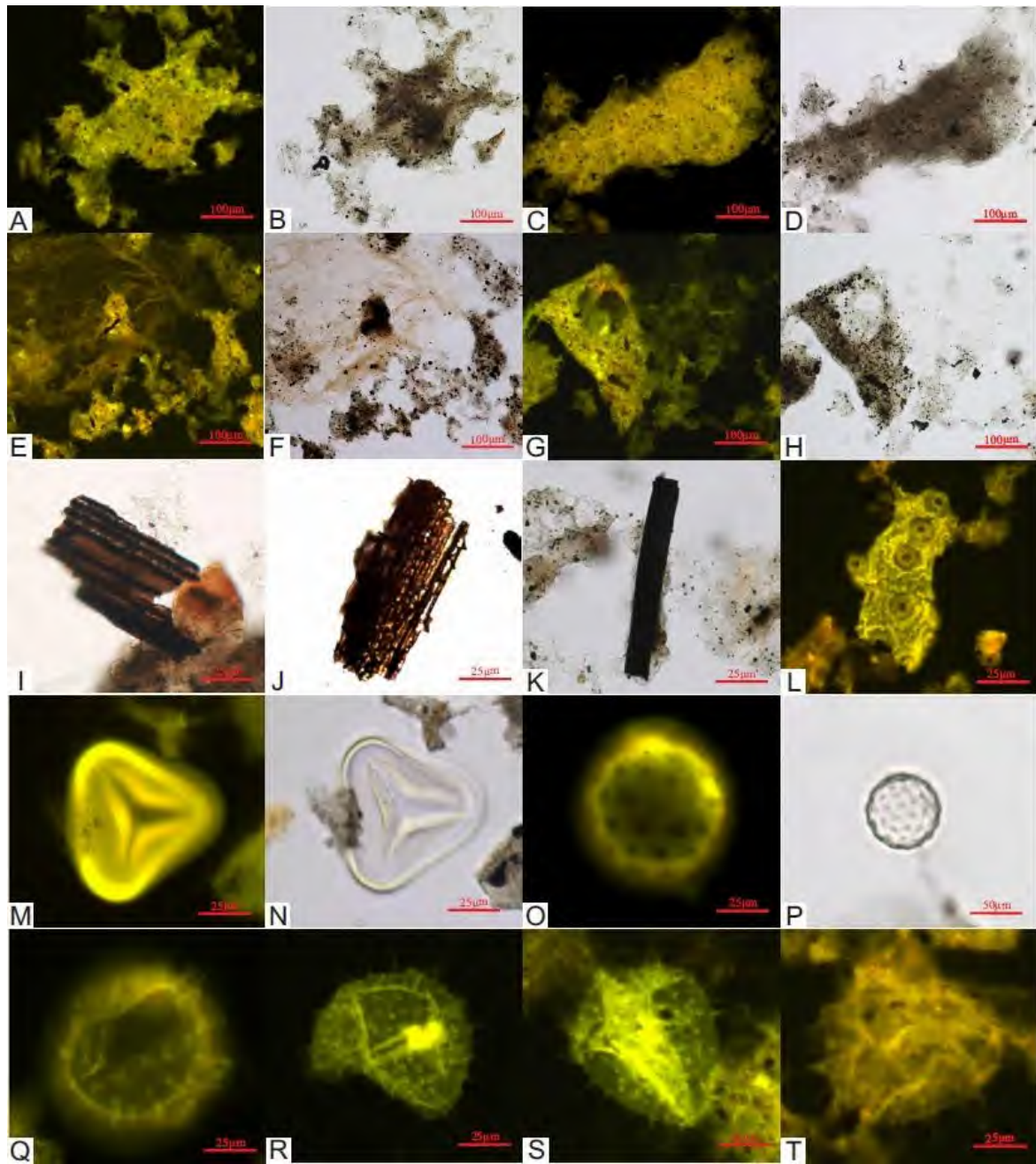


Figura 4: A-D: MOAB densa; E-F: MOAB pelicular; G-H: MOAB densa junto à MOAB pelicular; I: Fitoclasto não-opaco bioestruturado listrado; J: Fitoclasto não-opaco bioestruturado estriado; K: Fitoclasto opaco alongado; L: Cutícula não-degradada; M-N: Esporo; O-P: Grãos de pólen; Q-T: Cistos de dinoflagelados da espécie *Operculodinium centrocarpum*. Fotomicrografias em: A, C, E, G, L, M, O, Q-T sob luz ultravioleta incidente (fluorescência); em: B, D, F, H, I-K, N, P sob luz branca transmitida.

6.2. SEDIMENTOS SUPERFICIAIS

Nos sedimentos superficiais os valores de COT variam de 2,27 a 7,06% e os de S de 0,19 a 0,70%. O CIT mostrou valor elevado, sem grandes diferenças entre as amostras, variando de 72,00 a 99,00% (Tabela 1).

Dentre os subgrupos da matéria orgânica o predominante, em todas as amostras, é a Matéria Orgânica Amorfa Bacteriana em relação aos outros. A MOAB Densa apresenta valores que variam de 56,27 a 99,01% e a MOAB Pelicular valores entre de 0,00 a 41,36%. Os Fitoclastos e os Esporomorfos não ocorrem com valores expressivos, porém os valores mais elevados se concentram nas margens dos bolsões da laguna (Tabela 1).

Tabela 1: Valores percentuais de COT, S, CIT e dos três principais grupos da matéria orgânica particulada (LVS).

Amostras	COT%	S%	CIT%	Fito%	MOA Total%	MOAB Densa%	MOAB Pelicular%	Palinomorfo %
LV S 02	2,30	0,24	89,00	1,31	96,98	59,06	37,92	0,66
LV S 06	2,90	0,29	95,50	0,68	97,63	56,27	41,36	0,34
LV S 07	4,14	0,41	87,00	0,95	97,79	93,06	4,73	1,26
LV S 08	4,68	0,44	95,00	1,59	97,77	97,77	0,00	0,64
LV S 12	4,01	0,44	95,00	0,66	98,66	92,31	6,35	0,66
LV S 14	2,48	0,21	81,00	2,27	95,32	82,94	12,37	0,65
LV S 19	4,38	0,39	90,00	1,29	97,74	97,10	0,65	0,97
LV S 20	6,88	0,70	76,00	0,92	99,08	97,85	1,23	0,00
LV S 21	3,62	0,32	99,00	1,66	97,68	97,68	0,00	0,66
LV S 23	3,36	0,31	89,00	0,61	99,09	98,48	0,61	0,00
LV S 26	4,11	0,40	90,00	0,67	97,95	81,23	16,72	1,00
LV S 28	2,92	0,22	88,00	2,24	97,44	89,42	8,01	0,32
LV S 31	5,60	0,42	76,00	0,97	98,69	90,16	8,52	0,32
LV S 36	4,25	0,29	85,00	0,99	99,01	96,70	2,31	0,00
LV S 40	2,74	0,22	93,00	0,00	100,00	80,89	19,11	0,00
LV S 44	3,05	0,27	93,00	2,78	96,60	87,04	9,57	0,62
LV S 46	3,22	0,30	84,00	1,32	98,68	58,28	40,40	0,00
LV S 47	3,31	0,27	89,00	0,66	99,01	99,01	0,00	0,33
LV S 48	7,06	0,53	80,00	1,58	98,11	85,80	12,30	0,32
LV S 49	2,83	0,30	94,50	0,97	98,03	87,50	10,53	0,97
LV S 50	2,27	0,19	72,00	2,93	96,09	81,43	14,66	0,65
LV S 53	6,02	0,46	82,00	0,66	99,01	99,01	0,00	0,33

6.2.1 Modo-R

Através da análise de agrupamento Modo-R, três associações distintas de variáveis foram obtidas de acordo com a abundância relativa e o grau de similaridade dos componentes da matéria orgânica particulada (à exceção dos palinomorfos), COT, S e CIT. O Grupo **A** apresenta apenas o grupo dos fitoclastos; Grupo **B** abrange a MOAB Pelicular e o CIT% e Grupo **C** a MOAB Densa ao COT e S (Figura 5).

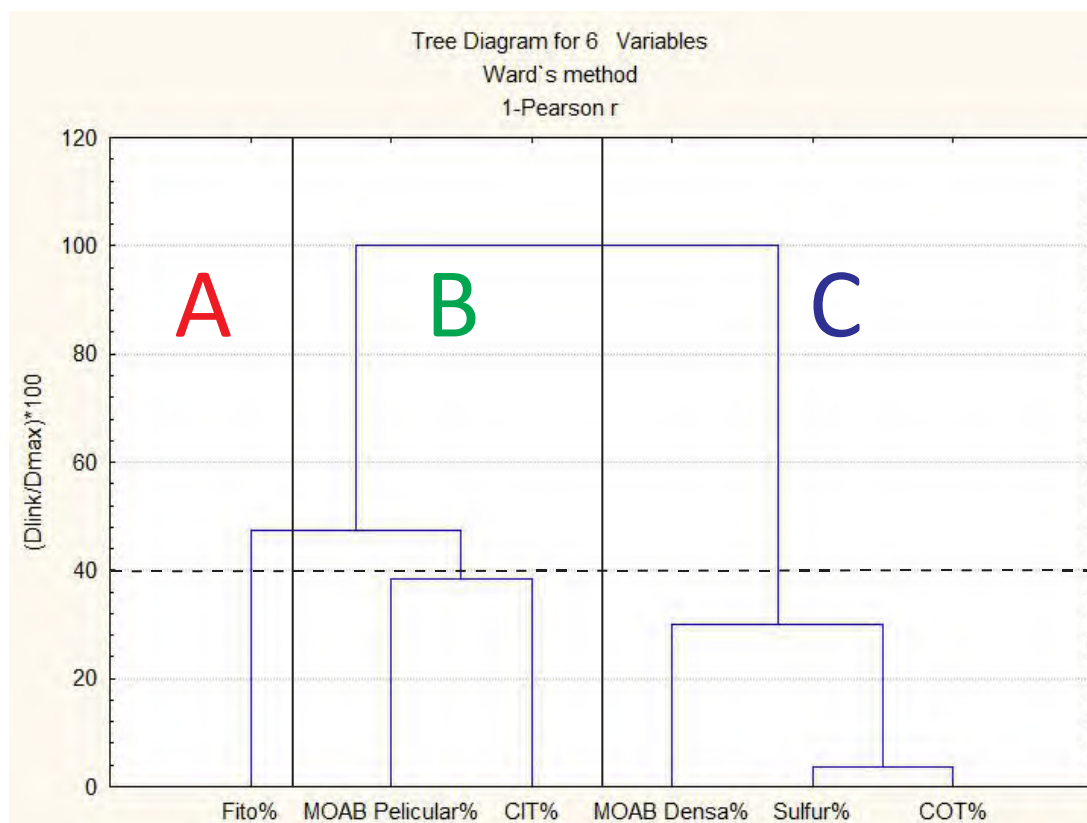


Figura 5: Dendrograma modo R mostrando a similaridade entre os valores percentuais de componentes da matéria orgânica particulada, COT, S e CIT dos sedimentos superficiais.

6.2.2 Modo-Q

Na análise de agrupamento Modo-Q os quatro grupos obtidos refletem a distribuição das associações dos grupos da matéria orgânica no sedimento de fundo da lagoa Vermelha (Figura 6):

- **Grupo I:** amostras apresentando os maiores valores de COT e S correspondendo a associação **C**.

- **Grupo II:** agrega todas as amostras que não apresentam um componente de destaque à exceção da MOAB que é sempre elevada.

- **Grupo III:** evidencia as amostras marginais que apresentam os valores mais elevados de fitoclastos. Está relacionado à associação **AC**.

- **Grupo IV:** agrega as amostras com os maiores valores de MOAB Pelicular. Correlacionado ao agrupamento **BC**.

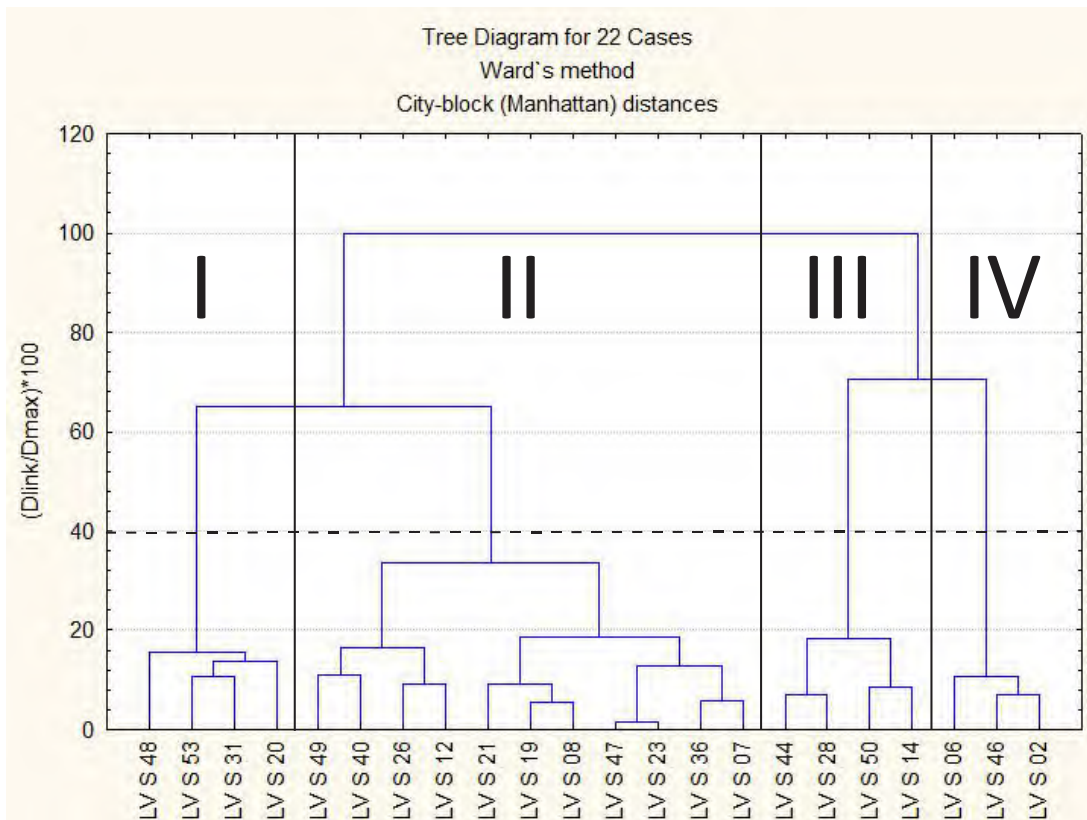


Figura 6: Dendrograma modo Q mostrando a similaridade entre as amostras dos sedimentos superficiais.

6.3 TESTEMUNHO LV3

As fotografias do testemunho foram utilizadas para a confecção do perfil estratigráfico, sendo associadas às fácies descritas que estão expostas no Quadro 1 para a correlação com a palinofácies e as análises geoquímicas. O testemunho possui 155 cm e foi amostrado em intervalos de 10 cm perfazendo um total de 16 amostras. Os materiais retirados no topo dos testemunhos foram reconhecidos como um intervalo remobilizado, por isso, não apresentam informações tão seguras.

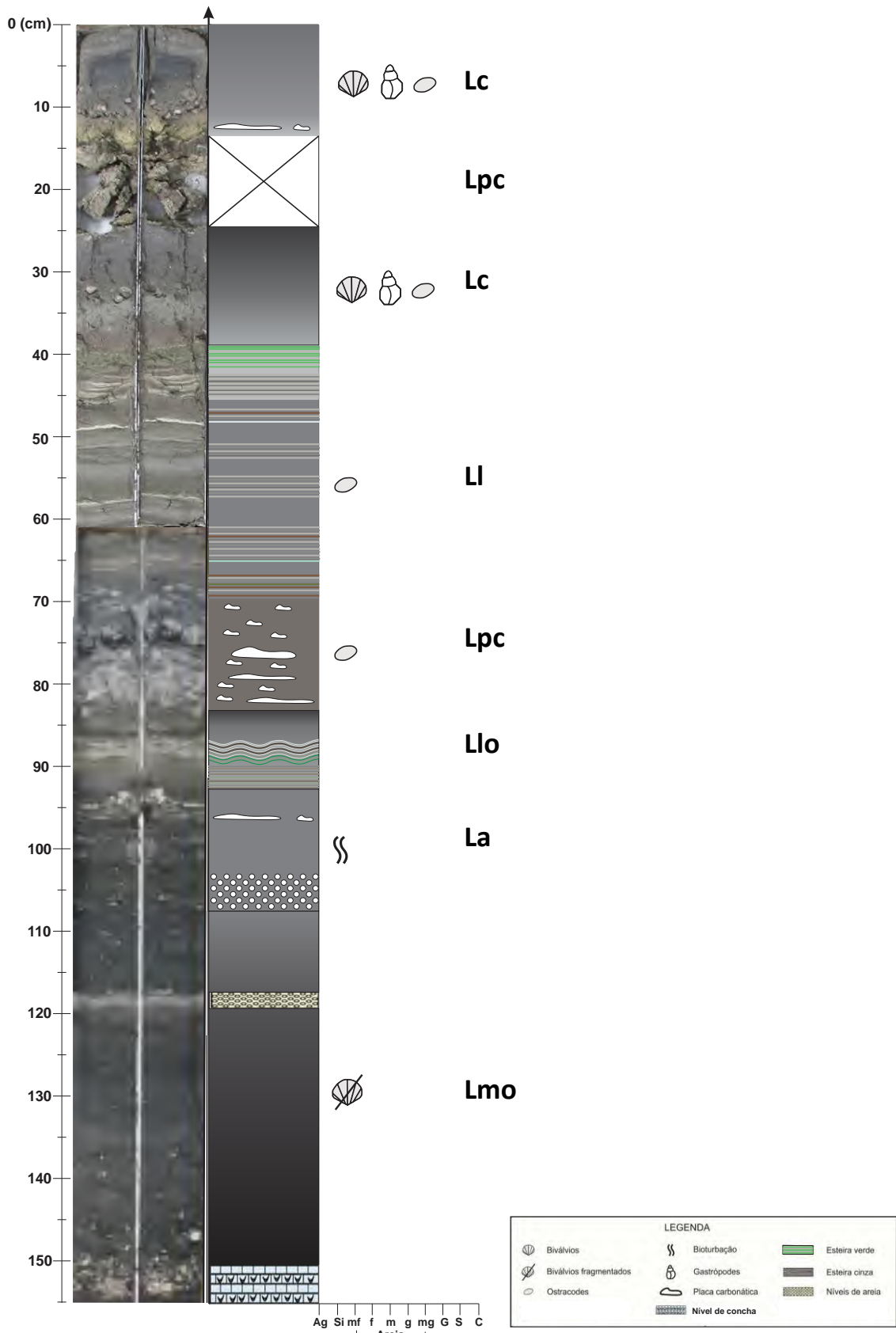


Figura 7: Perfil de fácies sedimentares do testemunho LV3.

Código	Diagnose	Descrição
Lc	Lama Cinza	Sedimento de granulometria tamanho argila, carbonático, peloidal, com presença de ostracodes, gastrópodes e bivalvíos concentrados na base.
LI	Lama laminada	Sedimento de granulometria tamanho argila constituído por intercalação de esteiras microbianas e lâminas carbonáticas, contendo ostracodes.
Lpc	Lama com placa carbonática	Sedimento de granulometria tamanho argila, de coloração cinza, com presença de placas carbonáticas. Contendo ostracodes.
Llo	Lama laminada ondulada	Sedimento de granulometria tamanho argila de coloração cinza claro constituído por esteiras microbianas intercalados com lâminas carbonáticas. As esteiras microbianas formam laminações onduladas e crenuladas.
La	Lama arenosa	Sedimento de granulometria tamanho argila de coloração cinza escuro. O sedimento apresenta um nível mais siliciclástico na base.
Lmo	Lama com matéria orgânica	Sedimento de granulometria tamanho argila, coloração cinza escuro, caracterizado pelo aumento na proporção de matéria orgânica em relação ao carbonato peloidal, em direção à base. Apresenta níveis de areia contendo bivalvíos fragmentados, além de bioturbações preenchidas por areia.

Quadro 1: Descrição da fácies sedimentares encontradas no testemunho LV3.

Os valores de COT, S, CIT e os componentes da matéria orgânica particulada, encontram-se na tabela 2. O valor do COT variou de 2,76 a 10,18% e o S de 0,38 a 1,67%. Os valores de CIT apresentam um aumento da base para o topo entre 3,80 a 92,30%. Os Fitoclastos e o Esporomorfos não ocorreram com representatividade expressiva ao longo do testemunho. Os cistos de dinoflagelados (Microplânctons Marinhos), por sua vez, concentram-se na base do testemunho, ocorrem com valores baixos (Tabela 2).

Semelhantemente aos sedimentos superficiais, a MOAB predomina ao longo do testemunho, entretanto não somente a densa, como também a pelicular. A MOAB densa varia de 22,88 a 85,50%, apresentando os maiores valores na base do testemunho, enquanto a MOAB Pelicular ocorre com valores entre 13,60 a 75,16% com os maiores percentuais no topo do testemunho (Tabela 2).

Tabela 2: Valores percentuais de COT, S, CIT e dos principais grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada (LV3). Em destaque os valores máximos (vermelho) e mínimos (Azul) encontrados.

Prof. (cm)	COT%	S%	CIT%	Fito%	MOA Total%	MOAB Pelicular%	MOAB Densa%	Dino%	Esporomorfo%
0-10	6,89	0,69	79,00	0,97	98,38	46,77	51,61	0,00	0,65
10-20	3,79	0,41	92,30	0,65	98,04	75,16	22,88	0,00	1,31
20-30	4,18	0,46	84,60	2,59	97,09	58,25	38,83	0,00	0,32
30-40	5,68	0,60	86,70	0,00	100,00	29,08	70,92	0,00	0,00
40-50	6,04	0,77	88,00	1,66	97,68	41,39	56,29	0,00	0,66
50-60	6,65	0,79	87,20	0,62	98,46	38,46	60,00	0,00	0,92
60-70	6,41	0,76	87,30	0,98	97,72	35,83	61,89	0,00	1,30
70-80	4,73	0,60	90,50	0,65	98,71	71,20	27,51	0,00	0,65
80-90	6,41	0,78	86,70	1,22	94,50	61,47	33,03	0,00	0,61
90-100	6,11	0,81	77,10	2,27	97,73	24,68	73,05	0,00	0,00
100-110	2,76	0,38	25,90	0,66	99,34	41,39	57,95	0,00	0,00
110-120	6,30	0,83	35,20	0,00	99,68	45,02	54,66	0,00	0,32
120-130	8,55	1,18	49,20	0,97	98,39	30,65	67,74	0,32	0,32
130-140	7,46	1,25	57,30	1,00	96,33	17,00	79,33	1,33	1,33
140-150	10,18	1,67	39,00	0,60	99,09	13,60	85,50	0,30	0,00
150-155	2,86	0,67	3,80	1,28	97,76	25,88	71,88	0,32	0,00

6.3.1 Modo-R

De acordo com o dendrograma Modo-R foi gerado um agrupamento envolvendo a abundância e o grau de similaridade dos componentes da matéria orgânica particulada, excetuando-se os fitoclastos e os esporomorfos, e incluídos os valores percentuais de COT, S, CIT. O grupo **D** associa os subgrupos de MOAB Pelicular e CIT, o grupo **E** corresponde somente aos dinocistos e o grupo **F** associa a MOAB Densa, S, COT (Figura 8).

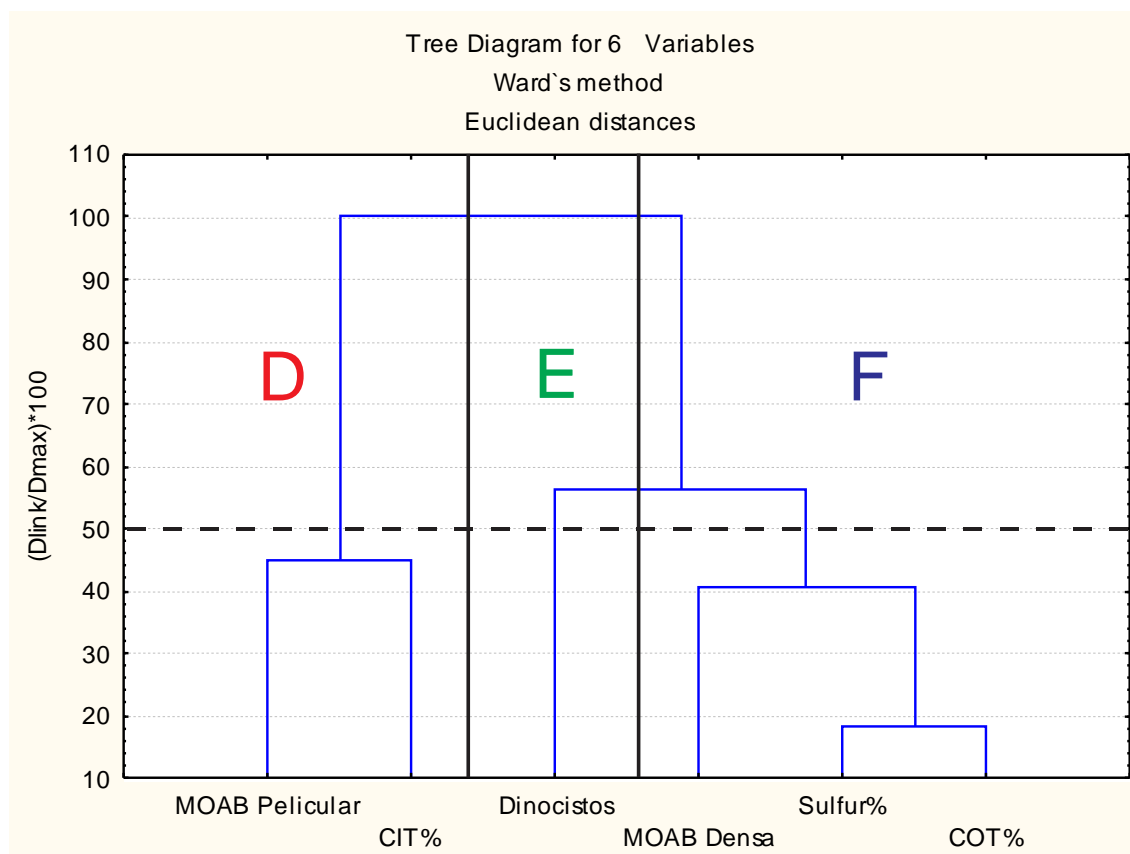


Figura 8: Dendrograma modo R mostrando a similaridade entre os valores percentuais de componentes da matéria orgânica particulada, COT, S e CIT do testemunho LV3.

6.3.2 Modo-Q

A análise de Cluster Modo-Q gerou quatro intervalos representados por diferentes associações dos grupos preestabelecidos, levando em consideração a composição dos componentes, bem como a profundidade (Figura 9):

- **O intervalo V:** associado ao agrupamento **D**, combina as amostras LV3-2, LV3-3, LV3-8 e LV3-9, pois apresentam os maiores valores de MOAB Pelicular (75,16%) e CIT (92,30%) e, por conseguinte, os mais baixos valores de MOAB Densa (22,80%).

- **O intervalo VI:** está associado ao agrupamento **EF**, representando a base do testemunho, reúne as amostras LV3-12, LV3-13, LV3-14, LV3-15, onde predominam o COT (6,30-10,18%), S (0,83-1,67%), a MOAB Densa (com pico de 85,50%) e há a ocorrência de cistos de dinoflagelados.

- **O intervalo VII:** associado ao agrupamento **F**, combina as amostras LV3-11 e LV3-16 visto que apresentam a MOAB Densa predominando sobre a MOAB Pelicular, bem como os valores de COT e S influenciando por apresentarem os menores valores percentuais (2,76-2,86% e 0,28-0,67% respectivamente).

- **O intervalo VIII:** por fim associa-se ao agrupamento **DF**, o qual agrega as amostras LV3-1, LV3-4, LV3-5, LV3-6, LV3-7 e LV3-10 em razão de indicarem valores elevados de CIT (79,00-88,00%) e o predomínio da MOAB Densa sobre a MOAB Pelicular.

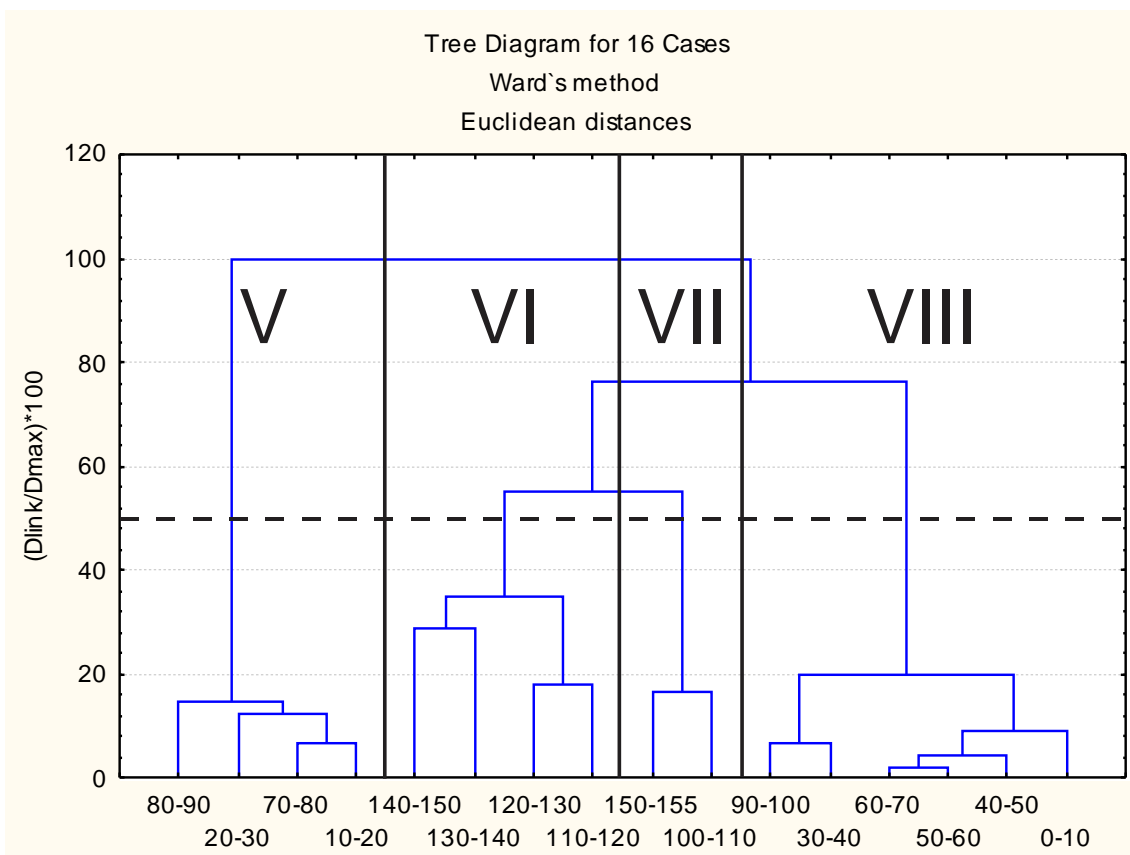


Figura 9: Dendrograma modo Q mostrando a similaridade entre as amostras do testemunho LV3.

7. DISCUSSÃO

7.1. COMPONENTES DA MATÉRIA ORGÂNICA

Os sedimentos superficiais e o testemunho apresentam predominantemente o mesmo componente, a MOAB, dentre todos os grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada. Segundo Mendonça Filho *et al.* (2010) a MOAB está associada a ambientes de sedimentação carbonática e pode ser dividida em MOAB Densa e MOAB Pelicular. A pelicular é derivada de Bactérias Autotróficas-Fotossintéticas que são produtoras de Mucilagem, Substância Polimérica Extracelular (EPS) e são associadas a baixos teores de COT. A sua produção ocorre concomitantemente à precipitação carbonática, aprisionando os cristais. Durante a preparação das amostras, o carbonato é eliminado pela dissolução por HCl, deixando impressões de crateras. Além disso, o material mucilaginoso, em um ambiente de mais elevado COT, pode sofrer retrabalhamento microbial por colônias de bactérias heterotróficas, tornando-se densa, apresentando forte fluorescência, por vezes com contornos definidos e aspecto de placas, estratificado, podendo ocorrer junto a formação de estruturas organossedimentares. Entretanto os subgrupos da MOAB não mostram uma distribuição regular nos sedimentos superficiais, esperava-se encontrar uma relação entre a matéria orgânica pelicular e as amostras com a maior carbono inorgânico, e a resposta pode estar no fato de que a superfície da laguna já sofreu ação antrópica e teve seu material remobilizado.

Os cistos de dinoflagelados, ainda que poucos, são importantes, pois ocorrem apenas na base do testemunho. Sabe-se que os dinoflagelados são protistas e preponderantemente marinhos e podem indicar uma interferência marinha na laguna. Foi possível o reconhecimento devido à forma subesférica a esférica dos cistos, com seus típicos processos ao redor e a forte fluorescência sob luz azul/UV. Vale ressaltar que a espécie *Operculodinium centrocarpum* identificada é denominada eurihalina (tolerante a grandes variações de salinidade) (Wall *et al.*, 1977).

Os fitoclastos e esporomorfos encontrados são poucos e destacam o pouco aporte sedimentar que chega à região, ainda assim, no caso dos sedimentos superficiais, eles se concentraram nas margens dos bolsões devido à proximidade com a vegetação.

7.2. CORRELAÇÃO ENTRE FÁCIES SEDIMENTARES, PALINOFÁCIES E ANÁLISES GEOQUÍMICAS.

Para a interpretação ambiental e deposicional do testemunho LV3, foi feita uma correlação entre as fácies sedimentares, o estudo palinofaciológico e as análises geoquímicas. As fácies observadas não concordam necessariamente com o intervalo amostral do testemunho (Figura 10).

A fácies **Lmo** aparece na base do testemunho e corresponde ao intervalo VI (110-150 cm) do agrupamento. Descrita como uma lama rica em matéria orgânica onde nota-se um aumento gradual no conteúdo de matéria orgânica em direção à base. Este aumento gradual pode ser constatado com altos valores COT, S e MOAB Densa e seus aumentos percentuais. Esta mesma fácies foi encontrada por Silva (2014) para o testemunho LV2 e por Turcq *et al.* (1999) (LV4) que a descreveram como sendo predominantemente composta de lama orgânica contendo camadas finas de conchas. De acordo com Turcq *et al.* (1999) esta fácies foi datada em aproximadamente 6530 anos.

A ocorrência de cistos de dinoflagelados indica influencia marinha nesta fácies.

A fácies **La** (100 -110) é descrita como sendo um nível mais siliciclástico, concordando com o menor valor de CIT dentre todas as amostras e apresentando os valores mais baixos de COT e S.

Esta fácies está contida no intervalo VII do agrupamento que também agrega o nível de conchas (150-155 cm) da fácies **Lmo**. Isto se deve possivelmente a granulometria dos intervalos uma vez que a matéria orgânica se preserva melhor em sedimentos finos.

A transição entre as fácies **La** e **Llo** marca a mudança para um ambiente com precipitação carbonática com ocorrência de esteiras e placas carbonáticas. Esta forte mudança no ambiente foi datada por Turcq *et al.* (1999) em aproximadamente 3700 anos e marca o isolamento da laguna com o oceano.

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 a pluviosidade, a evaporação e a infiltração de água subterrânea podem ser associadas à mudanças na sedimentação.

A fácies **Lpc** evidencia a ocorrência de placas carbonáticas e está contida no intervalo V que agrega as amostras com maiores valores de CIT e tem como destaque a predominância da MOAB Pelicular sobre a MOAB Densa e valores de COT baixos. Esta fácies demonstra um período de clima mais árido, com aumento da salinidade e redução do corpo aquático.

A fácies **LI** é destacada pela ocorrência de esteiras microbianas, apresenta altos valores de CIT, porém, diferente da fácies **Lpc**, a MOAB Densa predomina sobre a MOAB pelicular. Não há ocorrência de placas carbonáticas refletindo a predominância de um período mais úmido com queda na salinidade e aumento do corpo aquático.

A fácies **Lc** não apresenta estruturas organossedimentares definidas, mantém elevados valores de CIT, porém com uma ligeira queda no topo do testemunho, e o predomínio da MOAB densa sobre a MOAB pelicular. Esta queda no valor de CIT, pode estar associado ao fato, descrito por van Lith *et al.* (2002), que em momentos de variação de salinidade e de maiores perturbações a sedimentação carbonática diminui.

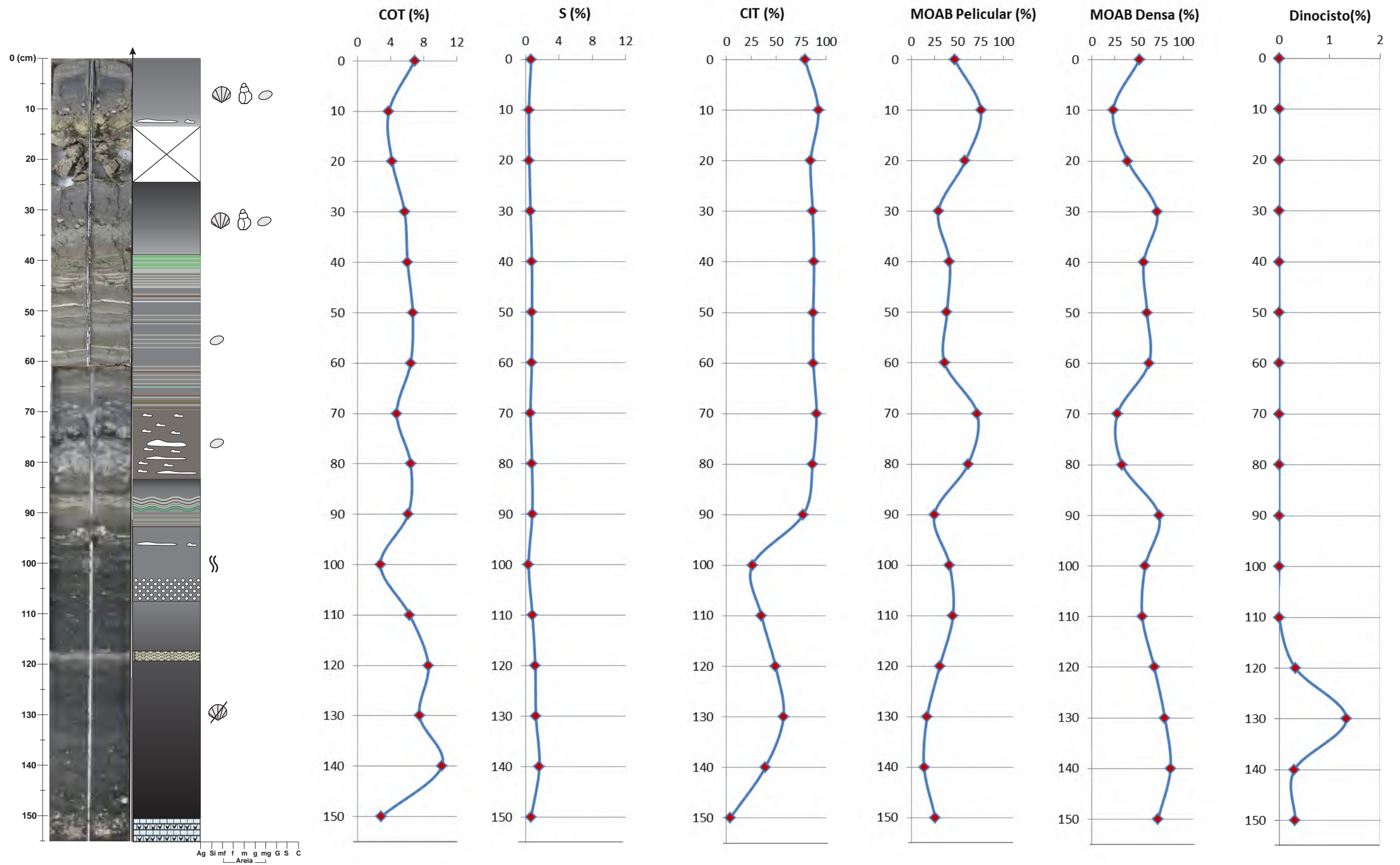


Figura 10: Gráficos percentuais dos parâmetros organogeoquímicos e palinofaciológicos dos grupos e subgrupos da matéria orgânica particulada do testemunho LV3.

8. CONCLUSÃO

Nos sedimentos superficiais e no testemunho há o predomínio de duas morfologias distintas da MOAB sobre os outros componentes da matéria orgânica particulada, sendo classificadas como MOAB pelicular e MOAB densa.

Nos sedimentos superficiais a MOAB não reflete a tendência de distribuição esperada, apresentando uma distribuição aleatória.

Ao longo do testemunho a MOAB apresenta duas morfologias distintas cuja alternância de predomínio reflete as diferentes condições climáticas. Nos intervalos onde a MOAB Pelicular é predominante, baixos valores de COT aliados à ocorrência de placas carbonáticas indicam um momento de maior aridez, alta salinidade, redução do corpo aquático. Em contrapartida intervalos onde a MOAB Densa é predominante indicam momentos de maior umidade, menor salinidade, e aumento do corpo aquático.

No testemunho a variação observada no carbono inorgânico, na profundidade entre 90 e 100 cm, sugere uma mudança no ambiente que anteriormente era siliciclástico passando a ser predominantemente carbonático.

A ocorrência de cistos de dinoflagelados na base do testemunho indica uma influência marinha.

É necessário fazer estudos de datação a fim de melhorar a compreensão dos dados e correlacionar com trabalhos pretéritos.

9. AGRADECIMENTOS

Ao Projeto Lagoas pela concessão das amostras, aos meus orientadores Prof. Dr. João Graciano Mendonça Filho e Dra. Sinda Beatriz Vianna Carvalhal Gomes e aos pesquisadores, técnicos e estagiários do Laboratório de Palinofácies & Fácies Orgânicas.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials (ASTM), 2008. Standard test methods for Sulfur in the analysis sample of coal and coke using high-temperature tube furnace combustion methods. ASTM D 4239. Publicado on-line em 01 Fev 2008. (<http://engineeers.ihs.com/document/abstract/NWETIBA>).

Combaz, A. 1964. Les palynofaciès. *Revue de Micropaléontologie*, 7: 205-218.

El Diasty, W. Sh.; EL Beialy, S.Y.; Abo Ghonaim, A.A.; Mostafa, A.R. & El Atfy, H. 2014. Palynology, palynofacies and petroleum potential of the Upper Cretaceous-Eocene Matulla, Brown Limestone and Thebes formations, Belayim oilfields, central Gulf of Suez, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 95: 155-167.

Hönn, A.; Tobschal, H. J. & Maddock, J. E. L. 1986. Biogeochemistry of a hipersaline lagoon east of Rio de Janeiro, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 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.

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 Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 242p.

Mendonça Filho, J. G.; Menezes, T.R.; Mendonça, J.O.; Oliveira, A. D.; Souza, J. T.; Santos, S. S. V. & Arienti, M. L. 2010a. Aplicação da faciologia orgânica no modelo

sedimentológico-estratigráfico do Oligo-Mioceno e Mioceno da Bacia de Campos. *In:* Boletim de Geociências Petrobras, Rio de Janeiro, CENPES, v. 18, n. 2, p. 153-177.

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:* I.S. Carvalho (ed.) *Paleontologia* 3, Interciência, p. 289-323.

Mendonça Filho, J.G. & Menezes, T.R. 2011a. Organic Matter: Concepts and Definitions. *In:* FLORES, D & MARQUES, M. (eds.) *ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter*. Editora ICCP, p. 1-12.

Mendonça Filho, J.G.; Menezes, T.R. & Mendonça, J.O. 2011a. Organic Composition (Palynofacies Analysis). *In:* FLORES, D & MARQUES, M. (eds.) *ICCP Training Course on Dispersed Organic Matter*. Editora ICCP, p. 33-81.

Mendonça Filho, J.G.; Menezes, T.R.; Mendonça, J.O.; Oliveira, A.D.; Silva, T.F.; Rondon, N.F. & Silva, F.S. 2012. Organic Facies: Palynofacies and Organic Geochemistry Approaches. *In:* Panagiotaras, D. (ed) *Geochemistry: Earth's System Process*. Editora InTech, p. 211-248.

Pacton, M.; Gorin, G.E. & Vasconcelos, C. 2011. Amorphous organic matter – Experimental data on formation and the role of microbes. *Revista Review of Paleobotany & 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.

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.; Carvalho, 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, T.C.L.M.; 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. 2004. Composição paleobiológica das construções estromatolíticas da Lagoa Vermelha RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(2): 193-198.

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.; Bitencourt, A.C.SP.; 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.

- Turcq, B.; Martin, L.; Flexor, J. M.; Suguio, K.; Pierre, C. & Tasayco-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, p. 25-46.
- Tyson, R.V. 1995. Sedimentary organic matter: *Organic facies and palynofacies*. Londres, Chapman & Hall. 615 p.
- 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). *Revista Hydrobiologia*, 485: 35-49.
- Vasconcelos, C.; Warthmann, R.; McKenzie, J. A.; Visscher, P. T.; Bittermann, A. G. & Lith, Y. 2006. Lithifying microbial mats in Lagoa Vermelha, Brazil: Modern Precambrian relics?. *Revista Sedimentary Geology*, 185: 175-183.
- United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA). Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. *In: NCEA-C-1282, Ecological Risk Assessment Support Center*. Las Vegas: Office of Research and Development, 2002, 23p.
- 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.

