



# ANÁLISE PALEOAMBIENTAL COM BASE EM CISTOS DE DINOFLAGELADOS RECENTES EM UM TESTEMUNHO NA BAÍA DE GUANABARA

Paleoambiental Analysis Based on Recent Dinoflagellate Cysts in a Sedimentary Core  
at Guanabara Bay

Luciana Santos de Oliveira<sup>1</sup>, João Graciano Mendonça Filho<sup>2</sup>, Antônio  
Donizeti de Oliveira<sup>3</sup>, Juliana Andrade Iemini<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> UFRJ, Departamento de Geologia, CCMN/IGEO, Cidade Universitária – Ilha do Fundão,  
cianageo@globo.com 21949-900. Rio de Janeiro, RJ – Brasil.

<sup>2</sup> DEGEO/IGEO/UFRJ, Ilha do Fundão, 21949-900, RJ, Brasil. e-mail: graciano@geologia.ufrj.br

<sup>3</sup> UFRJ, DEGEO/IGEO/UFRJ, Ilha do Fundão, 21949-900, RJ, Brasil. e-mail: donizeti@geologia.ufrj.br

<sup>4</sup> DEGEO/IGEO/UFRJ, Ilha do Fundão, 21949-900, RJ, Brasil. e-mail: juliana.iemini@gmail.com

## Resumo

Doze amostras de um testemunho localizado a nordeste da Baía de Guanabara foram analisadas segundo seu conteúdo palinofaciológico associado ao palinológico com o intuito de estudar e estabelecer as associações de dinocistos presentes ao longo do testemunho e suas relações com as condições ambientais. Os resultados mostram um total de 13 espécies de cistos de dinoflagelados, sendo 10 espécies fototróficas e 3 espécies heterotróficas. O testemunho é dominado pelo gênero *Lingulodinium* seguido por *Spiniferites* e *Operculodinium*. Utilizando os métodos estatísticos de agrupamento R e Q foi possível estabelecer as associações de dinocistos predominantes e os intervalos ecológicos aos quais as associações pertencem. Estas associações são dominadas pela natureza do nutriente disponível e pela salinidade. A atividade antropogênica também influencia a comunidade fitoplactônica, uma vez que o enriquecimento em nutrientes gera eutrofismo e conseqüentemente muda a associação de dinocistos predominante.

**Palavras chave:** Dinocistos, palinologia, matéria orgânica, Baía de Guanabara.

## Abstract

Twelve samples of a located core to northeast of the Guanabara Bay were analyzed for their palinological content with intention to study and to establish the associations of present dinocysts along the core and their relationships with the environmental conditions. The results show a total of 13 species of dinoflagellate cysts, being 10 phototrophic species and 3 heterotrophic species. The analyzed core is dominated by *Lingulodinium*, *Spiniferites* and *Operculodinium*. Using the statistical methods of grouping R and Q was possible to establish the associations of predominant dinocysts and the ecological intervals to which the associations belong. These associations are dominated by the nature of the available nutrient and salinity. The anthropogenic activity also influences the phytoplankton community, once the enrichment in nutrients generates eutrophic conditions and consequently changes the predominant dinocyst's association.

**Key words:** dinocyst, palinology, organic matter, Guanabara Bay.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas estuarinos são resultantes da confluência de águas fluviais e pluviais, em regiões costeiras com o oceano. Este fato juntamente com o clima da região acarreta a variação de diversos fatores ambientais, que em conjunto, oferecem importantes características que proporcionam elevada produtividade biológica causando a proliferação de várias espécies de microplâncton. Muitos destes sistemas sofrem com a descarga contínua de águas de lastro de navios, descargas de lixo industrial e doméstico ao longo de décadas.

O estudo dos dinoflagelados no Brasil é um assunto de considerável conhecimento na comunidade científica, porém ainda é pouco divulgado. Alguns trabalhos ligados à biologia e ecologia falam do efeito nocivo dos dinoflagelados, a chamada Maré Vermelha (hoje chamada de FAN – Florações de Algas Nocivas), responsável pela toxicidade das águas dos oceanos e mares, causando a mortandade de peixes e/ou migração de outras espécies da fauna aquática.

Dinoflagelados são organismos unicelulares fototróficos, heterotróficos ou ainda mixotróficos (que em determinada fase do ciclo de vida se comportam como foto ou heterotrófico, de acordo com a disponibilidade de nutrientes). Estão inseridos no Reino Protista, segundo os botânicos são algas fotossintetizantes da Divisão Pyrrophyta ou Dinophyta; para os zoólogos são protistas flagelados do Filo Dinoflagellata. Esta complexidade é devido ao fato dos dinoflagelados serem classificados em dois grupos, segundo sua característica trófica (fototróficos e heterotróficos). Os fototróficos fazem fotossíntese e são considerados algas. Os heterotróficos são consumidores de bactérias e outros protistas.

Os dinocistos correspondem ao registro fóssil dos dinoflagelados no sedimento. Eles são importantes por apresentarem potencial como indicadores biológicos de tempo e grau de mudanças ambientais em estuários (Pospelova *et al.*, 2002). Sua parede pode ser orgânica (estudo deste trabalho), calcária ou silicosa.

Aproximadamente 13 a 16% de dinoflagelados vivos produzem cistos dormentes durante seu ciclo de vida, constituindo uma parte importante da população fitoplanctônica em ecossistemas aquáticos (Dale, 2001).

A associação de cistos de dinoflagelados pode fornecer informações sobre o comportamento dos dinoflagelados vivos na coluna superficial d'água, além de refletir a ecologia dos dinoflagelados vivos. (Dale, 1976; Reid & Harland, 1977).

O estudo de cistos de dinoflagelados pode ter vários objetivos, dependendo da idade do material analisado. Segundo Dale (2001) os cistos de dinoflagelados recentes auxiliam na determinação de parâmetros ambientais (temperatura, salinidade, etc.), impactos humanos (descarga de lixo industrial e doméstico), mudanças climáticas (períodos glaciais e interglaciais) e na reconstrução de qualquer ambiente, além de serem instrumentos para zoneamentos bioestratigráficos. A determinação destes parâmetros só são possíveis devido ao elo de compatibilidade do fitoplâncton atual com o registro no sedimento antigo.

O estudo foi realizado na Baía de Guanabara, localizada no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Este sistema consiste em um estuário que atualmente sofre com a rápida expansão urbano-industrial, acarretando a degradação acelerada de suas águas, influenciando na fauna e flora da região. As atividades antropogênicas comprometem a circulação e conseqüentemente renovação de suas águas, tornando-as ricas em nutrientes. A redução da concentração de oxigênio dissolvido favorece o aparecimento

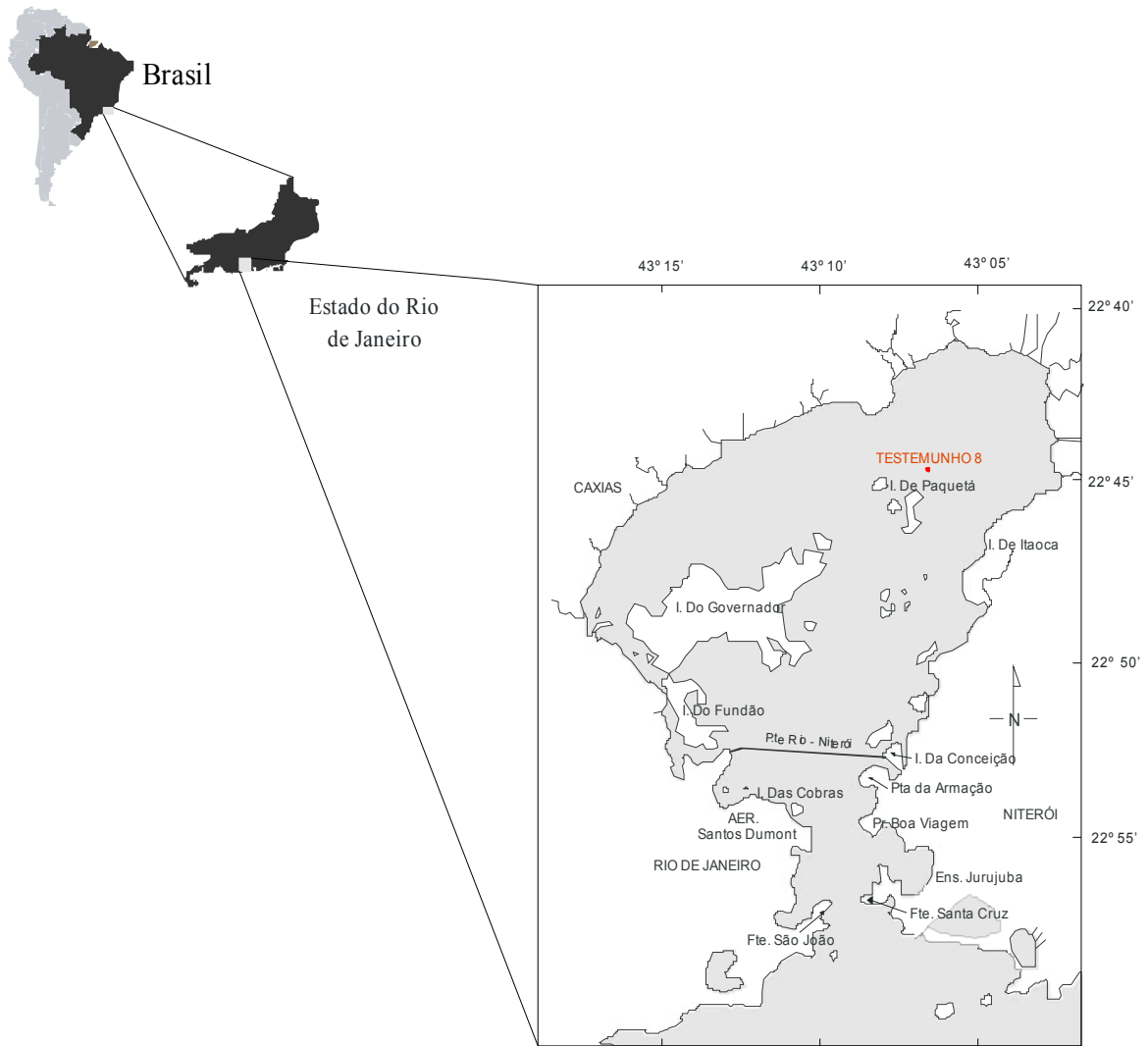
de algumas espécies de algas tóxicas e reduz a diversidade de outras. Sangiorgi & Donders (2004).

Este trabalho consiste na identificação e caracterização dos componentes particulados da matéria orgânica, e seus subgrupos, através da palinologia. Deste modo, foi possível identificar os palinomorfos, relacioná-los aos os cistos de dinoflagelados, e assim determinar as condições ambientais através do estudo da ecologia de seus cistos.

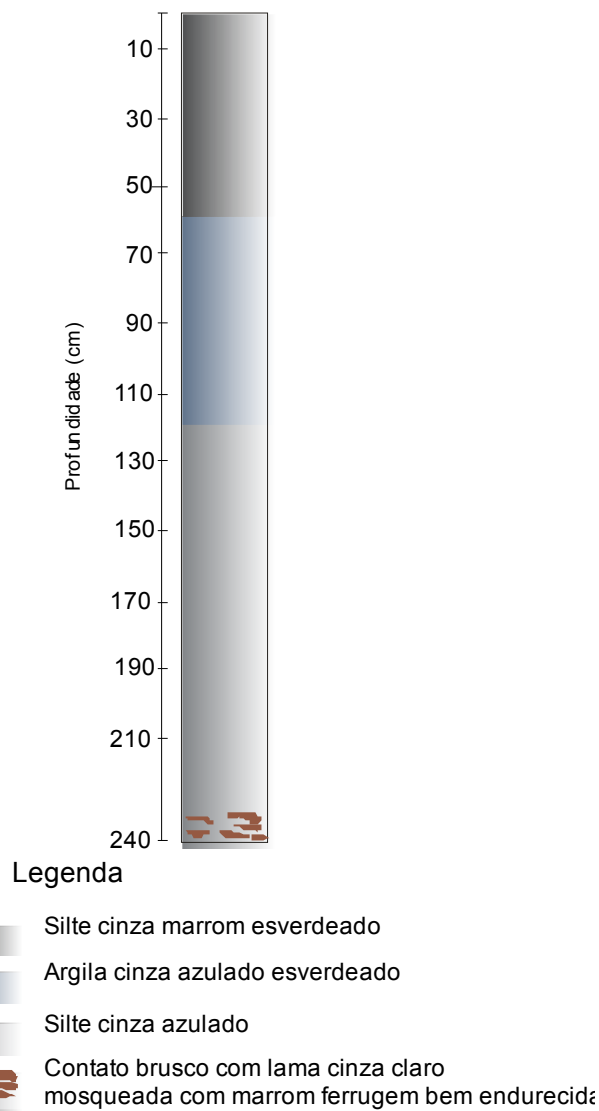
## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Material Utilizado**

O testemunho analisado localiza-se na borda nordeste da Baía de Guanabara, mais precisamente à norte da Ilha de Paquetá. (figura 1) Ele foi coletado pela equipe do LAGEMAR – UFF e doado para a UFRJ; possui comprimento de 2,40 m; subdividido em intervalos de 20 cm, num total de 12 amostras. Da base para o topo, o intervalo 2,40 m consiste em silte cinza azulado. Observam-se lentes de lama cinza claro, mosqueada com marrom, bem endurecida. No intervalo correspondente a 2.30 m, a granulometria grada para areia fina a média, com coloração cinza claro. Os intervalos seguintes (2,10 a 1,30 m) a granulometria volta a apresentar silte de coloração azulada. Nos intervalos correspondentes às profundidades 1,10 a 0,70 m, a granulometria corresponde a argila cinza azulado a esverdeado. Os demais intervalos (0,50 a 0,10 m) consistem em silte cinza marrom-esverdeado. (figura 2)



**Figura 1:** Mapa de localização da Baía de Guanabara e posição geográfica do testemunho.



**Figura 2:** Descrição litológica do testemunho. (Modificado e adaptado de Barreto *et al.*, 2007)

## 2.2. Parte Experimental e Métodos de Estudo

As amostras foram processadas no Laboratório de Preparação de Microfósseis-DGEO/IGEO/UFRJ. Para tal seguiu-se o método de preparação para Palinofácies & Fácies Orgânica, desenvolvido por Tyson (1995); Mendonça Filho (1999); Oliveira *et al.* (2004; 2006).

O método de contagem para Palinofácies foi utilizado para a identificação dos componentes orgânicos particulados presentes ao longo do testemunho. Essa análise,

associada à palinologia, envolveu o exame qualitativo e quantitativo (contagem de 300 partículas) da matéria orgânica com a utilização de técnicas de microscopia sob luz branca transmitida e luz azul incidente (fluorescência). Além destas duas contagens, foi realizada uma contagem paralela de dinocistos, também padronizada em 300 componentes para assegurar o detalhamento das espécies encontradas.

A classificação dos grupos e subgrupos da matéria orgânica obedeceu à classificação proposta por Tyson (1995); Mendonça Filho (1999) e Mendonça Filho *et al.* (2002). Após a contagem dos componentes orgânicos particulados, os valores absolutos foram recalculados para valores percentuais e normalizados a 100%.

### **2.3. Tratamento dos Dados**

Para melhor interpretação das informações obtidas empregou-se análise de agrupamento hierárquica através do Programa Statistic Basic, versão 6.0. Esta ferramenta foi empregada com o objetivo de reconhecer as correlações lineares entre os dinocistos, baseado na similaridade ecológica entre as associações (Modo R) e para a observação de similaridades entre as amostras (Modo Q).

Para a representação dos resultados foram gerados diagramas binários e dendogramas para denotar as variações nas associações de dinocistos ao longo do testemunho estudado

### **2.4. Fatores Ambientais Relacionados à área de estudo**

Do ponto de vista físico os estuários são ambientes complexos: a circulação das águas, processos de mistura de nutrientes e estratificação da salinidade; luminosidade e outros fatores dependem da geometria do estuário, da descarga de água doce e da maré.

A região superior da baía (cabeça do estuário) é influenciada pelos processos fluviais, sofrendo progressiva redução em direção à foz, onde passa a ter a influência dos processos marinhos. Os efeitos das ondas são restritos às margens costeiras da zona externa. Segundo Masselink & Hughes, (2003), as zonas internas e externas possuem maior energia e são predominantemente zonas de transferência de sedimentos.

A Baía de Guanabara é considerada um ambiente complexo, de origem tectônica, sendo classificado segundo o modo de formação de bacia como Vale de Rios Afogados, possuindo setores classificados como Estuário de Cunha Salina e outros como Estuário de Águas Parcialmente Misturadas (Pritchard, 1967 *apud* Amador, 1997).

Como mecanismo de movimento dominante a baía é classificada como Estuário Dominado por Marés (Shubel, 1971 *apud* Amador, 1997). Resumindo, existem na Baía setores que pertencem a um ou outro mecanismo que são alterados no tempo e no espaço.

## **2.5. Sinais ambientais que afetam a distribuição de associações de dinoflagelados recentes**

Os dinoflagelados possuem algumas habilidades que facilitam sua adaptação aos diversos ambientes aquáticos. Migração e flutuabilidade são algumas delas e dependendo da necessidade da espécie, é possível ao dinoflagelado se transportar verticalmente dentro das zonas fóticas na água para aumentar sua fotossíntese. Prézelin, 1987 *apud* Dale, 1996. Outras espécies migram para zonas com maior quantidade de nutrientes. Há ainda espécies que se utilizam da flutuabilidade para permanecer estratigraficamente localizado na coluna d'água como estratégia sexual, para permitir



excistamento antes da deposição no fundo e restabelecer seu ciclo de vida, no estágio planctônico. (Dale, 1996, 1992).

A temperatura da água é um dos fatores controladores da distribuição de dinoflagelados e, conseqüentemente dos cistos no sedimento. Alguns cistos mostram restrição a determinadas latitudes, sugerindo a temperatura da água como um fator limitante, outras são classificadas como tolerantes a amplos intervalos de temperatura, sendo importantes indicadores biogeográficos climáticos. As espécies dos gêneros *Operculodinium centrocarpum*, *Spiniferites bulloideus* e *Lingulodinium machaerophorum* são classificadas como cosmopolitas, tolerando diferenças significantes de temperatura, sendo importantes indicadores biogeográficos climáticos.

O fator condicionante de maior expressão para a produtividade do fitoplâncton além da luz solar é a disponibilidade de nutrientes.

Condições de eutrofismo no ambiente podem proporcionar aumento ou redução da diversidade de espécies de um ambiente. (Pospelova *et al.*;2002; 2004; 2005).

A proporção de cistos de dinoflagelados nas associações tem sido usada como um indicador de eutrofização em águas costeiras (Thorsen e Dale, 1997; Matsuoka, 1999). Alguns trabalhos sugerem que os cistos são também indicadores potenciais de impactos antropogênicos, refletindo ambos eutrofização e poluição industrial (Dale e Fjellsa, 1994; Saetre *et al.*,1997; Thorsen e Dale, 1997; Dale *et al.*,1999; Dale, 2001; Sangiorgi *et al.*, 2001).

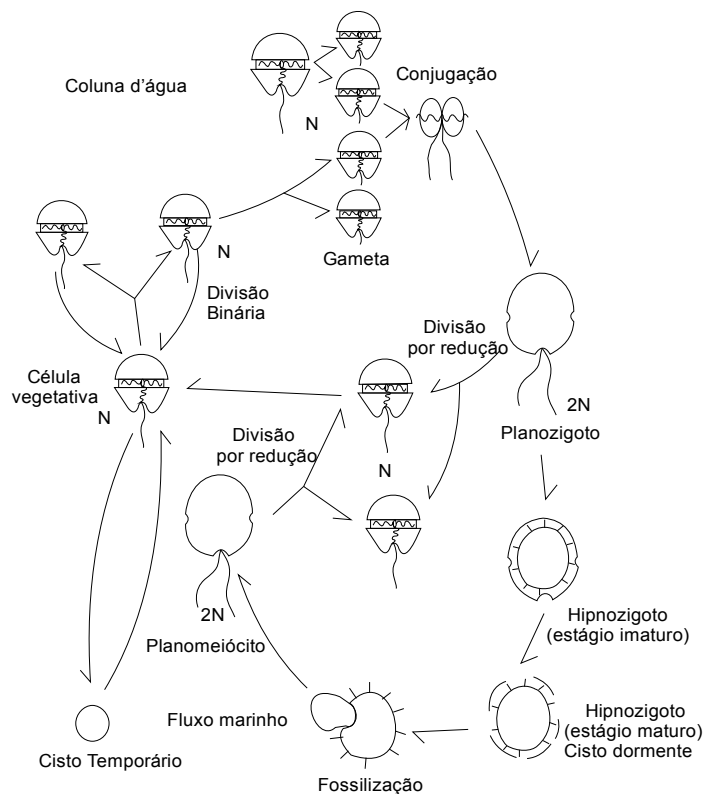
## **2.6. Biologia dos Dinoflagelados**

Alguns grupos de dinoflagelados produzem cistos dormentes (hipnozigotos) após reprodução sexuada. A parede do cisto consiste de dinosporina (dinoflagelados fototróficos) ou quitina, nos dinoflagelados heterotróficos. Esta substância, semelhante

à esporopolenina dos grãos de pólen e esporos, é responsável pela preservação do cisto no sedimento.

Os dinoflagelados são predominantemente planctônicos, apesar de alguns, em certa fase de vida, apresentarem o hábito bentônico. Quando o meio aquático se apresenta favorável, a reprodução assexuada é estimulada. Neste tipo de reprodução, muitos dinoflagelados não formam cistos fossilizáveis. Há a formação de células haplóides por divisão binária e seus descendentes voltam a se desenvolver na coluna d'água ou podem formar cistos temporários não fossilizáveis. (figura 3)

Quando as condições no meio aquático se tornam desfavoráveis, o dinoflagelado se reproduz sexuadamente. Neste caso, a nova célula é do tipo diplóide (2N), denominada de planozigoto e permanece viável por poucas semanas. Devido a fatores ambientais, os planozigotos contraem seu protoplasma e há a formação do cisto (encistamento). De acordo com as condições ambientais os dinoflagelados podem formar até quatro espécies de cistos.



**Figura 3:** Ciclo de vida dos dinoflagelados formadores de cistos de parede orgânica, modificado de Matsuoka, (1999).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Palinofácies

A análise organocomposicional mostrou o predomínio de matéria orgânica amorfa (MOA, 95%) ao longo de todo o testemunho. Fitoclastos e palinomorfos totalizaram apenas 5% do total da matéria orgânica. Este fato sugere uma deposição sob condições de baixa energia. (figuras 4 e 5)

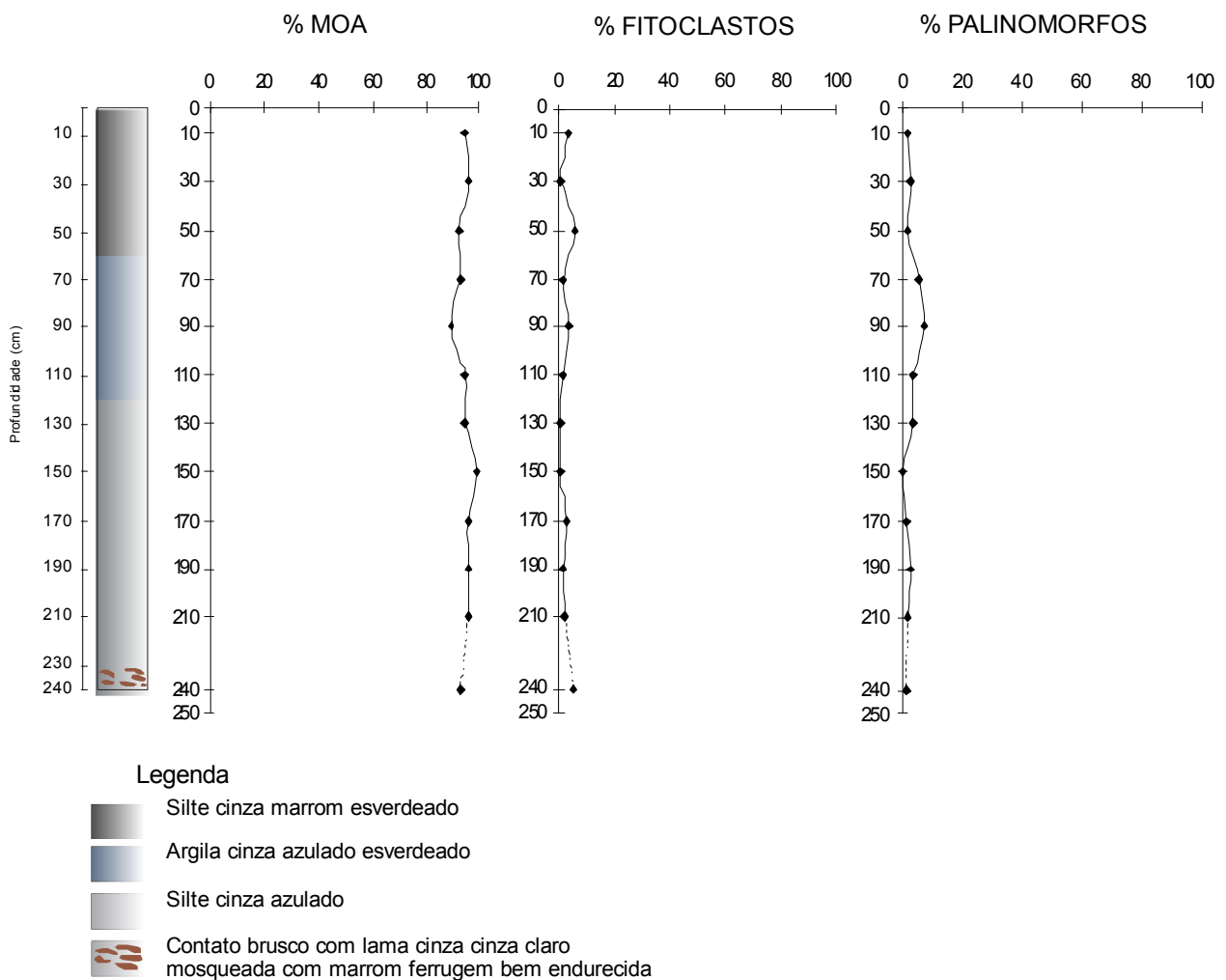
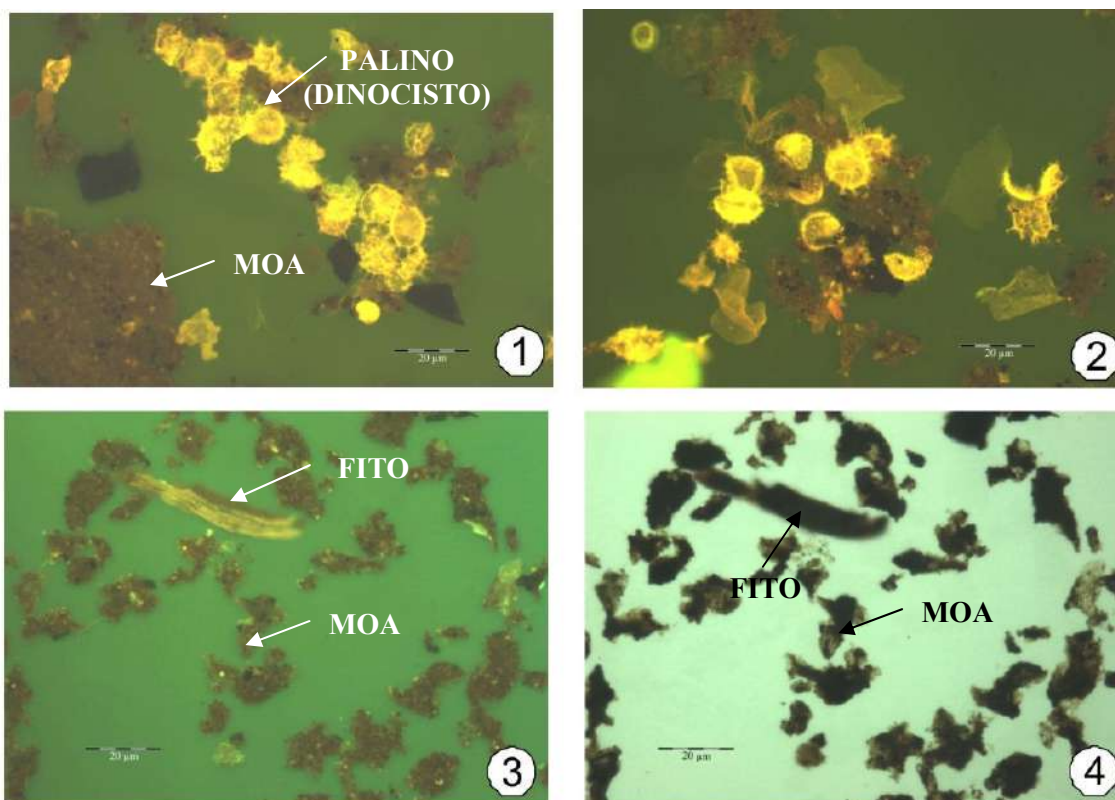


Figura 4: Distribuição dos valores percentuais dos principais grupos da matéria orgânica.

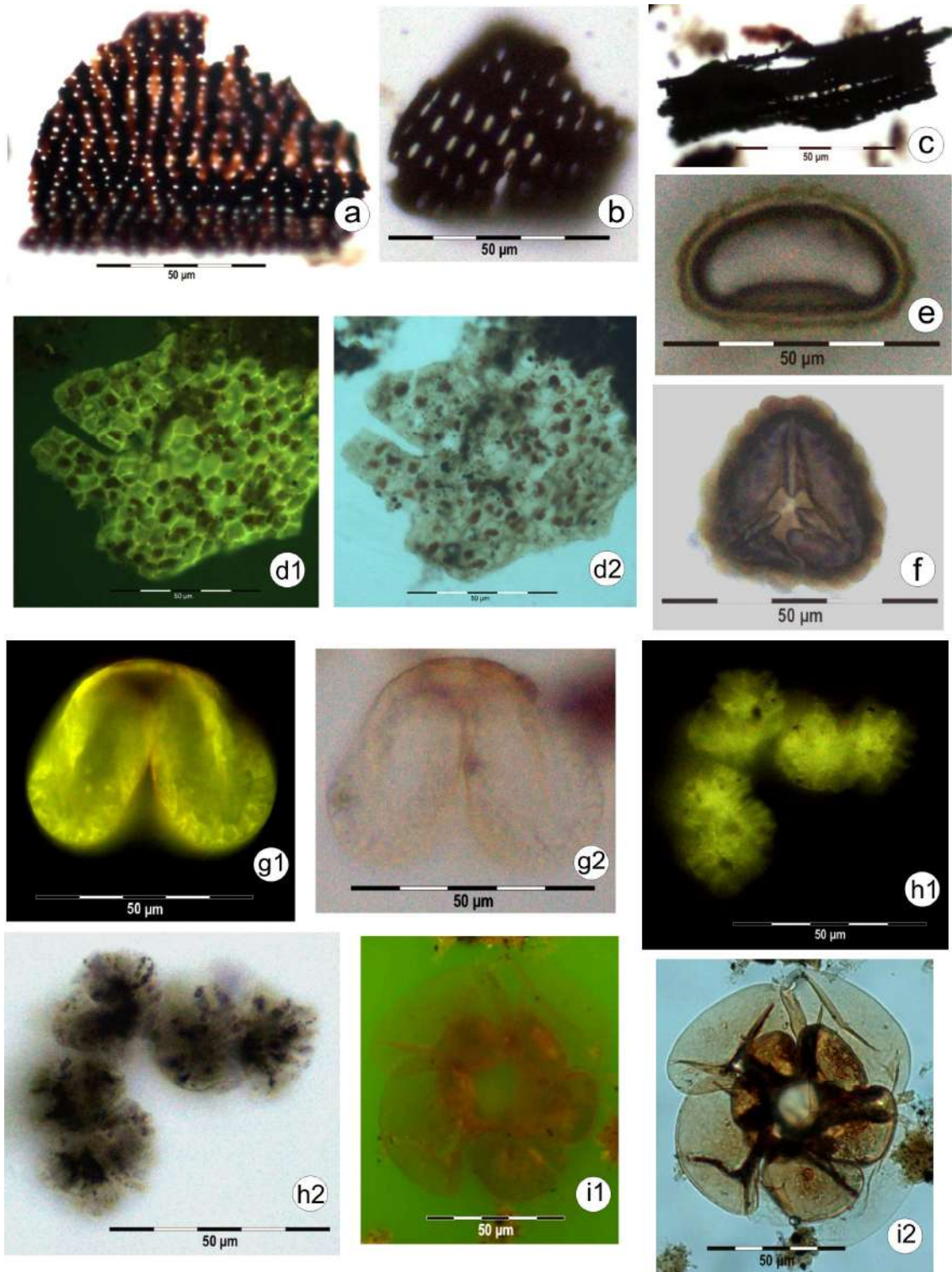


**Figura 5:** Microfotografias apresentando os principais componentes da matéria orgânica. MOA: matéria orgânica amorfa; FITO: fitoclasto; PALINO: palinomorfo (dinocistos). Fotos 1, 2 e 3, fluorescência em luz azul incidente e 4, luz branca transmitida.

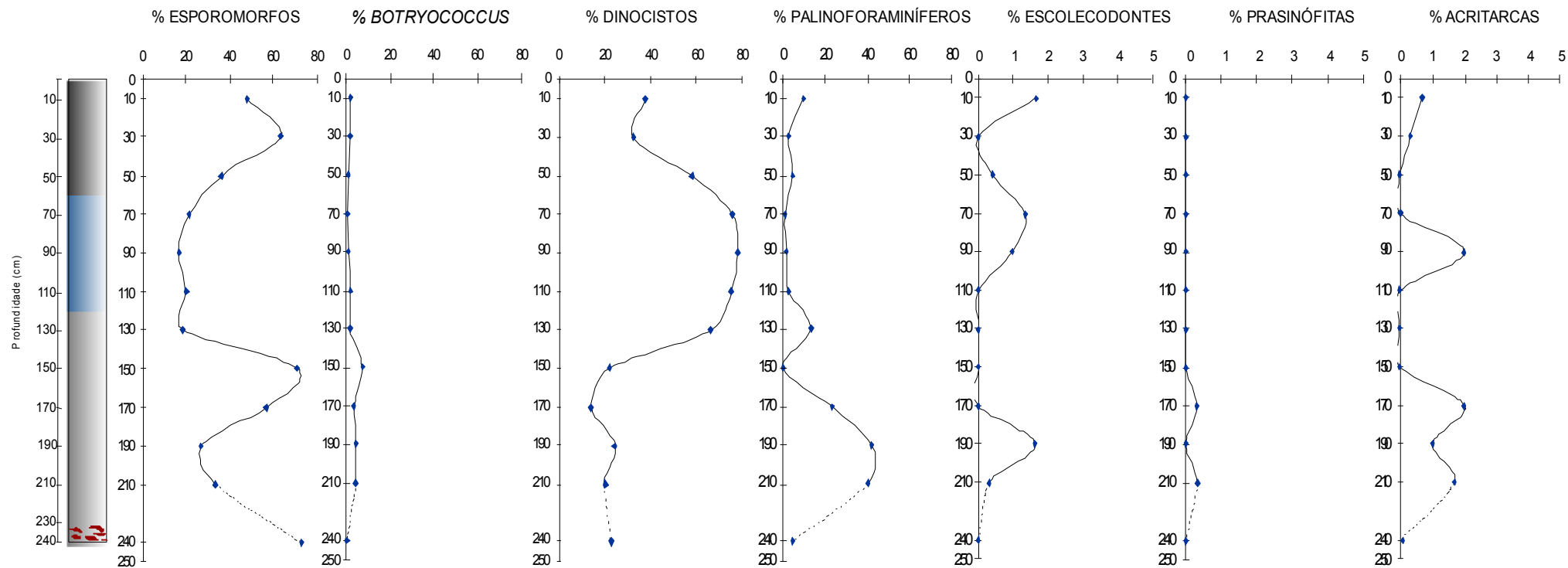
### 3.2. Palinologia

Os dados obtidos pela análise de palinologia apresentaram maior abundância de dinocistos (total de 44%) seguido de esporomorfos (42%) do total de palinomorfos. Palinoforaminíferos totalizaram 12%. A variação destes palinomorfos ao longo do testemunho evidenciou alternâncias de períodos de maior contribuição continental (figura 6). Desta forma, observamos que na base (240 a 150 cm) e no topo (50 a 10 cm) do testemunho encontram-se os maiores percentuais de palinomorfos continentais (esporomorfos e *Botryococcus*, na base – 51,9% e 3,8%, respectivamente; esporomorfos e *Botryococcus*, no topo – 49% e 1,2%, respectivamente) e também associados a eles, os maiores percentuais de dinocistos heterotróficos e palinoforaminíferos, na base (10,8 e 5,7% contra 3,4 e 21,9%, no topo, respectivamente). Ocorrem em menor proporção,





acritarcas (0,64%), escolecodontes, (0,5%) e prasinófitas (0,05%). (Figuras 6 e 7)



**Figura 6:** a. Fitoclasto não opaco bandado perfurado. b. Fitoclasto opaco perfurado. c. Fitoclasto opaco alongado corroído. d. Cutícula degradada; d 1, luz azul incidente e d 2, luz branca transmitida. e. Esporo monolete, luz branca transmitida. f. Esporo trilete, luz branca transmitida. g. Pólen bissacado; g 1, luz azul incidente, g 2, luz branca transmitida. h. Algas *Botryococcus*; h 1, luz azul incidente, h 2, luz branca transmitida. i. Palinoforaminífero; i 1, luz azul incidente, i 2, luz branca transmitida.



**Legenda**

-  Silte cinza marrom esverdeado
-  Argila cinza azulado esverdeado
-  Silte cinza azulado
-  Contato brusco com lama cinza cinza claro mosqueada com marrom ferrugem bem endurecida

**Figura 7:** Principais grupos de palinomorfos presentes no testemunho (observar escala).

### 3.3. Dinocistos

Foram identificados um total de 13 espécies de cistos de dinoflagelados ao longo do testemunho: Fototróficos (*Impagidinium patulum*, *Spiniferites bentorii*, *S. mirabilis*, *S. hypercanthus*, *S. bulloideus*, *S. delicatus*, *S. ramosus*, *Operculodinium centrocarpum*, *O. israelianum*, *Lingulodinium machaerophorum*) e Heterotróficos (*Polikrikos Kofoidii*, *Selenopemphix quanta* e *S. nephroides*). (figuras 11 a 14)

Não foi possível a identificação de alguns exemplares de heterotróficos. No caso de alguns gêneros de *Spiniferites* e do gênero *Lejeunecysta*, não foi possível a identificação das espécies. Para a identificação dos cistos de dinoflagelados foi utilizado Marret & Zonneveld, 2003, que fornece uma descrição morfológica detalhada das espécies, bem como, da sua célula móvel (dinoflagelado), resumida no quadro 2.

Foram encontradas 10 espécies de cistos Gonyaulacóides e 3 de Peridinióides (*Selenopemphix nephroides* não foi incluído na contagem, por ter sido encontrado apenas um indivíduo – figura 15). Os grupos pertencentes às famílias Polikricaceae e Peridiniaceae apresentam características heterotróficas, enquanto Gonyaulacaceae, fototróficas. A frequência relativa do grupo heterotrófico é de aproximadamente 11,5% e do fototrófico, 88,5%. (figura 8)

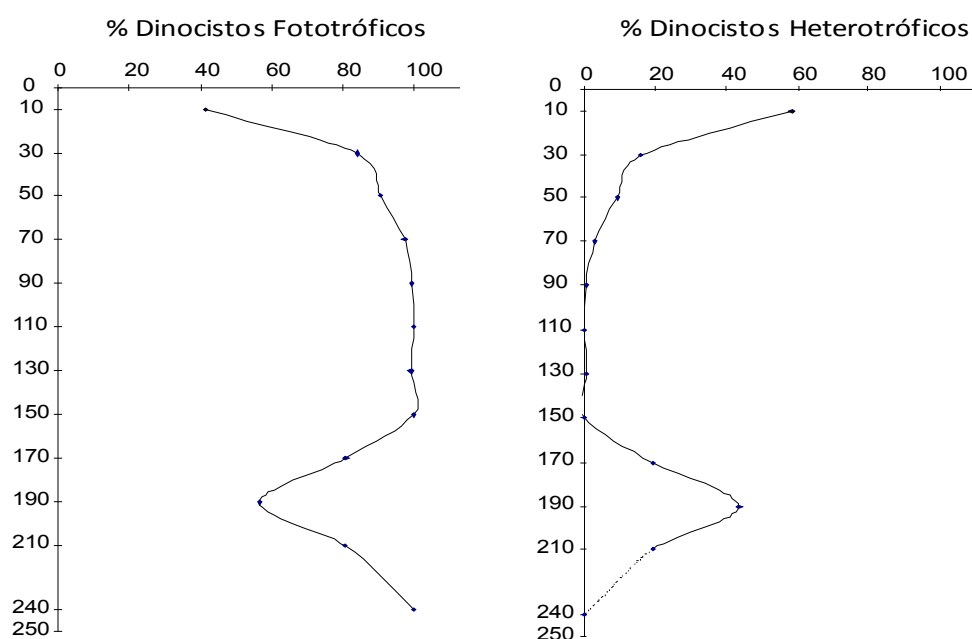


Figura 8: Valores percentuais de dinocistos fototróficos e heterotróficos em relação ao total de dinocistos.



No grupo dos heterotróficos, *Polikrikos kofoidii* apresentou maior abundância relativa, aproximadamente 5,3%. Dentro dos fototróficos, *Lingulodinium machaerophorum*, aproximadamente 41%.

Dentre as espécies fototróficas mais representativas *Lingulodinium machaerophorum*, *Operculodinium centrocarpum* e *Spiniferites* spp foram encontrados ao longo de todo o testemunho. O gênero *Lejeunecysta* mostrou-se representativo apenas no topo do testemunho, com aproximadamente 38%. (figuras 9 e 10).

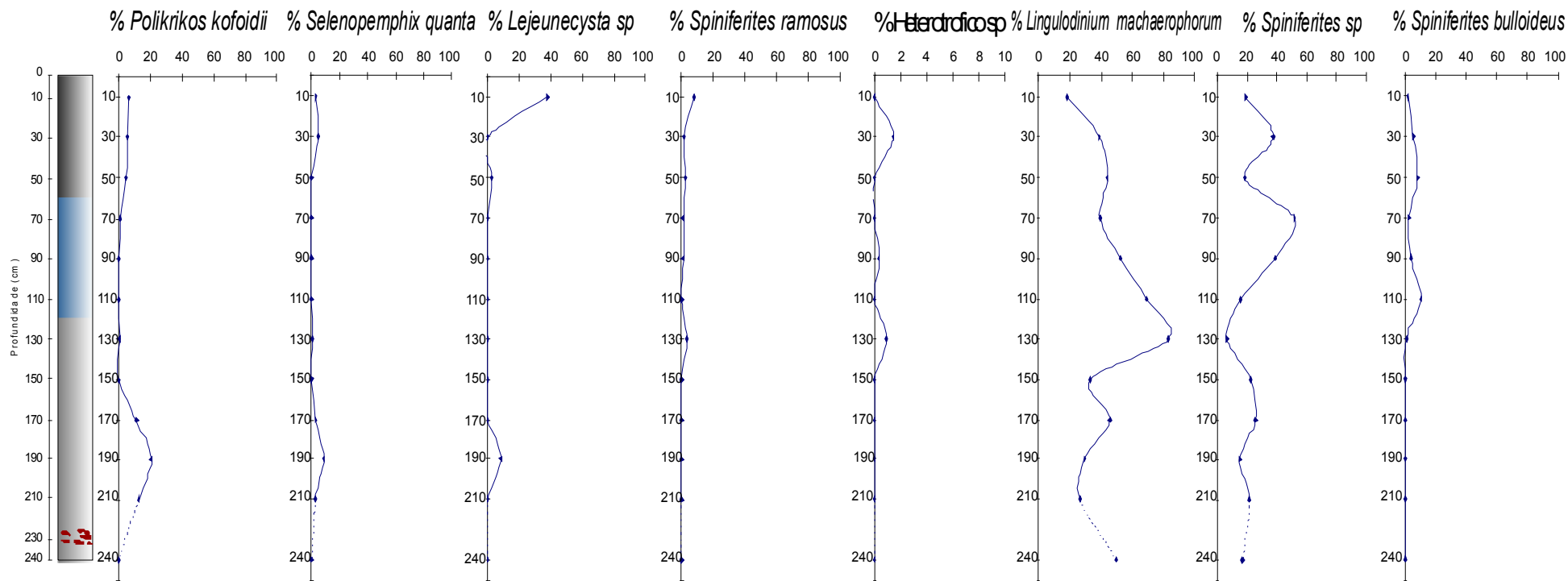
Os cistos estudados apresentam características eurihalinas (suportam grandes variações de salinidade) e estenohalinas (não suportam variações de salinidade). Foi observada uma variação morfológica no tamanho dos processos de algumas espécies, como exemplo, *Lingulodinium machaerophorum* e *Operculodinium centrocarpum*; onde estes processos se apresentaram bem menores em comparação com os mesmos cistos encontrados da Bacia de Campos. Segundo Marret & Zonneveld, 2003 esta variação morfológica pode estar relacionada ao fator salinidade.

O intervalo que ocorre maior abundância absoluta de dinocistos é correspondente às profundidades de 1,30 a 0,70 m e o de menor abundância é o intervalo correspondente a 1,70 m. O intervalo 2,30 não obteve recuperação.





**Quadro 2:** Lista de espécies de cistos de dinoflagelados e seu equivalente móvel, segundo Marret & Zonneveld (2003).

Espécie do cisto (fóssil)	Célula móvel ou teca do dinoflagelado
<b>Grupo Fototrófico</b>	
Gonyaulacaceae	
<i>Impagidinium patulum</i>	<i>Gonyaulax</i> sp
<i>Spiniferites</i> spp	?
<i>Spiniferites delicatus</i>	<i>Gonyaulax</i> sp
<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Gonyaulax</i> sp
<i>Spiniferites hyperacanthus</i>	<i>Gonyaulax</i> sp
<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Gonyaulax spinifera</i>
<i>Spiniferites bentorii</i>	<i>Gonyaulax digitalis</i>
<i>Spiniferites bulloideus</i>	<i>Gonyaulax scrippsae</i>
<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Protoceratium reticulatum</i>
<i>Operculodinium israelianum</i>	? <i>Protoceratium</i> sp
<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	<i>Lingulodinium polyedrum</i>
<b>Grupo Heterotrófico</b>	
Heterotróficos indeterminados	?
Polikricaceae	
<i>Polikrikos kofoidii</i>	<i>Polikrikos kofoidii</i>
Protopteridiniaceae	
<i>Lejeunecysta</i> spp	?
<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Protopteridinium conicum</i>
<i>Selenopemphix nephroides</i>	<i>Protopteridinium subinermis</i>

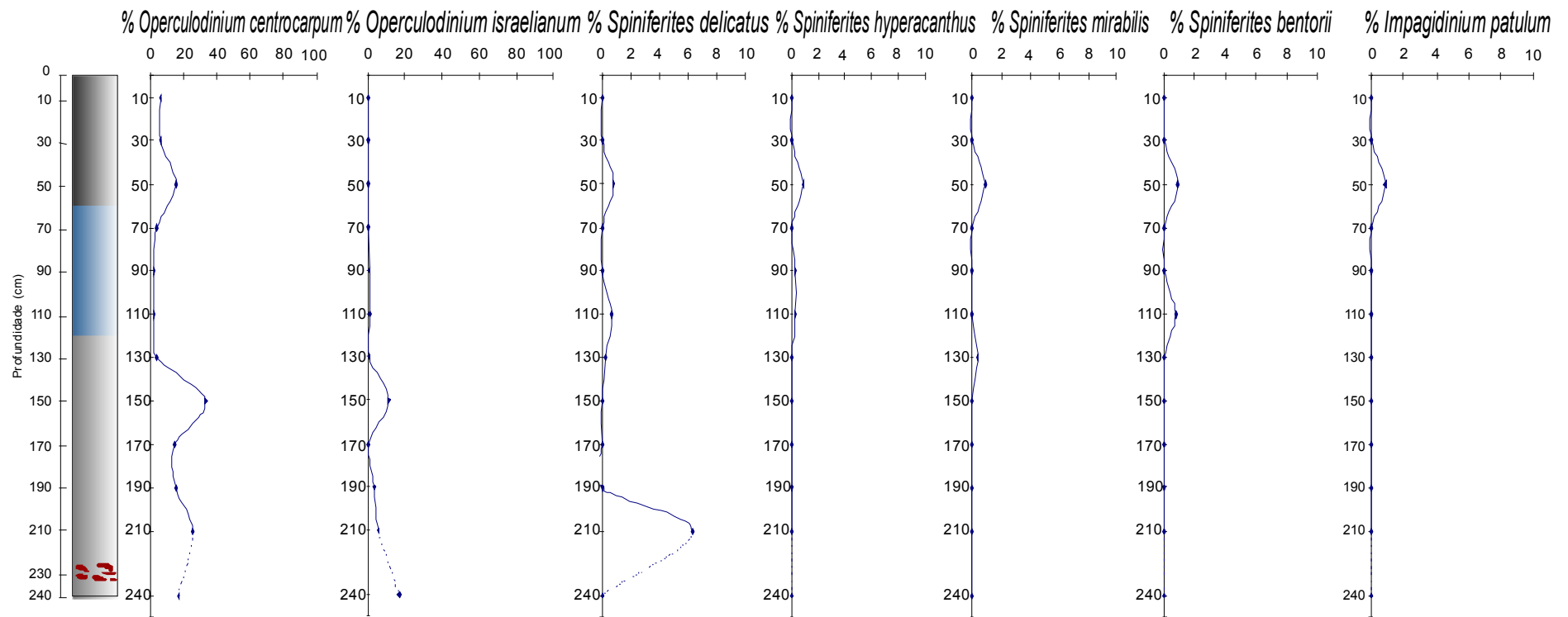








**Legenda**

-  Silte cinza marrom esverdeado
-  Argila cinza azulado esverdeado
-  Silte cinza azulado
-  Contato brusco com lama cinza claro mosqueada com marrom ferrugem bem endurecida

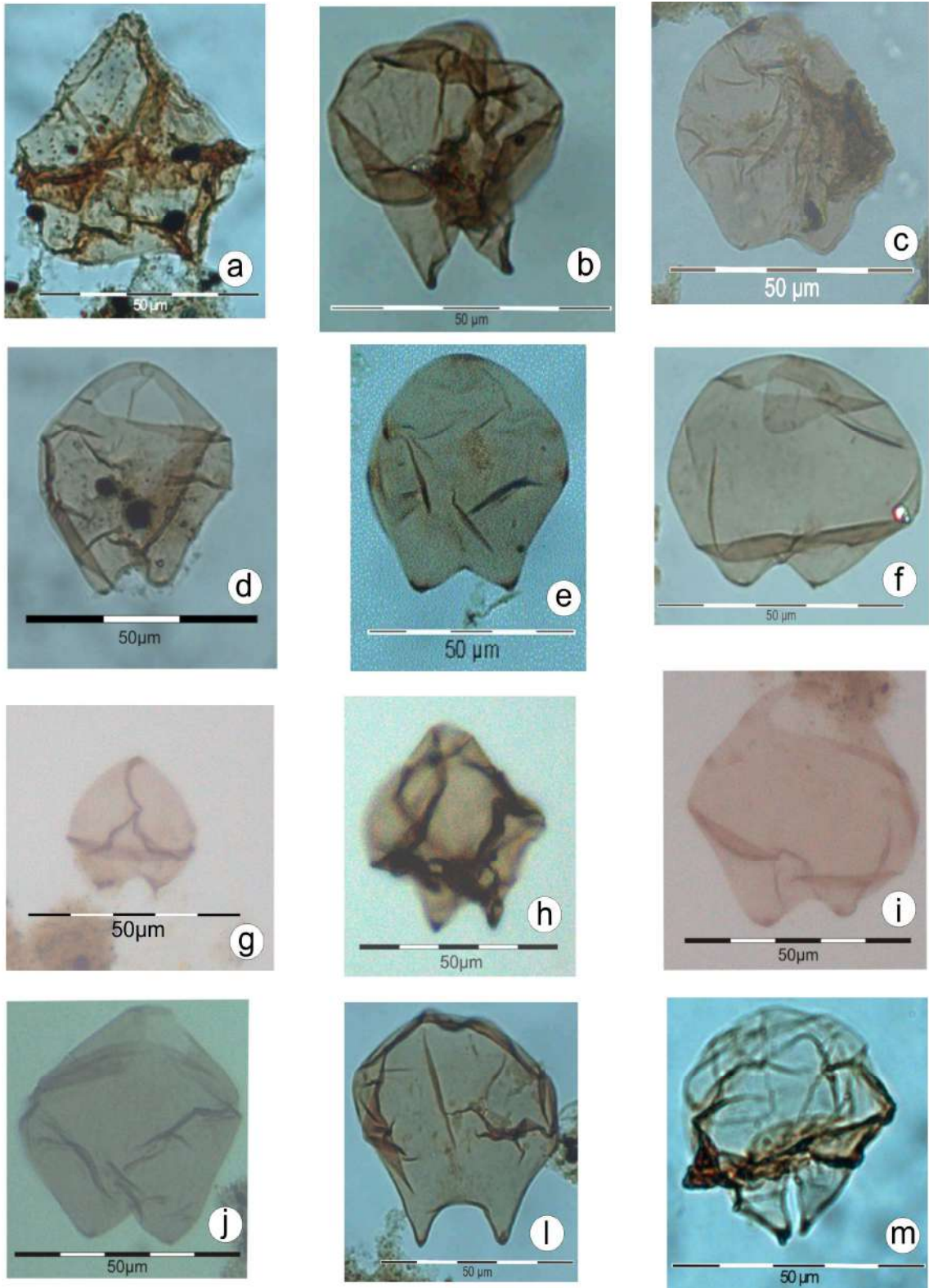
**Figura 9:** Distribuição dos principais cistos de dinoflagelados, presentes no testemunho de sondagem 8 (observar escala).



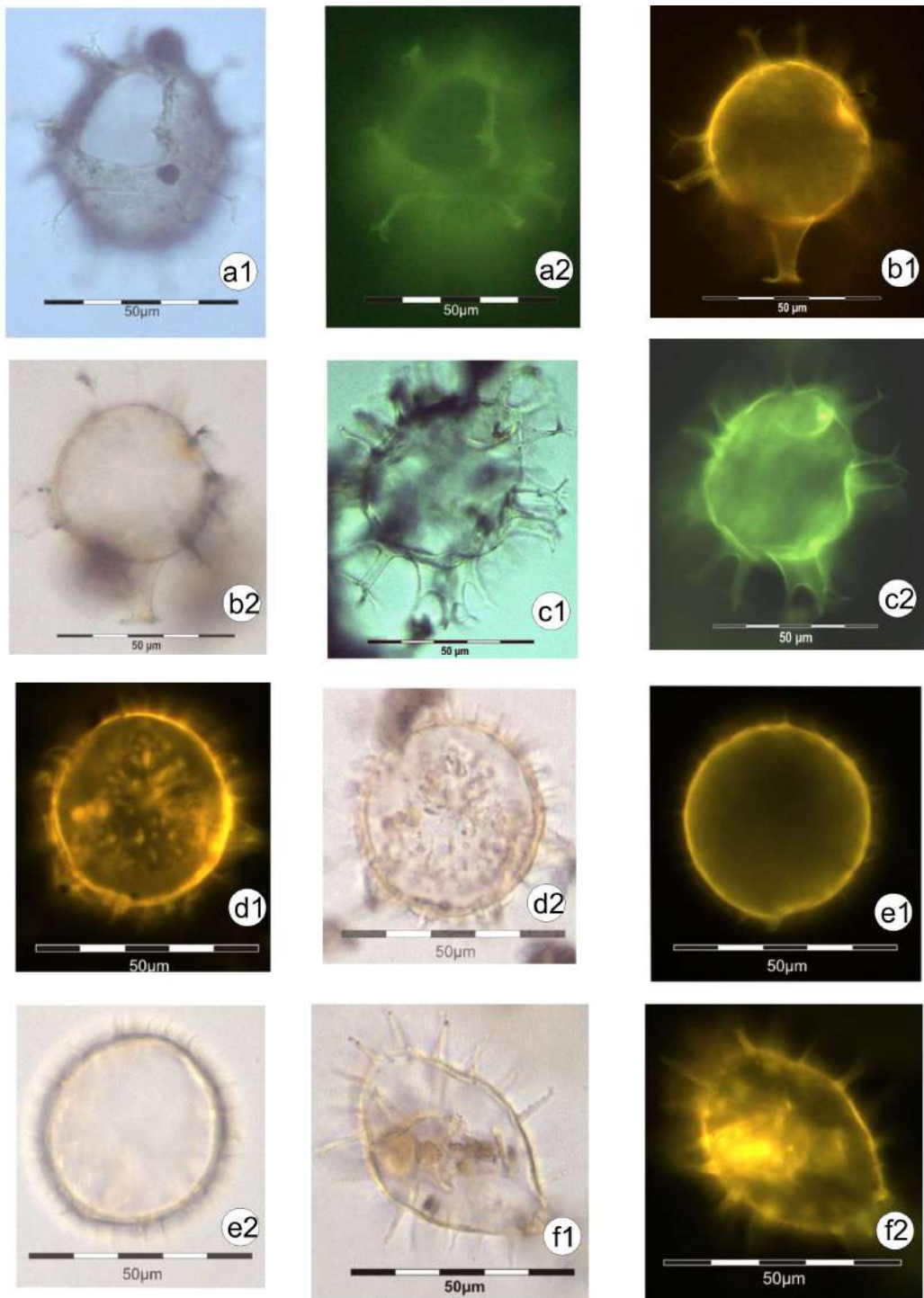
### Legenda

-  Silte cinza marrom esverdeado
-  Argila cinza azulado esverdeado
-  Silte cinza azulado
-  Contato brusco com lama cinza claro mosqueada com marrom ferrugem bem endurecida

**Figura 10:** Distribuição dos principais cistos de dinoflagelados, presentes no testemunho de sondagem 8 – cont. (observar escala).

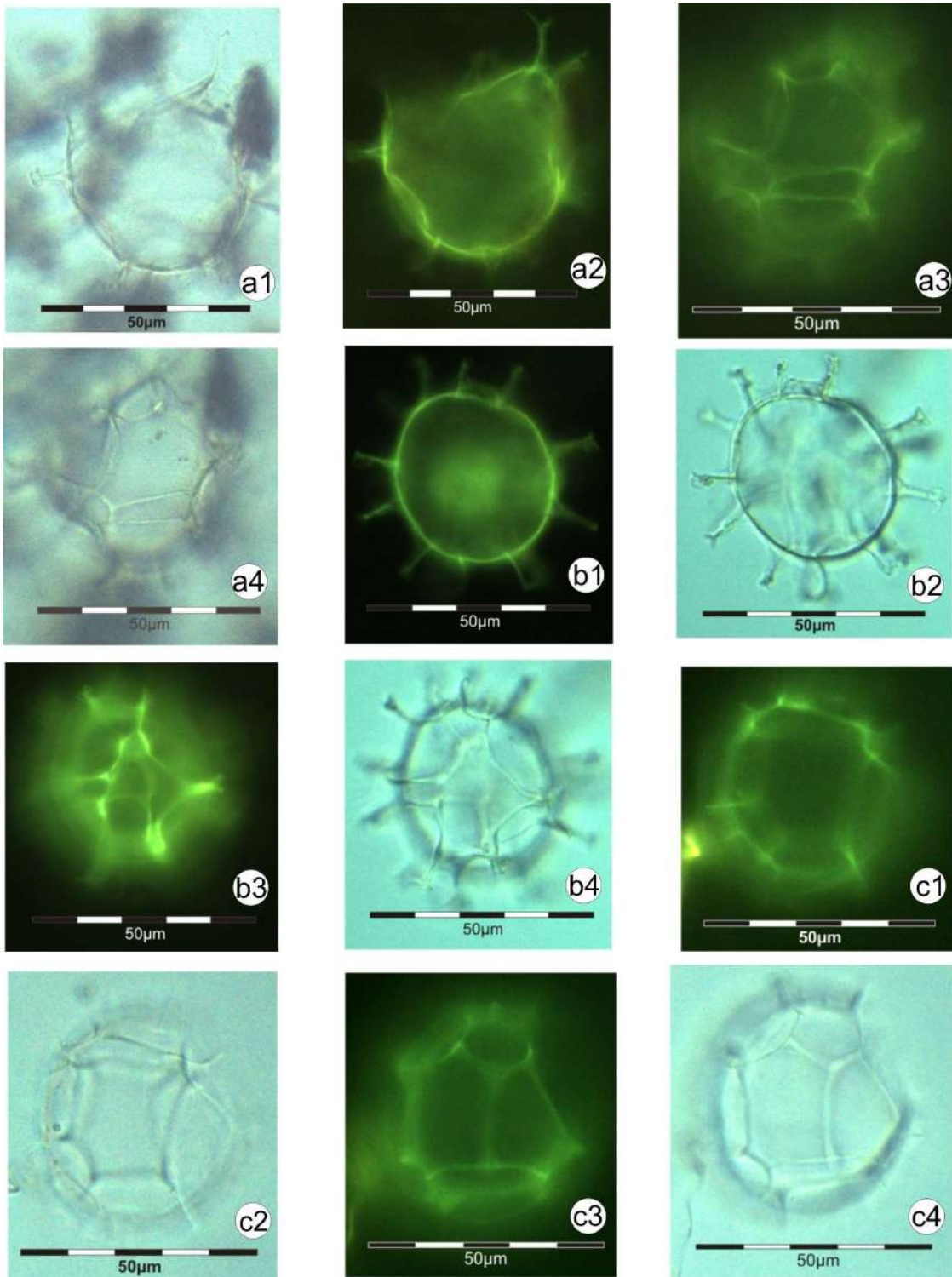


**Figura 11. Dinocistos heterotróficos. a.** *Lejeunecysta* sp1. **b.** *Lejeunecysta* sp2. **c.** *Lejeunecysta* sp3. **d.** *Lejeunecysta* sp4. **e.** *Lejeunecysta* sp5. **f.** *Lejeunecysta* sp6. **g.** *Lejeunecysta* sp7. **h.** *Lejeunecysta* sp8. **i.** *Lejeunecysta* sp9. **j.** *Lejeunecysta* sp10. **l.** *Lejeunecysta* sp11. **m.** *Lejeunecysta* sp12.

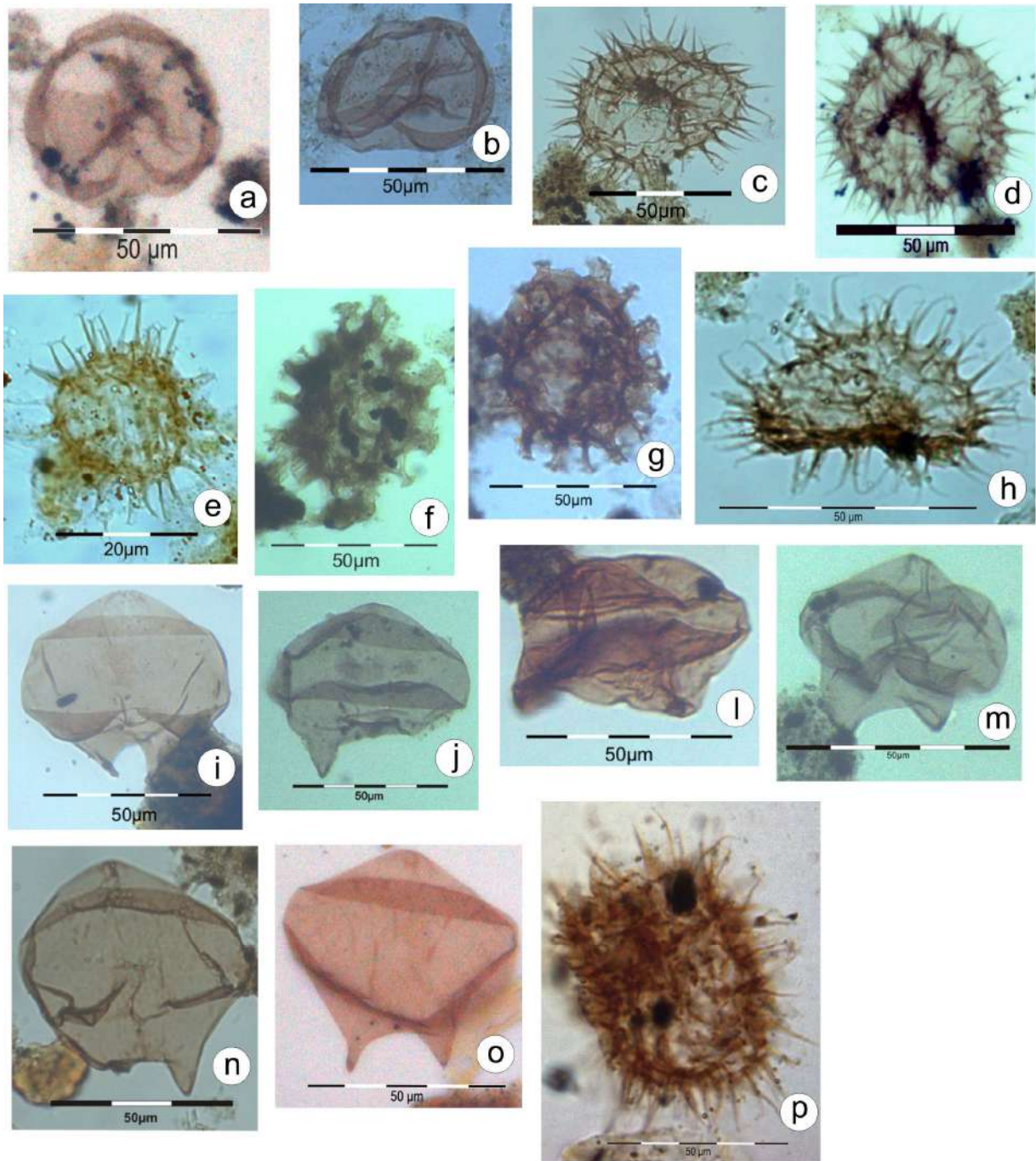


**Figura 12. Dinocistos fototróficos. a.** *Spiniferites ramosus*; **a1**: luz branca transmitida e **a2**: fluorescência em luz azul incidente. **b.** *Spiniferites hyperacanthus*; **b1**: fluorescência em luz azul incidente e **b2**: luz branca transmitida. **c.** *Spiniferites mirabilis*; **c1**: luz branca transmitida e **c2**: fluorescência em luz azul incidente. **d.** *Operculodinium centrocarpum*; **d1**: fluorescência em luz azul incidente e **d2**: luz branca transmitida. **e.** *Operculodinium israelianum*; **e1**: fluorescência em luz azul incidente e **e2**: luz branca transmitida. **f.** *Lingulodinium machaerophorum*; **f1**: luz branca transmitida e **f2**: fluorescência em luz azul incidente.





**Figura 13. Dinocistos fototróficos.** **a.** *Spiniferites bentorii*: cisto com forma gonyaulacóide, proximocorado, corpo oval, **a1**: luz branca transmitida e **a2**: luz azul incidente (fluorescência); cíngulo em **a3**: luz azul incidente e **a4**: luz branca transmitida. **b.** *Spiniferites bulloideus*: cisto com forma gonyaulacóide, proximocorado, corpo oval, **b1**: luz azul incidente e **b2**: luz branca transmitida; cíngulo e sulco, vista ventral, **b3**: luz azul incidente e **b4**: luz branca transmitida. **c.** *Impagidinium patulum*: cisto com forma gonyaulacóide, proximado, corpo oval, septos, **c1**: luz azul incidente, **c2**: luz branca transmitida; vista dorsal paraplacas pré-cingulares 3<sup>o</sup> (arqueópilo) e 4<sup>o</sup> **c3**: luz azul incidente e **c4**: luz branca transmitida.



**Figura 14. Dinocistos heterotróficos.** a. *Selenopemphix nephroides*. b. *Selenopemphix nephroides*?. c. *Selenopemphix quanta*?. d. *Selenopemphix quanta*?. e. Dinocisto heterotrófico sp1. f. *Polikrikos kofoidii*?. g. *Polikrikos kofoidii*. h. *Selenopemphix quanta*?. i. *Lejeunecysta* sp13. j. *Lejeunecysta* sp14. l. *Lejeunecysta* sp15. m. *Lejeunecysta* sp16. n. *Lejeunecysta* sp17. o. *Lejeunecysta* sp18. p. Dinocisto heterotrófico sp2.

### 3.4. Análises de Agrupamento

A análise de agrupamento modo R reuniu as espécies de dinocistos de acordo com o grau de similaridade ecológica entre elas (figura 15a). Baseado nesta análise estatística, foi possível estabelecer 6 associações com características ecológicas distintas.

A análise de agrupamento modo Q agrupou as amostras com base na abundância relativa das associações de dinocistos (tabela 2). As subdivisões são dispostas em grupos, onde as variações na abundância relativa das associações de dinocistos identificam as mudanças nas variáveis ambientais. Estas mudanças caracterizam os intervalos ecológicos. A análise de agrupamento Modo Q reuniu as amostras em 4 grupos, identificando 4 intervalos distintos (figura 15b).

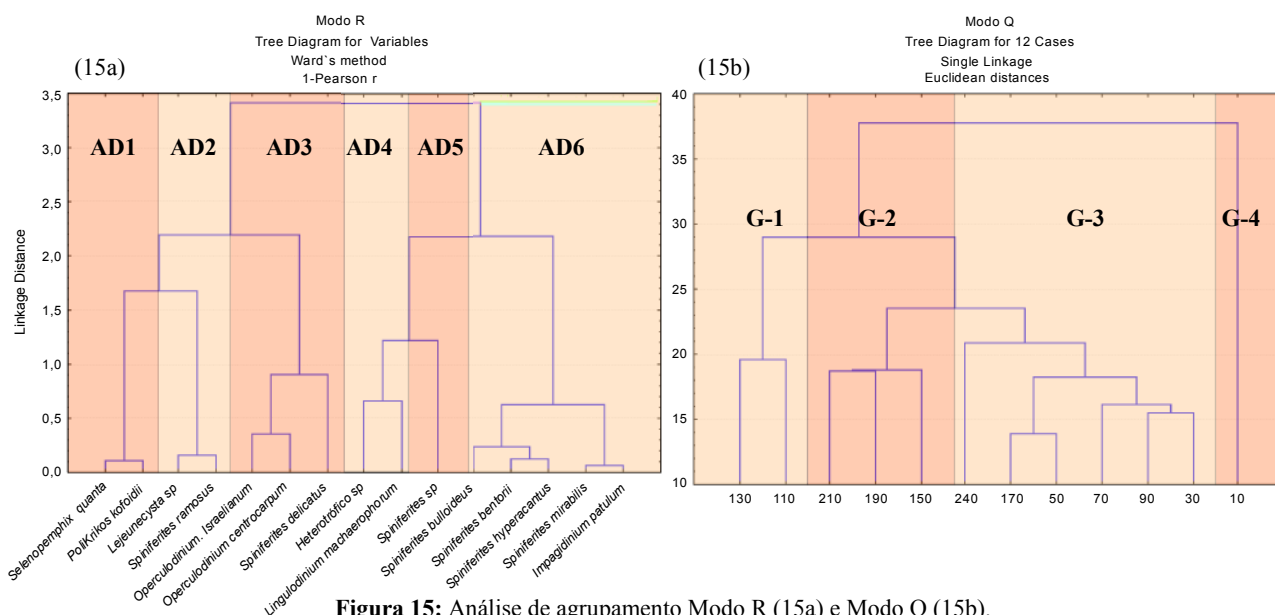


Figura 15: Análise de agrupamento Modo R (15a) e Modo Q (15b).

**Tabela 2:** Distribuição percentual de dinocistos ao longo do testemunho e intervalos ecológicos

prof. (cm)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	G-1	G-2	G-3	G-4	INTERVALOS
10	0,00	19,01	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	2,11	5,63	0,00	18,31	0,00	6,34	38,03	2,82					IV - AD2 + AD1
média	0,00	19,01	0,00	7,75	0,00	0,00	0,00	2,11	5,63	0,00	18,31	0,00	6,34	38,03	2,82					
m. total	0,07	24,11	0,68	1,41	0,1	0,10	0,13	2,86	11,94	3,10	44,15	0,22	5,31	4,06	1,74					
30	0,00	37,50	0,00	1,39	0,00	0,00	0,00	5,56	5,56	0,00	38,89	1,39	5,56	0,00	4,17					III - AD5 + AD6
50	0,84	18,49	0,84	2,52	0,84	0,84	0,84	8,40	15,13	0,00	43,70	0,00	5,04	2,52	0,00					
70	0,00	52,04	0,00	0,90	0,00	0,00	0,00	2,71	3,62	0,00	39,37	0,00	1,36	0,00	0,00					
90	0,00	38,67	0,00	1,00	0,33	0,00	0,00	4,33	2,33	0,33	52,33	0,33	0,33	0,00	0,00					
média	0,21	36,68	0,21	1,45	0,21	0,21	0,21	5,25	6,66	0,08	43,57	0,43	3,07	0,63	1,04					
m. total	0,07	24,11	0,68	1,41	0,1	0,1	0,13	2,86	11,94	3,10	44,15	0,22	5,31	4,06	1,74					
110	0,00	15,81	0,69	0,00	0,34	0,00	0,69	10,31	2,41	0,69	69,07	0,00	0,00	0,00	0,00					II - AD4 + AD6
130	0,00	6,40	0,30	3,35	0,00	0,30	0,00	0,91	3,66	0,30	82,93	0,91	0,61	0,00	0,30					
média	0,00	11,11	0,50	1,68	0,17	0,15	0,35	5,61	3,04	0,50	76,00	0,46	0,31	0,00	0,15					
m. total	0,07	24,11	0,68	1,41	0,1	0,10	0,13	2,86	11,94	3,10	44,15	0,22	5,31	4,06	1,74					
150	0,00	22,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,33	11,11	33,33	0,00	0,00	0,00	0,00					I - AD1 + AD3
170	0,00	25,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,29	0,00	45,71	0,00	11,43	0,00	2,86					
190	0,00	15,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,31	3,06	29,59	0,00	20,41	8,16	8,16					
210	0,00	21,52	6,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,32	5,06	26,58	0,00	12,66	0,00	2,53					
240	0,00	16,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,67	16,67	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
média	0,00	20,29	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,98	7,18	37,04	0,00	8,90	1,63	2,71					
m. total	0,07	24,11	0,68	1,41	0,1	0,10	0,13	2,86	11,94	3,10	44,15	0,22	5,31	4,06	1,74					

**Legenda:**

1. *Impagidinium patulum*
2. *Spiniferites* sp
3. *Spiniferites delicatus*
4. *Spiniferites ramosus*
5. *Spiniferites hyperacanthus*

6. *Spiniferites mirabilis*
7. *Spiniferites bentorii*
8. *Spiniferites bulloideus*
9. *Operculodinium centrocarpum*
10. *Operculodinium israelianum*

11. *Lingulodiniummachaerophorum*
12. Heterotrófico sp
13. *Polikrikos kofoidii*
14. *Lejeunecysta* sp
15. *Selenophemphix quanta*

**Cores:**

- AD - 1
- AD - 2
- AD - 3
- AD - 4
- AD - 5
- AD - 6



### **3.4.1. Associações de Dinocistos e Intervalos Ecológicos:**

Através da abundância das espécies, em particular, e das associações de dinocistos como um todo, pode-se dizer que as associações encontradas são tipicamente costeiras, sujeita a concentrar-se em sistema fronteiro limitando as águas fluviais/estuarinas e águas estuarinas/oceânicas. A mudança abrupta da salinidade caracteriza dois sistemas, um dominado pelos rios (cabeceira do estuário) e outro dominado por marés (foz). São associações típicas de águas mistas como ocorre em áreas de clima tropical próximas ao continente.

#### **Intervalo I (240 a 150 cm):**

O intervalo I apresenta, segundo sua palinofácies, 96,2 % de MOA; 2,4 % de fitoclastos e 1,4 % de palinomorfos. A litologia consiste de silte, o que nos remete deposição em ambiente de baixa energia.

A palinologia apresenta 51,9% de esporomorfos; 3,8% de *Botryococcus*, sugerindo contribuição continental. Em relação aos dinocistos, foi encontrado 17,2% de fototróficos e 3,4% de heterotróficos (apresentando a menor abundância relativa). Prasinófitas, escolocodontes e acritarcas apresentam respectivamente 0,13%, 0,4% e 0,93%. Os palinoforaminíferos apresentam seu maior percentual de todo o testemunho, 21,9% sugerindo um ambiente de águas frias, rico em nutrientes e de alta produtividade primária.

A maior percentagem de esporomorfos indica deposição em clima úmido. O ambiente eutrofizado apresenta baixa salinidade, um resfriamento da água e principalmente menor luminosidade devido à maior turbidez das águas; condições propícias ao desenvolvimento das espécies de dinocistos heterotróficas.

*Polikrikos kofoidii* e *Selenopemphix quanta* (associação AD1) são as espécies mais representativas neste intervalo. Este fato viabiliza a hipótese de que estes cistos sejam os indicadores de eutrofismo no ambiente. Pode-se considerar, em segundo plano, a associação AD3 (*Operculodinium centrocarpum*, *O. israelianum* e *Spiniferites delicatus*). (quadro 3)

### **Intervalo II (amostras 130 a 110 cm):**

O intervalo II apresenta 95,2% de MOA; 1,2 % de fitoclastos e 3,7 % de palinómorfos. A litologia varia de silte (prof. de 1,30 m) a argila (prof. 1,10 m), o que permite supor uma diminuição ainda mais efetiva da energia no momento da sedimentação.

A palinologia apresenta 19,2 % de esporómorfos e 1,5 % de *Botryococcus*. Este fato corrobora com a hipótese de diminuição da influência continental apresentando um período mais seco e mais salino, evidenciando a influência oceânica. Em relação aos dinocistos, as espécies heterotróficas contribuem com apenas 0,33 % enquanto as fototróficas, com 71%, sugerindo aumento da luminosidade na coluna d'água e diminuição na carga de nutrientes trazida pela descarga fluvial. Essa diminuição favorece a estratificação da coluna d'água quanto à luminosidade e nutrientes. Quanto aos demais palinómorfos, o intervalo apresentou apenas 8% de palinoforaminíferos o que indica aumento na temperatura da água. Neste intervalo, *Lingulodinium machaerophorum* associado à *Spiniferites bulloideus* representam a associação predominante. Porém a abundância relativa alta da espécie *L. machaerophorum* (associação AD4) sugere que este cisto seja o determinante das condições ambientais deste intervalo. Ocorrências de espécies heterotróficas foram registradas, porém o fato

de não ter sido possível a identificação de algumas delas não influencia no resultado.  
(quadro 3)

### **Intervalo III (90 a 30 cm):**

O intervalo III apresenta 92,9% de MOA; 2,9% de fitoclastos e 4,2% de palinomorfos. A litologia varia de argila (a partir da prof. de 0,70 m) para silte (na profundidade de 0,50m), que indica retorno do aumento na energia de deposição do sedimento.

A palinologia apresenta 34,2% de esporomorfos e 0,77% de *Botryococcus*, indicando novo input de nutrientes continentais. Os dinocistos fototróficos apresentam 57,9% em ocorrência e os heterotróficos, 3,4%. Palinoforaminíferos, escolecodontes e acritarcas apresentam, respectivamente, 2,38, 0,67 e 0,58% em ocorrência.

Este intervalo é caracterizado pela associação liderada pela espécie *Spiniferites bulloideus* (AD6) e de cistos do gênero *Spiniferites* (AD5). É válido salientar que apesar da associação AD5 (*Spiniferites* spp.) ser dominante neste intervalo (36,7%), apenas a identificação deste gênero é insuficiente para inferir condições ambientais específicas, pois o gênero *Spiniferites* apresentou um grande número de espécies indeterminadas. O retorno da contribuição continental indica novo input de nutrientes, além de maior turbidez na coluna superficial da água, viabilizando o retorno das espécies heterotróficas *Polikrikos kofoidii* e *Selenopemphix quanta*. Portanto a liderança do cisto *Spiniferites bulloideus*, a queda brusca da associação AD4 (*Lingulodinium machaerophorum*) e o aumento de espécies plataformais do gênero *Spiniferites* indicam queda na salinidade e na temperatura da água, quando comparadas ao intervalo anterior (intervalo II). (quadro 3)

#### **Intervalo IV (10 cm):**

A palinofácies apresenta 94,7% de MOA; 3,33% de fitoclastos e 2% de palinomorfos. A litologia no intervalo retorna para silte, o que denota leve aumento na energia durante a deposição.

A palinologia do intervalo IV apresenta 47,7% de esporomorfos; 1,7% de *Botryococcus*; 18,3% de dinocistos fototróficos; 20% de heterotróficos. Acritarcas 0,67%; palinoforaminíferos 10 % e escolocodontes, 1,67%.

Observou-se uma diminuição de todas as espécies de dinoflagelados. Os valores médios de oxigênio, próximo ao sedimento de fundo, próximos à área de coleta, segundo Eichler *et al.*, 2003 apresentam baixos níveis (2,55 g/mL). Supõe-se que a poluição antrópica e a diminuição de oxigênio seja um motivo da diminuição de cistos fototróficos devido à diminuição da luminosidade superficial na coluna d'água.

As associações dominantes neste intervalo são AD2 (gênero *Lejeunecysta* e a espécie *Spiniferites ramosus*) e AD1 (*Selenopemphix quanta* e *Polikrikos Kofoidii*). Destas duas associações, *Polikrikos kofoidii* (AD1) e o gênero *Lejeunecysta* (AD2) são os cistos que se destacam. Como foi mencionado anteriormente, apenas a identificação a nível de gênero impossibilita a determinação das condições ambientais, visto que os cistos do gênero *Lejeunecysta* são os mais abundantes. Porém é imprescindível notar o predomínio deste gênero (aproximadamente 38%) sobre os outros e associá-lo ao fator influência antrópica. Com isso, pode-se supor que este gênero comporta-se como oportunista, uma vez que a maioria dos outros gêneros fototróficos e heterotróficos diminuí. Portanto quem determina as condições ambientais neste intervalo é o cisto heterotrófico *Polikrikos kofoidii*; indicando alta contribuição de nutrientes, baixa salinidade e baixa temperatura superficial na água. (quadro3)

**Quadro 3:** Síntese das condições ecológicas de cada associação de dinocisto.

Profundidade (cm) do testemunho 8	Intervalos	Características Ambientais Dominantes no Intervalo	Associações Dominantes
10	IV	poluição e contaminação antrópica acentuada	Associações AD2 + AD1
30 50 70 90	III	Temperatura d'água baixa, Salinidade baixa, Alta contribuição de nutrientes continentais, Baixa luminosidade na superfície da água; Turbidez acentuada	Associações AD5 + AD6
110 130	II	Alta luminosidade da coluna d'água, Temperatura superficial d'água, Alta Salinidade, estratificação de nutrientes.	Associações AD4 + AD6
150 170 190 210 240	I	Temperatura superficial d'água baixa, Salinidade baixa, Alta contribuição de nutrientes continentais, Baixa luminosidade na superfície da água; Turbidez acentuada	Associações AD1 + AD3

#### 4. Conclusões

Em geral, os dinocistos presentes ao longo do testemunho são de ambiente tipicamente costeiro e eutrofizado. Tanto a análise de palinologia quanto a análise de agrupamento Modo-Q mostraram que a variação na abundância relativa das espécies, assim como a associação predominante, marca intervalos ambientais distintos, controlado pela natureza do nutriente disponível. Com isso foi possível determinar quatro intervalos distintos:

O intervalo I é característico pela espécie *P. kofoidii*. Este intervalo é característico de águas frias, pouco salinas e com abundância em nutrientes.

O intervalo II, característico pelo cisto *L. machaerophorum* marca condições ambientais distintas dos demais intervalos: aumento brusco na salinidade e na temperatura superficial na água.

O intervalo III é característico pela espécie *S. bulloideus*. Este intervalo caracteriza águas frias, pouco salinas e com alto nível de nutrientes.

O topo (intervalo IV) também dominado pelo cisto heterotrófico *P. kofoidii* é caracterizado pelos dias atuais, onde a influência antrópica é efetiva. Observa-se

diminuição na diversidade de algumas espécies tanto fototróficas quanto heterotróficas. Apesar do fato do gênero *Lejeunecysta* não ser o determinante das condições ambientais deste intervalo, sugere-se aqui que devido à sua considerável abundância relativa neste intervalo, ele seja um gênero oportunista por responder bem a este tipo de estresse ambiental.

## 5. Agradecimentos

Agradeço a equipe do LAGEMAR-UFF pelas amostras cedidas, à CNPq-PIBIC pela ajuda financeira e às equipes do Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica e do Laboratório de Preparação de Microfósseis do Departamento de Geologia da UFRJ.

## 6. Referências Bibliográficas

- Amador, E. S. 1997. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. Rio de Janeiro, Reproarte Gráfica e Editora Ltda. 539p.
- Barreto, C. F.; Da Luz, C. E. P., Batista Neto, J. A. , Vilela, C. G. & Barth, O. M. 2007. Palynological Analysis of a Sediment Core Obtained in Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 79(2): 223-234.
- Dale, B. 1976. Cyst Formation, Sedimentation, and Preservation: Factors Affecting Dinoflagellate Assemblages in Recent Sediments from Trondheimfjord, Norway. *Review of Paleobotany and Palynology*, 60: 22-39.
- Dale, B. 1992. Dinoflagellate Contribution to the Open Ocean Sediment Flux. *In: Dale, B., Dale, A. (eds) Dinoflagellate Contributions to the Deep Sea. Ocean Biocoenosis Series edn, vol 5. Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, pp. 1–32.*
- Dale, B. & Fjellsa°, A. 1994. Dinoflagellate Cysts as Paleoproductivity Indicators: State of the Art, Potential, and Limits. *In: Carbon cycling in the glacial ocean: Constraints on the ocean's role in global change* , Zahn, R., Pedersen, T. F., Kaminski, M. A. & Labeyrie, L., (eds). Springer-Verlag, Berlin, pp. 521–537.
- Dale, B. 1996. Dinoflagellates Cyst Ecology: Modeling and Geological Applications. *In: Jansonius, J. & McGregor, D. C. (ed.). Palynology: principles and applications; American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, vol. 3, p.1249 – 1275.*

- Dale, B., Thorsen T.A. & Fjellsa°, A. 1999. Dinoflagellate Cysts as Indicators of Cultural Eutrophication in the Oslofjord, Norway. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 48:371-382.
- Dale, B. 2001. The Sedimentary Record of Dinoflagellate Cysts: Looking Back into the Future of Phytoplankton Blooms. *Scientia Marina*, 65(2): 257-272.
- Eichler, P. P. B.; Eichler, B. B, Miranda, L. B., Pereira, E. R. M., Kfourri, P. B. P., Pimenta, F. M., Bérqamo, A. L. & Vilela, C. G. 2003. Benthic Foraminiferal Response to Variations in Temperature, Salinity, Dissolved Oxygen and Organic Carbon, in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 26:36 – 51.
- Marret, F.; Zonneveld, K. 2003. Atlas of modern organic-walled Dinoflagellate Cyst Distribution. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 125: 1–200.
- Masselink, G.; Hughes, M. G. 2003. *An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. London, Ed. Arnold. 288pp.
- Matsuoka, K. 1999. Eutrophication Process Recorded in Dinoflagellate Cyst Assemblages - A case of Yokohama Port, Tokyo Bay, Japan. *The Science of the Total Environment*, 231:17 – 35.
- Mendonça Filho, J.G.1999. *Aplicação de estudos de Palinofácies e Fácies Orgânicas em Rochas do Paleozóico Superior da Bacia do Paraná, sul do Brasil*. PhD thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. 2 vols., 254 p.
- Mendonça Filho, J.G.; Iemma, M.B. Carvalho M. A. & Menezes, T.R. 2002. Aplicação de Técnicas Organogeoquímicas & Organopetrográficas na Caracterização da Degradação Ambiental da Baía de Guanabara. In: 41º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, João Pessoa, *Anais...*,p.245.
- Mendonça Filho, J. G., Carvalho, M. A. & Menezes, T. R. 2002. Palinofácies. In: Técnicas e Procedimentos para Trabalho com Fósseis e Formas Modernas Comparativas (ed. Unisinos). São Leopoldo; p. 20–24.
- Oliveira, A. D.; Mendonça Filho, J. G., Carvalho, M. A., Menezes, T. R., Lana, C. C. & Brenner, W. W. 2004. Novo Método de Preparação Palinológica para Aumentar a Recuperação de Dinoflagelados. *Revista Brasileira de Paleontologia* 7 (2): 169 – 175.
- 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: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Aracaju, *Anais...*, p. 324.
- Pospelova, V.; Chmura, G. L., Boothman, W. S. & Latimer, J. S. 2002. Dinoflagellate Cyst Records and Human Disturbance in two Neighboring Estuaries, New Bedford Harbor and Apponagansett Bay, Massachusetts (USA). *The Science of the Total Environment*, 298: 81-102.

- Pospelova, V.; Chmura, G. L. & Walker, H. A. 2004. Environmental Factors Influencing the Spatial Distribution of Dinoflagellate Cyst Assemblages in Shallow Lagoons of Southern New England (USA). *Review of Paleobotany and Palynology*, 128: 7-34.
- Pospelova, V.; Chmura, G. L., Boothman, W. S. & Latimer, J. S. 2005. Spatial Distribution of Modern Dinoflagellate Cysts in Polluted Estuarine Sediments from Buzzards Bay (Massachusetts, USA) embayments. *Marine Ecology Progress Series*, 292: 23–40.
- Reid, P. C. & Harland, R. 1977. Studies of Quaternary Dinoflagellate Cysts from the North Atlantic. In: *Contributions of Stratigraphic Palynology, Cenozoic Palynology*. American Association of Stratigraphic Palynologists. Vol.1(A):p 147–169. (Contribution Series 5)
- Sangiorgi, F.; Dinelli, E. & Gabbianelli, G. 2001. Coupling Dinoflagellate Cysts and Geochemistry in the North Adriatic Sediments: Clues to Pollution and Eutrophication. Rapport de la Commission Internationale pour L'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée. 36, 416.
- Sangiorgi, F. & Donders, T. H. 2004. Reconstructing 150 Years of Eutrophication in the North-Western Adriatic Sea (Italy) using Dinoflagellates Cysts, Pollens and Spores. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 60: 69 – 79.
- Sætre, M. M. L.; Dale, B., Abdullah, M. I. & Satreb, G. P. 1997. Dinoflagellate Cysts as Possible Indicators of Industrial Pollution in a Norwegian fjord. *Marine Environmental Research*, 44 (2):167–189.
- Thorsen, T. A. & Dale, B. 1997. Dinoflagellate Cysts as Indicators of Pollution and Past Climate in a Norwegian fjord. *The Holocene*, 7 (4):433–446.
- Tyson, R.V.1995. *Sedimentary Organic Matter: Organic Facies and Palynofacies*. Chapman & Hall, London.