

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PALEONTOLOGIA

PALEOECOLOGIA DO SISTEMA PINGUELA-PALMITAL-MALVAS, HOLOCENO DA  
BACIA DE PELOTAS, RS, BRASIL

Uma abordagem focada na utilização de diatomáceas (Bacillariophyta) como descritores paleoambientais

GUILHERME HERMANY

Porto Alegre, julho de 2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM PALEONTOLOGIA

**PALEOECOLOGIA DO SISTEMA PINGUELA-PALMITAL-MALVAS, HOLOCENO DA  
BACIA DE PELOTAS, RS, BRASIL**

Uma abordagem focada na utilização de diatomáceas (Bacillariophyta) como descritores paleoambientais

**GUILHERME HERMANY**

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Paulo Alves de Souza  
**CO-ORIENTADORA:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lezilda Torgan

**BANCA EXAMINADORA:** **Prof. Dr. Albano Schwarzbold**  
Prof. Dr. Eduardo Alexis Lobo Alcayaga  
Prof. Dr. Sérgio Rebelo Dillenburg

**Tese de Doutorado apresentada como requisito  
parcial para a obtenção do Título de Doutor em  
Geociências.**

Porto Alegre, julho de 2009

Hermany, Guilherme

Paleoecologia do sistema Pinguela-Palmital-Malvas, holoceno da Bacia de Pelotas, Rs, Brasil: uma abordagem focada na utilização de diatomáceas (Bacillariophyta) como descritores paleoambientais / Guilherme Hermany. - Porto Alegre : IGEO/UFRGS, 2009.

193 f. : il.

Tese (doutorado). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2009.

Orientação: Prof. Dr. Paulo Alves de Souza

Co-orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lezilda Torgan

1. Paleoecologia. 2. Planície costeira. 3. Diatomáceas. I. Título.

---

Catálogo na Publicação

Biblioteca Geociências - UFRGS

Luciane Scoto da Silva CRB 10/1833

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências pela concessão de bolsa de doutoramento vigente.

À FAPERGS e ao Brasilien-Zentrum, nas pessoas de Marlene Junges, Prof. Dr. Wolf Engels e Sabine Heinle, pelo estágio junto ao departamento de micropaleontologia da Universidade de Tübingen.

Ao Prof. Dr. Michal Kucera pela preciosa oportunidade, generosa acolhida e significativa orientação.

Ao Prof. Dr. Hartmut Schulz pelo treinamento e auxílio visando a preparação de amostras e obtenção de imagens em microscopia eletrônica de varredura na Universidade de Tübingen.

À Kerstin Braun pelo auxílio na obtenção das imagens em microscopia eletrônica de varredura.

À Wilfried Rönnfeld pela assistência na aquisição de imagens em microscopia óptica.

À Libuse Malik pelo suprimento de referências bibliográficas raras e de difícil acesso.

Aos amigos Lissi Bender Azambuja, Fabiane Geller e DJones Lettnin, pelas orientações e agradáveis momentos de estudo e confraternização durante minha estada em Tübingen.

Ao amigo Ricardo Richter, exemplo de determinação e caráter, pelo companheirismo, momentos de descontração e imprescindível suporte na saudosa Tübingen.

Ao Prof. Dr. Sérgio R. Dillenburg e aos amigos Rodrigo R. Cancelli e Renato Backes Macedo pela essencial contribuição na etapa de coleta e abertura do testemunho.

Ao Prof. Gilberto Silveira dos Santos pela realização das análises sedimentológicas.

À amiga Cristina Moreira Félix, companheira de jornada, e aos demais amigos do laboratório de palinologia da UFRGS pela ajuda, incentivo e compreensão para com este nem sempre presente colega.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Lezilda C. Torgan pela disponibilidade, dedicação, agilidade e crítica sem os quais seria impossível o desenvolvimento desta tese.

Ao Prof. Dr. Paulo Alves de Souza por haver permitido, acreditado, questionado, compreendido, orientado, incentivado, retomado, convencido e, principalmente, por haver confiado. Valeu meu caro, enfim o fim!

Aos amigos de sempre e para sempre, Fontoura, Freddy e Charles pela presença constante mesmo quando a recíproca não se revelava verdadeira.

À Imi, Vô Lauro, Jorge e Liciane pela amabilidade e acolhida fraterna.

Ao “Libis” pela alegria contagiante durante os “retiros” no campo.

Ao meu irmão Ricardo pelo exemplo acadêmico.

Ao meu irmão Henrique pela assessoria nos momentos críticos.

Aos meus pais, Helena e Edmar, pela paciência e pela fé no caminho que escolhi.

A minha amada Adriane pelo carinho, extrema dedicação, companheirismo e compreensão; por ter me convencido a continuar; por ter me convencido a terminar.

À Deus, pela evolução da vida e pela graça de conviver com estas pessoas.

## RESUMO

Diatomáceas do Quaternário são indicadores úteis de alterações de habitats locais desde ambientes terrestres até ambientes marinhos profundos, produzindo conhecimento a respeito de alterações do nível da coluna d'água em lagos, mudanças do nível relativo do mar e química da água. Embora extensamente utilizadas por pesquisadores europeus e norte americanos, no Brasil, o potencial paleontológico das diatomáceas ainda é pouco explorado, haja vista o reduzido número de trabalhos publicados em que a análise deste grupo constituiu objetivo central. Para o caso da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, o papel suplementar das diatomáceas nos estudos paleoecológicos efetivados torna-se manifesto em função do inexpressivo número de espécies citadas. Além disso, no que tange ao processamento dos dados nestes estudos, a definição de intervalos fundamentou-se em critérios subjetivos dos pesquisadores já que, exceção à parte, não são mencionados procedimentos estatísticos de exame dos resultados quantitativos. Neste contexto, executou-se pesquisa visando reconstituir os sucessivos paleoambientes do sistema lacustre Pinguela-Palmital-Malvas na porção emersa norte da Bacia de Pelotas, durante o Holoceno a partir de 89 amostras do testemunho de sondagem PM-RS-D01 com 4,87 m de profundidade total, utilizando diatomáceas como descritores. Uma maior objetividade dentro deste enfoque foi obtida pela definição de espécies indicadoras de conjuntos de unidades amostrais oriundos de níveis de particionamentos significativos em análises de agrupamento, prática importada do estudo da ecologia de espécies atuais. Desta forma, um pequeno número de espécies representativas para determinado intervalo estratigráfico atuaram como descritoras, a partir das quais inferências paleoambientais puderam ser desenvolvidas. O poço revelou as assembléias de diatomáceas fósseis mais diversificadas para estudos até então conduzidos na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul. Estas refletiram essencialmente oscilações de habitats decorrentes de atores climáticos e eustáticos que marcaram de maneira evidente duas fases distintas da história evolutiva recente do Sistema Pinguela-Palmital-Malvas. Inicialmente, no período compreendido entre 4.600 +/- 70 anos AP e 3.950 +/- 70 anos AP, ocorre alternância entre estratos compostos pela preponderância de tafocenoses mixohalinas e intervalos caracterizados pela supremacia de espécies dulciaquícolas em um contexto transgressivo. Ali, os registros determinados por *Actinocyclus normanii*, *Cyclotella striata* e *Diploneis smithii* refletem períodos de clima mais seco, quando o volume de água doce drenado para a bacia era menor e a evaporação mais intensa. De forma inversa, *Aulacoseira* cf. *agassizii* determinou o esclarecimento de etapas de incremento do afluxo lótico por variação positiva do regime pluviométrico intensificado em decorrência do estabelecimento de condições provavelmente relacionados à vigência do fenômeno *El niño*. Após 3.950 +/- 70 anos AP, alterações sedimentológicas e bióticas significativas como o estabelecimento de fácies com predomínio de areias e a maior diversidade e abundância de vestígios de espécies perifíticas, caracterizam o início do processo de regressão correlacionável com o registro de diversos pesquisadores do Holoceno da Planície Costeira gaúcha. No entanto, a análise diatomológica revelou heterogeneidade ambiental inédita para o trecho, comprovando a existência de um processo constituído por, pelo menos, cinco rompimentos da tendência predominantemente regressiva bem como de momentos de ressurgência de período climático úmido e seco. A manutenção da coerência das interpretações paleoambientais obtidas, quando confrontadas a estudos pregressos, e a detecção de processos originais para a região, assinalam a eficiência dos procedimentos estatísticos empregados baseados no estabelecimento de agrupamentos significativos e destaque à espécies reguladoras destes particionamentos.

**Palavras-chave:** paleoecologia, Holoceno – lago – planície costeira – Rio Grande do Sul – diatomáceas.

## ABSTRACT

### PALEOECOLOGY OF THE PINGUELA-PALMITAL-MALVAS SYSTEM, HOLOCENE OF THE PELOTAS BASIN, RS, BRAZIL

An approach focused on the use of diatoms (Bacillariophyta) as environmental descriptors

Quaternary diatoms are useful indicators of alterations occurred in local habitats, since terrestrial as well as deep marine environments, producing knowledge concerning alterations of the water column level in lakes, changes in sea level and the chemistry of the water. Although extensively utilized by European and North American researchers, the paleontologic potential of diatoms is still little explored in Brazil, taking into account the small number of papers published on the subject. In the case of the Coastal Plains of Rio Grande do Sul, the supplementary role of diatoms in paleoecological studies is expressed through the inexpressive number of species mentioned in paleolimnological publications. Furthermore, as far as data processing is concerned, the definition zones in these studies was based on subjective criteria once statistical procedures of quantitative results were not mentioned. In this context, a research was conducted aiming to reconstitute paleoenvironments of the lacustrine Pinguela-Palmital-Malvas System, on the emerged portion north of Pelotas Basin during the Holocene. This study is based on 89 subsurface samples from the PM-RS-DO1 core (4,87 m of total depth), using diatoms- as descriptors. Thus, a better objectivity was obtained by defining the species indicative of sets of sampling units originated from levels of significant partitioning in grouping analyses, a practice imported from the study of actual ecology. This way, a small number of representative species of a certain stratigraphic interval acted as descriptors, from which paleoenvironmental inferences were drawn. The core revealed the most diversified assemblages of fossil diatoms for studies conducted on the Coastal Plains North of Rio Grande do Sul. Essentially, they reflected oscillations of habitats resulting from climatic and eustatic actors that clearly set two distinct phases of recent evolutionary history of the Pinguela-Palmital-Malvas System. Initially, between 4.600 +/- 70 years BP and 3.950 +/- years BP, an alternation occurred between strata constituted predominantly by mixohaline taphocenoses and intervals characterized by supremacy of freshwater species in a transgressive context. There, records of *Actinocyclus normanii*, *Cyclotella striata* and *Diploneis smithili* reflect periods of a drier climate as the volume of fresh water drained into the basin was smaller and evaporation was more intense. On the contrary, *Aulacoseira* cf. *agassizii* determined the clarification on stages of increment of the lotic influx through positive variation of intensive pluviometric regime due to conditions probably related to *El Niño* phenomenon. After 3.950 +/- 70 years AP, significant sedimentological and biotic alterations, like the establishment of facies with sandy and greater diversity and abundance of signs of periphytic species characterize the beginning of the regression process likely to be correlated with the record of several researchers of the Holocene of these Coastal Plains. However, the diatomologic analysis revealed an environmental heterogeneity unusual for that stretch, proving the existence of a process constituted of at least five ruptures on a predominantly regressive tendency, as well as moments of resurgence of a humid and dry climatic period. The maintenance of these coherent paleoenvironmental interpretations, compared with previous studies, and the discovery of original processes for the region show the efficiency of the statistical procedures here used, based on the establishment of significant groupings and the prominence of regulating species from this partitioning.

**Key-words:** paleoecology, Holocene – lake – coastal plain – Rio Grande do Sul – diatoms.

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

Tabela 1.1.1 - Características gerais dos principais estudos paleoecológicos realizados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, utilizando diatomáceas como paleoindicadores .....	23
---	----

### Capítulo 5

Tabela 5.1.1 - Resumo da classificação sistemática das diatomáceas segundo Round <i>et al.</i> (1990) .....	35
Tabela 5.2.1 - Mediana e amplitude das concentrações de fósforo total do lago Diss Mere, Inglaterra, para diferentes períodos históricos durante os últimos 7.000 anos obtidas pela aplicação de modelo de inferências via regressão e calibração com diatomáceas .....	62

### Capítulo 6

Tabela 6.9.1 - Resultado dos testes de aleatorização e autoreamostragem para comparação das diferenças entre a distribuição e abundância das diatomáceas nos distintos segmentos do testemunho PM-RS-D01 .....	86
--	----

### Capítulo 7

Tabela 7.1.1 - Resultado da análise granulométrica em oito amostras selecionadas do testemunho PM-RS-D01 .....	90
Tabela 7.2.1 - Resumo da Análise de Espécies Indicadoras do segmento 1 utilizando os agrupamentos significativos como variável categórica e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações .....	97
Tabela 7.2.2 - Distribuição e abundância (%) das espécies indicadoras no segmento 1 .....	98
Tabela 7.2.3 - Resumo das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 1 .....	109
Tabela 7.2.4 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do segmento 1 .....	111
Tabela 7.3.1 - Resumo da Análise de Espécies Indicadoras do segmento 2 utilizando os agrupamentos significativos como variável categórica e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações .....	116
Tabela 7.3.2 - Distribuição e abundância (%) das espécies indicadoras no segmento 2 .....	118
Tabela 7.3.3 - Resumo das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 2 .....	126
Tabela 7.3.4 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do segmento 2 .....	126
Tabela 7.4.1 - Resumo da Análise de Espécies Indicadoras do segmento 3 utilizando os agrupamentos significativos como variável categórica e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações .....	137
Tabela 7.4.2 - Distribuição e abundância (%) das espécies indicadoras no segmento 3 .....	139
Tabela 7.4.3 - Distribuição e abundância (%) de espécies salobras selecionadas nas unidades amostrais que compõem o grupo 6 do terceiro segmento do testemunho PM-RS-D01 .....	141
Tabela 7.4.4 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do segmento 3 .....	143
Tabela 7.4.5 - Resumo das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 3 .....	147
Tabela 7.5.1 - Distribuição e abundância (%) das espécies do segmento 4 .....	152
Tabela 7.5.2 - Enquadramento taxonômico das espécies abundantes no segmento 4 .....	153
Tabela 7.5.2 - Resumo das preferências ecológicas das espécies mais abundantes no segmento 4 .....	158
Tabela 7.6.1 -Resumo da Análise de Componentes Principais .....	161
Tabela 7.6.2 - Correlação das espécies com os componentes principais 1, 2 e 3. Resumo da Análise de Espécies Indicadoras e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações .....	162
Tabela 7.6.3 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do testemunho PM-RS-D01 no trecho correspondente as amostras do grupo A .....	163
Tabela 7.6.4 - Distribuição e abundância (%) das espécies indicadoras do testemunho PM-RS-D01 ....	168

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 4

Figura 4.1 – Mapa de localização do testemunho de sondagem PM-RS-D01 (Sistema Pinguela-Palmital-Malvas) na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul .....	27
Figura 4.2 – Perfis esquemáticos transversais dos Sistemas Laguna/Barreira.....	29

### Capítulo 5

Figura 5.1.1 - Componentes da frústula de uma diatomácea .....	33
Figura 5.1.2 - Componentes principais das frústulas das diatomáceas penadas .....	36
Figura 5.1.3 - (a) Detalhe do encaixe em cunha da rafe e da helictoglossa em <i>Pinnularia</i> . (b) Fíbulas em <i>Nitzschia</i> .....	38
Figura 5.1.4 - Esquemas representando tipos de fissuras terminais e terminações centrais .....	39
Figura 5.1.5 - Principais tipos de cinturas .....	40
Figura 5.1.6 - Componentes principais das frústulas das diatomáceas cêntricas e <i>rimoportula</i> em espécie penada .....	42
Figura 5.1.7 – <i>Aulacoseira</i> spp .....	42
Figura 5.1.8 - Esquema representando a reprodução vegetativa em diatomáceas .....	43
Figura 5.1.9 - Redução de tamanho e alterações morfológicas decorrentes da reprodução assexuada em diatomáceas .....	43
Figura 5.1.10 - Diversidade das diatomáceas (número de espécies) através do Terciário .....	46
Figura 5.1.11 - Distribuição estratigráfica e abundância relativa de alguns gêneros de diatomáceas .....	47
Figura 5.2.1 - Evidência da acidificação do lago Round em Glenhead, sudoeste da Escócia a partir do estudo das diatomáceas recuperadas em testemunho .....	51
Figura 5.2.2 - Curva unimodal padrão de reposta da abundância de uma espécie ao longo de um gradiente ambiental .....	52
Figura 5.2.3 - Análise Canônica de Correspondência para as relações espécie-ambiente e amostras-ambiente resultante de um conjunto de calibração obtido em lagos salinos da África ..	54
Figura 5.2.4 - Resultados da Análise de Correspondência Canônica Parcial do conjunto de treinamento da figura 5.2.3 .....	55
Figura 5.2.5 - Frequência relativa das diatomáceas distribuídas na classificação de Hustedt, valores de pH inferidos a partir da regressão por média ponderada e períodos da história do Lago Öresjön, Suécia, demarcados pela datação com método do $^{210}\text{Pb}$ .....	56
Figura 5.2.6 - Distribuição das frústulas de diatomáceas em sedimentos superficiais dos oceanos Pacífico e Índico, em milhões por grama de sedimento .....	58
Figura 5.2.7 - Relação entre o índice A/C de Stockner (1971) e os valores de fósforo total para os lagos de Minnesota, EUA .....	60
Figura 5.2.8 - Evidências de um evento de eutrofização natural no lago Flower Round, Canadá, como resposta ao declínio de <i>Tsuga canadensis</i> 4.800 anos AP .....	63
Figura 5.2.9 - Exemplos de disponibilidade de habitats em função do nível d'água em sistema lacustre do ambiente Ártico .....	64
Figura 5.2.10 - Abundância relativa (%) de formas de vida de diatomáceas em sedimentos do lago Søggaard Sø, Dinamarca .....	65
Figura 5.2.11 - Esquema demonstrando a localização do metalímnio em uma bacia lacustre em estratificação térmica juntamente com outras características do sistema .....	67
Figura 5.2.12 - Abundância relativa (%) do hábito de diatomáceas oriundas de amostras de sedimento superficial coletadas ao longo de distintos gradientes de profundidade, no lago Ontario e East, Canadá .....	68

## LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 5.2.13 - Evidência sedimentológica e biológica (diatomáceas) para flutuações de profundidade e salinidade no lago Naivasha, Quênia .....	69
Figura 5.2.14 - Exemplo de codificação adotada para classificação ecológica dos táxons comuns nos depósitos costeiros holocênicos da Holanda .....	70
Figura 5.2.15 - Abundância relativa de diatomáceas com distintas tolerâncias à salinidade ao longo de um testemunho do lago Eala, Escócia, como resposta ao isolamento da bacia (modificado de Shennan <i>et al.</i> , 1994) .....	71
Figura 5.2.16 - Classificação ecológica das diatomáceas com base na forma de vida e tolerância a salinidade .....	72
Figura 5.2.17 - Exemplo de uma “diatomofácies” de Denys (1999), apresentando características litológicas, datações radiocarbométricas, concentração valvar total e abundância relativa dos táxons mais representativos, em uma intercalação argilosa em turfeira holandesa ...	73
Figura 5.2.18 - Formas e resistência à fragmentação e dissolução .....	75
Figura 5.2.19 - Dissolução de diatomáceas ao longo de 4 semanas à 25 °C em água destilada com pH 10 .....	75
Figura 5.2.30 - Alterações na flora de silicoflagelados e diatomáceas com a profundidade, em função da dissolução .....	76
<b>Capítulo 6</b>	
Figura 6.1.1 – Início do processo de percursão manual visando a penetração do tubo de PVC ...	78
Figura 6.1.2 – Término do processo de percursão manual visando a penetração de cano de PVC	79
Figura 6.1.3 – Processo de retirada do testemunho com o auxílio de tralha manual .....	79
Figura 6.1.4 – (a) Coleta das amostras; (b) Registro das características sedimentológicas macroscópicas em papel .....	80
Figura 6.2.1 – Amostras selecionadas no testemunho PM-RS-D01 em início de análise granulométrica .....	80
Figura 6.9.1 – Corte do testemunho PM-RS-D01 em campo para fins de transporte .....	83
<b>Capítulo 7</b>	
Figura 7.1.1 – Localização das amostras selecionadas para análise granulométrica do testemunho PM-RS-D01 .....	90
Figura 7.1.2 – Profundidades das unidades amostrais, resultado das datações radiométricas e definição da sedimentologia do poço .....	91
Figura 7.1.3 – Perfil estratigráfico do testemunho PM-RS-D01 .....	92
Figura 7.1.3 – Taxas de sedimentação para um trecho do testemunho PM-RS-D01 .....	94
Figura 7.2.1 - Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 21 unidades amostrais que compõem o segmento 1 .....	95
Figura 7.2.2 - Avaliação de suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 21 unidades que compõem o segmento 1 .....	96
Figura 7.2.3 - Diagrama de distribuição e abundância relativa das espécies indicadoras do segmento 1 ao longo do testemunho PM-RS-D01 .....	99
Figura 7.2.4 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia óptica .....	100
Figura 7.2.5 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia eletrônica de varredura .....	101
Figura 7.2.6 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia eletrônica de varredura .....	103
Figura 7.2.7 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia eletrônica de varredura .....	105

### LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 7.3.1 - Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 22 unidades amostrais que compõem o segmento 2 .....	115
Figura 7.3.2 - Avaliação de suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 22 unidades que compõem o segmento 2 .....	115
Figura 7.3.3 - Diagrama de distribuição e abundância relativa das espécies indicadoras do segmento 2 ao longo do testemunho PM-RS-D01 .....	119
Figura 7.3.4 – Espécies indicadoras do segmento 2 .....	120
Figura 7.3.5 – Espécies indicadoras do segmento 2 em microscopia eletrônica de varredura. ....	121
Figura 7.3.6 – Vista geral de campos de visão de lâminas dos níveis M22 (296,6 cm) e M23 (291,8 cm) preparadas para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	128
Figura 7.3.7 – <i>Pseudopodosira echinus</i> em microscopia óptica com aumento de 1.000x .....	129
Figura 7.3.8 – <i>Pseudopodosira echinus</i> em microscopia eletrônica de varredura. ....	129
Figura 7.3.9 – Microfotografias de <i>Rhizosolenia</i> spp. do nível M23 (376,9 cm) em microscopia óptica com aumento de 1.000x .....	130
Figura 7.3.10 – Vista geral de campos de visão de uma da lâmina do nível M35 (320,2 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	131
Figura 7.3.11 – Vista geral de campos de visão de lâminas dos níveis M40 (296,6 cm) e M41 (291,8 cm) preparadas para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	132
Figura 7.3.12 – Vista geral de campos de visão de lâmina do nível M42 (287,1 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	133
Figura 7.3.13 – Vista geral de campos de visão de lâmina do nível M43 (282,4 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	134
Figura 7.3.14 – Vista geral de um campo de visão de uma lâmina do nível M36 (315,5 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando <i>Entellan</i> como meio de montagem .....	134
Figura 7.3.15 – Microfotografias de <i>Staurosira construens</i> do nível M26 (362,8 cm) em microscopia óptica com aumento de 1.000x .....	135
Figura 7.4.1 - Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 21 unidades amostrais que compõem o segmento 3 .....	136
Figura 7.4.2 - Avaliação de suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 21 unidades que compõem o segmento 3 .....	136
Figura 7.4.3 - Diagrama de distribuição e abundância relativa das espécies indicadoras do segmento 3 ao longo do testemunho PM-RS-D01 .....	140
Figura 7.4.4 – Espécies indicadoras do segmento 3 .....	141
Figura 7.4.5 – <i>Diploneis puella</i> , espécie indicadora do grupo 7 em microscopia eletrônica de varredura .....	142
Figura 7.4.6 – <i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> , espécie abundante do nível M44 (277,6 cm) em microscopia eletrônica de varredura .....	143
Figura 7.4.7 – Espécies salobras destacadas nas unidades amostrais que compõem o grupo 6 do terceiro segmento do testemunho PM-RS-D01 .....	144
Figura 7.4.8 – Vista geral de campos de visão de lâminas do grupo 8, segmento 3, preparadas para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	145
Figura 7.4.9 – Vista geral de campos de visão de lâminas do grupo 8, segmento 3, preparadas para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	146

### LISTA DE FIGURAS (continuação)

Figura 7.4.10 – Vista geral de campos de visão de lâmina do nível M56 (220,9 cm), segmento 3, preparadas para análise de diatomáceas utilizando <i>Naphrax</i> como meio de montagem .....	148
Figura 7.5.1 - Distribuição e abundância relativa das três espécies mais abundantes nos respectivos níveis do segmento 4 ao longo do testemunho PM-RS-D01 .....	151
Figura 7.5.2 – Espécies abundantes do segmento 4 .....	154
Figura 7.5.3 – Fotomicrografia eletrônica de varredura do nível M83 .....	156
Figura 7.5.4 – Fotomicrografia eletrônica de varredura do nível M83 .....	156
Figura 7.5.5 – Fotomicrografia eletrônica de varredura do nível M83 .....	157
Figura 7.6.1 – Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 68 amostras fossilíferas do testemunho PM-RS-D01 .....	160
Figura 7.6.2 – Avaliação da suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 68 amostras fossilíferas do testemunho PM-RS-D01 .....	161
Figura 7.6.3 - Gráfico de dispersão da Análise de Componentes Principais. Eixos 1 e 2 .....	164
Figura 7.6.4 - Gráfico de dispersão da Análise de Componentes Principais. Eixos 1 e 3 .....	165
Figura 7.6.5 - Gráfico de dispersão da Análise de Componentes Principais. Eixos 2 e 3 .....	166
Figura 7.6.6 – Microfotografia de <i>Rhopalodia gibberula</i> .....	167
Figura 7.6.7 – Diagrama de distribuição e abundância das espécies indicadoras do testemunho PM-RS-D01. Em destaque as espécies da tabela 7.6.2 .....	172
<b>Capítulo 8</b>	
Figura 8.1.1 – Síntese dos resultados paleontológicos do testemunho PM-RS-D01, utilizando diatomáceas como paleodescritores ambientais .....	174

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>25</b>
<b>3 HIPÓTESES .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 HIPÓTESE BÁSICA .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 HIPÓTESES SECUNDÁRIAS .....</b>	<b>26</b>
<b>4 ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>27</b>
<b>5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS DIATOMÁCEAS .....</b>	<b>32</b>
<b>5.1.1 Morfologia das diatomáceas penadas (polares) .....</b>	<b>36</b>
<b>5.1.2 Morfologia das diatomáceas cêntricas (radiais) .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.3 Reprodução e a Lei de MacDonald-Pfitzer .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1.4 Habitat e forma de vida .....</b>	<b>44</b>
<b>5.1.5 História evolutiva .....</b>	<b>45</b>
<b>5.2 APLICAÇÕES E POTENCIALIDADES DAS DIATOMÁCEAS EM ESTUDOS PALEOLIMNOLÓGICOS .....</b>	<b>48</b>
<b>5.2.1 Diatomáceas e a reconstrução do pH em sedimentos límnicos .....</b>	<b>48</b>
<b>5.2.2 Diatomáceas e a reconstrução do estado trófico em sedimentos límnicos .....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.3 Diatomáceas e a reconstrução paleobatimétrica em sedimento límnicos .....</b>	<b>63</b>
<b>5.2.4 Diatomáceas e a reconstrução do nível relativo do mar .....</b>	<b>69</b>
<b>5.2.5 Limitações tafonômicas .....</b>	<b>73</b>
<b>6 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>78</b>
<b>6.1 COLETA DO TESTEMUNHO E AMOSTRAGEM.....</b>	<b>78</b>
<b>6.2 DESCRIÇÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....</b>	<b>80</b>
<b>6.3 DATAÇÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>6.4 ENSAIOS PARA ESTUDO DOS MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE DIATOMÁCEAS .....</b>	<b>81</b>
<b>6.5 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE DIATOMÁCEAS</b>	<b>81</b>
<b>6.6 CONFECÇÃO DE LÂMINAS PERMANENTES .....</b>	<b>81</b>
<b>6.7 IDENTIFICAÇÃO .....</b>	<b>82</b>

<b>6.8 QUANTIFICAÇÃO DAS DIATOMÁCEAS .....</b>	<b>82</b>
<b>6.9 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS .....</b>	<b>83</b>
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>89</b>
<b>7.1 SEDIMENTOLOGIA E DATAÇÕES RADIOMÉTRICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>7.2 RESULTADOS MICROPALEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 1.....</b>	<b>95</b>
<b>7.3 RESULTADOS MICROPALEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 2.....</b>	<b>115</b>
<b>7.4 RESULTADOS MICROPALEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 3.....</b>	<b>136</b>
<b>7.5 RESULTADOS MICROPALEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 4.....</b>	<b>149</b>
<b>7.6 ANÁLISE NUMÉRICA INTEGRAL DOS RESULTADOS MICROPALEON- TOLÓGICOS DO TESTEMUNHO PM-RS-D01 .....</b>	<b>159</b>
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>173</b>
<b>8.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS DO TESTEMUNHO PM-RS-D01.....</b>	<b>173</b>
<b>8.2 CONCLUSÕES.....</b>	<b>176</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>178</b>
<b>ANEXO A. Distribuição e abundância (%) das espécies do segmento 1.....</b>	<b>200</b>
<b>ANEXO B. Distribuição e abundância (%) das espécies do segmento 2.....</b>	<b>202</b>
<b>ANEXO C. Distribuição e abundância (%) das espécies do segmento 3.....</b>	<b>205</b>
<b>ANEXO D. Distribuição e abundância (%) das espécies do segmento 4.....</b>	<b>207</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Ao utilizar dados previamente publicados em suas monografias sobre o lago Léman na Suíça, F. A. Forel publicou, em 1901, a obra responsável pela conceituação do termo “Limnologia”. Esta nova linha de pesquisa foi definida pelo autor como uma descrição de observações, leis e teorias que se referem aos lagos de maneira geral. O pesquisador concebeu a Limnologia como uma ciência irmã da Oceanografia, diferenciando-se apenas pela magnitude de seu objeto de estudo (Esteves, 1998; Kleerekoper, 1990).

Em seu livro, Forel é fortemente influenciado pelo conceito de microcosmo de Forbes e dedica um capítulo inteiro à abordagem deste tema. Para Forel, o “lago é um mundo em escala pequena no qual o ciclo da integração e da dissolução sempre se repete”. Este microcosmo, para usar o termo introduzido por Forbes, seria auto-suficiente mesmo por longo tempo, ainda que fosse completamente isolado do meio ambiente. Porém, este se acha em ligação direta ou indireta com a atmosfera, com a terra circundante, com as regiões de sua cabeceiras e, através dos afluentes, com o mar. O lago, desta forma, destaca-se como elo importante no processo da evolução da vida na Terra; “cada lago é um órgão da Terra”. (Esteves, 1998, p. 5).

Forel rompeu com o paradigma até então em voga para o estudo dos ambientes lacustres que enfocava a análise da vida dos organismos aquáticos, sustentando a nova ciência sobre os alicerces da Hidrologia. Passou-se a considerar o lago em seu todo, ao incluir seus aspectos físicos e processos químicos, permitindo, nas palavras de Esteves (1998), “a elaboração de inferências teóricas mais ousadas”. Desta maneira, a Limnologia nasceu para se ocupar do “estudo das relações funcionais das comunidades de água doce e do efeito nelas causado pelo seu ambiente físico, químico e biológico” (Wetzel, 1993, p. 6).

Num primeiro momento, em virtude de sua etimologia (*Limné*, do grego significando “lago”), a Limnologia ficou conhecida como a ciência que estuda os lagos. Contudo, na primeira edição do Congresso Internacional de Limnologia, ocorrida em 1922, seu campo de atuação foi estendido para outros ecossistemas aquáticos continentais, independentemente da origem, dimensões e concentrações salinas: lagoas, açudes, lagoas, represas, rios, riachos, brejos, áreas alagáveis, águas subterrâneas, nascentes e fitotelmos (águas

acumuladas em bainha de plantas, como nas Bromeliáceas). Já os estuários são apontados como objeto de estudo tanto dos limnólogos como dos oceanógrafos (Esteves, 1998).

Devido às características peculiares dos sistemas lóticos (*e.g.*, rios e riachos), em que os processos físicos, químicos e biológicos são fortemente influenciados pelo fluxo energético multidirecional, com predomínio marcadamente longitudinal em sistema aberto, houve tentativa de adoção do vocábulo “Potamologia” (*potamon*, significando “rio”) para a reunião das teorias que tratam da dinâmica dos ecossistemas de água corrente, contudo, a expressão não se consolidou (Schwarzbold, 2000).

A Limnologia preconiza a ecologia moderna, quando trata dos corpos lênticos como sistemas, integrando áreas como a botânica, a zoologia, a química, a física, a geologia e a meteorologia. O limnólogo busca em suas pesquisas a compreensão da gênese dos ecossistemas lacustres; das características, compartimentos e comunidades das águas continentais; das etapas do metabolismo do ecossistema aquático; da radiação e seus efeitos; da dinâmica do oxigênio dissolvido; do ciclo dos nutrientes, íons e elementos traços; bem como dos processos que se desenvolvem nos sedimentos relacionados.

Na maioria dos ambientes aquáticos continentais, podem se reconhecer duas camadas nos sedimentos. A parte superior, ou biológica, é formada por um sistema ecológico bastante ativo, com maior concentração de matéria orgânica, em virtude de condições favoráveis para o desenvolvimento de microorganismos, que dispõem ali de altas concentrações de lipídeos, proteínas e carboidratos ricos em energia, e espécies bentônicas, incluindo a colonização por macroinvertebrados (Esteves, 1998). Na medida em que o novo material é depositado, o sedimento perde reatividade, envelhece e adquire características que pouco variam ao longo do tempo, constituindo, assim, a parte inferior (Margalef, 1983). Estes atributos incluem baixo teor de matéria orgânica, rigidez e anaerobiose, que dificultam o desenvolvimento de organismos que ali se restringem a bactérias (Esteves, 1998). Para Margalef (1983), o sedimento passa de sujeito “limnológico” a “geológico”, podendo conservar uma estrutura estratificada ou rítmica, e restos de organismos que se depositaram no sedimento, representando, em última análise, etapas distintas do processo de evolução do ecossistema. Dessa forma, as camadas desta fase constituem um verdadeiro banco de dados, que possibilita o conhecimento sobre as comunidades, ambientes e climas pregressos, objeto de estudo da paleoecologia.

Cain (1944) definiu a paleoecologia como o estudo da biota passada com base em conceitos e métodos ecológicos até o ponto em que estes podem ser aplicados. Este campo intermediário entre a ecologia e a paleontologia se acenta basicamente em dois pressupostos básicos sintetizados por Odum (1988):

- (i) A operação dos princípios ecológicos foi essencialmente igual durante vários períodos geológicos;
- (ii) A ecologia de fósseis pode ser inferida, a partir do que se sabe, sobre espécies equivalentes ou aparentadas que vivem na atualidade.

O estudo paleoecológico dos vestígios físicos, químicos e biológicos armazenados nos depósitos límnicos é o campo de estudo da paleolimnologia (Battarbee *et al.*, 2001). Nestes sedimentos, se destacam como resíduos morfológicos mais abundantes os grãos de pólen e os esporos de plantas terrestres, e também as frústulas de diatomáceas e os cistos de crisomonas (Frey, 1974). Entre os restos de animais, se apresentam como mais abundantes e diversificados os cladóceros e larvas de quironomídeos, embora todos os grupos estejam representados em maior ou menor grau (Wetzel, 1993).

Nas últimas décadas, observou-se a realização de diversas pesquisas paleolimnológicas que utilizaram diatomáceas para descrever modificações paleoambientais (Kennington, 2002). Seus vestígios são abundantes e estão em geral bem preservados, podendo ser identificadas até o nível de espécie pela morfologia da frústula (Wetzel, 1993).

Diatomáceas do Quaternário são indicadoras úteis de alterações de habitats locais, desde ambientes terrestres até marinhos profundos, produzindo conhecimento a respeito de alterações de nível da coluna d'água em lagos (fenômeno geralmente relacionado a alterações climáticas), mudanças do nível relativo do mar e química da água (especialmente pH, enriquecimento nutricional e salinidade) (Armstrong & Brasier, 2005).

De forma geral, as principais estratégias de estudo das assembléias de diatomáceas fósseis em reconstruções paleoambientais tem focado a autoecologia das espécies, ou a metodologia de inferência quantitativa, via análogos modernos por métodos de calibração. Esta última vem se estabelecendo como paradigma em estudos paleoecológicos de sedimentos límnicos, dominando, nos últimos anos, as principais publicações voltadas para esta temática (Battarbee *et al.*, 2001).

Apesar de representar um grande avanço, esta é uma técnica “sítio-específica”, que pressupõe a disponibilidade de um elevado número de sistemas lênticos em uma área restrita, onde o pesquisador possa conduzir um minucioso estudo ecológico que considere uma multiplicidade de habitats e condições hidroquímicas, algo dispendioso e ainda pouco exequível em alguns países. No Canadá e na Europa, estes estudos floresceram em função do esgotamento do potencial informativo das demais técnicas, como consequência natural do elevado número de pesquisas que empregam diatomáceas como ferramenta paleontológica (Battarbee *et al.*, 1999). Contudo, nos países onde estes estudos são ainda extremamente incipientes, pesquisas de enfoque qualitativo (autoecológico), baseadas em dados colhidos ao longo de décadas, por várias gerações de diatomólogos, fornecem informações úteis sobre a ontogenia dos ecossistemas aquáticos e sua relação com fenômenos climáticos em escala global e/ou regional (Battarbee *et al.*, 2001).

Embora extensamente utilizado por pesquisadores europeus e norte americanos, no Brasil, o potencial paleontológico das diatomáceas ainda é pouco explorado, haja vista o reduzido número de trabalhos publicados, em que a análise deste grupo constituiu objetivo central (*e.g.* Valente-Moreira, 1975; Moro & Bicudo, 1998; Fürstenberger & Moro, 1998; Bissa *et al.*, 2000; Saupe & Mosimann, 2003; Moro *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2007).

Os estudos paleoecológicos holocênicos realizados na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul fundamentam-se, em sua maioria, na análise de grãos de pólen e esporos. Embora constituam paleoindicadores valiosos, sua distribuição e abundância ao longo dos testemunhos são controlados diretamente pelas variações climáticas. Portanto, inferências mais específicas a respeito de características ambientais locais, como o grau de salinidade da massa d'água, foram obtidas por geoquímica ou pelo exame de palinofácies, incluindo algas de parede orgânica (clorofíceas e dinoflagelados) e acritarcos (*e.g.* Medeanic *et al.*, 2000a, Medeanic *et al.*, 2000b, Medeanic & Dillenburg, 2001, Medeanic *et al.*, 2001, Marques-Toigo *et al.*, 2002, Medeanic *et al.*, 2006, Weschenfelder *et al.*, 2008). Mesmo assim, a abundância e diversidade destes últimos é pequena, sendo que sua presença, bem como a de diatomáceas raras ou pouco abundantes nos levantamentos quantitativos, pode estar relacionada com agentes dispersores, tais como o *spray* marinho e o transporte por pássaros ou por excremento de mamíferos marinhos (Schmidt *et al.*, 1990; Fulford-Smith & Sikes, 1996).

Por outro lado, as diatomáceas são as produtoras primárias mais abundantes dos ecossistemas aquáticos, e estão expressivamente representadas nos sedimentos. A distinção entre espécies dulcícolas, mixohalinas e marinhas está amplamente estabelecida, e há muito já abandonou o campo da controvérsia (Haggart, 1986; Shennan, 1986; Long, 1992). No mesmo patamar encontra-se o conhecimento correspondente ao hábito dos táxons, algo fundamental para deduções paleoclimáticas (*e.g.* Douglas & Smol, 1999). Estes dois tópicos, aliados ao volume crescente de estudos que versam sobre o comportamento das comunidades de diatomáceas frente ao pH e nível trófico (Stoermer & Smol, 1999) permitem a compreensão mais precisa dos paleoambientes, cuja origem e duração podem ser relacionados com eventos de maior escala quando acompanhadas de controle temporal (*e.g.* datações absolutas).

São inúmeros os levantamentos realizados em diversas instituições do Brasil com vistas ao entendimento da ecologia das diatomáceas, constituindo um valioso banco de dados aplicável às análises paleontológicas, especialmente no Holoceno, devido a sua proximidade temporal e conseqüente semelhança entre a composição específica das assembléias fósseis e comunidades viventes (*e.g.*, Fürstenberger & Moro, 1998). Apesar destas informações advirem de várias regiões do país, a partir da aplicação de diversas técnicas de amostragem e processamento, a comparação dos requerimentos ambientais, baseadas em características autoecológicas gerais entre estes, é favorecida pela característica cosmopolita de diversos táxons. Nos casos onde existe aparente incongruência nas informações, pode-se considerar o trabalho realizado no ambiente mais próximo da área em estudo e/ou valer-se de dados geoquímicos, ou ainda de outros fósseis.

Neste sentido, no Rio Grande do Sul, Villwock *et al.* (1980) estudaram turfeiras holocênicas do nordeste da Planície Costeira, e constataram a presença de uma descontínua e delgada camada de diatomito, com predomínio de gêneros de água doce, sobre os depósitos de turfa. Abreu *et al.* (1987) examinaram diatomáceas, bivalves e ostracodes de quatro amostras provenientes de um testemunho de sondagem obtido no município de Triunfo, próximo à confluência dos rios Caí e Jacuí. Callegaro & Lobo (1990) analisaram a distribuição da assembleia de diatomáceas em amostras superficiais de seis perfurações ao longo da turfeira de Águas Claras. Medeanic *et al.* (2000a) e Marques-Toigo *et al.* (2002) classificaram gêneros de algas fósseis das divisões Chlorophyta, Chrysophyta e Bacillariophyta em função da tolerância à salinidade, e identificaram três estágios relacionados com as transgressões e regressões do Atlântico em um testemunho

localizado no vale do rio Maquiné. Este mesmo enfoque, aliado ao estudo de pólenes e esporos, permitiu, no mesmo ano, a Medeanic *et al.* (2000b) estabelecer mudanças ambientais causadas por oscilações climáticas e do nível médio do mar na Lagoa dos Patos e adjacências no Holoceno Tardio.

Na mesma região, Medeanic & Dillenburg (2001) identificaram o início da influência marinha pós-glacial na Lagoa dos Patos por volta de 9.620 +/- 160 AP, enquanto que uma importante transgressão em torno de 7.350 +/- AP foi registrada por Medeanic *et al.* (2001). Nestas pesquisas, pólenes, esporos e microalgas de parede orgânica constituíram elementos descritores, juntamente com identificações genéricas e a confirmar de espécies de diatomáceas. Uma abordagem micropaleontológica similar, acrescida do estudo de microforaminíferos, foi utilizada em Weschenfelder *et al.* (2008) em estudo que resultou na detecção de um paleocanal holocênico ligando a Lagoa dos Patos ao Oceano Atlântico.

Excetuando-se Callegaro & Lobo (1990) e Medeanic *et al.* (2009), todos os trabalhos supramencionados valeram-se da utilização dos fósseis de diatomáceas como elementos acessórios de análise indicando, de maneira geral, as preferências halóbias dos táxons para a determinação da influência marinha no paleoambiente (tab. 1.1.1). É inegável que este enfoque constitui uma aplicação útil das diatomáceas em análises paleoambientais, mas estas informações também podem ser inferidas com base na utilização de outros descritores, tais como os dinoflagelados (*e.g.* Meyer *et al.*, 2005a). Contudo, no momento em que se objetiva, por exemplo, relacionar movimentos eustáticos com o comportamento de outras variáveis como pH, trofia e alterações batimétricas, o potencial indicativo das diatomáceas é ressaltado, e na comparação direta com a performance de outros grupos algais em estudos paleolimnológicos, ocorre um evidente favorecimento dessas em virtude do extenso conhecimento a respeito de seus requerimentos ecológicos específicos (Stoermer & Smol, 1999).

Vale destacar, ainda no que se refere à caracterização dos ambientes quanto à salinidade utilizando diatomáceas, a título de exemplificação do potencial da análise diatomológica, a abordagem original de García-Rodríguez & Witkowski (2003) inédita no Brasil. Os autores fizeram uso de porcentagens de *Pseudopodosira kosugii* como espécie guia para elaborar inferências a respeito das oscilações do nível médio do mar na laguna Rocha, Uruguai (Cuenca del Leste). Os resultados obtidos foram comparados com o modelo de variação proposto para a costa centro-sul do Brasil (Martin & Suguio, 1992; Lessa *et al.*, 2000)

obtendo assim um maior refinamento da informação focada nos fenômenos locais que se revelaram discrepantes (García-Rodríguez & Witkowski, 2003).

O papel suplementar das diatomáceas nos estudos paleoecológicos efetivados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul torna-se manifesto também em função do inexpressivo número de espécies citadas nas publicações paleolimnológicas mais recentes (tab. 1.1.1). Em sua maioria, a identificação dos táxons aborda o gênero e não há ilustrações diagnósticas, tampouco descrições ou comentários taxonômicos, o que dificulta sobremaneira a confirmação e comparação de dados (tab. 1.1.1).

Informações referentes às alterações climáticas ocorridas durante a evolução costeira recente do Rio Grande do Sul foram obtidas em pesquisas baseadas na análise de palinomorfos e palinofácies (Neves, 1991; Neves & Lorscheiter, 1992, 1995a,b; Lorscheiter & Dillenburger, 1998; Marques-Toigo *et al.*, 2002; Meyer *et al.*, 2005a,b). Todavia, questões importantes permanecem em aberto, como a definição da existência ou não de oscilações de alta frequência do nível do mar após o máximo transgressivo (Medeanic *et al.*, 2001).

Por outro lado, com exceção de Meyer *et al.* (2005a), que consideraram as mudanças de estado trófico com base em algas de parede orgânica dos gêneros *Botryococcus* e *Pediastrum*, pouca atenção tem sido dada para as relações entre as oscilações da influência marinha e os indicadores químicos dos sistemas restritos e semi-restritos registrados nas respectivas fácies dos perfis litológicos.

Além disso, no que tange o processamento dos dados nos estudos referidos na tabela 1.1.1, a definição de biozonas fundamentou-se em critérios subjetivos dos pesquisadores já que, a exceção de Callegaro & Lobo (1990), não são mencionados procedimentos estatísticos de exame dos resultados quantitativos.

Bennett (1996), quando se refere a pesquisas do registro polínico, argumenta que sequências de dados estratigráficos são difíceis de descrever e interpretar sem alguma redução para unidades mais gerenciáveis, cujo intuito seria o de identificar zonas de conteúdo uniforme. Neste sentido, a análise de agrupamento, procedimento analítico corriqueiro em pesquisas ecológicas efetuadas no presente (*e.g.* Bini, 2004), é uma ferramenta útil para o reconhecimento mais claro e sintético possível da estrutura de conjuntos de níveis estratigráficos definidos pelo arranjo hierárquico das unidades em função de similaridades bióticas.

Meyer *et al.* (2005a) realizaram importante contribuição para a área de estudo, ao utilizarem a análise de agrupamentos para identificar seis conjuntos de amostras que, plotados estratigraficamente,

distinguiram três intervalos com palinofácies características em um testemunho de sondagem na Lagoa dos Quadros, RS.

Conforme destacado em Pillar (1999), embora estejam fundamentados em algoritmos matemáticos, para se obter uma classificação a partir dos testes de agrupamento, o investigador precisa escolher, muitas vezes de forma subjetiva, um nível adequado de partição dos grupos. Ademais, as análises de agrupamento sempre revelarão conjuntos, mesmo que o banco de dados não possua estrutura que justifique alguma distinção. Para reduzir a imprecisão no processo de escolha do nível de partição o autor desenvolveu uma técnica, até então não aplicada ao contexto dos estudos paleoecológicos envolvendo descritores algálicos, para testar estatisticamente a nitidez das divisões em análises de agrupamentos utilizando aleatorização e autoreamostragem. Esta, se conjugada a análises que visam caracterizar unidades amostrais de acordo com espécies indicadoras (*e.g.*, Dufrière & Legendre, 1997), constitui instrumental matemático potencial para definição objetiva de biozonas em estudos do Quaternário.

Até o momento em que se iniciou a presente tese não havia registro de estudo voltado para a reconstrução da história do isolamento de alguns dos sistemas lacustres da Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul, cujo objetivo principal fosse o de estabelecer uma cronologia de alterações cíclicas de paleoambientes marinhos, salobros, semi-terrestres ou de água doce, a partir do registro fundamentalmente diatomológico, aliado a datações absolutas no Holoceno Tardio.

Neste contexto, esta tese fundamentou-se metodologicamente no conhecimento progresso da autoecologia das espécies, de acordo com o registro bibliográfico de estudos nacionais e internacionais. Uma maior objetividade dentro deste enfoque foi obtida pela definição de espécies indicadoras de conjuntos de unidades amostrais oriundas de níveis de particionamentos significativos em análises de agrupamento, prática importada do estudo da ecologia de espécies atuais. Desta forma, um pequeno número de espécies representativas para determinado intervalo estratigráfico atuaram como descritoras, a partir das quais inferências paleoambientais puderam ser desenvolvidas.

Tabela 1.1.1 - Características gerais dos principais estudos paleoecológicos realizados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, utilizando diatomáceas como paleoindicadores.

Autor / Ano	Objetivos	Número de Taxóons de diatomáceas citados	Nível taxonômico considerado para diatomáceas	Outros microfósseis estudados	Número de amostras consideradas	Intervalo entre as amostras	Número e amplitude de datações absolutas	Apresenta descrição das espécies de diatomáceas?	Apresenta ilustração/fotografia das espécies de diatomáceas?	Aspecto paleoecológico enfocado utilizando diatomáceas
Abreu <i>et al.</i> (1987)	Interpretar a evolução paleogeográfica, ocorrida no Quaternário, na região de Morretes.	37	Espécie	Moluscos e ostracodes.	4	1 - 2,4 m	Não contém	Não.	Sim, referente a 9 espécies.	Salinidade.
Callegaro & Lobo (1990)	Estudar a distribuição horizontal das associações de diatomáceas da turfeira holocênica de Águas Claras.	49	Espécie	--	6	--	Não contém	Não.	Sim, referente a 5 espécies.	Concentração iônica, pH, habitat, salinidade, temperatura, nutrientes.
Medeanic <i>et al.</i> (2000a*)	Reconstruir a sucessão algal fóssil e os ambientes aquáticos durante o Holoceno Tardio.	12	Gênero	Pólenes, esporos e microalgas de parede orgânica.	40	2,5 - 5 cm	Não contém	Não.	Sim, 5 gêneros estão representados em estampa.	Salinidade.
Medeanic <i>et al.</i> (2000b)	Examinar os palinomorfos do sedimento da Laguna dos Patos visando a reconstrução das paleofitocenoses do Holoceno Tardio, estabelecendo as alterações paleoambientais causadas pelas oscilações do nível do mar.	9	Gênero	Pólenes, esporos e microalgas de parede orgânica.	19	5 -10 cm	Não contém	Não.	Não.	Salinidade.

Tabela 1.1.1 (continuação) - Características gerais dos principais estudos paleoecológicos realizados na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, utilizando diatomáceas como paleoindicadores.

Autor / Ano	Objetivos	Número de Taxóons de diatomáceas citados	Nível taxonômico considerado para diatomáceas	Outros microfósseis estudados	Número de amostras consideradas	Intervalo entre as amostras	Número e amplitude de datações absolutas	Apresenta descrição das espécies de diatomáceas?	Apresenta ilustração/fotografia das espécies de diatomáceas?	Aspecto paleoecológico enfocado utilizando diatomáceas
Medeanic & Dillenburg (2001)	Reconstruir o paleoambiente da Lagoa Tramandaí e áreas continentais adjacentes no Holoceno Inicial.	9	Gênero	Pólens, esporos e microalgas de parede orgânica.	10	+/- 2 m	9620 +/- 160 AP	Não.	Não.	Salinidade.
Medeanic <i>et al.</i> (2001)	Avaliar o registro palinológico da transgressão marinha pós-glacial nos sedimentos de fundo da Laguna dos Patos.	5	Gênero e espécie	Pólens, esporos e microalgas de parede orgânica.	25	5 cm	7370 +/- 150 AP	Não.	Não.	Salinidade.
Marques-Toigo <i>et al.</i> (2002*)	Reconstruir os paleoambientes a identificar alterações florísticas durante o Quaternário Tardio na zona costeira do Rio Grande do Sul.	12	Gênero	Pólens, esporos e microalgas de parede orgânica.	40	2,5 – 5 cm	Não contém	Não.	Sim, de 5 gêneros.	Salinidade.
Weschenfelder <i>et al.</i> (2008)	Inferir a evolução ambiental da região de Bojuru no Holoceno a partir de dados sísmico, geocronológicos, sedimentológicos e paleontológicos.	8	Gênero e espécie.	Pólens, esporos e microalgas de parede orgânica. Microforaminíferos.	14	Não consta.	9400 +/- 140 AP 7370 +/- 150 AP	Não	Não	Salinidade
Medeanic <i>et al.</i> (2009)	Utilizar palinomorfos e diatomáceas para originar dados paleoambientais no contexto da transgressão marinha Holocênica no RS.	26	Gênero e espécie	Pólens, esporos e microalgas de parede orgânica.	10	Não consta.	4940 +/- 80 AP	Não.	Sim.	Salinidade, profundidade.

\* Estes estudos apresentam os mesmos dados para diatomáceas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Reconstituir os sucessivos paleoambientes do Sistema Pinguela-Palmital-Malvas, porção emersa norte da Bacia de Pelotas durante o Holoceno, a partir de um testemunho (PM-RS-D01) utilizando diatomáceas como descritores.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar componentes da tafocenose de diatomáceas dos sedimentos holocênicos da Bacia de Pelotas.
2. Verificar o comportamento da diversidade das diatomáceas frente às alterações ambientais registradas no testemunho.
3. Efetuar a datação radiocarbométrica de níveis sedimentares selecionados.
4. Classificar os paleoambientes em função da salinidade, batimetria, pH e nível trófico, baseando-se na autoecologia das diatomáceas.
5. Testar a efetividade de uma metodologia analítica que reduza a subjetividade na análise de resultados paleoambientais do Holoceno.

### **3 HIPÓTESES**

#### **3.1 HIPÓTESE BÁSICA**

Ao considerar as modificações ocorridas durante o Holoceno nos ambientes aquáticos da Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul, presume-se que a recuperação, a identificação e análise das assembleias fósseis de diatomáceas, permitam evidenciar tais alterações com maior refinamento na classificação e na interpretação dos paleoambientes registrados nos sedimentos, contribuindo para a reconstrução da evolução e história do Sistema Pinguela-Palmital-Malvas.

#### **3.2 HIPÓTESES SECUNDÁRIAS**

1. Tendo em vista que as diatomáceas são encontradas em ambientes oceânicos, mixohalinos e dulciaquícolas, que ocupam o habitat planctônico ou perifítico, e que apresentam distribuição diferenciada em função do pH e nível trófico, espera-se que as espécies recuperadas constituam potencial descritor paleolimnológico.
2. Ao levar em conta a possibilidade de uso de técnicas de análise quantitativa multivariada na detecção de grupos de espécies indicadoras, supõe-se que essas ferramentas possam ser úteis nas interpretações paleoambientais.

#### 4 ÁREA DE ESTUDO

Para o presente estudo foram utilizadas 89 amostras de sedimentos provenientes do testemunho de sondagem de 4,87m denominado PM-RS-D01 (UTM 0583011 6701449), obtido no pontal de direção noroeste-sudeste que divide, segundo outras publicações e mapas oficiais, as lagoas das Malvas e Palmital, entre os municípios de Maquiné e Osório (Fig. 4.1). Estas lagoas estão geneticamente relacionadas ao “Sistema Laguna-Barreira IV”, desenvolvida sobre a Planície Costeira do Rio Grande do Sul (PCRS), constituindo a porção superior e aflorante da Bacia de Pelotas.

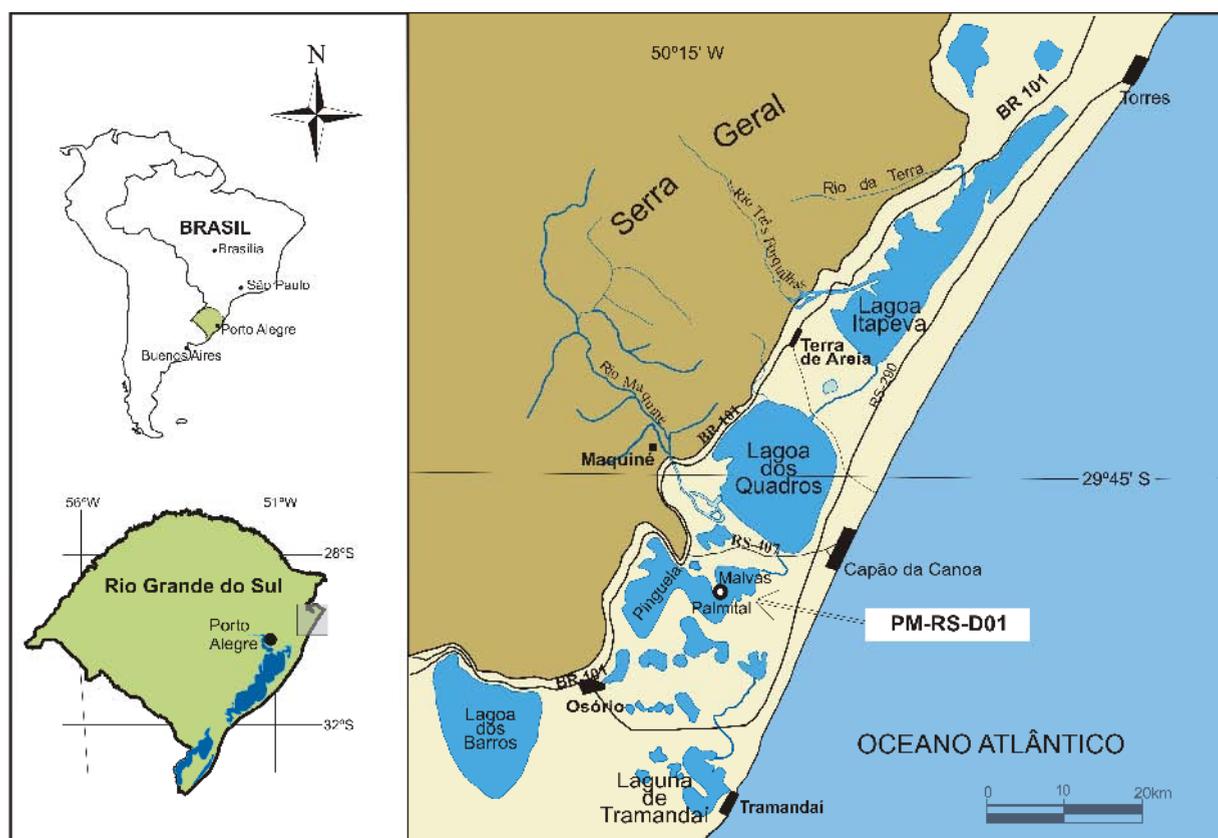


Figura 4.1 – Mapa de localização do testemunho de sondagem PM-RS-D01 (Sistema Pinguela-Palmital-Malvas) na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul.

A Bacia de Pelotas ocupa uma área de 210.000km<sup>2</sup> na margem continental brasileira, até a isóbata de 2.000m, dentro dos quais 40.000km<sup>2</sup> constituem a PCRS. Com direção geral NE-SW, localiza-se entre os paralelos 28°S e 34°S, limitada ao norte pelo Alto de Florianópolis e ao sul pela fronteira com o Uruguai, onde passa a receber a denominação de *Cuenca del Leste*, estendendo-se até o alto do embasamento *La Coronilla* (DIAS *et al.*, 1994). Sua origem está relacionada aos eventos tectônicos ocorridos durante o

Eocretáceo e que provocaram a abertura do Atlântico, incluindo aqueles transcorridos desde o Cretáceo até o Holoceno.

A PCRS formou-se durante o Quaternário, a partir do desenvolvimento de um amplo sistema de leques aluviais, na parte mais interna, e o acréscimo de quatro sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira (Villwock, 1984; Villwock & Tomazelli, 1995; Tomazelli & Villwock, 2000). O mais recente, denominado Sistema Laguna-Barreira IV, está relacionado ao estágio isotópico do oxigênio 1, no contexto da última transgressão marinha, que atingiu seu máximo em torno de 5.100 AP (Fig. 4.2). De acordo com Tomazelli & Villwock (1991), o desenvolvimento gradual de uma barreira arenosa a partir daquele momento foi o responsável pelo isolamento dos terrenos continentais pleistocênicos do mar, que determinou um sistema deposicional intrincado composto por diversos ambientes, em especial os lagunares, cuja distribuição espacial variou ao longo destes últimos 5.100 anos, devido principalmente a flutuações relativas do nível do mar.

Neste estudo, a denominação de Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul (PCNRS), corresponde à porção delimitada à oeste pela escarpa da Serra Geral, à leste pelo Oceano Atlântico, ao norte pelo município de Torres e, ao sul, pelo município de Tramandaí (Fig. 4.1). Esta região é caracterizada por uma sequência de cordões sedimentares longitudinais, paralelos à costa, em direção à Serra Geral, onde na interface terra-mar, encontram-se dunas primárias, secundárias e terciárias, seguidas de uma faixa de lagoas (Pedrozo & Rocha, 2007) (Fig. 4.1).

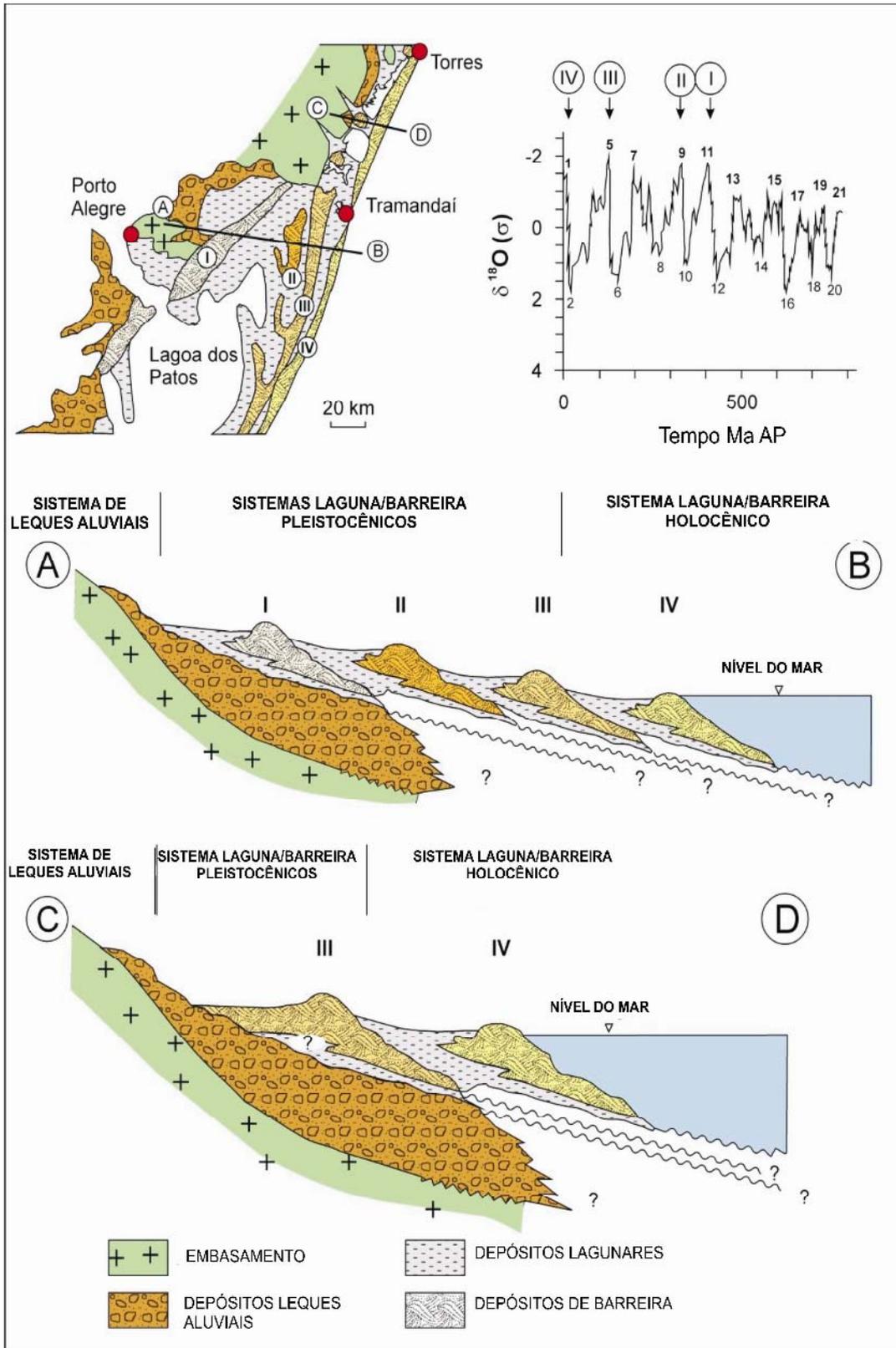


Figura 4.2 – Perfis esquemáticos transversais dos Sistemas Laguna/Barreira (modificado de Tomazelli & Villwock, 2000).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, tal qual Tomazelli & Villwock (1991), utilizar-se-á o termo “lagoa” como referência de forma geral aos complexos lênticos desconsiderando suas dimensões, grau de afastamento ou ligação com o mar. “Laguna” será empregado para indicar lagoas conectadas com o mar por meio de canais e, finalmente, “lago” denominará as lagoas costeiras que não possuem conexão direta com o mar.

As lagoas da PCNRS, em sua maioria, se interconectam por meio de canais meandantes interlagunares cuja drenagem escoam no sentido da laguna de Tramandaí (Fig. 4.1). O crescimento de pontais com direção NW-SE, que segmentam total ou parcialmente os corpos lagunares, constituem-se de cristais de praias lagunares resultantes da ação do vento dominante (NE) que atinge a superfície dos lagos. Ondas e correntes, originárias da ação deste vento, transportam o material arenoso na direção SE formando as cristas, que se desenvolvem perpendicularmente à direção dominante do vento (Tomazelli & Villwock, 1991).

Conforme é visualizado na figura 4.1, as lagoas Pinguela, Palmital e Malvas não se apresentam segmentadas e podem ser consideradas como um único ambiente. Por este motivo, Machado (2001) denominou estes corpos hídricos de “Sistema Pinguela-Palmital-Malvas”, com área superficial de 50,07km<sup>2</sup>, profundidade máxima de 3,80 m e profundidade média de 1,78m.

Além dos canais meandantes interlagunares, os rios Maquiné e o Três Forquilhas, que possuem suas cabeceiras nos vales da Serra Geral, exercem importante influência sobre a dinâmica dos lagos costeiros.

Tanto o rio Maquiné como o Três Forquilhas são marcados por um componente hidrológico bastante variável que repercute nas características dos corpos lagunares existentes ao norte de Tramandaí, para onde escoam suas águas. Mesmo nos períodos de pluviosidade normal, as precipitações nas áreas drenadas por estes rios alcançam valores relativamente elevados, devido, em grande parte, ao efeito de “barreira” ocasionado pela escarpa da Serra Geral na condensação das massas de ar provenientes do mar (Hasenack & Ferraro, 1989).

As lagoas costeiras no Rio Grande do Sul são polimíticas, já que não há estratificação térmica devido à contínua circulação da água causada pelo vento. Desta maneira, esta mistura diária das massas d’água produzem elevada turbidez (Schwarzbold & Schäfer, 1984). Pedrozo & Rocha (2007) detectaram um aumento dos valores deste parâmetro para o Sistema Pinguela-Palmital-Malvas como consequência da alta

concentração de matéria inorgânica suspensa, devido à movimentação dos sedimentos provocada pelos fortes ventos. A estes mesmos ventos foi atribuído o aumento de concentração de sólidos orgânicos e inorgânicos suspensos durante inverno neste sistema.

Os valores médios de pH para todos os sistemas costeiros da região de Tramandaí-Osório estão próximos à neutralidade (Fonseca, 1989). No Sistema Pinguela-Palmital-Malvas, já foram registrados índices de pH que oscilaram de 6,6 a 8,0 (Salomoni & Schwarzold, 2004; Pedrozo & Rocha, 2007).

A salinidade exerce influência em duas regiões lacustres. Em Tramandaí, as lagoas de Tramandaí e Armazém, e as lagoas Custódias e Gentil, sofrem processos de mistura de águas continentais com as do mar. Lira *et al.* (1976) ao fazerem medições de condutividade elétrica específica na barra da Laguna de Tramandaí, constataram a formação de cunhas salinas. Alvarez (1981) ao fazer medições nos mesmos pontos, constatou condições de maior homogeneidade, apesar de se manifestar uma nítida separação mais junto ao mar, também característica de cunha salina.

Chomenko (1981) fez estudos detalhados no mesmo local, em perfis diários, tendo obtido valores entre 4.800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 41 mil  $\mu\text{S}/\text{cm}$  de condutividade (...) concluindo tratar-se de um estuário de tipo misto, de acordo com a classificação de Pritchard (*in* Chomenko, 1981).

[...] Chomemnko (1981), ainda realizou medidas em uma série de lagoas do litoral Norte da Planície Costeira, constatando valores de salinidade inferiores a 1.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , classificando-as como tipos de água doce, com eventual mistura de água salobra em algumas delas (Schwarzbold, 1982).

Salomoni & Schwarzold (2004) detectaram, no corpo lacustre em questão, valores de condutividade variando de 56 e 84  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Mais tarde, Pedrozo & Rocha (2007) registraram índices na faixa de 54,1 a 73,5  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  para o mesmo ambiente. No que se refere aos nutrientes, a concentração de fósforo total mais alta foi de 211  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (Salomoni & Schwarzold, 2004), enquanto o nitrogênio amoniacal alcançou o patamar de 210  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  (Pedrozo & Rocha, 2007).

Segundo Schwarzbold & Schäfer (1984), o clima da região é do tipo Cfa ou subtropical úmido, na classificação de Köppen, com distribuição de chuva o ano inteiro, verão quente e inverno frio. A região, que está sob a influência das massas de ar originadas no Anticiclone do Atlântico e no Anticiclone Migratório Polar, possui uma média anual de temperatura de 17,6 °C e uma precipitação anual de 1.300mm (Moreno, 1961).

## 5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS DIATOMÁCEAS

Diatomáceas são algas unicelulares microscópicas (1-1000  $\mu\text{m}$ ) com pigmentos fotossintetizantes de coloração marrom-dourada e parede celular silificada formando a **frústula**, que compreende duas valvas, uma se sobrepondo à outra, como a tampa de uma caixa (Fig. 5.1.1) (Kennington, 2002; Armstrong & Brasier, 2005). Esta última característica deu origem a palavra “diatomácea” que significa “dividido em dois” (Stoermer & Julius, 2003). Este termo foi utilizado pela primeira vez em 1786 por O. F. Müller no tratado “*Infusoria fluviaillia et marina*,” e adotado em 1824 na obra de C.A. Agardh, poucos anos depois de L. Nitzsch criar para o mesmo grupo de organismos, em 1817, o nome “bacillarie”. Possivelmente devido à similaridade dos termos “bacillae” e “bacterae”, o epíteto “diatomáceas” passou a se consagrar na literatura, ainda que outros tenham empregado “diatomáceas” e “bacillariae” como sinônimos por um longo período (Werner, 1977).

A literatura indica que a diversidade de espécies é relativamente expressiva. Tappan & Loeblich (1973) estimaram a existência de cerca de 5.000 espécies, enquanto que para Guillard & Kilham (1977) este número poderia alcançar  $10^4$ . Mann & Droop (1996) afirmam que esta avaliação pode chegar a  $10^5$  pela aplicação dos conceitos modernos de espécie. Mesmo em regiões geograficamente mais restritas, esta diversidade é comprovada, a exemplo de sistemas lacustres do norte da Europa, onde mais de 800 táxons foram identificados em apenas três lagos (Lange-Bertalot & Metzeltin, 1996).

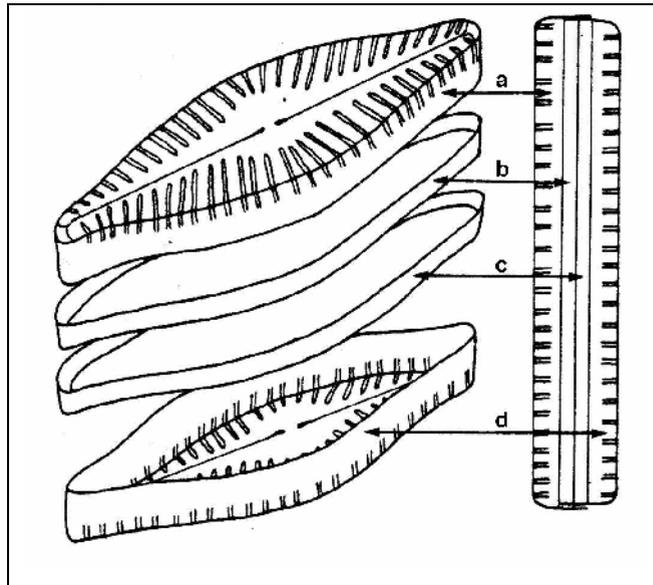


Figura 5.1.1 - Componentes da frústula de uma diatomácea. (a) epivalva; (b, c) Cintura constituída de duas bandas intercalares; (d) hipovalva. O esquema à esquerda encontra-se em vista valvar oblíqua. O esquema à direita encontra-se em vista pleural (modificado de Rumeau & Coste, 1988).

No início do século XIX, houve intenso debate referente à colocação das diatomáceas no Reino Animal ou Vegetal, devido à presença simultânea de cloroplastos e movimento. Atualmente, elas são agrupadas com outros organismos eucariontes unicelulares no Reino Protista (Van de Hoek *et al.*, 1995). Embora as características da célula vivente tenham sido incluídas nos primeiros esquemas de classificação de diatomáceas, na virada do século XIX, os diatomólogos desenvolveram um sistema de classificação quase que inteiramente baseado na forma, simetria e ornamentação da frústula. Estas ornamentações tornaram-se visíveis apenas após a limpeza do material, procedimento que geralmente consiste na oxidação da matéria orgânica (Battarbee *et al.*, 2001). Hustedt (1930) deu ao grupo o estatus de divisão, BACILLARIOPHYTA, enquanto que Hendey (1964) considerou as diatomáceas como uma classe dentro de CHRYSOPHYTA. Cavalier-Smith (1993) colocou as diatomáceas no reino CHROMISTA, baseando-se na localização dos cloroplastos no lúmen do retículo endoplasmático.

O advento da microscopia eletrônica revelou detalhes muito mais finos da parede celular, como a importância dos processos (Hasle, 1977), o que levou a refinamentos que permitiram a utilização de um espectro de características ultraestruturais mais amplo para o uso na identificação, e conseqüente proposição de novos esquemas de classificação, como os de Simonsen (1979), que em essência era similar ao de Hendey (1964), ou o de Round *et al.* (1990) resumido na tabela 5.1.1. Estudos recentes enfatizam o material vivo (Cox, 1996) e técnicas moleculares (Medlin *et al.*, 1993), ao demonstrarem erros e fraquezas dos sistemas

prévios que levam à criação de novos gêneros e ao restabelecimento de outros (Battarbee *et al.*, 2001). Com o desenvolvimento destes novos métodos, que tornaram possíveis a obtenção de dados adicionais sobre a evolução dos diferentes grupos de algas, Van de Hoek *et al.* (1995) propuseram um esquema filogenético para as algas incluindo onze divisões e 30 classes, em que agruparam as diatomáceas na divisão HETEROKONTOPHYTA, classe BACILLARIOPHYCEAE. Apesar de constituir um grande avanço, o sistema desenvolvido por esses autores encontra-se aberto no que diz respeito à classificação dos gêneros, tarefa que tem sido realizada aos poucos e que deverá estar concluída dentro de dez a 15 anos (Bicudo & Menezes, 2005), o que ainda justifica a adoção do sistema de Round *et al.* (1990) (Tabela 5.1.1).

De forma geral, as diatomáceas podem ser divididas em dois grupos morfológicos: cêntricas (ou radiais) e penadas (ou bipolares), o que não é, contudo, uma divisão estrita, já que existem algumas formas penadas arredondadas e formas cêntricas bipolares (Kennigton, 2002).

Tabela 5.1.1 - Resumo da classificação sistemática das diatomáceas segundo Round *et al.* (1990).

Divisão	Classe	Ordem	Forma
BACILLARIOPHYTA	COSCINODISCOPHYCEAE	THALASSIOSIRALES Glezer & Makarova	cêntricas/radiais
		CHRYSATHEMODISCALES Round	
		MELOSIRALES Crawford	
		PARALIALES Crawford	
		AULACOSEIRALES Crawford	
		ORTHOSEIRALES Crawford	
		COSCINODISCALES Round & Crawford	
		ETHMODISCALES Round	
		STICTOCYCLALES Round	
		ASTEROLAMPRALES Round & Crawford	
		ARACHNOIDISCALES Round	
		STICTODISCALES Round & Crawford	
		TRICERATIALES Round & Crawford	
		BIDDULPHIALES Kreiger	
		HEMIAULALES Round & Crawford	
		ANUALES Round & Crawford	
		LITHODESMIALES Round & Crawford	
		CORETHRALES Round & Crawford	
		CYMATOSIRALES Round & Crawford	
		RHIZOSOLENIALES Silva	
		CHAETOCEROTALES Round & Crawford	
	LEPTOCYLINDRALES Round & Crawford		
	FRAGILARIOPHYCIDADE	FRAGILARIALES Silva	penadas/bipolares
	TABELLARIALES Round		
	LICMOPHORALES Round		
	RHAPHONEIDALES Round		
	ARDISSONEALES Round		
	TOXARIALES Round		
	THALASSIONEMATALES Round		
	RHABDONEMATALES Round & Crawford		
	STRIATELLALES Round		
	CYCLOPHORALES Round & Crawford		
	CLIMACOSPHENIALES Round		
PROTORAPHIDALES Round			
BACILLARIOPHYCEAE	EUNOTIALES Silva		
LYRELLALES Silva			
MASTOGLOIALES D. G. Mann			
DICTYONEIDALES D. G. Mann			
CYMBELLALES D. G. Mann			
ACHNANTHALES Silva			
NAVICULALES Bessey			
THALASSIOPHYSALES D. G. Mann			
BACCILARIALES Hendey			
RHOPALODIALES D. G. Mann			
SURIRELLALES D. G. Mann			

### 5.1.1 Morfologia das diatomáceas penadas (bipolares)

A frústula das diatomáceas é composta por cerca de 95% de sílica opalina (Armstrong & Brasier, 2005), e apresenta-se frequentemente muito ornamentada. A taxonomia em nível de gênero, espécie e variedade está baseada nos seus intrincados detalhes (Fig. 5.1.2), a maioria dos quais somente visualizados via microscopia óptica e eletrônica (Barber & Haworth, 1981; Battarbee *et al.*, 2001).

A superfície valvar da diatomácea é coberta por pequenos **poros** ou **aréolas**, cujo arranjo é critério diagnóstico para a identificação dos táxons. Estas estruturas permitem a conexão entre o citoplasma e o ambiente externo. O poro é uma simples perfuração da parede, enquanto que a aréola apresenta **membrana crivada** (Fig. 5.1.2d). O arranjo das aréolas ou poros em linhas dá origem às **estrias**, usualmente separadas por pontes imperfuradas denominadas **costelas** (Armstrong & Brasier, 2005). A densidade das estrias geralmente se mantém em uma espécie, o que lhe confere característica diagnóstica. Ela é geralmente expressa como número de estrias/10  $\mu\text{m}$  ao longo do comprimento da célula nas espécies penadas, e ao longo da tangente e no centro das formas cêntricas (Battarbee *et al.*, 2001).

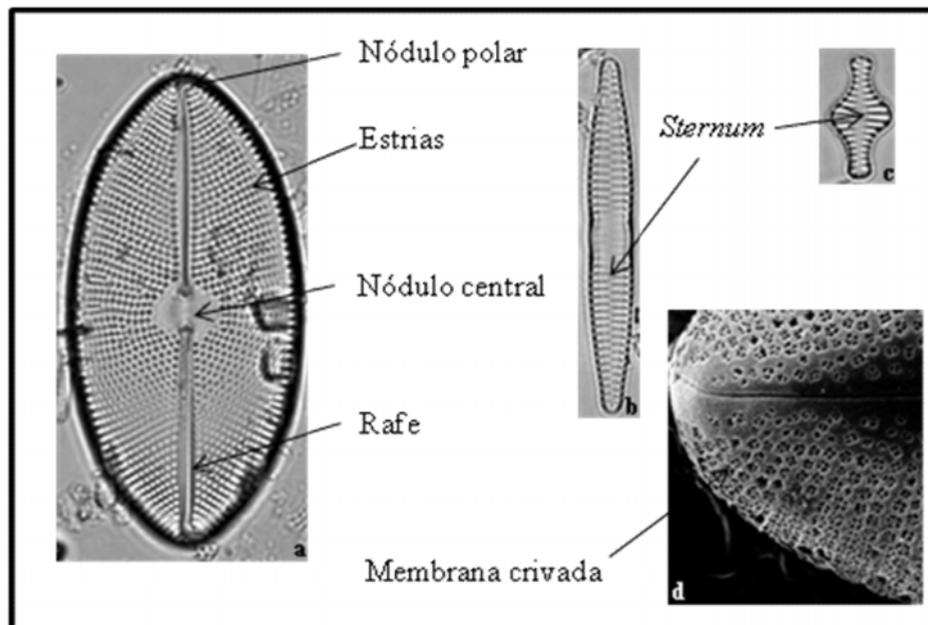


Figura 5.1.2 - Componentes principais das frústulas das diatomáceas penadas: (a) *Placoneis*; (b) *Fragilaria*; (c) *Staurosira*; (d) *Diploneis*.

No ápice das células bi ou multipolares, pode haver um grupo de poros cercados por um discreto anel de sílica, chamando de **ocelo**, como em *Pleurosira* (Ross & Sims, 1972). As áreas destes finos poros

que não estão tão obviamente demarcadas, mas graduam em relação às aréolas da face valvar são denominadas **pseudocelo**, como em *Isthmia*. Estas áreas de poros especializados são encontradas em todos os principais grupos de diatomáceas, embora ocelos verdadeiros sejam aparentemente ausentes nos gêneros com rafe. A área de pequenos poros nos ápices das penadas são chamadas de **campos de poro apical** (Round *et al.*, 1990). Em todos os casos, estas áreas diferenciais estão claramente envolvidas na secreção de mucilagem, que dão origem aos pedúnculos ou almofadas para fixação das espécies bentônicas e ticoplanctônicas a seus respectivos substratos.

As valvas possuem várias formas (elíptica, lanceolada, ovais, etc.) em vista valvar e, geralmente, retangular em vista pleural, com esculturas bilateralmente simétricas em relação a uma linha central. Em muitas diatomáceas, esta linha central é uma ranhura longitudinal que percorre o eixo axial da valva e recebe o nome de **rafe** (Fig. 5.1.2a) (Armstrong & Brasier, 2005). A rafe raramente é uma simples fenda, apresentando-se como um encaixe em cunha quando observada em secção (Fig. 5.1.3a), e tem sido sugerido que esta estruturação é um artifício para prevenir a divisão longitudinal da célula sob turgor (Round *et al.*, 1990). Outra função da rafe está relacionada com a movimentação, pois é através dela que ocorre eliminação de mucilagem (polissacarídeos) produzida pela célula e que promove o deslize das valvas sobre o substrato (Armstrong & Brasier, 2005).

Existem dois tipos, a rafe **naviculóide** e de **canal**. A naviculóide (Fig. 5.1.2a) corre ao longo do eixo central da valva, em apenas uma das tecas em alguns gêneros (espécies **monorrafídicas**), mas normalmente nas duas (espécies **birrafídicas**) (Battarbee *et al.*, 2001). Um **nódulo central** no ponto médio da face valvar divide a rafe em duas, e **nódulos polares** similares podem ocorrer nas extremidades (Fig. 5.1.2a) (Armstrong & Brasier, 2005).

A rafe de canal ou **fibulada** é uma passagem tubular situada marginalmente ao longo da parte de dentro da valva, sustentada internamente por pontes de sílica conhecidos por **fibulas**. Como efeito, dá origem a um canal embaixo da rafe, o qual é parcialmente separado do resto do lúmen celular, denominado **canal da rafe** (Fig. 5.1.3) (Round *et al.*, 1990).

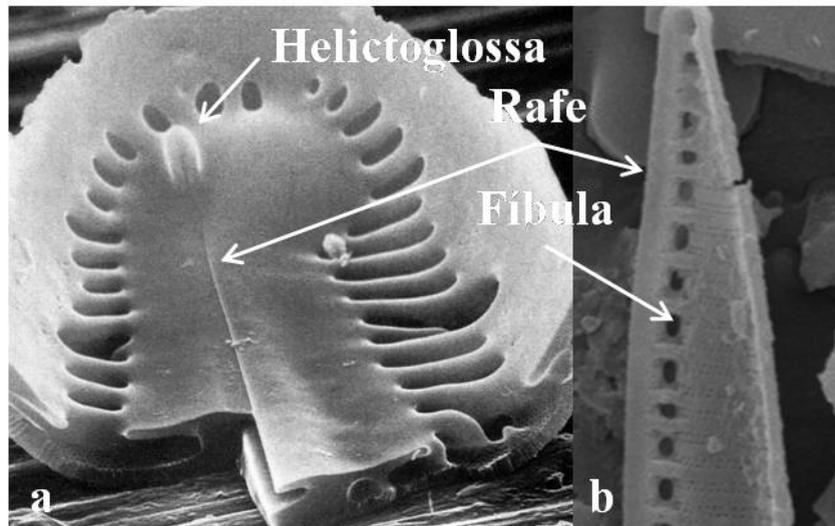


Figura 5.1.3 - (a) Detalhe do encaixe em cunha da rafe e da helictoglossa em *Pinnularia*. (b) Fíbulas em *Nitzschia*. (a) modificado de Round *et al.*, 1990.

As formas das terminações da rafe na área central e ápices possuem valor taxonômico (Fig. 5.1.4). No ponto distal de cada ranhura, existe uma estrutura chamada **helictoglossa** (Fig. 5.1.3a) (Mann, 1997; Cox, 1977). A helictoglossa varia pouco no formato, mas pode mudar no tamanho (Round *et al.*, 1990). O canal da rafe pode continuar por alguma distância na parte externa da valva além da posição da helictoglossa, originando uma ranhura cega usualmente denominada **fissura terminal** (Fig. 5.1.4a-h).

As **terminações centrais** externas da rafe também são muito variadas (Fig. 5.1.4i-t). Quando presentes, podem se voltar em direção ao mesmo lado da valva, como em algumas de *Pinnularia*, ou para lados opostos, como em alguns *Neidium*.

Existem ainda diatomáceas penadas, que não possuem rafe (espécies **arrafídeas**), mas apenas algo similar, ou seja, uma área silicificada livre de aréolas chamada **sternum** (termo do latim sem tradução para a língua portuguesa) (Fig. 5.1.2b,c). Vale destacar que, nas espécies monorrafídicas, uma rafe está presente na hipovalva e uma pseudorafe na epivalva (Armstrong & Brasier, 2005).

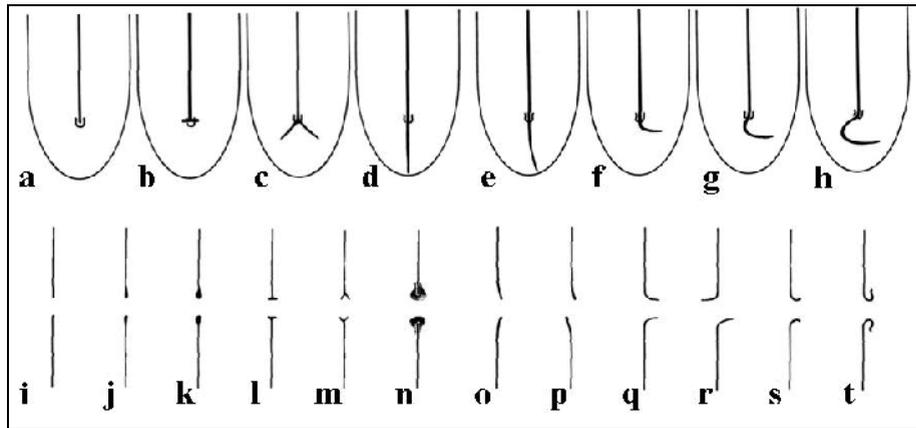


Figura 5.1.4 - Esquemas representando tipos de fissuras terminais (a-h) e terminações centrais (i-t). Fissuras terminais (o “u” indica a posição da helictoglossa): (a) ausente; (b) transversa; (c) dupla; (d) reta; (e) levemente flexionada; (f) curvada; (g) enganchada; (h) fortemente enganchada. Terminações centrais: (i) reta simples; (j) reta, levemente expandida; (k) reta expandida e forma de poro; (l) em forma de “t”; (m) bifurcado; (n) reta, aberta em um sulco em forma de espátula; (o, p) flexionada para mesma direção ou em direção opostas; (q, r) curvada para a mesma direção ou em direção opostas; (s) enganchada; (t) fortemente enganchada (modificado de Round *et al.*, 1990).

Além das valvas, outro importante componente da frústula das diatomáceas é a **cintura**, que compreende uma série múltipla ou simples de **bandas intercalares**, formadas durante o processo de divisão celular, que permitem o desenvolvimento interno das células-filha (Fig. 5.1.1b, c; 5.1.5a, b, c) (Battarbee *et al.*, 2001). As principais funções da cintura são de encerrar e proteger a célula, e ao mesmo tempo acomodar o aumento do volume durante seu desenvolvimento. Existem três tipos principais desta estrutura: segmentado, anel rompido e anel fechado. O tipo segmentado (Fig. 5.1.5a,b) é encontrado, por exemplo, em *Stephanopyxis* e pode ser uma condição primitiva (Round & Crawford, 1981). Cada elemento da cintura é curto e alguns ocupam apenas uma fração da circunferência. Nos anéis rompidos ou abertos (Fig. 5.1.5c) as divisões das faixas adjacentes estão quase ou, como na maioria das espécies penadas, afastadas exatamente a 180°, e cada divisão é fechada por uma seção em forma de língua (**lígula**) da banda abvalvar adjacente (mais jovem). Algumas vezes, esta não preenche completamente o buraco, e o remanescente é fechado por uma pequena projeção (**anti-lígula**) na banda advalvar adjacente (mais velha). Anéis completos em torno de toda a célula são menos comuns (Fig. 5.1.5d). Eles ocorrem nas Biddulphiales, *e.g.* em *Hydrosera* e *Isthmia*; em *Climacosphenia* e *Rhabdonema* entre outras formas sem rafe; e em algumas diatomáceas com rafe, *e.g.* algumas populações de *Hantzchia marina* e *H. amphioxys*. O conjunto de bandas recebe a denominação de **pleura** (daí o porquê de ser a **vista pleural** aquela em que o observador visualiza apenas a cintura das

espécies, como na figura 5.1.1). A faixa próxima a valva, quando diferente das demais, denomina-se **valvocópula** (Round *et al.*, 1990).

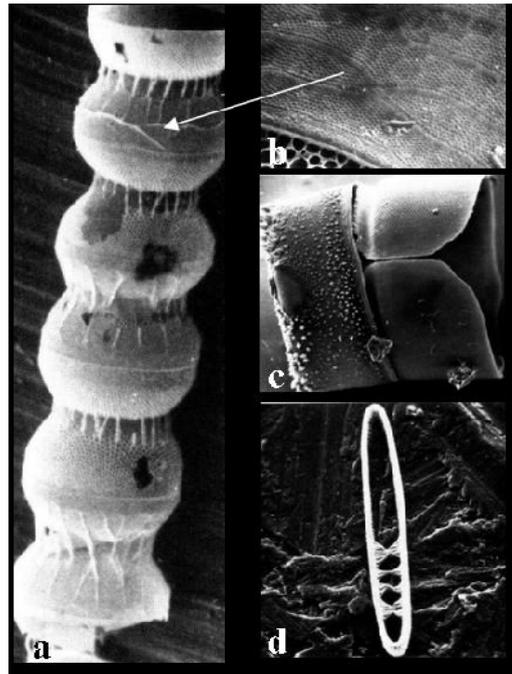


Figura 5.1.5 - Principais tipos de cinturas. (a) Tipo segmentado em *Stephanopyxis*; (b) Detalhe da segmentação da cintura de *Stephanopyxis*; (c) Tipo anel rompido em *Pleurosira*; (d) Tipo anel fechado em *Rhabdonema* (modificado de Round *et al.*, 1990).

### 5.1.2 Morfologia das diatomáceas cêntricas (radiais)

As diatomáceas cêntricas são caracterizadas pela simetria focada em um ponto (radial) (Fig. 5.1.6a, b, d, f), circulares, triangulares ou quadradas na vista valvar, e retangulares ou ovais em vista pleural. A maioria delas é planctônica e não móvel, e nenhuma possui rafe e *sternum* (Armstrong & Brasier, 2005). Há uma vantagem seletiva em possuir um formato circular, visto que isto oferece uma relação superfície/volume relativamente superior se comparado com as formas penadas, o que auxilia na redução das taxas de afundamento (Kennington, 2002).

As espécies cêntricas são mais comuns em ambiente marinho. Com base nas evidências morfológicas e filogenéticas disponíveis, parece que a maioria dos gêneros dulcícolas são derivados de múltiplas transgressões marinhas (Stoermer & Julius, 2003).

Diatomáceas cêntricas possuem algumas características taxonômicas compartilhadas com as formas penadas, tais como aréolas, estrias, cintura, ocelo e pseudocelo, além da presença de pequenas aberturas em formato de tubo ou saco na superfície valvar conhecidas como *fultoportulae* e *rimoportulae*, respectivamente (Fig. 5.1.6a-g) (Kennington, 2002). Estas últimas estruturas são geralmente difíceis de se observar na microscopia óptica, mas são muito proeminentes nas imagens internas de microscopia eletrônica de varredura. As *rimoportulae* (Fig. 5.1.6f-h) podem existir também nas espécies penadas arrafídeas e naquelas que possuem rafe rudimentar, como *Eunotia*. A posição e o número de *rimoportulae* e *fultoportulae* variam conforme gêneros e espécies.

A função, ou funções, da *rimoportulae* não é conhecida com certeza, embora ela deva servir como um ponto de ancoragem para a morfogênese valvar e, possivelmente, faça parte da recuperação de estruturas orgânicas deixadas fora da valva recém formada (Stoermer & Julius, 2003). *Rimoportulae* foram associadas ao deslocamento de *Actinocyclus* (Andersen *et al.*, 1986) e *Odontella* (Picket-Heaps *et al.*, 1986) – únicas diatomáceas cêntricas em que se provou algum poder de movimento (Round *et al.*, 1990).

A *fultoportulae* (Fig. 5.1.6a-c), restrita à ordem Thalassiosirales, possui uma estrutura interna um pouco mais complexa, já que ali não encontra apenas a abertura interna do tubo, mas também de dois a cinco orifícios ou fendas satélites (Fig. 5.1.6c), que se abrem como passagem que conecta o interior da célula com o tubo central. O funcionamento desta organela ainda não foi completamente elucidado, mas em algumas espécies de *Cyclotella* e *Thalassiosira*, a *fultoportulae* está claramente envolvida na secreção de quitina (Herth, 1978, 1979; Herth & Bartholot, 1979). Para Round *et al.* (1990), ela também pode ser o ponto de saída para outros compostos produzidos na célula. Schmid (1984) sugeriu que a *fultoportula* também atue como pontos de ancoragem para o protoplasma, especialmente durante a morfogênese.

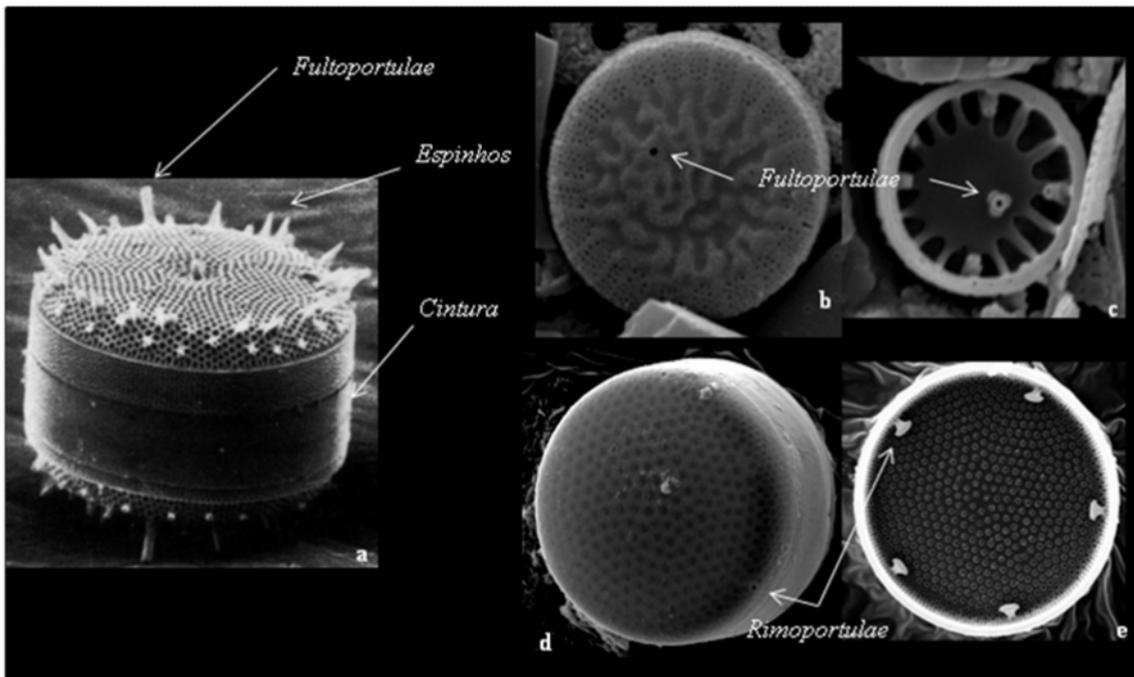


Figura 5.1.6 - Componentes principais das frústulas das diatomáceas cêntricas e rimoportula em espécie penada. (a) *Thalassiosira*, modificado de Round *et al.*, 1990; (b) vista externa de *Cyclotella*; (c) vista interna de *Cyclotella*; (d) vista externa de *Actinocyclus*; (e) vista interna de *Actinocyclus*.

As diatomáceas cêntricas geralmente apresentam espinhos marginais altamente desenvolvidos (*Aulacoseira*, *Ellerbeckia* e *Orthoseira*) e/ou estruturas associadas com secreções na superfície da valva (*Melosira*), que reúnem as células em colônias (Fig. 5.1.7a,c). Em *Aulacoseira* as células estão unidas por espinhos de ligação, mas algumas espécies possuem espinhos mais longos nas valvas de separação (Siver & Kling, 1997), que aparentemente servem como limite do crescimento da colônia, com efeitos diretos nas taxas de afundamento (Fig. 5.1.7b) (Stoermer & Julius, 2003).

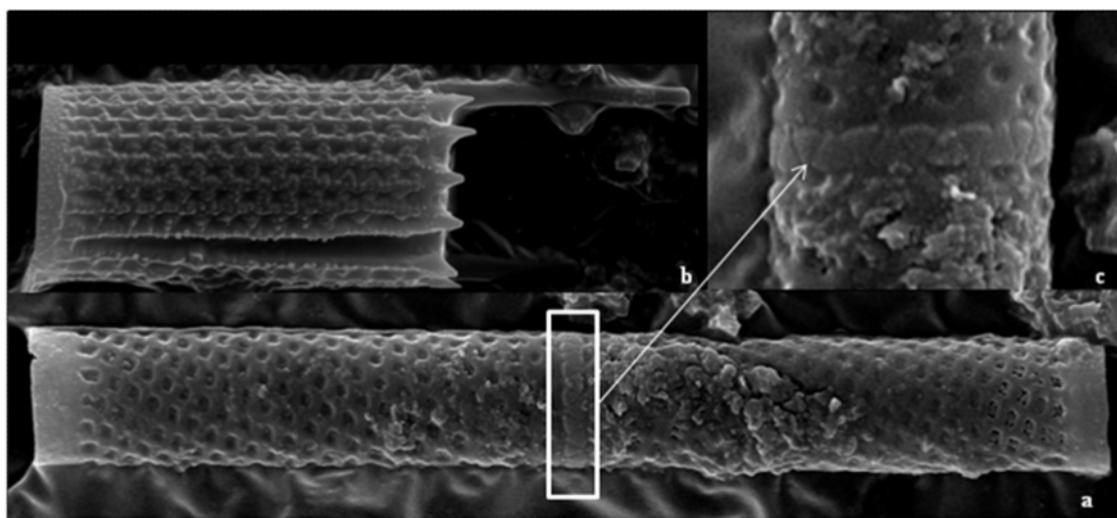


Figura 5.1.7 – *Aulacoseira* spp. (a,c) espinhos marginais unindo células; (b) valva de separação.

### 5.1.3 Reprodução e a Lei de MacDonald-Pfitzer

Na divisão celular vegetativa, cada célula-filha recebe uma metade da frústula da célula de origem para em seguida dar início à construção da outra parte. Logo, uma das células resultante será obrigatoriamente menor do que a célula parental (Fig. 5.1.8), o que diminui o tamanho da população após uma série de divisões celulares. Este decréscimo é acompanhado por alterações do contorno da valva e, menos frequentemente, das ornamentações (Fig. 5.1.9) (Stoermer & Ladeuski, 1982; Stoermer *et al.*, 1986).

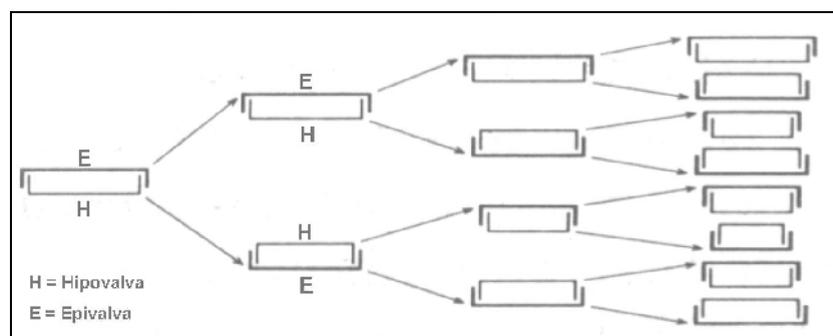


Figura 5.1.8 - Esquema representando a reprodução vegetativa em diatomáceas. (modificado de Van de Hoek *et al.*, 1995).

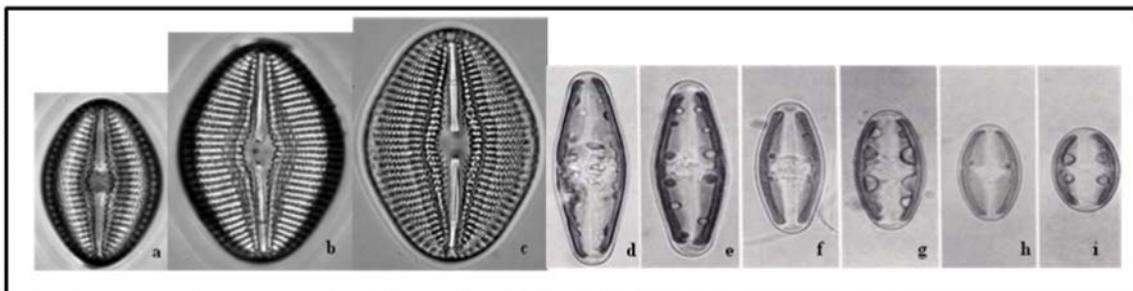


Figura 5.1.9 - Redução de tamanho e alterações morfológicas decorrentes da reprodução assexuada em diatomáceas. (a-c) valvas oxidadas de *Diploneis smithii*; (d-i) frústula vivente de *Navicula reinhardtii*. (modificado de Kelly *et al.*, 2005)

Devido à rigidez conferida pela parede celular, fruto de sua composição silicosa, uma célula que tenha passado pela reprodução assexuada torna-se inflexível, não podendo mudar de tamanho ou formato (Stoermer & Julius, 2003). O volume só é restabelecido via reprodução sexuada, que é ativada quando a população decresce até um nível crítico, geralmente 30% da dimensão original. O ciclo sexual das diatomáceas é gamético, como nos animais e em certas algas marinhas pardas e verdes. Quando a reprodução

sexuada ocorre nas diatomáceas cêntricas ela é oogâmica. Os gametas masculinos, que podem ter um único flagelo, são as únicas células flageladas do ciclo de vida das diatomáceas. Nas diatomáceas penadas, a reprodução sexuada é isogâmica e os gametas masculinos e femininos são aflagelados. Os dois tipos de reprodução sexuada resultam em frústulas vazias que prontamente sedimentam (Raven *et al.*, 2001).

Este processo de redução e restabelecimento de tamanho foi reportado de forma independente por Macdonald (1869) e por Pfitzer (1869) e subsequentemente passou a ser conhecido com a Lei de Macdonald-Pfitzer.

Em condições desfavoráveis, tais como baixos níveis de nutrientes, as diatomáceas podem formar estádios de resistência (esporos) (Raven *et al.*, 2001). Porém, isto é mais comum nas espécies marinhas (Edlund & Stoermer, 1993; Edlund *et al.*, 1996). Estas células de repouso tem frústulas pesadas que se depositam rapidamente no fundo, de onde germinarão assim que as condições voltarem a ser favoráveis (Raven *et al.*, 2001). Para Stoermer & Julius (2003), a formação de esporos parece ser uma condição primitiva, menos comum em água doce.

#### **5.1.4 Habitat e forma de vida**

No que diz respeito ao habitat, e conseqüentemente à forma de vida, as diatomáceas podem ser divididas em duas categorias principais: as pelágicas (flutuantes) e as bentônicas/perifíticas (aderidas ou associadas ao substrato). As diatomáceas bentônicas podem ser subdivididas em epipélicas (formas móveis que vivem entre ou sobre o sedimento fino, como argilas), epipsâmicas (aderidas às partículas de areia), epifíticas (que vivem fixadas em plantas), metafíticas (fracamente aderidas ao substrato via tubos ou pedúnculos de mucilagem), epilíticas (aderidas às superfícies rochosas), epibiônicas (aderidas a animais), relacionados ao gelo e simbiônicas. As formas pelágicas, ou planctônicas, separam-se apenas em euplanctônicas (de ocorrência restrita ao plâncton), ticoplanctônicas (encontradas frequentemente na coluna d'água, mas que também estão relacionadas com outros ambientes, como nos habitats perifíticos) e meroplanctônicas (observadas no plâncton apenas durante parte de seu ciclo de vida) (Round, 1983).

### 5.1.5 História evolutiva

O mais antigo e inequívoco registro de frústulas de diatomáceas são formas cêntricas do Neo-Jurássico, embora pouquíssimos vestígios sejam conhecidos antes do Campaniano (Neo-Cretáceo) (Armstrong & Brasier, 2005). Entretanto, já que estas diatomáceas cretáceas ocorrem em assembleias que comportam numerosas espécies, é possível que tenham se desenvolvido com grande diversidade já no final do Paleozóico (Kennington, 2002). Seu ancestral pode ter sido uma crisófito silicosa, semelhante àquelas dos folhelhos Proterozóicos (Armstrong & Brasier, 2005). Como as diatomáceas radiais foram as primeiras a aparecer no registro fóssil, pode-se inferir, em primeira instância, sua maior antigüidade, o que pode não ser verdadeiro se levarmos em consideração a baixa preservação de depósitos continentais lacustres ao longo do tempo geológico em relação aos depósitos marinhos (Round, 1983).

As diatomáceas foram relativamente afetadas pelo evento de extinção ocorrido no limite Cretáceo-Terciário, apresentando apenas cerca de 23% de desaparecimento de táxons (Armstrong & Brasier, 2005). A maior abundância ocorre no Cenozóico (Fig. 5.1.10), Era em que se percebe uma clara expansão das formas cêntricas com um aumento bastante brusco de sua diversidade durante o Mioceno, quando chegam a duplicar o número de espécies, com posterior tendência de declínio a partir do Plioceno. Este aumento de diversidade no Mioceno também foi seguido pelas formas penadas, porém com menor intensidade (Arz *et al.*, 2002).

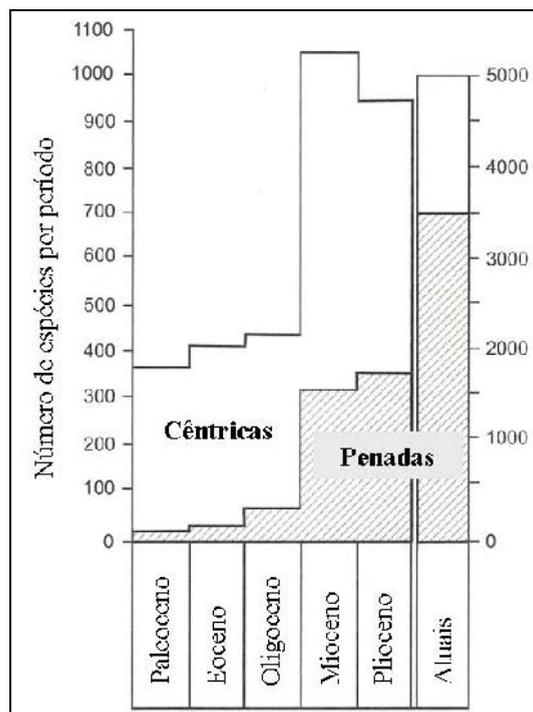


Figura 5.1.10 - Diversidade das diatomáceas (número de espécies) através do Terciário (modificado de Tappan & Loeblich, 1973).

As mais antigas espécies de água doce conhecidas eram bipolares, foram registradas na bacia de Paris e datam do Eoceno (Bignot, 1983). No Pleistoceno, as comunidades de diatomáceas já se mostram muito similares às atuais, com marcado incremento de abundância durante o máximo glacial em função do aumento dos níveis de nutrientes (Armstrong & Brasier, 2005). A figura 5.1.11 demonstra a distribuição estratigráfica e a abundância relativa de alguns gêneros comuns de diatomáceas.

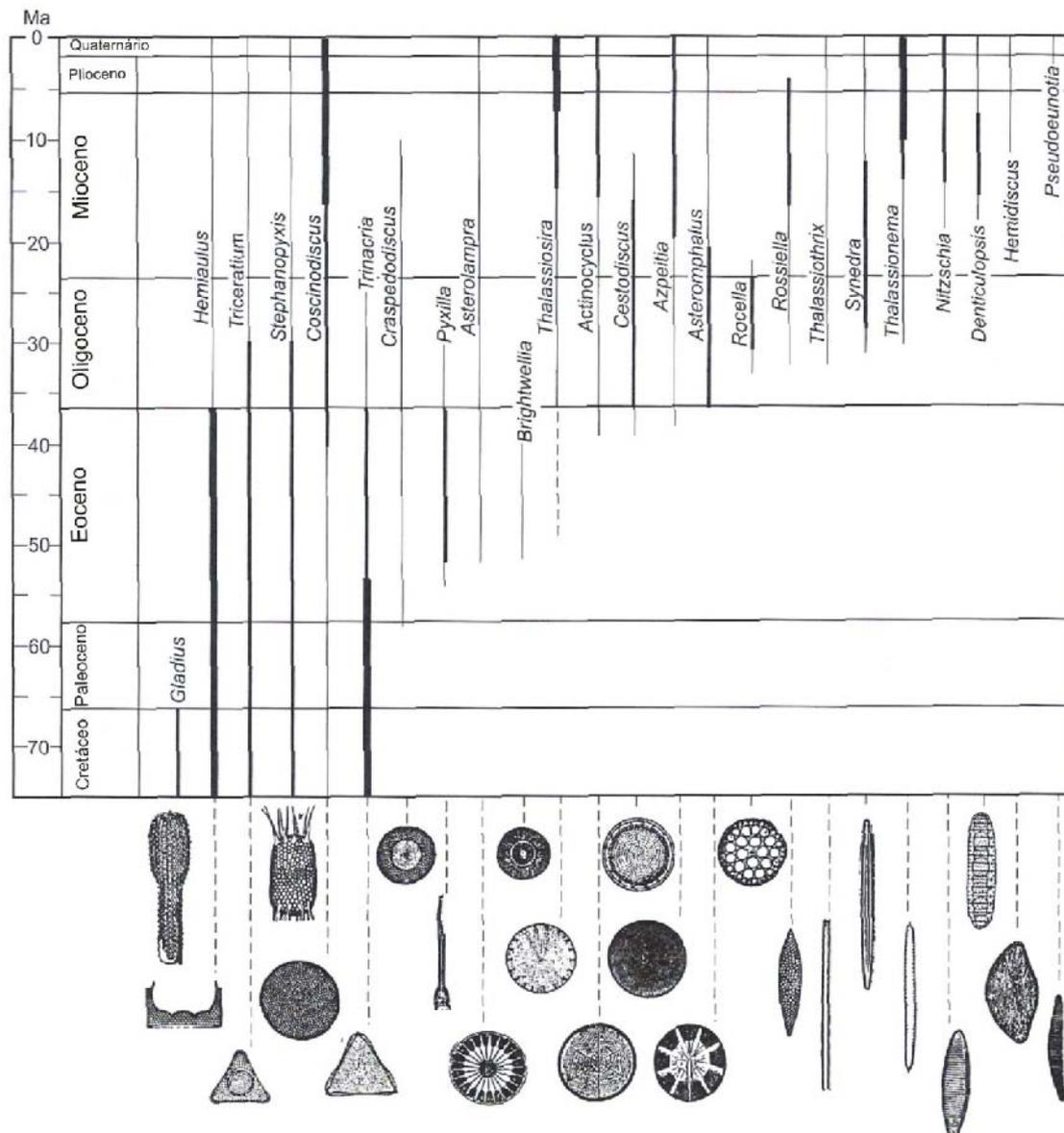


Figura 5.1.11 - Distribuição estratigráfica e abundância relativa de alguns gêneros de diatomáceas (modificado de Barron, 1993).

Antes do Oligoceno, as assembleias de diatomáceas foram dominadas por gêneros robustos como *Hemiaulus* (Fig. 5.1.11). A partir do Oligoceno, estas formas robustas foram progressivamente substituídas por gêneros mais finamente silicificados, como *Coscinodiscus* (Fig. 5.1.11) e *Thalassiosira* (Fig. 5.1.11). No Mioceno, muitas formas finamente silicificadas como *Nitzschia* (Fig. 5.1.11) e *Denticulopsis* (Fig. 5.1.11) mostraram-se abundantes. Formas muito delicadas pequenas e alongadas como *Chaetoceros* e *Skeletonema* dominam as florações nas modernas zonas costeiras de ressurgência. O alto número de espécies viventes reflete a contribuição oferecida por estas formas pequenas e pouco silicificadas com baixo potencial de preservação. Esta tendência na direção de formas menos silicificadas no Cenozóico é acompanhada pelo

resfriamento global, circulação mais vigorosa e elevação dos níveis de nutrientes. Portanto, parece que as diatomáceas, juntamente com os radiolários, se adaptaram ao aumento da competição pela sílica, cada vez mais escassa na superfície das águas, mediante redução de sua demanda por este elemento em seu esqueleto (Armstrong & Brasier, 2005).

## **5.2 APLICAÇÕES E POTENCIALIDADES DAS DIATOMÁCEAS EM ESTUDOS PALEOLIMNOLÓGICOS**

### **5.2.1 Diatomáceas e a reconstrução do pH em sedimentos límnicos**

No final dos anos 1960 e início da década de 70, a acidificação das águas superficiais lacustres tornou-se questão de importância internacional nas discussões que envolveram o meio ambiente. Cientistas escandinavos, ao tentarem compreender a razão do declínio dramático no estoque de certos peixes dos lagos suecos e noruegueses, notaram alterações de pH, inicialmente atribuídas à “chuva ácida”. Este fenômeno alterou o balanço entre espécies sensíveis e tolerantes à acidez em diferentes níveis tróficos (Jensen & Snekvik, 1972; Almer *et al.*, 1974). Quase ao mesmo tempo, situação similar também foi observada no Canadá (Beamish & Harvey, 1972). Por vários anos, seguiu-se um debate acalorado, e várias hipóteses foram levantadas, desde as causas naturais até à proposição de que as mudanças eram nada mais, nada menos do que a consequência de alterações no uso do solo na bacia hidrográfica (*e.g.*, resultado do processo de desflorestamento). Porém, não se sabia há quanto tempo estes eventos estavam afetando os sistemas, já que não haviam dados confiáveis e de longa data sobre o pH daqueles lagos. A solução óbvia passou a ser, então, a tentativa de reconstrução do pH, valendo-se do registro sedimentológico, onde as diatomáceas desempenharam papel primordial, na medida em que possibilitavam a inferência a respeito do tempo e extensão da acidificação (Battarbee *et al.*, 1990; Dixit *et al.*, 1992; Kennington, 2002; Battarbee *et al.*, 1999).

A forte relação entre a distribuição das diatomáceas e o pH tem sido reconhecida há muitas décadas. A primeira tentativa para se agrupar as diatomáceas de acordo com o pH foi apresentada por Hustedt em sua monografia sobre as diatomáceas de Java, Bali e Sumatra (Hustedt, 1937-1939). Após estudar mais de 650

amostras oriundas de uma ampla variedade de habitats, Hustedt sugeriu que estas poderiam ser classificadas nos seguintes grupos (Battarbee *et al.*, 1999):

- (i) Alcalibiônticas: espécies ocorrentes com valores de pH >7;
- (ii) Alcaliófilas: espécies ocorrentes com valores de pH em torno de 7, com sua maior abundância quando o pH >7;
- (iii) Indiferentes: espécies que ocorrem em todas as faixas de pH;
- (iv) Acidófilas: espécies ocorrentes com valores de pH em torno de 7, com sua maior distribuição quando o pH <7;
- (v) Acidobiônticas: espécies ocorrentes com valores de pH <7, mas com uma distribuição ótima em pH<5,5.

Nygaard (1956) tentou aprimorar o sistema de Hustedt ao introduzir o elemento quantitativo. Para tanto, em vez de considerar apenas as formas dominantes ou mais repetidas, ele incluiu todos os táxons, bem como suas frequências relativas, argumentando que as espécies raras poderiam ser tão informativas quanto as comuns. O autor categorizou seus táxons de acordo com as preferências de pH reportadas na literatura e, sob a premissa de que as espécies alcalinobiônticas e acidobiônticas eram indicadoras ecológicas mais precisas do que as acidófilas e alcalinófilas, sugeriu que os cálculos estatísticos deveriam receber maior importância, motivo que o levou a multiplicar suas frequências relativas pelo valor arbitrário cinco (Battarbee, 1986). Surgia assim o índice :

$$= [\% \text{ acidófilos} + 5 (\% \text{ acidobiônticos})] / [\% \text{ alcalinófilos} + 5 (\% \text{ alcalinobiônticos})]$$

O sistema de Nygaard ganhou popularidade devido ao trabalho de Meriläinen (1967), que testou sua aplicabilidade para os lagos da Finlândia. Este refinou o método, ao realizar suas medições apenas no outono, tornando os valores obtidos para cada lago comparáveis ao isolar a influência da sazonalidade (Battarbee, 1986).

Limitações a esta abordagem foram destacadas por Battarbee (1986), Battarbee *et al.* (2001) e Kennington (2002), e se fundamentaram, principalmente, nos argumentos expostos a seguir:

- (i) Qualquer interpretação das assembleias de diatomáceas requer uma avaliação precisa de amplitude e ótimo ambiental dos táxons de forma individual, e estas tolerâncias são frequentemente mal interpretadas, levando a uma má classificação das espécies dentro das classes de pH, o que se torna ainda mais crítico quando se outorga tamanho peso estatístico para as espécies acidobiônticas e alcalinobiônticas;
- (ii) A exclusão dos táxons indiferentes pode originar expressivas flutuações que não estão relacionadas com nenhuma alteração correspondente na natureza (Renberg, 1976).

Renberg & Hellberg (1982) propuseram o melhoramento do método visando evitar, principalmente, as oscilações de maior grau sem correspondência ambiental. Para tanto, incluíram as espécies indiferentes na equação, dando origem ao índice B:

$$B = [\% \text{ indiferentes} + 5(\% \text{ acidófilas}) + 40(\% \text{ acidobiônticas})] / [\% \text{ indiferentes} + 3,5(\% \text{ alcalinófilas}) + 108(\% \text{ alcalinobiônticas})]$$

Este índice foi amplamente utilizado (*e.g.* Flower & Battarbee, 1983; Tolonen & Jaakkola, 1983) e é especialmente útil para as situações em que a assembleia de diatomáceas do sedimento superficial não é conhecida, já que os dados de classificação utilizados na equação são baseados na literatura. A figura 5.2.1, extraída de Battarbee (1984), apresenta um exemplo em que um declínio de cerca de uma unidade, desde aproximadamente 1850, foi detectado pela reconstrução do pH utilizando a classificação de Hustedt e o índice B.

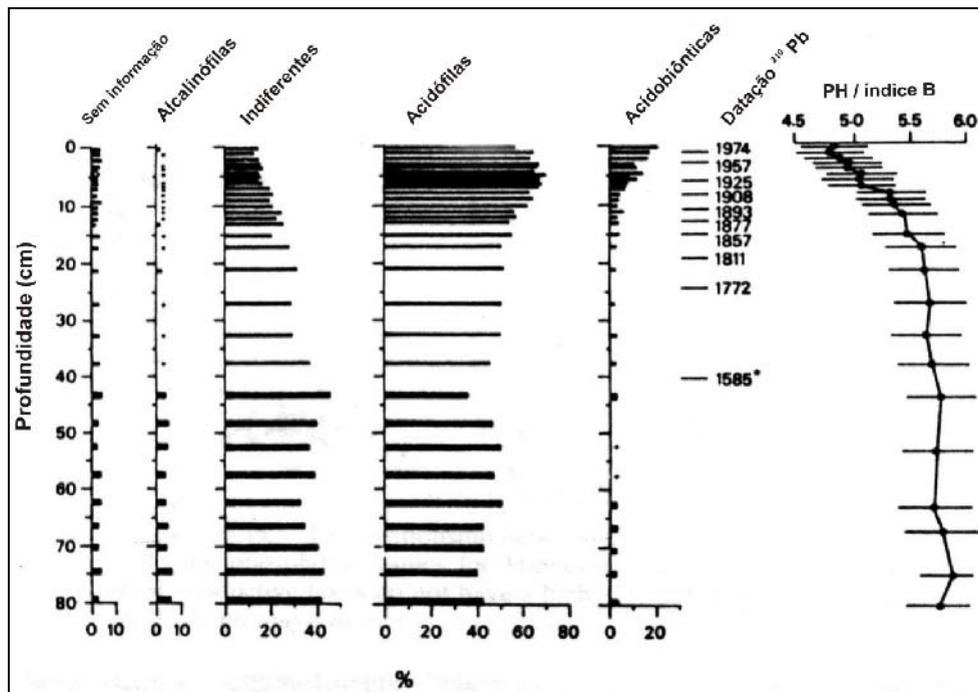


Figura 5.2.1 - Evidência da acidificação do lago Round em Glenhead, sudoeste da Escócia, a partir do estudo das diatomáceas recuperadas em testemunho (modificado de Battarbee, 1984).

Não existe um entendimento ecofisiológico detalhado de como o pH influencia o crescimento e as habilidades competitivas de táxons individuais. Entretanto, sabe-se que o pH controla muitos processos químicos e bioquímicos, além de reações que incluem o balanço do carbonato-bicarbonato nos lagos, a disponibilidade de nutrientes para a assimilação algal, a solubilidade dos metais, especialmente os tóxicos (*e.g.* alumínio), e a atividade de enzimas específicas, como as fosfatases (Battarbee *et al.*, 2001). Este é o motivo pelo qual a tarefa de designar um táxon de forma inequívoca a uma das classes de Hustedt torna-se uma missão bastante delicada.

Não obstante, uma série de premissas estatísticas e ecológicas equivocadas, associadas à utilização dos índices  $\alpha$  e B, foram apontadas por Birks (1987). A questão principal referia-se ao requerimento implícito de relação linear entre as espécies e o pH, o que poderia acontecer algumas vezes, quando consideramos gradientes ambientais curtos. Contudo, a distribuição dos organismos, ao serem examinadas variações em maior escala, demonstrou, a partir da teoria ecológica, uma resposta de maneira não-linear e predominantemente unimodal (normal), alcançando um máximo de abundância no centro da amplitude de tolerância ao parâmetro em questão (Fig. 5.2.2) (Odum, 1988; Battarbee *et al.*, 1999).

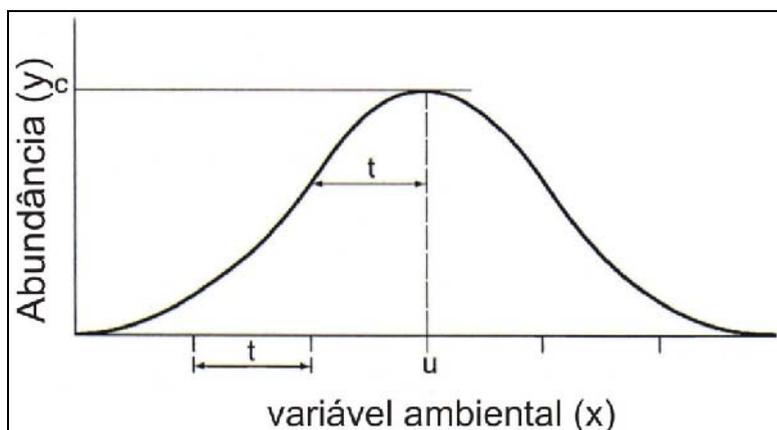


Figura 5.2.2 - Curva unimodal padrão de resposta da abundância de uma espécie ao longo de um gradiente ambiental.  $u$  = ótimo;  $c$  = máximo;  $t$  = tolerância (modificado de Ter Braak *apud* Battarbee *et al.*, 1999).

Com base nesta função de resposta unimodal, foram desenvolvidas metodologias de reconstrução do pH, baseadas no conhecimento dos ótimos ambientais dos táxons. Para tanto, utilizaram-se informações compiladas de conjuntos de dados provenientes da flora atual combinadas com a química da água de ambientes que abrangiam o gradiente de pH de interesse, considerando um elevado número de estações de coleta, localizados na área enfocada (constituindo os chamados “conjuntos de calibração”) (Battarbee *et al.*, 2001).

Apesar de ser preferível, do ponto de vista ecológico, a utilização de amostras de diatomáceas coletadas de habitats planctônicos e bentônicos, os paleolimnólogos valem-se das diatomáceas presentes no primeiro centímetro do sedimento, supondo que este contenha diatomáceas representativas de todos os ambientes do lago, integrando, assim, tempo e espaço (Battarbee *et al.*, 1999).

Como nos sistemas ecológicos a distribuição, a abundância, ou o comportamento de um organismo são afetados simultaneamente por muitos fatores bióticos e abióticos, com frequente existência de sinergismos e processos de realimentação, ecólogos abandonaram a preferência pelos delineamentos univariados clássicos. São mais comuns os casos em que os questionamentos só podem ser respondidos a partir da consideração de uma série de descritores de maneira simultânea e integrada (McGarigal *et al.*, 2000). Deste modo, as análises dos conjuntos de calibração são baseadas fundamentalmente na utilização de métodos de ordenação como a Análise de Correspondência Canônica (ACC).

Os métodos de ordenação podem ser definidos como procedimentos que adaptam enxames de dados multidimensionais em forma de pontos, de tal forma que, quando projetados em um espaço bidimensional

(como uma folha de papel), estes tornem visíveis determinados padrões intrínsecos (Pielou, 1984). Ou seja, seu propósito principal é o de organizar entidades amostrais (sítios, espécies, etc.) ao longo de um gradiente contínuo e inteligível, quantificando as inter-relações entre um grande número de variáveis interdependentes, explicando-as em termos de um pequeno conjunto de dimensões (McGarigal *et al.*, 2000).

Na ACC, um diagrama de dispersão sumariza as informações fornecidas pela análise. Ali, cada flecha indica a direção ou eixo obtido pela extensão desta em ambas as direções, e seu tamanho representa o quanto a distribuição das populações oscila ao longo da variável ambiental em questão, logo, indica sua importância (Ter Braak, 1986). Já o ângulo formado entre estas flechas indica a correlação existente entre as variáveis (Palmer, 1993).

No exemplo da figura 5.2.3, extraída de Gasse *et al.* (1995), o eixo 1 é fortemente relacionado com a composição iônica e condutividade, enquanto que o eixo 2 mostra que o pH e a composição catiônica também são importantes para explicar as diferenças entre as assembleias de diatomáceas. Assim, pode-se atribuir à *Thalassiosira rudolfi* e *Navicula elkab* a condição de espécie típica de lagos salinos hiperalcalinos ricos em carbonato de sódio, enquanto que *Rhopalodia musculos* e *Navicula ammophila* representam ambientes com maior concentração de cloreto de sódio.

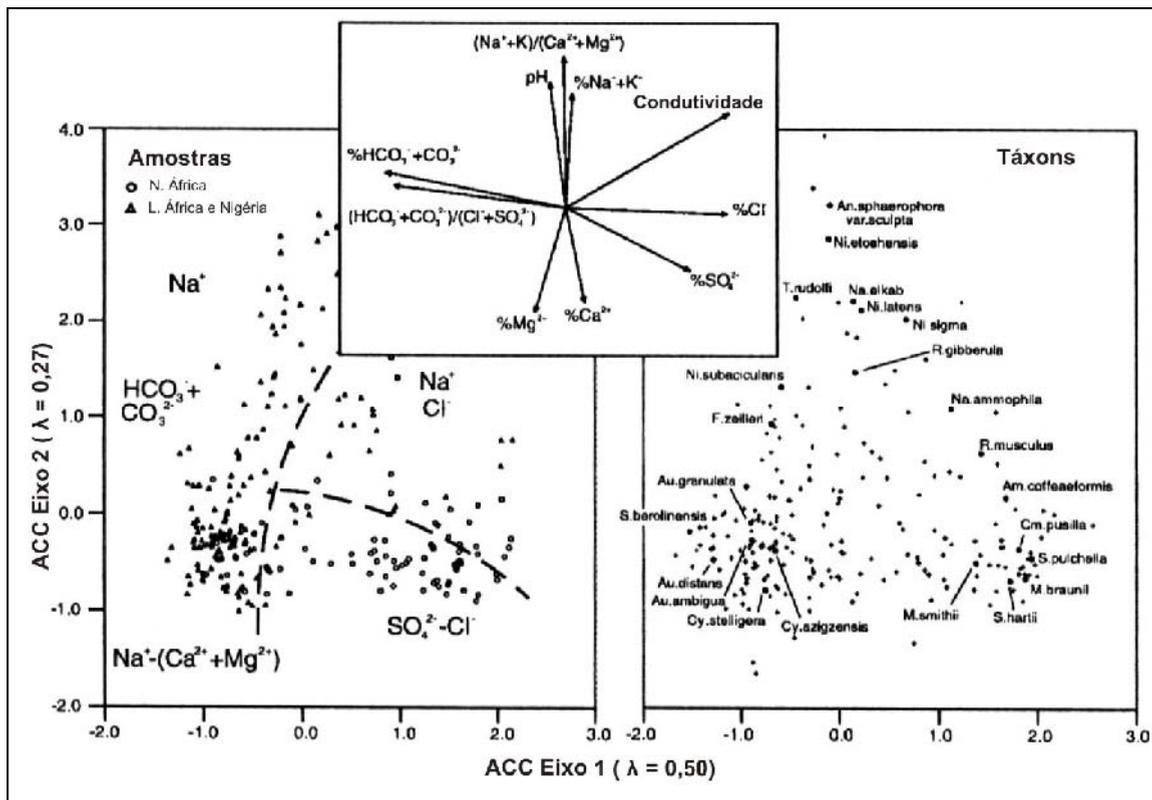


Figura 5.2.3 - Análise Canônica de Correspondência para as relações espécie-ambiente e amostras-ambiente resultante de um conjunto de calibração obtido em lagos salinos da África (modificado de Gasse *et al.*, 1995).

Estes conjuntos de calibração têm por objetivo final o desenvolvimento de funções de transferência para determinada variável ambiental. Para tanto, é necessário que esta explique uma parte significativa da variação total dos dados de forma independente. Este requerimento pode ser testado com a utilização da Análise Canônica de Correspondência Parcial (ACC parcial) concomitantemente com a aplicação de testes de permutação, como Teste Monte Carlo, para verificar a autonomia e a força relativa de cada variável hidroquímica. Prosseguindo com o exemplo anterior, a ACC parcial revelou que as dez variáveis da figura 5.2.3 contribuiriam com 11,6% da variância dos dados biológicos (Fig. 5.2.4). Conforme Ter Braak & Prentice (1988), esta baixa explicabilidade é esperada em análises de ordenamento de dados ecológicos, e confirma a complexidade dos fatores atuantes na determinação da estrutura das comunidades. A figura 5.2.4 esclarece também como esta variância está dividida nos quatro gradientes hidroquímicos detectados. Como o Teste Monte Carlo referenda a significância destes resultados ( $p < 0,05$ ), os autores conseguiram justificar o desenvolvimento de função de transferência para aquelas variáveis. Este estágio consiste na aplicação de dois mecanismos matemáticos básicos: a regressão por média ponderada e a calibração.

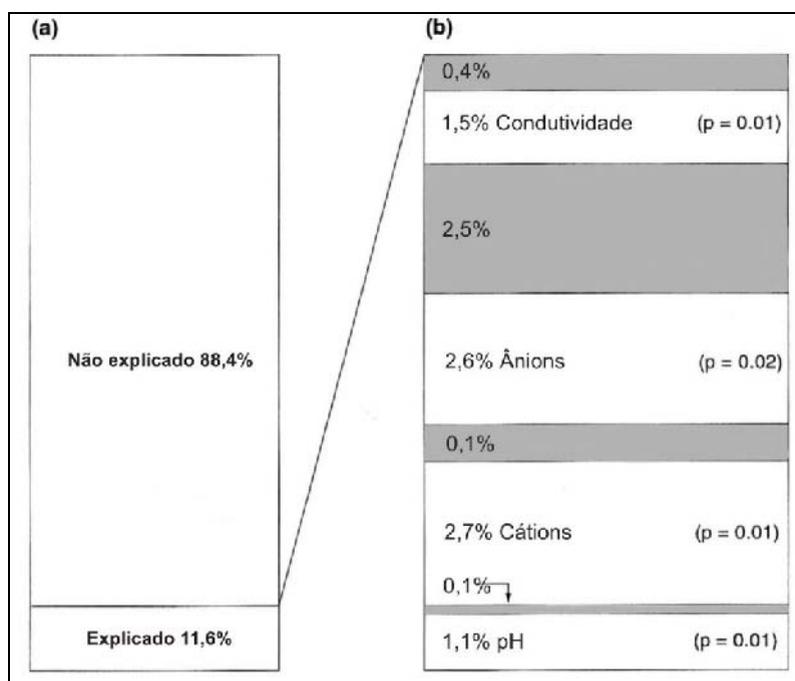


Figura 5.2.4 - Resultados da Análise de Correspondência Canônica Parcial do conjunto de treinamento da figura 5.2.3, dividindo a variância total dos dados de relação espécie-ambiente em (a) porção explicada e não explicada; (b) componentes representando a contribuição das variáveis condutividade, pH, ânions e íons (áreas claras) e a correlação entre os gradientes (áreas sombreadas). Valores de significância dos resultados (p) foram obtidos em 99 permutações aleatórias no Teste Monte Carlo (modificado de Gasse *et al.*, 1995).

A regressão por média ponderada consiste na obtenção do ótimo ambiental ( $u_k$ ) de determinado táxon, a partir da média dos valores de pH (ou outro parâmetro ambiental em foco) dos ambientes em que esta espécie ocorre, ponderado por sua abundância relativa:

$$u_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ik} x_i}{\sum_{i=1}^n y_{ik}}$$

onde  $x_i$  é o valor do pH na estação de amostragem  $i$  e  $y_i$  é a abundância da espécie  $k$  na estação  $i$  (Battarbee *et al.*, 2001).

A média ponderada também pode ser utilizada para estimar valores de tolerância das espécies, diminuindo a importância matemática de determinados táxons, que possuam distribuição mais ampla ao longo do gradiente (Birks, 1995):

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ik} (x_i - u_k)^2}{\sum_{i=1}^n y_{ik}}$$

Definidos os ótimos ambientais para o pH de vários táxons, a inferência do pH histórico é obtida em procedimento denominado calibração:

$$x_i = \frac{\sum_{k=1}^n y_{ik} u_k}{\sum_{k=1}^n y_{ik}}$$

Utilizando esta metodologia, Renberg (1990) demonstrou, a partir do estudo das diatomáceas nos sedimentos do lago Öresjön na Suécia, a existência de um processo de acidificação natural e de longa duração, iniciado após a deglaciação, em torno de 12.000 anos AP, e que se estendeu até cerca de 2.000 AP. O pH declinou durante o período pós-glacial de cerca de 7 em 12.600 AP, para 5,5, ao redor de 2.000 AP, resultado, conforme o autor, da acidificação do solo. A partir do século XX, passou a ocorrer forte declínio do pH, interrompendo tendência de estabilização próxima a 6, para situar-se abaixo de 5 (Fig. 5.2.5).

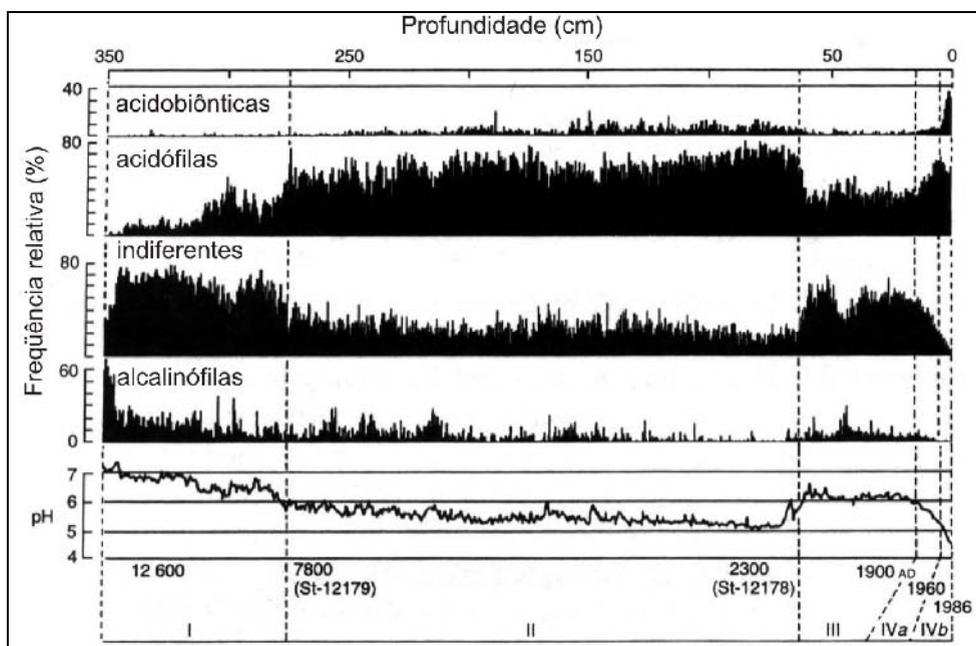


Figura 5.2.5 - Frequência relativa das diatomáceas distribuídas na classificação de Hustedt, valores de pH inferidos a partir da regressão por média ponderada e períodos da história do Lago Öresjön, Suécia, demarcados pela datação com método do  $^{210}\text{Pb}$ . (modificado de Renberg, 1990).

Alterações naturais do pH também podem estar relacionadas com mudanças climáticas, como a alternância entre períodos úmidos e secos. Krabbenhoft & Webster (1995) demonstraram que períodos de seca reduziram a contribuição das águas ricas nos cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  do lençol freático do lago Nevins, EUA, resultando na sua acidificação.

Apesar do rigor matemático, existem fraquezas na abordagem focada na regressão por média ponderada. O principal problema refere-se ao desprezo das correlações residuais nos dados de espécies (Ter Braak & Juggins, 1993), e a validade ou não de algumas premissas básicas destacadas a seguir:

- (i) as assembleias fósseis, tais como as de diatomáceas, dos sedimentos de águas profundas refletem verdadeiramente a composição das comunidades viventes;
- (ii) as assembleias dos testemunhos não foram significativamente influenciadas por problemas de preservação;
- (iii) as assembleias dos testemunhos não estão contaminadas pelo retrabalhamento do sedimento mais antigo;
- (iv) a verdadeira história do pH no ambiente pode ser reconstituída a partir de um ou poucos testemunhos.

Devido a sua relação direta com a deposição e a diagênese sedimentar, a discussão destes aspectos serão abordados no item 5.2.5, referente aos processos tafonômicos.

### **5.2.2 Diatomáceas e reconstruções do estado trófico em sedimentos límnicos**

Diatomáceas têm sido amplamente utilizadas como indicadoras das condições tróficas e, conseqüentemente, de produtividade nos ambientes continentais e oceânicos devido a sua extrema sensibilidade a alterações na concentração de nutrientes (Stoermer *et al.*, 1996). Por esta razão, são especialmente abundantes em áreas de ressurgências causadas por correntes divergentes, como as da Antártica e da costa do Peru, onde as águas possuem alto conteúdo de sílica, fosfato, nitrato e ferro (Fig. 5.2.6) (Armstrong & Brasier, 2005).

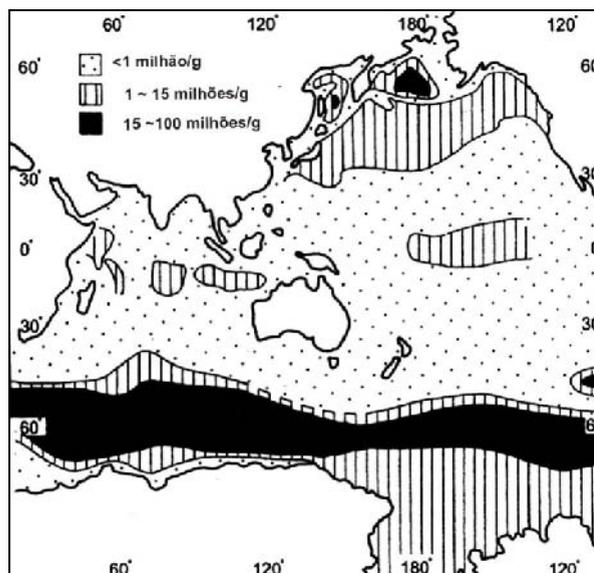


Figura 5.2.6 - Distribuição das frústulas de diatomáceas em sedimentos superficiais dos oceanos Pacífico e Índico, em milhões por grama de sedimento (modificado de Funnel & Reidel *apud* Armstrong & Brasier, 2005).

Os principais nutrientes limitantes para o crescimento das algas são o nitrogênio e o fósforo (Battarbee *et al.*, 2001). Contudo, no caso das diatomáceas, a disponibilidade de sílica dissolvida ( $\text{SiO}_2$ ) é condição para a divisão celular e formação da frústula. Esta é uma exigência particularmente rigorosa para espécies euplanctônicas, já que elas passam a maior parte de seu ciclo de vida relativamente distanciadas dos sedimentos de fundo, onde ocorre maior concentração de sílica (Stoermer & Julius, 2003). Em lagos com longos períodos de residência, a sílica pode ser exaurida pelo aumento na abundância de diatomáceas e posterior deposição das frústulas no fundo, resultando em vantagem seletiva para os grupos de algas que não necessitam de sílica para o crescimento (Schelske & Stoermer, 1971, 1972).

As diatomáceas que vivem em períodos de alta disponibilidade de nutrientes, não raro enfrentam uma aguda escassez de sílica dissolvida, superada pela produção de frústulas fracamente silicificadas (Conley *et al.*, 1994; Baron & Baldauf, 1995). Depois de sua morte, estes esqueletos finos e altamente porosos dissolvem-se rapidamente, disponibilizando mais sílica para a próxima geração de diatomáceas. Quando a concentração de nutrientes biolimitantes está baixa as diatomáceas tendem a ser raras (Armstrong & Brasier, 2005).

Embora as concentrações de sílica possam mudar ao longo do tempo, dependendo do intemperismo na bacia e da reciclagem interna da sílica, o principal responsável por dirigir a produtividade das diatomáceas e as alterações na composição específica é geralmente o fósforo. Esta é a variável que a maioria dos

diatomólogos procura focar em estudos de reconstrução do nível trófico em ambientes límnicos (Whitmore, 1989; Hall & Smol, 1992; Anderson & Rippey, 1994; Bennion *et al.*, 1996; Hall & Smol, 1999).

Um dos primeiros métodos empregados para interpretar a história trófica dos lagos foi o quociente simples entre formas cêntricas e penadas (C/P) proposta por Nygaard (1949). Esta técnica baseou-se no fato de que os lagos pobres em nutrientes (oligotróficos), estudados pelo autor, continham, principalmente, espécies penadas associadas a comunidades epifíticas, epipélicas e epipsâmicas. A razão se tornava ainda mais elevada em lagos eutróficos, devido ao aumento da matéria orgânica em suspensão e do número de diatomáceas cêntricas (Stockner & Benson, 1967). Foged (1954), pesquisador que aplicou intensamente esta relação em uma ampla variedade de sistemas dulcícolas, sugeriu a utilização da abundância valvar em substituição ao número de espécies.

Battarbee (1986) argumenta que a aplicação da divisão C/P à assembleia de diatomáceas no sedimento é uma distorção do propósito original de Nygaard, uma vez que o índice inicial referia-se apenas às espécies de hábito planctônico (cêntricas e penadas arrafídeas), e nos sedimentos é comum espécies bipolares perifíticas lixiviadas da zona litoral.

Com base em seus estudos na Área dos Lagos Experimentais do Canadá, Stockner (1971) inverteu o esquema original de Nygaard ao considerar diatomáceas radiais como indicadoras de ambientes oligotróficos, e propor a relação entre diatomáceas sem rafe (arrafídeas) e cêntricas (A/C) para documentar as oscilações tróficas. Entretanto, conforme o autor, o método não deveria ser aplicado em lagos rasos e banhados devido à predominância de diatomáceas bentônicas fortemente silicificadas nestes ambientes, independentemente do estado trófico.

Brugam (1979) avaliou minuciosamente a proposta de Stockner (1971) comparando as floras de diatomáceas de 80 amostras de sedimentos superficiais lacustres e seu gradiente hidroquímico, com as razões A/C. Os maiores valores para A/C não foram obtidos nos lagos mais produtivos, mas sim naqueles que apresentavam níveis moderados de fósforo e baixa alcalinidade (Fig. 5.2.7). Estudos posteriores, que visaram corroborar esta conclusão foram conduzidos por Brugam & Patterson (1983), que compararam lagos com produtividade similar (expressa pela concentração de fósforo total), mas com alcalinidade distintas. Conforme previsto, lagos com baixa alcalinidade geralmente apresentavam quocientes A/C superiores,

evidência que, para muitos autores (*e.g.* Battarbee, 1986) expunha a limitação e, como resultado, a ineficiência do método que acabou caindo em desuso.

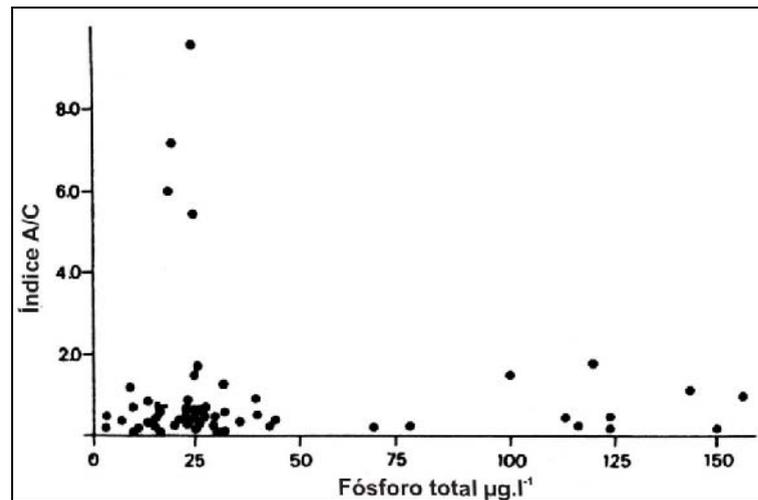


Figura 5.2.7 - Relação entre o índice A/C de Stockner (1971) e os valores de fósforo total para os lagos de Minnesota, EUA (modificado de BRUGAM, 1979).

O efeito de diferentes concentrações de sais-nutrientes ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PO}_4$  e  $\text{SiO}_2$ ) sobre espécies individuais pode ser avaliado tanto por experimentos de laboratório quanto por avaliação direta das assembleias de diatomáceas ao longo de uma série de ambientes lênticos que apresentem regimes de produtividade distintos. Este último enfoque diz respeito aos conjuntos de calibração, detalhado anteriormente no item 5.2.1. Existem problemas nas duas abordagens, já que experimentos utilizando diatomáceas cultivadas podem não representar verdadeiramente as condições do lago, enquanto que a avaliação direta de um conjunto de ambientes lacustres requer uma grande quantidade de tempo e recursos (Kennington, 2002).

Há também a solução intermediária que conta com a utilização do mesocosmos – contêineres preenchidos com água de lagos com diferentes regimes nutricionais (*e.g.* Lund & Reynolds, 1982). Estes experimentos permitiram aos limnólogos acessar o efeito do enriquecimento nutricional sobre a flora diatomológica em condições muito próximas àquelas encontradas em um conjunto de lagos naturais.

O emprego das diatomáceas para investigar a eutrofização histórica, especialmente em escala de séculos e décadas, tem se revestido de especial importância em programas de gerenciamento da qualidade da água, principalmente devido à inexistência de dados progressos de longa duração sobre as características tróficas dos ecossistemas. Estabelecer as condições pré-impacto e a variabilidade natural do ambiente é etapa

fundamental para o estabelecimento de metas realísticas de restauração, mitigando, por exemplo, o esforço que seria dispensado na situação hipotética de tentativa de restabelecimento de característica oligotrófica em um sistema naturalmente produtivo (Smol, 1992).

A eutrofização ocorre quando os níveis de nutrientes, geralmente de fósforo e nitrogênio, atingem patamares acima do esperado para a condição de ausência de qualquer perturbação. Eventos marcantes de eutrofização natural (sem influência da ação humana) são raros e estão diversas vezes associados a episódios dramáticos como incêndios florestais (*e.g.* Hickman *et al.*, 1990) e mortandade súbita de vegetação (Hall & Smol, 1993). Alterações climáticas, como secas, também se refletem no processo, pois ao reduzir o volume da massa d'água nos lagos e sistemas similares, concentram os nutrientes (*e.g.* Webster *et al.*, 1996). Na maioria dos casos, entretanto, a eutrofização relaciona-se com a erosão e afluência de descargas domésticas, industriais e agrícolas (Hall & Smol, 1999).

Em regiões do planeta com uma longa história de assentamento humano (*e.g.* Europa, África, Ásia), lagos têm sido alterados pela eutrofização em uma escala milenar. Estudos combinando diatomáceas e pólenes do lago Diss Mere na Inglaterra demonstraram que a influência antrópica começou a se manifestar já no Neolítico (5.000 – 3.500 AP) com o surgimento de pequenas clareiras florestais. O primeiro evento significativo de eutrofização ocorreu durante a Idade do Bronze (3.500 – 2.500 AP) com aumento pronunciado na abundância de *Synedra acus*, em resposta ao desflorestamento e o estabelecimento da agricultura de cereais (Fritz, 1989; Peglar, 1993). Ao tomarem por base um conjunto de calibração para o fósforo total, Birks *et al.* (1995) inferiram que no início das atividades da Idade do Bronze, a concentração de fósforo total passou de 33 para mais de 220  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . O lago passou de uma condição mesotrófica para hipereutrófica e, depois disto, nunca mais retornou às condições pré-impacto (Tab. 5.2.1).

Tabela 5.2.1 - Mediana e amplitude das concentrações de fósforo total do lago Diss Mere, Inglaterra, para diferentes períodos históricos durante os últimos 7.000 anos obtidas pela aplicação de modelo de inferências via regressão e calibração com diatomáceas (modificado de Birks *et al.*, 1995).

<b>Períodos Históricos</b>	<b>Idades (AP)</b>	<b>Mediana</b> ( $\mu\text{g TP.l}^{-1}$ )	<b>Amplitude</b> ( $\mu\text{g TP.l}^{-1}$ )
Tempos modernos	0-150	495	385-675
Pós-Medieval	150-500	343	297-400
Romano/Anglo-Saxônico/Medieval	500-2.200	117	71-179
Idade do Ferro/Romano	2.200-2.500	93	58-119
Final da Idade do Bronze	2.500-3.000	90	36-114
Início da Idade do Bronze	3.000-3.500	221	221
Neolítico	3.500-5.000	33	6-97
Mesolítico	5.000-7.000	20	4-35

Conforme mencionado brevemente nos parágrafos anteriores, nem todos os eventos de eutrofização são causados por ação antrópica. Em alguns casos, distúrbios naturais podem acelerar o suprimento de nutrientes, embora constituam eventos raros. Diversos estudos relacionaram o incremento da eutrofização com o repentino declínio de *Tsuga canadensis* (Pinaceae) no leste da América do Norte no Holoceno (*e.g.* Boucherle *et al.*, 1986). Acredita-se que um patógeno tenha causado a rápida, ampla e sincrônica mortandade da espécie há 4.800 anos (*e.g.* Allison *et al.*, 1986), resultando no aumento do fornecimento de nutrientes via lixiviação e processos erosivos, com conseqüente incremento da produtividade aquática (Fig. 5.2.8) (Boucherle *et al.*, 1986; Hall & Smol, 1993; Hall & Smol, 1999). Na figura 5.2.8 o aumento da erosão na bacia é indicado pelos níveis de conteúdo mineral, enquanto que a elevação de produtividade é revelado pelo incremento da produção de sílica biogênica e de valvas de diatomáceas. Concomitantemente há o desenvolvimento da porcentagem da população de *Aulacoseira ambigua*, táxon indicador de condições meso-eutróficas. O valor da concentração de fósforo total obtido pela calibração com diatomáceas subiu de 14 para 30  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (Hall & Smol, 1993).

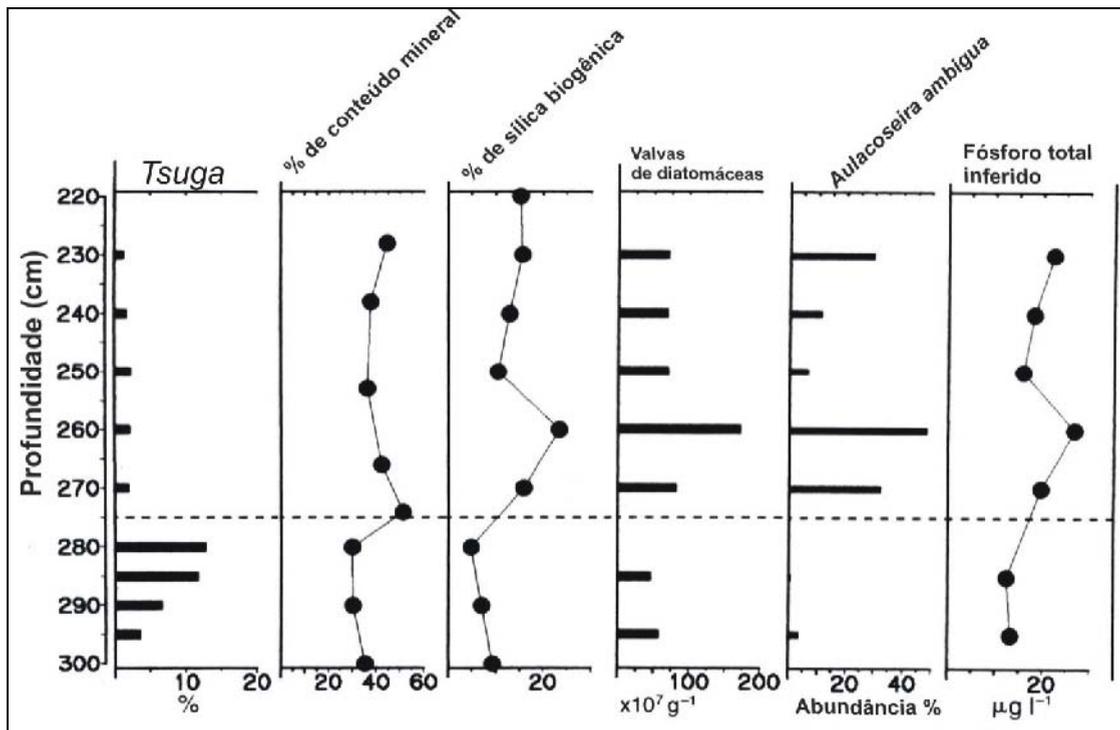


Figura 5.2.8 - Evidências de um evento de eutrofização natural no lago Flower Round, Canadá, como resposta ao declínio de *Tsuga canadensis* 4.800 anos AP (linha pontilhada) (modificado de Hall & Smol, 1993).

### 5.2.3 Diatomáceas e a reconstrução paleobatimétrica em sedimentos límnicos

O nível dos lagos é determinado por mudanças no balanço entre ganhos e perdas de umidade. Os ganhos incluem a contribuição dos rios e do lençol freático, o escoamento da bacia e a precipitação. Perdas ocorrem através da drenagem, da evaporação e da infiltração no sedimento. A maioria destas respostas hidrológicas está associada a mudanças climáticas e ecológicas (*e.g.* Mason *et al.*, 1994).

Processos biológicos, como a sucessão vegetal, alteram os padrões de drenagem e o fluxo de água do lençol freático, o que por sua vez afeta a profundidade do sistema (Dearing & Foster, 1986). Com o envelhecimento dos lagos, a deposição de vestígios animais e vegetais, e o aporte de sedimentos da bacia levam ao assoreamento, tornando-os mais superficiais ao longo do tempo (Wetzel, 1993). Estes processos naturais podem ser acelerados pela ação do homem através do desmatamento, da agricultura e da urbanização (*e.g.* Dearing, 1983; Fritz, 1989; Wolin & Duthie, 1999). Atividades como o represamento e a canalização também resultam em rápidas alterações no nível d'água (*e.g.* Bradbury, 1971).

A influência do clima sobre as flutuações do nível dos lagos é particularmente importante para a reconstrução e projeção de alterações climáticas. Durante os períodos úmidos, a coluna d'água geralmente aumenta, enquanto que sob condições mais secas, declina. À medida que a profundidade oscila, ocorrem mudanças na disponibilidade de habitats, radiação, condições químicas, estratificação e regime de mistura. Quando o nível do lago diminui, sobressaem-se os ambientes bentônicos e epifíticos (Fig. 5.2.9), resultando no predomínio de diatomáceas associadas a estes sítios. Em períodos de maior volume de água espera-se, por sua vez, o incremento de ambientes e formas planctônicas (Fig. 5.2.9). Assim, variações na relação entre espécies planctônicas e bentônicas podem indicar alterações batimétricas (*e.g.* Owen *et al.*, 1982; Gasse *et al.*, 1989; Marciniak, 1990).

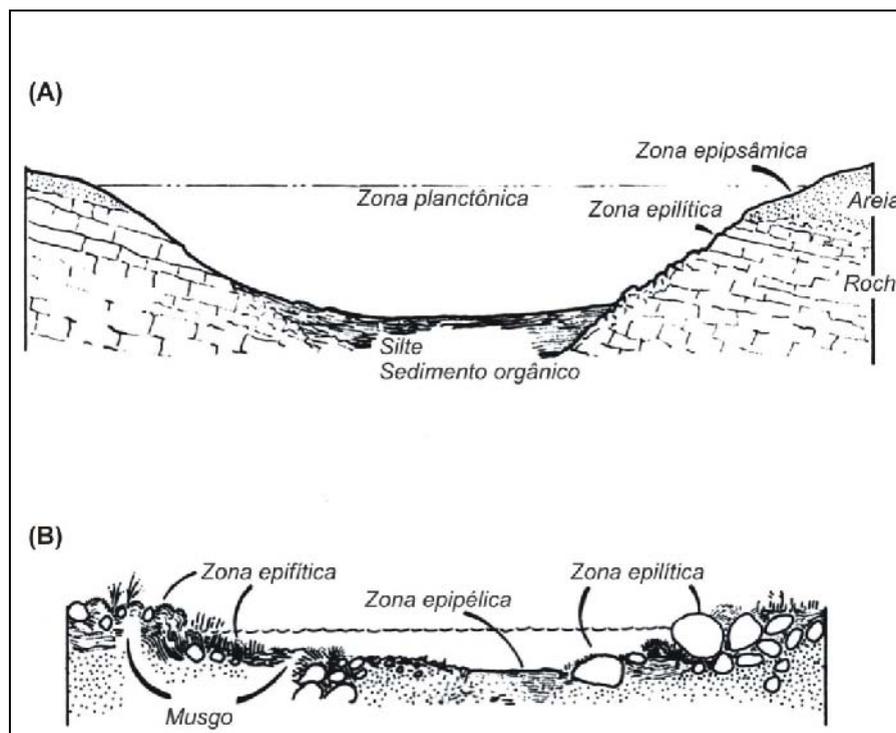


Figura 5.2.9 - Exemplos de disponibilidade de habitats em função do nível d'água em sistema lacustre do ambiente Ártico. (a) Habitats disponíveis em lago onde a luz não alcança o fundo; (b) Habitats disponíveis em lago onde a luz alcança o fundo (modificado de Douglas & Smol, 1999).

A força do correspondente registro sedimentar irá depender do tipo de lago. De maneira geral, pode-se dizer que os lagos, rasos em bacias fechadas, possuem os vestígios mais acentuados. De acordo com Fritz

*et al.* (1999), lagos salinos apresentam as condições ideais para reconstruções climáticas utilizando diatomáceas, tarefa que é mais problemática em ambientes de água doce.

No entanto, não se deve descartar a influência de outros fatores, como a eutrofização (Wolin & Duthie, 1999). Na lagoa Søgaaard Sø, Dinamarca, Irvine *et al.* (1989) perceberam uma mudança de formas bentônicas para planctônicas, resultado da condição nutricional hipereutrófica (mediana do fósforo total inferido  $>200 \mu\text{g.l}^{-1}$ ), correspondente ao registro sedimentar da perda de macrófitas submersas. O acréscimo da entrada de nutrientes no sistema estimulou o fitoplâncton e o desenvolvimento das algas epifíticas, que dificultaram a penetração da luz com a posterior inibição da capacidade fotossintética das plantas submersas. Este quadro originou um sistema dominado pelo fitoplâncton, mas que não apresentou mudança de nível d'água relevante (Fig. 5.2.10) (Irvine *et al.*, 1989).

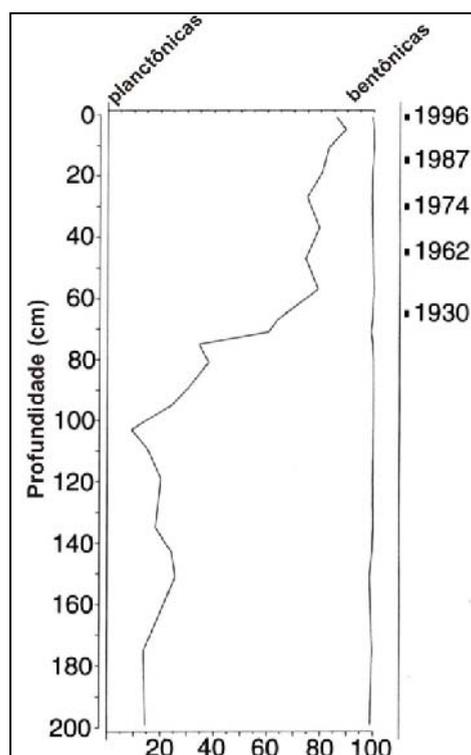


Figura 5.2.10 - Abundância relativa (%) de formas de vida de diatomáceas em sedimentos do lago Søgaaard Sø, Dinamarca. Datações baseadas no método do  $^{210}\text{Pb}$  (modificado de Irvine *et al.*, 1989).

Conforme discutido no item 5.2.2, relações entre os hábitos das espécies de diatomáceas já foram utilizadas nas primeiras tentativas de estabelecimento da história trófica dos ambientes aquáticos continentais. Quantificar o montante da variação no número e na abundância de espécies planctônicas e bentônicas, que pode ser atribuída à eutrofização antrópica, ou a questões climáticas, depende de múltiplas

linhas de evidência (Digerfeldt, 1986). Dados adicionais, úteis para a reconstrução da profundidade lacustre, incluem aqueles procedentes da análise estratigráfica do sedimento, análise de granulometria sedimentar, isótopos estáveis, conteúdo químico, fitoclastos, microfósseis, e outros microfósseis. Esta questão reveste-se de maiores implicações, mas apenas nos estudos que objetivam descrever as mudanças registradas para as últimas décadas ou séculos, ou em locais em que a ocupação humana remonta milênios. Diferentemente, na América, antes da chegada dos europeus, o impacto causado pelo homem foi pouco significativo. Por este motivo pôde-se utilizar com maior segurança as preferências de habitats das espécies para determinar oscilação do nível d'água (Wolin & Duthie, 1999).

Outros sinais de modificações da profundidade lacustre, que podem ser detectados nas assembleias de diatomáceas, são aqueles que refletem alterações físicas, como a estabilidade do metalímnio e a susceptibilidade à turbulência.

Quando em um corpo aquoso (lago, mar, laguna, etc.), as diferenças de temperatura ao longo da coluna d'água geram camadas com densidades distintas. É formada uma barreira física que impede a sua mistura. Se a energia eólica não for suficiente para entremeá-las, o calor não irá se distribuir uniformemente, o que gera condições de estabilidade térmica. Diz-se então que o ecossistema está estratificado, exibindo porções que se diferenciam física, química e biologicamente. O metalímnio corresponde, neste contexto, à região que apresenta uma marcada descontinuidade de temperatura, denominada termoclina. Trata-se da superfície que delimita o epilímnio, porção mais superficial saturada de oxigênio, bem iluminada, quente e uniforme, e o hipolímnio, mais profundo, com baixa influência dos processos externos, pouco oxigenado, denso e frio (Fig. 5.2.11) (Esteves, 1998; Suguio, 1998).

Em alguns casos, como nas lagunas e lagos costeiros, a ação do vento pode desestabilizar o metalímnio, resultando na constante ressuspensão dos sedimentos de fundo. Esta situação favorece as diatomáceas maiores, mais pesadas e com elevada necessidade de nutrientes (*e.g.* Odgaard, 1993). A presença destas espécies, associadas com regimes turbulentos, cria ilações úteis. O gênero *Aulacoseira* é um exemplo particularmente apropriado, compreendendo táxons fortemente silicificados, com elevada taxa de afundamento, e que requer turbulência para se manter na coluna d'água (Wolin & Duthie, 1999).

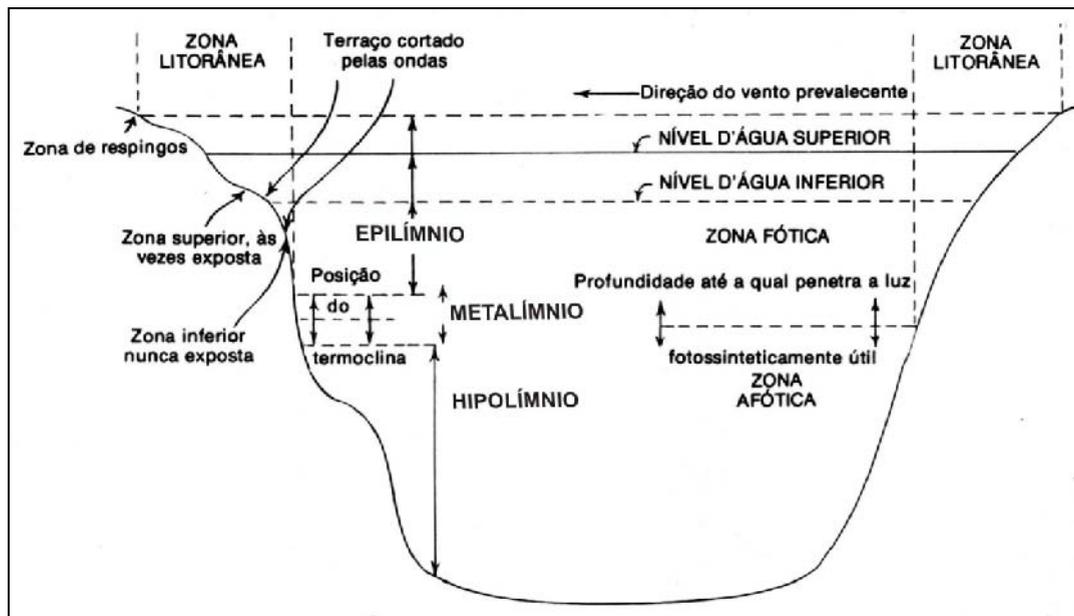


Figura 5.2.11 - Esquema demonstrando a localização do metalímnio em uma bacia lacustre em estratificação térmica juntamente com outras características do sistema (modificado de Round, 1983).

Enquanto algumas espécies tiram proveito da turbulência, para outras, que se beneficiam de uma condição estável de estratificação, este aspecto é uma desvantagem. Estas estão adaptadas a baixos níveis de luminosidade e obtêm nutrientes que difundem-se do hipolímnio (Fahnenstiel & Scavia, 1987). Com o aumento da profundidade, o metalímnio se consolida e favorece estas formas.

O conhecimento sobre a distribuição batimétrica das diatomáceas nos lagos tem recebido menor atenção dos pesquisadores em relação aos demais aspectos de sua ecologia. Este fato compromete os estudos quantitativos que buscam inferir paleoprodutividades utilizando métodos de regressão e calibração. Yang & Duthie (1995) investigaram a distribuição de formas euplanctônicas, ticoplanctônicas, epifíticas e bentônicas de 41 amostras distribuídas ao longo de um gradiente de 240m de profundidade no lago Ontário, e em 8m de profundidade do lago East, ambos no Canadá (Fig. 5.2.12). A regressão múltipla foi escolhida para explorar as relações entre as medidas de profundidade e a composição específica da biota. Apesar de terem detectado uma forte correlação entre os dados, deve-se frisar que esta estratégia de análise apresenta um certo grau de subjetividade, uma vez que as categorias assinaladas para os táxons são baseadas em referências bibliográficas, onde nem sempre há concordância a respeito do habitat de determinadas espécies.

Uma aproximação que explore diretamente as relações individuais entre táxons e a profundidade da coluna d'água, sem a necessidade de valer-se de categorias pré-definidas, consiste na definição do ótimo

ambiental das espécies, empregando conjuntos de calibração (detalhes sobre o método na seção 5.2.1). Estes estudos ainda são incipientes, uma vez que até o momento não contemplaram adequadamente a influência da luz, temperatura, sedimentologia, etc. sobre as diatomáceas bentônicas (Wolin & Duthie, 1999).

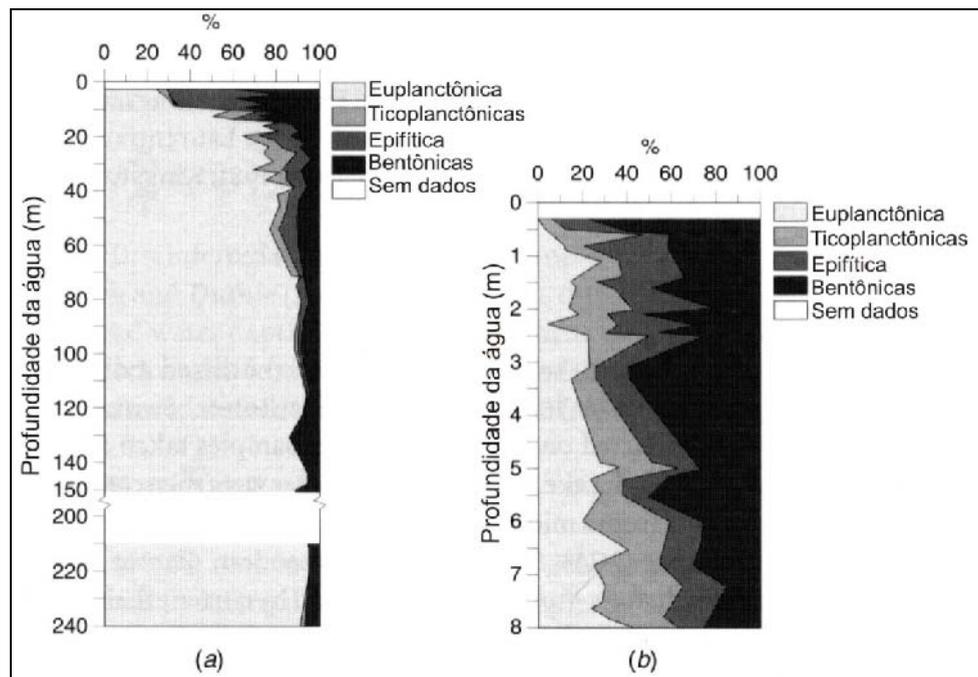


Figura 5.2.12 - Abundância relativa (%) do hábito de diatomáceas oriundas de amostras de sedimento superficial coletadas ao longo de distintos gradientes de profundidade, no lago Ontario (a) e East (b), Canadá (modificado de Yang & Duthie, 1995).

Verschuren *et al.* (2000) apresentaram uma reconstrução paleoclimática dos últimos 1.100 anos para a África equatorial, baseando-se na alternância de períodos de precipitação e seca, a partir de flutuações de salinidade e profundidade do lago Naivasha, no Quênia. As inferências foram obtidas pela estratigrafia do sedimento, diatomáceas e quironomídeos. Os dados indicaram que, no último milênio, a região experimentou condições climáticas contrastantes, com uma época significativamente mais seca que a atual, durante o “Período de Aquecimento Medieval” (~1.000 a 1.270 AP), e mais úmida durante a “Pequena Era do Gelo” (~1.270 a 1.850), interrompida por três episódios prolongados de seca (Fig. 5.2.13).

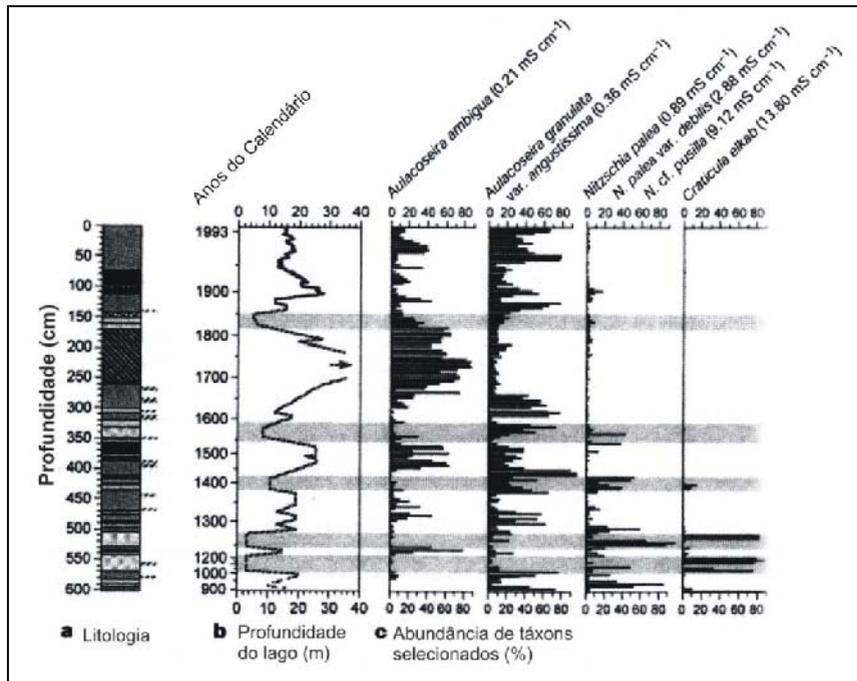


Figura 5.2.13 - Evidência sedimentológica e biológica (diatomáceas) para flutuações de profundidade e salinidade no lago Naivasha, Quênia. Valores entre parênteses referem-se ao ótimo ambiental das espécies para a condutividade (modificado de Verschuren *et al.*, 2000).

#### 5.2.4 Diatomáceas e a reconstrução do nível relativo do mar

A salinidade é provavelmente o fator ambiental mais forte a influenciar na distribuição das diatomáceas (Battarbee, 1986). A expressiva relação entre a composição das assembleias de diatomáceas e a salinidade, a dependência em relação ao tipo de substrato, a zonação frente à maré, seu potencial para indicar o aporte de sedimentos de sistemas marinhos e fluviais, bem como a intensa sensibilidade destes organismos à numerosos fatores ambientais adicionais (tais como condições hidrodinâmicas, química da água e do solo) ajudam a explicar porque elas são microfósseis especialmente úteis para caracterizar antigos ambientes costeiros (Haggart, 1986; Shennan, 1986; Long, 1992).

Os primeiros registros de depósitos com diatomáceas marinhas em áreas continentais (*e.g.* Harting, 1852; Gregory, 1855) foram considerados como evidências de alterações da linha de costa. Em inúmeros estudos seguintes, as mudanças nas assembleias de diatomáceas fósseis documentaram eventos transgressivos e regressivos, associados com as alterações do nível relativo do mar ou outros processos costeiros, como a formação de barreiras, lançando luz sobre a duração e a natureza das alterações ambientais e suas implicações na fisiografia. Associações sedimentares complexas, com alterações cíclicas de fácies

marinhas, salobras, semi-terrestres ou de água doce, tem sido descritas com uma grandeza de detalhes muito maior do que aquela obtida apenas pela evidência litológica (Denys & De Wolf, 1999).

A metodologia clássica, para a inferência de condições ambientais a partir de diatomáceas fósseis, apóia-se na análise de aspectos autoecológicos relevantes dos táxons presentes na tafocenose (Denys & De Wolf, 1999), sendo essencial, portanto, que as espécies sejam acomodadas em classificações gerais que considerem grupos de táxons, com requerimentos e características similares. Neste sentido, diversas tentativas objetivaram sintetizar o vasto volume de dados disponíveis sobre características autoecológicas de diatomáceas em códigos para facilitar o cálculo de vários espectros.

Seguindo os passos de Lowe (1974) e Beaver (1981), Van Dam *et al.* (1994) resumiram a maior parte do conhecimento atual de espécies de águas doces e salobras (948 táxons) enquanto Denys (1991; 980 táxons) e De Wolf (1982; 698 táxons) focaram as espécies litorâneas em particular (Fig. 5.2.14).

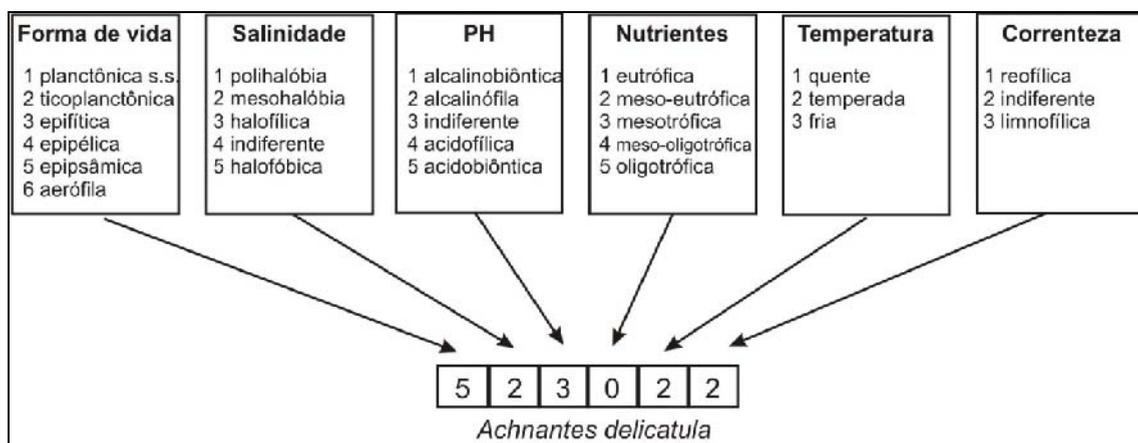


Figura 5.2.14 - Exemplo de codificação adotada para classificação ecológica dos táxons comuns nos depósitos costeiros holocênicos da Holanda (modificado de De Wolf, 1982).

Na mesma direção, no Brasil, uma importante contribuição para a compreensão da ecologia das diatomáceas foi dada por Shirata (1985), Moreira Filho *et al.* (1990), Torgan & Biancamano (1991), Moro & Fürstenberger (1997) e Torgan *et al.* (1999), com a publicação de catálogos que classificaram as espécies de acordo com seus habitats e preferências ambientais (tais como salinidade, saprobidade, pH, corrente, estado trófico e temperatura).

O sistema de classificação das diatomáceas em função da salinidade (sistema halóbio) provem da pesquisa de Kolbe (1927), na Alemanha, que dividiu as diatomáceas em três grupos principais: euhalóbias (salinidade de 30 a 40 ‰), mesohalóbias (5-20 ‰) e oligohalóbias (< 5 ‰), este último subdividido em

formas halófilas, indiferentes e halofóbicas. As formas halófilas correspondem àquelas que se desenvolvem bem em condições levemente mixohalinas; as indiferentes toleram águas salobras, mas tem seu ótimo ambiental em água doce; as halofóbicas não toleram nem mesmo pequenas concentrações de sais.

Hustedt (1957) modificou o sistema de Kolbe preferindo utilizar o termo “polihalóbias” para espécies estenohalinas marinhas. O autor também argumentou que o limite inferior de 5‰ de salinidade para a categoria mesohalóbia era muito alto, já que diatomáceas desta classe eram encontradas em ambientes onde a salinidade situava-se abaixo de 0,2‰.

Este esquema de classificação é extensivamente aplicado para promover reconstruções qualitativas de alterações de salinidade e nível do mar (Denys & De Wolf, 1999). Em muitas ocorrências, estas reconstruções são suficientes para identificar os principais eventos transgressivos/regressivos e pontos índices que são empregados para estabelecer curvas do nível relativo do mar (Shennan *et al.*, 1983), especialmente nas bacias em que a água do mar pode entrar apenas quando consegue ultrapassar certos limites, casos em que incursões de espécies tolerantes ao sal (polihalóbias) representam períodos de elevação do nível do mar (Fig. 5.2.15).

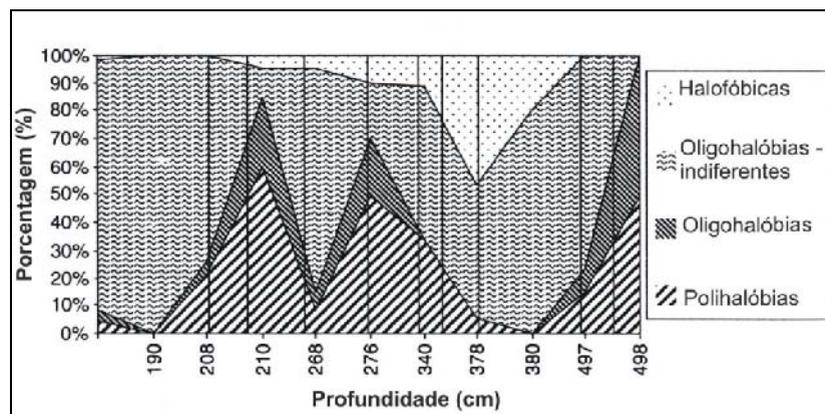


Figura 5.2.15 - Abundância relativa de diatomáceas com distintas tolerâncias à salinidade ao longo de um testemunho do lago Eala, Escócia, como resposta ao isolamento da bacia (modificado de Shennan *et al.*, 1994).

Certo atraso entre o isolamento ou ingresso, e a resposta das diatomáceas, pode ser esperado em bacias largas e profundas, devido à eurihalidade das espécies ou a processos físicos, como a formação de um halocline ou o influxo de grande quantidade de água doce (Douglas *et al.*, 1996).

Em um exercício mais abrangente, Vos & De Wolf (1993) preconizaram a combinação da faixa de salinidade e da forma de vida como um indicador paleoecológico chave (Fig. 5.2.16), cuja representação permite a identificação de comunidades de diatomáceas marinhas, estuarinas, paludosas e de água doce em depósitos antigos específicos. Enquanto alguns destes grupos representam condições bastante peculiares (e.g. epífitas salobras para lagunas, epipsâmon para substratos mais arenosos), outros são menos eficientes. O comportamento de espécies ticoplanctônicas marinhas, tal como *Cymatosira belgica*, pode ser controlado pelo influxo de sedimento (Vos & De Wolf, 1994; Denys, 1995).

		Salinidade										
		Polihalóbias			Mesohalóbias				Oligohalóbias			
		S (‰)	30	20	10	5	2	0.5	0.2	0.2	0.2	
		Cl <sup>-</sup> (mg l <sup>-1</sup> )	17000	10000	5000		10000	500		100	0	
Forma de vida	Plâncton	Plâncton s.s.	Plâncton marinho	Plâncton mixohalino			Plâncton mixohalino/dulcícola			Plâncton dulcícola		
	Ticoplâncton	Ticoplâncton	Ticoplâncton marinho	-----			Ticoplâncton mixohalino/dulcícola			-----		
	Epífitas	Epífitas	Epífitas marinhas	Epífitas marinhas/mixohalinas			Epífitas mixohalinas/dulcícolas			Epífitas dulcícolas		
	Epipédon	Epipédon	Epipédon marinho	-----			Epipédon mixohalino/dulcícola			Epipédon dulcícola		
	Bentos	Epipsâmon	Epipsâmon marinho/mixohalino			-----			-----			
	Aerófilas	Aerófilas marinhas/mixohalinas			-----			Aerófilas marinhas/dulcícolas			-----	
			Aerófilas marinhas/mixohalinas			-----			Aerófilas marinhas/dulcícolas			-----

Figura 5.2.16 - Classificação ecológica das diatomáceas com base na forma de vida e tolerância a salinidade (modificado de Vos & De Wolf, 1993).

A análise de diatomáceas é um método eficiente para estabelecer se a erosão, ou algum hiato sedimentar substancial tenham acontecido, casos em que os dados advindos das alterações litológicas não representariam o início ou o término da atividade marinha local (Haggart, 1986; Shennan, 1986; Long, 1992). A sensibilidade das assembleias de diatomáceas para mudanças mais tênues nas condições sedimentares também permite a elas o registro de tendências locais menos pronunciadas ou de ampla duração (Denys & De Wolf, 1999).

No entanto, muito frequentemente, análogos modernos não estão disponíveis devido à perda da representação atual da diversidade paleoecológica, extinções, ou quando os processos tafonômicos impossibilitam inferir a composição da assembleia originalmente sedimentada. Nestas situações, é altamente recomendável a adoção de procedimento bastante comum em estudos estratigráficos e paleontológicos do pré-Quaternário, mas ainda subutilizado no Recente: a análise de frequência de biofácies. Sua aplicação foi

demonstrada por Denys (1994, 1999), que caracterizou onze biofácies presentes em depósitos holocênicos da Bélgica. Para estabelecer cada biofácies, o pesquisador considerou a concentração valvar total e a porcentagem dos táxons mais importantes, ordenados de acordo com os grupos halóbios (de marinho para água doce), interpretando-as conjuntamente com os dados litológicos (Fig. 5.2.17). Para a análise final dos dados, outras informações sobre a ecologia das diatomáceas de cada biofácies foram extraídas de fontes bibliográficas, priorizando aquelas de ênfase regional.

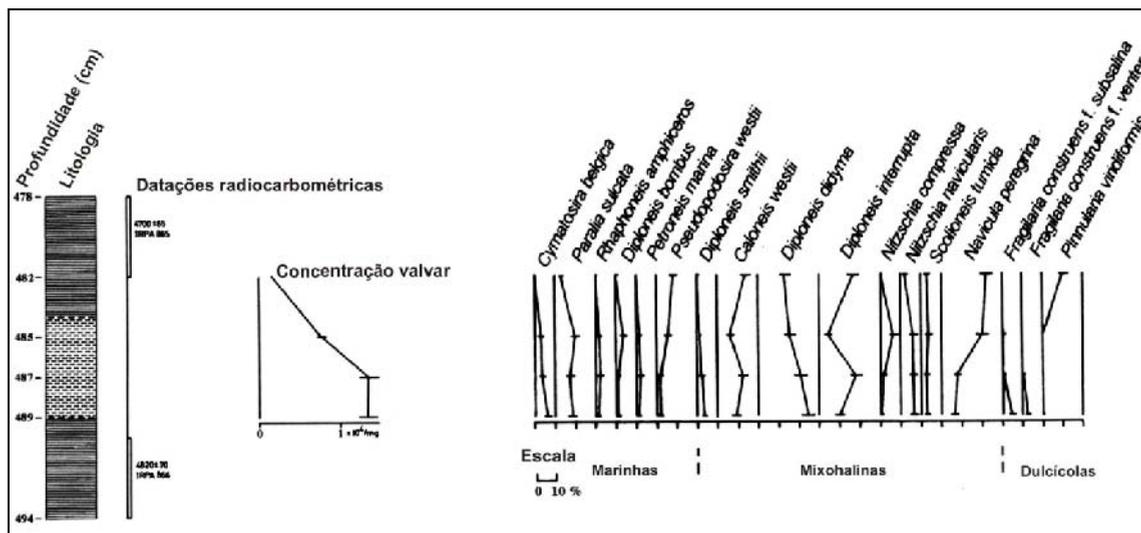


Figura 5.2.17 - Exemplo de uma “diatomofácies” de Denys (1999), apresentando características litológicas, datações radiocarbométricas, concentração valvar total e abundância relativa dos táxons mais representativos, em uma intercalação argilosa em turfeira holandesa (modificado de Denys, 1999).

### 5.2.5 Limitações tafonômicas

Como ocorre com todos os microfósseis, pode haver sérias dificuldades para se traçar a ontogenia das assembleias de diatomáceas fósseis (Denys & De Wolf, 1999). Uma vez incorporadas ao sedimento, sua composição pode ser afetada por processos físicos (correntes, ressurgências, ressuspensão, erosão) e biológicos (bioturbação) (Snoeijs, 1999). Acentuadas diferenças na morfologia das valvas e no grau de silicificação contribuem para uma resistência muito variável, em termos de abrasão e dissolução, o que cria as escalas de preservação (Denys & De Wolf, 1999). Assim, um dos assuntos chave na análise de diatomáceas é a precisão com a qual as assembleias em sedimentos representam a composição original das fontes de comunidades e habitats dos quais elas derivam (Battarbee *et al.*, 2001).

Os processos responsáveis pelas diferenças entre as amostras de comunidades vivas e de assembleias fósseis incluem a remoção por escoamento, contaminação das fontes a montante, ressuspensão e retrabalhamento de sedimentos antigos dentro da bacia, bioturbação da coluna sedimentar e preservação diferencial (Battarbee, 1986). A maior preocupação recai geralmente sobre a dissolução. Comparações entre a composição de espécies dos sedimentos e comunidades atuais sugerem que certos táxons não possuem um bom potencial de preservação. Algumas espécies comuns de *Fragilaria* (Fig. 5.2.18a), por exemplo, não são encontradas abundantemente nos sedimentos, provavelmente porque sua frústula alongada e estreita quebra-se em pequenos pedaços irreconhecíveis. Outros gêneros “espiculares” como *Nitzschia* (Fig. 5.2.18b) também tendem a ser raros nos testemunhos, enquanto que tipos mais próximos de *Navicula* (Fig. 5.2.18c) e *Cyclotella* (Fig. 5.2.18d) são mais numerosos. Espécies pouco silicificadas, como representantes de *Rhizosolenia* (Fig. 5.2.18e), não são comumente reconhecidas nos sedimentos devido à dissolução e à degradação mecânica de suas frústulas (Round, 1964).

A dissolução parcial ou completa das frústulas pode ocorrer na coluna d’água ou nos sedimentos. Na maioria dos casos, o principal local de dissolução é o sedimento superficial. Bandas intercalares, as últimas partes a sofrerem silicificação durante o desenvolvimento celular, são especialmente vulneráveis. As perdas levam não apenas à redução no número de valvas acumuladas, mas a desvios na composição das assembleias dos sedimentos, que favorecem a representatividade de táxons mais robustos (Fig. 5.2.19), que pode ser constante ou variar ao longo do tempo, com implicações importantes para a precisão das funções de transferência baseadas nos dados de composição (Battarbee *et al.*, 2001).

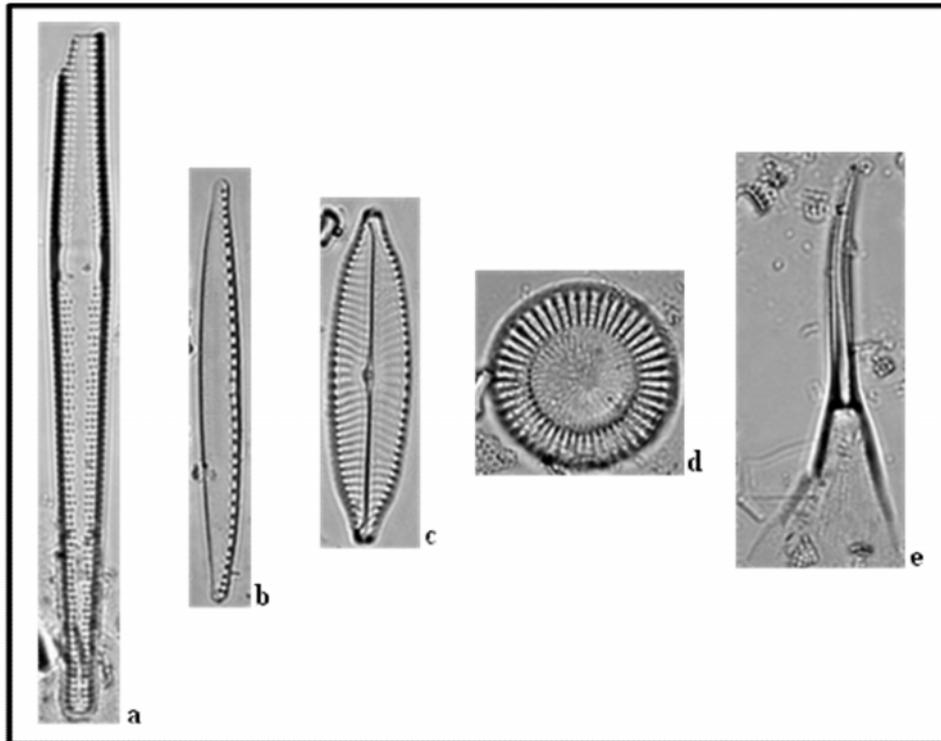


Figura 5.2.18 - Formas e resistência a fragmentação e dissolução. (a) *Fragilaria*; (b) *Nitzschia*; (c) *Navicula*; (d) *Cyclotella*; (e) *Rhizosolenia*.

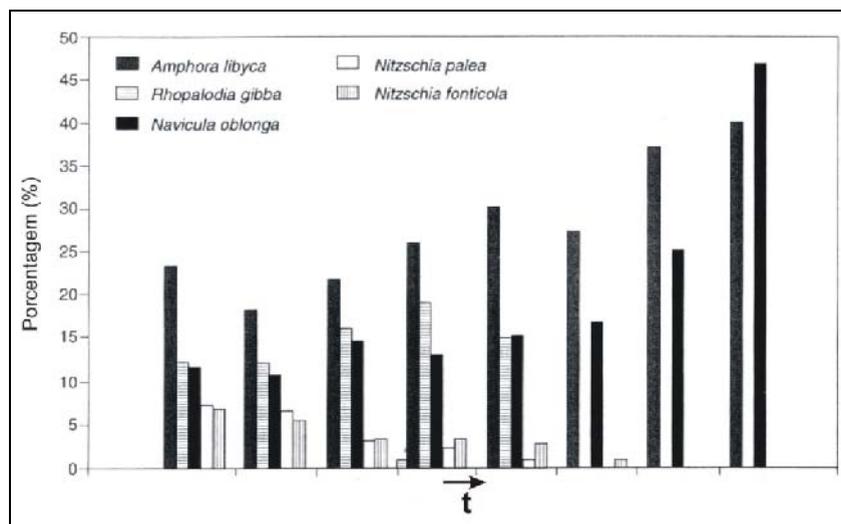


Figura 5.2.19 - Dissolução de diatomáceas ao longo de 4 semanas à 25 °C em água destilada com pH 10. Espécies mais robustas como *Amphora libyca* e *Navicula oblonga* estabelecem-se como dominantes (modificado de Ryves *apud* Battarbee *et al.*, 2001).

Embora existam exceções, a preservação é usualmente melhor em águas moles e frias, típicas das latitudes boreais (Cameron, 1995) e mais pobre em lagos salinos ou alcalinos em baixas latitudes (*e.g.* Barber, 1992). Esta dissolução diferencial atinge cerca de 10% das espécies representadas nos sedimentos continentais (Round, 1964).

Nos sedimentos marinhos, esta questão pode assumir proporções ainda mais drásticas. Os oceanos atuais estão insaturados com relação à sílica, principalmente devido ao elevado montante removido pela biomineralização das diatomáceas. Isto significa que as frústulas destas espécies estão propensas à dissolução pela pressão em profundidade, ou sob condições alcalinas, especialmente as formas menos robustas ou fracamente silicificadas (Fig. 5.2.30). Esta dissolução seletiva em ambientes marinhos e a não preservação de muitas formas de água doce origina assembleias fósseis que raramente representam a comunidade outrora vivente. Menos de 5 % da comunidade vivente nas superfícies oceânicas alcança o fundo marinho para formar uma tafocenose. Esta última compreende majoritariamente a frústulas mais robustas e estatósporos, com eventuais formas mais delicadas que alcançam o fundo através de incorporação em *pellets* fecais do zooplâncton. Além disso, diatomáceas planctônicas podem viajar muito antes de começar a cair no leito oceânico (Armstrong & Brasier, 2005)

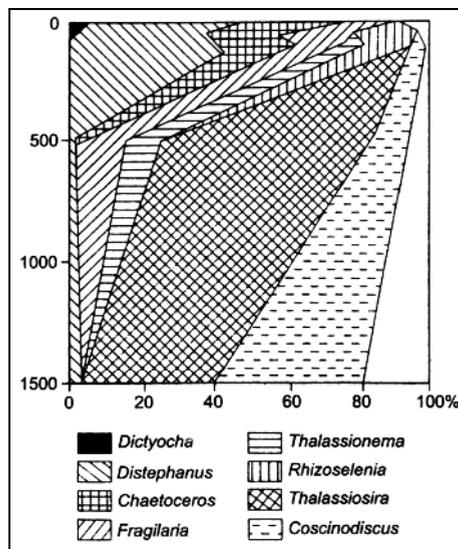


Figura 5.2.30 - Alterações na flora de silicoflagelados e diatomáceas com a profundidade, em função da dissolução. *Dictyocha* e *Distephanus* são silicoflagelados; as demais são diatomáceas (modificado de Funnel & Riedel *apud* Armstrong & Brasier, 2005).

Quando múltiplas áreas-fonte contribuem para uma assembleia fóssil, é necessária a avaliação de seus papéis particulares, tornando primordial a identificação de componentes autóctones e alóctones. Algumas diretrizes são estabelecidas para este propósito, incluindo considerações sobre o hábito de vida (diatomáceas bentônicas e sésseis estão menos sujeitas ao transporte do que as ticoplanctônicas ou holoplanctônicas), abundância e frequência de ocorrência, preservação das valvas (corrosão, fragmentação),

padrões de ocorrência estratigráfica, contexto paleogeográfico, indicativo litológico, compatibilidade ecológica dentro da assembleia e consistência das tendências paleoecológicas (Vos & De Wolf, 1993). Deve-se ter em mente, também, que habitats muito distintos podem ocorrer próximos um dos outros, dando origem a assembleias parautóctones (Denys & Verbruggen, 1989).

Outro aspecto importante diz respeito à interpretação da presença de táxons marinhos nos sedimentos lacustres. Neste contexto, as inferências paleoambientais devem considerar que:

- (i) Lagos podem ser originados a partir do isolamento da influência marinha, conforme mencionado nas seções anteriores. Desta maneira, os sedimentos destes sistemas possuem uma flora tipicamente marinha nos estratos inferiores;
- (ii) Lagoas costeiras podem ser influenciadas pelo *spray* marinho. Os táxons presentes neste *spray* são pouco numerosos, e compõem-se basicamente de formas fragmentadas (Fulford-Smith & Sikes, 1996).
- (iii) Lagos de água doce podem ser inundados pela água salgada, quando ocorre o aumento do nível do mar. Este maior influxo de sais marinhos pode levar à alteração das características químicas do lago, causando um incremento no desenvolvimento de diatomáceas halofílicas e alcalinofílicas (Schmidt *et al.*, 1990);
- (iv) Lagos de água doce podem conter diatomáceas marinhas transportadas por pássaros ou por excremento de mamíferos marinhos. Fontes animais podem ser identificadas porque estes vetores geralmente resultam em um aumento concomitante de carbono orgânico e nutrientes (Fulford-Smith & Sikes, 1996).
- (v) Lagos de água doce podem receber sedimentos marinhos retrabalhados da área-fonte (Fulford-Smith & Sikes, 1996).

## 6 MATERIAIS E MÉTODOS

### 6.1 COLETA DO TESTEMUNHO E AMOSTRAGEM

O testemunho PM-RS-D01 foi coletado no dia 6 de julho de 2006, durante expedição de campo realizada pelo Laboratório de Palinologia do Instituto de Geociências, em colaboração com o Centro de Estudo de Geologia Costeira e Oceânica (CECO) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Através de percussão manual, um tubo de PVC com 6 metros de comprimento e 75 milímetros de diâmetro foi introduzido até a profundidade de 4,87 metros, a partir da qual os esforços para atingir níveis inferiores revelaram-se infrutíferos (Fig. 6.1.1 a 6.1.2). Uma tralha manual foi utilizada para viabilizar sua retirada (Fig. 6.1.3). O testemunho foi encaminhado ao Laboratório de Sedimentologia do CECO, onde foram processadas as etapas de abertura e registro fotográfico de suas características, via descrição expedita da sedimentologia, aspectos texturais, cor e presença/ausência de fragmentos orgânicos. As amostras para o estudos das diatomáceas foram extraídas observando-se intervalos regulares de 4,7 cm com o auxílio de uma seringa de 1 ml (Fig. 6.1.4).



Figura 6.1.1 – Início do processo de percussão manual visando a penetração do tubo de PVC.



Figura 6.1.2 – Término do processo de percussão manual visando a penetração de cano de PVC.



Figura 6.1.3 – Processo de retirada do testemunho com o auxílio de tralha manual.

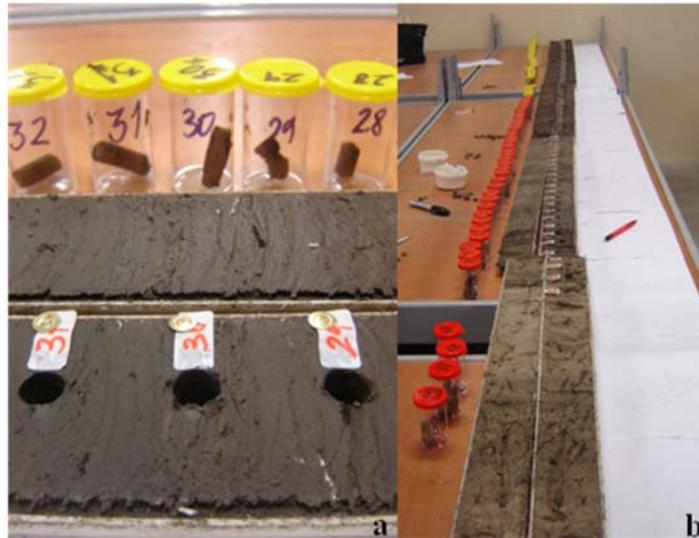


Figura 6.1.4 – (a) Coleta das amostras; (b) Registro das características sedimentológicas macroscópicas em papel.

## 6.2 DESCRIÇÃO E ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Oito amostras de 10 cm de amplitude foram submetidas aos processos de secagem, desagregação, quarteamento, separação de finos, peneiramento, ensaios de decantação, cálculo dos parâmetros estatísticos e análise dos aspectos morfoscópicos dos grãos, necessários para a definição das litologias recuperadas, no Laboratório de Sedimentologia do CECO-UFRGS, seguindo a metodologia descrita em Krumbein & Pettijohn (1938) e a classificação de Shepard (1954) (Fig. 6.2.1).



Figura 6.2.1 – Amostras selecionadas no testemunho PM-RS-D01 em início de análise granulométrica.

### **6.3 DATAÇÕES**

Com o intuito de se obter o balizamento geocronológico do intervalo estudado, três amostras (459,7 a 471,6 cm; 383,9 a 395,9 cm; 211,6 a 225,6 cm) foram selecionadas e enviadas ao laboratório BETA ANALYTIC INC, na Flórida, EUA, para datação pelo método do  $^{14}\text{C}$ .

### **6.4 ENSAIOS PARA ESTUDO DOS MÉTODOS DE RECUPERAÇÃO DE DIATOMÁCEAS**

Ensaio envolvendo diferentes metodologias para recuperação de microfósseis silicosos, detalhadas em Abrantes *et al.* (2005), foram conduzidos visando o estabelecimento dos procedimentos mais adequados de preparação do material em análise. A escolha da técnica detalhada a seguir, baseou-se em critérios como tempo de execução, custo e, principalmente, qualidade dos fósseis recuperados.

### **6.5 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE DE DIATOMÁCEAS**

Para esta etapa foi adotado o método “M5” conforme Abrantes *et al.* (2005), com modificações. Pirofosfato de sódio, substituindo o *Calgon* da técnica original, foi utilizado para a dispersão prévia das argilas em 0,78 cm<sup>3</sup> de sedimento, seguido de ácido clorídrico para dissolução dos carbonatos e peróxido de hidrogênio para oxidação da matéria orgânica. Todos os procedimentos foram executados no Laboratório de Palinologia do IG/UFRGS, em béqueres de 250ml e a lavagem dos diferentes reagentes foi realizada através de sucessivas decantações, sem o auxílio de centrífuga para evitar a quebra de frústulas mais delicadas. Os resíduos das amostras tratadas foram estocados em frascos de 50ml e depositados no Herbário Alarich Schulz do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul.

### **6.6 CONFECÇÃO DE LÂMINAS PERMANENTES**

A partir de uma alíquota diluída do sedimento tratado de cada nível amostrado foram confeccionadas, no mínimo, três lâminas permanentes utilizando a resina *Naphrax* (IR=1,74) como meio de montagem. Além destas, produziu-se também um conjunto de lâminas com *Entellan* (IR=1,50) como meio de montagem. Para todo o processo foram usadas pipetas plásticas descartáveis, para evitar contaminação

entre os níveis. Pesos em chumbo foram colocados sobre as lâminas durante o processo de evaporação do tolueno para evitar a formação de múltiplos “níveis de foco”.

## **6.7 IDENTIFICAÇÃO**

A identificação dos táxons foi efetuada com base na observação das lâminas em aumento de mil vezes, em microscópio Olympus BX51, no Laboratório de Palinologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), microscópio Olympus BX51 no Laboratório de Micropaleontologia do Instituto de Geociências da Universidade de Tübingen e microscópio Olympus CX31 de uso particular. Um maior detalhamento das estruturas dos espécimes foi obtido pela utilização de microscopia eletrônica de varredura na Universidade de Tübingen, durante estágio de doutoramento realizado naquela instituição, bem como no Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS. Todos os morfotipos localizados nas lâminas foram fotografados e medidos, vindo a constituir guia de contagem e banco de dados para publicações futuras de caráter taxonômico.

A identificação dos táxons fundou-se nas obras de Hustedt (1927-1966), Krammer & Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991a,b), Round *et al.* (1990), Witkowski *et al.* (2000) e Metzeltin *et al.* (2005), além de consultas a periódicos especializados, tais como, *Diatom Research* e *Bibliotheca Diatomológica*.

## **6.8 QUANTIFICAÇÃO DAS DIATOMÁCEAS**

A quantificação dos diferentes táxons foi processada a partir do cálculo da abundância relativa. Todos os indivíduos encontrados foram quantificados e computados até a obtenção de uma população representativa, determinada pelo método gráfico de estabilização da curva a partir da adição de espécies novas com o aumento do número de valvas consideradas (Pappas & Stoermer, 1996), desde que uma eficiência mínima de 85% fosse atingida com não menos do que 300 registros valvares. Para Battarbee *et al.* (2001), este número é suficiente para estudos de alta resolução envolvendo muitas amostras e é utilizado como parâmetro para inúmeros estudos paleolimnológicos que envolvem a abundância relativa de diatomáceas como paleodescritores ambientais (*e.g.*, Espinosa *et al.*, 2003; García-Rodríguez & Witkowski, 2003; García-Rodríguez *et al.*, 2004a,b; Fluin *et al.*, 2007; Sterken *et al.*, 2008). Valvas fragmentadas e de

espécies de *Aulacoseira* spp. em vista valvar, não foram consideradas nas contagens pela impossibilidade de identificação taxonômica.

## 6.9 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Para análise, o testemunho PM-RS-D01 foi dividido em quatro segmentos. O primeiro compreendeu as unidades amostrais situadas entre as profundidades de 481,0 cm a 386,4 cm, contemplando os níveis identificados como M1 a M21. O segundo abrangeu os níveis M22 (381,7 cm) a M43 (282,4 cm). O terceiro segmento abarcou as profundidades 277,65 cm (M44) a 183,05 cm (M64) e, por fim, M65 (178,3 cm) a M89 (64,8 cm) constituíram o último trecho do poço.

Adotou-se, como critério para definir a amplitude dos segmentos, o corte do testemunho realizado no momento da coleta para fins de transporte, exceção feita ao segmento 4 cuja abrangência envolve a base do quarto fragmento e o topo do quinto (Fig. 6.9.1).



Figura 6.9.1 – Corte do testemunho PM-RS-D01 em campo para fins de transporte.

As unidades amostrais de cada segmento foram agrupadas em função de suas características bióticas previamente logaritimizadas [ $\log(x)+1$ ], adotando como medida de dissimilaridade a distância Euclidiana<sup>1</sup>, e como critério de aglomeração o Método pela Variância Mínima (Método de Wards; Romesburg, 1984), considerado altamente eficiente para a formação de grupos (Valentin, 2000).

A nitidez dos agrupamentos e suficiência amostral foi determinada pela verificação da significância estatística entre os grupos ( $G$ ) em distintos níveis de corte via teste de hipóteses por aleatorização e autoreamostragem. Assim, foram computadas as probabilidades  $P(G^\circ \leq G^*)$  para cada nível de particionamento, de dois grupos até o máximo especificado, e tamanho de amostra. A probabilidade  $P(G^\circ \leq G^*)$  é a proporção de iteração de autoreamostragem em que  $G^\circ$  (aleatório) é menor ou igual a  $G^*$  (observado). Se  $P(G^\circ \leq G^*)$  não for maior do que o limite especificado, pode-se concluir que os  $k$  grupos da divisão não são nítidos o suficiente para reaparecer de forma consistente na reamostragem. Isto é, a hipótese nula de não haver diferenças significativas entre as comparações é rejeitada, pois os grupos são indistintos. Se, do contrário, a hipótese nula for aceita, finaliza-se que não há evidência suficiente para refutar a nitidez dos grupos (Pillar, 1994-2006).

O tamanho da amostra influencia o poder do teste de estabilidade das divisões. Um tamanho de amostra reduzido irá provavelmente aumentar o erro tipo II, ou seja, a probabilidade de aceitar a hipótese de nulidade quando ela é, de fato, falsa. Uma  $P(G^\circ \leq G^*)$  maior que um limite pode indicar tanto uma estrutura de grupo nítida, quanto o fato do tamanho da amostra ser muito pequeno. A suficiência do tamanho da amostra foi avaliada pelo exame da estabilidade de probabilidades ao longo de uma série de tamanhos de amostra para cada conjunto que compunha os segmentos (Pillar, 1994-2006).

A partir da definição dos agrupamentos significativos por segmento de análise, buscou-se definir espécies potencialmente descritoras de alterações paleoambientais utilizando a Análise de Espécies Indicadoras (IndVal) (Dufrene & Legendre, 1997). Este método combina informação sobre a concentração da abundância de uma espécie em um determinado grupo de unidades amostrais bem como de sua fidelidade de ocorrência (frequência).

---

<sup>1</sup> A escolha desta medida de distância baseou-se na “chave de identificação” de coeficientes de semelhança proposto por Podani (2000).

Valores Indicativos foram calculados para cada espécie dentro de cada grupo, e estes foram testados para a significância estatística usando o teste de Monte Carlo (detalhamento do método em Manly, 1991). Usualmente, os grupos são definidos por uma variável ambiental categórica, níveis de perturbação, tratamentos experimentais ou tipos de habitat. Neste estudo, a variável categórica adotada correspondeu aos agrupamentos originados nos segmentos de testemunho analisados.

O valor indicativo (VI) de determinada espécie para dado grupo de unidades amostrais foi determinado pela fórmula apresentada a seguir:

$$\text{Valor Indicativo} = A_{ij} * B_{ij} * 100$$

$A_{ij}$  = razão entre o número médio de indivíduos da espécie  $i$  ao longo dos níveis que compõem o grupo  $j$  e o somatório das médias dos indivíduos da espécie  $i$  ao longo de todos os grupos  $j$ .

$B_{ij}$  = razão entre o número de amostras do grupo  $j$ , onde a espécie  $i$  está presente e o número total de estações amostrais que compõem o grupo  $j$ .

Por fim, a espécie foi associada ao grupo em que apresentou o maior valor indicativo, desde que  $P(VI \leq VI^*) \leq 0,05$ .

Cada grupo formado e suas espécies indicadoras associadas receberam um símbolo gráfico, os quais foram plotados sobre as figuras dos trechos analisados, ao lado das respectivas profundidades dos níveis que o compõem, no intuito de representar graficamente as transformações sofridas pela biota ao longo do tempo. A percepção das modificações paleoambientais registradas pelo descritor paleontológico foram, desta forma, facilitadas. Além disto, ao lado da fotografia de cada segmento, a abundância percentual das espécies indicadoras foi representada.

As correlações entre as espécies indicadoras foram avaliadas via aleatorização e autoreamostragem, através do cômputo do coeficiente de correlação entre variáveis, que foi testado a partir da hipótese de nulidade ( $H_0$ ), de não associação entre os pares examinados em 1.000 iterações (Pillar, 2001).

A opção de aplicação dos protocolos estatísticos de forma independente para cada segmento originou-se da observação de que os segmentos oriundos da divisão do testemunho em campo apresentaram, de forma geral, granulometria distinta. Ainda neste sentido, fundamentou-se na hipótese de que ao se

considerar uma população amostral mais restrita a granulometrias específicas, padrões de distribuição e abundância intrínsecos das espécies em determinada fácies sedimentar poderiam se manifestar de forma mais evidente, potencializando o refinamento das informações paleoambientais em função da definição de um maior número de grupos e espécies indicadoras. Destaca-se que, no momento de abertura do poço, houve descompactação do sedimento que extravasou, ocasionando perda de material nas extremidades. Desta forma, eventuais alterações florísticas abruptas poderiam ser interpretadas, erroneamente, como flutuações ambientais extremas, preocupação que contribuiu para a definição desta estratégia.

No entanto, para que este fluxo analítico pudesse ser implementado, foi necessário preliminarmente verificar se, de fato, existiam diferenças bióticas entre os segmentos de tal ordem que viabilizassem seu desmembramento para fins estatísticos. Neste sentido, um teste de hipótese via aleatorização e autoreamostragem foi aplicado tendo como hipótese de nulidade ( $H_0$ ) a inexistência de diferenças significativas entre a distribuição e abundância das espécies nos distintos segmentos do testemunho. Utilizou-se como critério a soma dos quadrados de distâncias euclidianas entre unidades amostrais. Assim, a probabilidade  $p$  de que a soma de quadrados obtida por aleatorização ( $Q^0$ ) seja tão extrema quanto a soma de quadrado dos dados observados ( $Q^*$ ), foi obtida pela divisão do número de iterações em que a soma de quadrados aleatória foi maior ou igual à soma de quadrados dos dados observados por 1.000 iterações (Pillar & Orlóci, 1996).

O resultado deste teste (Tab. 6.9.1), referendaram os procedimentos supramencionados, uma vez que os contrastes entre os trechos revelaram-se significativos.

Tabela 6.9.1 - Resultado dos testes de aleatorização e autoreamostragem para comparação das diferenças entre a distribuição e abundância das diatomáceas nos distintos segmentos do testemunho PM-RS-D01.  $p$  = probabilidade de que a soma de quadrados ( $Q$ ) obtida por aleatorização ( $Q^0$ ) seja tão extrema quanto a soma de quadrado dos dados observados ( $Q^*$ ) em 1.000 iterações.

<b>Contrastes</b>	<b>Q</b>	<b>p</b>
Segmento 1 vs Segmento 2	19,629	0,001
Segmento 1 vs Segmento 3	27,943	0,001
Segmento 1 vs Segmento 4	51,012	0,001
Segmento 2 vs Segmento 3	14,182	0,004
Segmento 2 vs Segmento 4	42,865	0,001
Segmento 3 vs Segmento 4	26,762	0,001

Tendo em vista o caráter inédito da aplicação destas técnicas e *modus operandi* no contexto dos estudos paleontológicos regionais, uma abordagem final de caráter integrativo foi concebida no intuito de minimizar o risco de eventual perda de informações decorrentes de falhas no estratagema proposto.

Todas as unidades amostrais do testemunho PM-RS-D01 foram, então, submetidas à análise de agrupamento utilizando os dados bióticos padronizadas pelo logaritmo natural  $[\log(x)+1]$ . A nitidez desta classificação foi avaliada através dos métodos de aleatorização e autoreamostragem previamente referidos e apresentados por Pillar (1994-2006). Em seguida, objetivando a verificação da variabilidade das principais espécies responsáveis pelo agrupamento, aplicou-se Análise de Componentes Principais por variância e covariância conforme procedimentos descritos em McCune e Mefford (1999).

A Análise de Componentes Principais (ACP) estabelece, com base em uma matriz de semelhança, um conjunto de eixos (componentes) perpendiculares, decrescentes em razão de sua contribuição à variação total das informações. O resultado é um sistema reduzido de coordenadas que proporciona informações sobre a semelhança das amostras (Valetín, 2000). A significância dos componentes (eixos) foi definida de acordo com o método de linha de quebra de autovalores (Jackson, 1993). Este método realiza uma permutação dos dados da tabela original, comparando os autovalores com os que seriam obtidos se os dados fossem todos aleatórios. Deste modo, os eixos cujos autovalores ultrapassam os obtidos pelos dados aleatórios podem ser considerados como suscetíveis de interpretação (Valentim, 2000). Esta foi realizada a partir do estudo das correlações de Pearson das variáveis com os componentes principais, e do exame dos gráficos de dispersão. Nestes últimos, que sumarizam as informações fornecidas pela análise, cada flecha indica a direção ou eixo obtido pela extensão da mesma em ambas direções, sendo que, para cada ponto de posicionamento de determinada unidade amostral, deve-se traçar uma linha perpendicular a este eixo afim de se determinar sua composição específica. O tamanho da flecha representa o quanto cada táxon contribuiu para a variabilidade dos dados logo, indica sua importância. O ângulo formado entre as flechas indica a correlação existente entre as variáveis, e a localização das unidades amostrais possibilita estabelecer suas características ambientais que, no caso do presente, se refere às espécies de diatomáceas recuperadas.

Logo após, a matriz contendo a informação de todas as unidades amostrais do testemunho foi submetida à Análise de Espécies Indicadoras (Dufrêne & Legendre, 1997) visando estabelecer quais espécies destacadas pela ACP possuíam vínculos significativos com algum dos grupos formados.

Esta necessidade contínua de busca por um conjunto de diatomáceas descritoras capazes de fornecer informações relevantes a cerca das modificações paleoambientais na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul, originou-se da constatação de que o número de espécies recuperadas no poço PM-RS-D01 era muito superior aos obtidos pelos levantamentos progressos efetuados na região abrangida pela área de estudo, inviabilizando a realização de identificações e descrições taxonômicas acuradas da totalidade dos táxons ao longo do cronograma estabelecido para a realização desta.

Os procedimentos estatísticos foram implementados com a utilização dos pacotes estatísticos PC-ORD, versão 4.0 para Windows (McCune & Mefford, 1999) e MULTIV 2.1.1 (Pillar, 1994-2006).

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 SEDIMENTOLOGIA E DATAÇÕES RADIOMÉTRICAS

Os resultados granulométricos das oito amostras analisadas para a definição das características sedimentológicas do testemunho podem ser observados na tabela 7.1.1 e figura 7.1.1. Estes dados indicam que o testemunho PM-RS-D01 registra, pelo menos, três alterações paleoambientais significativas. A primeira, e mais evidente, pode ser percebida pela coloração escura do segmento 1 em relação aos demais. As outras estão relacionadas com a alternância de trechos com características sedimentológicas distintas, nomeadas conforme a classificação de Shepard (1954): lama com areia, areia com lama e areia (Fig. 7.1.2).

Dados granulométricos, apresentados por Schwarzbald (1982), demonstram que os sedimentos do fundo dos lagos costeiros são de granulação fina (areia fina a argila), com tendência de diminuição das partículas das margens em direção ao centro dos lagos, refletindo variações de energia do ambiente. Esta observação encontra respaldo no conhecimento do modelo de sedimentação lacustre com granocrescência ascendente relatado por Suguio (2003). Neste, a deposição é iniciada com sedimentos finos e laminados arranjados no centro do lago, com posterior transgressão dos ambientes marginais à medida em que ocorre o processo de colmatação (Suguio, *op. cit.*).

Na figura 7.1.2 são informadas as respectivas profundidades das unidades amostrais, o resultado das datações radiométricas e a definição da sedimentologia do poço utilizadas para elaboração do perfil estratigráfico do testemunho (Fig. 7.1.3). Com base nestas é possível constatar que as alterações sedimentológicas refletem, em primeira análise, possíveis modificações batimétricas no local amostrado em função de sua proximidade ou afastamento da margem do sistema lacustre.

Tabela 7.1.1 - Resultado da análise granulométrica em oito amostras selecionadas do testemunho PM-RS-D01. A localização das amostras no testemunho é dada pela figura 7.1.1.

Amostra	Prof. (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação
1	429,0 - 419,0	34,48	31,45	34,05	lama com areia
2	365,5 - 357,5	59,21	20,83	19,95	areia com lama
3	301,3 - 291,3	80,43	9,95	9,61	areia
4	244,5 - 234,5	95,47	2,68	1,84	areia
5	192,5 - 182,5	96,24	1,87	1,88	areia
6	131,0 - 121,0	100,00	-	-	areia
7	93,2 - 83,2	96,86	2,38	0,75	areia
8	47,0 - 37,0	100,00	-	-	areia

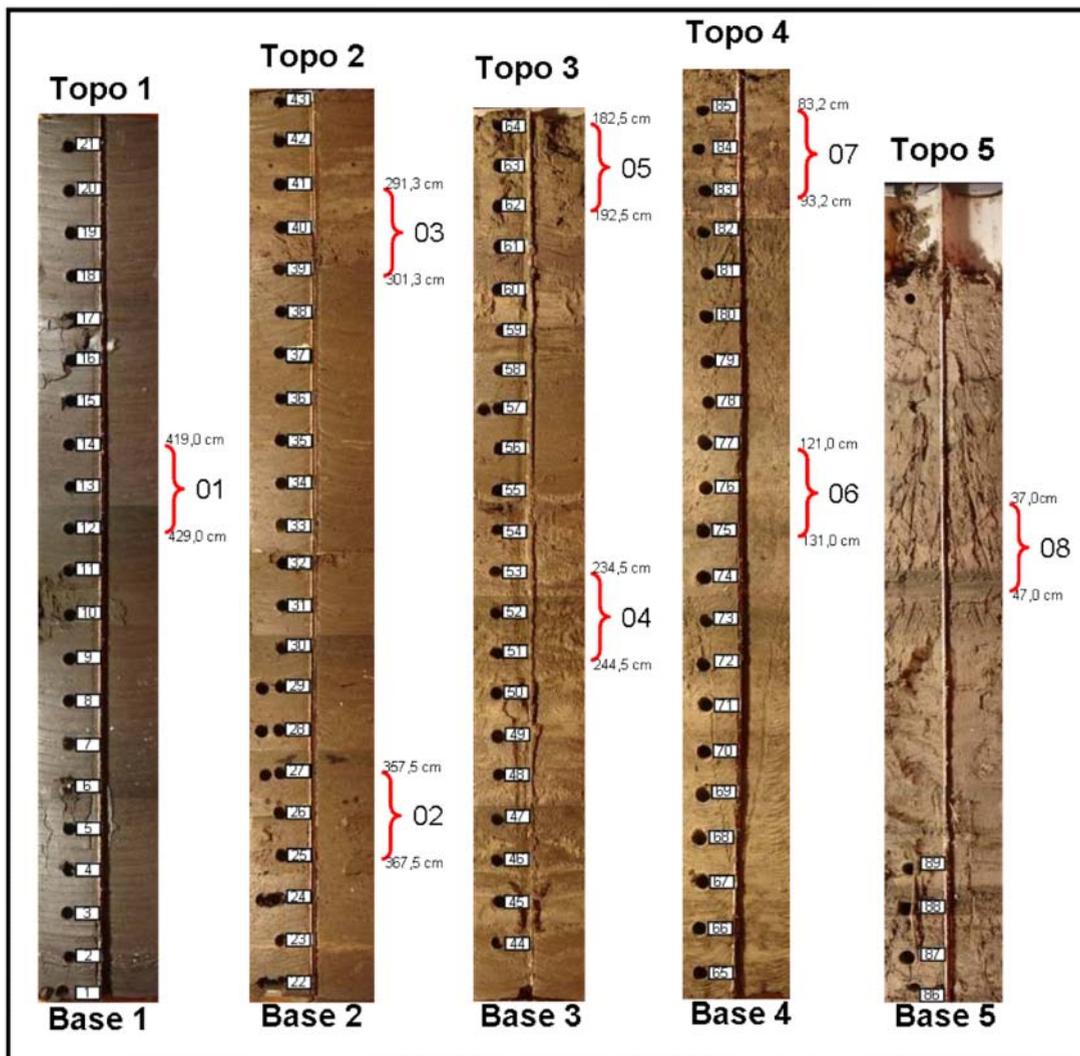


Figura 7.1.1 – Localização das amostras selecionadas para análise granulométrica do testemunho PM-RS-D01.

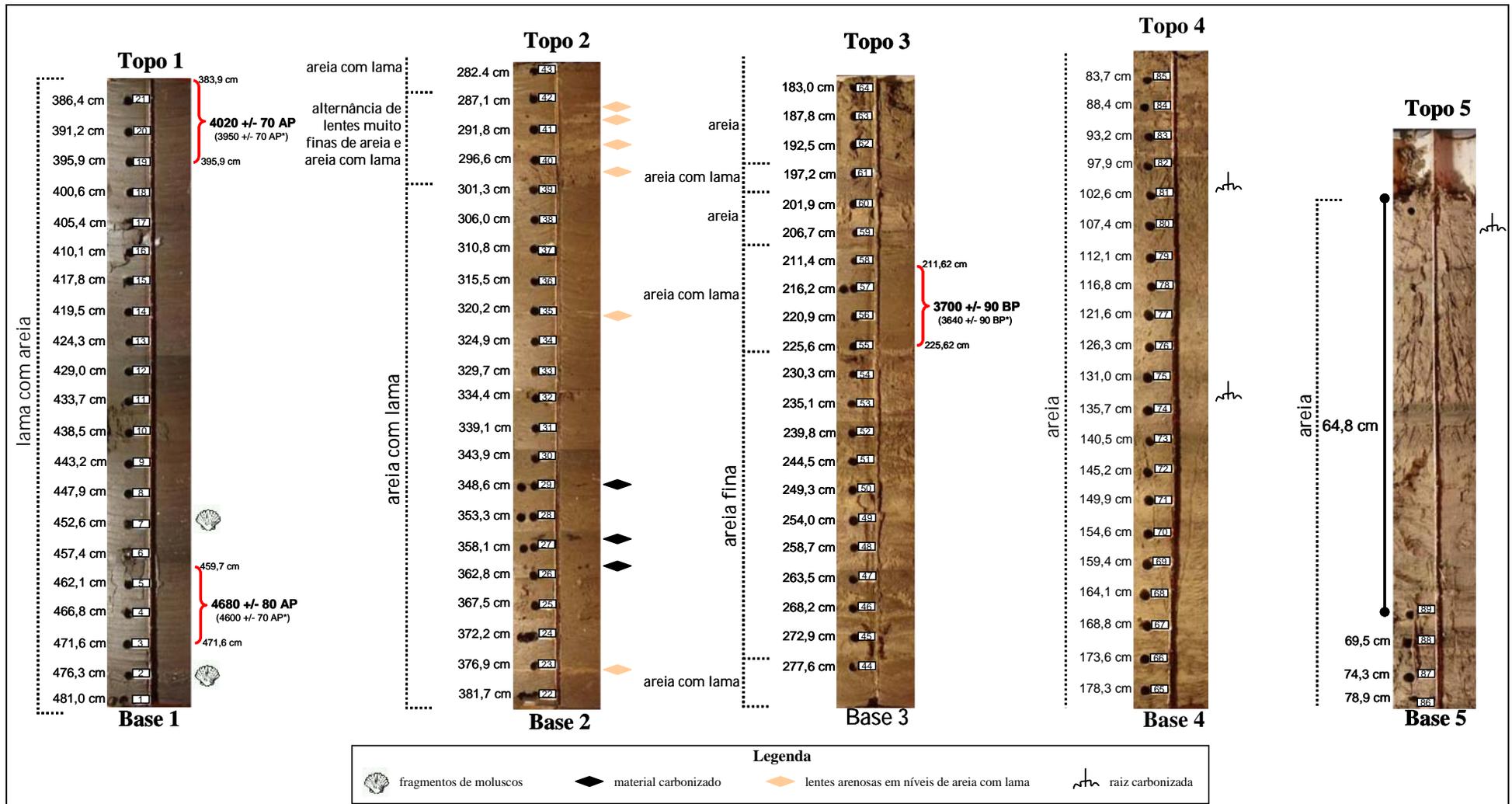


Figura 7.1.2 – Profundidades das unidades amostrais, resultado das datações radiométricas e definição da sedimentologia do poço. \* = idades calibradas em anos do calendário antes de 1950 ( $^{14}\text{C}_{\text{cal}}$ ).

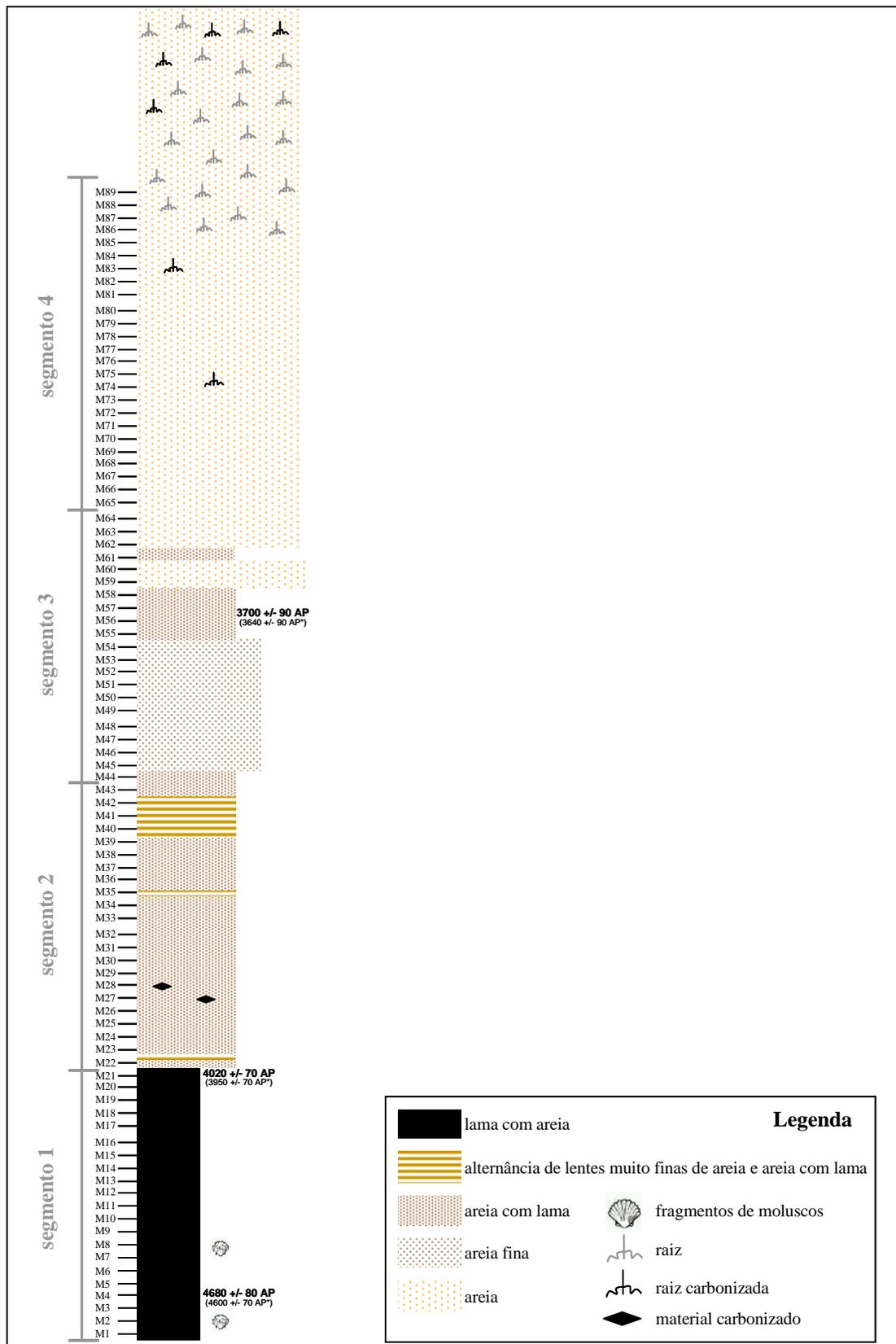


Figura 7.1.3 – Perfil estratigráfico do testemunho PM-RS-D01. \* = idades calibradas em anos do calendário antes de 1950 ( $^{14}\text{C}_{\text{cal}}$ ).

As datações radiocarbométricas demonstram que o testemunho recuperado contém o registro dos eventos ocorridos na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul após o máximo transgressivo registrado para o Holoceno. De acordo com o modelo de alterações relativas do nível médio do mar na costa do Brasil, proposto por Martin & Suguio (1992), Ângulo & Lessa (1997), Ângulo *et al.* (1999) e Lessa *et al.* (2000), o limite atual foi ultrapassado inicialmente a cerca de 7.000 anos AP. Há cerca de 5.100 anos AP, a transgressão holocênica alcançou seu ponto máximo, com o nível do mar de 4 a 5m acima do atual. Entre 4.000 e 3.900 anos AP, o nível médio do mar recuou até pouco abaixo do atual e, a cerca de 3.600 anos AP, elevou-se 3m. No intervalo entre 2.800 e 2.700 anos AP, o nível médio do mar encontrava-se pouco abaixo da situação presente, e há 2.500 anos AP uma terceira elevação (2,5 m) teria ocorrido. Desde então, vivenciamos uma terceira fase regressiva. Contudo, Isla (1998), que desenvolveu uma curva de alteração relativa do nível médio do mar para o sul da Argentina, não encontrou ali evidência dos eventos de regressão de 4.000-3.900 anos AP e 2.800-2700 anos AP.

Desta forma, o intervalo entre as amostras M19 (395,9 cm) e M54 (230,35 cm) poderiam conter, em algum momento, o registro de um retrocesso do nível relativo do mar, enquanto que as amostras M55 (225,65 cm), M56 (220,89 cm) e M57 (216,16 cm) corresponderiam a transgressão dos 3.600 anos AP (Fig. 7.1.2). Estas possibilidades são reforçadas pela sedimentologia, que aponta deposição de sedimentos mais arenosos justamente após 4.020 (3.950  $^{14}\text{C}_{\text{cal}}$ ) +/- 70 anos AP, com granulação mais grossa próximo a 3.700 (3.640  $^{14}\text{C}_{\text{cal}}$ ) +/- 90 anos AP, idade que corresponde ao estabelecimento de um nível espesso de areia com lama (Fig. 7.1.2.), e que poderão ser confirmadas pela análise das assembleias de diatomáceas fósseis, conforme discutido adiante.

A velocidade da acumulação sedimentar foi determinada pelo cálculo de valores médios da taxa de sedimentação a partir das datações radiométricas (Suguio, 2003). Cabe ressaltar o aspecto especulativo desta informação, uma vez que as datações não abarcam em totalidade o testemunho e estão remotamente dispostas. Entre 471,6 cm e 383,9 cm está representado em 87,7 cm um intervalo de 660 anos, perfazendo um índice de 0,1328 cm/ano. Já para a extensão compreendida entre 395,9 cm e 211,6 cm há um acréscimo de 184,3 cm em 320 anos, denotando uma contribuição significativamente mais elevada no sistema, já que a taxa de sedimentação salta para 0,5759 cm/ano (Fig. 7.1.3).

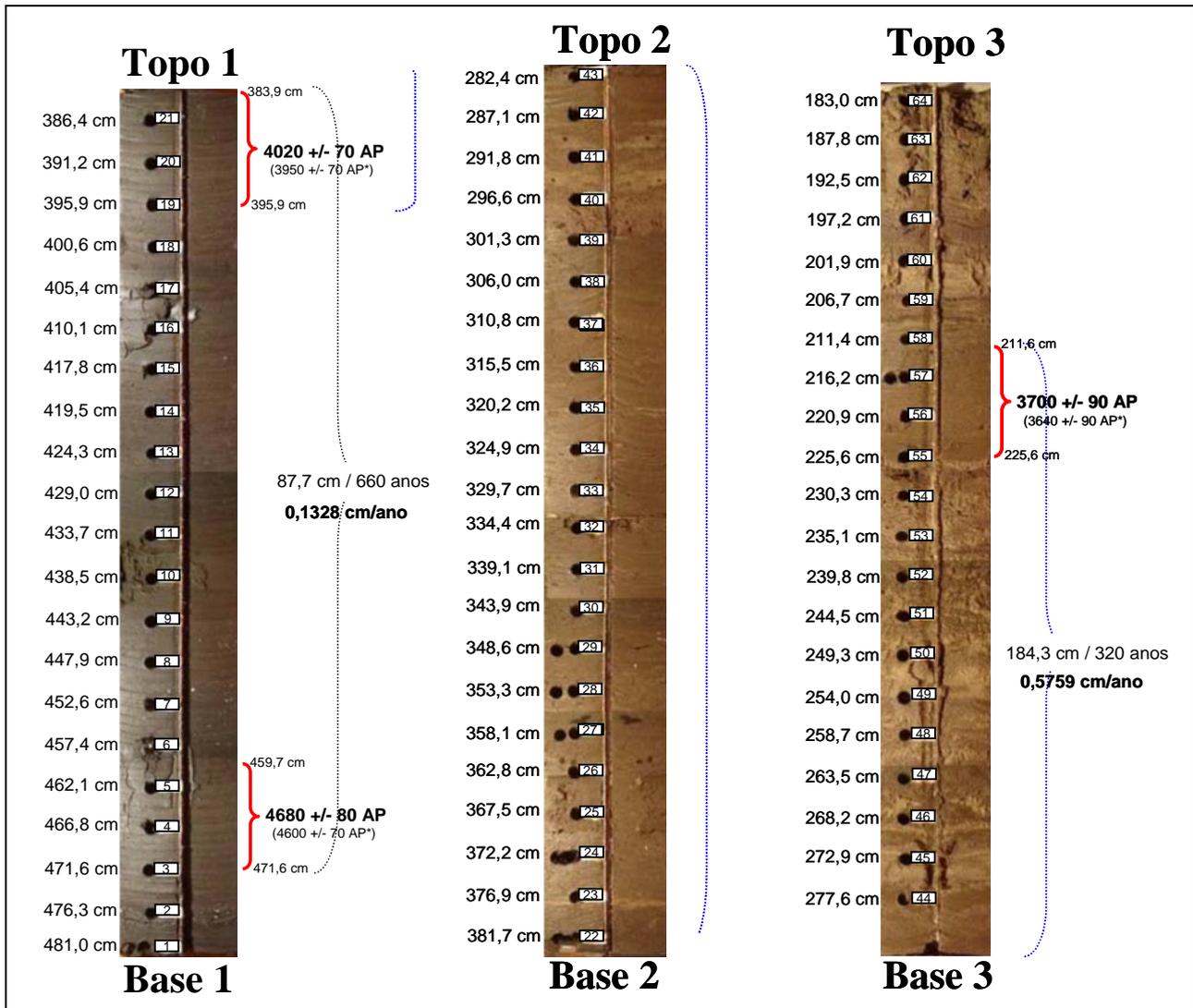


Figura 7.1.3 – Taxas de sedimentação para um trecho do testemunho PM-RS-D01. \* = idades calibradas em anos do calendário antes de 1950 ( $^{14}\text{C}_{\text{cal}}$ ).

De acordo com Tomazelli & Villwock (1991), logo após o máximo transgressivo de 5.100 anos AP, a planície holocênica do Rio Grande do Sul foi ocupada por grandes corpos lagunares conectados com o mar. Conforme Suguio (2003), as fácies sedimentares dos depósitos lagunares são representadas principalmente por lamias ricas em matéria orgânica, areias finas e conchas fragmentadas, axioma que confirma a origem lagunar dos sedimentos do poço PM-RS-D01.

## 7.2 RESULTADOS MICROPALAEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 1 (AMOSTRAS M1 A

M21)

A análise de agrupamento, em função da abundância relativa dos táxons no intervalo entre M1(481,0 cm) e M21(386,4), dicotomizou as unidades amostrais em dois grupos nítidos, ratificados pela avaliação de suficiência amostral e significância dos níveis de partição geradas em 1.000 iterações de aleatorização e autoreamostragem para cada tamanho de amostra (Fig. 7.2.1 e 7.2.2).

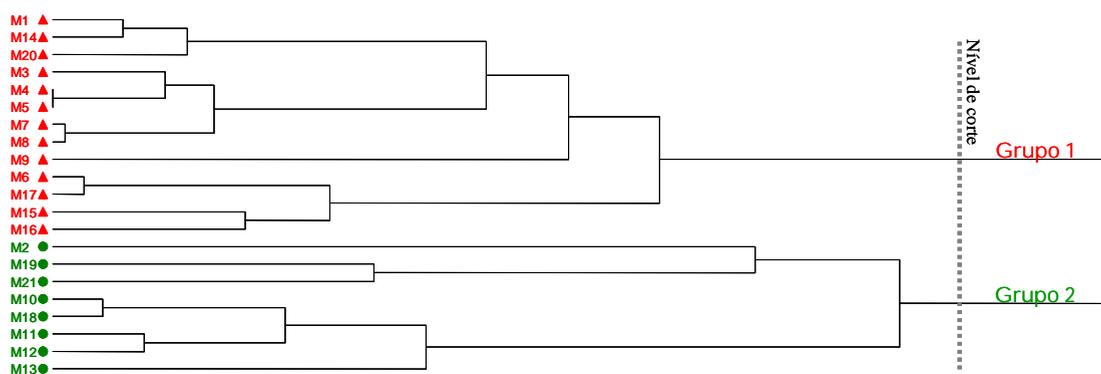


Figura 7.2.1 - Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 21 unidades amostrais que compõem o segmento 1.

A tabela 7.2.1 apresenta o resumo da Análise de Espécies Indicadoras (Dufrêne & Legendre, 1997) utilizando os dois grupos revelados pela análise anterior como variável categórica. Dos 72 táxons do desenho experimental para este segmento (Anexo A), apenas seis apresentaram preferência significativa pelos agrupamentos formados (Tab. 7.2.1).

Em média foram considerados 18 táxons por nível amostrado, tendo obtido maior riqueza a amostra M19 (395,9 cm), com 32 espécies. De forma oposta, M14 (419,5 cm) e M20 (391,2 cm) constituíram-se de apenas oito diatomáceas. O menor número de valvas consideradas foi obtido em M20 (392,2 cm), com 305, enquanto o maior valor, 372, foi computado em M19 (395,9 cm). A eficiência média de contagem para o segmento alcançou, conforme estabelecido pelo cálculo do índice de Pappas & Stoermer (1996), 94,5%, com mínimo de 90,6 % em M21 (386,4 cm), e máximo de 97,6% em M14 (419,5 cm) (Anexo A).

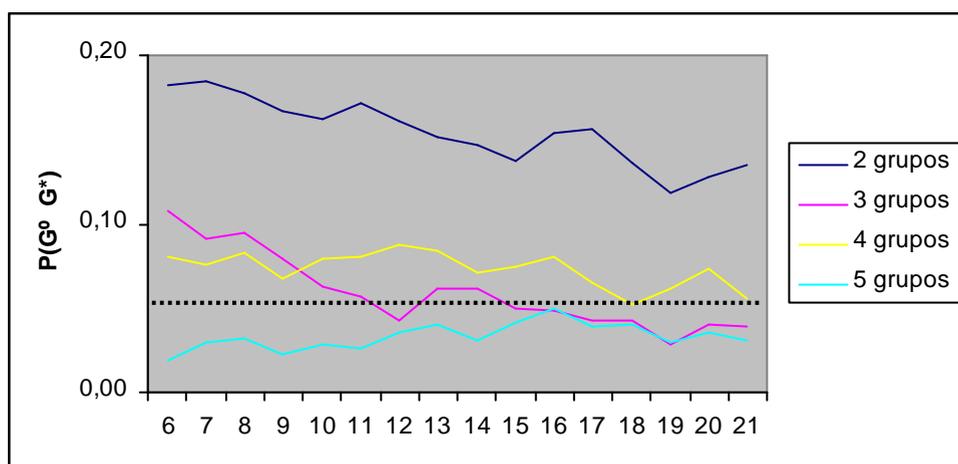


Figura 7.2.2 - Avaliação de suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 21 unidades que compõem o segmento 1, através das probabilidades  $P(G^\circ G^*)$  geradas em 1.000 iterações de aleatorização e autoreamostragem para cada tamanho de amostra.

Para o grupo 1, *Aulacoseira* cf. *agassizii* destacou-se como espécie representativa. Com exceção de M16 (410,1 cm), onde apresentou abundância relativa de 15%, nas demais unidades amostrais deste conjunto, esta esteve sempre superior a 30%, com picos de 81,1% em M1 (481,0 cm), 79,3% em M5 (462,1 cm) e 74,9% em M4 (466,8 cm) (Tab. 7.2.2; Fig. 7.2.3).

*Aulacoseira* engloba um grupo de espécies anteriormente enquadradas em *Melosira* (Round *et al.*, 1990). Trata-se de gênero complexo que comporta grande número de espécies amplamente distribuídas. Seus representantes são encontrados na maioria das águas interiores, estando mais bem adaptados à vida em lagos, lagoas, e grandes rios (Stoermer & Julius, 2003). Algumas espécies de *Aulacoseria* podem sobreviver no sedimento por extenso período (Stockner & Lund, 1970; Sicko-Goad *et al.*, 1989). Na maioria das vezes, isto ocorre sem que haja alterações na morfologia da frústula (Sicko-Goad *et al.*, 1986). Estes mecanismos permitem a certas espécies prosperar em lagos profundos durante a circulação de inverno, ou no verão em corpos d'água rasos o suficiente para serem misturados pela ação eólica (Stoermer & Julius, 2003).

*Aulacoseira agassizii* é referida como uma espécie meroplânctônica dulciaquícola, de águas rasas ou profundas e turbidas, cujo desenvolvimento é favorecido em ambientes com baixo conteúdo mineral (condutividade  $< 200\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e com pH variando entre 7 e 8 (Gasse, 1986; Gasse, 2000; Nave *et al.*, 2001; Chalié & Gasse, 2002; Legesse *et al.*, 2002).

Tabela 7.2.1 - Resumo da Análise de Espécies Indicadoras do segmento 1 utilizando os agrupamentos significativos como variável categórica e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações. Apresentam-se apenas os resultados estatisticamente significativos ( $\alpha = 0,05$ ). VI = valor indicativo; P = probabilidade.

Táxons	Grupo	VI	P
Classe Coscinodiscophyceae Subclasse Coscinodiscophycidae Ordem Aulacoseirales Família Aulacoseiraceae <i>Aulacoseira</i> Thwaites			
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i> (Ostenf.) Simonsen <b>Obras consultadas para identificação:</b> Huber-Pestalozzi (1942). Fig. 7.2.4, i – n; 7.2.5, a – b.	1	80,7	0,001
Classe Coscinodiscophyceae Subclasse Thalassiosirophyceidae Ordem Thalassiosirales Família Stephanodiscaceae <i>Cyclotella</i> Kützing ex Brébisson			
<i>Cyclotella striata</i> (Kützing) Grunow <b>Obras consultadas para identificação:</b> Hendeby (1964); Lange & Syvertsen (1989); Krammer & Lange-Bertalot (1991a). Fig. 7.2.4, c – e; 7.2.5, c – d.	2	91,6	0,003
Classe Bacillariophyceae Subclasse Bacillariophycidae Ordem Achnanthes Família Cocconeidaceae <i>Cocconeis</i> Ehrenberg			
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i> (Ehrenberg) Van Heurck <b>Obras consultadas para identificação:</b> Krammer & Lange-Bertalot (1991b). Fig. 7.2.4, o – q; 7.2.6, c.	2	83,4	0,003
Classe Coscinodiscophyceae Subclasse Coscinodiscophycidae Ordem Coscinodiscales Família Hemidiscaceae <i>Actinocyclus</i> Ehrenberg			
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory) Hustedt <b>Obras consultadas para identificação:</b> Hasle (1977), Krammer & Lange-Bertalot (1991a). Fig. 7.2.4, f-h; 7.2.6, a – b.	2	68,1	0,030
Classe Bacillariophyceae Subclasse Bacillariophycidae Ordem Naviculales Família Diploneidaceae <i>Diploneis</i> Ehrenberg ex Cleve			
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve <b>Obras consultadas para identificação:</b> Hustedt (1937-1939); Krammer & Lange-Bertalot (1986). Fig. 7.2.4, a – b; 7.2.6, d.	2	67,9	0,019
Classe Fragilariophyceae Subclasse Fragilariophycidae Ordem Fragilariales Família Fragilariaceae <i>Pseudostaurosira</i> (Grunow) Williams & Round			
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i> (Pantocsek) B. Hartley <b>Obras consultadas para identificação:</b> Kingston (2003). Fig. 7.2.4, r-x; 7.2.7, a – j.	2	66,7	0,002

Tabela 7.2.2 - Distribuição e abundância (%) das espécies indicadoras no segmento 1.

Amostra	Prof. (cm)	Grupo	<i>A. cf. agassizii</i>	<i>A. normanii</i>	<i>C. striata</i>	<i>D smithii</i>	<i>C. placentula</i> v. <i>lineata</i>	<i>P. brevistriata</i> var. <i>inflata</i>
M21	386,4	2	4,9		2,0	1,3	45,6	1,6
M20	391,2	1	62,6			2,0		
M19	395,9	2	5,0	2,2	4,7	1,7	8,3	5,6
M18	400,6	2	27,0	33,2	2,9	2,3		
M17	405,4	1	37,1	1,6	0,6		2,2	
M16	410,1	1	15,0			1,8		
M15	417,8	1	32,1		0,6	1,3	1,3	
M14	419,5	1	51,5	0,9	1,5			
M13	424,3	2	27,1	11,8	3,5	1,2	0,6	0,6
M12	429,0	2	8,3	34,2	7,4	2,4	4,2	1,2
M11	433,7	2	8,1	31,1	38,9	0,6	4,5	1,7
M10	438,5	2	23,9	17,3	8,8	1,8	1,2	
M9	443,2	1	37,3	4,4	1,3	4,7	0,9	
M8	447,9	1	59,2	17,8				
M7	452,6	1	68,3	7,4		1,1	0,3	1,7
M6	457,4	1	60,0	4,1	3,2		1,0	
M5	462,1	1	79,3	3,1	5,9			
M4	466,8	1	74,9	6,8	0,9	0,9		
M3	471,6	1	55,2	15,2	3,6	1,2		
M2	476,3	2	1,2	2,3	51,3	6,9	7,5	0,6
M1	481,0	1	81,8			0,9		0,6

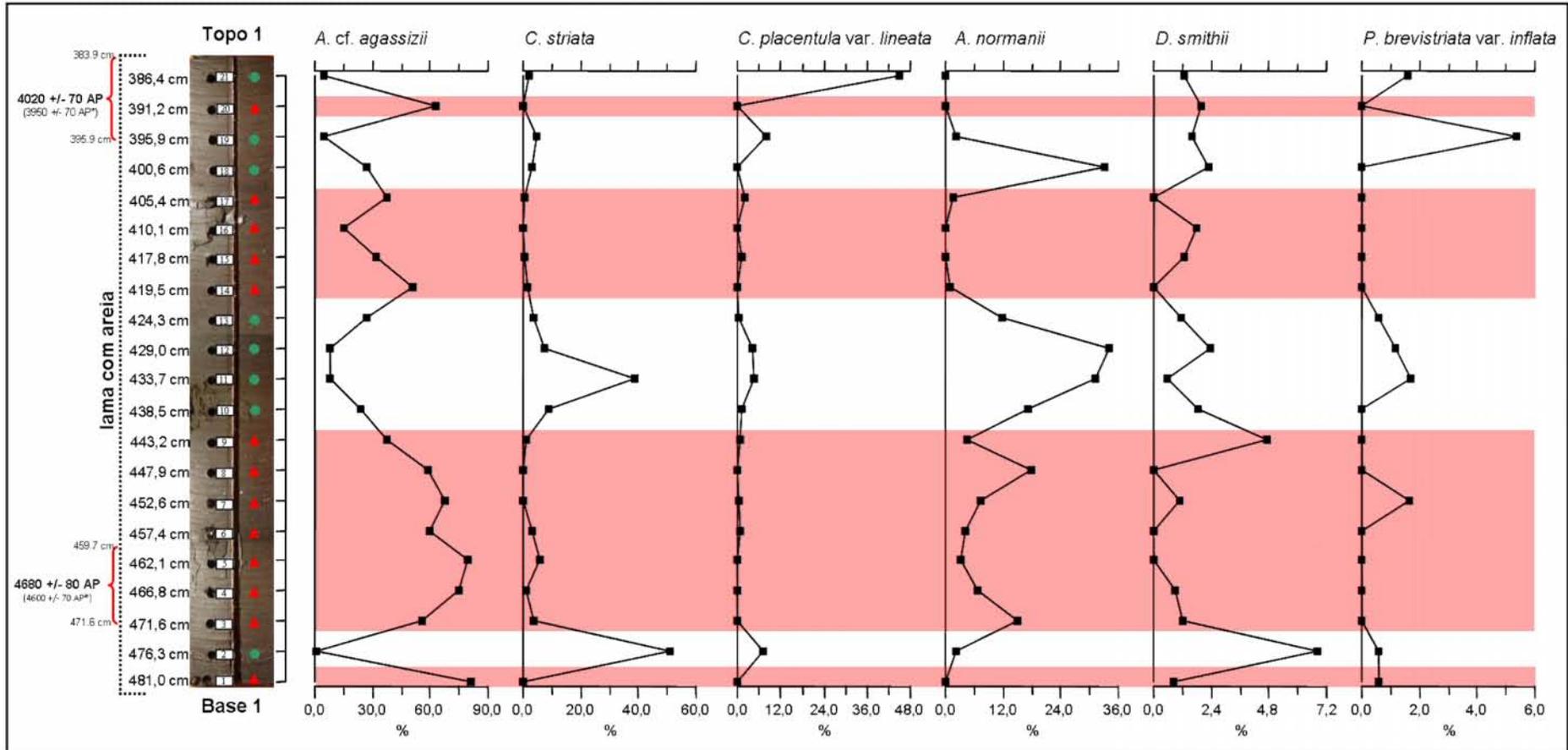


Figura 7.2.3 - Diagrama de distribuição e abundância relativa das espécies indicadoras do segmento 1 ao longo do testemunho PM-RS-D01. ▲: grupo 1. ●: grupo 2. \*: idade calibrada.

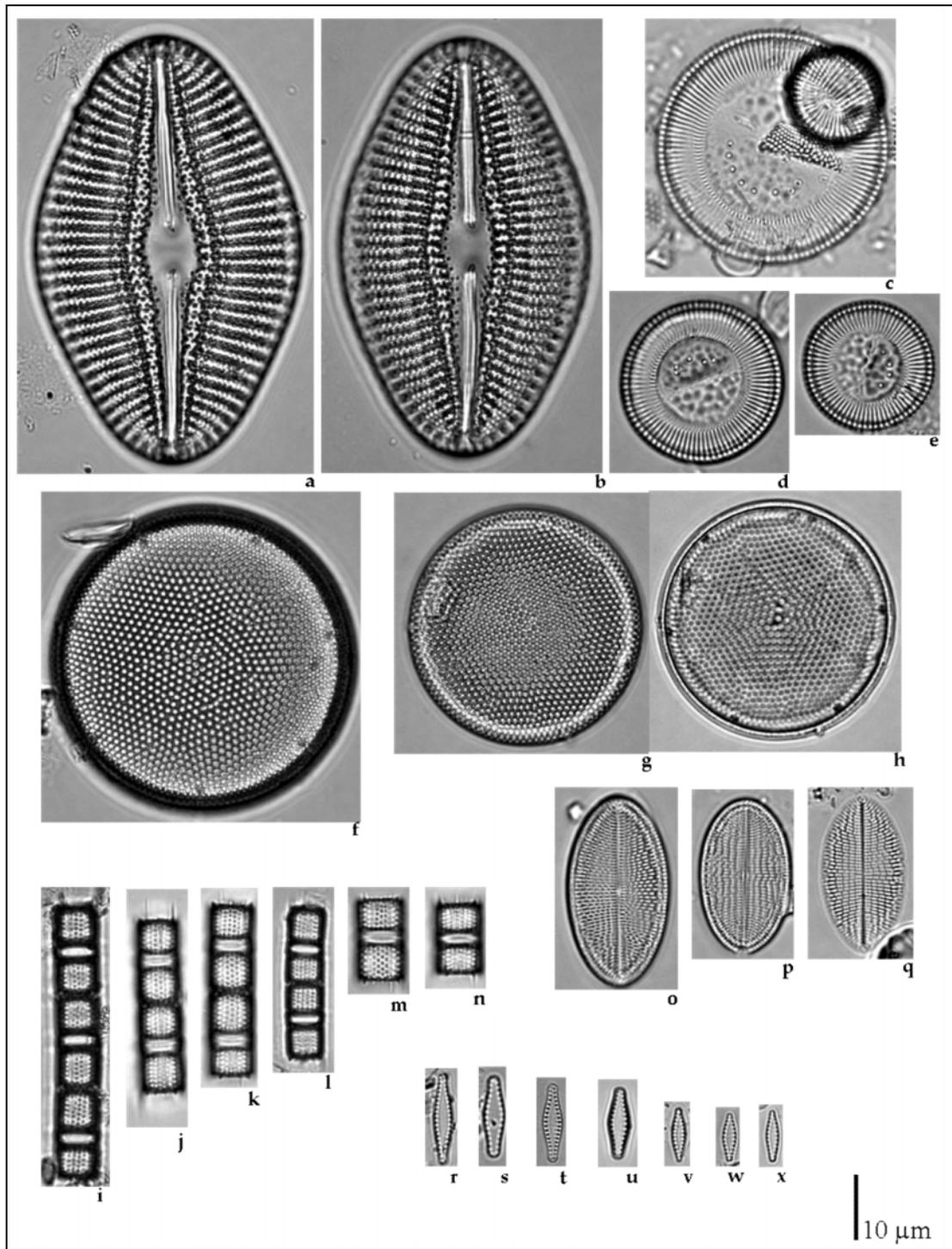


Figura 7.2.4 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia óptica. (a, b) *Diploneis smithii*; (c-e) *Cyclotella striata*; (f-h) *Actinocyclus normanii*; (i-n) *Aulacoseira* cf. *agassizii*; (o-q) *Cocconeis placentula* var. *lineata*; (r-x) *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata*.

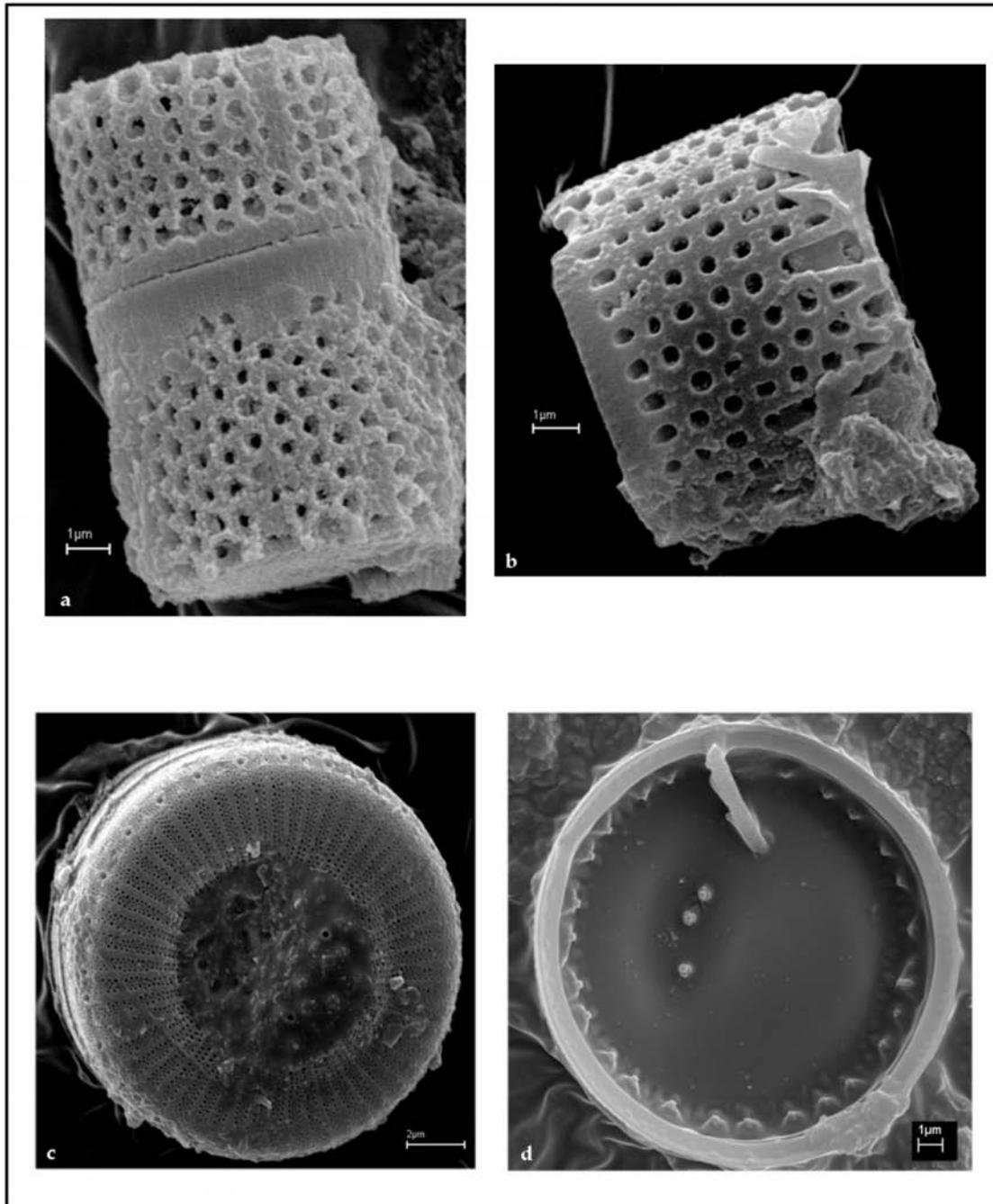


Figura 7.2.5 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia eletrônica de varredura. (a, b) *Aulacoseira* cf. *agassizii*; (c) *Cyclotella striata* em vista externa; (d) *Cyclotella striata* em vista interna.

No segundo agrupamento, cinco espécies de gêneros distintos foram definidas como indicadoras (Tab. 7.2.1). *Cyclotella striata* apresentou o maior valor indicativo em função de sua presença em todas as amostras do grupo e destacada abundância frente à *Cocconeis placentula* var. *lineata*, *Diploneis smithii* e *Pseudostaurosira brevistriata*. Embora *Actinocyclus normanii* tenha apresentado quantidade considerável nas amostras M11 (433,7 cm), M12 (429,0 cm) e M18 (400,6 cm), sua ausência em M21 (386,4 cm), no levantamento quantitativo, pode ter determinado seu valor indicativo mais discreto (Tab. 7.2.2; Fig. 7.2.3).

Listar características ecológicas comuns aos representantes do gênero *Cyclotella* é tarefa pouco exequível, uma vez que, de acordo com Stoermer & Julius (2003), este não é um grupo natural. A morfologia detalhada das estruturas individuais dentro das regiões centrais e marginais, usadas para identificar membros deste gênero bem como a localização e morfologia das *fultoportulae* e *rimoportulae* são bastante dissimilares entre as espécies.

*Cyclotella striata* é primariamente uma espécie litoral de águas salobras encontrada em estuários e ao longo da linha de costa, mas também está presente em águas mais salinas (Hustedt, 1927-30; Krammer & Lange-Bertalot, 1991c). Hustedt (1955) lista esta espécie na zona marinha litoral próxima de Beaufort, Carolina do Norte, Estados Unidos, ocorrendo também em águas do litoral com baixa salinidade. Para Hendey (1964), trata-se de espécie frequente do mar do Norte, no rio Thames, estuários Tay e Clyde, além do canal de Bristol, Reino Unido.

Foged (1976) considera *C. striata* circumneutra (desenvolvimento ótimo com pH ao redor de 7) e mesohalóbia. Round & Sims (1980) observaram *C. striata* no fitoplâncton costeiro, mas ressaltaram que esta só foi registrada em número significativo em áreas onde há considerável afluxo de água do continente, como nas rasas baías da Califórnia, Estados Unidos.

Com base no estudo de diatomáceas marinhas e estuarinas oriundas de seis estações de coleta durante 13 meses em Tramandaí, litoral do Rio Grande do Sul, Brasil, Rosa (1982) encontrou esta diatomácea na barra de Imbé (com salinidade inferior a  $1\text{g.l}^{-1}$ ); no mar a cerca de 1.200m da praia de Tramandaí em duas ocasiões (salinidade 27,5 e  $19,0\text{ g.l}^{-1}$ ); quatro vezes a uma distância de 2.500m da praia de Tramandaí (salinidade entre 21,2 e  $31,1\text{ g.l}^{-1}$ ); em dois momentos a 3.800m da praia de Tramandaí (salinidade entre 21,8 e  $26,8\text{ g.l}^{-1}$ ); e uma única vez a 4.800m da praia de Tramandaí (salinidade de  $22,5\text{ g.l}^{-1}$ ).

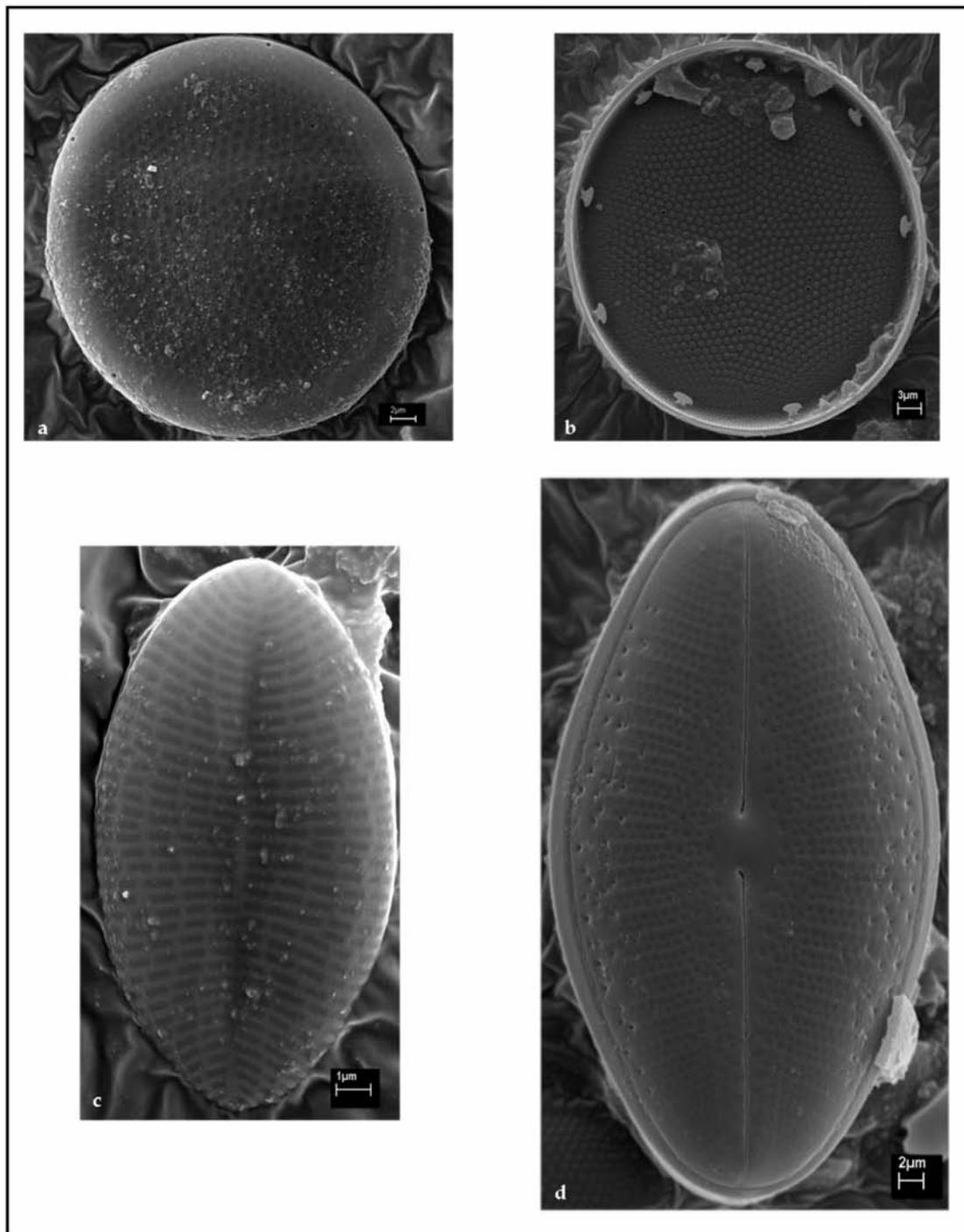


Figura 7.2.6 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia eletrônica de varredura. (a) *Actinocyclus normanii* em vista externa, (b) *Actinocyclus normanii* em vista interna; (c) *Cocconeis placentula* var. *lineata*; (d) *Diploneis smithii*.

Buselato-Toniolli (1986) encontrou *C. striata* em dez de 19 amostras de diatomáceas associadas a alga macroscópica marinha *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux no litoral do município de Torres, Rio Grande do Sul, Brasil. Juggins (1988) encontrou *C. striata* como espécie planctônica dominante na parte superior do estuário do rio Thames, Inglaterra, durante os meses de inverno, e Laws (1988) reportou sua

presença, embora não muito considerável, nos sedimentos estuarinos da baía de São Francisco, Estados Unidos.

Vos & de Wolf (1993) classificaram *Cyclotella striata* como um táxon planctônico, mesohalóbio e indiferente ao pH. Para Van Dam *et al.* (1994) *C. striata* é uma espécie alcaliófila de águas salobras. Conforme apurado por Moro & Fürstenberger (1997) em Moreira Filho & Kutner (1962), Moreira Filho (1966), Wornardt Jr. (1967), Luchini & Verona (1972), König (1974), Lowe (1974), Foged (1978), Shirata (1985), Whitmore (1989), Torgan & Biancamano (1991), Moreira Filho *et al.* (1990) e Håkansson (1993); *Cyclotella striata* é referida como salobra, mesohalóbia (ocorrendo em águas salobras com concentrações salinas entre 0,5 e 30 g.l<sup>-1</sup>), eurihalina, indiferente ao pH, alcaliófila, característica de mares e oceanos, no perifiton ou no plâncton.

O gênero *Cocconeis* pode ser encontrado, conforme apontado por Round *et al.* (1990), desde água doce até ambientes marinhos, vivendo sobre plantas, rochas, ou outros substratos rígidos onde suas células vivem aderidas pela mucilagem expelida pela rafe. Ludwig & Bigunas (2006) destacam que o gênero está melhor representado em ambientes marinhos em termos de número de espécies, sendo que em águas continentais existem cerca de dez espécies.

A maioria dos autores citados a seguir considera idênticas a autoecologia de *Cocconeis placentula* e suas variedades. Desta forma, *C. placentula* é classificada como uma diatomácea epifítica de água doce amplamente distribuída, por vezes encontrada em águas levemente salobras (Patrick & Reimer, 1966). A espécie é listada como oligohalóbia (indiferente) por Foged (1976), Battarbee *et al.* (1985) e Foged (1993) e alcaliófila por Foged (1964), Foged (1976), Galé *et al.* (1979), Foged (1993) e Watanabe & Asai (1996). Simonsen (1962) a registra em águas com salinidade de até 17-20 ‰, enquanto Mölder & Tynni (1972) e Hustedt (1939) a identificaram tanto em água doce quanto em habitats costeiros salobros.

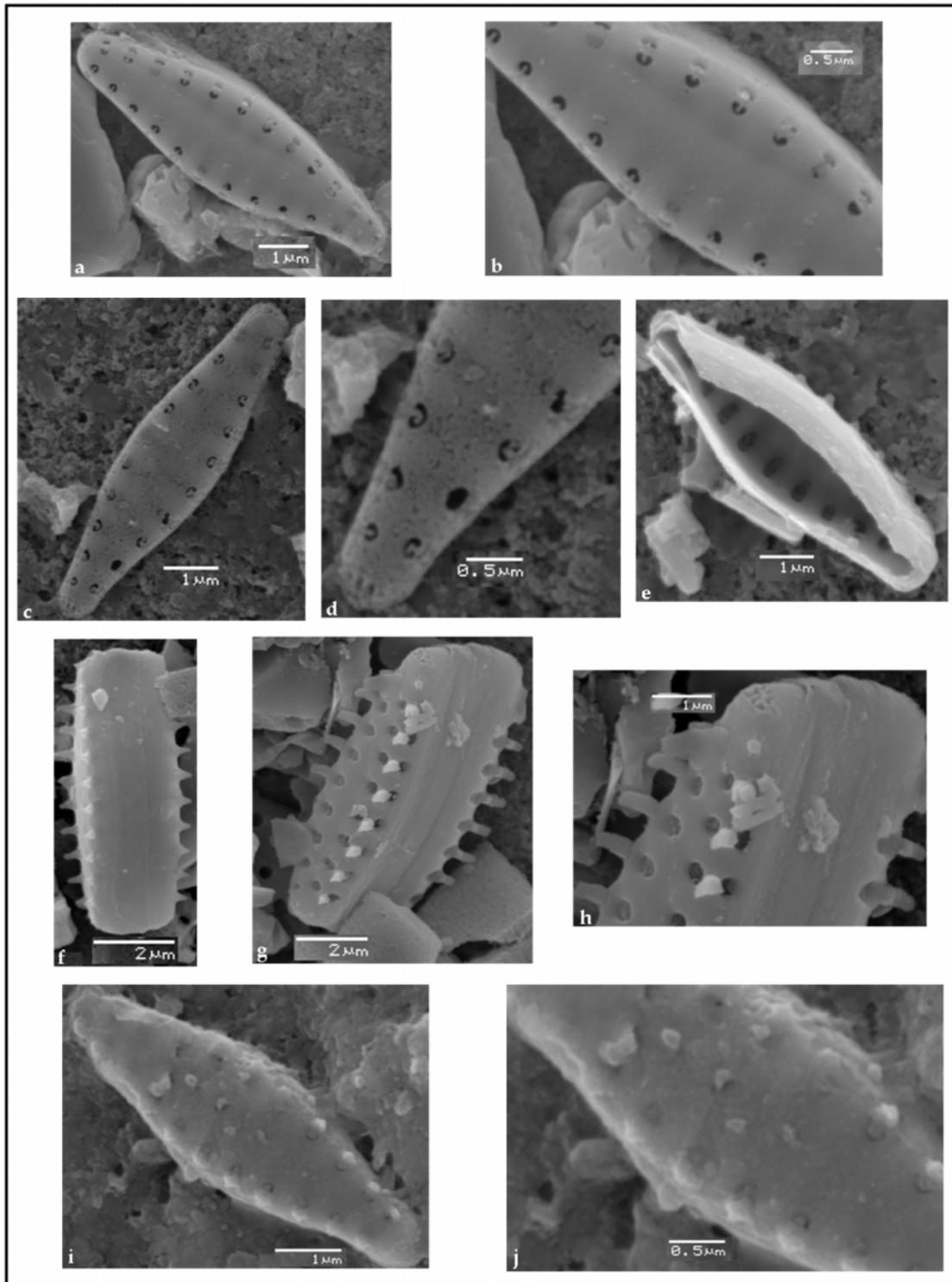


Figura 7.2.7 - Espécies indicadoras do segmento 1 em microscopia eletrônica de varredura. *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata*. (a, c, g, i) vista geral; (b, j) detalhe da região central; (d, h) detalhe da extremidade; (e) vista interna; (f) vista pleural.

Para Vos & de Wolf (1993), trata-se de uma espécie epifítica, oligohlóbica/halófila, alcaliófila, eutrófica de ambientes lóticos e lênticos. Van Dam *et al.* (1994) classificaram *Cocconeis placentula* var.

*lineata* como alcaliófila, de água doce a salobra (< 0,9 ‰ ou < 0,5 g.l<sup>-1</sup> de Cl<sup>-</sup>), com oxigenação moderada (saturação acima de 50%), β-mesossapróbica e eutrófica.

De acordo com Blum (1960), Cholnoky (1968) e vários autores citados por Kawecka (1981), esta espécie se desenvolve muito bem em águas moderadamente alcalinas (pH 6,2 – 8,0), e de acordo com Podzorski (1984) com baixo pH.

Moro & Fürstenberger (1997), a partir de consulta a diversas obras, revelam que esta espécie, no que se refere à salinidade, já foi apontada como halófila, oligohalóbia, indiferente e de águas levemente salobras a salobras. Quanto ao pH, aparece como circumneutra e alcaliófila. Seu habitat é ainda mais heterogêneo, tendo sido encontrada desde ambientes marinhos até a margem de lagos pouco profundos, tanto no perifiton (epilíton, epipelon) quanto no plâncton. Para os nutrientes, está presente em sistemas oligotróficos a eutróficos.

Kuylenstierna (1990) localizou esta espécie epifítica em todas as áreas do estuário Älv, na Suécia, sobre *Potamogeton berchtoldii*, *Cladophora* sp., *Phragmites* sp., *Ruppia* sp., *Scirpus tabernaemontani* e *Zostera* sp. Sobre *Hypnea musciformis* no litoral Rio Grande do Sul, Brasil, *C. placentula* var. *lineata* achou-se entre os táxons mais freqüentes (16 ocorrências em 19 amostras), confirmando a boa adaptação ao perifiton de ambiente salino (Buselato-Tonioli, 1986).

A espécie também foi registrada no estuário do rio Thames, Inglaterra (Juggins, 1988) e é comum no nível médio e inferior intermaré de Southbeach no estuário Yaquina, Oregon, Estados Unidos (Riznyk, 1973). Cooper (1995) relacionou sua decadência nos testemunhos da baía Chesapeake, Estados Unidos, com o declínio da vegetação aquática submersa ao longo desta. Zong (1997) considera *C. placentula* um táxon oligohalóbio tolerante à salinidade, cujo aumento de frequência e abundância em testemunhos de sondagem possam ser interpretados como reflexo do desenvolvimento de macrófitas aquáticas.

*Actinocyclus* é mais presente em regiões de lagoas rasas o suficiente para que suas águas sejam misturadas pela ação do vento, bem como em rios turbulentos e estuários (Stoermer & Julius, 2003). Seus representantes podem sobreviver em sedimentos de fundo (Sicko-Goad *et al.*, 1989), e é aparentemente um gênero verdadeiramente ticoplanctônico que gasta parte de sua vida suspenso no plâncton, regressando regularmente para a interface água/sedimento, que é rica em nutrientes. *Actinocyclus* é primariamente um

gênero estuarino, mas também pode ocorrer no plâncton de águas interiores eutrofizadas ou salinizadas (Stoermer & Julius, 2003).

*Actinocyclus normanii* foi registrada para águas marinhas e salobras por Brockmann (1914). Vos & de Wolf (1993) agrupam a espécie junto dos táxons salobros plactônicos, enquanto Van Dam *et al.* (1994) a classificam como alcaliófila, vivendo em águas salobras com salinidade oscilando entre 0,5 e 1 g.l<sup>-1</sup> de Cl<sup>-</sup> ou 0,9 a 1,8 ‰, com requerimento moderado de oxigenação (acima de 50%), -mesosapróbica (DBO<sub>5</sub> 4 a 13 mg.l<sup>-1</sup>) e eutrófica. Moro & Fürstenberger (1997), citando Florin (1970), refere *A. normanii* como táxon mesohalóbio, indiferente quanto ao pH, vivendo em regiões pouco profundas.

No fitoplâncton do rio Ebro, Espanha, Sabater (1990) encontrou *Actinocyclus normanii* com uma abundância destacável apenas no ponto mais próximo da desembocadura no mar Mediterrâneo.

Confirmando seu caráter cosmopolita e sua preferência por ambientes salinos, *Actinocyclus normanii* esteve presente na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul (Torgan, 1997), e em todas as amostras sedimentares superficiais da porção intermaré da praia de Itupanema, estado do Pará (Ribeiro *et al.*, 2008).

Para Round *et al.* (1990), Stoermer & Julius (2003) e Ludwig & Bigunas (2006), *Diploneis* é um gênero predominantemente marinho, mas com alguns representantes continentais distribuídos, principalmente, nos ambientes epipéllicos.

*Diploneis smithii* é considerada uma diatomácea bentônica cosmopolita encontrada em habitats marinhos e salobros (Hustedt, 1927-30; 1939; 1955; Hendey, 1964; Foged, 1976). Moreira Filho *et al.* (1975) a referem como marinha, litoral, epífita, mesohalóbia e eurihalina. Pankow (1988) a descreve como polihalóbia e meioeurihalina. Laws (1988) registrou-a como a *Diploneis* mais considerável no sedimento da baía de São Francisco, o mesmo ocorrendo posteriormente para Cooper (1995), na baía Chesapeake, ambas nos Estados Unidos. Kuylenstierna (1990) reporta *D. smithii* como a mais amplamente distribuída espécie marinha do gênero *Diploneis* no estuário Älv da Suécia com salinidade variando de <1 até 25 ‰. Para Vos & de Wolf (1993) é um táxon polihalóbio bentônico (epipéllico).

Lair & Edgar (1992), a partir de Drum & Webber (1966) e Lee *et al.* (1975), listam *D. smithii* juntamente com as diatomáceas epipéllicas e marinhas intermarés, características da flora vivente nos pântanos salgados da Nova Inglaterra, Estados Unidos.

Moro & Fürstenberger (1997) mostraram que *Diploneis smithii* apresenta preferências ambientais similares a *Cyclotella striata*, uma vez que é citada como salobra, mesohalóbia, eurihalina, polihalóbia, indiferente ao pH, alcaliófila, no perifíton, epifíton, epipélton ou planctôn de mares e oceanos. O táxon também é mencionado para a zona litoral por Moreira Filho (1966), Ichikawa *et al.* (1967), Luchini & Verona (1972), Lowe (1974), Patrick & Reimer (1975), Lozovei & Hohmann (1977), Shirata (1985), Aboal (1988), Moreira Filho *et al.* (1990), Kumano *et al.* (1990), Guzkowska & Gasse (1990) e Håkansson (1993).

No litoral do Rio Grande do Sul, Rosa (1982) verificou *Diploneis smithii* desde o canal que liga as lagoas de Tramandaí e Armazém direto ao mar, até 3.800m distante da praia, com salinidades variando desde < 1,0 a 27,2 g.l<sup>-1</sup> de Cl<sup>-</sup>. A espécie também foi observada por Buselato-Toniolli (1986) sobre *Hypnea musciformis* da região costeira de Torres.

*Pseudostaurosira* é gênero comum de água doce, especialmente em águas rasas de rios e lagos, que engloba espécies anteriormente dispostas em *Fragilaria* Lyngbye (Round *et al.*, 1990; Kingston, 2003). Para Håkansson & Hulthén (1988) espécies de *Amphora* Ehrenberg *ex* Kützing, *Cocconeis*, *Epithemia* Kützing, *Gomphonema* Ehrenberg, *Fragilaria* e *Opephora* Petit vivem na zona litoral, aderidas à macrófitas (epifíticas) ou a rochas, ou outro substrato inorgânico. Em Håkansson *et al.* (1998) formas não planctônicas, incluindo frequências muito altas de espécies fragilarióides (entre estas, especialmente *Staurosira construens* Ehrenberg e *Pseudostaurosira brevistriata*) foram dominantes apenas nas partes rasas ou marginais do lago Belauer, Alemanha.

Florin (1970) destaca *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata* como táxon indiferente à salinidade, associado ao perifíton das margens de lagos pouco profundos. Sua característica alcaliófila e a preferência por ambientes eutróficos é apontada por Whitmore (1989).

O levantamento realizado junto à literatura básica supramencionada, a respeito das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 1, foram sumarizadas na tabela 7.2.3.

No que se refere às preferências tróficas, não parece existir flutuações na composição da assembleia indicadora que retrate alterações marcantes, uma vez que a maioria apresentou tolerância ou afinidade por ambientes eutróficos.

A evidência obtida através de procedimentos estatísticos às espécies circumneutras ou alcaliófilas, permite inferir que este parâmetro pouco se alterou durante o período focado, assemelhando-se às condições do tempo presente. Pedrozo & Rocha (2007) mediram variáveis físicas e químicas nas lagoas Marcelino, Peixoto, Do Passo e no Sistema Pinguela-Palmital-Malvas. O pH destas revelou-se próximo da neutralidade, com valores alcalinos ocasionais, confirmando Fonseca (1989).

Desta forma, parece aceitável supor que o principal gradiente responsável pelo comportamento da diversidade das diatomáceas registradas neste segmento do testemunho PM-RS-D01 seja o da salinidade.

Tabela 7.2.3 – Resumo das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 1.

<b>Espécie</b>	<b>Ecologia</b>
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	Água doce; meroplanctônica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Cyclotella striata</i>	Água salobra; ticoplanctônica; alcaliófila. Sem informações sobre preferências tróficas.
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	Água doce ou com baixa concentração salina; perifítica; alcaliófila; sua distribuição é conhecida desde águas oligotróficas a eutróficas.
<i>Actinocyclus normannii</i>	Água salgada ou salobra; planctônica (em ambientes rasos); indiferente ao pH; eutrófica.
<i>Diploneis smithii</i>	Água salgada ou salobra; ticoplanctônica (epifítica e epipélica); alcaliófila. Sem informações sobre preferências tróficas.
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	Indiferente à salinidade; perifítica; alcaliófila; eutrófica.

Conforme já referido na discussão dos resultados granulométricos, em seguida à transgressão de 5.100 anos AP, a planície holocênica foi ocupada por lagoas ligadas ao mar (Tomazelli & Villwock, 1991). Na acepção de Suguio (1998) ao termo laguna, o autor classifica estes ambientes como locais de águas calmas e rasas com salinidade bastante variável, desde quase doce até hipersalina.

De fato, as flutuações com alternância de picos entre as espécies indicadoras dos grupos revelados para o segmento 1, parecem compatíveis com a existência de um paleosistema lagunar se analisadas tomando como parâmetro de extrapolação, corpos aquosos com características lagunares atualmente existentes na região, como a Laguna de Tramandaí e a Laguna dos Patos. Na primeira, conforme Tomazelli & Villwock (1991) as marés ocasionam, durante a preamar, a ingressão de uma cunha salina cuja capacidade de

penetração determina sua variação de salinidade. Os maiores graus de salinização da laguna são atingidos quando a maré alta atua conjuntamente a períodos de estiagem no continente. De acordo com Suguio (2003), além do balanço de água salgada (proveniente do mar) e água doce (procedente dos sistemas lóticos que drenam a água da bacia hidrográfica) que ingressam em uma laguna, o clima da área é outro fator preponderante na determinação da salinidade. Quando este é seco, a contribuição de água doce é prejudicada, levando à salinização do sistema.

Atualmente, a escarpa da Serra Geral atua como uma barreira natural à umidade que vem do oceano em direção ao continente (Hasenack & Ferraro, 1989). Em função disto, a precipitação média na cidade de Maquiné (Fig. 4.3) é de 1.715 mm, sensivelmente mais elevada que a taxa pluviométrica média do restante da planície costeira, que se situa em torno de 1.400mm (Tomazelli & Villwock, 1991). No passado, os volumes de água doce advindos de chuvas expressivas na região certamente também eram drenados para a planície costeira pelos rios Maquiné e Três Forquilhas (Fig. 4.3), diluindo as águas da paleolaguna, ou paleolagunas, ali existentes, atenuando, por consequência, sua salinidade.

A laguna dos Patos drena uma bacia hidrográfica de aproximadamente 140.000km<sup>2</sup>. A penetração da água do mar pelo canal de comunicação com o oceano Atlântico nos períodos de menor aporte hídrico de seus tributários é controlada pela ação eólica que a dirige para dentro (ventos sudoeste) ou para fora (ventos nordeste) da laguna (Costa *et al.*, 1988; Odebrecht *et al.*, 2005).

Odebrecht *et al.*(2005) registraram para a região norte da laguna, e por conseguinte mais afastada da comunicação com o mar, diatomáceas de água doce do gênero *Aulacoseira* como principais componentes da biomassa fitoplanctônica. Torgan *et al.* (2006) verificaram associações fitoplanctônicas na laguna a partir de amostras superficiais coletadas mensalmente ao longo de seu eixo norte-sul, entre dezembro de 1987 e novembro de 1988. Estas se compuseram, no que tange às diatomáceas, essencialmente de representantes de *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Chaetoceros* e *Skeletonema*. Os autores descreveram ainda um padrão de distribuição que, entre dezembro e março, período de clima mais úmido da pesquisa, nas áreas norte, central e sul, correspondeu a associações respectivamente dulciaquícolas, salobras e salobro-marinhas. Logo após houve o estabelecimento de clima mais seco, que impossibilitou a definição de grupos constituídos por espécies de água doce (Torgan *et al.*, 2006).

Assim, tendo em vista que o incremento da espécie meroplanctônica de água doce *Aulacoseira* cf. *agassizii* ocorre de forma inversamente proporcional às espécies salobras ou tolerantes a salinidade *Cocconeis placentula* var. *lineata* ( =-0,4548, p=0,001), *Cyclotella striata* ( =-0,4823, p=0,010), *Diploneis smithii* ( =-0,4688, p=0,020) e *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata* ( =-0,4274, p=0,025) (Tab. 7.2.4), é possível estabelecer que as unidades amostrais do grupo 1 foram depositadas sob condições de baixa salinidade. Nestes momentos a influência da água doce, fruto de períodos de clima mais úmido e com fortes precipitações, escoada pelos rios Maquiné e Três Forquilhas até planície costeira, suplantava, em intensidade, o afluxo das massas salinas provenientes do oceano.

Neste sentido, García-Rodríguez & Witkowski (2003) explicaram a existência de um pico de dominância de uma espécie de *Aulacoseira* [*Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen] como indicativo de uma copiosa precipitação episódica sobre a paleolaguna, onde atualmente se localiza a Laguna Rocha, no sul do Uruguai. Para Fluin *et al.* (2007), a abundância de *Aulacoseira* [*Aulacoseira granulata*], em detrimento da espécie estuarina *Cyclotella striata*, nos testemunhos de um lago raso no sul da Austrália, foi atribuída a um expressivo aporte de água doce do rio que desembocava no sistema devido ao aumento da pluviosidade.

Tabela 7.2.4 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do segmento 1, abaixo da diagonal principal, e probabilidades correspondentes, acima desta.

		1	2	3	4	5	6
<i>A. normanii</i>	1		0,236	0,473	0,305	0,992	0,975
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	2	-0,2765		0,001	0,010	0,020	0,025
<i>C. placentula</i> var. <i>lineata</i>	3	-0,1560	-0,4548		0,534	0,611	0,054
<i>Cyclotella striata</i>	4	0,2424	-0,4823	0,0884		0,037	0,432
<i>Diploneis smithii</i>	5	-0,0022	-0,4688	0,0856	0,5295		0,834
<i>P. brevistriata</i>	6	0,0097	-0,4274	0,3502	0,1433	0,0332	

Também é possível perceber a partir do exame da tabela 7.2.2 a modificação da disponibilidade de habitats para as diatomáceas representado pelas variações das espécies *Cocconeis placentula* var. *lineata* e *Pseudostaurosira brevistriata*, e que podem ser atribuídas a alterações ocorridas em função da maior ou menor concentração de plantas aquáticas, que se situam, em geral, mais próximas da margem (Zong, 1997). Conforme Fluin *et al.* (2007), os períodos em que estes táxons, aqui associados ao grupo 2, são mais

abundantes, há redução do nível de água da laguna e do aporte de água doce, evidenciando períodos de clima mais seco.

Esta hipótese de sucessão de períodos com regimes pluviométricos distintos encontra respaldo em Heusser & Streeter (1980), Thompson *et al.* (1995), Bard *et al.* (1997), Steig *et al.* (2000) e Kim *et al.* (2002) *apud* Mayewski *et al.* (2004), em que são apresentadas evidências de modificações climáticas em escala global referentes a períodos úmidos e secos, no intervalo de 4.200 a 3.800 anos AP para o Holoceno tardio, intervalo de tempo que inclui o segmento 1 do testemunho PM-RS-D01. Para a PCNRS, a partir de estudo palinológico em testemunho obtido no município de Terra de Areia (Fig. 4.3), Neves & Lorscheitter (1995a) sugerem um acentuado aumento de temperatura e precipitações na região por volta de 4.120 +/- 90 anos AP, quando se deu o início ao desenvolvimento da floresta tropical na região.

Em estudo realizado a partir da análise de amostras oriundas de um testemunho localizado no Vale do rio Maquiné, RS, Medeanic *et al.* (2000) e Marques-Toigo *et al.* (2002) referem-se a um estágio transgressivo com indicação de frequentes oscilações climáticas. Segundo os autores, pequenos períodos de aridez causaram o declínio de áreas florestais e de pântanos de água doce, e o incremento das zonas de campo.

Um evento que pode vir a constituir hipótese para explicar a alternância de intervalos com maior atividade pluviométrica no Holoceno é fornecido por Sterken *et al.* (2008). Investigando mudanças climáticas em uma seqüência de diatomáceas extraídas do Lago Puyehue no sul do Chile, os autores atribuíram baixos percentuais de *Aulacoseira* (*Aulacoseira* cf. *granulata*) ao declínio das precipitações e da ação eólica, fruto da redução de frequência e amplitude do evento meteorológico *El niño*, no Holoceno Médio, originado de mudanças globais nos padrões de circulação atmosférica ocasionadas por alterações da atividade solar (Jorgetti *et al.*, 2006). Estas modificações em larga escala impactaram diretamente os sistemas responsáveis pelas precipitações na América do Sul, tais como a Zona de Convergência Intertropical, que foi deslocada para o sul durante o Holoceno Médio (Braconnot *et al.*, 1999).

O fenômeno *El niño*, decorrente do aquecimento das águas do Oceano Pacífico, na costa oeste da América do Sul, influencia remotamente as condições climáticas no Brasil, devido à intensificação do jato subtropical de ventos alísios que bloqueiam o avanço das frentes polares, que permanecem mais tempo no sul e no sudeste (Kousky *et al.*, 1984). Deste quadro resultam anomalias positivas de precipitação

pluviométrica na Região Sul e negativas na Região Nordeste (Diaz *et al.*, 1998; Berlato & Fontana, 2003). Durante o evento *El niño* de 1982-1983, o Sul e Sudeste do Brasil apresentaram, nos trimestres de março a maio e junho a agosto de 1983, precipitações significativamente superiores ao esperado, sendo que em Lages, Santa Catarina, os índices pluviométricos excederam a média em mais de 650% no mês de junho (Senado Federal, 1997; Suguio, 1999).

Möller *et al.* (1996) e Fernandes *et al.* (2004) *apud* Odebrecht *et al.* (2005) relacionam os maiores índices de descarga de água doce para a laguna dos Patos com condições de *El niño*. Durante os períodos de seca de 1985, 1986 e 1988, a água salgada conseguiu alcançar a área central da laguna, enquanto o aumento da descarga lítica, registrada entre outubro e dezembro de 1988, transformou toda a laguna em um ambiente oligohalino (Odebrecht *et al.*, *op. cit.*).

Para o Uruguai, Pisciotano *et al.* (1994), utilizando registros de longa duração oriundos de uma vasta rede de estações pluviométricas para investigar anomalias durante períodos de *El niño*, demonstraram que as chuvas de novembro a janeiro e de março a julho, tenderam a se apresentar acima da média. Mechoso & Pérez (1992) perceberam uma tendência de aumento de fluxo dos rios Negro e Uruguai entre novembro e fevereiro em anos de vigência de *El niño*.

Outra interpretação muito aventada para elucidar as causas de alterações de salinidade em corpos aquáticos costeiros, cuja gênese tenha se iniciado no Holoceno, diz respeito às mudanças relativas do nível do mar (Martin & Suguio, 1992; Ângulo & Lessa, 1997; Ângulo *et al.*, 1999; Lessa *et al.* 2000). A presença significativa dos táxons salobros *Actinocyclus normanii* e/ou *Diploneis smithii* entre as amostras M1 e M19 (Fig. 7.2.3), e a manutenção da fácies lamosa ao longo destas (Fig. 7.1.2) sugerem que alterações no nível relativo do mar não foram o principal fator das oscilações de salinidade no Sistema Pinguela-Palmital-Malvas neste trecho. No entanto, o decréscimo de *Actinocyclus normanii* e *Diploneis smithii* e o incremento significativo de *Cocconeis placentula* var. *lineata* nos níveis finais deste segmento, datados em 3.950 +/- 70 <sup>14</sup>C<sub>cal</sub> anos AP, indicam redução de concentração salina e rebaixamento do nível lagunar provavelmente associado à submergência costeira. Este processo seguiu o máximo transgressivo que, entre 4.000 e 3.900 anos AP, situou o nível relativo do mar a uma condição ligeiramente abaixo do atual (Martin & Suguio, 1992).

A fase transgressiva do testemunho PM-RS-D01 pode ser correlacionada com o “estágio T” de Medeanic *et al.* (2000a) e Marques-Toigo *et al.* (2002), com o “intervalo 1B” de Meyer *et al.* (2005a) e com a “zona 2” de Meyer *et al.* (2005b).

### 7.3 RESULTADOS MICROPALEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 2 (AMOSTRAS M22 A M43)

Para este trecho do testemunho, foram revelados três agrupamentos significativos (Fig. 7.3.1 e 7.3.2), numerados de forma consecutiva àqueles do segmento 1.

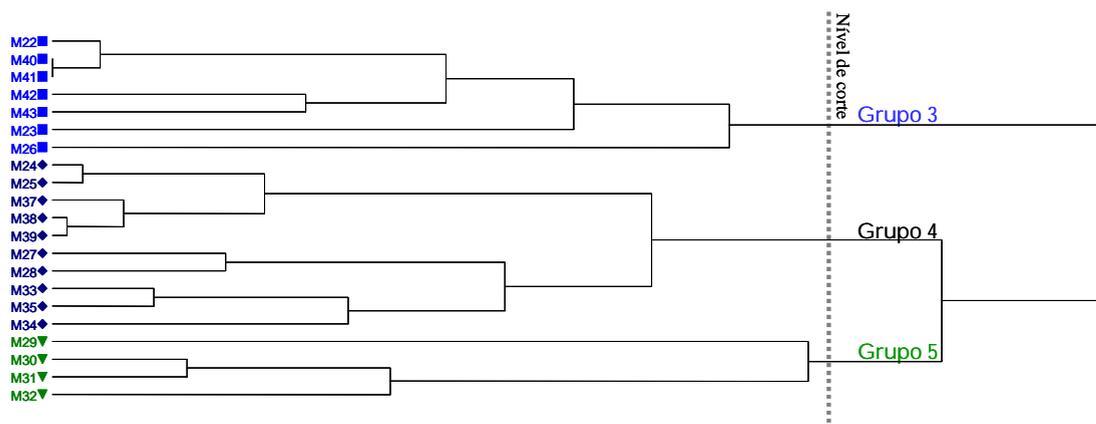


Figura 7.3.1 - Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 22 unidades amostrais que compõem o segmento 2.

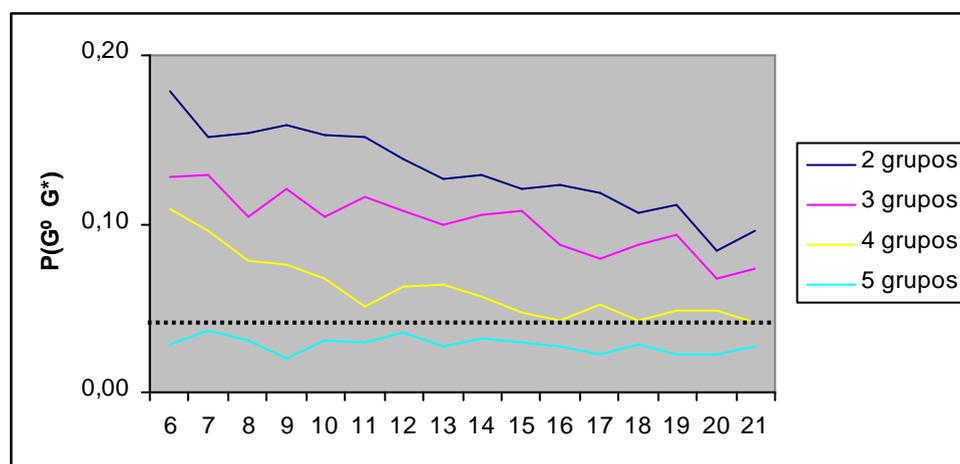


Figura 7.3.2 - Avaliação de suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 22 unidades que compõem o segmento 2, através das probabilidades  $P(G^0 \leq G^*)$  geradas em 1.000 iterações de aleatorização e autoreamostragem para cada tamanho de amostra.

No que se refere à Análise de Espécies Indicadoras (Dufrêne & Legendre, 1997), dos 92 táxons distribuídos nestes níveis, onze foram associadas a algum dos grupos destacados (Tab. 7.3.1).

Para estas amostras obtiveram-se 33 táxons como número máximo em M33 (329,7 cm) e cinco como valor mais baixo em M40 (296,6 cm). Foram consideradas, para fins de análise quantitativa, 301 valvas como mínimo em M22 (381,7 cm) e M23 (376,9 cm), e máximo de 371 valvas em M42 (287,1 cm). A eficiência da contagem oscilou entre 89,7% em M23 (376,9 cm) a 98,4% em M40 (296,6 cm) com média de 93,1% (Anexo B). O nível M36 (315,5 cm) não apresentou microfósseis silicosos.

Tabela 7.3.1 - Resumo da Análise de Espécies Indicadoras do segmento 2 utilizando os agrupamentos significativos como variável categórica e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações. Apresentam-se apenas os resultados estatisticamente significativos ( $\alpha = 0,05$ ). VI = valor indicativo; P = probabilidade.

Espécie	Grupo	VI	P
<p>Classe Coscinodiscophyceae Subclasse Coscinodiscophycidae Ordem Aulacoseirales Família Aulacoseiraceae <i>Aulacoseira</i> Thwaites</p> <p><b><i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Krammer &amp; Lange-Bertalot (1991a). Fig. 7.3.4, a - g; 7.3.5, a, d.</p>	3	55,5	0,025
<p><b><i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i></b></p>	3	54,5	0,001
<p>Classe Fragilariophyceae Subclasse Fragilariophycidae Ordem Striatellales Família Striatellaceae <i>Grammatophora</i> Ehrenberg</p> <p><b><i>Grammatophora</i> sp.</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Round <i>et al.</i> (1990); Crawford, R. M. Comunicação pessoal. Fig. 7.3.4, w - af; 7.3.5, c.</p>	4	75,8	0,001
<p>Classe Bacillariophyceae Subclasse Bacillariophycidae Ordem Thalassiosiphales Família Catenulaceae <i>Catenula</i> Mereschkowsky</p> <p><b><i>Catenula adhaerens</i> Mereschkowsky</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Witkowski <i>et al.</i> (2000). Fig. 7.3.4, ao - az; 7.3.5, f.</p>	4	64,0	0,001
<p>Classe Coscinodiscophyceae Subclasse Coscinodiscophycidae Ordem Coscinodiscales Família Hemidiscaceae <i>Actinocyclus</i> Ehrenberg</p> <p><b><i>Actinocyclus normanii</i> f. <i>subsalsa</i> (Juhlin-Dannfelt) Hustedt</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Hasle (1977), Krammer &amp; Lange-Bertalot (1991a). Fig. 7.3.4, h - k; 7.3.5, e, g.</p>	4	60,8	0,001
<p><b><i>Pseudostaurosira brevistriata</i> (Grunow) Williams &amp; Round</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Williams &amp; Round (1987), Krammer &amp; Lange-Bertalot (1991a); Laing <i>et al.</i> (1999). Fig. 7.3.4, l - p; 7.3.5, b.</p>	4	51,8	0,038
<p>Classe Bacillariophyceae Subclasse Bacillariophycidae Ordem Mastogloiales Família Mastogloiaceae <i>Mastogloia</i> Thwaites ex Smith</p> <p><b><i>Mastogloia recta</i> Hustedt</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Hustedt (1942), Simonsen (1987), Witkowski <i>et al.</i> (2000). Fig. 7.3.4, bb - be.</p>	5	93,7	0,001
<p><b><i>Diploneis smithii</i></b></p>	5	61,9	0,003
<p>Classe Bacillariophyceae Subclasse Bacillariophycidae Ordem Bacillariales Família Bacillariaceae <i>Tryblionella</i> Smith</p> <p><b><i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) D. G. Mann</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Krammer &amp; Lange-Bertalot (1988). Fig. 7.3.4, ag - an.</p>	5	54,5	0,036
<p>Classe Bacillariophyceae Subclasse Bacillariophycidae Ordem Bacillariales Família Bacillariaceae <i>Nitzschia</i> Smith</p> <p><b><i>Nitzschia rochensis</i> Metzeltin, Lange-Bertalot &amp; Garcia-Rodriguez</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Metzeltin <i>et al.</i> (2005). Fig. 7.3.4, q - v; 7.3.5, h.</p>	5	53,3	0,029
<p><b><i>Mastogloia pumila</i> (Cleve &amp; Möller) Cleve</b> <b>Obras consultadas para identificação:</b> Hustedt (1931-1959), Krammer &amp; Lange-Bertalot (1986). Fig. 7.3.4, ba.</p>	5	47,2	0,034

Nas unidades amostrais do grupo 3, há um predomínio acentuado do gênero *Aulacoseira* spp., bastante evidente na tabela 7.3.2 e figura 7.3.3. Conforme amplamente discutido na seção anterior, as espécies deste gênero, são meroplantônicas e dulciaquícolas, cuja abundância em estudos paleolimnológicos têm sido atribuída ao declínio da influência marinha sobre ambientes lóticos costeiros (e.g. Round *et al.*, 1990; García-Rodríguez & Witkowski, 2003; Stoermer & Julius, 2003; Fluin *et al.*, 2007).

Durante as etapas de identificação e quantificação do material em microscopia óptica foi possível perceber a presença abundante de partículas silicosas em alguns níveis que, a primeira vista, não correspondiam a alguma diatomácea (Fig. 7.3.4w – af). No entanto, tendo em vista sua repetência e constância morfométrica, foram computadas e assumiram destaque na análise de espécies indicadoras como representativas do grupo 4 (Tab. 7.3.1). Após verificação em microscopia eletrônica de varredura percebeu-se que estas unidades morfológicas eram constituídas por fragmentos celulares de alguma espécie de reduzida dimensão latitudinal com fileiras simples de aréolas, e valvocópula (banda intervalvar adjacente ao manto da valva) septada (Fig. 7.3.5c). As ilustrações do táxon foram encaminhadas para apreciação de R. M. Crawford, que emitiu parecer em que comenta que estas estruturas poderiam ser atribuídas a alguma espécie do gênero *Gramatophora*.

*Gramatophora* é um gênero pequeno, com menos de 50 espécies, confinadas ao litoral marinho onde estão aderidas a plantas e rochas (Round *et al.*, 1990). No segmento 2 do testemunho PM-RS-D01, sua abundância não superou 7% nas unidades amostrais do grupo 4, onde sua frequência, entretanto, alcançou 100% (Tab. 7.3.2). Confirmando a caracterização ecológica do gênero, três espécies de *Gramatophora* foram registradas por Buselato-Toniolli (1986), sobre uma espécie de Rodophyceae no litoral de Torres, Rio Grande do Sul.

Outras espécies de relevante potencial descritivo para as amostras do grupo 4 são *Catenula adhaerens*, *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* e *Pseudostaurosira brevistriata*.

Tabela 7.3.2 - Distribuição e abundância (%) das espécies indicadoras no segmento 2.

Amostra	cm	Grupo	<i>A. granulata</i>	<i>A. cf. agassizii</i>	<i>Grammatophora</i> sp.	<i>C. adhaerens</i>	<i>A. n. f. subsalsa</i>	<i>P. brevistriata</i>	<i>M. recta</i>	<i>D. smithii</i>	<i>T. hungarica</i>	<i>N. rochensis</i>	<i>M. pumila</i>
M43	282,4	3	4,2	16,6		4,2							
M42	287,1	3	3,0	39,1			1,9				3,2		
M41	291,8	3	3,3	89,1		0,9	2,1						
M40	296,6	3	6,5	87,0			2,2						
M39	301,3	4	5,1	29,7	3,5	11,7	14,6			0,6	0,6		
M38	306,0	4	2,2	4,1	4,1	13,5	15,7				1,9		
M37	310,8	4	2,8	8,3	4,9	4,9	23,0	1,8		0,6	1,2		
M36	315,5												
M35	320,2	4		5,5	5,2	10,4	5,8	1,9		5,5	1,9		
M34	324,9	4	0,7	1,3	5,2	4,6	15,7	7,5		0,7	2,0	0,7	
M33	329,7	4	1,2	1,9	6,8	2,5	1,5	5,6	0,6	1,9	1,2	1,2	0,6
M32	334,4	5	0,6	3,3			9,1	0,6	1,2	3,6	1,8	1,2	0,6
M31	339,1	5		0,9					1,2	6,6	1,3		
M30	343,9	5			1,2				1,2	7,2	2,4	0,6	
M29	348,6	5	0,6	2,2	0,6	2,5			0,6	1,9	0,6	0,6	14,3
M28	353,3	4	53,4	4,3	0,7	3,0	10,2			0,7			
M27	358,1	4		2,1	1,2	3,3	16,6			2,4		0,6	
M26	362,8	3	32,9	2,9	0,6	3,5	1,9			0,6			
M25	367,5	4	3,9	35,9	5,6	9,2	12,7	0,7		1,0			
M24	372,2	4	2,2	34,2	2,8	14,5	8,6	1,2					
M23	376,9	3	1,7	24,5	1,0	1,0	3,6			2,0			
M22	381,7	3	5,3	71,4		2,7	2,0			1,3			

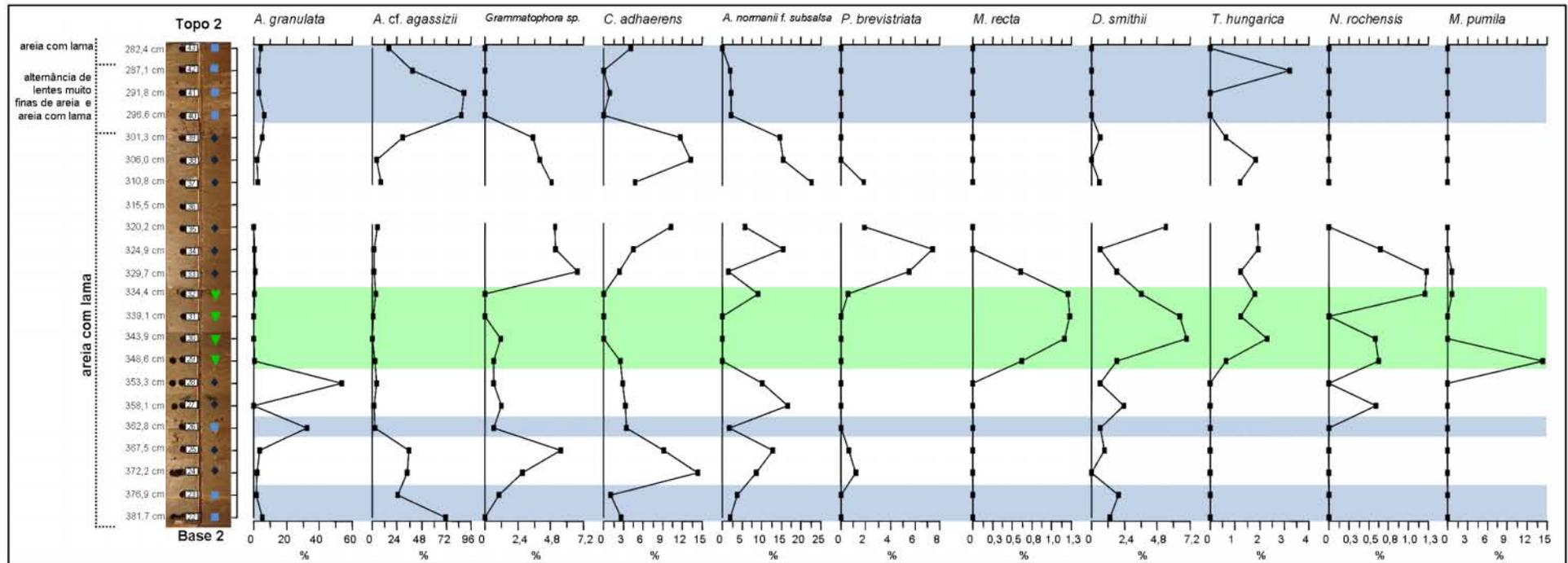


Figura 7.3.3 - Diagrama de distribuição e abundância relativa das espécies indicadoras do segmento 2 ao longo do testemunho PM-RS-D01. ■: grupo 3. ◆: grupo 4. ▼: grupo 5.

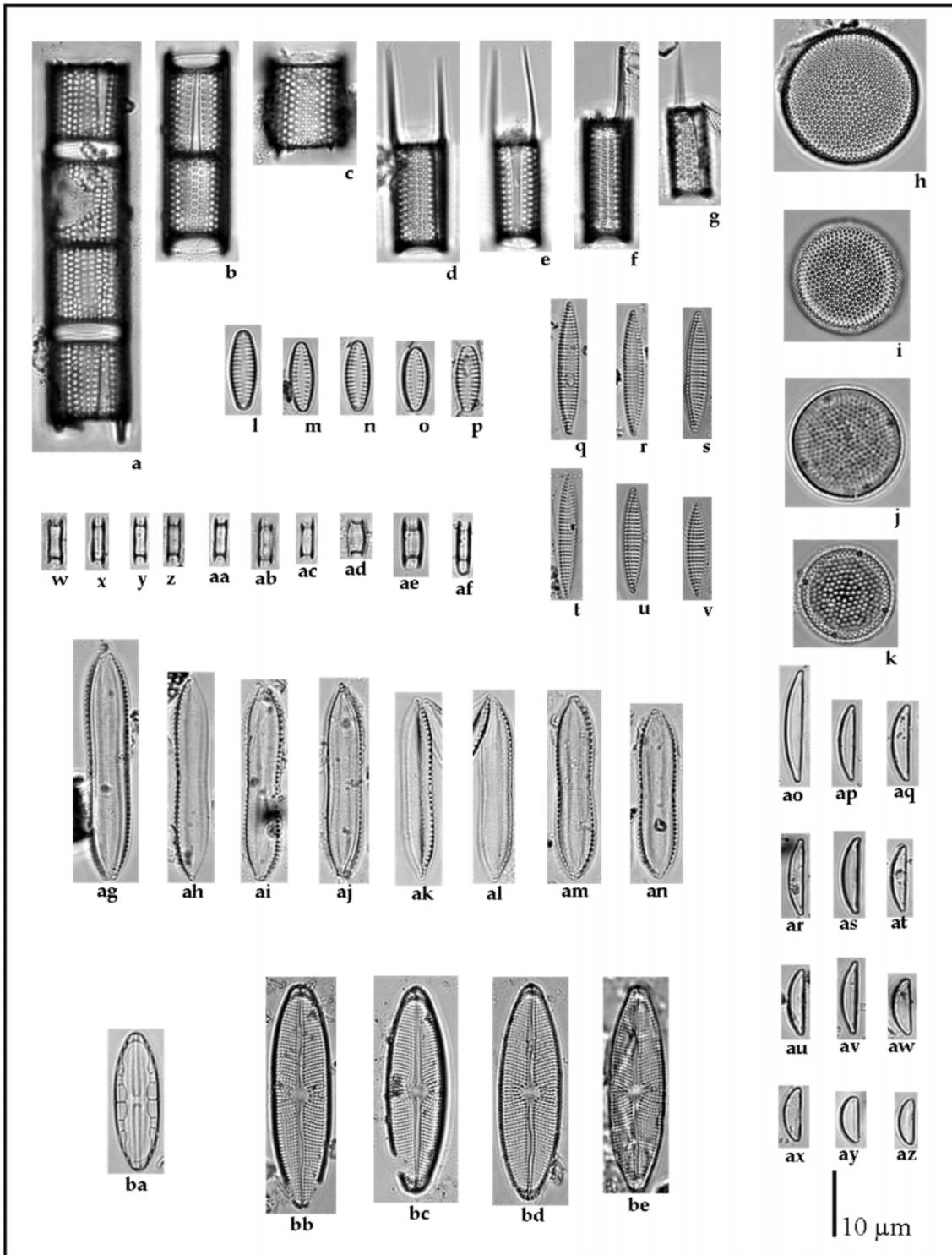


Figura 7.3.4 – Espécies indicadoras do segmento 2. (a–g) *Aulacoseira granulata*; (h–k) *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa*; (l–p) *Pseudostaurosira brevistriata*; (q–v) *Nitzschia rochensis*; (w–af) *Grammatophora* sp.; (ag–na) *Tryblionella hungarica*; (ao–az) *Catenula adhaerens*; (ba) *Mastogloia pumila*; (bb–be) *Mastogloia recta*. (Obs.: *Aulacoseira muzzanensis* e *Diploneis smithii* estão ilustradas na figura 7.2.4).

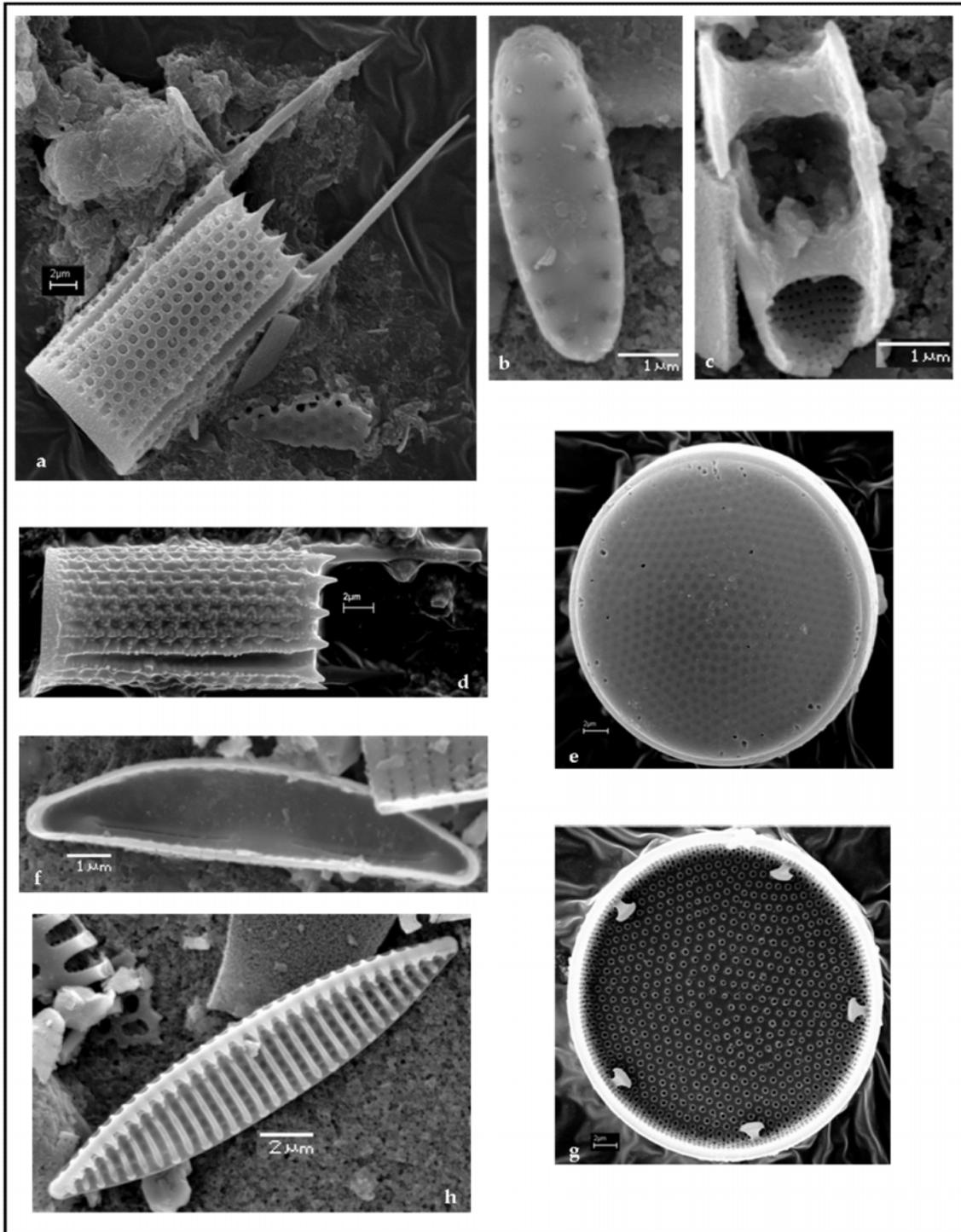


Figura 7.3.5 – Espécies indicadoras do segmento 2 em microscopia eletrônica de varredura. (a,d) *Aulacoseira granulata*; (b) *Pseudostaurosira brevistriata*; (c) *Grammatophora* sp.; (e) *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* vista externa; (f): *Catenula adhaerens*; (g) *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* vista interna; (h) *Nitzschia rochensis*.

*Catenula* é um gênero marinho que vive aderido ou associado aos sedimentos (Round *et al.*, 1990).

*C. adhaerens* foi originalmente descrita como *Navicula adhaerens* do mar de Azov, na Rússia, aderida a

grãos de areia (Mereschkowsky, 1902), o que também foi verificado por Mereschkowsky (1902-1903) na Califórnia, Estados Unidos.

*C. adhaerens* foi subseqüentemente registrada em regiões marinhas rasas ao longo da costa européia como uma espécie bastante comum sobre areia e lodaçais (Hustedt 1939, 1959; Brockmann, 1950; Hendey, 1964; Colijn & Nienhuis, 1978; Daemen *et al.*, 1982; de Wolf, 1982; Admiral, 1984).

Hustedt (1955) registrou *Catenula adhaerens* na costa leste dos Estados Unidos, e sugeriu que esta espécie fosse cosmopolita. Hustedt (1957) e Simonsen (1962) descrevem-na como um táxon eurialino mesohalóbio, encontrado principalmente em águas salobras. Hustedt (1959) narrou sua ocorrência sobre *Vaucheria* e madeira. Esteve amplamente distribuída na parte oeste do salobro mar Báltico (Simonsen, 1962; Pankov, 1976) e foi comumente encontrada no epipsamon da costa oeste sueca (Sundbäck & Medlin, 1986).

Wilderman (1984) a menciona como táxon frequente no estuário do rio Severn, Estados Unidos, preferindo temperaturas elevadas (20,6 °C), e salinidade ao redor de 10 ‰. *Catenula adhaerens* também constituiu espécie comum no material examinado por Sundbäck & Medlin (1986), originário tanto de ambientes marinhos quanto salobros. Kuylenstierna (1990) se refere a *C. adhaerens* como uma diatomácea cosmopolita, ocorrendo em água marinhas e salobras, crescendo aderidas ou associadas aos sedimentos. Vos & de Wolf (1993) a classificam como um táxon epipsâmico e mesohalóbio.

Conforme discussão apresentada por Hasle (1977), *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* (Fig. 7.3.4h – k; 7.3.5e, g) é uma diatomácea referida para rios e lagos da Europa desde 1880, embora sob designações distintas. Kolbe (1925) e Hustedt (1927-1930) consideraram *Coscinodiscus subsalsus* Juhlin-Dannfelt, *C. subtilis* var. *rothii* f. *minor* (Grun.) Van Heurck, como sinônimos da diatomácea em questão. Kolbe considerou válido *C. subtilis* var. *rothii* f. *minor*, enquanto Hustedt (1927-1930) fizeram a combinação de *C. rothii* var. *subsalsa* com *C. subsalsus* como basinômio. Mais tarde, Hustedt (1957) a transferiu para outro gênero, nominando-a como *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa*.

Para Hasle (1977), *Actinocyclus normanii* e *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* estão estreitamente relacionadas morfológicamente. Assim, do ponto de vista de um taxonomista, é contestável reter esta diatomácea como um táxon diverso, já que não existem caracteres conclusivamente distintivos que possam ser apontados. Por outro lado, para um ecólogo, a separação das duas formas pode conter algum significado, contribuindo em suas investigações (Hasle, 1977). Enquanto *Actinocyclus normanii* tem sido registrada para

águas marinhas e salobras (Brockmann, 1914), *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* ocorre com maior concentração celular no plâncton de ambientes menos salinos (Behre, 1956; Hustedt, 1957, 1959) e pode ser classificada como uma forma de ecossistemas continentais salobros (Hasle, 1977). Esta distinção ecológica também foi constatada no Brasil por Torgan (1997) em estudo conduzido na Lagoa dos Patos, onde *A. normanii* se destacou na região centro e sul da lagoa (zona mesohalina), enquanto *A. normanii* f. *subsalsa* obteve maior desenvolvimento na zona centro-norte em condições oligohalóbias.

Nesta pesquisa, o morfotipo *subsalsa* foi atribuído aos espécimes com menos de 30 µm. Este critério, baseado em Hustedt (1957), contudo, não é plenamente satisfatório, uma vez que Krammer & Lange-Bertalot (1991c) atribuem um diâmetro de 30 a 110 µm à *Actinocyclus normanii*, e 16 a 58 µm para o morfotipo *subsalsa*. No entanto, para as duas formas foi atribuída auto-ecologia similar (Tab. 7.2.3, 7.3.3), atenuando possíveis equívocos relativos à identificação das espécies durante o levantamento quantitativo e inferências paleoambientais decorrentes.

O táxon nominado *Pseudostaurosira brevistriata* para o segmento 2 (Fig. 7.3.41-p) foi identificado preliminarmente na fase de contagem e cômputo dos dados, como *Fragilaria construens* f. *subsalina* (Hustedt) Hustedt, devido a sua semelhança aparente com a figura 19 (p. 495) de Krammer & Lange-Bertalot (1991a). Entretanto, em exame posterior foi possível verificar que a espécie deste trecho do testemunho PM-RS-D01, não apresentava estrias areoladas como na *Fragilaria construens* f. *subsalina* registrada em Krammer & Lange-Bertalot (1991a). Os espécimes também não se enquadravam na combinação proposta por Morales (2005), *Pseudostaurosira subsalina* (Hustedt) Morales, por não apresentarem *sternum* linear e estreito. Desta forma, retornando a Krammer & Lange-Bertalot (1991a, p. 491, fig. 10), encontrou-se um táxon com características muito similares aos espécimes em discussão, registrado como *Fragilaria brevistriata*. Contudo, Williams & Round (1987) já haviam transferido esta espécie para o gênero *Pseudostaurosira*, vindo a compor o nome válido até os dias atuais.

Para Patrick & Reimer (1975), Gasse (1987) e Zong (1997), *Fragilaria brevistriata* é uma espécie oligohalóbia, tolerando, portanto, alguma salinidade, desde que não superiores a 5 g.l<sup>-1</sup> de Cl<sup>-</sup>. Já para Florin (1970), Foged (1970), Lowe (1974) e Stabell (1985) sua tolerância é variável, pois suporta alguma salinidade, mas desenvolve-se plenamente em água doce.

Parece haver concordância na literatura quanto a característica alcaliófila de *F. brevistriata* ( Foged, 1970; Van Landingham, 1970; Lowe, 1974; Gasse, 1983; Charles, 1985; Whitmore 1989; Håkansson, 1993 *apud* Moro & Fürstenberger, 1997; Watanabe & Assai, 1996), e sua preferência por águas eutróficas, ricas em nutrientes e conteúdo mineral (Van Landingham, 1970; Luchini & Verona, 1972; Lowe, 1974; Shirata, 1985; Whitmore 1989 *apud* Moro & Fürstenberger, 1997).

Neste contexto, às unidades amostrais do grupo 4 podem ser atribuídas condições de deposição em ambiente mixohalino, com menor concentração salina do que para o segmento 1, e mais próximo da zona litoral da laguna.

No grupo 5, sobressaíram-se dois gêneros da família Bacillariaceae (*Tryblionella*, *Nitzschia*), um da família Mastogloiaceae (*Mastoglia*), e um da família Diploneidaceae (*Diploneis*) (Tab. 7.3.1).

*Mastoglia* é um gênero epifítico ou epipélico que abrange muitas espécies, principalmente em ambientes marinhos, mas também em águas salobras e doces (Round *et al.*, 1990). Kociolek & Spaulding (2003) destacam que nas águas doces da América do Norte, *Mastoglia* é frequentemente encontrada em habitats bentônicos calcáreos. No entanto, conforme estes autores, apenas poucas espécies estão presentes em ambientes dulciaquícolas, enquanto centenas são encontradas em habitats marinhos.

*Mastoglia recta* é uma espécie mesohalóbia (Foged, 1976), característica de águas salobras (Aboal, 1988; Witkowski *et al.*, 2000). Hendey (1964) refere-se a *Mastoglia pumila* como uma espécie comum nas costas do mar do Norte e do canal Inglês, algumas vezes também encontrada em águas salobras. Para Laird & Edgar (1992), *M. pumila* é epipélica, marinha, intermaré, característica da flora vivente nos pântanos salgados da Nova Inglaterra, Estados Unidos.

*Tryblionella* é um gênero epipélico, comum em ambientes salobros e marinhos, que pode também ocorrer em água doce com elevada condutividade (Round *et al.*, 1990; Lowe, 2003).

Consoante apuração de Moro & Fürstenberger (1997), *Tryblionella hungarica* é uma diatomácea halófila para Guerméur (1954) e Lowe (1974) e de águas salobras para König (1974), Aboal (1988,) Moreira Filho *et al.*, (1990) e Vos & de Wolf (1993). Quanto ao pH, é circumneutra para Guzkowska & Gasse (1990) e alcaliófila para Guerméur (1954), Lowe (1974), Gasse (1987) e Håkansson (1993). Guzkowska & Gasse (1990) consideram que o táxon suporta grandes variações na concentração de nutrientes e minerais.

*Nitzschia* é um gênero relativamente numeroso, com centenas de espécies marinhas e de água doce. A maioria de seus representantes habita o epipélon, mas *Nitzschia* também comporta espécies planctônicas, epilíticas e epifíticas (Lowe, 2003).

*Nitzschia rochensis* é uma espécie proposta recentemente por Metzeltin *et al.* (2005), para a Laguna Rocha, sul do Uruguai. Este sistema encontra-se separado do Oceano Atlântico por uma barra arenosa com salinidade variando de 0,5 ‰ a 33 ‰ (García-Rodríguez *et al.*, 2004b).

A tabela 7.3.3 resume as informações autoecológicas investigadas para as espécies indicadoras do segmento 2 do poço PM-RS-D01. A partir desta, seguida da análise da figura 7.3.3, é possível perceber o predomínio de espécies indicadoras mesohalóbias/salobras e de hábito perifítico/bentônico nas unidades amostrais dos grupos 4 e 5. Para Zong (1997), estes táxons apontam a existência de uma vegetação aquática de ambiente mixohalino bem desenvolvida, confirmando a manutenção da tendência transgressiva detectada próximo ao topo do segmento 1, iniciada após 3.950  $^{14}\text{C}_{\text{cal}}$  anos AP, geocronologicamente correlacionável com o “estágio R2” de Medeanic *et al.* (2000a) e Marques-Toigo *et al.* (2002), com o “intervalo 2” de Meyer *et al.* (2005a) e com a “zona 3” de Meyer *et al.* (2005b).

A matriz de semelhança por correlação (Tab. 7.3.4) destacou o comportamento diretamente proporcional de *Mastogloia recta* e *Diploneis smithii* ( $r = 0,7502$ ,  $p=0,003$ ), bem como de *M. recta* com *Nitzschia rochensis* ( $r = 0,5914$ ,  $p=0,009$ ). O fato destes táxons constituírem indicadores de hábito bentônico do grupo 5, somado ao declínio da espécie planctônica *Actinocyclus normannii* f. *subsalsa* concomitante ao surgimento das espécies de *Mastogloia* entre os níveis M29 (348,6 cm) e M31 (339,1 cm) (Fig. 7.3.3), indica uma maior proximidade da margem ao local de amostragem, por consequência do rebaixamento máximo da coluna d'água, em um contexto de clima mais seco, quando da deposição dos sedimentos que compõem as amostras deste grupo.

Durante esta fase de emergência/submergência costeira, algumas evidências sugerem o registro de pulsos transgressivos para este trecho do testemunho, alguns deles provavelmente relacionados a eventos meteorológicos.

Tabela 7.3.3 – Resumo das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 2.

Espécie	Ecologia
<i>Aulacoseira granulata</i>	Água doce; meroplânctônica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	Água doce; meroplânctônica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Grammatophora</i> sp.	Marinha; perifítica.
<i>Catenula adhaerens</i>	Marinha ou salobra; epipélica; ambientes rasos.
<i>Actinocyclus normanii</i> f. <i>subsalsa</i>	Plâncton de ecossistemas continentais salobros.
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	Água doce (não suporta salinidade superior a 5 g.l <sup>-1</sup> de Cl <sup>-</sup> ); perifítica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Mastogloia recta</i>	Salobra; epifítica ou epipélica (característica definida par ao gênero).
<i>Diploneis smithii</i>	Água salgada ou salobra; ticoplânctônica (epifítica e epipélica); alcaliófila. Sem informações sobre preferências tróficas.
<i>Tryblionella hungarica</i>	Salobra; epipélica; alcaliófila; euritrófica.
<i>Nitzschia rochensis</i>	Salobra.
<i>Mastogloia pumila</i>	Marinha ou salobra; epifítica ou epipélica (característica definida par ao gênero).

Tabela 7.3.4 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do segmento 2, abaixo da diagonal principal, e probabilidades correspondentes, acima desta.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Diploneis smithii	1		0,875	0,003	0,907	0,160	0,093	0,833	0,242	0,239	0,221	0,034
Pseudostaurosira brevistriata	2	-0,0421		0,953	0,760	0,039	0,162	0,001	0,800	0,297	0,203	0,200
Mastogloia recta	3	0,7509	-0,0172		0,148	0,009	0,109	0,419	0,045	0,113	0,179	0,066
Mastogloia pumila	4	0,0260	-0,0851	0,2335		0,105	0,985	0,774	0,588	0,301	0,267	0,264
Nitzschia rochensis	5	0,3018	0,4897	0,5914	0,2681		0,195	0,444	0,172	0,908	0,125	0,037
Tryblionella hungarica	6	0,3718	0,2995	0,3794	-0,0410	0,3062		0,354	0,722	0,877	0,103	0,110
Gramathophora sp.	7	-0,0467	0,6854	-0,1960	-0,1305	0,1822	0,2170		0,005	0,014	0,390	0,143
Catenula adhaerens	8	-0,2644	0,0868	-0,4381	-0,1059	-0,3140	-0,0797	0,5860		0,019	0,827	0,628
Actinocyclus normanii f. subsalsa	9	-0,2752	0,2460	-0,3562	-0,2370	-0,0229	0,0397	0,5332	0,5090		0,989	0,296
Aulacoseira granulata	10	-0,2555	-0,1892	-0,2435	-0,1067	-0,2574	-0,3368	-0,2157	-0,0681	0,0031		0,745
Aulacoseira cf. agassizii	11	-0,4305	-0,2766	-0,3899	-0,1734	-0,4213	-0,3704	-0,3164	-0,1122	-0,2412	-0,0891	

Apesar de alocadas junto ao grupo 3, após processamento estatístico dos dados, as amostras M22 (381,7 cm) e M23 (376,9 cm) parecem estar relacionadas a uma história sedimentar diversa àquele conjunto.

Aqui, a despeito da presença expressiva de *Aulacoseira* spp. e de fragmentos dos gêneros *Hyalodiscus* Ehrenberg, *Diploneis* spp., *Actinoptychus* Ehrenberg, *Epithemia* Kützing e *Tryblionella* spp. (7.3.6), indicando retrabalhamento de sedimento, há também valvas bem conservadas de *Terpsinoë musica* Ehrenberg (7.3.6g), *Cyclotella striata* e *Surirella rorata* Frenguelli (Fig. 7.3.6h). A estas últimas estão somadas *Pseudopodosira echinus* (Frenguelli) Metzeltin *et al.* em M22 (Fig. 7.3.6a,b,d; 7.3.7; 7.3.8), e *Rhizosolenia* Brightwell, em M23 (Fig. 7.3.9).

*Pseudopodosira echinus* não foi destacada pelos procedimentos estatísticos, pois foi confundida com vistas valvares de *Aulacoseira* que, conforme critério estabelecido, não foram computadas. *P. echinus* e seu sinônimo *Pseudopodosira kosugii* Tanimura & Sato é uma indicadora confiável de alterações do nível relativo do mar, atingindo máxima abundância na fase final de eventos transgressivos, de acordo com Tanimura & Sato (1997) e García-Rodríguez & Witkowski (2003). *Rhizosolenia*, por sua vez, é um gênero comum do plâncton marinho (Round *et al.*, 1990). Desta forma, a presença destes táxons em M22 e M23 revelam expressiva influência marinha sobre o sistema, que pode ser compreendida via associação com a ocorrência de marés meteorológicas.

Marés meteorológicas são variações positivas de mesoescala no nível do mar, originadas de gradientes bruscos de pressão e de ventos próximos à costa associados a sistemas sinóticos. Este fenômeno é especialmente significativo para a compreensão de variações do nível do mar, pois atualmente o estado do Rio Grande do Sul está localizado em uma zona de descontinuidade, para onde convergem os ventos dos dois principais anticiclones, deixando o tempo instável e chuvoso (Saraiva *et al.*, 2003).

De acordo com Tomazelli & Villwock (1991), marés meteorológicas ocasionam, na laguna de Tramandaí, o ingresso de uma cunha salina via canal de comunicação com o oceano, responsável por alterações de salinidade na lagoa. Se transpusermos este fenômeno para o contexto de uma paleolaguna onde hoje se situa o sistema Pinguela-Palmital-Malvas, viabiliza-se uma possibilidade de interpretação dos eventos progressos responsáveis pela associação de microfósseis com autoecologias tão contrastantes, como é caso de *Aulacoseira* cf. *agassizii* frente a *Pseudopodosira echinus* e *Rhizosolenia* spp.

Assim, as partículas correspondentes a *Aulacoseira* spp. estariam relacionadas ao afluxo da pluviosidade drenada pelos sistemas lóticos proximais, enquanto *Pseudopodosira echinus*, *Rhizosolenia* spp.

e demais indicadores de salinidade, teriam sido incorporadas ao sedimento a partir do ingresso concomitante da massa d'água salina ao ambiente.

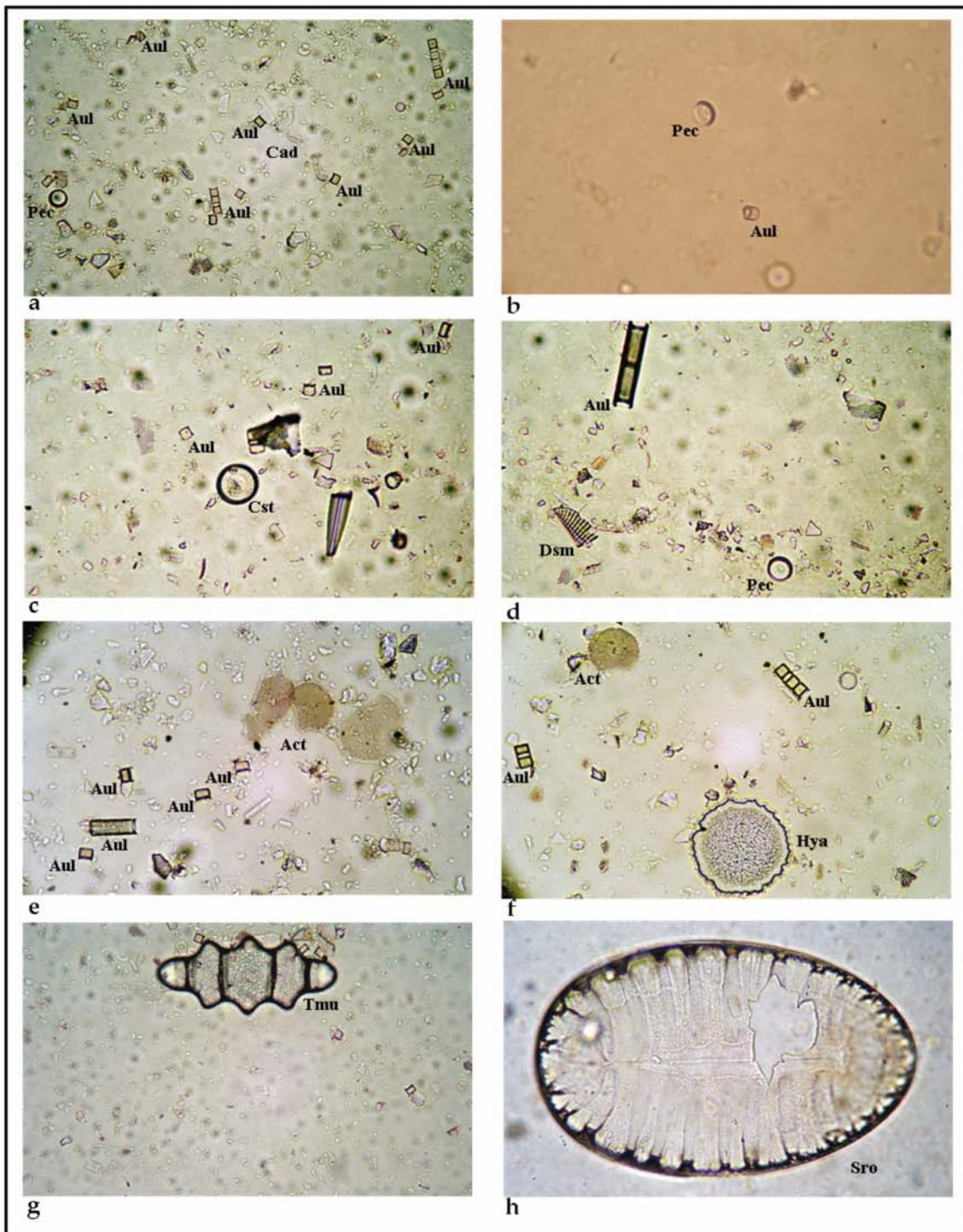


Figura 7.3.6 – Vista geral de campos de visão de lâminas dos níveis M22 (296,6 cm) e M23 (291,8 cm) preparadas para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. (a-e, g,h) nível M22; (f) nível M41. Aul = *Aulacoseira* spp. Act = *Actinoptychus* spp. (fragmento). Cad = *Catenula adhaerens*. Cst = *Cyclotella striata*. Dsm = *Diploneis smithii* (fragmento). Hya = *Hyalodiscus* sp. (fragmento). Pec = *Pseudopodosira echinus*. Sro = *Surirella rorata*. Tmu = *Terpsinoë musica*. Aumento de 400x. 1cm = 25µm.

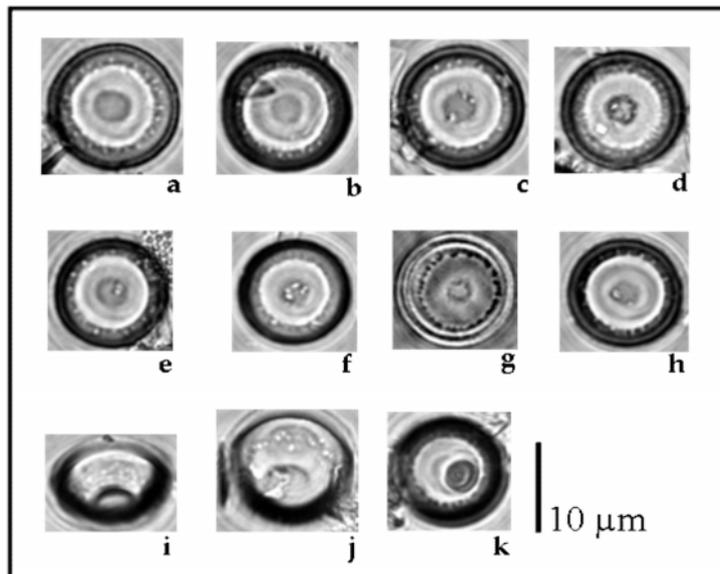


Figura 7.3.7 – *Pseudopodosira echinus* em microscopia óptica com aumento de 1.000x.

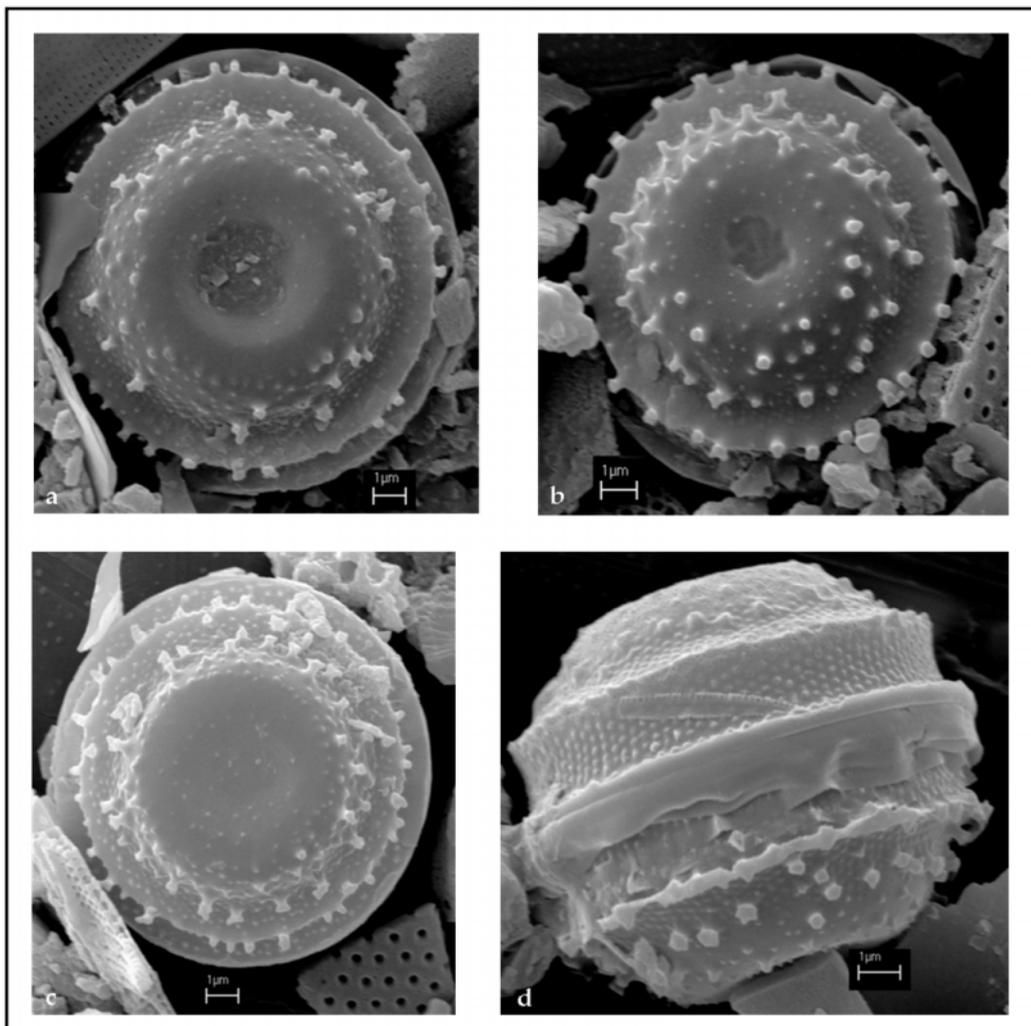


Figura 7.3.8 – *Pseudopodosira echinus* em microscopia eletrônica de varredura. (a, b, c) vista valvar. (d) vista pleural.

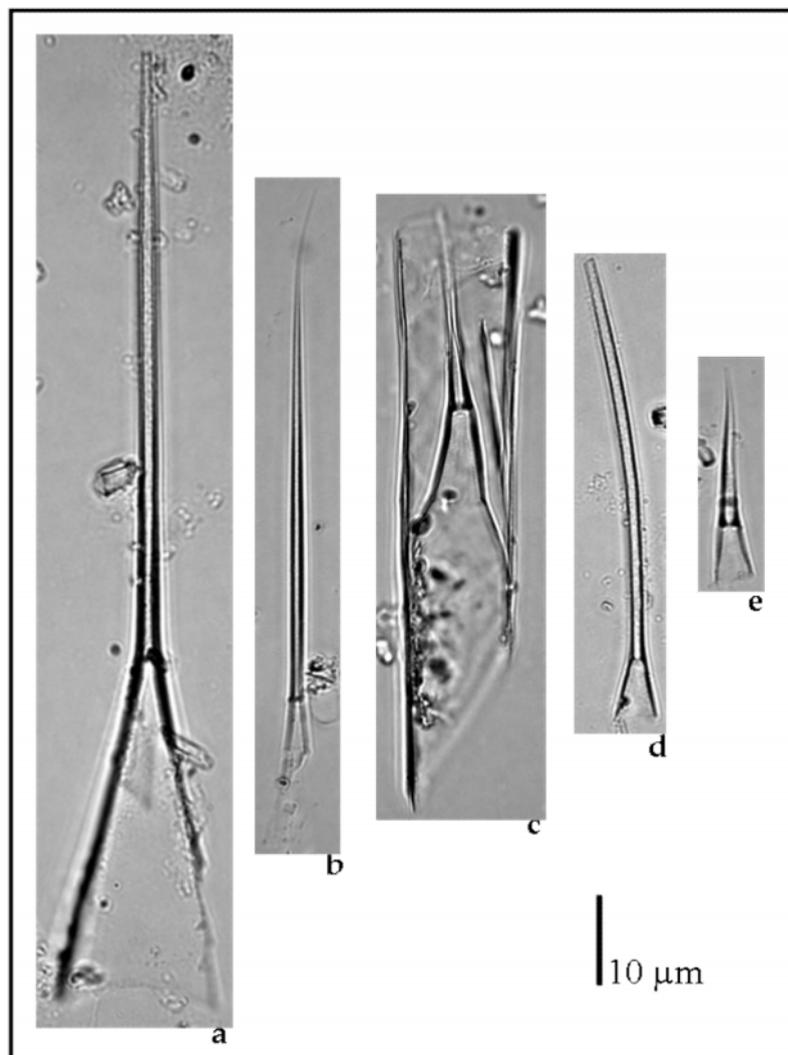


Figura 7.3.9 – Microfotografias de *Rhizosolenia* spp. do nível M23 (376,9 cm) em microscopia óptica com aumento de 1.000x.

Outro pulso transgressivo bem caracterizado é registrado no nível M35 (320,2 cm) onde *Pseudopodosira echinus*, corresponde a uma fração importante da amostra (Fig. 7.3.10).

A culminância de *Aulacoseira* cf. *agassizii* se dá nas amostras M40 (296,6 cm) e M41 (291,8 cm), que foram extraídas de níveis mais lamosos em um trecho do testemunho caracterizado pela presença dos pacotes arenosos mais expressivos até então (Fig. 7.1.2; 7.3.3), indicando deposição em ambiente relativamente mais energético. Nestes níveis, a presença de fragmentos valvares de táxons salobros e marinhos como, por exemplo, *Diploneis*, *Actinocyclus* e *Terpsinoë* Ehrenberg (Round *et al.*, 1990), concomitante a valvas bem preservadas do gênero dulciaquícola *Aulacoseira* spp. (Fig. 7.3.11), evidenciam o retrabalhamento de fácies subjacentes, que foram depositadas sob condições de maior salinidade, no momento de deposição destas últimas.

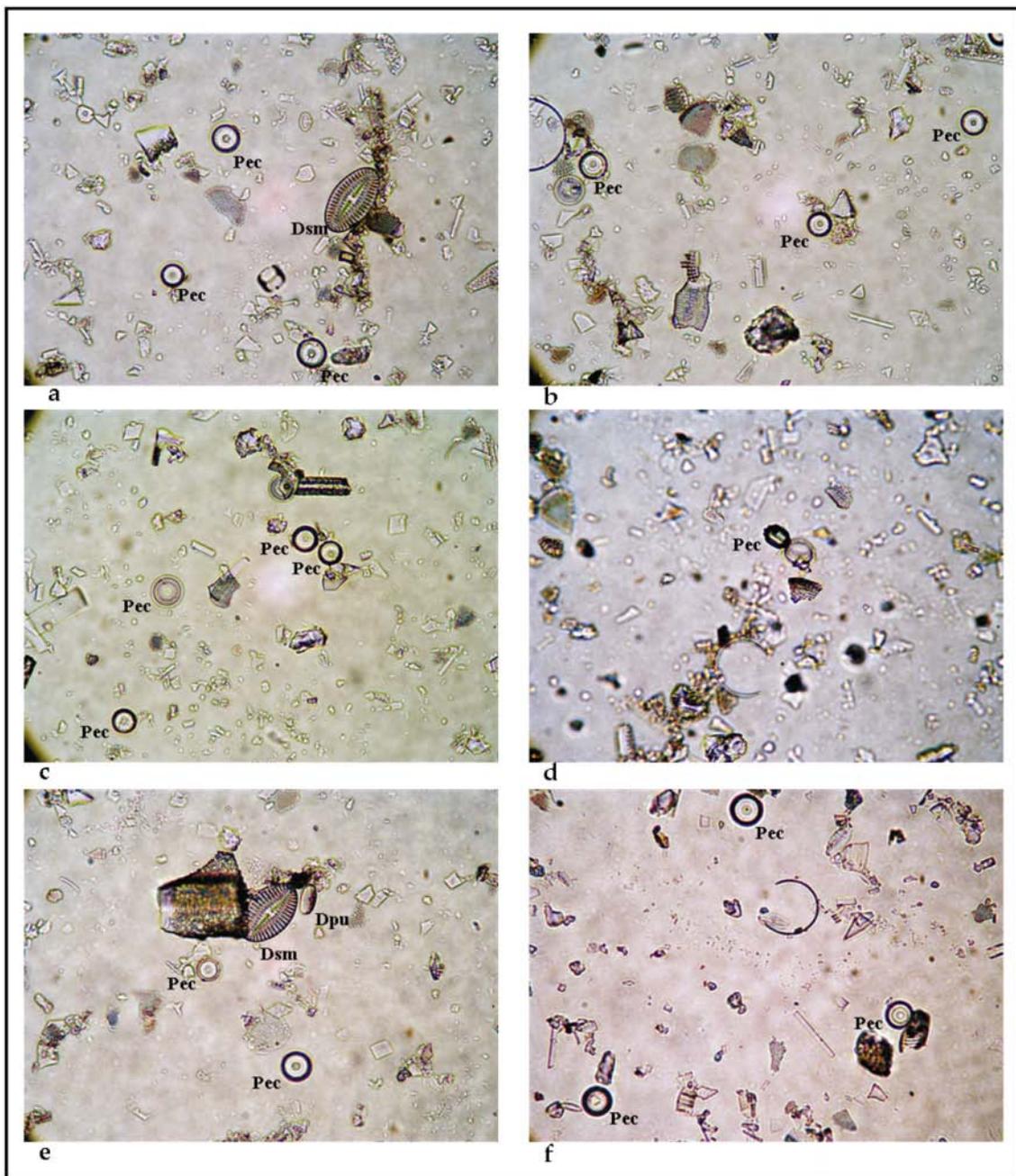


Figura 7.3.10 – Vista geral de campos de visão de uma da lâmina do nível M35 (320,2 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. Pec = *Pseudopodosira echinus*. Dsm = *Diploneis smithii*. Dpu = *Diploneis puella* (Schumann) Cleve. Aumento de 400x. 1cm = 25µm.

Em M42 (287,1 cm) e M43 (282,4 cm), ocorre um acentuado declínio de *Aulacoseira* cf. *agassizii* e, além das frações das espécies salobras supramencionadas, são encontradas valvas inteiras de *Tryblionella* spp., *Diploneis* spp., *Amphipleura* Kützing, táxons volumosos como *Surirella* *rorata*, *Gyrosigma* sp. e *Terpsinoë musica*, bem como as espécies “espiculares” *Bacillaria paxillifer* (O. F. Muller) Hendey e *Nitzschia lorenziana* Grunow (Fig. 7.3.12. 7.3.13). Desta forma, estas amostras estariam relacionadas com a

volta de um ambiente deposicional menos energético, e com o incremento da condição mixohalina, caracterizando o terceiro pulso transgressivo no testemunho.

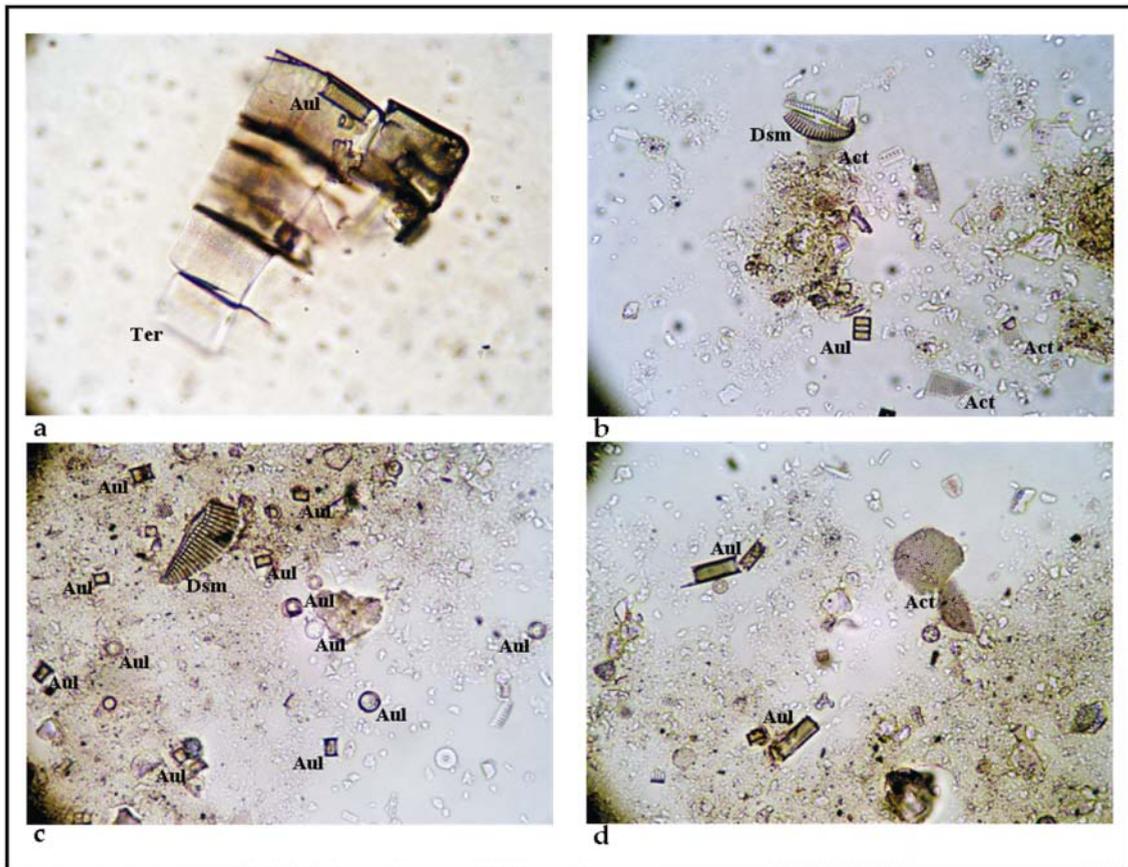


Figura 7.3.11 – Vista geral de campos de visão de lâminas dos níveis M40 (296,6 cm) e M41 (291,8 cm) preparadas para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. (a, b) nível M40; (c, d) nível M41. Aul = *Aulacoseira* spp. Act = *Actinocyclus* spp. Dsm = *Diploneis smithii*. Ter = *Terpsinoë* sp. Aumento de 400x. 1cm = 25µm.

Durante o processo de análise quantitativa, a lâmina correspondente ao nível M36 (315,5 cm) não apresentou microfósseis silicosos. Por isso, uma nova tentativa, com maior concentração de sedimento tratado, foi efetuada utilizando *Entellan* como meio de montagem. Com esta, pode-se verificar a similaridade deste com os estágios adjacentes (grupo 4), tendo em vista a presença expressiva de *Catenula adhaerens*, *Actynocyclus normanii* f. *subsalsa* e *Diploneis smithii*, facilmente constatável via observação qualitativa (Fig. 7.3.14).

A amostra M26 (362,8 cm) também apresentou particularidades em relação a seu grupo. Sua baixa salinidade é definida pelo predomínio de *Aulacoseira granulata*, ressaltada pela análise de espécies indicadoras, e abundância de *Stausosira construens* Ehrenberg (Fig. 7.3.15; Anexo B). Quanto às espécies

mixohalinas, *Catenula adhaerens* e *Actynociclus normanii* f. *subsalsa* são as mais representativas, embora com percentuais pouco expressivos, 3% e 1,8%, respectivamente (Anexo B).

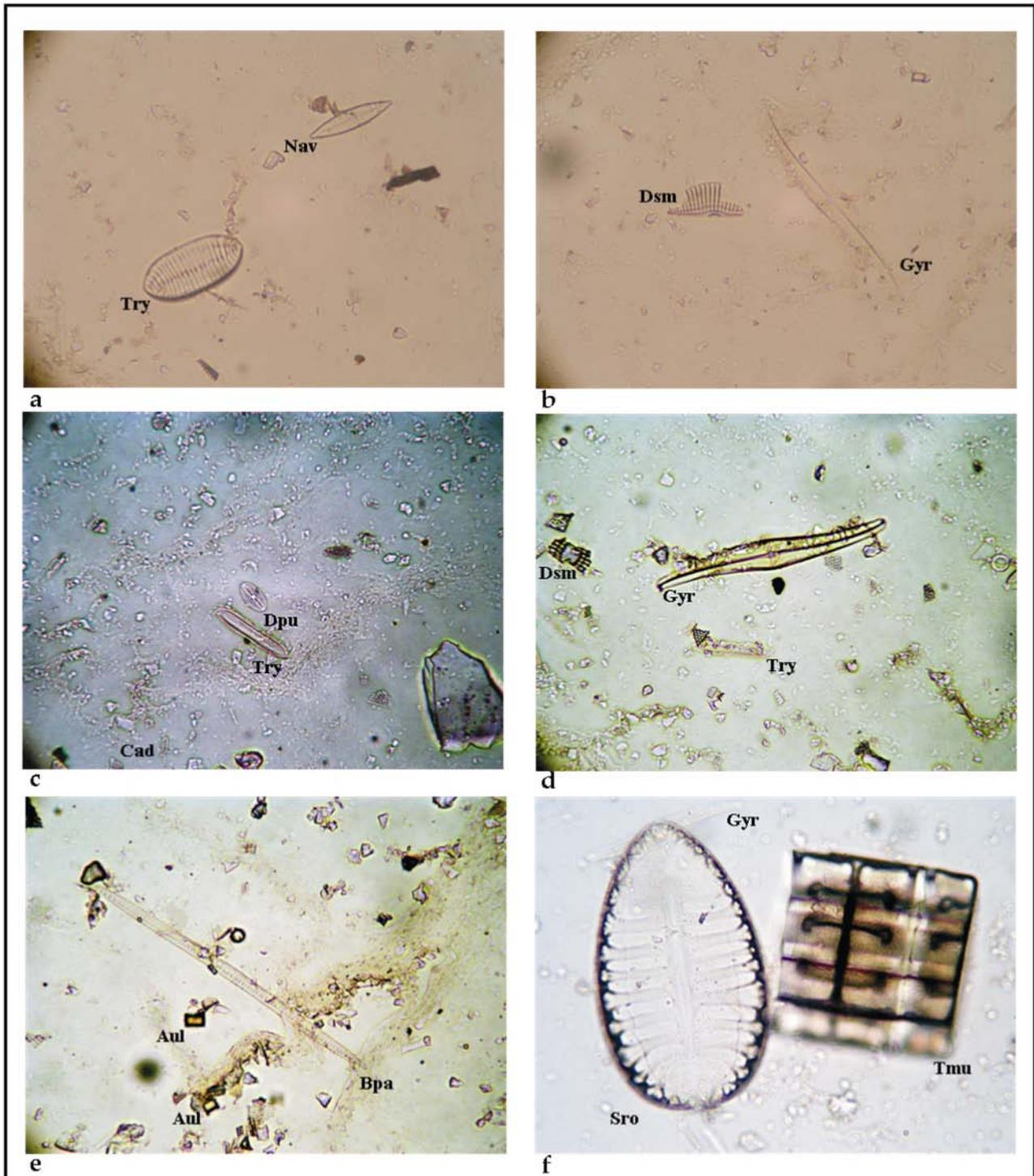


Figura 7.3.12 – Vista geral de campos de visão de lâmina do nível M42 (287,1 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. Amp = *Amphipectora* sp. Bpa = *Bacillaria paxillifer*. Cad = *Catenula adhaerens*. Dpu = *Diploneis puella*. Dsm = *Diploneis smithii*. Gyr = *Gyrosigma* spp. Nav = *Navicula* spp. Sro = *Surirella rorata*. Tmu = *Terpsinoë musica*. Try = *Tryblionella* spp. Aumento de 400x. 1cm = 25µm.

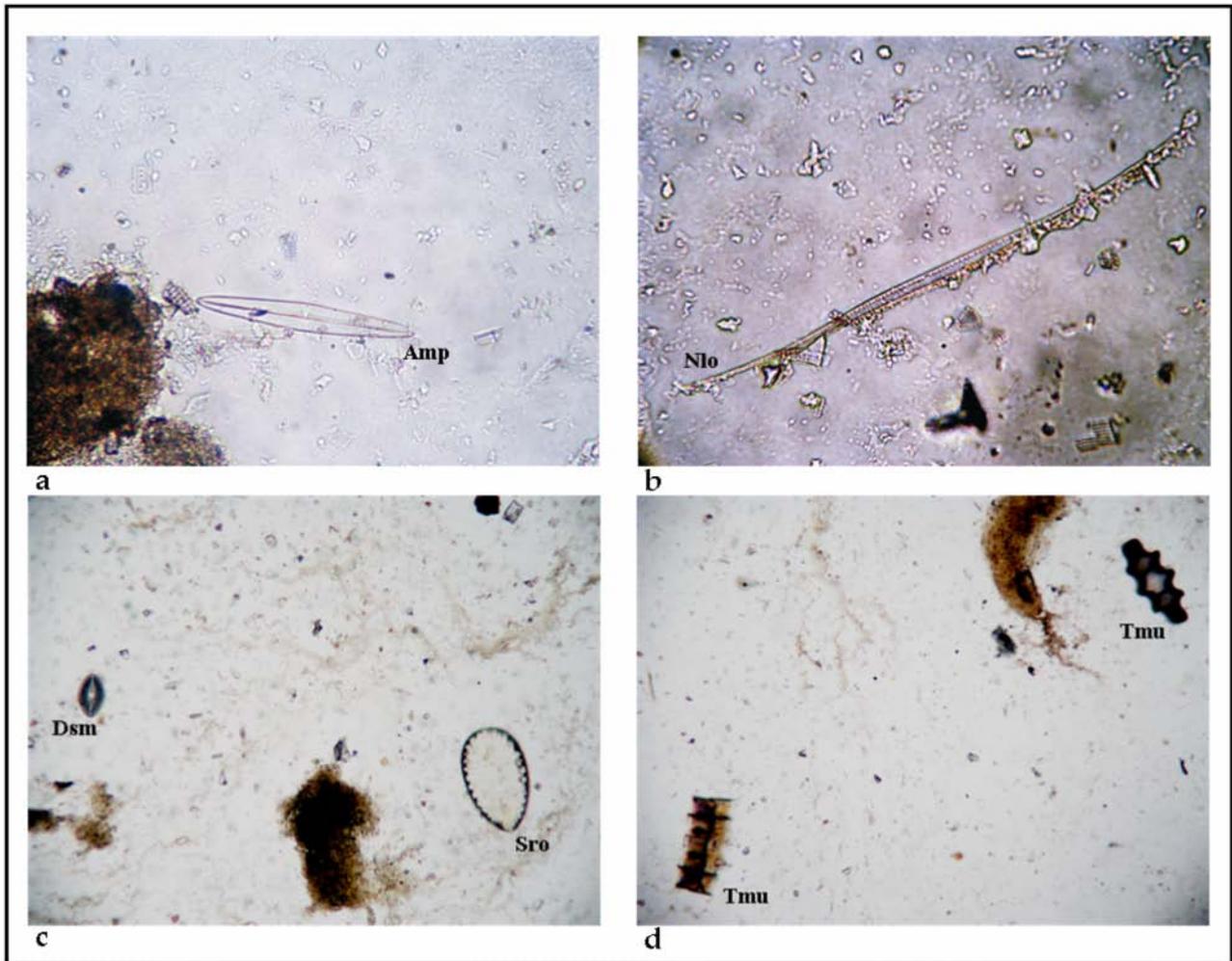


Figura 7.3.13 – Vista geral de campos de visão de lâmina do nível M43 (282,4 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. Amp = *Amphipleura* sp.; Dsm = *Diploneis smithii*. Nlo = *Nitzschia lorenziana*. Sro = *Surirella rorata*. Tmu = *Terpsinoë musica*. (a, b) aumento de 400x, 1cm = 25µm; (c, d) aumento de 100x, 1cm = 100 µm.



Figura 7.3.14 – Vista geral de um campo de visão de uma lâmina do nível M36 (315,5 cm) preparada para análise de diatomáceas utilizando *Entellan* como meio de montagem. Ans = *Actynociclus normanii* f. *subsalsa*. Cad = *catenula adhaerens*. Dsm = *Diploneis smithii*. Aumento de 400x. 1cm = 25µm.

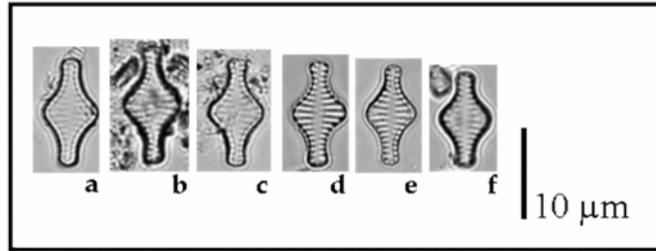


Figura 7.3.15 – Microfotografias de *Staurosira construens* do nível M26 (362,8 cm) em microscopia óptica com aumento de 1.000x.

## 7.4 RESULTADOS MICROPALAEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 3 (AMOSTRAS M44 A M64)

A análise de agrupamento do segmento 3 possibilitou a compartimentalização deste trecho do testemunho em 5 partes, sendo duas constituídas de um único nível de amostragem, motivo pelo qual não receberam a denominação de grupos (Fig. 7.4.1 e 7.4.2).



Figura 7.4.1 - Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 21 unidades amostrais que compõem o segmento 3.

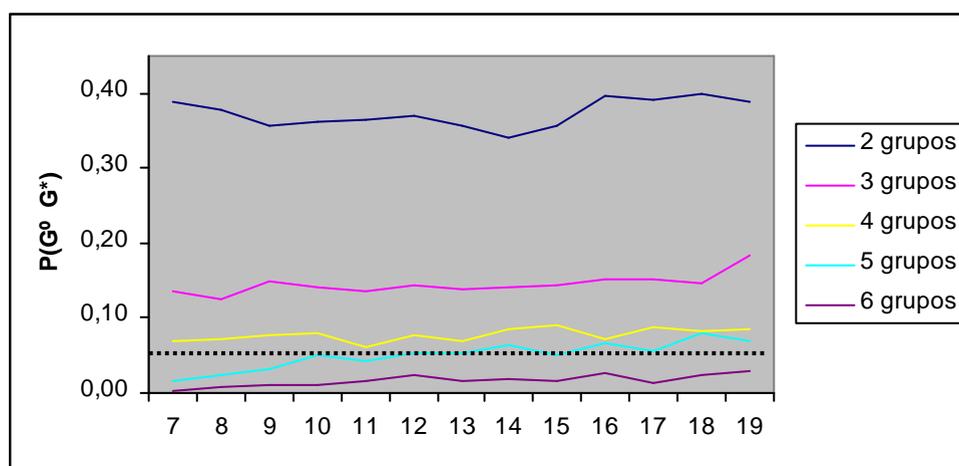


Figura 7.4.2 - Avaliação de suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 21 unidades que compõem o segmento 3, através das probabilidades  $P(G^\circ G^*)$  geradas em 1.000 iterações de aleatorização e autoreamostragem para cada tamanho de amostra.

A Análise de Espécies Indicadoras (Dufrêne & Legendre, 1997) destacou seis dos 52 táxons presentes nestes níveis (anexo D), sendo que apenas *Cocconeis* sp. e *Diploneis puella* não haviam sido reveladas nos segmentos anteriores (Tab. 7.4.1).

Com uma média de 12 espécies por amostra (mínimo de sete e máximo de 20), as unidades amostrais deste segmento apresentaram eficiência de contagem superior a 91,1% considerando-se, em média, 335 valvas (Anexo D).

Tabela 7.4.1 - Resumo da Análise de Espécies Indicadoras do segmento 3 utilizando os agrupamentos significativos como variável categórica e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações. Apresentam-se apenas os resultados estatisticamente significativos ( $\alpha = 0,05$ ). VI= valor indicativo; P = probabilidade.

Espécie	Grupo	VI	P
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	6	68,3	0,018
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	6	66,7	0,047
<i>Cocconeis</i> sp. Fig. 7.4.4m-q.	6	66,7	0,047
Classe Bacillariophyceae Subclasse Bacillariophycidae Ordem Naviculales Família Diploneidaceae <i>Diploneis</i> Ehrenberg ex Cleve			
<i>Diploneis puella</i> (Schumann) Cleve Obras consultadas para identificação: Krammer & Lange-Bertalot (1986). Fig. 7.4.4a – l; 7.4.5.	7	92,6	0,003
<i>Aulacoseira granulata</i>	8	83,7	0,004
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	8	41,2	0,036

O nível 44 (277,65 cm) não foi incorporado a nenhum agrupamento devido à situação peculiar de predomínio acentuado de *Cyclotella choctawhatcheana* Prasad (45,3%) nesta unidade amostral (Tabela 7.4.2; Fig. 7.4.3). Em M53 (235,08 cm) a densidade celular foi tão inexpressiva que inviabilizou a contagem de um mínimo de 300 valvas (anexo D). Entretanto, o pequeno número de frústulas localizadas era de espécies indicadoras do grupo 8. M52 (239,9 cm) e M64 (183,0 cm) não apresentaram microfósseis silicosos, mesmo após a confecção de lâminas utilizando maior concentração de sedimento tratado.

*Cyclotella choctawhatcheana* (Fig. 7.4.6) foi originalmente descrita para a baía Choctawhatchee, no México, por Prasad *et al.* (1990), sendo que, na maioria dos estudos paleolimnológicos anteriores, era referida como *Cycotella caspia* Grunow (Melo *et al.*, 2006). Hasle (1962) registrou esta espécie como muito abundante em fiordes e baías na Dinamarca e Noruega, em águas de 15-25 ‰, mas também presente em áreas com até 38 ‰. Sullivan (1978) reportou o táxon na comunidade edáfica de um pântano salgado no Mississippi, Estados Unidos.

Wilderman (1984) pesquisou as preferências ecológicas de *Cyclotella choctawhatcheana* no estuário do Rio Severn, Estados Unidos. Seu estudo mostrou que ela é muito tolerante a alterações na

salinidade, temperatura e profundidade, embora pareça preferir concentrações salinas intermediárias (8-13‰), altas temperaturas (17-28°C) e profundidades mais rasas. Esta espécie apresentou o mais amplo nicho de todas as diatomáceas em seu estudo. Na primavera, ela constituiu de 78 a 92% de todos os indivíduos em qualquer amostra de plâncton, e de 0 a 60% em qualquer amostra bentônica. Shaffer & Sullivan (1988) encontraram-na no estuário Barataria, Louisiana, Estados Unidos. Marshal & Alden (1990) depararam-se com esta espécie de *Cyclotella* largamente tolerante a alterações de salinidade e aporte de nutrientes nos rios estuarinos da porção inferior da baía Chesapeake, Estados Unidos. Neste mesmo ambiente, a espécie alcançou seu melhor desenvolvimento quando a salinidade variou de 15 a 20 ‰ (Prasad *et al.*, 1990), e nos períodos de incremento na taxa de sedimentação, turbidez e eutrofização (Cooper, 1995).

Håkansson *et al.* (1993) demonstrou que na porção sul do mar Báltico esta diatomácea desenvolveu-se muito bem com salinidades oscilando entre 8 e 10 ‰, ressaltando que ela foi encontrada também em concentrações que variaram de 2-3‰ até 20 ‰.

*Cyclotella choctawhatcheeana* foi registrada pela primeira vez no Brasil no plâncton da Laguna Imboassica, estado do Rio de Janeiro. Trata-se de um pequeno (3,3 km<sup>2</sup>) e raso (profundidade média de 1,1 m) sistema salobro sujeito a invasões de águas marinhas em função de aberturas artificiais da barra arenosa que separa a lagoa do oceano Atlântico. Devido a esta singularidade e ao despejo de esgoto doméstico em suas águas, a Laguna Imboassica apresenta uma grande variabilidade em termos de salinidade (>1 a 35‰) e estado trófico (de condições oligotróficas a hipereutróficas) (Melo *et al.*, 2006). Melo *et al.* (2006) demonstraram que *C. choctawhatcheeana* atingiu seu desenvolvimento máximo em condições mesohalinas e mesoeutróficas. O táxon foi registrado em uma ampla faixa de salinidade, porém a densidade da população decresceu significativamente quando a concentração salina despencou para cerca de 3 ‰.

Assim, seu apogeu em M44 (277,6 cm) constitui o marco do estabelecimento do terceiro pulso transgressivo iniciado na amostra M42 (287,cm) do segundo segmento.

Tabela 7.4.2 - Distribuição e abundância (%) das espécies indicadoras no segmento 3.

Amostra	cm	Grupo	<i>A. granulata</i>	<i>A. cf. agassizii</i>	<i>C. placentula v. lineata</i>	<i>D. puella</i>	<i>P. brevistriata var. inflata</i>	<i>Cocconeis sp.</i>	<i>C. choctawhatcheeana</i>
M64	183,0								
M63	187,8	6			17,1		0,6		
M62	192,5	6			28,3			6,2	
M61	197,2	6			29,05				
M60	201,9	6	12,9		21,9	2,8			8,2
M59	206,7	6			50,4	9,9	0,6		3,6
M58	211,4	6			62,8	18,6	0,6		
M57	216,2	7		3,0	15,1	45,3			
M56	220,9	7	0,8	21,7	12,8	57,5			
M55	225,6	8	0,8	80,2	0,5	1,3			
M54	230,3	8	2,8	92,3	0,6				
M53	235,1	-	46,4	22,3					
M52	239,8								
M51	244,5	8	15,8	47,9					
M50	249,3	8	15,1	64,9					
M49	254,0	8	2,5	73,2					
M48	258,7	8	1,9	95,0		0,6			
M47	263,5	6	3,2	20,8	13,7		0,5	4,6	3,2
M46	268,2	6			36,8	2,5	8,7	5,3	
M45	272,9	6			14,5	0,6	0,6	6,5	
M44	277,6	-	0,3	5,1		0,6			45,3

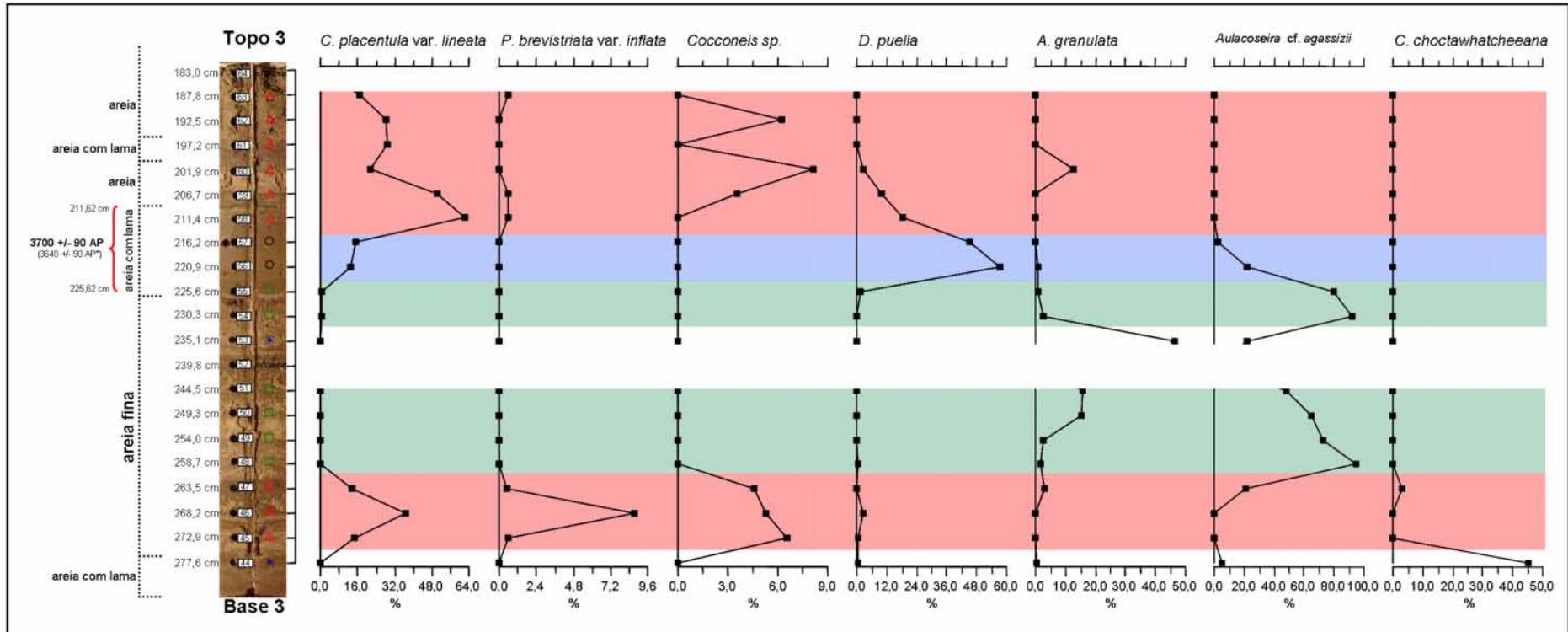


Figura 7.4.3 - Diagrama de distribuição e abundância relativa das espécies indicadoras do segmento 3 ao longo do testemunho PM-RS-D01.

△: grupo 6. ○: grupo 7. □: grupo 8. \*: idade calibrada.

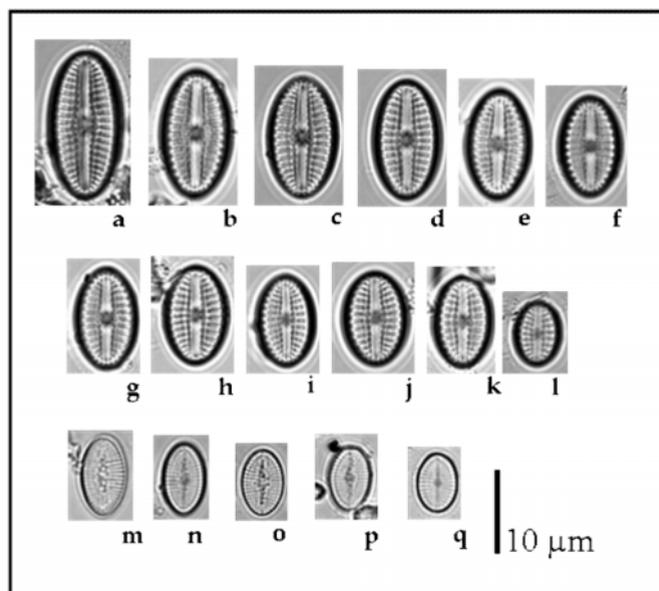


Figura 7.4.4 – Espécies indicadoras do segmento 3. (a-l) *Diploneis puella*; (m-q) *Cocconeis* sp. Os táxons *Cocconeis placentula* v. *lineata*, *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata* e *Aulacoseira* cf. *agassizii* estão ilustrados na figura 7.2.4. *Aulacoseira granulata* está representada na figura 7.3.4.

O grupo 6 consiste de espécies indicadoras perifíticas que vivem aderidas em macrófitas aquáticas na zona litoral (Zalat, 2000) (Fig.7.4.3; Tab. 7.2.3; 7.3.3). Nas unidades amostrais, que constituem este agrupamento, *Cocconeis placentula* var. *lineata* é a espécie dominante, o que, em primeira análise, sugere uma maior dessalinização do sistema. No entanto, estes níveis apresentam expressivas concentrações variáveis dos táxons marinhos/salobros (Round *et al.*, 1990) listados na tabela 7.4.3 e ilustrados na figura 7.4.7, indicando a manutenção da influência marinha em um quadro de rebaixamento da coluna d’água. *Cocconeis* sp. é o mesmo táxon inominado registrado por Metzeltin *et al.* (2005) no Uruguai. Os autores não oferecem informações referentes à sua ecologia.

Tabela 7.4.3 – Distribuição e abundância (%) de espécies salobras selecionadas nas unidades amostrais que compõem o grupo 6 do terceiro segmento do testemunho PM-RS-D01.

Espécies	Unidades Amostrais									
	M45	M46	M47	M58	M59	M60	M61	M62	M63	
<i>Actinocyclus normanii</i>		6,5	12,4							
<i>Actinocyclus normanii</i> f. <i>subsalsa</i>	7,4	2,5								
<i>Bacillaria paxillifer</i>	3,7				0,6		2,0			
<i>Catenula adhaerens</i>	8,8	14,3	11,6	1,8	5,1	13,0	7,1	14,7	0,6	
<i>Diploneis smithii</i>	2,3	0,6	1,9			10,7	3,3	2,3		
<i>Opephora marina</i> (Gregory) Petit	11,9				3,6			2,0		
<i>Tabularia fasciculata</i> (Agardh) Williams & Round							13,1	13,9	41,3	
<i>Tryblionella victoriae</i> Grunow	4,8					1,8	1,5	0,6	0,6	

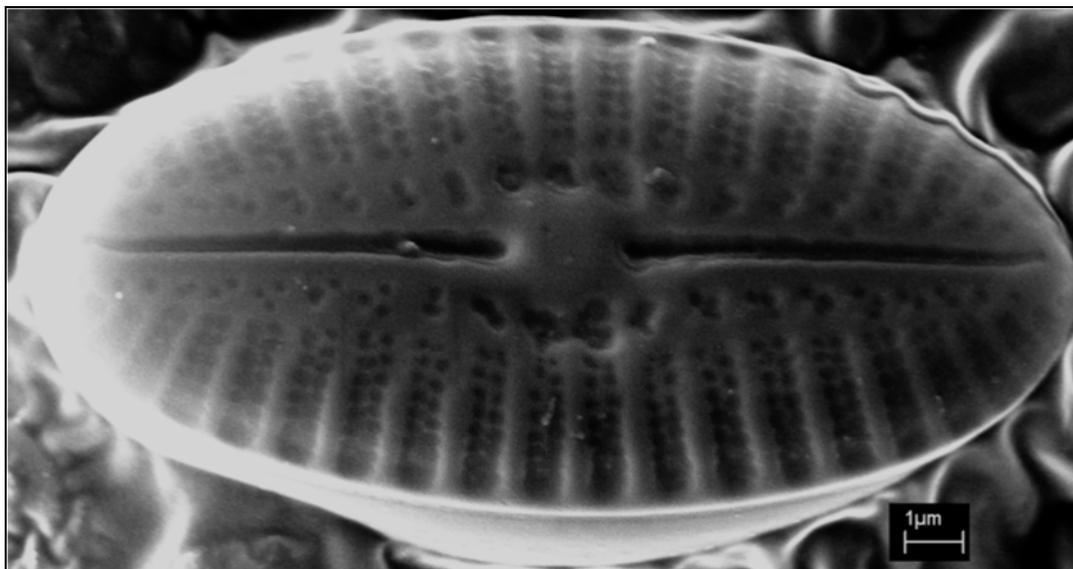


Figura 7.4.5 – *Diploneis puella*, espécie indicadora do grupo 7 em microscopia eletrônica de varredura.

As unidades amostrais do grupo 8 apresentam predomínio de *Aulacoseira* cf. *agassizii* (Tab. 7.4.2; Fig. 7.4.3); declínio de espécies perifíticas; presença de fragmentos de táxons marinhos/salobros de *Actinocyclus* (Fig. 7.4.8a), *Diploneis* (Fig. 7.4.8b,e,f), *Hyalodiscus* (Fig. 7.4.8c), *Surirella* *rorata* (Fig. 7.4.8d) e *Terpsinoë* (Fig. 7.4.8e) (Frenguelli, 1935; Round *et al.*, 1990); além de valvas bem preservadas de espécies representativas de gêneros de água doce como *Amphipleura* Kützing (Fig. 7.4.8f), *Encyonema* Kützing (7.4.9a), *Eunotia* Ehrenberg (7.4.9b), *Fragilaria* Lyngbye (7.4.9c), *Gomphonema* Ehrenberg (7.4.9d), *Pinnularia* Ehrenberg (7.4.9e), e *Placoneis* Mereschkowsky (7.4.9f) (Round *et al.*, 1990). Esse quadro aponta para a queda da ascendência do ambiente oceânico durante a sedimentação dos níveis do grupo 8 e provável incremento de precipitações na área em decorrência de ressurgência de período úmido.

O teste de correlação das espécies indicadoras reafirma antagonismo de *Aulacoseira* cf. *agassizii* com as espécies *Cocconeis placentula* var. *lineata* (  $r = -0,6504$ ,  $p = 0,004$ ) e *Cocconeis* sp. (  $r = -0,4686$ ,  $p = 0,045$ ) (Tab. 7.4.4).

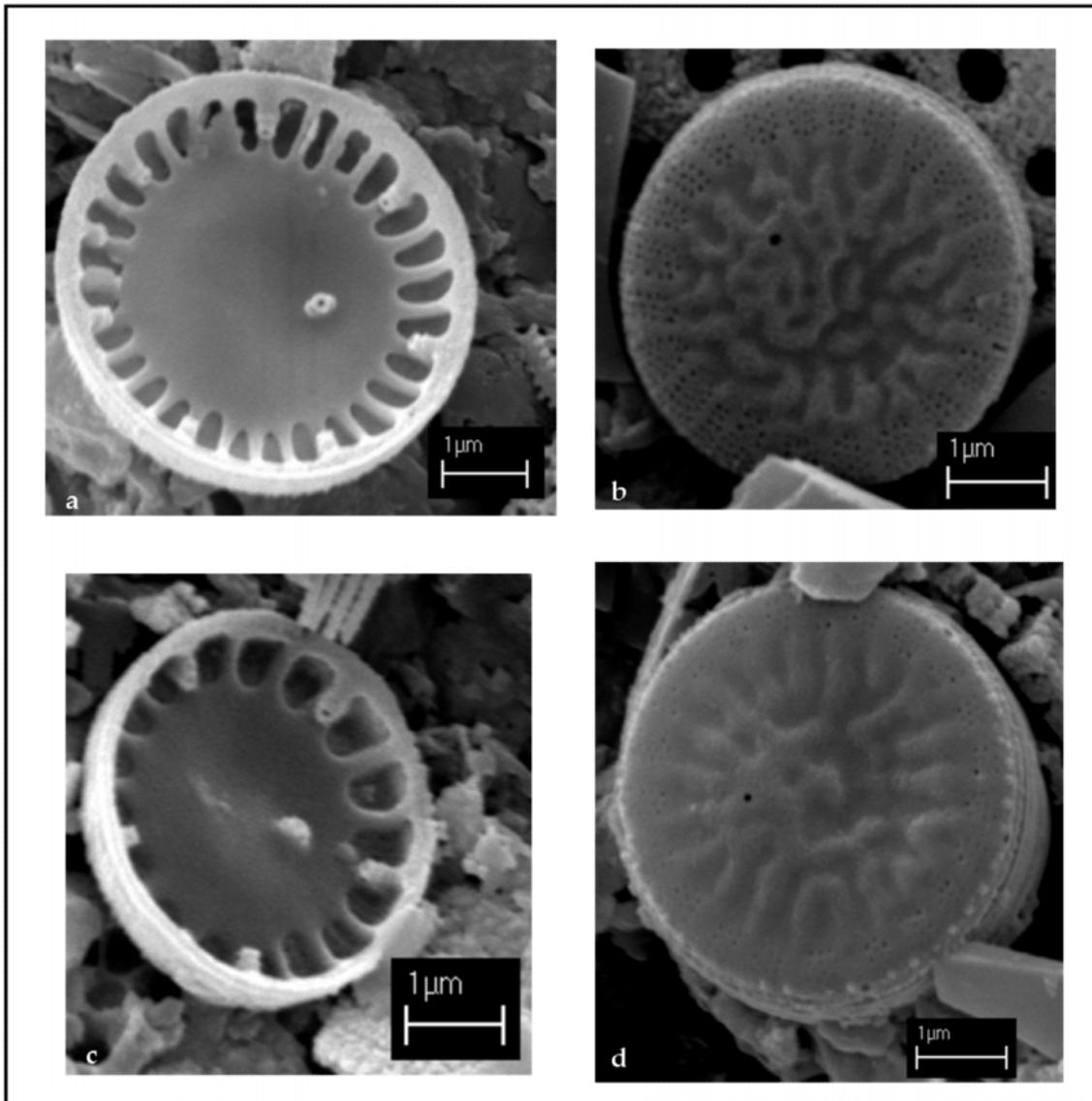


Figura 7.4.6 – *Cyclotella choctawhatcheeana*, espécie abundante do nível M44 (277,6 cm) em microscopia eletrônica de varredura. (a,c) vista interna. (b,d) vista externa.

Tabela 7.4.4 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do segmento 3, abaixo da diagonal principal, e probabilidades correspondentes, acima da diagonal principal.

	1	2	3	4	5	6	
<i>Aulacoseira granulata</i>	1		0,733	0,123	0,229	0,198	0,694
<i>Aulacoseira cf. agassizii</i>	2	0,0980		0,004	0,394	0,261	0,045
<i>C. placentula</i> var. <i>lineata</i>	3	-0,3473	-0,6504		0,458	0,106	0,152
<i>Diploneis puella</i>	4	-0,2027	-0,2216	0,1853		0,727	0,415
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	5	-0,1519	-0,2457	0,3470	-0,0798		0,166
<i>Cocconeis</i> sp.	6	-0,1150	-0,4686	0,3545	-0,2112	0,3286	

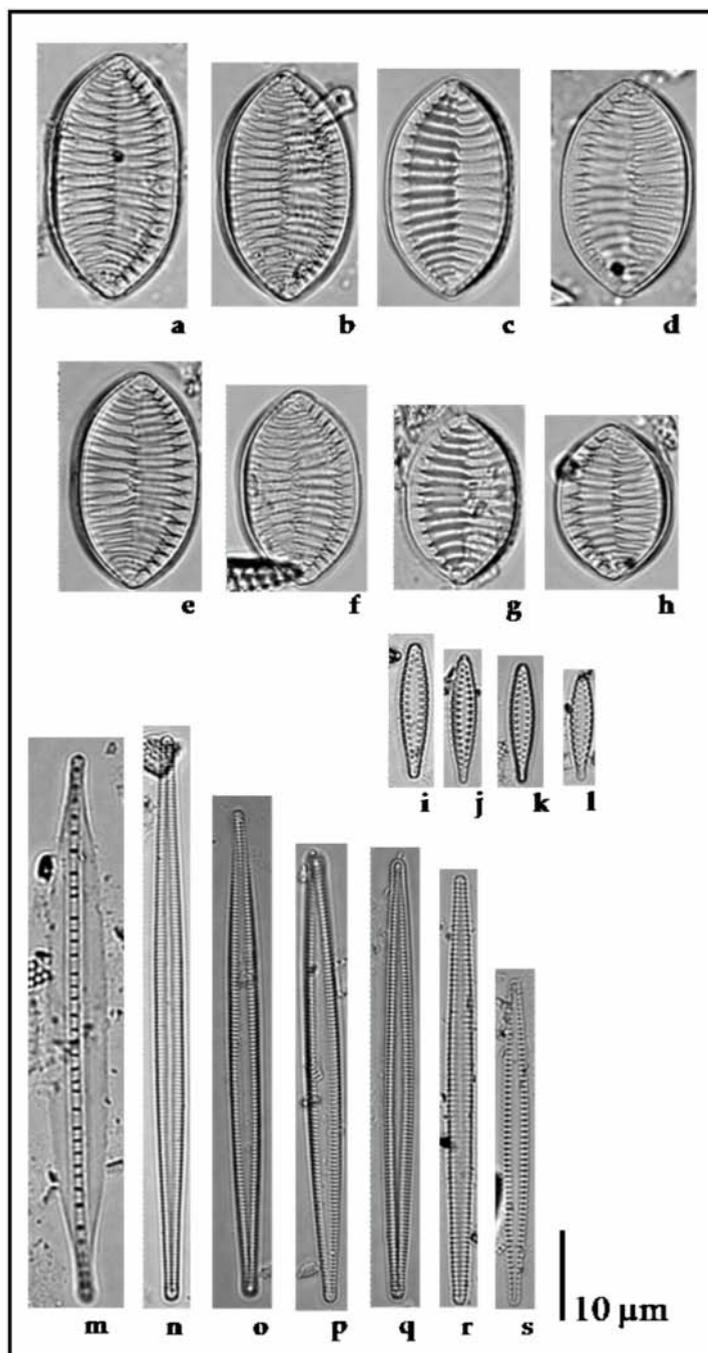


Figura 7.4.7 – Espécies salobras destacadas nas unidades amostrais que compõem o grupo 6 do terceiro segmento do testemunho PM-RS-D01. Estão ilustrados apenas os táxons que não figuraram nas estampas anteriores. (a-h) *Tryblionella victoriae*. (i-l) *Opephora marina*. (m) *Bacillaria pacillifer*. (n-s) *Tabullaria fasciculata*.

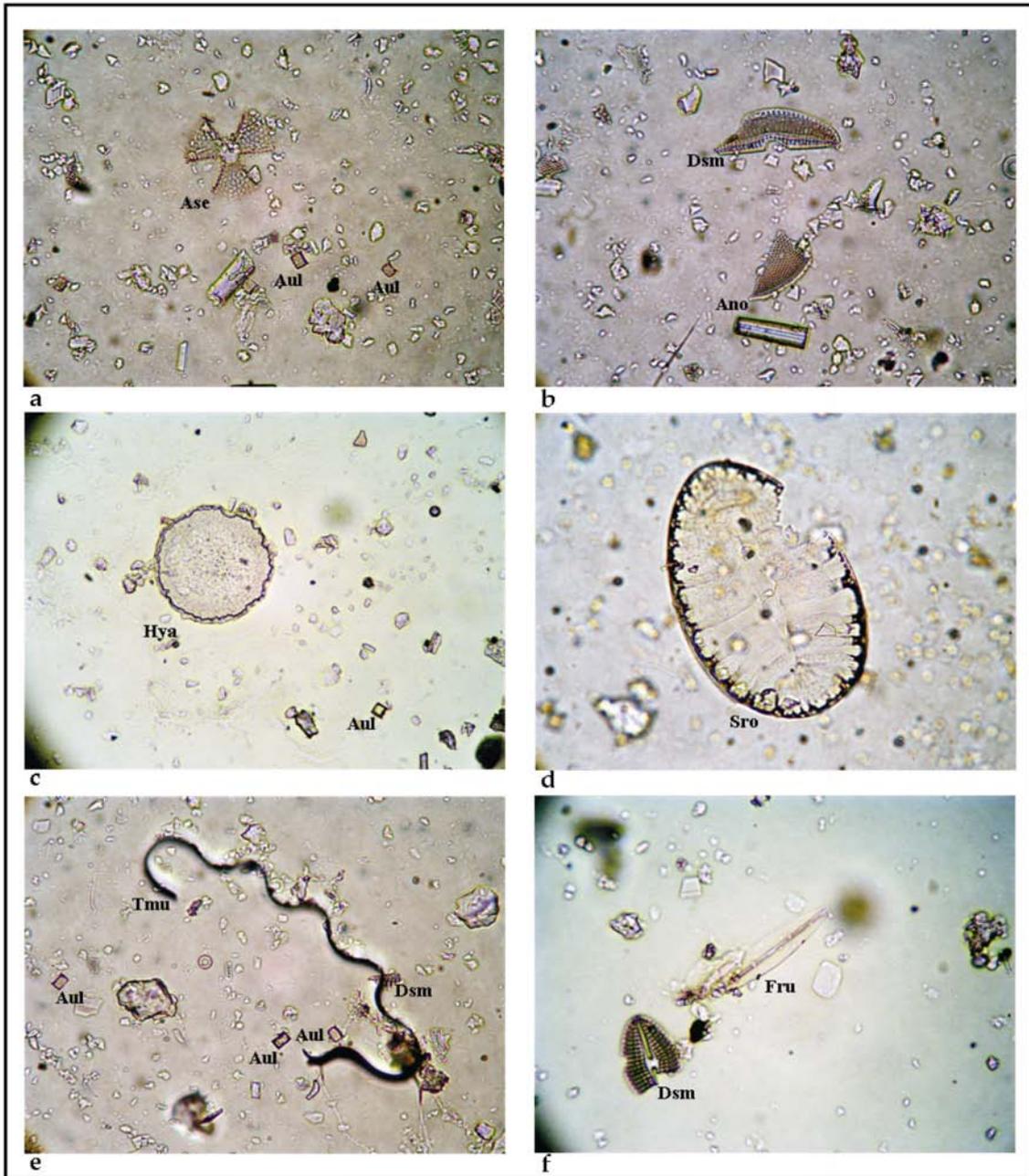


Figura 7.4.8 – Vista geral de campos de visão de lâminas do grupo 8, segmento 3, preparadas para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. (a-e) nível M54 (230,3 cm); (f) nível M51 (244,5 cm). Ano = *Actynociclus normanii*. Ase = *Actinoptychus senarius* (fragmento). Aul = *Aulacoseira* spp. Dsm = *Diploneis smithii* (fragmentos). Fru = *Frustulia* sp. Hya = *Hyalodiscus* sp. (fragmento). Sro = *Surirela rorata*. Tmu = *Terpsinoë musica* (fragmento de banda intervalvar). Aumento de 400x. 1 cm = 25  $\mu$ m.

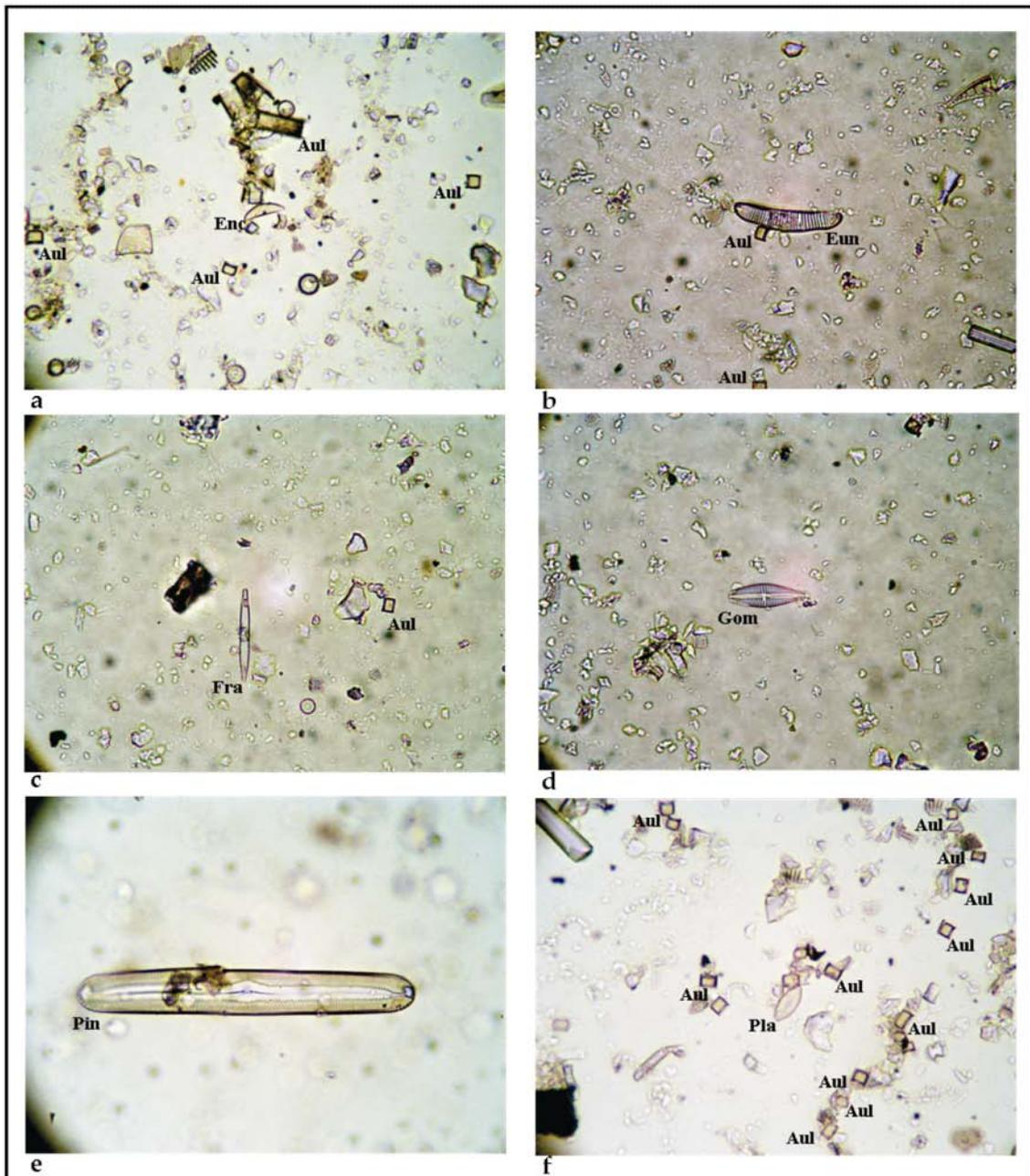


Figura 7.4.9 – Vista geral de campos de visão de lâminas do grupo 8, segmento 3, preparadas para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. (a,f) nível M49 (254,0 cm). (b-e) nível M54 (230,3 cm). Aul = *Aulacoseira* spp. Enc = *Encyonema* sp. Eun = *Eunotia* sp. Fra = *Fragilaria* sp. Gom = *Gomphonema* sp. Pin = *Pinnularia* sp. Pla = *Placoneis* sp. Aumento de 400x. 1cm = 25µm.

Entre os níveis correspondentes aos dois grupos supramencionados, o apogeu de *Diploneis puella* nas unidades M56 (220,9 cm) e M57 (216,2 cm) caracteriza o sétimo agrupamento de amostras em função da composição de diatomáceas para o testemunho PM-RS-D01.

*D. puella* é considerada uma espécie planctônica, alcaliófila, mesotrófica e de ambientes levemente salobros (Patrick & Reimer, 1975; Torgan & Biancamano, 1991; Van Dam *et al.*, 1994). Sua elevada

abundância acompanhada da presença das espécies *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg (7.4.10a), *Cyclotella meneghiniana* Kützing (7.4.10b,c), *Pseudopodosira echinus* (7.4.10d), *Surirela rorata* (7.4.10e) e *Terpsinoë musica* (7.4.10f), em um trecho de retorno à granulação correspondente à areia com lama, indica a subida do nível d'água do sistema concomitante ao aumento da salinização do ambiente. Aqui a manutenção da integridade dos constituintes celulares indica que o processo de incorporação das formas marinhas diferenciou-se daquele referido para as unidades amostrais do grupo 8 por não apresentar evidência de movimento trativo decorrente de fluxo de corrente responsável pela fragmentação das valvas (Fig. 7.4.8). Estas transformações parecem estar associadas à elevação do nível do mar referida para a costa do Brasil em 3.600 anos AP (Martin & Suguio, 1992).

A tabela 7.4.5 apresenta o resumo das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 3.

Tabela 7.4.5 – Resumo das preferências ecológicas das espécies indicadoras do segmento 3.

<b>Espécie</b>	<b>Ecologia</b>
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	Água doce ou com baixa concentração salina; perifítica; alcaliófila; sua distribuição é conhecida desde águas oligotróficas a eutróficas.
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	Indiferente à salinidade; perifítica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Cocconeis</i> sp.	Desconhecida.
<i>Diploneis puella</i>	Planctônica, alcaliófila, mesotrófica, ambientes levemente salobros.
<i>Aulacoseira granulata</i>	Água doce; ticolanctônica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	Água doce; meroplanctônica; alcaliófila; eutrófica.

O retorno das espécies indicativas de ambientes rasos do grupo 6, após a fase de predomínio dos táxons do grupo 7 (Tab. 7.4.2; Fig. 7.4.3), sugere novo rebaixamento do nível relativo do mar, cujo ápice teria ocorrido, de acordo com o modelo para a costa do Brasil, a cerca de 2.800-2.700 anos AP (Martin & Suguio, 1992).

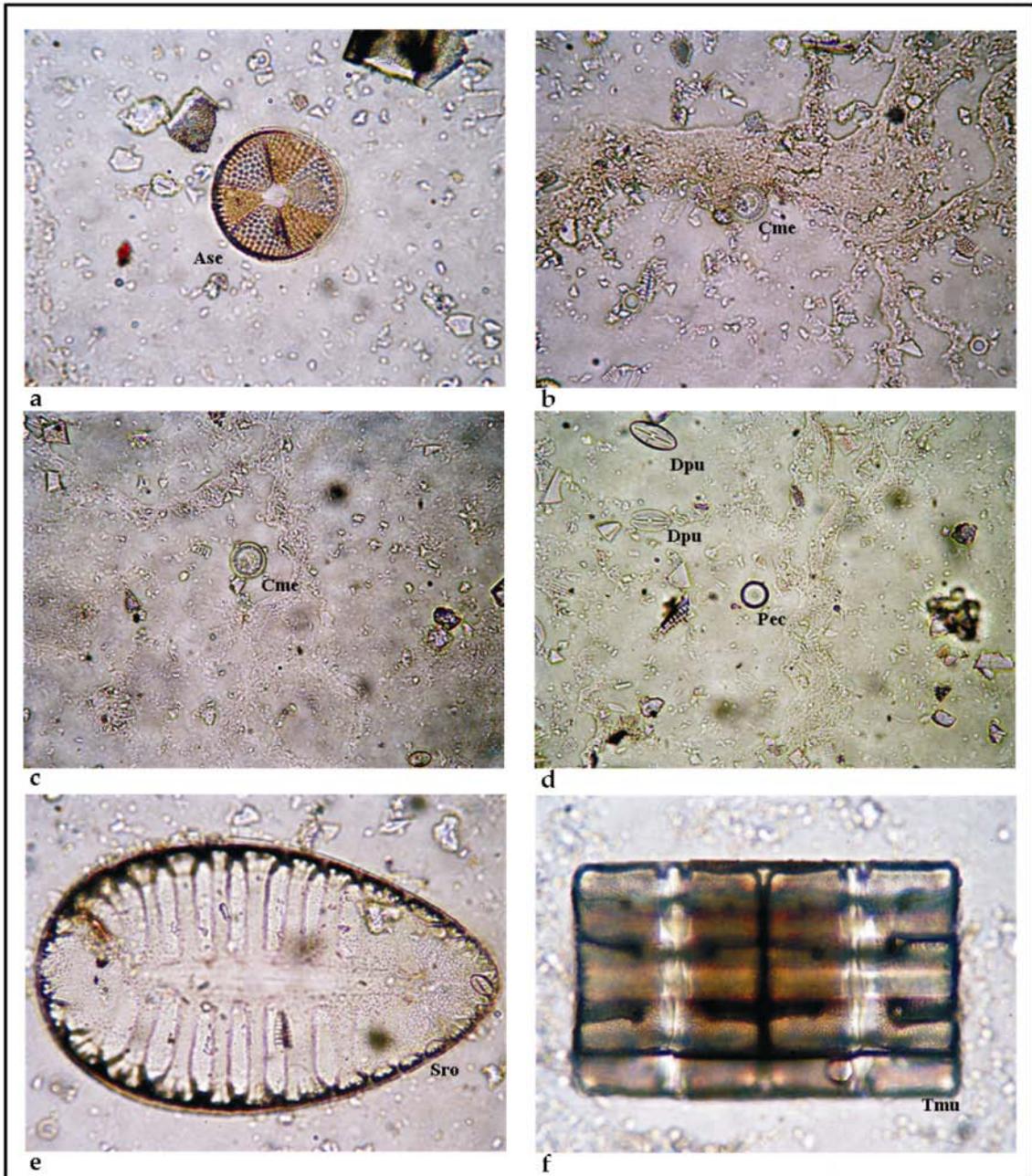


Figura 7.4.10 – Vista geral de campos de visão de lâmina do nível M56 (220,9 cm), segmento 3, preparadas para análise de diatomáceas utilizando *Naphrax* como meio de montagem. Ase = *Actinophycus senarius*. Cme = *Cyclotella meneghiniana*. Dpu = *Diploneis puella*. Pec = *Pseudopodosira echinus*. Sro = *Surirela rorata*. Tmu = *Terpsinoë musica* (vista pleural). Aumento de 400x. 1 cm = 25 µm.

## 7.5 RESULTADOS MICROPALAEONTOLÓGICOS DO SEGMENTO 4 (AMOSTRAS M65 A M89)

O segmento 4 apresenta características discrepantes dos demais trechos analisados. Dos 25 níveis que o compõe, 18 (178,3 cm a 97,9 cm) não apresentaram diatomáceas fósseis (Fig. 7.5.1), as quais reapareceram apenas no final do testemunho a partir da profundidade de 93,2 cm (M83). Tendo em vista se tratar de apenas sete níveis com conteúdo para estudo, não foram processadas análises de agrupamento e de espécies indicadoras.

O procedimento de registro quantitativo das diatomáceas para determinação da abundância relativa em um mínimo de 300 valvas revelou a existência de 22 táxons entre as amostras M83 (93,2 cm) e M89 (64,8 cm), constituindo a menor diversidade dentre todos os segmentos do testemunho PM-RS-D01 (Tab. 7.5.1; Fig. 7.5.1) (Anexo D).

Entre as espécies mais abundantes (com percentuais acima de 5% em pelo menos um nível), destacaram-se representantes dos gêneros *Achnanthes* Bory, *Aulacoseira*, *Cocconeis*, *Encyonema* Kützing, *Melosira* Agardh, *Navicula* Bory e *Planothidium* Round & Bukhtiyarova (Tab. 7.5.1). Também sobressaíram-se, em praticamente todas as unidades amostrais do segmento, táxons pertencentes à família Fragillariaceae (Tab. 7.5.1). Esta unidade taxonômica refere-se aqui a duas diatomáceas que foram consideradas inicialmente variações morfológicas de uma mesma espécie em diferentes estágios de desenvolvimento: *Staurosirella leptostauron* var. *dubia* (Grunow) Bukhtiyarova (Fig. 7.5.2u-y) e *Martyana martyi* (Héribaud) Round (Fig. 7.5.2ae-ar). O enquadramento taxonômico das espécies abundantes exclusivamente neste segmento encontra-se na tabela 7.5.2.

*Achnanthes* é um gênero com poucos representantes de água doce, geralmente subaéreos (Round *et al.*, 1990). *A. rupestroides* é uma espécie comum nas regiões pouco profundas de rios e lagos, onde vive aderida sobre plantas ou rochas em ambiente alcalino com concentração eletrolítica baixa ou moderada (Krammer & Lange-Bertalot, 1991b).

*Encyonema* corresponde a um gênero de água doce com hábito perifítico (epifíton, epilíton) (Round *et al.*, 1990; Kocioleck & Spaulding, 2003). *E. minutum* é um táxon bentônico, circumneutro, mesotrófico

ou oligotrófico, dulciaquícola encontrado também em águas levemente salobras (Krammer & Lange-Bertalot, 1988; Denys, 1991).

*Melosira* é comum no habitat bentônico de águas marinhas e doces (Round *et al.*, 1990). *M. undulata* é um táxon circumneuro, oligohalóbio (Foged, 1976) que está entre as espécies mais comuns deste gênero ordinariamente encontrado nas águas profundas de grandes lagos (Hustedt, 1930; Mahood *et al.*, 1984; McIntire *et al.*, 1994). Também é um componente frequente de pequenos lagos e lagoas no Ártico, e de diatomitos de água doce (Stoermer & Julius, 2003).

*Navicula* é referida para uma ampla variedade de ambientes marinhos e continentais, com hábito predominantemente epipélico (Spaulding, 2003). *Navicula porifera var. opportuna* é uma espécie de água doce, oligosapróbica típica de lagos com baixo conteúdo eletrolítico (Hustedt, 1961-1966; Krammer & Lange-Bertalot, 1988; Hartley, 1996).

*Planothidium* engloba táxons dulciaquícolas anteriormente atribuídos a *Achnanthes* (Ludwig *et al.*, 2006), que crescem aderidos, via face valvar, a substratos rígidos (Kingston, 2003). *Planothidium rostratum* já foi registrada no plâncton e no metafíton de águas doces e salobras, podendo ser encontrada em ambientes lóticos e lênticos com boa representatividade (Torgan & Biancamano, 1991; Moro & Fürstenberger, 1997).

*Martyana* Round compreende diatomáceas perifíticas de água doce (Round *et al.*, 1990). *Staurosirella* Williams & Round é elemento comum da flora de águas doces e rasas de ambientes lóticos e lênticos (Kingston, 2003).

As autoecologias genéricas de *Aulacoseira* spp. e *Cocconeis* spp. já foram discutidas nos subcapítulos anteriores. Para Krammer & Lange-Bertalot (1991a) *A. ambigua* apresenta os mesmos requerimento ambientais de *A. granulata* (Tab. 7.3.3). Denys (1991) a refere como táxon euplanctônico, oligohalóbio, alcalifílico, eutrófico e β-mesossapróbico.

Levando-se em consideração os três táxons mais abundantes em cada unidade amostral do segmento 4, foram atribuídos dois grupos para os níveis finais do testemunho PM-RS-D01 (Fig. 7.5.1).

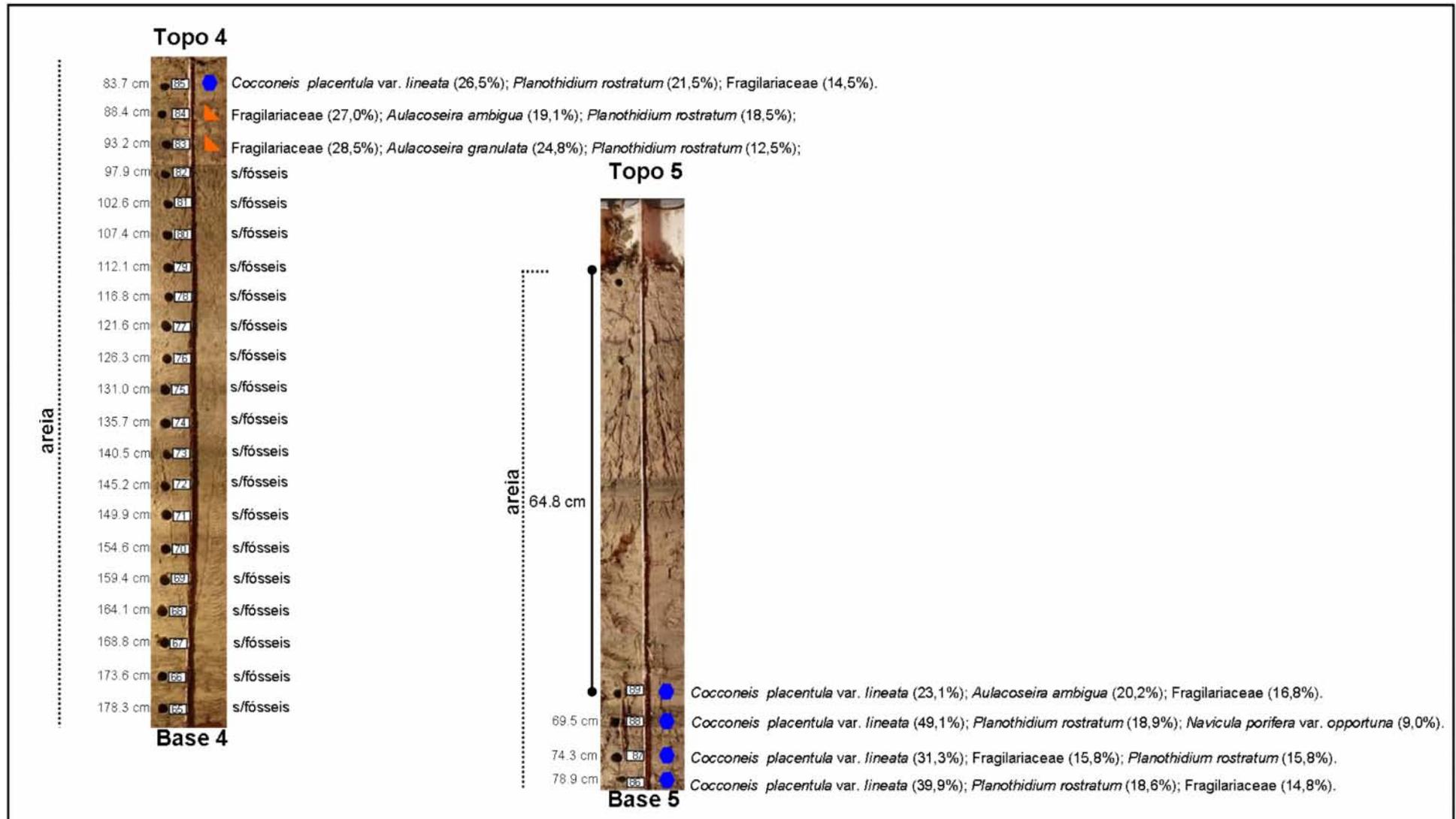


Figura 7.5.1 - Distribuição e abundância relativa das três espécies mais abundantes nos respectivos níveis do segmento 4 ao longo do testemunho PM-RS-D01. ▲: grupo 9. ●: grupo 10.

Tabela 7.5.1 – Distribuição e abundância (%) das espécies do segmento 4.

<b>Amostra</b>	<b>Prof. (cm)</b>	<b>Grupo</b>	<i>Achnanthes rupestoides</i>	<i>Achnanthidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki	<i>Amphora</i> sp. 5	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	<i>Aulacoseira ambigua</i>	<i>Catenula adhaerens</i>	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	<i>Cocconeis</i> sp.	<i>Diploneis smithii</i>	<i>Encyonema minutum</i>	<i>Eunotia</i> sp. 2	Fragillariaceae	<i>Melosira undulata</i> (Ehrenberg) Kützing	<i>Opephora marina</i>	<i>Navicula clementis</i> Grunow	<i>Navicula porifera</i> var. <i>opportuna</i> (Hustedt) Lange-Bertalot	<i>Placoneis</i> sp. 2	<i>Planothidium apiculatum</i> (Patrick) Lange-Bertalot	<i>Planothidium rostratum</i> (Oestrup) Lange-Bertalot	<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	<i>Staurosira construens</i>	
M89	64,8	10	3,5	0,6	0,6	6,9		20,2		23,1	0,6	0,6	1,7		16,8			0,6	11,6	1,2	0,6	11,6			
M88	63,5	10	0,6	1,2	1,2	1,6		2,5		49,1	1,9	0,6	2,5		7,1	0,6			9,0	0,6	1,9	18,9	0,6		
M87	74,3	10		1,8		6,7		6,1		31,3	2,4		5,5		15,8		0,6		9,1		2,1	15,8	2,1	0,6	
M86	78,9	10	1,8	2,4		2,1		1,2		39,9	1,2		3,6	0,6	14,8				10,7		3,3	18,6			
M85	83,7	10	12,9	2,5		2,2		3,7	1,8	26,5	5,2				14,5	0,6			8,6			21,5			
M84	88,4	9	2,4			7,3	1,2	19,1	1,2	10,0			0,6	0,6	27,0	1,5			9,4			18,5		1,2	
M83	93,2	9	0,6			24,8	6,3	5,0	1,9	8,5					28,5	9,1			2,2			12,5	0,6		

Tabela 7.5.2 – Enquadramento taxonômico das espécies abundantes no segmento 4.

Classe	Sub-classe	Ordem	Família	Gênero	Espécie	Obra consultada	Figura
Coccinodiscophyceae	Coccinodiscophycidae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>	<i>A. ambigua</i>	Krammer & Lange-Bertalot (1991a)	7.5.2j-r
		Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	<i>M. undulata</i>	Hustedt (1927-1930)	7.5.2a,b; 7.5.3; 7.5.4; 7.5.5
Fragilariophyceae	Fragilariophycidae	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Staurosirella</i>	<i>S. leptostauron</i> var. <i>dubia</i>	Ludwig & Bigunas (2006)	7.5.2u-y; 7.5.5
				<i>Martyana</i>	<i>M. martyi</i>	Ludwig & Bigunas (2006)	7.5.2ae-ar
Bacillariophyceae	Bacillariophycidae	Cymbellales	Cymbellaceae	<i>Encyonema</i>	<i>E. minutum</i>	Metzeltin <i>et al.</i> (2005)	7.5.2s,t
		Achnanthes	Achnantheaceae	<i>Achnanthes</i>	<i>A. rupestoides</i>	Krammer & Lange-Bertalot (1991b)	7.5.2c-e
				<i>Planothidium</i>	<i>P. rostratum</i>	Metzeltin <i>et al.</i> (2005)	7.5.2f-i
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Navicula</i>	<i>N. porifera</i> var. <i>opportuna</i>	Krammer & Lange-Bertalot (1986)	7.5.2z-ad

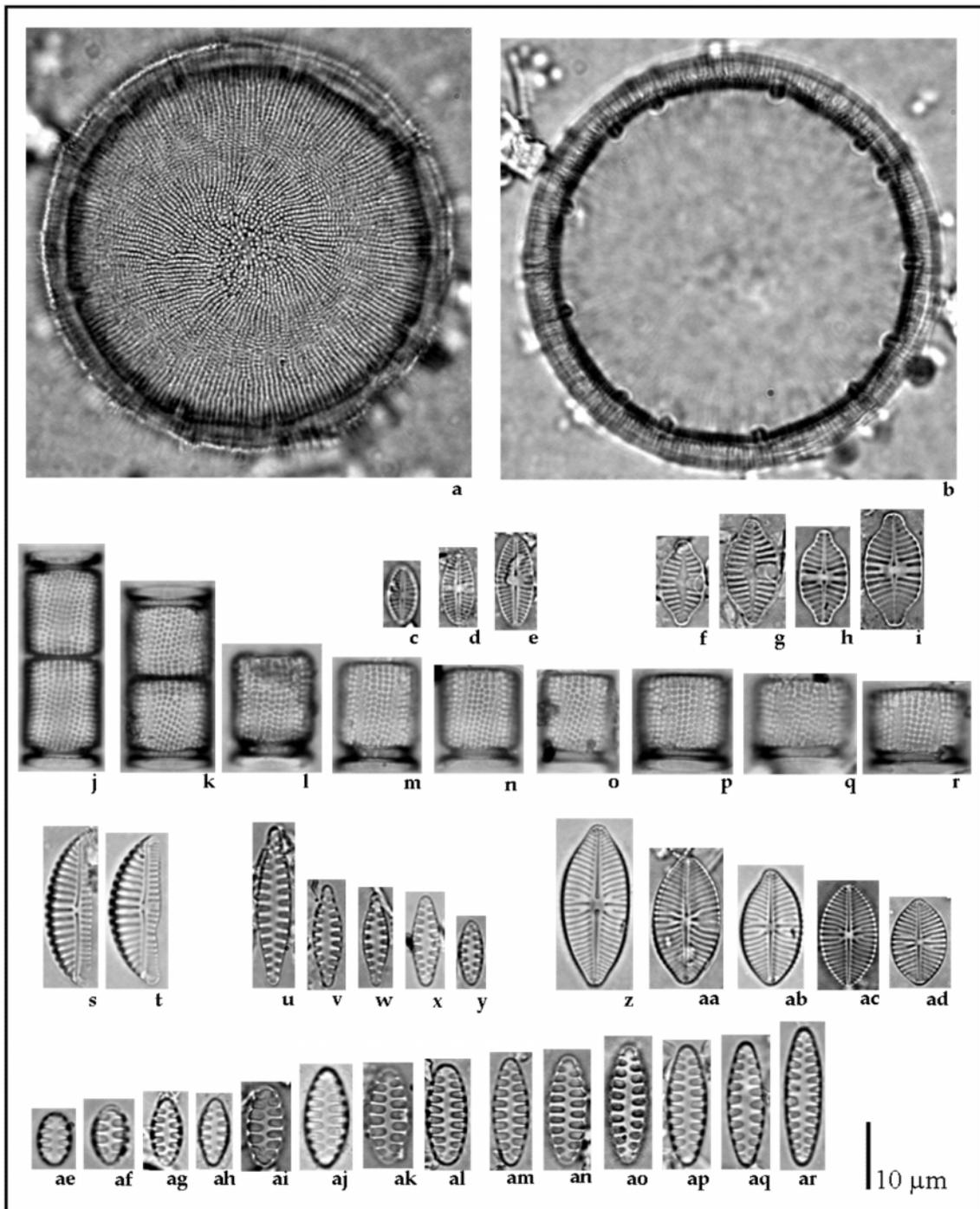


Figura 7.5.2 – Espécies abundantes do segmento 4. (a) *Melosira undulata* (foco na superfície valvar). (b) *Melosira undulata* (foco na rimoportulae). (c-e) *Achnanthes rupestoides*. (f, g) *Planothidium rostratum* (valva sem rafe). (h, i) *Planothidium rostratum* (valva com rafe). (j-r) *Aulacoseira ambigua*. (s, t) *Encyonema minutum*. (u-y) *Staurosirella leptostaurom* var. *dubia*. (z-ad) *Navicula porifera* var. *opportuna*. (ae-ar) *Martyana martyi*. Os táxons *Cocconeis placentula* var. *lineata* e *Aulacoseira* cf. *agassizii* estão ilustrados na figura 7.2.4. *Aulacoseira granulata* está representada na figura 7.3.4, e *Cocconeis* sp. na figura 7.4.4.

O agrupamento 9 caracterizou-se pela maior abundância das espécies planctônicas *Aulacoseira granulata*, *A. ambigua* e *Melosira undulata*, bem como de representantes perifíticos da família Fragilariaceae (Fig. 7.5.3; 7.5.4; 7.5.5). O grupo 10, por sua vez, compreende amostras em que *Cocconeis placentula* var. *lineata* é a espécie dominante, embora em M89 este quadro perca intensidade em função do incremento de *Aulacoseira ambigua*.

A substituição dos grupos neste trecho parece estar associada à alterações no regime energético do ambiente, bem como a flutuações de baixa amplitude do nível d'água.

Formas não planctônicas como *Cocconeis* e espécies fragilarióides são numerosas em partes rasas ou marginais de lagos (Hakansson *et al.*, 1988), onde vivem aderidas à macrófitas ou quaisquer substratos rígidos disponíveis (Hakansson & Hulthém, 1988). *Cocconeis placentula* é classificada em Vos & de Wolf (1988) como característica de ambientes com baixa energia e permanentemente submersos. Já *Aulacoseira* spp. é frequentemente referida como táxons que requerem turbulência para se manter na coluna d'água (Wolin & Duthie, 1999).

Tendo em vista o fato da estação de coleta de onde foram extraídas as amostras estar localizada onde no presente se estabeleceu um pontal arenoso (Fig. 4.1); a maior granulometria (Tab. 7.1.1; Fig. 7.1.1); a presença de raízes carbonizadas semelhantes as encontradas no topo do testemunho (Fig. 7.1.2; 7.1.3), e a ausência de fósseis entre o último nível do segmento 3 (Fig. 7.4.3) e a amostra M82 (97,9 cm) (Fig. 7.5.1), é plausível supor que este intervalo corresponda a um período de culminância do retrocesso do nível d'água, em que o fundo da lagoa veio a constituir solo do pontal.

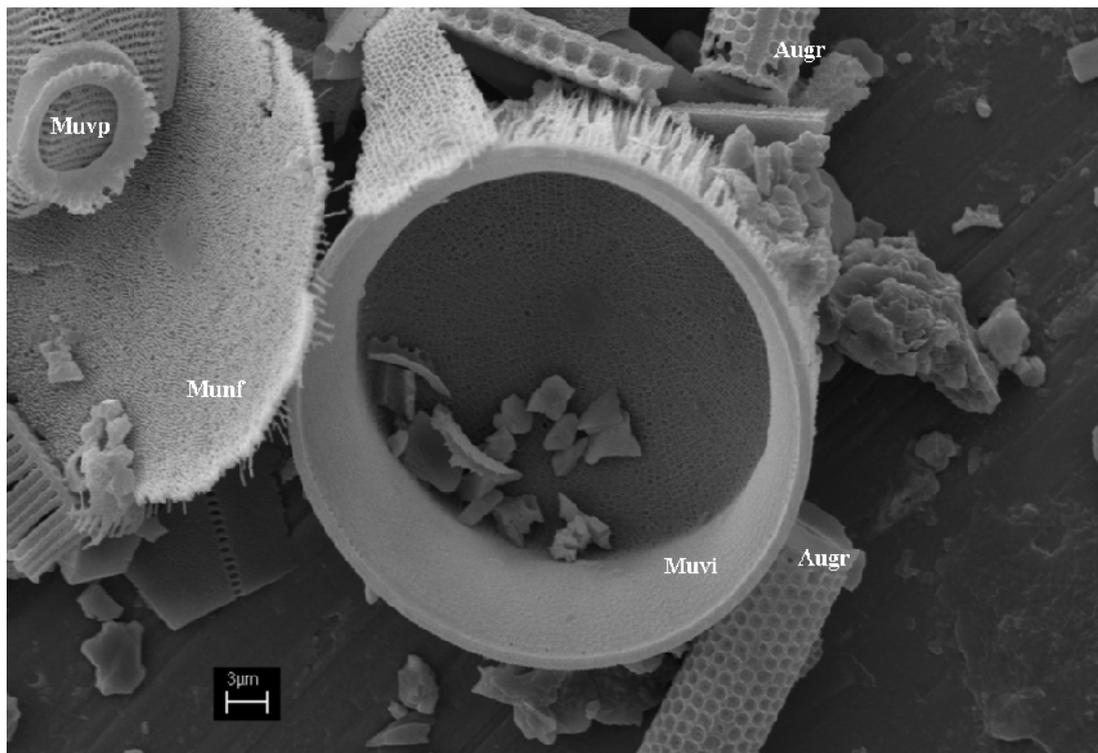


Figura 7.5.3 – Fotomicrografia eletrônica de varredura do nível M83. Augr = *Aulacoseira granulata*. Munf = fragmento da face valvar de *Melosira undulata*. Muvi = *Melosira undulata*, vista interna. Muvp = *Melosira undulata*, vista pleural.

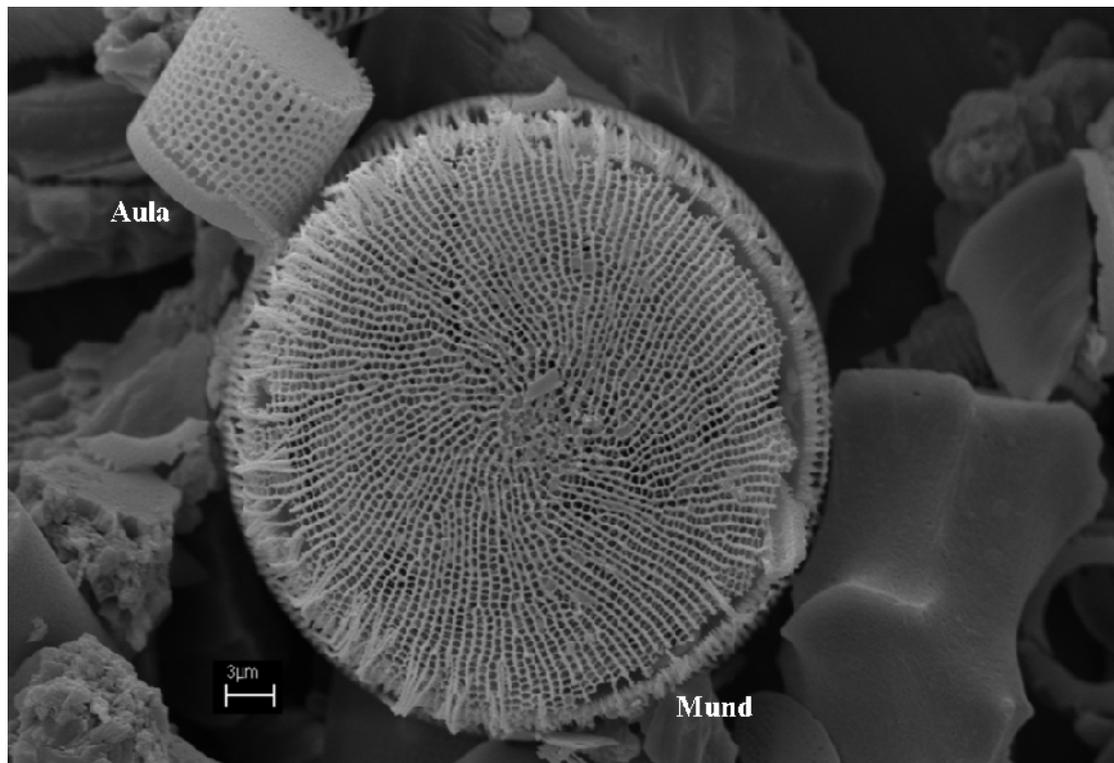


Figura 7.5.4 – Fotomicrografia eletrônica de varredura do nível M83. Aula = *Aulacoseira ambigua*. Mund = *Melosira undulata*.

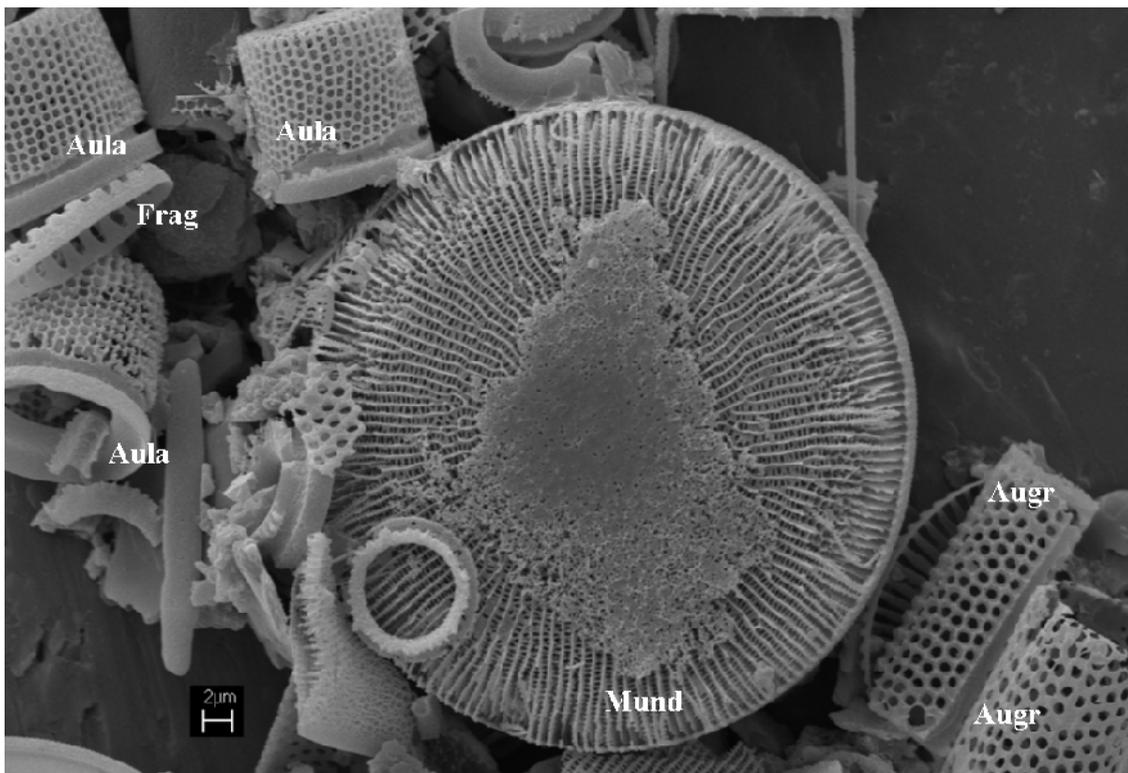


Figura 7.5.5 – Fotomicrografia eletrônica de varredura do nível M83. Aula = *Aulacoseira ambigua*. Augr = *Aulacoseira granulata*. Frag = Fragilariaceae. Mund = *Melosira undulata*.

O retorno de pacotes lamosos intercalados por níveis de areia entre M82 (97,9 cm) e M89 (64,8 cm) (Fig. 7.1.1; 7.1.2; 7.5.1), e o consequente ressurgimento das espécies de diatomáceas, apontam para a elevação da coluna d'água em decorrência da transgressão marinha holocênica que, conforme registrado por Lorscheiter & Dillenburg (1988) na laguna de Tramandaí, teria ocorrido a cerca de 1.800 anos AP. O discreto incremento da salinidade que acompanhou este aumento foi percebido pela presença de *Catenula adhaerens* e *Melosira undulata* nas amostras do grupo 9.

A ausência deste registro na Lagoa dos Quadros pode ser atribuído a uma segmentação mais recente dos corpos lagunares situados mais próximos à Lagoa de Tramandaí (Meyer *et al.*, 2005a). Corroborando esta hipótese, o nível datado por Meyer *et al.* (2005a) em 4.870 +/- 40 anos AP, situa-se no contexto de um sistema lagunar em fase regressiva onde predomina granulometria arenosa. Já para o sistema Pinguela-Palmital-Malvas, no mesmo período, o sítio estudado encontra-se disposto em área com característica francamente lagunar, onde ainda é expressiva a influência oceânica.

O estabelecimento do predomínio de táxons perifíticos, dulciaquícolas ou tolerantes à concentrações muito restritas de salinidade, nesta seção do testemunho (Tab. 7.5.1; Tab. 7.5.2), indica que entre M64

(183,05 cm) e M82 (97,9 cm), a paleolaguna passou por um período de intenso rebaixamento da coluna e redução do corpo d'água, onde estabeleceu uma comunicação mais restritiva com o ambiente marinho, acentuada no período correspondente à sedimentação ocorrida após o nível M84 (88,4 cm).

Neste contexto, Salomoni & Schwarzbald (2004) em estudo objetivando relacionar variáveis abióticas com a estrutura da comunidade de algas fitoplanctônicas em lagoas da PCNRS, incluindo o complexo Pinguela-Palmital-Malvas, encontrou como diatomácea mais abundante o táxon *Aulacoseira ambigua*, confirmando a similaridade deste trecho do testemunho com as condições hidroquímicas atuais nos sistemas lênticos da região.

Tabela 7.5.2 – Resumo das preferências ecológicas das espécies mais abundantes no segmento 4.

<b>Espécie</b>	<b>Ecologia</b>
<i>Achnanthes rupestoides</i>	Água doce com baixo conteúdo eletrolítico; perifítica.
<i>Aulacoseira granulata</i>	Água doce; meroplanctônica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	Água doce; meroplanctônica; alcaliófila; eutrófica.
<i>Aulacoseira ambigua</i>	Água doce; meroplanctônica; alcaliófila; eutrófica
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	Água doce ou com baixa concentração salina; perifítica; alcaliófila; sua distribuição é conhecida desde águas oligotróficas a eutróficas.
<i>Cocconeis</i> sp.	Desconhecida.
<i>Encyonema minutum</i>	Água doce ou levemente salobra, perifítica, circumneutra.
Fragillariaceae	Água doce, perifítica.
<i>Melosira undulata</i>	Água marinhas e doces; bentônica.
<i>Navicula porifera</i> var. <i>opportuna</i>	Água doce com baixo conteúdo eletrolítico.
<i>Planothidium rostratum</i>	Água doce ou levemente salobra, perifítica ou planctônica.

## 7.6 ANÁLISE NUMÉRICA INTEGRAL DOS RESULTADOS MICROPALÉONTOLÓGICOS DO TESTEMUNHO PM-RS-D01

A apreciação das lâminas em microscopia óptica revelou a existência de 116 unidades taxonômicas consideradas espécies distintas em função de suas discrepâncias morfométricas, sendo que, 112 foram identificadas em nível genérico e 61 em âmbito específico distribuídas em 25 gêneros (Anexo A, B, C, D). Desta forma, o número de diatomáceas denominadas à categoria de epíteto próprio supera em 124,5% Callegaro & Lobo (1990), 164,9% Abreu *et. al* (1987) e 234,6% Medeanic *et al.* (2009), trabalhos que até então apresentavam o maior número de espécies citadas para os sedimentos da PCNRS.

A análise de agrupamento separou as unidades amostrais em três grupos nítidos confirmados pela avaliação de suficiência amostral e significância dos níveis de partição geradas em 1.000 iterações de aleatorização e autoreamostragem para cada tamanho de amostra (Fig. 7.6.1 e 7.6.2).

A Análise de Componentes Principais (ACP) resumiu 39,3% da variabilidade dos dados abióticos em seus dois primeiros eixos, e 45,8% do total nos três componentes (Tab. 7.6.1), destacando como descritores mais importantes para explicar a variância as 17 espécies listadas na tabela 7.6.2. A análise de espécies indicadoras (Dufrene & Legendre, 1997) confirmou as associações significativas destes táxons a determinado grupo oriundo da análise de agrupamento (Tab. 7.6.2).

Por constituírem as espécies mais correlacionadas com o componente de maior explicabilidade, à *Aulacoseria cf. agassizii* e *Cocconeis placentula* var. *lineata* foram atribuídas a dicotomia primária dos níveis do testemunho PM-RS-D01, que confinou as unidades do agrupamento A à esquerda da origem do eixo 1 (Fig. 7.6.1).

Apresentando correlação positiva com o eixo 2, *Navicula porifera* var. *opportuna*, *Planothidium rostratum*, *Aulacoseira ambigua* e *Achnanthes rupestoides* destacam-se como representativas dos paleoambientes que deram origem à deposição dos sedimentos que viriam a constituir os níveis de amostragem que compõem o grupo C (Tab. 7.2.2; Fig. 7.2.3).

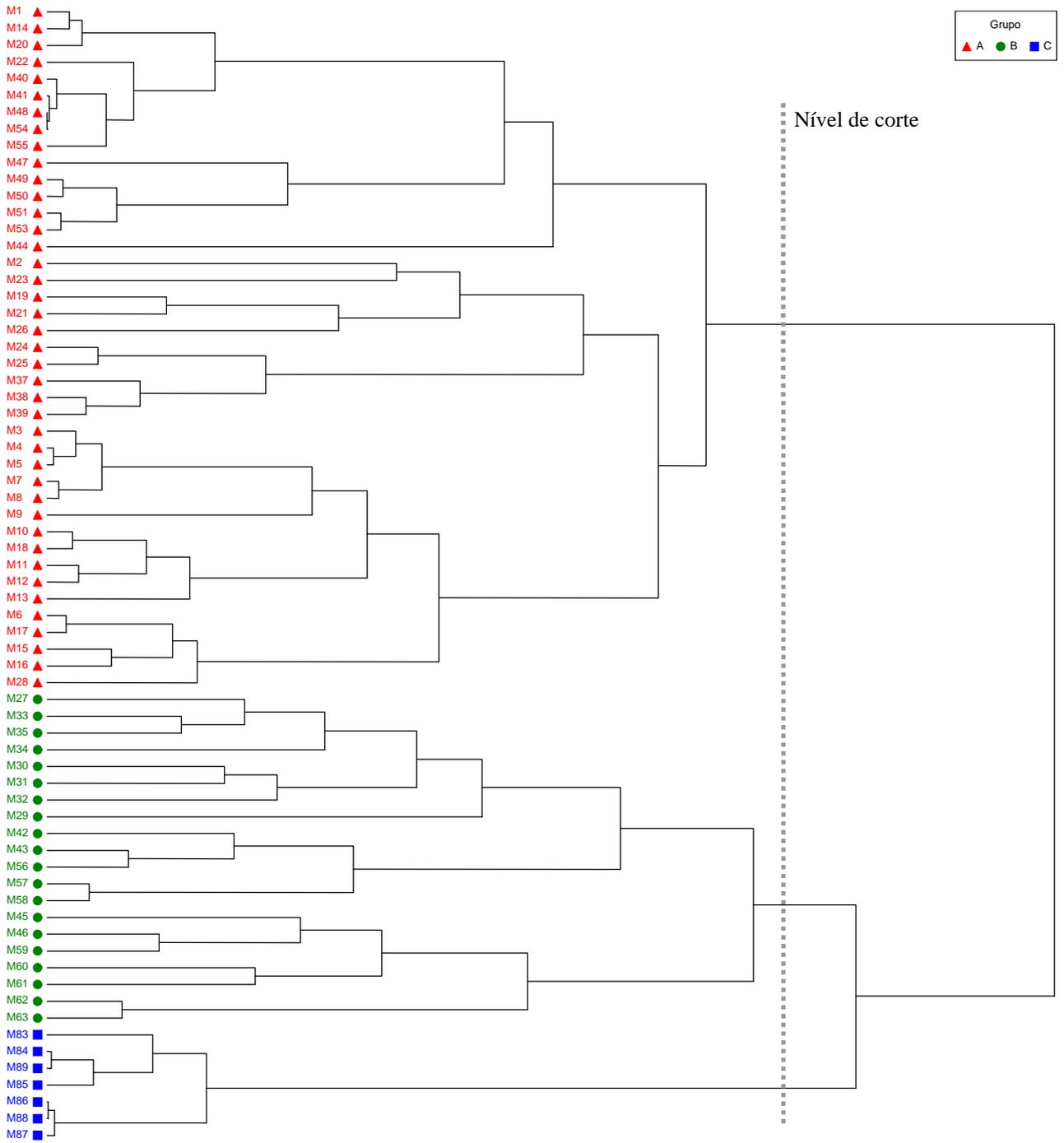


Figura 7.6.1 – Análise de agrupamento (Distância Euclidiana; Método de Wards) das 68 amostras fossilíferas do testemunho PM-RS-D01.

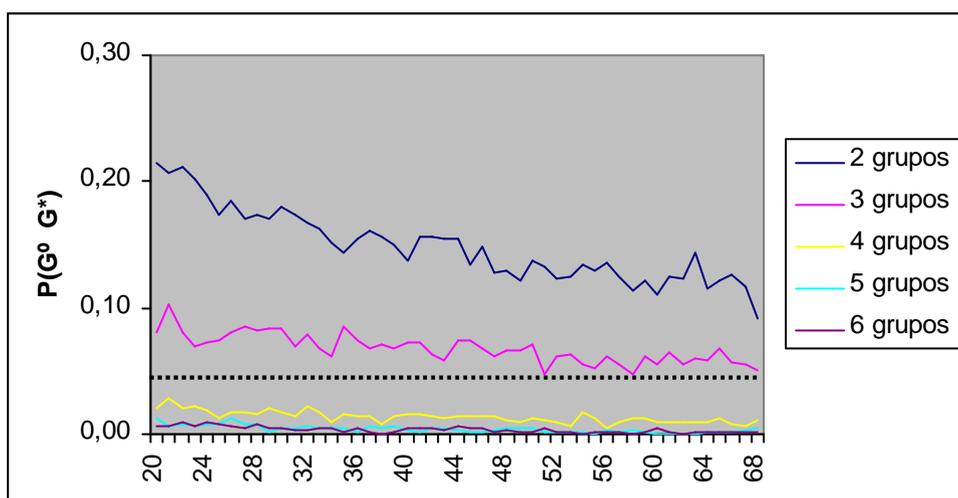


Figura 7.6.2 – Avaliação da suficiência amostral e significância de níveis de partição da análise de agrupamento das 68 amostras fossilíferas do testemunho PM-RS-D01, através das através das probabilidades  $P(G^\circ G^*)$  geradas em 1.000 iterações de aleatorização e autoreamostragem para cada tamanho de amostra.

Tabela 7.6.1 -Resumo da Análise de Componentes Principais.\* = Eixo significativo.

Eixo	Autovalor	% de Variância	% de Variância Acumulada	Linha de Quebra de Autovalor
1*	452,383	25,554	25,554	80,855
2*	243,118	13,733	39,287	65,724
3*	115,989	6,552	<b>45,839</b>	58,158

De forma oposta, projetando-se negativamente ao eixo 2, *Diploneis puella*, *Rhopalodia gibberula*, *Tryblionella victoriae*, *Grammatophora* sp., *Pseudostaurosira brevistriata* var. *inflata*, *Tryblionella hungarica*, conjuntamente a *Cocconeis* sp., *Cocconeis placentula* var. *lineata* e *Martyana martyi*, que se prolongam também sobre a esfera positiva do eixo 1, caracterizam o agrupamento B na interseção dos eixos 1 e 2 (Tab. 7.6.2; Fig. 7.6.3).

Contrariamente ao verificado para os níveis do segundo e terceiro agrupamento, no cruzamento dos componentes de maior explicabilidade, o grupo A não está, em sua maioria, restrito a um dos quadrantes do gráfico de dispersão (Fig. 7.6.3). Além do mais, as duas espécies indicadoras deste grupo com maior destaque sobre o componente principal 1, *Aulacoseira* cf. *agassizii* e *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa*, relacionam-se de maneira inversamente proporcional ( $r = -0,445$ ,  $p=0,003$ ), conforme revelado pela matriz de semelhança por correlação (tab. 7.6.3), indicando a possibilidade de sua subdivisão (Tab. 7.2.2). Assim, os níveis com predomínio de *Aulacoseira* spp. passaram a constituir o conjunto A1 e, onde *Actinocyclus* spp. contribuem de maneira mais pronunciada, estabeleceu-se o grupo A2 (Tab. 7.6.4).

Tabela 7.6.2 - Correlação das espécies com os componentes principais 1, 2 e 3. Resumo da Análise de Espécies Indicadoras e Teste Monte Carlo com 1.000 iterações. VI = valor indicativo; P = probabilidade.

Espécies	Componentes Principais			Espécies Indicadoras		
	1	2	3	Grupo	VI	P
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	-0,576	0,190	-0,193	A1	87,5	0,001
<i>Aulacoseira granulata</i>	-0,203	0,274	0,288	A1	55,8	0,020
<i>Actinocyclus normanii</i> f. <i>subsalsa</i>	-0,211	-0,282	0,458	A2	52,0	0,014
<i>Actinocyclus normanii</i>	-0,205	-0,216	0,407	A2	50,6	0,018
<i>Diploneis puella</i>	0,063	-0,331	-0,321	B	76,5	0,001
<i>Tryblionella hungarica</i>	0,036	-0,132	-0,009	B	55,9	0,001
<i>Tryblionella victoriae</i>	0,004	-0,200	0,020	B	53,4	0,009
<i>Rhopalodia gibberula</i>	0,021	-0,226	-0,168	B	46,9	0,026
<i>Cocconeis</i> sp.	0,173	-0,165	0,077	B	44,1	0,010
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	0,054	-0,184	0,175	B	38,5	0,079
<i>Grammatophora</i> sp.	0,014	-0,195	0,073	B	38,2	0,051
<i>Aulacoseira ambigua</i>	0,125	0,190	0,151	C	100,0	0,001
<i>Navicula porifera</i> var. <i>opportunna</i>	0,125	0,282	0,161	C	89,2	0,001
<i>Achnanthes rupestoides</i>	0,073	0,101	0,079	C	85,7	0,001
<i>Planothidium rostratum</i>	0,277	0,246	0,220	C	81,1	0,001
Fragilariaceae	0,251	0,092	0,211	C	79,4	0,001
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	0,444	-0,054	0,004	C	55,5	0,013

Tabela 7.6.3 - Matriz de semelhança por correlação das espécies indicadoras do testemunho PM-RS-D01 no trecho correspondente as amostras do grupo A, abaixo da diagonal principal, e probabilidades correspondentes, acima desta.

Espécies		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Actinocyclus normanii</i>	<b>1</b>		0,054	0,253	0,099	0,749	0,822	0,581	0,558	0,245	0,812	0,783	0,727	0,799	0,584	0,795
<i>Actinocyclus normanii</i> f. <i>subsalsa</i>	<b>2</b>	0,300		0,948	<b>0,003</b>	0,874	0,315	0,001	0,001	0,631	0,044	0,731	0,020	0,019	0,007	0,029
<i>Aulacoseira granulata</i>	<b>3</b>	-0,183	0,014		0,096	0,483	0,531	0,296	0,689	0,431	0,105	0,762	0,905	0,216	0,556	0,066
<i>Aulacoseira</i> cf. <i>agassizii</i>	<b>4</b>	-0,261	<b>-0,445</b>	-0,274		0,003	0,059	0,011	0,012	0,014	0,998	0,804	0,003	0,252	0,017	0,012
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>	<b>5</b>	-0,050	-0,036	-0,092	-0,372		0,079	0,418	0,721	0,883	0,966	0,520	0,052	0,980	0,433	0,956
<i>Cocconeis</i> sp.	<b>6</b>	0,041	0,175	-0,116	-0,297	0,174		0,495	0,054	0,858	0,112	0,094	0,051	0,289	0,012	0,465
<i>Diploneis puella</i>	<b>7</b>	0,085	0,515	0,167	-0,396	0,110	-0,098		0,266	0,848	0,176	0,901	0,134	0,079	0,212	0,028
<i>Grammatophora</i> sp.	<b>8</b>	-0,102	0,479	0,069	-0,383	0,061	0,302	0,175		0,783	0,671	0,943	0,118	0,035	0,002	0,627
Fraglariaceae	<b>9</b>	-0,160	-0,083	-0,127	-0,352	0,016	-0,022	0,028	-0,051		0,134	0,408	0,308	0,588	0,977	0,396
<i>Navicula porifera</i> var. <i>opportuna</i>	<b>10</b>	-0,045	-0,294	0,221	0,000	0,005	0,226	-0,188	-0,078	-0,166		0,080	0,251	0,112	0,394	0,103
<i>Planothidium rostratum</i>	<b>11</b>	-0,052	-0,059	-0,053	0,041	0,084	0,253	0,019	-0,011	-0,118	0,263		0,171	0,197	0,437	0,607
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	<b>12</b>	0,054	0,358	-0,018	-0,468	0,322	0,302	0,208	0,232	0,134	-0,157	0,205		0,820	0,001	0,022
<i>Rhopalodia gibberula</i>	<b>13</b>	0,036	0,369	-0,187	-0,186	0,007	0,168	0,272	0,343	-0,087	-0,227	-0,188	0,035		0,059	0,659
<i>Tryblionella hungarica</i>	<b>14</b>	-0,087	0,462	-0,108	-0,363	0,087	0,540	0,177	0,532	0,008	-0,122	0,118	0,719	0,293		0,080
<i>Tryblionella victoriae</i>	<b>15</b>	0,041	0,337	0,298	-0,371	0,010	0,102	0,387	0,076	0,122	-0,229	0,081	0,413	0,074	0,248	

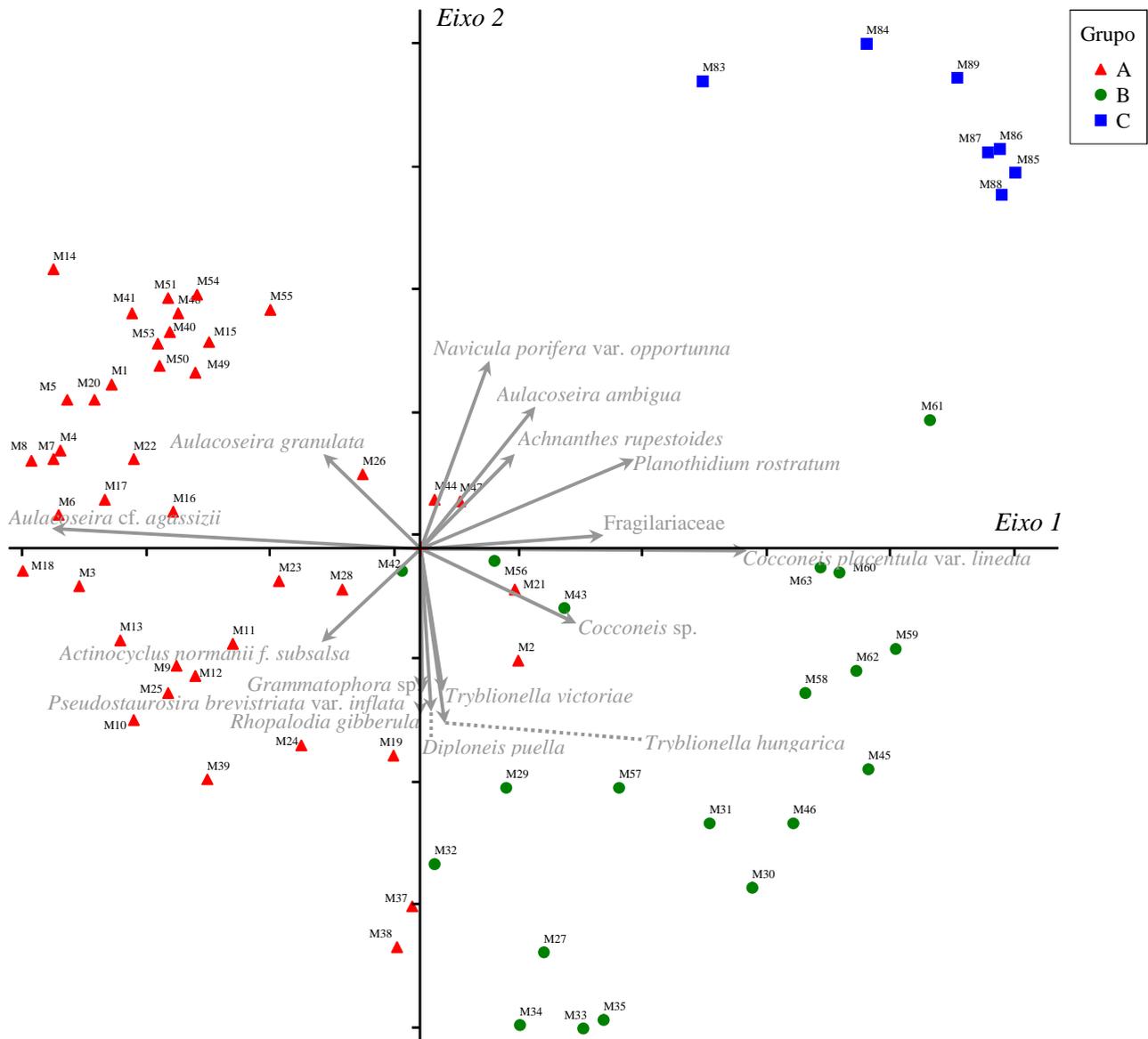


Figura 7.6.3 - Gráfico de dispersão da Análise de Componentes Principais. Eixos 1 e 2.

O cruzamento dos componentes principais 1 e 3 (Tab. 7.6.2; Fig. 7.6.5) ressalta a contribuição da distribuição e abundância de *Actinocyclus normanii* para explicar a variabilidade dos dados, especialmente no que se refere ao contexto das amostras alocadas no grupo A.

No entanto, é na figura que sintetiza as correlações das espécies com os eixos 2 e 3 (Fig. 7.6.6) que se percebe com maior clareza diferenças na composição específica dos níveis do grupo A, especialmente no que tange a espécie *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* (Fig. 7.6.4).

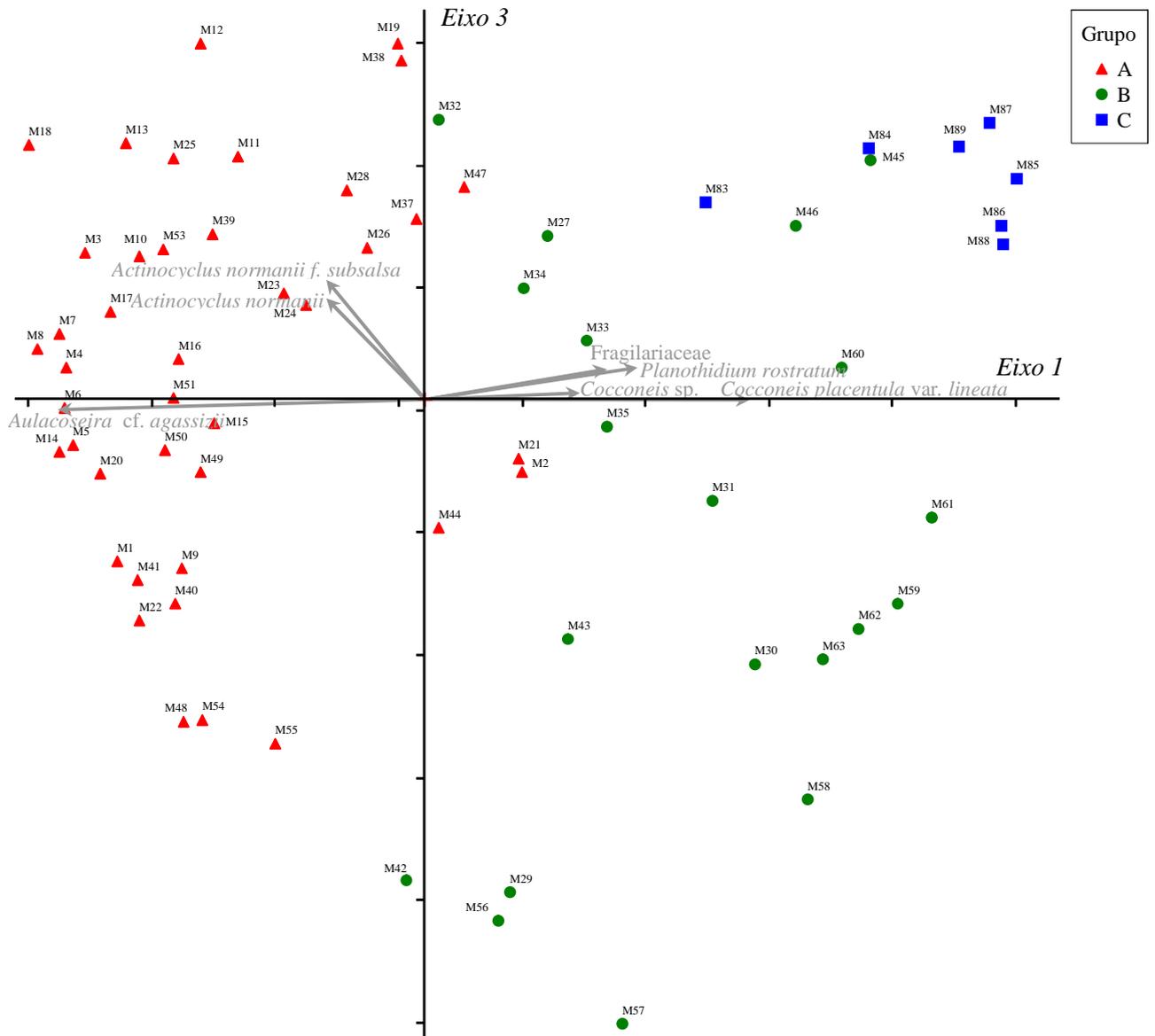


Figura 7.6.4 - Gráfico de dispersão da Análise de Componentes Principais. Eixos 1 e 3.

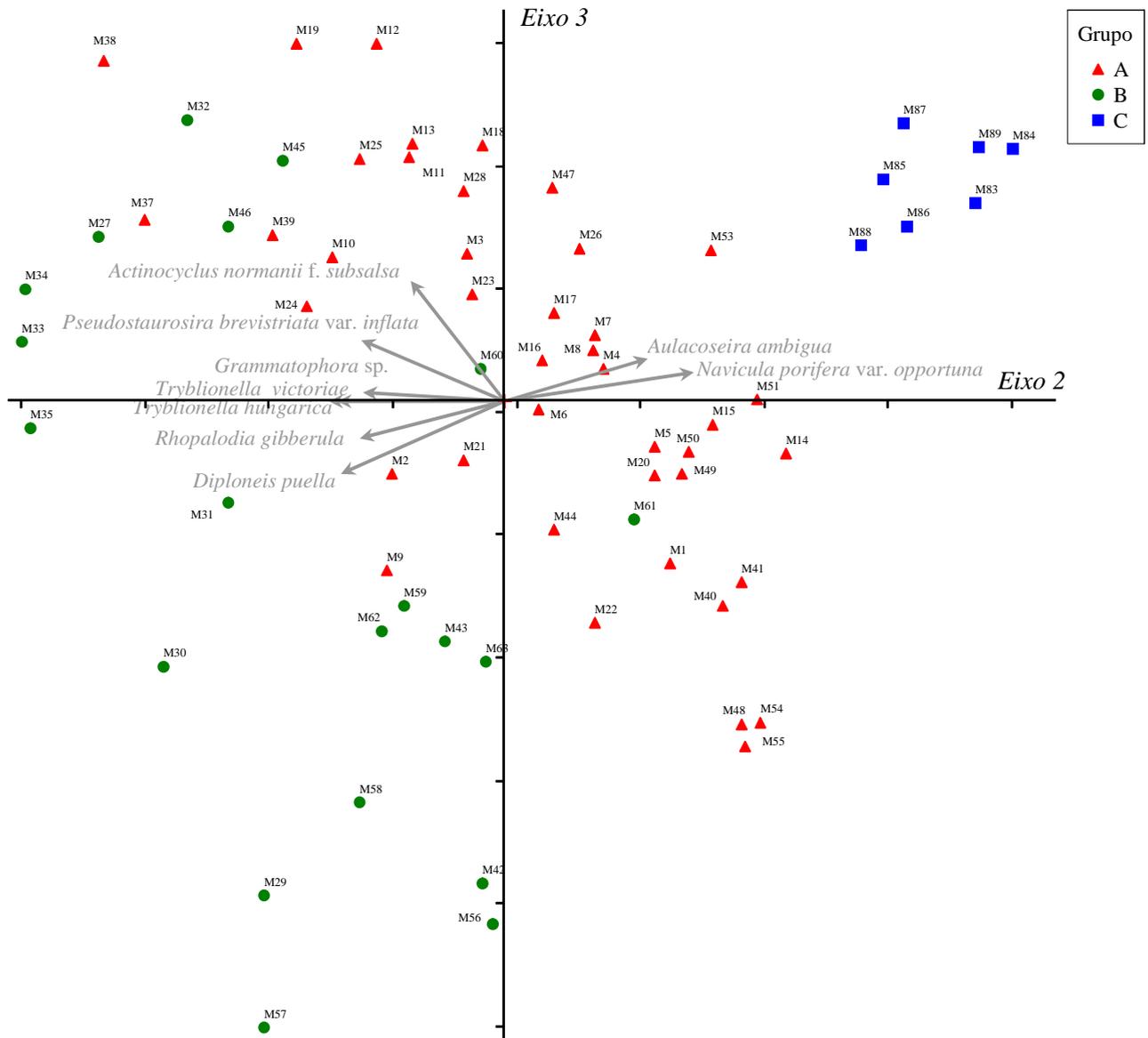


Figura 7.6.5 - Gráfico de dispersão da Análise de Componentes Principais. Eixos 2 e 3.

Exceção feita à espécie epifítica de águas salobras *Rhopalodia gibberula* (Ehrenberg) O.F. Muller (Fig. 7.6.7a-f) e ticoplanctônica, mesohalóbia *Tryblionella victoriae* (Fig. 7.4.7a-h) (Moro & Fürstenberger, 1997), os táxons destacados pelos procedimentos estatísticos analisando-se o testemunho de forma integral, também são desveladas pela estratégia que considera o poço de maneira fragmentada (Tab. 7.2.1; 7.3.1; 7.4.1; 7.5.1).

Assim, das 26 diatomáceas indicadoras cuja distribuição e abundância estão representadas na tabela 7.6.4 e figura 7.6.8, 15 foram salientadas de forma comum pelas duas estratégias, nove de maneira exclusiva a partir do enfoque em segmentos e duas unicamente pela análise integral do testemunho.

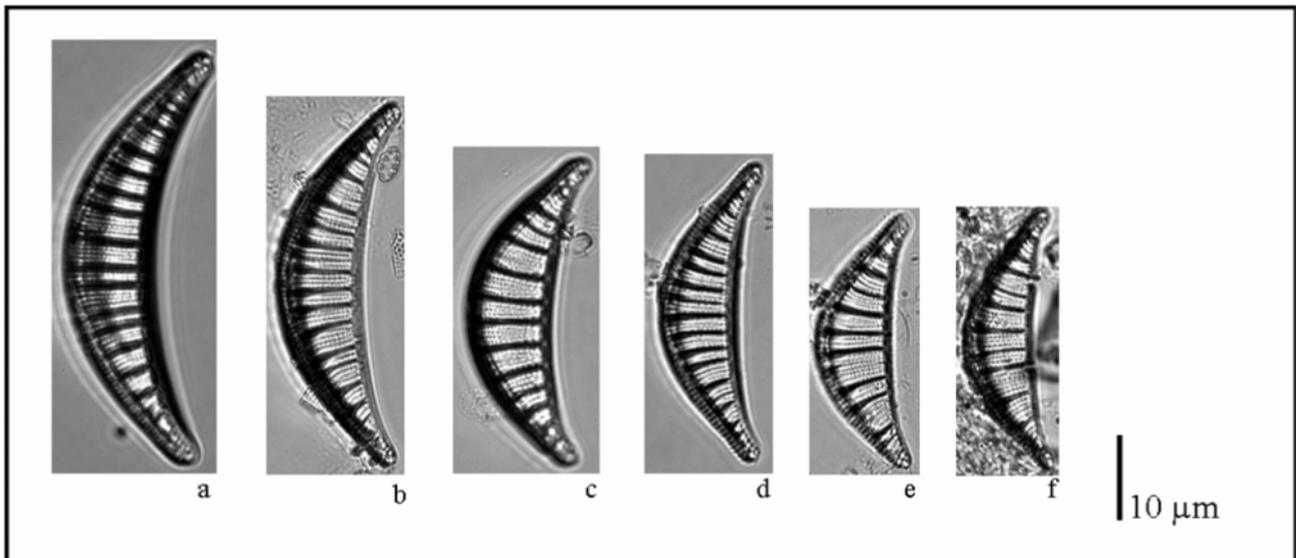


Figura 7.6.6 – Microfotografia de *Rhopalodia gibberula*.

A análise numérica global do testemunho apresenta algumas desvantagens frente aos procedimentos executados levando-se em consideração intervalos mais circunscritos (itens 7.2 a 7.5). Para ilustrar, entre M1(481,0 cm) e M21(386,4 cm) encobre-se a contribuição de *Cyclotella striata* e *Diploneis smithii* na caracterização dos intervalos do grupo 2 que definem a salinização do sistema. O refinamento da interpretação paleoambiental obtido pelo estudo do comportamento de *Catenula adhaerens* nos níveis correspondentes ao grupo 4 (Fig. 7.6.8), bem como de *Mastogloia* spp. para o fragmento que engloba as unidades amostrais do conjunto 5 (Fig. 7.6.8), apesar de não afetar significativamente a compreensão da história evolutiva do sistema, também não é verificável desta maneira. Da mesma forma, a percepção do incremento da salinidade em M83 (93,2 cm) e M84 (88,4 cm) em função da presença de *C. adhaerens* e *Melosira undulata* nestes níveis deixaria de existir (Fig. 7.6.8).









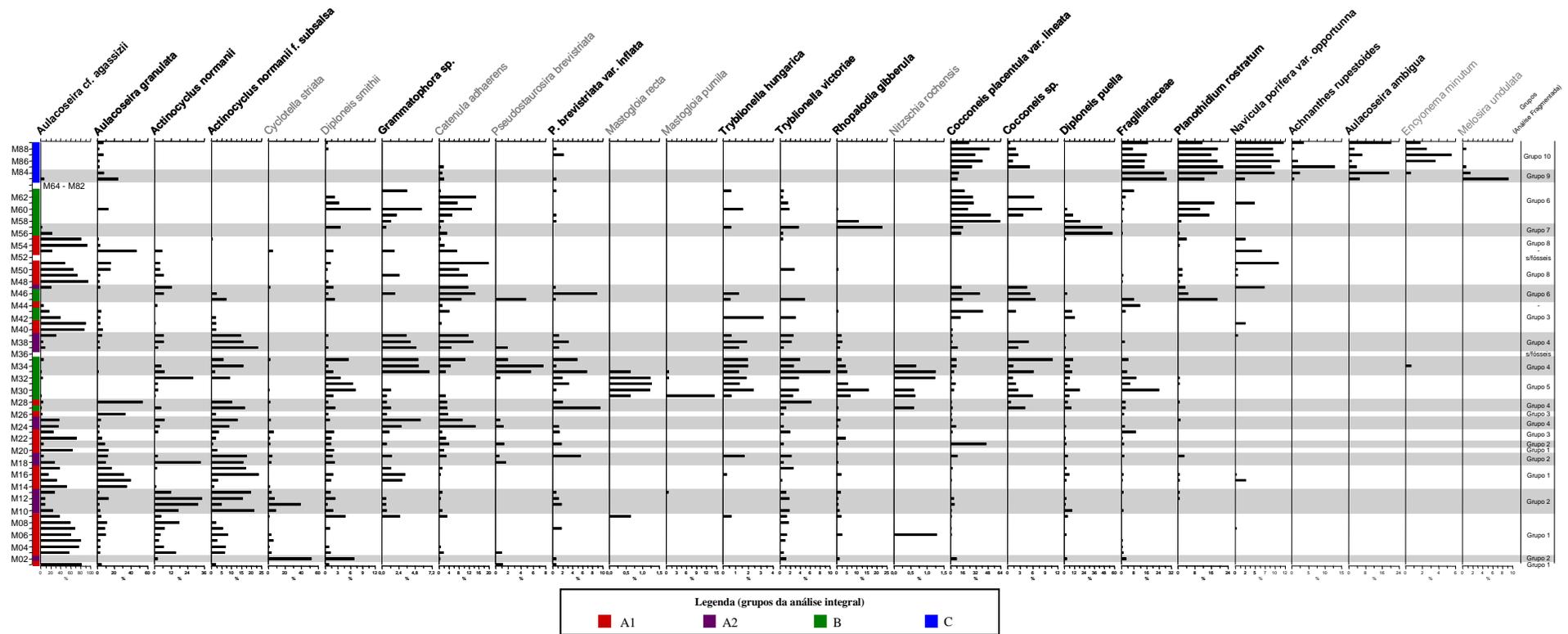


Figura 7.6.7 – Diagrama de distribuição e abundância das espécies indicadoras do testemunho PM-RS-D01. Em destaque as espécies da tabela 7.6.2.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **8.1 SÍNTESE DOS RESULTADOS DO TESTEMUNHO PM-RS-D01**

O testemunho PM-RS-D01 revelou as assembleias de diatomáceas fósseis mais diversificadas para estudos até então conduzidos na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul (PCNRS), sem comparações com qualquer outro depósito quaternário brasileiro. Seu elevado grau de preservação e consequente manutenção das principais características morfológicas dos táxons possibilitaram o reconhecimento de seus componentes em nível específico, indicando que os resultados extraídos não foram influenciados por problemas relativos ao grau de comprometimento das valvas.

Devido à proximidade do ecossistema com o domínio oceânico, espécies alcaliófilas alcançaram, em todos os momentos, representatividade mais elevada, inviabilizando a aplicação de índices baseados na distribuição proporcional dos táxons em categorias taxonômicas definidas de acordo com a faixa de acidez. Também a caracterização de alterações tróficas careceu de resolução adequada. Em conformidade com os referenciais adotados, 61,5% das espécies indicadoras foram relacionadas com ambientes eutróficos, enquanto que, para as demais, não foi possível firmar afinidade por determinada condição, desvelando a necessidade de condução de estudos sobre a auto-ecologia das diatomáceas para este parâmetro na área de estudo.

Desta forma, as alterações paleobióticas detectadas refletiram essencialmente oscilações de habitats decorrentes de atores climáticos e eustáticos que marcam de maneira evidente duas fases distintas da história evolutiva recente do Sistema Pinguela-Palmital-Malvas, cuja síntese está exposta na figura 8.1.1.

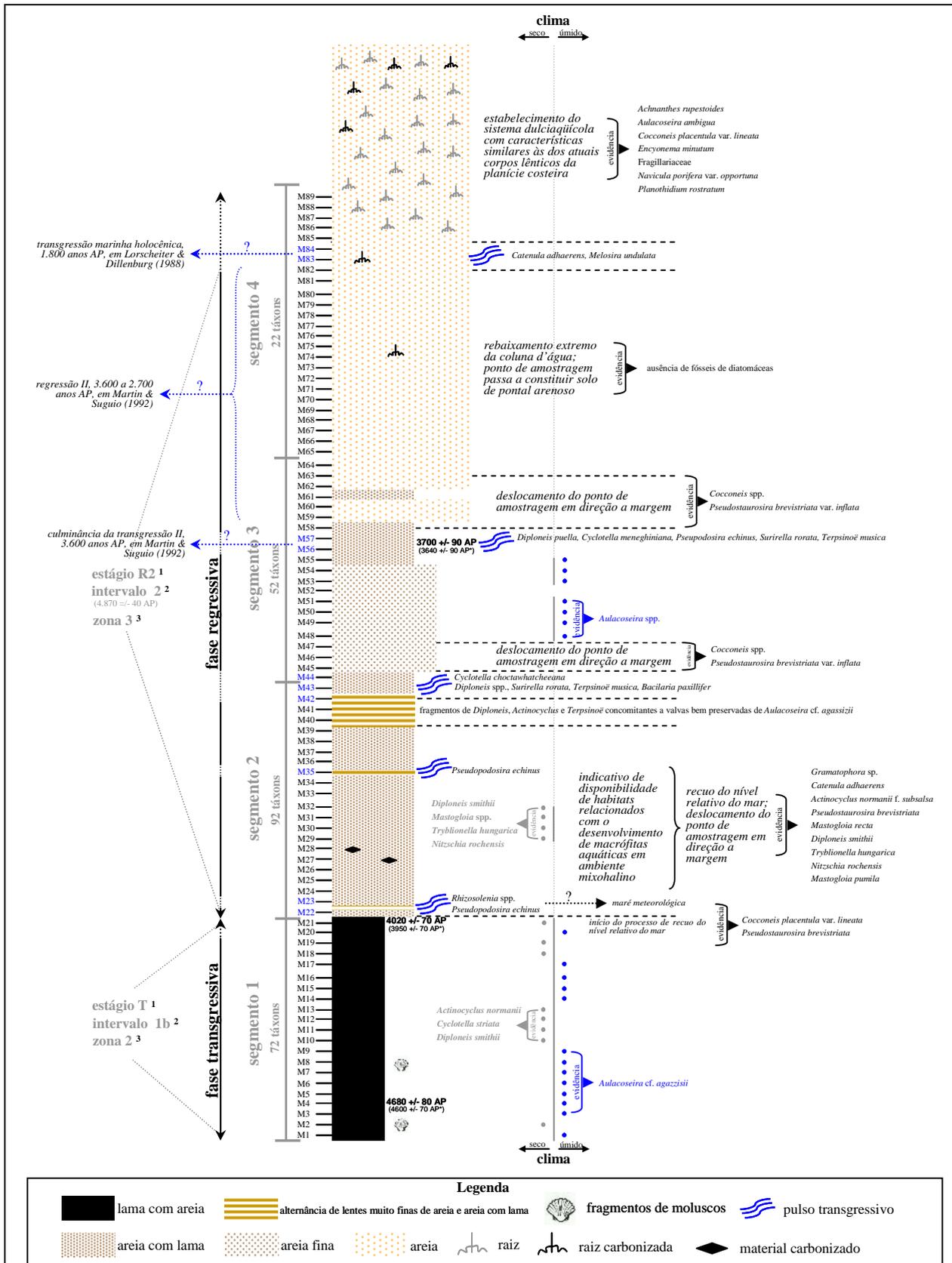


Figura 8.1.1 – Síntese dos resultados paleontológicos do testemunho PM-RS-D01, utilizando diatomáceas como paleodescritores ambientais. Ao lado da indicação de pulso transgressivo constam as espécies responsáveis pelo estabelecimento desta característica. 1 = Medeanic *et al.*, 2000a; Marques-Toigo *et al.*, 2002; 2 = Meyer *et al.*, 2005a; 3 = Meyer *et al.*, 2005b.

Inicialmente, no período com amplitude temporal circunscrita, nas datações mais próximas da base (4.600 +/-70 anos AP e 3.950 +/- 70 anos AP), ocorre alternância entre estratos compostos pela preponderância de tafocenoses mixohalinas e intervalos caracterizados pela supremacia de espécies dulciaquícolas em um contexto transgressivo. Ali, os registros determinados por *Actinocyclus normanii*, *Cyclotella striata* e *Diploneis smithii* refletem períodos de clima mais seco, quando o volume de água doce drenado para a bacia era menor e a evaporação mais intensa. De forma inversa, *Aulacoseira* cf. *agassizii* determinou o esclarecimento de etapas de incremento do afluxo lótico por variação positiva do regime pluviométrico intensificado em decorrência do estabelecimento de condições provavelmente relacionados à vigência do fenômeno *El niño*.

Após 3.950 +/- 70 anos AP, alterações sedimentológicas e bióticas significativas como o estabelecimento de fácies com predomínio de grânulos arenosos, e a maior diversidade e abundância de vestígios de espécies perifíticas, caracterizaram o início do processo de regressão correlacionável com o registro de diversos pesquisadores do Holoceno da Planície Costeira gaúcha. No entanto, a análise diatomológica revelou heterogeneidade ambiental inédita para o trecho, comprovando a existência de um processo constituído por, pelo menos, cinco rompimentos da tendência predominantemente regressiva bem como de momentos de ressurgência de período climático úmido e seco. Essas informações confirmam o potencial de refinamento descritivo das assembleias diatomológicas em interpretações paleoambientais de sistemas límnicos.

Entre os intervalos M22 (381,7 cm) e M23 (376,9 cm), *Pseudopodosira echinus* e *Rhizosolenia* spp. caracterizaram o primeiro pulso transgressivo para a seção, situação recorrente em M35 (320,2 cm), onde *P. echinus* representou parcela ainda mais expressiva dos microfósseis recuperados. Em M44 (277,6 cm), o predomínio de *Cyclotella choctawhatcheeana* constituiu a culminância do terceiro pulso transgressivo principiado em M42 (287,1 cm).

Entrementes, o rebaixamento agudo da coluna d'água entre M29 (348,6 cm) e M32 (334,4 cm) indica a propensão de clima mais seco nestes níveis, em um contexto de aproximação do ponto de amostragem em direção à margem, encetado após M24 (372,2 cm) e que perdurou até o nível M39 (301,3 cm). A oscilação negativa do nível d'água da paleolaguna também foi detectada na intermitência de M45 (272,9 cm) a M47 (263,5 cm) e M58 (211,4 cm) a M63 (187,87 cm).

Uma expressiva queda da influência do ambiente oceânico e maior aporte de água doce, indicado pelo aumento da abundância de *Aulacoseira* cf. *agassizii*, e declínio de espécies perifíticas mixohalinas foi verificado entre os níveis M48 (258,7 cm) e M55 (225,6 cm). Isso é devido, provavelmente, ao incremento pluviométrico atribuído ao retorno de período úmido na região.

A tendência de ressalinização do sistema em M56 (220,9 cm) e M57 (216,2 cm), com datação para 3.640 +/- 90 AP, foi estabelecida pelo quarto pulso transgressivo correlacionado à elevação do nível relativo do mar referido para a costa brasileira aos 3.600 anos AP. A este, seguiu-se o rebaixe extremo da coluna d'água que culminou com um possível deslocamento do ponto de amostragem para a porção edáfica da margem entre M64 (183,0 cm) e M82 (97,9 cm), devido ao auge do recuo do nível relativo citado para 2.800 e 2.700 anos AP. Neste momento, instituiu-se uma comunicação mais restritiva com o oceano, conforme evidenciado pelo registro paleoflorístico que é retomado em função da transgressão marinha ocorrida aos 1.800 anos AP na PCNRS. Logo após, na configuração dos níveis finais do poço, destacam-se as espécies que compõem atualmente a comunidade fitoplanctônica do Sistema Pinguela-Palmital-Malvas.

## 8.2 CONCLUSÕES

- Os sedimentos inconsolidados correspondentes ao Holoceno Tardio na Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul apresentam uma diatomoflora fóssil cuja diversidade não foi aferida de maneira a se obter boa representação de sua constituição, haja vista a elevada riqueza constatada neste levantamento frente às investigações pioneiras na área de estudo;
- O testemunho PM-RS-D01 registra a história final de um corpo lagunar em fase transgressiva e seu posterior desenvolvimento em um contexto essencialmente regressivo;
- No trecho com características transgressivas, as diatomáceas destacaram de forma apurada alternância de condições que possibilitaram a sedimentação de associações com características mixohalinas e dulciaquícolas que caracterizaram, respectivamente, períodos climáticos secos e úmidos;

- O intervalo regressivo caracterizou-se por intensa variabilidade paleoecológica permitindo o estabelecimento de cinco pulsos transgressivos intercalados a oscilações paleobatimétricas e registros que, preliminarmente, apontam para alterações climáticas semelhantes às registradas no segmento próximo à base do poço;
- A manutenção da coerência das interpretações paleoambientais obtidas, quando confrontadas a estudos progressos, e a detecção de processos originais para a região, assinalam a eficiência dos procedimentos estatísticos empregados, os quais foram baseados no estabelecimento de agrupamentos significativos e destaque a espécies reguladoras destes particionamentos. Desta forma, indicam a possibilidade de adoção desta estratégia analítica como novo paradigma em estudos paleoecológicos envolvendo diatomáceas recuperadas nos sedimentos inconsolidados dos depósitos holocênicos da Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul, cuja extrapolação para outras áreas e épocas geológicas merece consideração;
- Pesquisas futuras de caráter multidisciplinar objetivando a recuperação de diatomáceas e palinórfos, no mesmo material e região, poderão reconhecer a intensidade e extensão das referidas rupturas no intervalo com características transgressivas, para que se possa estabelecer se estas refletem verdadeiramente alterações do nível relativo do mar ou, de maneira alternativa, ingresso de cunhas salinas decorrentes de acontecimentos climáticos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aboal, M. 1988. Diatomées des curs d' eau saumâtres temporaires ou permanents du sur de l' Espagne. **Mém. Soc. Roy. Bot. Belg.**, **10**: 48-54.
- Abrantes, F.; Gil, I.; Lopes, C. & Castro, M. 2005. Quantitative diatom analyses – a faster cleaning procedure. **Deep-Sea Research I**, **52**: 189-198.
- Abreu, V. dos S.; Torgan, L.C.; Esteves, I.R. F. & Kotzran, S.C.B. 1987. Estudo paleogeográfico do Quaternário de Morretes, RS, Brasil. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, I, Porto Alegre. **Anais...** p. 177-189.
- Admiraal, W. 1984. The ecology of estuarine sediment-inhabiting diatoms. In: *Progress in Phycology Research* (F. E. Round & D. J. Chapman, eds.). Vol. 3, 269-322. Biopress Ltd, Bristol.
- Allison, T.D.; Moeller, R.E. & Davis, M.B. 1986. Pollen in laminated sediments provides evidence for a mid-Holocene forest pathogen outbreak. **Ecology**, **69**: 1101-1105.
- Almer, B.; Dickson, W.; Ekström, C.; Hörnström, E. & Miller, V. 1974. Effects of acidification on Swedish lakes. **Ambio**, **3**: 30-36.
- Andersen, R.A.; Medlin, L.K. & Crawford, R.M. 1986. An investigation of cell wall components of *Actinocyclus subtilis* (Bacillariophyceae). **J. Phycol.**, **22**: 466 – 484.
- Anderson, L.D. & Ravelo, A.C. 2001. Data Report: Biogenic opal in Palmer deep sediments, Site 1098, Leg 178. In: Barker, P. F.; Camerlenghi, A.; Acton, G. D. & Ramsay, A. I. S. (eds.). **Proc. ODP, Sci. Results**, **178**: 1-7 [Online]. Disponível em: <[http://www.odp.tamu.edu/publications/178\\_SR/VOLUME/CHAPTERS/SR178\\_01.PDF](http://www.odp.tamu.edu/publications/178_SR/VOLUME/CHAPTERS/SR178_01.PDF)>.
- Anderson, N.J. & Rippey, B. 1994. Monitoring lake recovery from point-source eutrophication: the use of diatom-inferred epilimnetic total phosphorus and sediment chemistry. **Freshwater Biology**, **32**: 625-639.
- Angulo, R. J. & Lessa, G. C. 1997. The Brazilian sea-level curves: A critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. **Mar. Geol.** **140**: 161-166.
- Angulo, R. J.; Giannini, P.C.F.; Suguio, K. & Pessenda, L. C. R. 1999. Relative sea-level changes in the last 5500 years in southern Brazil (Laguna-Imbituba region, Santa Catarina State) based on vermetid <sup>14</sup>C ages. **Mar. Geol.** **159**: 323-339.
- Armstrong, H.A. & Brasier, M.D. 2005. **Microfossils**. 2 ed. Oxford: Balckwell Publishing. 296 p.
- Arz, J.A. 2002. Diatomeas y silicoflagelados. In: Molina, E. (ed.). **Micropaleontologia**. Zaragoza: Prensas Universitárias de Zaragoza. p. 313-332.
- Barber, H.G. & Haworth, E.Y. 1981. A guide to the morphology of the diatom frustule, with a key to the British freshwater genera. **Freshwater Biological Association Scientific Publication No. 44**, 112 p.
- Barber, P. 1992. Differential diatom dissolution in late Quaternary sediments from Lake Manyara, Tanzania an experimental approach. **Journal of Paleolimnology**, **7**: 235-251.
- Bard, E.; Rostek, F. & Sonzogni, C. 1997. Interhemispheric synchrony of the last deglaciation inferred from alkenone paleothermometry. **Nature**, **385**: 707-710.

- Baron, J.A. & Baldauf, J.G. 1995. Cenozoic marine diatom biostratigraphy and applications to paleoclimatology and paleoceanography. Siliceous Microfossils. **Paleontological Society Short Course, Paleontology, 8**: 107-118.
- Barron, J.A. 1993. Diatoms. In: Lipps, J. H. (Ed.). **Fossil prokaryotes and Protist**. Boston. Blackwell Scientific Publications. p. 155-167.
- Battarbee, R.W. 1984. Diatom analysis and the acidification of lakes. **Phil. Trans. R. Soc., B305**: 451-477.
- Battarbee, R.W. 1986. Diatom analysis. In: Berglund, B. E. (ed.). **Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology**. Chichester: Wiley & Sons Ltda. p. 527-570.
- Battarbee, R. W.; Scaife, R. G.; Phethean, S. J. 1985. Palaeoecological evidence for sea-level change in the Bann stuary in the Early Mesolithic period. In: **Excavation at Mount Sandel 1973-77, County, Londonderry**. Belfast, Her Majesty's Stationery Office.
- Battarbee, R.W.; Manson, J.; Renberg, I. & Talling, J.F. 1990. **Palaeolimnology and lake acidification**. London: The Royal Society, 219 p.
- Battarbee, R.W.; Charles, D.F.; Dixit, S.S. & Renberg, I. 1999. Diatoms as indicators of surface water acidity. In: Stoermer, E. & Smol, J. (eds). **The diatoms, Applications for the Environmental and Earth Sciences**. Cambridge: University Press. p. 85-127.
- Battarbee, R.W.; Jones, V.J.; Flower, R.J.; Cameron, N. G.; Bennion, H.; Carvalho, L. & Juggins, S. 2001. Diatoms. In: Smol, J.P.; Birks, H. J. B. & Last, W. M. (eds.). **Tracking environmental change using lake sediments. Volume 3: Terrestrial, Algal, and Siliceous Indicators**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 155 - 202.
- Beamish, J. & Harvey, H.H. 1972. Acidification of La Cloche Mountain lakes, Ontario, and resulting fish mortalities. **Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 29**: 1131-1143.
- Beaver, J. 1981. **Apparent ecological Characteristics of some Common Freshwater Diatoms**. Don Mills: Ontario Ministry of Environment. 517 p.
- Behre, K. 1956. Die Algenbesiedlung einiger Seen um Bremen und Bremerhaven. **Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh., 4**: 221-383.
- Bennion, H.S.; Juggins, S. & Anderson, N.J. 1996. Predicting epilimnetic phosphorus concentrations using an improved diatom-based transfer function, and its application to lake eutrophication management. **Environ. Sci. Tech., 30**: 2004-2007.
- Berlato, M.A. & Fontana, D.C. 2003. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 110p.
- Bicudo, C.E.M. & Menezes, M. 2005. **Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil: chave para a identificação e descrições**. São Paulo: Rima. 489 p.
- Bignot, G. 1983. Les lagunes Sparnaciennes: une étape dans la conquête des eaux douces par les diatomées. **Revue de Micropaléontologie 26 (1)**: 15-21.
- Birks, H.J.B. 1987. Methods for pH calibration and reconstruction from palaeolimnological data: procedures, problems, potential techniques. Surface Water Acidification Programme, Mid-term Review Conference, Bergen, Norway. P. 370-380.

- Birks, H.J.B. 1995. Quantitative palaeoenvironmental reconstructions. In : Maddy, D. & Brew, J. D. (eds.). **Statistical Modelling of Quaternary Science Data**. Quaternary Research Association technical Guide 5. Cambridge. p. 161-254.
- Birks, H.J.B.; Anderson, N.J. & Fritz, S.C. 1995. Postglacial changes in total phosphorus at Diss Mere, Norfolk inferred from fossil diatom assemblages. In: Patrick, S.T. & Anderson, N. J. (eds). **Ecology and Paleocology of Lake Eutrophications**. Copenhagen, DK: Geological Suevey of Dessmark PGV Servise Report n°7.
- Bissa, W.M.; Ybert, J-P.; Catharino, E.L.M. & Kutner, M. 2000. Evolução Paleoambiental na Planície Costeira do Baixo Ribeira durante a ocupação Sambaquiara. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, **10**: 89-102.
- Blum, J. L. 1960. Algal population in flowing waters. In: **The ecology of Algae**. Special publication n° 2; 11-21, University of Pitsburg.
- Boucherle, M.M.; Smol, J.P. ; Oliver, T.C. ; Brown, S.R. & McNeely, R. 1986. Limnological consequences of the decline in Hemloch 4.800 years ago in three Southern Ontario lakes. **Hydrobiologia**, **143**: 217-225.
- Braconnot, P.; Joussaume, S. & Marti, O. 1999. Synergistic feedbacks from ocean and vegetation on the African monsoon response to mid-Holocene insolation. **Geophys. Res. Lett.**, **26(16)**: 2481 – 2484.
- Bradbury, J.P. 1971. Paleolimnology of Lake Texcoco, Mexico: Evidence from diatoms. **Limnology and Oceanography**, **16**: 180-200.
- Bradbury, J. P. 1986. Late Pleistocene and Holocene Paleolimnology of two Mountains Lakes in Western Tasmânia. **Palaios**, **1**: 381-388.
- Brockmann, C. 1914. Brackwasserstudien. **Sep. Schr. Ver. Naturk. Unterweser.**, **4**: 1-71.
- Brockmann, C. 1950. Die Watt-Diatomeen der Schleswig – Holsteinischen Westküste. **Abh. Senckenb. Naturf. Ges.**, **478**: 5-26.
- Brugam, R.B. 1979. A re-evaluation of the Araphidineae/Centrales index as an indicator of lake trophic status. **Freshwater Biology**, **9**: 451-460.
- Brugam, R.B. & Patterson, C. 1983. The A/C (Araphidineae/Centrales) ratio in high and low alkalinity lakes in eastern Minnesota. **Freshwater Biology**, **13**: 47-55.
- Buselato-Toniolli, T.C. 1986. Diatomoflórula (BACILLARIOPHYCEAE) associada a *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (RHODOPHYCEAE) do litoral de Torres. Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia Série Botânica** **35**: 65-126.
- Cain, A. 1944. **Foundations of Plant Geography**. New York: Harper & Bros. 556 p.
- Callegaro, V.L.M. & Lobo, E.A. 1990. Distribuição Horizontal da Comunidade de diatomáceas em Turfeiras Holocênicas da Planície Costeira do RS, BR. **Pesquisas, Série Botânica**, **2(1)**: 5-22.
- Cameron, N.G. 1995. The representation of diatom communities by fossil assemblages in a small acid lake. **Journal of Paleolimnology**, **14**: 185-223.
- Cavalier-Smith, T. 1993. Kingdom Protozoa and its 18 phyla. **Microbiological Reviews**, **57**: 953-994.

- Charles, D.F. 1985. Relationships between surface sediment diatom assemblages and lake water characteristics in Adirondack Lakes. **Ecology**, **66**: 994-1011.
- Chalié, F. & Gasse, F. 2002. Late Glacial-Holocene diatom record of water chemistry and lake level change from the tropical East African Rift Lake Abiyata (Ethiopia). **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, **187**: 259-283.
- Cho, K-J. 1999. Morphology and taxonomy of diatom genus *Aulacoseira* in the Naktong River. **Alga** **14**: 143-153.
- Cholnoky, B. J. 1968. **Die ökologie der Diatomeen in Binnengewässern**. 699 pp. Lehre (Cramer).
- Colijn, F.; Nienhuis, H. 1978. The intertidal microphytobenthos of the 'Hohe Weg' shallows in the German Wadden Sea. *For Schungsstelle Nordeney, Jahresbericht*, 26: 53-83.
- Chomenko, L. 1981. **Influência da salinidade na distribuição de moluscos do gênero Littoridina na área correspondente ao litoral Norte da Planície Costeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Ecologia. Dissertação de Mestrado. 205 p.
- Conley, D.J.; Zimba, P.V. & Theriot, E. 1994. Silica content of freshwater and marine benthic diatoms. In: Kocielek, J.P. (ed.). Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Diatom Symposium, San Francisco, 1990. **Memoir. Californian Academy of science**, **17**: 95-101.
- Cooper, S. R. 1995. Diatoms in sediment cores from the Mesohaline Chesapeake Bay, U. S. A. **Diatom research**, **10(1)**: 39-89.
- Costa, C. B.; Seeliger, U. & Kinas, P. G. 1988. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the Lower Patos Lagoon estuary. **Ciência e Cultura**, **40(9)**: 909-912.
- Cox, E.J. 1977. Raphe structure in naviculoid diatoms as revealed by scanning electron microscopy. **Nova Hedwigia Beih.**, 54: 261-274.
- Cox, E.J. 1996. **Identification of Freshwater Diatoms from Live Material**. New York: Chapman & Hall. 158 p.
- Cupp, E. E. 1943. **Marine plankton diatoms of the west coast of North America**. Univ. of Cal. Press, Berkeley and Los Angeles, 233 pp.
- Daemen, E. A. M. J.; Pankov, H.; Nienhuis, P. H. 1982. The benthic diatom flora of saline Lake Grevelingen (S. W. Netherlands). *Acta Bot. Neerl.*, 31: 153-167.
- De Wolf, H. 1982. Method of coding of ecological data from diatoms for computer utilization. **Medelingen Rijks Geologische Dienst**, **36**: 95-98.
- Dean, W.E.; Bradbury, J.P.; Andersen, R.Y. & Barnosky, C.W. 1984. The variability of Holocene climate change: evidence from varved lake sediments. **Science**, **226**: 1191-1194.
- Dearing, J.A. 1983. Changing patterns of sediment accumulation in a small lake in Scania, southern Sweden. **Hydrobiologia**, **103**: 59-64.
- Dearing, J.A. & Foster, I.D.L. 1986. Lake sediments and palaeohydrological studies. In: Berglund, B.E. (ed.). **Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology**. New York: John Wiley. p. 67-90.

- Denys, L. 1991. A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian Coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. **Professional Paper Belgische Geologische Dienst, 246**: 1-41.
- Denys, L. 1994. Diatom assemblages along a former intertidal gradient: A paleoecological study of a Subboreal clay layer (Western coastal plain, Belgium). **Netherlands Journal of Aquatic ecology, 28**: 85-96.
- Denys, L. 1995. The diatom record of a core from the seaward part of the coastal plain of Belgium. In: Marino, M. & Montresor, M. (eds.). **Proceedings of the thirteenth International Diatom Symposium**. Bristol: Biopress. p. 471-87.
- Denys, L. 1999. A diatom radiocarbon perspective of the palaeoenvironmental history and stratigraphy of Holocene deposits between Ostende and Nieuwpoort (Western Coastal Plain, Belgium). **Geologica Belgica, 2/3-4**: 111-140.
- Denys, L. & Verbruggen, C. 1989. A case of drowning- the end of Subatlantic peat growth and related paleoenvironmental changes in the lower Schelt basin (Belgium) based on diatom and pollen analysis. **Review of Paleobotany and Palynology, 59**: 7-36.
- Denys, L. & De Wolf, H. 1999. Diatoms as indicators of coastal paleo-environments and relative sea-level change. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds.). **The diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 277-297.
- Dias, J.L.; Sad, A.R.E.; Fontana, R.L. & Feijó, F.J. 1994. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da PETROBRAS, 8(1)**: 235-245.
- Diaz, A. F.; Studzinski, C. D. & Mechoso, C. R. 1998. Relationships between Precipitation Anomalies in Uruguay and Southern Brazil and Sea Surface Temperature in the Pacific and Atlantic Oceans. **Journal of Climate 11**: 251 – 271.
- Digerfeldt, G. 1986. Studies on past-lake fluctuations. In: Berglund, B. E. (ed.). **Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology**. New York: John Wiley. p. 127-142.
- Dixit, A.S.; Dixit, S.S. & Smol, J.P. 1992. Long-term trends in lake water pH and metal concentrations inferred from diatoms and chrysophytes in three lakes near Sudbury, Ontario. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 49**: 17-24.
- Douglas, M.S.V. & Smol, J.P. 1999. Freshwater diatoms as indicators of environmental change in the High Arctic. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds.). **The diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 227-244.
- Douglas, M.S.V.; Ludlam, S. & Freney, S. 1996. Changes in diatom assemblages in Lake C2 (Ellesmere Island, Arctic Canada): Response to basin isolation from the sea and to other environmental changes. **Journal of Paleolimnology, 16**: 217-226.
- Drum, R. W.; Webber, E. E. 1966. Diatoms from a Massachusetts salt marsh. **Botanica Marina, 9**: 71-77.
- Dufrène, M.; P. Legendre. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs 67**:345-366.
- Edlund, M.B. & Stoermer, E.F. 1993. Resting spores of freshwater diatoms *Acanthoceros* and *Urosolenia*. **Journal of Paleolimnology 9**: 55-61.

- Edlund, M.B.; Stoermer, E.F. & Taylor, C.M. 1996. *Aulacoseira skvortzouri* sp. nov. (Bacillariophyta), a poorly known diatom from Lake Baikal, Russia. **Journal of Phycology** **32**: 165-175.
- Espinosa, M.; De Francesco, C. & Isla, F. 2003. Paleoenvironmental reconstruction of Holocene coastal deposits from the Southeastern Buenos Aires Province, Argentina. **Journal of Paleolimnology**, **29**: 49-60.
- Esteves, F. A. 1998. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência. 602 p.
- Faknenstiel, G.L. & Scavia, D. 1987. Dynamics of Lake Michigan phytoplankton: The deep chlorophyll layer. **Journal of Great Lakes Research**, **13**: 285-295.
- Fernandes, E. H. L.; Dyer, K. R.; Möller Jr., O. O. & Niencheski, L. F. 2002. The Patos Lagoon hydrodynamics during an *El Niño* event (1988). **Continental Shelf Research**, **22**: 1699-1713.
- Florin, M-B. 1970. Late glacial diatoms of Kirchner Marsh, Southeastern Minnesota. **Nova Hedwigia**, **31**: 667-756.
- Flower, R.J. & Battarbee, R.W. 1983. Diatom evidence for recent acidification of two Scottish lochs. **Nature**, **305**: 130-133.
- Fluin, J.; Gell, P.; Haynes, D.; Tibby, J. & Hancock, G. 2007. Paleolimnological evidence for the independent evolution of neighbouring terminal lakes, the Murray Darling Basin, Australia. **Hydrobiologia** **591**: 117-134.
- Foged, N. 1948. Diatoms in water-courses in Funen. **Dansk Bot. Ark.**, **12**: 1-112.
- Foged, N. 1949. Diatoms in the Salt Bog of Langemose in East Funen. **Dansk Bot. Ark.**, **13**: 1-33.
- Foged, N. 1954. On the diatom flora of some Funen lakes. **Folia Limnol. Scand.**, **6**: 1-75.
- Foged, N. 1958. The diatoms in the basalt area and adjoining areas of Archean rock in West Greenland. **Medd. Om Grønl.**, **156**: 1-146.
- Foged, N. 1964. **Freshwater Diatoms from Spitsbergen**. Tromsø Museums Skrifter Vol. XI. Universitetsforlaget, Tromsø/Oslo.
- Foged, N. 1970. The diatomaceous flora in a postglacial Kieselguhr deposit in Southwestern Norway. **Bacillaria**, **2**: 169-202.
- Foged, N. 1976. **Freshwater Diatoms in Sri Lanka (Ceylon)**. **Bibliotheca Phycologica Band 23**, J. Crame, Vaduz.
- Foged, N. 1978. Diatoms in Eastern Australia. **Bibl. Phycol.**, **41**: 1-234.
- Foged, N. 1993. Some diatoms from Siberia especially from Lake Baikal. **Diatom Research**, **8(2)**: 231 – 279.
- Fonseca, O. J. M. 1989. Física e química das águas de oito lagoas costeiras do Rio Grande do Sul. UFRGS, Porto Alegre, Relatório Técnico.
- Frenquelli, J. 1935. Diatomeas de La Mar Chiquita al Norte de Mar Del Plata. **Notas Mus. La Plata, Bot.**, **1(5)**: 121-140.
- Frey, D.G. 1974. Paleolimnology. **Mitt. Int. Ver. Limnol.**, **20**: 95-123.

- Fritz, S.C. 1989. Lake development and limnological response to prehistoric and historic land-use in Diss, Norfolk, U.K. **Journal of Ecology**, **77**: 182-202.
- Fritz, S. C.; Juggins, S.; Battarbee, R.W. & Engstrom, D.R. 1991. Reconstruction of past changes in salinity and climate using a diatom-based transfer function. **Nature**, **352**: 706-708.
- Fritz, S.C.; Cumming, F.; Gaue, F. & Laird, K. 1999. Diatoms as indicators of hydrologic and climatic change in saline lakes. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds). **The diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 41-72.
- Fulford-Smith, S.P. & Sikes, E.L. 1996. The evolution of Ace Lake, Antarctica, determined from sedimentary diatom assemblages. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, **124**: 73-86.
- Fürstenberger, C.B. & Moro, R.S. 1998. Inferring lakewater characteristics in Lagoa Dourada, PR, Brazil, from surface sediment diatom assemblage data. **Verh. Internat. Verein Limnol**, **26**: 1755-1757.
- Galé, W. F.; Gurzynska, A. J.; Lowe, R. L. 1979. Colonization and standing crops of epilithic algae in the Susquehanna River, Pennsylvania. **Journal of Phycology**, **15**: 117-123.
- García-Rodríguez, F. & Witkowski, A. 2003. Inferring sea level variation from relative percentages of *Pseudopodosira kosugii* in Rocha Lagoon, SE Uruguay. **Diatom Research**, **18(1)**: 49-59.
- García-Rodríguez, F., Sprechmann, P., Metzeltin, D., Scafati, L. Melendi, D. L., Volkheimer, W., Mazzeo, N., Hiller, A., von Tümpling Jr, W., Scasso, F. 2004a. Holocene trophic changes in relation to sea level variations in Lake Blanca, SE Uruguay. **Journal of Paleolimnology**, **31**: 99-115.
- García-Rodríguez, F., Metzeltin, D., Sprechmann, P., Trettin, R. Stams, G., Beltrán-Morales, L.F. 2004b. Upper Pleistocene and Holocene Paleosalinity and Trophic State Changes in Relation to Sea Level Variation in Rocha Lagoon, Southern Uruguay, **Journal of Paleolimnology**, **32**: 117-35.
- Gasse, F. 1986. East African Diatom. Taxonomy, ecological distribution. **Bibliotheca Diatomologica**, Vol. 11. J. Cramer, Stuttgart. 202 p.
- Gasse, F. 1987. Diatoms for reconstructing paleoenvironments and paleohydrology in tropical semi-arid zones. **Hydrobiol.**, **154**: 127-163.
- Gasse, F. 2002. Diatom-inferred salinity and carbonate oxygen isotopes in Holocene water bodies of the Western Sahara and Sahel (Africa). **Quaternary Science Reviews**, **21**: 737 – 767.
- Gasse, F.; Tekaia, F. 1983. Transfer functions for estimating palaeoecological conditions (pH) from East African diatoms. **Hydrobiol.**, **103**: 85-90.
- Gasse, F.; Juggins, S. & Ben Khelifa, L. 1995. Diatom-based transfer functions for inferring past hydrochemical characteristics of African lakes. **Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.**, **117**: 31-54.
- Gasse, F.; Lédée, V ; Massault, M. & Fontes, J-C. 1989. Water level fluctuations of lake Tanganyika in phase with oceanic changes during the last glaciation and deglaciation. **Nature**, **342**: 57-59.
- Gregory, W. 1855. On a post-Tertiary lacustrine sand containing diatomaceous exuviae from elenshira near Inverary. **Quaternary Journal of Microscopical Sciences**, **3**: 30-43.
- Guerméur, P. 1954. Diatomées de L'A.O.F. (Première Liste : Sénégal). **Inst. Français D'Afrique Noire, Jfan. Dakar**, **12** : 5-89.

- Guillard, R.R.L. & Kilham, P. 1977. The ecology of marine planktonic diatoms. In: Werner, D. (ed.). **The Biology of Diatoms. Botanical Monographs vol. 13.** Oxford: Blackwell Scientific Publications. p. 372-469.
- Guzkowska, M. A. J. & Gasse, F. 1990a. Diatoms as indicators of water quality in some English urban lakes. **Freshwater Biology, 23:** 233-250.
- Guzkowska, M. A. J. & Gasse, F. 1990b. The seasonal response of diatom communities to variable water quality in some English urban lakes. **Freshwater Biology, 23:** 251-264.
- Haggart, B. A 1986. Relative sea-level changes in the Beaully Firth, Scotland. **Boreas, 15:** 191-207.
- Håkansson, S. 1993. Numerical methods for the inference of pH variations in mesotrophic and eutrophic lakes in Southern Sweden – a progress report. **Diatom Research, 8(2):** 349-370.
- Håkansson, H. & Hulthén, B. 1988. Identification of diatoms in Neolithic Pottery. **Diatom Research, 3(1):** 39-45.
- Håkansson, H.; Hajdu, S. & Loginova, L. 1993. *Cyclotella hakanssoniae* Wendker and its relationship to *C. caspia* Grunow and other similar brackish water *Cyclotella* species. **Diatom Research, 8(3):** 333-347.
- Håkansson, H.; Olsson, S.; Jiang, H. & Garbe-Schönherh, C.-D. 1998. The sediment diatom association and chemistry of surface sediments of Lake Belauer See, Northern Germany. **Diatom Research, 13(1):** 63-91.
- Hall, R.I. & Smol, J.P. 1992. A weighted-averaging regression and calibration model for inferring total phosphorus concentration from diatoms in British Columbia (Canada) lakes. **Freshwater Biology, 27:** 417-434.
- Hall, R.I. & Smol, J.P. 1993. The influence of catchment size on lake trophic status during the Hemlock decline and recovery (4.800 a 3.500 AP) in southern Ontario lakes. **Hydrobiologia, 269/270:** 371-390.
- Hall, R.I. & Smol, J.P. 1999. Diatoms as indicators of lake eutrophication. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds). **The Diatoms: Applications for the environmental and Earth Sciences.** Cambridge: University Press. p. 128-168.
- Harting, P. 1852. De bodem onder Amsterdam onderzocht on beschreven. **Verhandelingen Koninklijk-Nederlands Instituut voor Wetenschappen, Letterkunde on Schone Kunsten Klasse I, 3<sup>e</sup> reeks, 5:** 73-232.
- Hartley, B. 1996. **An Atlas of British Diatoms.** Biopress Limited, Bristol, UK. 601 pp.
- Hasenack, H. & Ferraro, L. W. 1989. Considerações sobre o clima da região de Tramandaí, RS. **Pesquisas, 22:** 53-70.
- Hasle, G. R. 1962. Three *Cyclotella* species from marine localities studied in the light and electron microscopes. **Nova Hedwigia, 4:** 299-307.
- Hasle, G. R. 1977a. Morphology and taxonomy of *Actinocyclus normanii* f. *subsalsa* (Bacillariophyceae). **Phycologia 16(3):** 321-328.
- Hasle, G.R. 1977b. The use of electron microscopy in morphological and taxonomical diatom studies. In: Werner, D. (ed.). **The Biology of Diatoms.** Los Angeles: University of California Press. p. 18-23.

- Hendey, N. I. 1964. **An Introductory Account of the Smaller Algae of British Coastal Waters**, Part V: Bacillariophyceae (Diatoms). Her Majesty's Stationery Office, London. 317 pp., 45 pl.
- Herth, W. 1978. A special chitin-fibril-synthesizing apparatus in the centric diatom *Cyclotella*. **Naturwissenschaften**, **65**: 260.
- Herth, W. 1979. The site of -chitin fibril formation in centric diatoms. II. The chitin-forming cytoplasmatic structures. **J. Ultrastr. Res.**, **6**: 16-27.
- Herth, W. & Barthlott, W. 1979. The site of -chitin fibril formation in centric diatoms. I. Pores and fibril formation. **J. Ultrastr. Res.**, **68**: 6-15.
- Heusser, C. J. & Streeter, S. S. 1980. A temperature and precipitation record for the past 16,000 years in southern Chile. **Science** **210**: 1345-1347.
- Hickman, M.; Schweger, C.F. & Klarer, D.M. 1990. Baptiste Lake, Alberta: a late Holocene history of changes in a lake and its catchment in the southern boreal forest. **Journal of Paleolimnology**, **4**: 253-267.
- Huber-Pestalozzi, G. 1942. **Diatomeen. Das Phytoplankton des Süßwassers Systematik und Biologie**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche. 549p. (Die Binnengewässer, Ed August Thienemann, 16).
- Hustedt, F. 1927-1930. Die kieselalgen. In: **Kryptogamen-Flora** (L. Rabenhorst, ed.). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, v.7, pt.1, 920 p.
- Hustedt, F. 1931-1959. Die Kieselalgen. In: **Kryptogramen-Flora** (L. Rabenhorst, ed.). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, v.7, pt.2, 845 p.
- Hustedt, F. 1961-1966. Die Kieselalgen. In: **Kryptogramen-Flora** (L. Rabenhorst, ed.). Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft, v.7, pt.3, 816 p.
- Hustedt, F. 1939. Die Diatomeenflora des Küstengebietes der Nordsee vom Dollart bis zur Elbemündung. I. **Abh. Naturw. Ver. Bremen**, **31**: 572-677.
- Hustedt, F. 1937-1939. Systematische und ökologische Untersuchungen über den Diatomeen-Flora von Java, Bali, Sumatra. **Archiv. Für Hydrobiologie (suppl)**, **15 & 16**.
- Hustedt, F. 1942. Süßwasser-Diatomeen des indomalayischen Archipels und der Hawaii-Inseln. Internationale. **Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie**, **42(1/3)**: 1-252.
- Hustedt, F. 1955. Marine littoral diatoms of Beaufort, North Carolina. **Duke University Marine Station Bulletin**, No. 6, 67 pp.
- Hustedt, F. 1957. Die Diatomeenflora des Flusssystemes der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. **Abh. Naturw. Ver. Bremen**, **34**: 181-440.
- Hustedt, F. 1959. Die Diatomeenflora der Unterweser von der Lesummündung bis Bremerhaven mit Berücksichtigung des Unterlaufs der Hunte and Geeste. **Ver. Inst. Meeresforsch. Bremerhaven** **6**:13-176.
- Ichikawa, W. Ishizuka, T. Konoshi, K. 1967. Paleosalinity analysis of some Pliocene sediments of Hokkaido, Japan. **Jubilee Publ. Commem. Prof. SASA, 60<sup>th</sup> Birthday**, : 91-105.

- Irvine, K.; Moss, B. & Balls, H. 1989. The loss of submerged plants with eutrophication II. Relationships between fish and zooplâncton in a set of experimental ponds, and conclusions. **Freshwater Biology**, **22**: 89-107.
- Isla, F. 1998. Holocene coastal evolution of Buenos Aires. **Quat. S. Am. Ant. Pen.** **11**: 297-321.
- Jackson, D. A. 1993. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology** **74**: 2204-2214.
- Jensen, K.W. & Snekvil, E. 1972. Low pH level wipe out salmon and trout populations in southern most Norway. **Ambio**, **1**: 223-225.
- Jørgensesn, E. G. 1948. Diatom communities in some Danish lake and ponds. **D. Kgl. Dansk. Vidensk. Selskab., Biol. Skrifter**, **5**: 1-140.
- Jorgetti, T.; Silva Dias, P. L.; Braconnot, P. 2006. Review of El Nino over South América during the mid-Holocene. **Adv. Geosci.**, **6**: 279 – 282.
- Juggins, S. 1988. **A diatom/salinity transfer function for the Thames estuary an its application to waterfront archeology**. 232 pp. PhD. Dissertation, University of London.
- Kawecka, B. 1981. Sessile algae in European mountain streams. 2. Taxonomy and autoecology. **Acta Hydrobiology**, **23**: 17-46.
- Kelly, G.; Bennion, H.; Cox, E.J., Goldshimit, B.; Jamieson, J.; Mann, D.G. & Telford, R.J. 2005. **Common freshwater diatoms of Britain an Ireland: an interactive key**. Environmental Agency, Bristol. [Online]. Disponível em: <<http://www.craticula.ncl.ac.uk/EADdiatoKey/html/index/html>>
- Kennigton, K. 2002. The environmental applications of diatoms. In: Haslett, S.K. (ed). **Quaternary Environmental Micropalaeontology**. London: Arnold. p. 166 - 184.
- Kim, J.-H.; Schneider, R. R.; Müller, P. J. & Wefer, G. 2002. Interhemispheric compararison of deglacial sea-surface temperature patterns in Atlantic eastern boundary currents. **Earth and Planetary Science Letters** **194**: 383 – 393.
- Kingston, J. C.. 2003. Araphid and monoraphid diatoms. In: Wehr, J. D. & Sheath, R. G. (eds.). **Freshwater algae of North America: Ecology and classification**. London: Academic Press. p. 559 - 594.
- Kleerekoper, H. 1990. **Introdução ao Estudo da Limnologia**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade. 329 p.
- Kolbe, R. W. 1925. Über das Vorkommen von Salzwasserdiatomeen im Binnenlande. I. *Coscinodiscus subtilis* var. *Rothii* forma *minor* (Grun.) v.H. im Spree-Havel-Gebiet. **Ber. Dt. Bot. Ges.**, **43**: 80-86.
- Kolbe, R.W. 1927. Zur Okologie, Morphologie und Systematik der Brackwasser-Diatomeen. **Pflanzenforschung**, **7**: 1-146.
- König, D. 1974. Subfossil diatoms in a former tidal region of the Eider (Schleswig – Holstein). **Nova Hedwigia**, **45**: 259-274.
- Kousky, V. E. ; Kayano, M. T. & Cavalcanti, I. F. A. 1984. A review of the southern oscillation oceanic atmospheric circulation changes and related rainfall anomalies. **Tellus**, **36 (A)**: 490-504.
- Krabbenhoft, D.P. & Webster, K.E. 1995. Transient hydrological controls on the chemistry of a seepage lake. **Water Resources Research**, **31**: 2295- 2305.

- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1986. **Bacillariophyceae. Teil 1: Naviculaceae.** In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heyning, H. & Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart, Gustav Fisher, 876 p.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1988. **Bacillariophyceae. Teil 2: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae.** In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heyning, H. & Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart, Gustav Fisher, 596 p.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1991a. **Bacillariophyceae. Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae.** In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heyning, H. & Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart, Gustav Fisher, 576 p.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H. 1991b. **Bacillariophyceae. Teil 4: Achnantheaceae *Navicula (Linolatae)* und *Gomphonema*.** In: Ettl, H.; Gerloff, J.; Heyning, H. & Mollenhauer, D. (eds). Süßwasserflora von Mitteleuropa, Stuttgart, Gustav Fisher Verlag, 437 p.
- Krumbein, W. C.; Pettijohn, F. J. 1938. **Manual of Sedimentary Petrography.** Appleton-Century-Crofts: New York. 594 p.
- Kumano, S.; Ihira, M.; Kuromi, m.; Maeda, Y.; Matsumoto, E.; Nakamura, Y.; Sato, H. & Matsuda, I. 1990. Holocene sedimentary history of some coastal plains in Hokkaido, Japan. V. Sedimentary history of Kushu Lake and Akkeshi. **Ecol.Res.**, **5**: 277-289.
- Kuylenstierna, M. 1989-1990. **Benthic Algal vegetation in the Nordre Älv Estuary (Swedish West Coast) Vols 1-2**, 244 pp., 76 pls. Ph. D. dissertation. University of Göteborg, Göteborg, Sweden.
- Laing, T. E., Pienitz, R. & Smol, J. P. 1999. Freshwater Diatom Assemblages from 23 Lakes Located Near Norilsk, Siberia: A Comparison with Assemblages from Other Circumpolar Treeline Regions. **Diatom Research**, **14(2)**: 285–305.
- Laird, K.; Edgar, R. K. 1992. Spatial distribution of diatoms in the surficial sediments of a New England Salt Marsh. **Diatom Research**, **7(2)**: 267-279.
- Lange, C. B. & Syvertsen, E. E. 1989. *Cyclotella litoralis* sp. nov. (Bacillariophyceae), and its relationships to *C.striata* and *C. stylosum*. **Nov. Hedw.** **48 (3-4)**: 341-356.
- Lange-Bertalot, H. & Metzeltin, D. 1996. **Ecology-diversity-taxonomy. Indicators of oligotrophy, Iconographia Diatomologica, Vol 2.** Koenigstein: Scientific Books. 390 p.
- Laws, R. A. 1988. Diatoms (Bacillariophyceae) from surface sediments in the San Francisco Bay Estuary. **Proceedings of the California Academy of Sciences**, **45**: 133-254.
- Lee, J. J.; McEnery, M. E.; Kennedy, E. M.; Rubin, H. 1975. A nutritional analysis of a sublittoral diatom assemblage epiphytic on *Enteromorpha* from a Long Island salt marsh. **Journal of Phycology**, **11**: 14-49.
- Legesse, D.; Gasse, F.; Radakovitch, O.; Vallet-Coulomb, C.; Bonnefille, R.; Verschuren, D.; Gibert, E.; Barker, P. 2002. Environmental changes in a tropical lake (Lake Abiyata, Ethiopia) during recent centuries. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **187**: 233-258.
- Lessa, G. C.; Angulo, R. J.; Giannini, P. C. & Araújo, A. D. 2000. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Marine Geology** **165**: 87-108.
- Licursi, M.; Sierra, M. V. & Gómez, N. 2006. Diatom assemblages from a turbid coastal plain estuary: Río de la Plata (South America). **Journal of Marine Systems** **62**: 35-45.

- Lipps, J. 1993. Fóssil **Probaryotes na Protists**. Oxford: Blacwell Scientific Publications.
- Lira, L.; Martins, I.; Araujo, T. H. & Dehhardt, E. A. 1976. Nota prévia sobre o comportamento da cunha salina no estuário de Tramandaí, RGS. **Anais da UFRPE – Ciência Biológicas, Recife, III(1):** 115-26.
- Long, A. 1992. Coastal responses to changes in sea level in the East Kent Fens and southeast England, UK, over the last 7,500 years. **Proceedings of the Geologist's Association, 103:** 187-199.
- Lorscheitter, M.L. & Dillenburg, S.R. 1998. Holocene palaeoenvironments of the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil, reconstructed from palynology of Tramandaí lagoon sediments. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula, 1:** 93-67.
- Lowe, R.L. 1974. **Environmental Requirements and Pollution Tolerance of Freshwater Diatoms**. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.
- Lowe, R.L. 2003. Keeled and Canalled Raphid Diatoms. In: Wehr, J. D. & Sheath, R. G. (eds.). **Freshwater algae of North America: Ecology and classification**. London: Academic Press. p. 559 - 594.
- Lozovei, A. L.; Hohmann, E. 1977. Principais gêneros de microalgas em biótopos de larvas de mosquito de Curitiba, Estado do Paraná, Brasil: levantamento e constatação da ecologia. **Acta Biol. Par., 6 (1, 2, 3, 4):** 123-152p.
- Luchini, L. & Verona, C. A. 1972. **Catálogo de las diatomeas argentinas. I. Diatomeas de aguas continentales**. La Plata: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, 301p.
- Ludwig, T. A. V. & Bigunas, P. I. T. 2006. Bacillariophyta. . In: Bicudo, C. E. M. & Menezes, M. (eds.). **Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil**. São Carlos, RIMA, p. 391 – 449.
- Ludwig, T.A.V.; Flores, T. L.; Moreira Filho, H. & Veiga, L. A. S. 2004. Inventário florístico das diatomáceas (Ochrophyta) de lagoas do Sistema Hidrológico do Taim, Rio Grande do Sul, Brasil: Coscinodiscophyceae. **Iheringia Séria Botânica 59(1):** 97-106.
- Lund, J.W.G. & Reynolds, C.S. 1982. The development and operation of large limnetic enclosures in Blelham Tarn, English lake District, and their contribution to phytoplankton ecology. **Progress in Phycological Research, 1:** 1-65.
- MacDonald, J.D. 1869. On the structure of diatomaceous frustule and its genetic cycle. **Ann. Mag. Nat. Hist. Series 4,3:**1-8.
- Machado, N. A. F. 2001. **Planejamento ambiental aplicado às lagoas costeiras da bacia do Rio Tramandaí**. Tese de Doutorado, UFSCar, São Carlos, Brasil.
- Manly, B. 1991. **Randomization and Monte Carlo Methods in Biology**. Ed. Chapman and Hall. 281 p.
- Mann, D.G. 1977. The diatom genus *Hantzschia* Grunow – an appraisal. **Nova Hedwigia Beih., 54:** 323-354.
- Mann, D.G. & Droop, J.M. 1996. Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. **Hydrobiologia, 336:** 19-32.
- Manson, I.M.; Guzkowska, M. A. & Rapley, C. G. 1994. the response of lake-levels and areas to climatic change. **Climatic Change, 27:** 161-197.

- Marciniak, B. 1990. Late glacial and Holocene diatoms in sediments of the Bledowo Lake (Central Poland). In: Simola, H. (ed.). **Proceedings of the 10<sup>th</sup> Diatom Symposium**. Koenigstein: Koeltz Scientific Boos. P. 379-390.
- Margaléf, R. 1983 . **Limnología**. Barcelona: Ediciones Omega S. A. 1120 p.
- Marques-Toigo, M.; Medeanic, S.; Mosbrugger, V. & Ashraf, A.R. 2002. Palaeoenvironmental changes in the Maquiné River Valley, RS, Brazil, during the Holocene according to palynological data. **Revista Brasileira de Paleontologia**, **3**: 36-47.
- Marshall, H. G.; Alden. R. W. 1990. A comparison of phytoplankton assemblages and environmental relationships in three stuarine rivers of the lower Chesapeake Bay. **Estuaries**, **13**: 287-300.
- Martin, L. & Suguio, K. 1992. Variation of coastal dynamics during the last 7000 years recorded in beach ridge plains associated with river mouths: example from the Central Brazilian Coast. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, **99**: 119-140.
- Martinez-Macchiavello, J.C. & Aramburu, W.S. 1994. **Catálogo Taxonómico-ecológico de las diatomeas no-marinas recientes y fósiles de la Republica Argentina**. Instituto Antártico Argentino. Publication 27, Buenos Aires.
- Mayewski, P. A.; Rohling, E. C.; Stager, J. C.; Karlén, W.; Maasch, K. A.; Meeker, L. D.; Meyerson, E. A.; Gasse, F.; van Kreveland, S.; Holmgren, K.; Lee-Thorp, J.; Rosqvist, G.; Rack, F.; Staubwasser, M.; Schneider, R. R. & Steig, E. J. 2004. Holocene climate variability. **Quaternary Research**, **62**: 243-255.
- McCune, B. & Mefford, M. J. 1999. **PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 4**. MjM Software Design, Gleneden Beach, Oregon, USA. 237p.
- McGarigal, K.; Cushman, S. & Stafford, S. 2000. **Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research**. Ed. Springer-Verlag. 283 pp.
- Mechoso, C. R. & Pérez, G. 1992. Streamflow in southeastern South America and the Southern Oscillation. **Journal of Climate**, **5**: 1535 – 1539.
- Medeanic, S. & Dillenburg, S.R. 2001. The Early Holocene palaeoenvironment history of the Tramandaí Lagoon (RS, Brazil). In: Congresso do Quaternário de Países de Língua Portuguesa, 1, Portugal. **Actas...** p. 402-405.
- Medeanic, S.; Marques-Toigo, M. & Ashraf, A.R. 2000a. The use of fossil algae for paleoenvironmental reconstruction during the late Holocene in the Maquiné River valley, RS, Brazil. **Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências**, **V**: 168 – 172.
- Medeanic, S.; Dillenburg, S. R & Toldo Junior, E. E. 2000b. Palynological evidence of marine ingression in the Lagoa dos Patos Lagoon during the Late Holocene. **Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências**, **V**: 141-145.
- Medeanic, S.; Dillenburg, S.R. & Toldo Junior, E.E. 2001. Novos dados palinológicos da transgressão marinha pós-glacial em sedimentos da Laguna do Patos, RS, Brasil. **Revista da Universidade de Guarulhos, Geociências**, **VI(6)**: 64-76.
- Medeanic, S.; Torgan, L. C.; Clerot, L. C. P. & Santos, C. B. 2009. Holocene Marine Transgression in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorph and Diatom Evidence. **Journal of Coastal Research**, **25**: 224-233.

- Medlin, L.K.; Williams, D. M. & Sims, P. A. 1993. The evolution of the diatoms (Bacillariophyta). I. Origin of the group and assessment of the monophyly of its major divisions. **European J. Phycol.**, **28**: 261-175.
- Melo, S.; Torgan, L. C.; Menezes, M. & Correa Jr., J. D. 2006. First report of *Cyclotella choctawhatcheeana* (Bacillariophyta) from Brazilian tropical waters: ultrastructure and ecology. In: Eighteenth International Diatom Symposium, 2006, Miedzydroje. **Proceedings of the Eighteenth International Diatom Symposium 2004**. Bristol : Biopress Limited, p. 293-299.
- Mereschkowski, C. 1902-1903. Sur *Catenula*, un nouveau genre de Diatomées. *Scripta Botanica Horti Universitatis Imp. Petropolitanae*, **19** : 93-106, em Russo, 107-116 em Francês.
- Mereschkowski, C. 1902. Note sur les diatomées de Guénitschek (Mer d'Azov). Résumé français. **Mém. Soc. Naturalistes Nouv.-Russ.**, **24** : 64-72.
- Merilainen, J. 1967. The diatom flora and the hydrogen-ion concentration of the water. **Ann. Bot. Fenn.**, **4**: 51-58.
- Metzeltin, D.; Lange-Bertalot, H.; García-Rodríguez, F., 2005. **Diatoms from Uruguay**. Lange-Bertalot, H. (ed.) Iconographia Diatomologica, v. 15. A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 736 p.
- Meyer, K.E.B.; Mendonça Filho, J.G.; Ashraf, A.R.; Souza, P.A. & Reichhardt, K. 2005a. Análise de Palinofácies em sedimentos Holocênicos da Lagoa dos Quadros, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, **8(1)**: 57-72.
- Meyer, K.E.B.; Reichhardt, K.; Ashraf, A.R.; Marques-Toigo, M. & Mosbrugger, V. 2005b. Holocene evolution of Itapeva Lake, Rio Grande do Sul, Brazil: Palynomorphs, C<sub>org</sub>, N and S records. **Journal of South American Earth Sciences**, **19**: 181-192.
- Mölder, K. & Tynni, R. 1972. Über Finnlands rezente und subfossile Diatomeen VI. **Bull. Geol. Soc. Finland** **44**: 141– 49.
- Möller Jr., O. O.; Lorenzetti, J. A.; Stech, J. L. & Mata, M. M. 1996. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental Shelf Research**, **16**: 355-351.
- Morales, E. A. 2005. Observations of the morphology of some known and new fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. **Phycological Research**, **53**: 113-133.
- Morandi, L. L.; Ritter, L. M. O.; Moro, R. S. & Bicudo, C. E. M. 2006. Criptógamos do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo, SP. Algas, 20: Coscinodiscophyceae. **Hoehnea**, **33(1)**: 115-122.
- Moreira Filho, H. 1966. Contribuição ao estudo das Bacillariophyceae (Diatomáceas) no agar-ágar (gelosa) e agarófitos. **Bol. Univ. Fed. Par., bot.**, **16**: 1-55.
- Moreira Filho, H. & Kutner, M. B. 1962. Contribuição para o conhecimento das diatomáceas do manguezal de Alexandra (Baía de Paranaguá - Paraná – Brasil). **Bol. Univ. Fed. Par., bot.**, **4**: 1-30.
- Moreira Filho, H. & Momoli, D. M. M. 1962. Sobre a presença de diatomáceas em alguns sambaquis do litoral paranaense. **Bol. Univ. Fed. Par.**, **5**: 1-9.
- Moreira-Filho, H., Valente-Moreira, I. M. & Cecy, I.I.T. 1975. Diatomáceas da Baía de Paranaguá, Estado do Paraná, Brasil (Chrysophyta-Bacillariophyceae). **Bol. Mus. Bot. Munic.** **20**:1-25.
- Moreira Filho, H.; Valente-Moreira, I. M.; Souza – Mosimann, R. M.; Cunha, J. A. 1990. Avaliação florística e ecológica das Diatomáceas (Chrysophyta, Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio grande do Sul. **Est. Biol.**, **25**: 5-48.

- Moreno, J.A. 1961. **Clima do Rio Grande do Sul**. Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Moro, R. S. & Fürstenberger, C. B. 1997. **Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não marinhas**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 282 p.
- Moro, R.S. & Bicudo, C.E.M. 1998. Flutuações climáticas no Pleistoceno tardio e Holoceno na Lagoa Dourada, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensis**, **10(2)**: 47-58.
- Moro, R.S.; Bicudo, C.E.M.; Melo, M.S. & Schmitt, J. 2004. Paleoclimate of the Late Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Paraná State, Southern Brazil. **Quaternary International**, **114**: 87-99.
- Nave, S.; Freitas, P.; Abrantes, F. 2001. Coastal upwelling in the Canary Island region: spatial variability reflected by the surface sediment diatom record. **Marine Micropaleontology**, **42**: 1-23.
- Neves, P.C.P. 1991. **Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 247 pp.
- Neves, P.C.P. & Lorscheitter, M.L. 1992. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições taxonômicas, Parte I: Fungos, algas, briófitos, pteridófitos, palinomorfos outros e fragmentos de invertebrados. **Acta Geológica Leopoldensia**, **36**: 83-114.
- Neves, P.C.P. & Lorscheitter, M.L. 1995a. Palinologia de sedimentos de uma mata tropical paludosa em Terra de Areia, Planície Costeira Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Descrições taxonômicas, Parte II: Gimnospermas e Angiospermas. **Acta Geológica Leopoldensia**, **41**: 45-82.
- Neves, P.C.P. & Lorscheitter, M.L. 1995b. Upper Quaternary palaeoenvironments in the northern coastal plain of Rio Grande do Sul, Brazil. **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**, **9**: 93-67.
- Nguetsop, V. F.; Servant-Vildary, S. ; Servant, M. 2004. Late Holocene climatic changes in west Africa, a high resolution diatom record from equatorial Cameroon. **Quaternary Science Reviews** **23**: 591-609.
- Nygaard, G. 1949. Hydrobiological studies on some Danish ponds and lakes. II: The Quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms. **Det Kongelige Danske Vidensk. Selsk. Biol. Skr.**, **7**: 1-293.
- Nygaard, G. 1956. Ancient and recent flora of diatoms and chrysophyceae in Lake Gridsö. Studies on the humic acid lake Gridsö. **Folia Limnologica Scandinavica**, **8**: 32-94.
- Odebrecht, C.; Abreu, P. C.; Möller Jr., O. O.; Niencheski, L. A. & Proença, L. A. 2005. Drought effects on pelagic properties in the shallow and turbid Patos Lagoon, Brazil. **Estuaries**, **28(5)**: 675-685.
- Odgaard, B. 1993. Wind-determined sediment distribution and Holocene sediment yield in a small Danish, Kettle Lake. **Journal of Paleolimnology**, **8**: 3-13.
- Odum, E.P. 1988. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S. A. 434 p.
- Owen, R.B.; Barthelme, J. W.; Renaut, R. W. & Vincens, A. 1982. Paleolimnology and archaeology of Holocene deposits north-east of Lake Turkana, Kenya. **Nature**, **298**: 523-529.
- Palacio, F.C.R. & Bermudez, P.J. 1963. **Micropaleontologia General**. Barcelona: Ediciones Gea, 808 p.
- Palmer, M.W. 1993. Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. **Ecology**, **74**: 2215-2230.

- Pankow, H. 1976. **Algenflora der Ostsee. II. Plankton.** Veb Gustav Fisscher Verlag. Jena. 493 p.
- Pappas, J. L.; Stormer, E. F. 1996. Quantitative method for determining a representative algal sample count. **Journal of Phycology** **32**: 693-696.
- Patrick, R.; Reimer, C. W. 1966. **The diatoms of the United States.** Philadelphia: Livingston Publ., 688p.
- Patrick, R.; Reimer, C. W. 1975. **The diatoms of the United States.** Philadelphia: Livingston Publ., v.2. 213p.
- Pedrozo, C. S. & Rocha, O. 2007. Environmental Quality Evaluation of Lakes in the Rio Grande do Sul Coastal Plain. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, **50(4)**: 673-685.
- Peglar, S.M. 1993. The development of the cultural landscape around Diss Mere Norfolk, UK, during the first 7.000 years. **Review of Paleobotany and Palynology**, **76**: 1-47.
- Petersen, J. B. 1943. Some halobien spectra (diatoms). **D. Kgl. Dansk Vidensk. Selsk., Biol. Medd.**, **17**: 1-95.
- Pfitzer, E. 1869. Über den Bau und die Zellteilung der Diatomeen. **Bot. Atg.** **27**: 774-776.
- Pickett-Heaps, J.D.; Hill, D.R.A. & Wetherbee, R. 1986. Cellular movement in centric diatom *Odontella sinensis*. **J. Phycol.**, **22**:334-339.
- Pielou, E.C. 1984. **The Interpretation of Ecological Data.** Ed. John Wiley & Sons. 263 pp.
- Pillar, V. D. & Orloci, L. 1996. On randomization testing in vegetation science: multifactor comparisons of relevé groups. **Journal of Vegetation Science** **7**: 585-592.
- Pillar, V. D. 1994-2006. MULTIV – **Multivariate Exploratory Analysis, Randomization Testing and Bootstrap Resampling.** User's Guide v. 2. 1., 42 p.
- Pisciottano, G. J.; Diaz, A. F.; Cazes, G. & Mechoso, C. R. 1994. El Nino-Southern Oscillation impact on rainfall in Uruguay. **Journal of Climate**, **7**: 1286 – 1302.
- Podani, J. 2000. **Introduction to the Exploration of Multivariate Biological Data.** Backhuys Publishers, Leiden. 407 p.
- Podzorski, A. C. 1984. The reaction of epiphytic diatoms (Bacillariophyta) to environmental change in Broad River, Western Jamaica. **Nova Hedwigia**, **40**: 486-509.
- Prasad, A. K. S. K.; Nienow, J. A. & Livingston, R. J. 1990. The genus *Cyclotella* (Bacillariophyta) in Choctawhatchee Bay, Florida, with special reference to *C. striata* and *C. choctawhatcheeana* sp. nov. **Phycologia**, **29(4)**: 418-436.
- Raabe, H. 1951. Die **Diatomeenflora der ostholsteinischen Fliessgewässers.** **Arch. f. Hydro- biol.** **44**: 521-638.
- Raven, P.H.; Evert, R.F.; Eichhorn, S.E. 2001. **Biologia Vegetal.** 6 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 906 p.
- Renberg, I & Hellberg, I. 1982. The pH history of lakes in south-western Sweden as calculated from the subfossil diatom flora of the sediments. **Ambio**, **11**: 30-33.

- Renberg, I. 1976. Palaeolimnological investigations in Lake Pratsjon. **Early Norland**, **9**: 113-160.
- Renberg, I. 1990. A 12,600 year perspective of the acidification of Lilla Örejön southwest Sweden. **Phil. Trans. R. Soc.**, **B327**: 357-361.
- Ribeiro, F. C. P.; Senna, C. S. F. & Torgan, L. C. 2008. Diatomáceas em sedimentos superficiais na planície de maré da praia de Itupanema, Estado do Pará, Amazônia. **Rodriguésia** **59(2)**: 309-324.
- Riznyk, R. 1973. Interstitial diatoms from two tidal flats in Yaquina estuary, Oregon, U.S.A. **Botanica Marina**, **16**: 113-138.
- Romesburg, H. C. 1984. **Cluster Analysis for Researchers**. R. E. Krieger Publ. Co., Malabar, Florida. 334 p.
- Rosa, Z. M. 1982. Diatomáceas marinhas e estuarinas de Tramandaí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia Série Botânica** **29**: 49-145.
- Ross, R. & Sims, P.A. 1972. The fine structure of the frustule in centric diatoms; a suggested terminology. **Br. Phycol. J.**, **7**: 139-163.
- Round, F.E. 1964. The diatom sequence in lake deposits: some problems of interpretation. **Verh. Internat. Verein. Limnol.**, **XVI**: 1012-1020.
- Round, F.E. 1983. **Biologia das Algas**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois. 263 p.
- Round, F.E. & Crawford, R.M. 1981. The lines of evolution of the Bacillariophyta. I. Origin. **Proc. Roy. Soc. London.** **B211**: 237-260.
- Round, F.E.; Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. **The Diatoms: Biology and morphology of the genera**. Cambridge: Cambridge University Press. 747 p.
- Rumeau, A. & Coste, M. 1988. Initition à la systématique des diatomées d'au douce pour l'utilisation pratique d'un índice diatomique générique. **Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture**, **309** : 12-69.
- Sabater, S. 1990. Observaciones sobre diatomeas centrales del fitoplancton del Rio Ebro con especial interés en algunas pequeñas *Cyclotella*. **Diatom Research**, **5(1)**: 141-154.
- Salomoni, S. E. & Schwarzbald, A. 2004. Phytoplankton community and limnological aspects of three polluted lakes, Marcelino, Peixoto and Pinguela, Osório, Rio Grande do Sul, Brazil. **Biociências**, **12(2)**: 63-78.
- Saraiva, J.M.B.; Bedran, C. & Carneiro, C. 2003. Monitoring of Storm Surge on Cassino Beach, RS, Brasil. **Journal of Coastal Research** **35**: 323-331.
- Saupe, A. C. & Mosimann, R. M. S. 2003. Diatomáceas (Bacillariophyta) preservadas nos sedimentos Holocênicos da Lagoa do Peri – Florianópolis – SC – Brasil. **Insula**, **32**: 33-61.
- Schelske, C.L.; Stoermer, E.F. 1971. Eutrophication, silica depletion and predicted changes in algal quality in Lake Michigan. **Science**, **173**: 423-424.
- Schelske, C.L.; Stoermer, E.F. 1972. Phosphorus, silica and eutropication of Lake Michigan. In: Likens, G. E. (ed.). **Nutrients and eutrophication**. Special Symposium Society Limnology and Oceanography, Vol I. p. 157-171.

- Schmid, A.M.M. 1984. Tricornate spines in *Thalassiosira eccentrica* as a result of valve-modelling. In: **Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Diatom Symposium**. Mann, D. G. (ed.). Koenigstein: O. Koeltz. p. 71-95.
- Schmidt, R.; Mäusbacher, R. & Müller, J. 1990. Holocene diatom flora and stratigraphy from sediment cores of two antarctic lakes (King George Island). **Journal of Paleolimnology**, **3**: 55-74.
- Schwarzbold, A. 1982. Influência da morfologia no balanço de substâncias e na distribuição de macrófitas aquáticas nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Schwarzbold, A. 2000. O que é um rio? **Ciência e Ambiente**, **21**: 57-68.
- Schwarzbold, A. & Schäfer, A. 1984. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul – Brasil. **Amazoniana**, **IX(1)**: 87-104.
- Senado Federal. 1997. **Relatório nº4 – Comissão “El nino”**. Disponível em: <<http://senado.gov.br/web/relatorios/elnino/fenomeno.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2009.
- Shaffer, G. P. & Sullivan, M. J. 1988. Water column productivity attributable to displaced benthic diatoms in well-mixed shallow estuaries. **Journal of Phycology**, **24**:132-140.
- Shennan, I. 1986. Flandrian sea-level changes in the Fenland. I: The geographical setting and evidence of relative sea-level change. **Journal of Quaternary Science**, **1**: 119-154.
- Shennan, I.; Innes, J.; Long, A. J. & Zong, Y. 1994. Late Devensian and Holocene, sea-level at Lochmann Eala near arisaig, northwest Scotland. **Journal of Quaternary science**, **9**: 261-284.
- Shennan, I.; Tooley, M.J.; Davis, M.J. & Haggart, B.A. 1983. Analysis and interpretation of Holocene sea-level data. **Nature**, **302**: 404-406.
- Shepard, F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology**, **24(3)**: 151-158.
- Sherrod, B.L.; Rollins, H.B. & Kenedy, S.K. 1989. Subrecent intertidal diatoms from St. Catherines Island, Georgia: Taphonomic complications. **Journal of Coastal Research**, **5**: 665-677.
- Shirata, M. T. 1985. Catálogo de Diatomáceas (Chrysophyta, Bacillariophyceae) de água doce do Estado do Paraná, Brasil. **Est. Biol.**, **13**: 1-64.
- Sicko-Goad, L; Stoermer, E. F. & Fahnenstiel, G. 1986. Rejuvenation of *Melosira granulata* resting cells from the anoxic sediments of Douglas Lake, Michigan. I. Light microscopy and <sup>14</sup>C uptake. **Journal of Phycology**, **22**: 22-28.
- Sicko-Goad, L; Stoermer, E. F. & Kociolek, J. P. 1989. Diatom resting cell rejuvenation and formation: Time course, species records and distribution. **Journal of Plankton Research**, **11**: 375-389.
- Simonsen, R. 1962: Untersuchungen zur Systematik und Ökologie der Bodendiatomeen der westlichen Ostsee. – **Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, Systematische Beihefte 1**: 1-144.
- Simonsen, R. 1979. The Diatom System: Ideas on Phylogeny. **Bacillaria**, **2**: 9-71.
- Simonsen, R. 1987. **Atlas and Catalogue of the Diatom Types of Friedrich Hustedt**. 3 Vols. Berlin & Stuttgart:J. Cramer.

- Siver, P.A. & Kling, H. 1997. Morphological observations of *Aulacoseira* using scanning electron microscopy. **Canadian Journal of Botany**, **75**: 1807-1835.
- Smol, J.P. 1992. Paleolimnology: An important tool for effective ecosystem management. **Journal of Aquatic Ecosystem Health**, **1**: 49-58.
- Snoeijs, P. Diatoms and environmental change in brackish waters. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds). **The Diatoms: Applications for the environmental and Earth Sciences**. Cambridge: University Press. p. 298-333.
- Souza, G. S.; Koenig, M. L.; Leça, E. E. & Coelho, M. P. C. A. 2007. Diatomáceas de paleoambientes do Quaternário de Dois Irmãos, Recife, PE, Brasil. **Acta botânica Brasileira**, **21(3)**: 521-529.
- Stabell, B. 1985. Development of the diatom flora in Prestvann, Tromsø, Northern Norway. **Norsk. Geologisk Tidsskrift**, **65**: 179-186.
- Steig, E. J.; Morse, D. L.; Waddington, E. D.; Stuiver, M.; Grootes, P. M.; Mayewski, P. A.; Twickler, M. S. & Whitlow, S. 2000. Wisconsinan and Holocene climate history from an ice core at Taylor Dome, western Ross Sea embayment, Antarctic. **Geografisk Annaler** **82(A)**: 213-235.
- Sterken, M.; Verleyen, E.; Sabbe, K.; Terryn, G.; Charlet, F.; Bertrand, S.; Boës, X.; Fagel, N.; De Batist, M. & Vyverman, W. 2008. Late Quaternary climatic change in southern Chile, as recorded in a diatom sequence of Lago Puyehue (40°40' S). **Journal of Paleolimnology**, **39(2)**: 219-235.
- Stockner, J.G. 1971. Preliminary characteristics of lakes in the Experimental Lakes Area, Northwestern Ontario, using diatom occurrences in the sediment. **J. Fish. Res. Bd. Canada**, **28**: 265-275.
- Stockner, J.G. & Benson, W.W. 1967. The succession of diatom assemblages in the recent sediments of Lake Washington. **Limnol. & Oceanogr.**, **12**: 513-532.
- Stockner, J. G. & Lund, J. W. G. 1970. Live algae in postglacial lake deposits. **Limnology and Oceanography**, **15**: 41-58.
- Stoermer, E.F. & Ladewski, T.B. 1982. Quantitative analysis of shape variation in type and modern populations of *Gomphonema herculeans*. Beihefte zur **Nova Hedwigia** **73**: 347-386.
- Stoermer, E.F. & Smol, J.P. 1999 **The diatoms: applications for the environmental and earth sciences**. Cambridge: University Press, 469 p.
- Stoermer, E.F. & Julius, M.L. 2003. Centric Diatoms. In: Wehr, J. D. & Sheath, R. G. (eds.). **Freshwater algae of North America: Ecology and classification**. London: Academic Press. p. 559 - 594.
- Stoermer, E.F.; Ladewski, T.B. & Kociolek, J.P. 1986. Further observations on *Gomphonema* In: Richard, H. (Ed.). **Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Diatom Symposium**. Koelnstein. O. Koeltz. p. 205-213.
- Suguio, K. 1998. **Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1222 p.
- Suguio, K. 1999. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Paulo's Editora. 366 p.
- Suguio, K. 2003. **Geologia Sedimentar**. São Paulo, Edgard Blücher LTDA, 400 p.
- Sullivan, M. J. 1978. Diatom community structure: Taxonomic and statistical analysis of a Mississippi Salt Marsh. **Journal of Phycology**, **14**: 468-475.

- Sundbäck, K.; Medlin, L. K. 1986. A light and electron microscopic study of the epipsamic diatom *Catenula adhaerens* Mereschowsky. *Diatom Research*, 1(2): 283-290.
- Tanimura, Y. & Sato, H. 1997. *Pseudopodosira kosugii*: a new Holocene diatom found to be a useful indicator to identify former sea-level. **Diatom Research**, 12(2): 357-368.
- Tappan, H. & Loeblich Jr., A. R. 1973. Evolution of the ocean plankton. **Earth Science Reviews** 9: 204-240.
- Ter Braak, C.J.F. 1986. Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, 67: 1167-1179.
- Ter Braak, C.J.F. & Prentice, I.C. 1988. The theory of gradient analysis. **Adv. Ecol. Res.**, 18: 271-313.
- Ter Braak, C.J.F. & Juggins, S. 1993. Weighted averaging partial least squares regression (WA-PLS): An improved method for reconstructing environmental variables from species assemblages. **Hydrobiologia**, 269/270: 485-502.
- Thompson, L. G.; Mosley-Thompson, E.; Davis, M. E.; Lin, P.-N.; Henderson, K. A.; Cole-Dai, J.; Bolzna, J. F. & Liu, K. -B. 1995. Late glacial stage and Holocene tropical ice core records from Huascarán Peru. **Science** 269: 46 – 50.
- Tolonen, K. & Jaakkola, T. 1983. History of lake acidification and air pollution studied on sediments in South Finland. **Ann. Bot. Fenn.**, 20: 57-78.
- Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, 18(1): 13-24.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J.A. 2000. O Cenozóico costeiro do Rio Grande do Sul. *In*: Holz, M. & De Ros, L. F. (eds.). **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Edições CIGO/UFRGS, p. 375-406.
- Torgan, L. C. 1997. **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica da laguna dos Patos, RS, Brasil em um ciclo anual**. Tese. Universidade Federal de São Carlos, São Paulo. 248 p.
- Torgan, L.C. & Biancamano, M.I. 1991. Catálogo das diatomáceas (Bacillariophyceae) referidas para o Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, no período de 1973 a 1990. **Caderno de Pesquisa Série Botânica**, 3(1): 1-201.
- Torgan, L.C.; Becker, V. & Prates, H.M. 1999 Checklist das diatomáceas (Bacillariophyceae) de ambientes de águas continentais e costeiras do Estado do Rio Grande do Sul. **Iheringia Séria Botânica**, 52: 89-144.
- Torgan, L. C.; Pillar, V. D. & Niencheski, L. F. 2006. Phytoplankton associations of a coastal lagoon in south of Brazil. **Journal of Coastal Research**, SI 39: 1149-1151.
- Valente-Moreira, I.M. 1975. Contribuição ao estudo das Bacillariophyceas (Diatomáceas) em Diatomitos Brasileiros. **Acta Biológica Paranaense**, 4(3,4): 135-198.
- Valentin, J. L. 2000. **Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência. 117 p.
- Van Dam, H.; Mertens A. & Skindellam, J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwaters diatoms from Netherlands. **Netherland Journal of Aquatic Ecology**, 28(1):117-133.

- Van den Hoek, C.; Mann, D.G.; Jahns, H. M. 1995. **Algae: an Introduction to Phycology**. Cambridge: Cambridge University Press. 627 p.
- Van Landingham, S. L. 1970. Origin of an early non-marine diatomaceous deposit in Broadwater Country, Montana, USA. **Nova Hedwigia**, **31**: 449-484.
- Verschuren, D.; Laird, K.R. & Cumming, B.F. 2000. Rainfall and drought in equatorial east Africa during the past 1,100 years. **Nature**, **403**: 410-414.
- Villwock, J.A., 1984. Geology of the coastal province of Rio Grande do Sul, southern Brazil: A synthesis. **Pesquisas**, **16**: 5-49.
- Villwock, J.A. & Tomazelli, L.J. 1995. Geologia costeira do Rio Grande do Sul. **Notas Técnicas**, **8**: 1-45.
- Villwock, J.A. ; Dehnhardt, E.A. ; Loss, E.L. ; Hofmeister, T. 1980. Turfas da Provincia Costeira do Rio Grande do Sul: Geologia do Depósito Águas Claras. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 31, Balneário Camboriú. **Anais...** p. 500-514.
- Vos, P. & De Wolf, H. 1993. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands, methodological aspects. **Hydrobiologia**, **269/270**: 285-296.
- Vos, P. & De Wolf, H. 1994. Paleoenvironmental research on diatoms in early and middle Holocene deposits in central North Holland (The Netherlands). **Netherlands Journal of aquatic Ecology**, **28**: 97-115.
- Watanabe, T. & Asai, K. 1996. Diatoms on the pH gradient from 1.0 to 12.5. **Proceeding of the 14<sup>th</sup> Diatom Symposium**, p. 384 – 412.
- Webster, K.E.; Kratz, T.K. Bowser, C.J. & Magnusson, J.J. 1996. The influence of landscape position on lake chemical responses to drought in northern Wisconsin. **Limnology and Oceanography**, **41**: 977-984.
- Werner, D. 1977. Introduction with a note on taxonomical diatom studies. In:\_\_\_\_\_. **The Biology of Diatoms**. Los Angeles: University of California Press. 498 p.
- Weschenfelder, J.; Medeanic, S.; Corrêa, I. C. S. & Aliotta, S. 2008. Holocene Paleoinlet of the Bojuru Region, Lagoa dos Patos, Southern Brazil. **Journal of Coastal Research**, **24 (1a)**: 99-109.
- Wetzel, R.G. 1993. **Limnologia**. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian. 1012 p.
- Whitmore, T. J. 1989. Florida diatom assemblage as indicators of trophic state and pH. **Limnol. Oceanogr.**, **34 (5)**: 882-895.
- Wilderman, C. C. 1984. **The floristic composition and distribution patterns of diatom assemblages in the Severn River Estuary; Maryland**, 678 pp. PhD dissertation, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland.
- Witkowski, A.; Lange-Bertalot, H.; Metzeltin, D. 2000. **Diatom flora of marine coasts I**. In: H. Lange-Bertalot (ed.), *Iconographia diatomologica*. v. 7, 925p.
- Wolf, H. de 1982. Method of coding of ecological data from diatoms for computer utilization. **Meded. Rijks Geol. Dienst.**, **36**: 95-98.
- Wolin, J.A. & Duthie, H.C. 1999. Diatoms as indicators of water level change in freshwater lakes. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds). **The diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences**. Cambridge: Cambridge University Press. p. 183-202.

- Wornardt Jr, W. W. 1967. Diatoms, Past, Present, Future. **Proc.1<sup>st</sup>.Int.Conf.Plank.Microfoss.**, p. 690-714.
- Yang, J.R. & Duthie, H.C. 1995. Regression and weighted averaging models relating surficial diatom assemblages to water depth in Lake Ontario. **Journal of Great lakes Research**, **21**: 84-94.
- Zalat, A. A. 2000. Distribution and Paleoecological significance of fossil diatom assemblages from the Holocene sediments of Lake Manzala, Egypt. **Diatom Research**, **15(1)**: 167-190.
- Zong, Y. 1997. Implications of *Paralia sulcata* abundance in Scottish Isolation Basins. **Diatom Research**, **12(1)**: 125-150.



Anexo A - continuação

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21
<i>Navicula symmetrica</i>											0,3		0,6					0,7			
<i>Nitzschia</i> aff. <i>sigma</i>									0,6				0,6								
<i>Nitzschia amphibia</i>										0,6											
<i>Nitzschia dissipata</i>																			0,6		
<i>Nitzschia palea</i>											0,6										
<i>Nitzschia rochensis</i>						1,3															
<i>Nitzschia</i> sp. 05												0,6									
<i>Nitzschia</i> sp. 10																			1,7		0,7
<i>Nitzschia</i> sp. 15													0,6								
<i>Nitzschia</i> sp. 17									0,6												
<i>Nitzschia</i> sp. 19																					0,7
<i>Opephora marina</i>			3,0	0,6					0,6	0,6			0,6		0,6				0,6		1,3
Penada 1	4,3								3,2			1,2	11,8						13,9		5,9
<i>Pinnularia</i> sp. 3											0,6										
<i>Placoneis porifera</i> var. <i>opportuna</i>							0,3								2,6	0,3					
<i>Placoneis</i> sp. 2		0,6																			
<i>Planothidium rostratum</i>												0,6	0,6		0,6	0,6	0,3			2,8	
<i>Pleurosira laevis</i>		3,5																			
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>	1,2		0,9															1,6	0,6		1,3
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>	0,6	0,6					1,7				1,7	1,2	0,6							5,6	1,6
<i>Rhizosolenia</i> spp.									2,5												
<i>Rhopalodia gibberula</i>		1,2	0,3			2,5			1,9	1,2	0,6	0,6	1,8			2,1		0,7			0,7
<i>Rhopalodia rumrichiae</i>		1,4														3,6	0,6		1,1		1,3
<i>Staurosira</i> sp. 1				1,2							0,6										
<i>Staurosirella</i> sp. 1 F2	0,6	0,6		1,2																	
<i>Staurosirella</i> sp. 1 F1			0,6	0,6	0,6	1,9	1,7		5,1		0,6	1,8	8,5		1,9		2,9				
<i>Staurosirella</i> sp. 2 F1																1,5					
<i>Surirella</i> <i>rorata</i>		0,6		0,6			0,6			0,6			0,6		1,3	0,6		0,7			0,7
<i>Surirella</i> sp. 2																0,6					0,7
<i>Synedra tabulata</i> var. <i>obtusata</i>		0,6				0,6			0,6			1,8			0,6				0,6		
<i>Tabularia fasciculata</i>		1,7																			
<i>Terpsinoe musica</i>							0,6			3,0					6,7	3,0	3,2	3,9			
<i>Thalassiosira wongii</i>		3,7		0,6	2,8																
<i>Tryblionella hungarica</i>									0,6							0,3				1,7	
<i>Tryblionella victoricae</i>		1,2	0,6		0,8	1,3		1,7	1,3	1,8		1,8	1,2		0,3		2,5	0,7	2,2		0,7
<b>TOTAL (%)</b>	<b>100</b>																				
<b>Número de valvas consideradas</b>	350	351	331	338	353	315	365	348	318	330	357	338	341	334	312	334	315	307	372	305	309
<b>Numero de Táxons</b>	13	28	20	15	10	15	15	10	28	20	20	21	25	8	19	19	16	14	32	8	29
<b>Eficiência da contagem %</b>	96,3	92,0	94,0	95,6	97,2	95,2	95,9	97,1	91,2	93,9	94,4	93,8	92,7	97,6	93,9	94,3	94,9	95,4	91,4	97,4	90,6





Anexo B - continuação

	M22	M23	M24	M25	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43
Penada 07			0,6																			
<i>Placoneis clementis</i>																	0,6	0,6			1,6	
<i>Placoneis porifera</i> var. <i>opportuna</i>																		0,6		2,4		
<i>Placoneis</i> sp. 2			0,6																			
<i>Planothidium rostratum</i>				1,0			0,7			0,6	0,6											
<i>Planothidium</i> sp. 01													4,9	3,2		1,2	8,2	4,1		0,9		1,9
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>			1,2	0,7							0,6	5,6	7,5	1,9		1,8						
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>		1,3	1,2			9,5	2,0		0,6	3,2	1,8	6,8	0,7	4,9		1,2	3,1	1,3				
<i>Rhizosolenia</i> spp.		7,0						0,6														
<i>Rhopalodia gibba</i>												1,3										
<i>Rhopalodia gibberula</i>	4,3		0,6	1,6		0,6		6,5	15,7	5,4		5,0	4,3	1,9		1,2	2,5	1,9				0,6
<i>Staurosirella</i> sp. 01 F2					1,3																	
<i>Staurosira construens</i>					13,7																	
<i>Stephanodiscus ast... v. minutula</i>		0,7	0,6	1,3																		
<i>Surirella rorata</i>							0,7		0,6								0,9				0,8	
<i>Surirella</i> sp. 02									0,6													
<i>Synedra tabulata</i> var. <i>obtusa</i>					0,6		2,2		0,9					2,3								
<i>Tabularia fasciculata</i>									1,8	0,6												7,3
<i>Terpsinoe musica</i>	7,0			0,7																		
<i>Thalassiosira wongii</i>			3,1	0,7			1,2	0,6		1,2	5,6											
<i>Tryblionella hungarica</i>							0,6	2,4	1,3	1,8	1,2	2,0	1,9			1,2	1,9	0,6				3,2
<i>Tryblionella</i> sp. 05							0,6															
<i>Tryblionella</i> sp. 07		0,7																				
<i>Tryblionella victoricae</i>		2,0	0,6		0,6	1,2	6,2	2,5	3,6		3,6	9,9	2,6	3,9		0,6	2,2	2,5				3,0
<b>TOTAL (%)</b>	<b>100</b>																					
<b>Número de valvas consideradas</b>	301	301	327	306	320	337	305	321	334	319	333	327	309	313		332	323	316	322	331	371	317
<b>Numero de Táxons</b>	12	31	27	19	24	21	18	29	26	23	26	33	30	27		30	24	22	5	8	17	15
<b>Eficiência da contagem %</b>	96,0	89,7	91,7	93,8	92,5	93,8	94,1	91,0	92,2	92,8	92,2	89,9	90,3	91,4		91,0	92,6	93,0	98,4	97,6	95,4	95,3



**Anexo C - continuação**

	M44	M45	M46	M47	M48	M49	M50	M51	M52	M53	M54	M55	M56	M57	M58	M59	M60	M61	M62	M63	M64
<i>Nitzschia</i> sp. 13														0,6							
<i>Nitzschia</i> sp. 15																0,6					
<i>Opephora marina</i>	7,6	11,9														3,6			2,0		
Penada 01	0,6	0,6										0,5		0,6	1,5				3,4	0,6	
<i>Placoneis clementis</i>																				1,3	
<i>Placoneis porifera</i> var. <i>opportunna</i>				7,0		0,6	0,6	10,4		6,3		2,4								4,6	
<i>Placoneis</i> sp. 03																	1,0				
<i>Planothidium rostratum</i>		18,8	4,7	3,5	0,6	1,8	2,0				0,6	3,7	0,5		1,2	14,9	10,3	17,2			
<i>Planothidium</i> sp. 01	3,3	1,1																			
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i>		4,8																			
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>		0,6	8,7	0,5											0,6	0,6				0,6	
<i>Rhopalodia gibberula</i>							0,6							22,7	10,8		0,5				
<i>Surirella rostrata</i>													0,5								
<i>Tabularia fasciculata</i>																			13,3	13,9	41,3
<i>Thalassiosira wongii</i>																			1,8		
<i>Tryblionella hungarica</i>		0,6	1,2											0,6			1,5			0,6	
<i>Tryblionella</i> sp. 04														0,6							
<i>Tryblionella</i> sp. 05	0,6																				
<i>Tryblionella victoriae</i>		4,8					2,9					0,5	0,5	3,6			1,8	1,5	0,6	0,6	
<b>TOTAL (%)</b>	<b>100</b>		<b>100</b>																		
<b>Número de valvas consideradas</b>	331	352	321	371	319	325	350	336		112	325	374	391	331	333	335	389	390	353	334	
<b>Numero de Táxons</b>	15	20	17	15	7	9	10	8		10	7	13	11	15	10	15	16	13	12	12	
<b>Eficiência da contagem %</b>	95,5	94,3	94,7	96,0	97,8	97,2	97,1	97,6		91,1	97,8	96,5	97,2	95,5	97,0	95,5	95,9	96,7	96,6	96,4	

## Anexo D

### Distribuição e abundância (%) das espécies do segmento 4

ESPÉCIES	M65	M66	M67	M68	M69	M70	M71	M72	M73	M74	M75	M76	M77	M78	M79	M80	M81	M82	M83	M84	M85	M86	M87	M88	M89
<i>Achnanthes</i> sp. 8																			0,6	2,4	12,9	1,8		0,6	3,5
<i>Achnanthidium exiguum</i>																					2,5	2,4	1,8	1,2	0,6
<i>Amphora</i> sp. 5																								1,2	0,6
<i>Aulacoseira granulata</i>																			24,8	7,3	2,2	2,1	6,7	1,6	6,9
<i>Aulacoseira muzzanensis</i>																			6,3	1,2					
<i>Aulacoseira</i> sp. 1																			5,0	19,1	3,7	1,2	6,1	2,5	20,2
<i>Catenula adhaerens</i>																			1,9	1,2	1,8				
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>lineata</i>																			8,5	10,0	26,5	39,9	31,3	49,1	23,1
<i>Cocconeis</i> sp.																					5,2	1,2	2,4	1,9	0,6
<i>Diploneis smithii</i>																								0,6	0,6
<i>Encyonema</i> sp. 1																				0,6		3,6	5,5	2,5	1,7
<i>Eunotia</i> sp. 2																				0,6		0,6			
<i>Martyana martyi</i> var. <i>martyi</i>																			28,5	27,0	14,5	14,8	15,8	7,1	16,8
<i>Melosira undulata</i>																			9,1	1,5	0,6			0,6	
<i>Opephora marina</i>																							0,6		
<i>Placoneis clementis</i>																									0,6
<i>Placoneis porifera</i> var. <i>opportuna</i>																			2,2	9,4	8,6	10,7	9,1	9,0	11,6
<i>Placoneis</i> sp. 2																								0,6	1,2
<i>Planothidium apiculatum</i>																						3,3	2,1	1,9	0,6
<i>Planothidium rostratum</i>																			12,5	18,5	21,5	18,6	15,8	18,9	11,6
<i>Pseudostaurosira brevistriata</i> var. <i>inflata</i>																			0,6				2,1	0,6	
<i>Staurosira construens</i>																					1,2		0,6		
<b>TOTAL (%)</b>																			<b>100</b>						
<b>Número de valvas consideradas</b>																			321	330	325	338	335	322	346
<b>Numero de Táxons</b>																			12	13	11	12	14	16	15
<b>Eficiência da contagem %</b>																			96,3	96,1	96,6	96,4	95,8	95,0	95,7