



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



Fábio Campos Pamplona Ribeiro

Palinomorfos Aquáticos (Diatomáceas) em Sedimentos Lamosos de
Intermaré da Praia de Itupanema, Município de Barcarena-Pará

Belém
2007



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



Fábio Campos Pamplona Ribeiro

Palinomorfos Aquáticos (Diatomáceas) em Sedimentos Lamosos de Inter-maré da Praia de Itupanema, Município de Barcarena-Pará

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Botânica Tropical, para obtenção do título de Mestre em Botânica.

Orientadora: Profa. Dra. Cristina do Socorro Fernandes de Senna.

Belém
2007



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI



Fábio Campos Pamplona Ribeiro

Palinomorfos Aquáticos (Diatomáceas) em Sedimentos Lamosos de Intermaré da Praia de Itupanema, Município de Barcarena-Pará

Aprovada em 25 de abril de 2007.

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Cristina do Socorro Fernandes de Senna
Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)
Orientadora

Prof. Dr. Rosildo Santos Paiva
Universidade Federal do Pará (UFPA)
1º Examinador

Profa. Dra. Lezilda Carvalho Torgan
Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZB)
2º Examinador

Profa. Dra. Regina Célia Tavares Lobato
Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)
3º Examinador

Prof. Dr. Márcio Roberto Pietrobom da Silva
Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG)
Suplente

A Deus pela vida concedida, pela proteção, pela força por tudo que tenho e pelo que sou até hoje e que, sem Ele, nada seria possível.

Aos meus pais, Raimundo Rosemiro Pamplona Ribeiro e Margarida Cutrim Campos.

Aos meus irmãos, Wagner e Flaviana Campos Pamplona Ribeiro.

À, nossa muito amada princesinha, Ana Clara G. Pamplona Ribeiro.

À minha querida vovó Ana Cutrim Campos.

Aos meus queridos e amados avós Jacytatá Pamplona Ribeiro (*in memoriam*) e Claudionor Pamplona Ribeiro.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder a vida.

Aos meus pais, Raimundo Rosemiro Pamplona Ribeiro e Margarida Cutrim Campos, por seus amores incondicionais, pela minha formação e pelos cuidados durante minha vida. Agradeço a Deus por suas existências em minha vida.

Aos meus irmãos, Wagner e Flaviana Campos Pamplona Ribeiro, por fazerem parte de minha vida, por torcerem por mim, pela amizade e pelo amor.

À minha amiga e orientadora, Profa. Dra. Cristina do Socorro Fernandes de Senna, grande exemplo de pesquisadora, pelos grandes ensinamentos, pela paciência, pelos vários momentos de descontração, pelo incentivo, por sua luta incansável pela ciência e, principalmente, por sempre ter acreditado e confiado em meu potencial.

Às pesquisadoras Ivete Nascimento e Ana Lúcia Nunes, pela amizade, pelos momentos de descontração e pelos ensinamentos.

À Profa. Dra. Lezilda Carvalho Torgan, da Fundação Zoobotânica (FZB), do Rio Grande do Sul, pelo auxílio na identificação das espécies e pelas importantes sugestões.

À Dra. Ana Luiza Kerti Mangabeira Albernaz, pelas análises estatísticas e pelas sugestões.

Ao Prof. M.Sc. Paulo Roberto do Canto Lopes, pelo financiamento que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de sala: Ana Bernadette Leão, Brenda Costa, Lívia Rodrigues, Elves Barreto; aos novos e não menos importantes integrantes desta grande família: Silvana Rocha, Anna Christina Dias, Cleberson Serrão e Lygia Nassar. Obrigado pela torcida e pela amizade!

Aos meus amigos de graduação: Célio Gelmirez, Roseth Valente, Leiliany Negrão, Denys Xavier, Fabrício Sarmiento, Neusa Renata Emim e Hínglia Moura.

Aos meus amigos e companheiros de mestrado: Alcindo Junior, Flávia Farias, Jefferson Costa, Isadora França, Ana Paula Freitas, Shirley Prata e Sérgio Alves.

Aos eternos amigos: Ana Patrícia Palheta, Anne Pantoja, Danielle Fayal, Eliane Brabo, Laura Miglio, Paola Vieira, Vanessa Furtado e Wylfredo Pragana.

Ao amigo e primeiro mentor, Prof. Dr. Rosildo Santos Paiva, pelos primeiros ensinamentos a respeito de algas.

Aos amigos da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA): Caio Aguiar, Nuno Melo, Fábio Cardoso, Marcelo Moreno e companhia, pelos momentos de descontração.

Ao técnico e amigo, José Paulo Sarmiento, da Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia, do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), pela sua amizade e ajuda imprescindível, durante todas as etapas deste trabalho.

Ao técnico e amigo, Luis Carlos Batista Lobato, da Coordenação de Botânica, do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), pela identificação das diferentes espécies vegetais integrantes da área de estudo.

Ao Dr. Hilton Tulio Costi, pela paciência e pelo auxílio na geração das eletromicrofotografias de varredura.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

À Companhia Vale do Rio Doce, pelo financiamento à pesquisa.

A todos os professores da pós-graduação em Botânica Tropical.

Enfim, a todos aqueles que torceram por mim!
Muito obrigado!

Paciência e perseverança têm o efeito mágico de fazer as dificuldades desaparecerem e os obstáculos sumirem.

Jonh Quincy Adams

RESUMO

A praia de Itupanema (01° 31' 03" S e 48° 43' 27" W), que integra o setor Continental Estuarino do estado do Pará, Amazônia, foi a área de estudo escolhida para a análise de diatomáceas atuais e pretéritas presentes na zona intermaré, em diferentes substratos sedimentares. Primeiramente, foram definidas a composição, abundância e riqueza das diatomáceas presentes nos sedimentos superficiais, uma vez que os táxons respondem a fatores como sedimentação, afinidade ao substrato e condições morfo-hidrodinâmicas atuantes na praia. Para tal, foram coletadas 10 amostras de superfície, ao longo de duas transecções ortogonais a linha de praia em intervalos de 5m, utilizando-se métodos convencionais empregados para diatomáceas em sedimento. Como resultado, ocorreram 58 espécies, sendo 82,75% bentônicas/epifíticas e 17,25% planctônicas. As espécies mais abundantes e freqüentes foram *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Thalassiosira* sp., *Staurosira obtusa* (Hustedt) Garcia, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann, *Gomphonema* sp2, *Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Round & Bukht, *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Encyonema minuta* (Hilse) Mann, *Nitzschia amphibia* Grune e *Frustulia* sp. Os dados também revelaram a influência da relação areia/argila sobre a composição e a abundância das diatomáceas, o que pode explicar a prevalência local de agrupamentos de espécies ora planctônicas, ora bentônicas na zona intermaré, como resposta aos processos hidrodinâmicos atuais. A vegetação herbácea apresentou uma provável contribuição na redução da energia das ondas e marés, retendo os sedimentos finos argilosos, promovendo assim, a redução de processos de abrasão na zona intermaré e a conseqüente preservação dos táxons planctônicos. Em um segundo momento, objetivou-se reconstruir a história paleoecológica da Praia de Itupanema, com a determinação da composição, abundância e riqueza das assembléias ao longo de testemunhos sedimentares. Estes dados foram então correlacionados com variáveis físicas e químicas e datações ¹⁴C, determinando-se ecozonas e correlações bioestratigráficas, aliados aos dados de superfície. Foram coletados cinco testemunhos sedimentares IT1 (42 cm), IT2 (20 cm), IT3 (36 cm), IT4 (42 cm) e IT5 (44 cm). A análise diatomológica das amostras provenientes dos testemunhos revelou 48 táxons, cujos dados de abundância e freqüência de ocorrência, somados aos dados de ecologia e distribuição, análise de nutrientes, tipo de sedimento, subsidiados por análises estatísticas multivariadas, evidenciaram 3 ecozonas. A ecozona inferior (sedimentos arenosos), idade A.D. 1.020, datada em IT1, também presente em IT3, IT4 e IT5. Os táxons bentônicos *Staurosira obtusa*, *Staurosira crassa* e *Staurosirella pinnata* foram mais abundantes, indicando um ambiente deposicional raso, de alta energia. A ecozona intermediária é lamosa (26-10 cm), definida apenas em IT1, datada em A.D. 1430 (20-22cm). Os mesmos táxons bentônicos subjacentes reduziram sua abundância, enquanto as espécies planctônicas *Thalassiosira* sp. e *T. eccentrica* e *Aulacoseira granulata*, tornaram-se mais abundantes, evidenciando um ambiente deposicional mais calmo e de águas mais profundas. Na ecozona superior, presente nos cinco testemunhos, com idade subatual e composta por sedimentos argilo-orgânicos a orgânicos no topo, *Thalassiosira* sp. e *A. granulata* atingiram os maiores valores de abundância relativa, contrariamente aos valores observados para os táxons bentônicos, indicando ambiente deposicional também calmo, porém com maior energia que o anterior, evidenciado pela alta abundância de *A. granulata*, fortemente silicificada. Os resultados mostraram que a distribuição de assembléias diatomológicas é fortemente controlada pelos processos hidrodinâmicos, influenciando a relação areia/argila, corroborado principalmente, pela preservação dos gêneros planctônicos em sedimentos lamosos. A ação destes processos nas assembléias diatomológicas, foi evidenciada tanto no presente, como durante o último milênio.

Palavras-chave: Diatomáceas, hidrodinâmica, estuário, Amazônia.

ABSTRACT

The Itupanema Beach (01° 31' 03" S e 48° 43' 27" W), that integrate integrates the estuarine continental sector of the Pará State, Amazon, was the study area selected for analysis of actual and preterite diatoms encountered on intertidal zone, in different sedimentary strata. Firstly, were defined the composition, abundance e richness of diatoms on superficial sediments from intertidal zone and how the taxa respond to factors such as sedimentation, affinity substrat and morfo-hydrodynamics conditions that act on the beach. For reach all aims, were collected 10 surface samples, along two orthogonal transects in 5m intervals, and diatoms analysis following standard techniques. In the surface samples, occurred 58 species, being 82,75% benthic/epiphytic and 17,25% planktonic species. The more abundant and frequent species were *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Thalassiosira* sp, *Staurosira obtusa* (Hustedt) Garcia, *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann, *Gomphonema* sp2, *Planothidium lanceolatum* (Brébisson) Round & Bukht, *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Encyonema minuta* (Hilse) Mann, *Nitzschia amphibia* Grun and *Frustulia* sp. The data also revealed that the sedimentary ratio sand/clay was influenced by actual hydrodynamic processes, probably determining the local prevalence of planktonic species groups or benthic species groups on the intertidal zone, in terms of the composition and the abundance of diatoms species. The aquatic herbaceous vegetation had a possible role on the reduction the both energy waves and tidal current velocities, and the retention of muddy sediments, with the reduction of abrasion processes in the intertidal zone and consequently preserving planktonic taxa. In a second moment, aim to reconstruct the palaeoecologic history of the Itupanema Beach, with a determination of composition, abundance and richness of assemblage along to sedimentary cores. These data was correlated with physical-chemical variables and dating ¹⁴C, determing ecozones and biostratigraphic correlations, correlated to surface data. The five sediment cores IT1 (42 cm), IT2 (20 cm), IT3 (36 cm), IT4 (42 cm) and IT5 (44 cm) were collected. The diatom analysis of samples from cores, revealed 48 species, whose abundance and ocorrence frequence data, summed to ecology and distribution one, nutrient analysis, sediment type, subsidized by multivariate statistics, evidencied three ecozones. In inferior ecozone (sandy sediments), A.D. 1020 age (dated in IT1), is correlated in IT3, IT4 and IT5. The benthic taxa *Staurosira obtusa*, *Staurosira crassa* and *Staurosirella pinnata* were more abundant, indicate a shallow depositional environment, with high energy. The intermediary muddy ecozone (26-10 cm) occurred only in IT1, dated A.D. 1430 (20-22 cm). The same subjacent benthic taxa reduced its abundance, while the planktonic *Thalassiosira* sp1, *T. eccentrica* and *Aulacoseira granulata*, become more abundant, evidencing a calmer depositional environment, within deeper waters. In the upper ecozone, correlated in the five cores, subactual age, with organic-clay to organic sediments in the top, *Thalassiosira* sp., *A. granulata* reached the highest values of relative abundance, in contrast to observed values for benthic taxa, indicating a calmer depositional environment, however with higher energy than the previous one, due to high abundance of *A. granulata*, strongly silicified. The results showed that the diatom assemblages distribution is strongly controlled by hydrodynamics processes, influencing the ratio sand/clay, evidenced mainly, through of planktonic specie preservation on muddy sediments. The action of theses processes on diatom assemblages, was evidenced on both present and during the last millennium.

Key-words: Diatoms, hydrodynamic, estuary, Amazon.

SUMÁRIO

	p.
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	14
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 RESUMO GERAL	16
1.2 APRESENTAÇÃO	17
1.3 REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 2: DIATOMÁCEAS EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS NA PLANÍCIE DE MARÉ DA PRAIA DE ITUPANEMA, ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA	26
2.1 RESUMO	27
2.2 ABSTRACT	28
2.3 INTRODUÇÃO	29
2.4 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.4.1 Caracterização da Área de Estudo	30
2.4.2 Metodologia de Campo	32
2.4.3 Metodologia de Laboratório	32
2.5 RESULTADOS	33
2.5.1 Características das Amostras Sedimentares	33
2.5.2 Composição Taxonômica	34
2.5.3 Riqueza de Espécies	36
2.5.4 Abundância, Freqüência de Ocorrência e Ecologia das Espécies	36
2.5.5 Análise de Agrupamentos das Espécies	41
2.6 DISCUSSÃO	43
2.7 CONCLUSÕES	47
2.8 AGRADECIMENTOS	47
2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
CAPÍTULO 3: MUDANÇAS HIDRODINÂMICAS NA PRAIA DE ITUPANEMA, SETOR ESTUARINO DO ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA, DURANTE O ÚLTIMO MILÊNIO	51
3.1 RESUMO	52
3.2 ABSTRACT	53
3.3 INTRODUÇÃO	54
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	55
3.4.1 Área de Estudo	55
3.4.2 Metodologia de Campo	58
3.4.3 Metodologia de Laboratório	58
3.4.4 Índices Ecológicos	59
3.4.5 Análises Estatísticas	59
3.5 RESULTADOS	60
3.5.1 Características Sedimentares dos Testemunhos	60
3.5.2 Salinidade, EH e pH	61
3.5.3 Análise Diatomológica	62
3.5.4 Testemunho Itupanema 1	63
3.5.5 Testemunho Itupanema 2	64

3.5.6 Testemunho Itupanema 3, 4 e 5	64
3.5.7 Índices Ecológicos	67
3.5.8 Análises Estatísticas	68
3.6 DISCUSSÃO	72
3.6.1 Reconstruções Paleoambientais e Paleohidrodinâmicas	72
3.7 AGRADECIMENTOS	77
3.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CAPÍTULO 4: CONCLUSÕES	82
APÊNDICES	85
APÊNDICE A – Glossário de termos técnicos	86
APÊNDICE B – Espécies numericamente mais representativas encontradas nas amostras de sedimento superficial da praia de Itupanema.....	89
APÊNDICE C – Espécies numericamente mais representativas presentes nos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5 coletados na Praia de Itupanema.....	90
APÊNDICE D – Variáveis químicas quantificadas segundo técnicas convencionais de análise de solos descritas por Tomé Junior (1997).....	91
ANEXOS	93
ANEXO A – Normas gerais para publicação de artigos na Revista Rodriguésia	94
ANEXO B – Normas gerais para publicação de artigos na Acta Botanica Brasílica .	98

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1	p.
Figura 1: Mapa de localização dos Setores da Zona Costeira Paraense: Setor 1) Costa Atlântica do Salgado Paraense; Setor 2) Insular Estuarino; Setor 3) Continental Estuarino (abrangendo a praia de Itupanema)	18
Figura 2: Modelo esquemático da frústula de uma diatomácea	19
Figura 3: Morfologia básica de diatomáceas cêntricas e penadas, principais elementos e ornamentações, formas solitárias e coloniais	20
CAPÍTULO 2	
Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, com destaque para as coletas, na Praia de Itupanema, Barcarena, Pará	31
Figura 2: Número de espécies (planctônicas e bentônicas/epifíticas) nas amostras de sedimentos superficiais da praia de Itupanema.	36
Figura 3: Abundância relativa das espécies numericamente mais representativas, ao longo das amostras	39
Figura 4: Frequência de ocorrência das espécies em sedimentos superficiais da praia de Itupanema, Pará	40
Figura 5: Análise de agrupamento das amostras de sedimentos superficiais da praia de Itupanema	41
Figura 6: Ordenação dos táxons e amostras superficiais da praia de Itupanema	43
CAPÍTULO 3	
Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, com destaque para o ponto de coleta, na Praia de Itupanema, Barcarena, Pará	56
Figura 2: Os testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5, com datações radiocarbônicas, profundidades e diferentes estratos sedimentares descritos na legenda explicativa ...	60
Figura 3: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT1	66
Figura 4: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT2.	66
Figura 5: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT3	66
Figura 6: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT4	67
Figura 7: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT5	67
Figura 8: Ordenação da Análise de Correspondência dos táxons e intervalos de profundidade dos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5	71
Figura 9: Ordenação da Análise de Componentes Principais das variáveis químicas (C, Na, CTC, Al e P) em diferentes profundidades dos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2	p.
Tabela 1: Peso e características de coloração e de textura das amostras sedimentares de superfície coletadas na praia de Itupanema/Pará.....	33
Tabela 2: Composição florística e classificação taxonômica de diatomáceas encontradas nos sedimentos superficiais de intermaré da praia de Itupanema/Pará ...	34
Tabela 3: Ecologia das principais espécies de diatomáceas encontradas nos sedimentos superficiais da Praia de Itupanema, Pará	37
Tabela 4: “Eingenvalues” e variância explicada encontrados na AC das espécies nas amostras superficiais da Praia de Itupanema, Pará	42
CAPÍTULO 3	
Tabela 1: Métodos aplicados às análises de solos	59
Tabela 2: Medidas de salinidade, EH e pH mensuradas ao longo dos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5	61
Tabela 3: Ecologia das principais espécies de diatomáceas encontradas nos sedimentos na Praia de Itupanema, Pará	62
Tabela 4: “Eingenvalues” e variância explicada encontrados na Análise de Correspondência das espécies e intervalos nos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5.....	69
Tabela 5: “Eingenvalues” e variância explicada encontrados na Análise de Componentes Principais das variáveis químicas e intervalos nos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5	70
Tabela 6: Tabela de contingência com variáveis químicas. Com variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais.....	70

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO GERAL

1.1 RESUMO GERAL

A praia de Itupanema (01° 31' 03" S e 48° 43' 27" W), que integra o setor Continental Estuarino do estado do Pará, Amazônia, foi a área de estudo escolhida para a análise de diatomáceas atuais e pretéritas presentes na zona intermaré, em diferentes substratos sedimentares.

Esta dissertação está organizada em quatro capítulos.

No Capítulo 1, intitulado *Introdução Geral*, inicialmente, descreve-se algumas características da zona costeira do Pará como, por exemplo, sua cobertura vegetal, suas características geomorfológica e fisiográfica e a inserção da área de estudo neste contexto. Em seguida, mostra-se a importância do fitoplâncton em estuários e de sua composição. As diatomáceas são apresentadas como principal componente do fitoplâncton de estuários e de ambientes costeiros rasos, situação contextualizada no estuário Guajarinó. Adiante, são apresentados, com base em estudos relacionados à caracterização do Quaternário, realizados no Brasil, e às pesquisas atuais no Pará, os aspectos biológico e ecológico das diatomáceas, assim como sua importância nos estudos de reconstruções paleoambientais. Finalmente, a justificativa, os objetivos e a metodologia de análise para alcançá-los são apresentados.

O Capítulo 2, intitulado *Diatomáceas em Sedimentos Superficiais na Planície de Maré da Praia de Itupanema, Estado do Pará, Amazônia*, apresenta um estudo da composição, da abundância e da riqueza das diatomáceas de sedimentos superficiais presentes na zona intermaré da Praia de Itupanema, relacionando esses atributos à hidrodinâmica atual, evidenciada pela textura dos sedimentos.

O Capítulo 3, intitulado *Mudanças Hidrodinâmicas na Praia de Itupanema, Setor Estuarino do Estado do Pará, Amazônia, Durante o Último Milênio*, trata do estudo de diatomáceas coletadas ao longo da coluna estratigráficas de cinco testemunhos sedimentares, coletados na planície intermaré da praia de Itupanema, onde a proporção das espécies de diatomáceas bentônicas/epifíticas e planctônicas foram associadas às mudanças hidrodinâmicas locais ocorridas durante o último milênio.

No Capítulo 4, intitulado *Conclusões*, são apresentadas as conclusões do trabalho resultantes tanto do estudo de diatomáceas em sedimentos superficiais, quanto dos sedimentos dos testemunhos sedimentares.

1.2 APRESENTAÇÃO

A zona costeira do estado do Pará possui 1.200km de extensão, perfazendo uma superfície de 82.596,43 km², entre a foz dos rios Amazonas e Gurupi. Em termos de cobertura vegetal, esta área apresenta-se muito diversa, sendo composta por florestas de várzea, por restingas litorâneas e por manguezais.

Essa zona apresenta, conforme El-Robrini et al. (1992 apud Alves et al., 2005), duas grandes unidades geomorfológicas: uma costa alta recortada, onde vales estuarinos estreitos estão esculpidos em terrenos do Grupo Barreiras; e uma costa baixa ocupada por extensas planícies de manguezais, recortadas por vales afogados, esculpidas em depósitos holocênicos.

A zona costeira do estado do Pará, segundo Alves et al. (op. cit.), apresenta três setores com características fisiográficas diferenciadas:

- (i) o Setor 1 inclui a Costa Atlântica do Salgado Paraense, entre as baías do Marajó e do rio Gurupi;
- (ii) o Setor 2, Insular Estuarino, com o arquipélago do Marajó e a foz do rio Amazonas;
- (iii) e o Setor 3, Continental Estuarino, composto pelo rio Pará e as baías do Guajará e do Marajó (Figura 1).

A praia de Itupanema, no município de Barcarena, estado do Pará, está inserida no Setor Continental Estuarino, onde as praias estão ligadas às influências do rio Pará e das falésias dos sedimentos do Grupo Barreiras. Neste setor, as várzeas são alcançadas pela influência marinha (ALVES et al., op. cit.). O rio Pará, que banha a área de estudo, pode ser definido como um canal flúvio-estuarino que separa a borda sul da ilha do Marajó da porção continental nordeste do Pará, representando, consoante Pinheiro (1987, p. 10), o “braço direito da foz do Rio Amazonas”.

Nos estuários, o fitoplâncton representa a maior e direta fonte de alimento para animais viventes na coluna d'água e nos sedimentos. Na composição do fitoplâncton estuarino, geralmente os grupos dominantes são as diatomáceas e os dinoflagelados, outros grupos incluindo as criptófitas, as clorófitas (algas verdes) e as crisófitas (algas castanhas) são menos freqüentes. A composição das espécies de uma determinada comunidade fitoplanctônica varia em função de vários fatores ambientais, incluindo salinidade, turbidez, nutrientes, turbulência e profundidade (DAY et al., 1989).

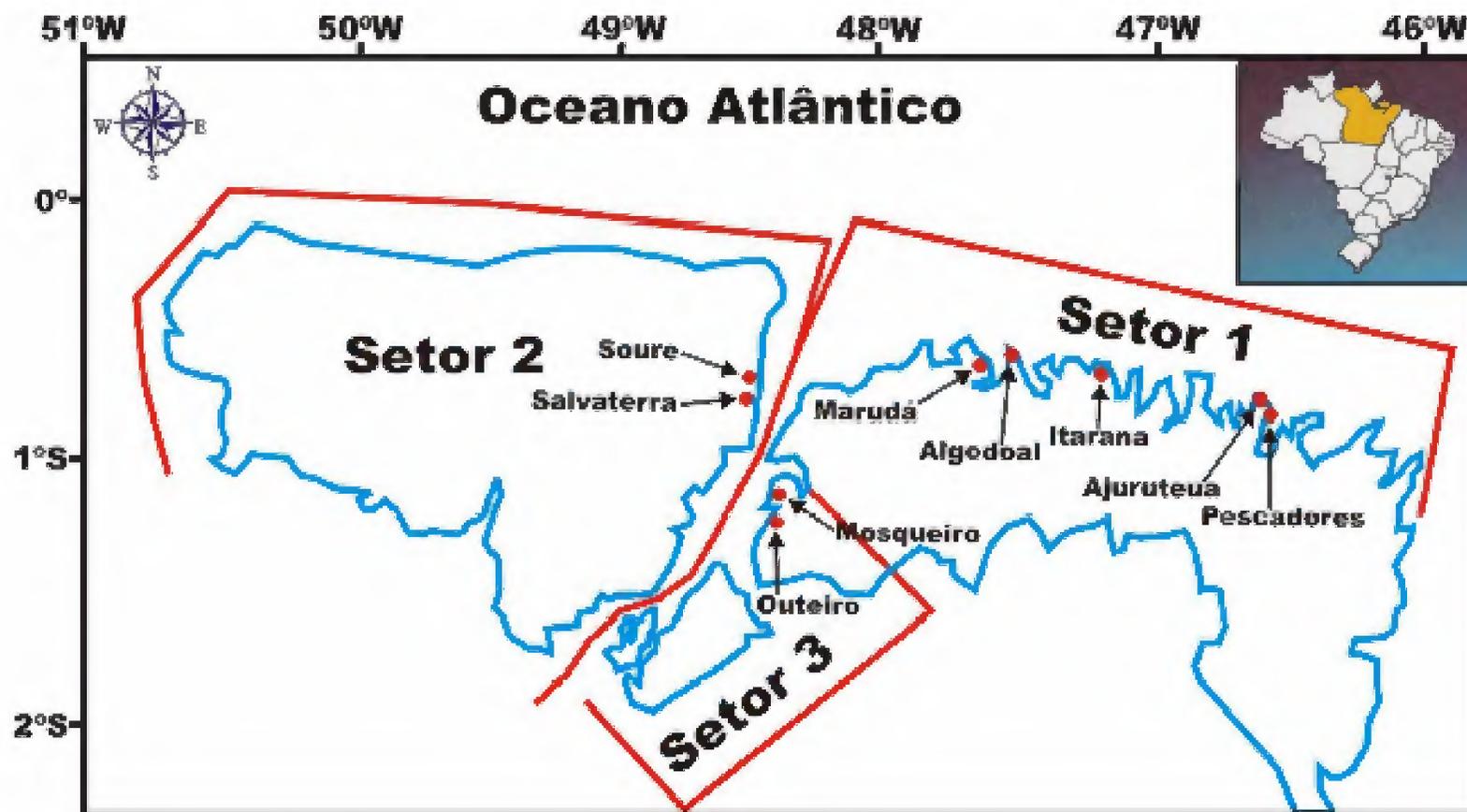


Figura 1: Mapa de localização dos Setores da Zona Costeira Paraense: Setor 1) Costa Atlântica do Salgado Paraense; Setor 2) Insular Estuarino; Setor 3) Continental Estuarino (abrangendo a praia de Itupanema).
Fonte: Alves et al. (2005).

Para Sullivan (1999), nos estuários e ambientes costeiros rasos, as diatomáceas são componentes importantes e muitas vezes dominantes das assembléias de microalgas bentônicas. Essas microalgas constituem um dos principais grupos da base da cadeia alimentar de todos os ecossistemas aquáticos, estimando-se a sua produção primária em torno de 2×10^{13} Kg.C/ano, representando, portanto, 20 a 25% da produção primária mundial nesses ecossistemas (MORENO; LICEA; SANTOYO, 1996).

Paiva et al. (2006), em estudo do fitoplâncton na baía do Guajará e na foz do rio Guamá, áreas adjacentes ao estuário do rio Pará, reporta as diatomáceas como o grupo de maior representação, apresentando uma participação de 56,2% na composição florística.

As diatomáceas são organismos unicelulares autotróficos que possuem formas solitárias ou coloniais, ampla distribuição geográfica e ocupam os mais diversos habitats. Ocorrem nos ambientes aquáticos, terrestres ou subaéreos, e podem viver aderidas em macroalgas, em fanerógamas e no sedimento (BOLD; WYNNE, 1985).

As diatomáceas apresentam duas valvas ou tecas, cujas paredes são constituídas por sílica (opalina). Morfologicamente, assemelham-se, consoante Miller; Florin (1989), a uma caixa, com um fundo (hipoteca) e uma tampa (epiteca) cujo conjunto forma a frústula (Figura 2).

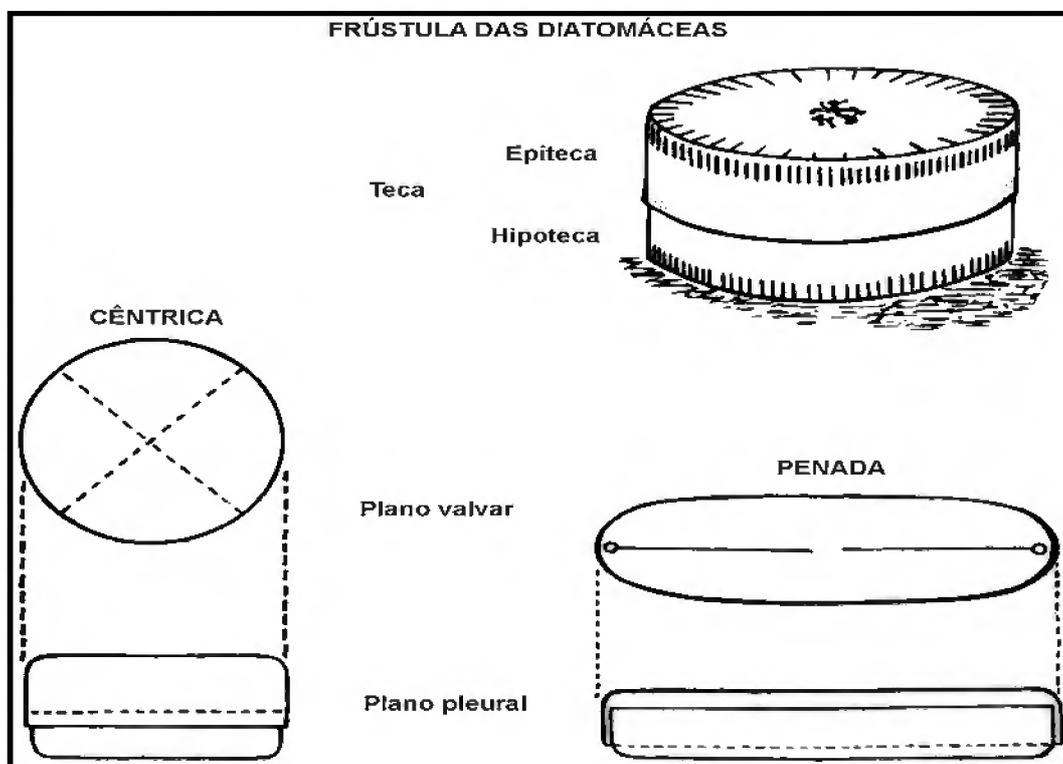


Figura 2: Modelo esquemático da frústula de uma diatomácea. Modificado de Miller; Florin (1989).

Quando a frústula é alongada, as diatomáceas são classificadas como penadas e na forma circular, como cêntricas (Figura 3). As valvas apresentam ornamentação em forma de estrias, sulcos e espinhos (TINOCO, 1988). Devido à composição silicosa da frústula, as diatomáceas são muitas vezes bem preservadas nos depósitos fósseis, que têm inúmeros usos industriais.

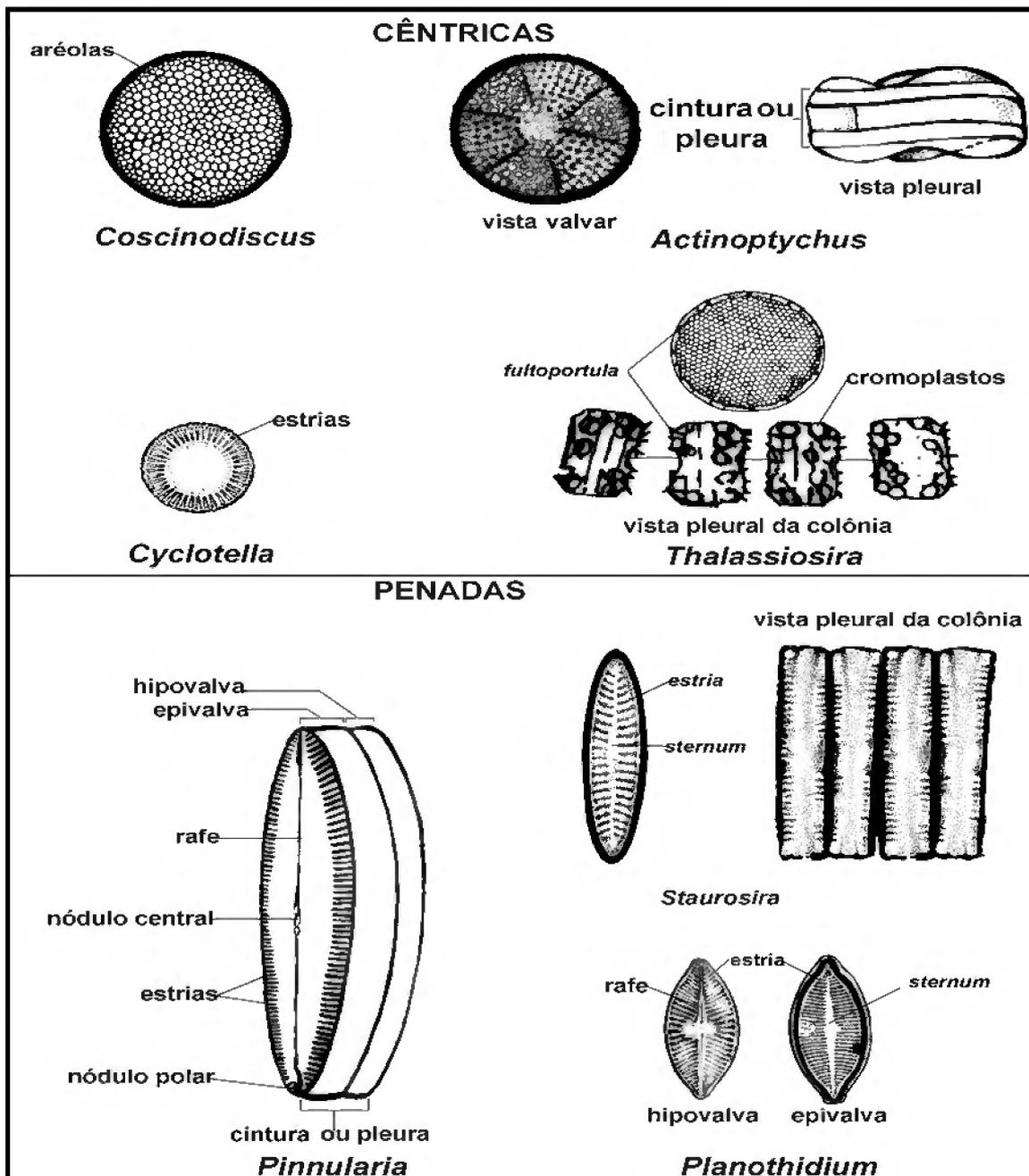


Figura 3: Morfologia básica de diatomáceas cêntricas e penadas, principais elementos e ornamentações, formas solitárias e coloniais. Modificado de Vilela (2004).

Ao apresentarem divisão vegetativa por divisão binária, dois novos indivíduos são formados a partir da célula mãe. Hasle; Syvertsen (1997) explicam que cada célula-filha recebe uma teca da célula-mãe como epiteca e a divisão celular é finalizada pela formação de uma nova hipoteca em cada célula-filha.

No processo dessa divisão, as valvas apresentam sucessiva diminuição de tamanho ao longo das gerações. Ao chegar ao limite inferior de tamanho para cada espécie, elas se reproduzem sexualmente, formam auxósporo, maior em volume que as células que lhe deram origem, retomando assim, o tamanho original (MORENO; LICEA; SANTOYO, *ibidem*).

De acordo com Margulis; Schwartz (2001), ocorrem na natureza cerca de 250 gêneros e cerca de 100.000 espécies incluindo, aproximadamente, setenta gêneros fósseis cuja origem remonta ao Cretáceo.

As diatomáceas são, particularmente, úteis em reconstruções paleoambientais, não somente por sua preservação no sedimento, mas também porque possuem uma alta taxa reprodutiva e respondem rapidamente às mudanças na disponibilidade de nutrientes e outras condições físicas e químicas da água.

Cada espécie possui um ponto ótimo específico e tolerância para pH, para salinidade, para temperatura, para nutrientes e para luz disponível (turbidez). Além do mais, diatomáceas podem inferir fenômenos de origem natural (climático, eustático e isostático), ou causados por atividades humanas como, por exemplo, erosão e redeposição de estrato sedimentar, eutrofização e acidificação (MILLER; FLORIN, *ibidem*).

Cooper (1999) ressalta que os estudos taxonômicos e ecológicos, cada vez mais numerosos em todo o mundo, das espécies atuais contribuem para a compreensão dos processos responsáveis pela formação de diversos ambientes aquáticos, assim como seu funcionamento e evolução no tempo geológico.

No Brasil, os estudos relacionados à caracterização do Quaternário, utilizando diatomáceas como marcadores, como as investigações de Abreu et al. (1987), de Ireland (1988) e de Callegaro; Lobo (1990), iniciaram-se nas regiões Sul e Sudeste.

Entretanto, nas últimas décadas, esses estudos consolidaram-se também em outras regiões do Brasil, com as investigações de Moro; Bicudo (1998), de Medeanic; Marques-Toigo; Toldo Junior (2001), de Clerot et al. (2003), de Gomes et al. (2003), de Nascimento; Sifeddine; Abrão (2003), de Saupe; Mosimann (2003), de Souza et al. (2003), de Oliveira et al. (2003), de

Moro; Bicudo (2004), de Hussein et al. (2005), de Nascimento; Sifeddine; Abrão (2005) e de Medeanic; Torgan (2006).

Contudo, na Amazônia, especialmente no estado do Pará, tais estudos estão ainda no início, destacando-se o trabalho pioneiro de Ribeiro (2004), com a determinação da diatomoflórula holocênica, ao longo do testemunho sedimentar no estuário do rio Marapanim e o estabelecimento de cinco ecozonas, associadas a diversos índices ecológicos, com base nas mudanças da composição, da abundância e da riqueza de espécies, apontadas por Ribeiro; Senna; Paiva (2005).

Senna (2002) mostra que os resultados, relacionados com a análise polínica no mesmo testemunho, revelaram mudanças paleoambiental, paleoecológica e paleoclimática, oriundas de variações no nível do mar ocorridas durante o Holoceno (SENNA; RIBEIRO; PAIVA, 2005).

Desse modo, partiu-se do pressuposto de que as diatomáceas são organismos altamente sensíveis, que respondem às mudanças na estrutura e no funcionamento de ecossistemas ao longo de séries temporais sedimentares, em termos de composição, de diversidade e de abundância de táxons, com o objetivo de inferir mudanças paleoambientais ocorridas na praia de Itupanema e de reconstruir a história paleoecológica desta praia.

No entanto, levando em consideração que o método clássico de inferências paleoambientais, utilizando diatomáceas fósseis, baseia-se nas características autoecológicas de táxons viventes no presente, e diante da carência de trabalhos realizados na região Amazônica, foi necessária a realização de um levantamento da diatomoflórula depositada em sedimentos superficiais na praia, para conhecer os processos hidrodinâmicos atuais relacionados possivelmente à distribuição das diatomáceas.

Portanto, na tentativa de solucionar grande parte dessas questões, foi analisada a composição, a riqueza, a abundância e a frequência das diatomáceas, tanto em sedimentos superficiais como naqueles provenientes dos testemunhos, e foram aplicados índices ecológicos (de diversidade e de equitabilidade) para avaliar mudanças na estrutura da comunidade de diatomáceas.

Além disso, foram utilizadas técnicas de análises estatísticas multivariadas, como Análise de Agrupamento, Análise de Correspondência (AC) e Análise de Componentes Principais (ACP), nas quais procurou-se identificar possíveis padrões de distribuição das espécies.

1.3 REFERÊNCIAS

- ABREU, V. dos S. et al. Estudo paleogeográfico do Quaternário de Morretes, R. S. Brasil. In: **Anais do I Congresso ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. Porto Alegre. 1987. p. 177-89.
- ALVES, M. A. M. S et al. Morfodinâmica das praias de meso-macromarés da zona costeira do estado do Pará. In: **X Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, Guarapari, ES. 2005. CD-ROM de resumos, n. 0258. pdf.
- BOLD, H. C.; WYNNE, M. J. **Introduction to the algal. Structure and reproduction**. Prentice-Hall. New Jersey. 1985. 720 p.
- CALLEGARO, V. L. M.; LOBO, E. A. Distribuição horizontal da comunidade de diatomáceas em turfeiras Holocênicas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas, Série Botânica**. 1990. 2(1): p. 5-22.
- CLEROT, L. C. P. et al. Evolução de Barreira IV na Região do Cassino, Rio Grande, RS. In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. 2003. CD-ROM de resumos.
- COOPER, S. R. Estuarine Paleoenvironmental Reconstructions Using Diatoms. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds.). **The Diatoms: Applications for the environmental and sciences**. Cambridge: University Press. 1999. p. 352-73.
- DAY, J. W. et al. 1989. Estuarine plants and primary production. In: DAY, J. W. et al. (eds.). **Estuarine Ecology**. New York. John Wiley & Sons Inc. 1989. p. 147-86.
- GOMES, D. F. et al. Diatomáceas como indicadoras de mudanças ambientais da Baía de Iguape – Baixo Paraguaçu – (Bahia, Brasil). In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. 2003. CD-ROM de resumos.
- HASLE, G. R.; SYVERTSEN, E. E. Marine diatoms. In: Thomas, C. R. **Identifying marine phytoplankton**. San Diego: Academic Press. 1997. p. 5-385.
- HUSSEIN, M. C. et al. Emprego de algas diatomáceas no estudo da variação do nível do mar do Holoceno da lagoa Olho D'Água, Recife, Pe. **X Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**, 2005. CD-ROM de resumos.
- IRELAND, S. The Holocene sedimentary history of coastal lagoons of Rio de Janeiro state, Brasil. In: **Sea level Changes**. M. Tooley; I. Shennan (eds.). Oxford Brasil Blackwell Ltd. 1988. 260 p.
- MARGULIS, L.; SCHWARTZ, K. V. **Cinco Reinos: Um Guia Ilustrado dos Filos da Vida na Terra**. Ed. Guanabara Koogan S/A. Rio de Janeiro-RJ. 2001. 497 p.

MEDEANIC, S.; MARQUES-TOIGO, M.; TOLDO JUNIOR, E. E. The use of fossil algae for palaeoenvironmental reconstruction during the late Holocene in the Maquiné river valley, RS, Brazil. **Geociências**. 2001. 5: p. 168-72.

_____; TORGAN, L. C. Silicoflagellate records in Holocene lagoon sediments in the south Brazil. In: **7Th European Paleobotany-Palynology Conference**. Prague. RESUMO. 2006. p. 91.

MILLER, U.; FLORIN, M. B. Diatom analysis. Introduction to methods and applications. In: Hackens, T.; Miller, U. (ed.). **Geology and Paleocology for Archaeologists**. PACT. 1989. 24, p. 133-57.

MORENO, J. L.; LICEA, S.; SANTOYO, H. **Diatomeas Del Golfo de Califórnia**. La Paz: Universidad Autónoma de Baja Califórnia Sur. 1996. 273 p.

MORO, R. S.; BICUDO, C. E. M. Flutuações climáticas no Pleistoceno tardio e Holoceno na lagoa Dourada, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Limnologica Brasiliensia**. 1998. 10(2): p. 47-58.

_____ et al. Paleoclimate of the Late Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Parana State, Southern Brazil. **Quaternary International**, Exeter, England. 2004. v. 114, p. 87-99.

NASCIMENTO, L. R.; SIFEDDINE, A.; ABRÃO, J. J. As diatomáceas do sedimento da Lagoa de Cima - Campos de Goytacazes - (RJ-Brasil) para o entendimento das mudanças ambientais ocorridas ao longo de 7.000 anos cal. A.P. **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. 2005. CD-ROM de resumos, n. 0101, pdf.

_____ et al. Estudo da evolução paleohidrológica do Lago Caçó (MA-Brasil) nos últimos 20.000 anos inferido através das diatomáceas. **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. 2003. CD-ROM de resumos.

OLIVEIRA, P. E. et al. Reconstrução paleoambiental do Holoceno da Lagoa Olho D'água (Recife, PE) através de análises diatomológica e palinológica. In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. 2003. CD-ROM de resumos.

PAIVA, R. S. et al. 2006. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da Baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará-Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências Naturais. n. 2, 2: p. 133-46.

PINHEIRO, R. V. L. **Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará-Belém/PA**. Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 1987. 164 f. (Dissertação de Mestrado).

RIBEIRO, F. C. P. **As diatomáceas como elemento nos estudos dos movimentos de transgressão e regressão marinha na Costa Nordeste Paraense durante o Holoceno**. Universidade Federal do Pará. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém, 2004. 47 f.

_____; SENNA, C. S. F.; PAIVA, R. S. Análise da riqueza, diversidade e equabilidade da diatomoflórula em sedimentos Holocênicos da Baía de Marapanim-Pa. In: **56º Congresso Nacional de Botânica**. 2005. CD-ROM de resumos.

SAUPE, A. C.; MOSIMANN, R. M. de S. Diatomáceas (Bacillariophyta) preservadas nos sedimentos Holocênicos da lagoa do Peri, Florianópolis, SC, Brasil. **Insula**. 2003. 32: p. 33-61.

SENN, C. S. F. **Mudanças da Paleovegetação e dos Paleoambientes Holocênicos da Planície Costeira da Região Nordeste do Estado do Pará, entre as Baías de Marapanim e Maracanã**. Universidade do Amazonas/Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Tese de Doutorado, Manaus. 2002. 115 f.

_____; RIBEIRO, F. C. P.; PAIVA, R. S. Análise Palinológica e Diatomológica em Sedimentos Holocênicos da Baía de Marapanim, Estado do Pará. In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. 2005. CD-ROM de resumos.

SOUZA, G. S. et al. Distribuição estratigráfica das diatomáceas (Bacillariophyceae) em sedimentos do Quaternário de Dois Irmãos, Recife-Pernambuco In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. 2003. CD-ROM de resumos.

SULLIVAN, M. J. Applied diatom studies in estuaries and shallow coastal environments. In: Stoermer E. F. and Smol J. P. (eds). **The Diatoms: Applications for the Environmental and Earth Sciences**. Cambridge University Press, London, 1999. p. 334-51.

TINOCO, I. M. **Introdução ao Estudo dos Componentes Bióticos dos sedimentos Marinhos Recentes**. Recife, Ed. Universitária da UFPE. 1988. 220 p.

VILELA, C. G. Diatomáceas. In: CARVALHO, I. S. (ed). **Paleontologia**, 2004. p. 319-26.

CAPÍTULO 2

DIATOMÁCEAS EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS NA PLANÍCIE DE MARÉ DA PRAIA DE ITUPANEMA, ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA

Artigo submetido para publicação à Revista Rodriguésia

**DIATOMÁCEAS EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS NA PLANÍCIE DE MARÉ DA PRAIA DE
ITUPANEMA, ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA¹**

Fábio Campos Pamplona Ribeiro², Cristina do Socorro Fernandes de Senna²&
Lezilda Carvalho Torgan³

RESUMO

(Diatomáceas em sedimentos superficiais na planície de maré da Praia de Itupanema, Estado do Pará, Amazônia). Com o objetivo de avaliar a composição, a abundância e a riqueza das diatomáceas presentes na zona intermaré da Praia de Itupanema e relacionar esses atributos com a textura do sedimento, efetuou-se o estudo, em março de 2006, de amostras coletadas em intervalos de 5 m nas coordenadas (01° 31' 03'' S e 48° 43' 28'' W), este estudo revelou a ocorrência de cinquenta e oito espécies, comuns de ocorrer em águas doces a oligomesohalinas, sendo 82,75% bentônicas/epifíticas e 17,25% planctônicas. As espécies mais abundantes e freqüentes, em ordem decrescente, foram *Staurosirella pinnata*, *Aulacoseira granulata*, *Thalassiosira* sp., *Staurosira obtusa*, *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema parvulum*, *Planothidium lanceolatum*, *Thalassiosira eccentrica*, *Cyclotella meneghiniana*, *Encyonema minuta*, *Nitzschia amphibia* e *Frustulia* sp. A análise de agrupamento diferenciou três grupos que demonstrou relação com a textura do sedimento. O grupo 1, formado pelas amostras argilosas, apresentou *A. granulata* e *Thalassiosira* sp. como espécies mais abundantes. O grupo 2, formado por amostras areno-lamosas, apresentou *S. pinnata*, *P. lanceolatum*, *A. granulata* e *Thalassiosira* sp. como espécies mais abundantes. E o grupo 3, composto por amostras arenosas, apresentou *S. pinnata* e *P. lanceolatum* como espécies abundantes. Os resultados demonstraram a influência da textura do sedimento (areia/argila) na composição dos agrupamentos de diatomáceas e na prevalência de espécies bentônicas ou planctônicas, como conseqüências dos processos hidrodinâmicos atuais.

Palavras-chave: Diatomáceas, hidrodinâmica, estuário, Amazônia.

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Curso de Botânica Tropical-MPEG/UFRA. Apoio financeiro: Companhia Vale do Rio Doce – Programa de Arqueologia Preventiva na Área de Influência do Projeto Bauxita Paragominas/PA.

² Laboratório de Palinologia e Paleoecologia da Amazônia-LAPPAM, Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia. Museu Paraense Emílio Goeldi/MCT. Cx. Postal 399. CEP 66040-170, Belém, PA.

³ Museu de Ciências Naturais – Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. Cx. Postal 1188. Porto Alegre, RS.

Autor para correspondência: Fábio Campos Pamplona Ribeiro. fbpamplona@yahoo.com.br.

ABSTRACT

(Diatoms on surface sediments of tidal plain, Itupanema Beach, Pará State, Amazon). This paper aims to evaluate the composition, abundance and richness of diatoms present on surface sediments located on the intertidal zone of Itupanema Beach, estuarine continental sector of the Pará State, Amazon and to relate these attributes with sedimentary texture. The 10 samples were collected within 5 m intervals on coordinates (01° 31' 03'' S and 48° 43' 28'' W) in March of 2006 and were applied diatoms analysis following standard techniques. The data revealed 58 species occurred commonly in fresh to oligo-mesohaline waters, being 82,75% benthic/epiphytic and 17,25% planktonic species. The more abundant and frequent species in decreasing order were *Staurosirella pinnata*, *Aulacoseira granulata*, *Thalassiosira* sp., *Staurosira obtusa*, *Encyonema silesiacum*, *Gomphonema parvulum*, *Planolithidium lanceolatum*, *Thalassiosira eccentrica*, *Cyclotella meneghiniana*, *Encyonema minuta*, *Nitzschia amphibia* and *Frustulia* sp. The cluster analysis distinguished three groups that demonstrated relation with sedimentary texture. The group one was formed by muddy sample 5, where *A. granulata* and *Thalassiosira* sp. were more abundant. The group two was formed by 7 sand-clay samples, where *Staurosirella pinnata*, *P. lanceolatum*, *Aulacoseira granulata* and *Thalassiosira* sp. were more abundant. The group three was formed by sandy samples 3 and 10 showed *S. pinnata* e *P. lanceolatum* were more abundant. The results demonstrated the influence of sedimentary texture (sand/clay) on diatom composition clusters and the prevalence of benthic or planktonic species can be affected strongly by hydrodynamic processes.

Key-words: Diatoms, hydrodynamic, Estuary, Amazon.

Introdução

Os estuários apresentam alta variabilidade na salinidade, no regime de deposição sedimentar, nas correntes, na turbidez e na biogeoquímica dos sedimentos (Cooper 1999). Dentre os ambientes presentes nos estuários, as áreas de intermarés são altamente dinâmicas, sendo constantemente influenciadas por níveis de energia local e especialmente, no caso de planícies arenosas com alta energia, exibem, uma estrutura governada por repetidos processos de erosão e de redeposição. As diatomáceas residentes nestas áreas são, consoante Mitbavkar & Anil (2002), adaptadas a essas condições e possuem mecanismos para superar as situações adversas.

O sedimento superficial (0-1 cm) representa uma amostra integrada, temporariamente, por táxons acumulados em um passado muito recente. A mesma amostra integra-se também espacialmente, pois incorpora táxons derivados de uma variedade de diferentes comunidades fonte, a partir de uma completa extensão de hábitos disponíveis: (i) comunidade planctônica que se encontra suspensa na água; (ii) comunidade epifítica que cresce fixada sobre vegetação aquática; (iii) comunidades epipélica e episâmica que vivem, respectivamente, na superfície do sedimento lamoso e arenoso. Além disso, o incremento de diatomáceas no sedimento representa uma mistura de comunidades sucessionais, cuja proporção nos sedimentos está relacionada à produtividade (Fritz *et al.* 1999).

Tem-se utilizado assembléias de diatomáceas para inferir variáveis ambientais e, principalmente, as séries de calibração por meio da análise de sedimentos superficiais. Diversas variáveis (pH, nutrientes, salinidade, luz, profundidade, tipo de sedimento, entre outras) são mensuradas por um gradiente, assim como a composição de táxons preservados nos sedimentos ao longo deste (Hall & Smol 1999). E, através de análises estatísticas, é possível quantificar a resposta de cada táxon, em relação a uma dada variável ambiental. Assim, as condições ambientais podem ser calculadas através da composição de espécies nas amostras, baseadas em estimativas quantitativas das respostas das espécies derivadas das séries de calibração (Fritz *et al.* op. cit.).

O presente estudo teve como objetivo avaliar a composição, a abundância e a riqueza das diatomáceas presentes nos sedimentos superficiais da zona intermaré da praia de Itupanema, setor continental estuarino, da zona costeira Paraense e relacionar esses atributos com a textura dos sedimentos para o conhecimento dos processos hidrodinâmicos atuais.

Material e Métodos

Caracterização da Área de Estudo

A praia de Itupanema faz parte do município de Barcarena, localizado no nordeste do Estado do Pará. A área de estudo está inserida na microrregião geográfica de Belém (Brasil 1974 apud Oliveira 2002), distando desta, 25 Km em linha reta situada a 14 m de altitude (Figura 1). Limita-se ao norte e a leste com a baía de Marajó, ao sul com os municípios de Abaetetuba, Moju e Acará e a oeste com a baía de Guajará (Oliveira 2002).

A área de estudo integra o setor continental estuarino (Alves *et al.* 2005), em termos fisiográficos, cujas praias curtas e estreitas, com areias quartzosas e várzeas de maré holocênicas, estão ligadas à influência da baía do Guajará, do estuário do rio Pará e das falésias do Grupo Barreiras (IDESP 1984 apud Oliveira 2002). As praias são reflectivas e intermediárias, com uma orla caracterizada por sucessivos promontórios e enseadas (Farias 2004 apud Alves *et al.* 2005).

O clima da microregião é do tipo Af_i de Köppen, caracterizado por chuvas abundantes, pluviosidade anual superior a 2.000 mm, com período chuvoso de dezembro a maio, e período seco de junho a novembro, quando os totais pluviométricos caem pela metade (IDESP 1983 apud Oliveira 2002). Na hidrografia do município, destaca-se a influência da baía de Marajó, que conecta o município ao oceano Atlântico, através da baía do Guajará e o rio Barcarena, às margens do qual se localiza a sede municipal (Oliveira *op. cit.*).

A geologia da região de Barcarena é representada por dois períodos geológicos: o Quaternário e o Terciário. O período Terciário é representado por depósitos da formação Barreiras, constituídos de depósitos siliciclásticos (conglomerado, arenito, argilito) continentais, pouco ou mal selecionados de idade Pliopleistoceno (Oliveira *op. cit.*). O Quaternário é representado por depósitos aluvionares recentes, constituídos por cascalhos, areias e argilas inconsolidadas. Predominam unidades geomorfológicas de baixas topografias: o Planalto Baixo Costeiro e a Planície Flúvio-Marinha constituídas de sedimento do Terciário e Quaternário, respectivamente (Oliveira *op. cit.*).

A cobertura vegetal é constituída, principalmente, por duas tipologias vegetais: Floresta Ombrófila Densa e Floresta Aluvial. Entretanto, atualmente seu revestimento florístico nas áreas de terra firme caracteriza-se, principalmente, por florestas secundárias (Brasil *op. cit.* apud Oliveira *op. cit.*). Na praia de Itupanema, em observações de campo, foram encontrados restos de troncos e raízes de árvores em posição de vida como os gêneros de várzea *Pterocarpus* e *Mauritia* (buriti), assim como gêneros de mangue *Rhizophora* e *Avicennia*. O depósito é colonizado, atualmente, por espécies herbáceas com gramíneas,

ciperáceas, com sete árvores de *Avicennia germinans* L., três de *Pterocarpus santalinoides* L. Her' DC. e três de *Machaerium lunatum* (Lf) Ducke.

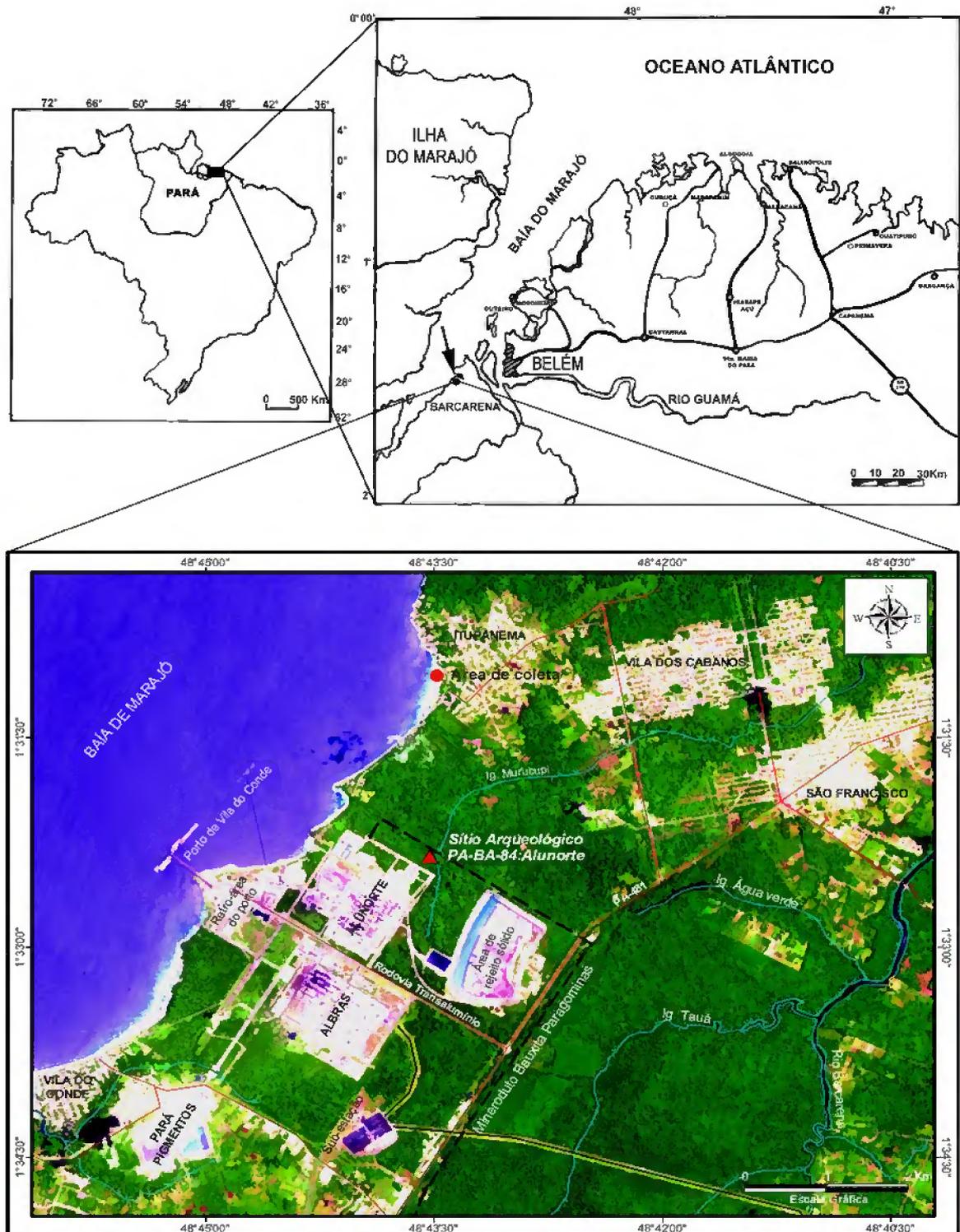


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, com destaque para as coletas, na Praia de Itupanema, Barcarena, Pará. Fonte: Lopes (2005).

Metodologia de Campo

A coleta de dez amostras sedimentares foi realizada na porção intermaré da praia de Itupanema nas coordenadas geográficas (01° 31' 03'' S e 48° 43' 28'' W) em março de 2006, ao longo de duas transecções ortogonais, em que na primeira, disposta transversalmente à linha de praia, as amostras de 1 a 5 foram retiradas da superfície, com um espaçamento de 5 m; enquanto na segunda, disposta paralelamente à linha de praia, foram coletadas as amostras de 6 a 10. Ainda em campo, a descrição dos sedimentos baseou-se na cor (Munsell 1975), a textura, estrutura e consistência, segundo Lemos & Santos (1996).

Metodologia de Laboratório

Na análise diatomológica, 2 cm³ de sedimento foram retirados de cada amostra, em seguida processadas de acordo com a técnica de Florin (s/d apud Moro & Santi 1999). Foram montadas três lâminas permanentes com Bálsamo do Canadá (Índice de Refração [IR] = 1,54), analisadas em microscópio óptico Zeiss e microscópio eletrônico de varredura Zeiss, modelo LEO 1450 VP, no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi (LABMEV).

Para a classificação sistemática das espécies, utilizou-se o sistema de Round *et al.* (1990). As informações sobre o hábito das espécies foram obtidas no catálogo de Moro & Furstengerger (1997). A abundância relativa de cada espécie foi calculada a partir da contagem de trezentas valvas, obtendo-se o número de indivíduos/espécie, enquanto a frequência de ocorrência foi obtida utilizando a relação entre o número de amostras, nas quais cada espécie ocorre, e o número total de amostras analisadas.

A análise de agrupamento foi baseada nos dados de presença e de abundância de espécies, empregando-se o método de classificação hierárquico, no qual a medida de dissimilaridade utilizada foi a de Bray-Curtis – não sendo sensível aos zeros na matriz, portanto, dando maior peso às espécies dominantes. A ligação média ou UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) foi utilizada como algoritmo de ligação. Aplicou-se também a técnica de ordenamento Análise de Correspondência (AC) aos dados de abundância relativa, para a confirmação do padrão observado na Análise de Agrupamento.

Para os dois tipos de análises, foram utilizadas apenas as espécies que alcançaram valor de abundância >1%, em um mínimo de duas amostras. As análises multivariadas foram calculadas através do programa PAST versão 1.4.

Resultados

Características das Amostras Sedimentares

As amostras sedimentares de superfície apresentam variação na composição granulométrica e na presença de restos vegetais, a qual constitui boa parte da matéria orgânica [MO] (Tabela 1).

Tabela 1: Peso e características de coloração e de textura das amostras sedimentares de superfície coletadas na praia de Itupanema/Pará.

Amostras	Peso (g - 2 cm³)	Cor Munsell (1975)	Textura
1	2,4856	7,5YR 7/2	arenosa
2	2,7246	2,5Y 5/4 a 10YR 5/4	argilo-arenosa
3	4,0262	10YR 5/6	arenosa
4	3,4163	10YR 4/4	argilo-arenosa
5	2,8266	10YR 3/3	argilosa
6	2,4272	10YR 4/2	argilo-arenosa
7	3,0312	10YR 4/2	argilo-arenosa
8	2,6883	10YR 3/3 a 3/4	argilo-arenosa
9	2,3512	10YR 5/4	argilo-arenosa
10	3,5421	10YR 5/6	arenosa

Composição Taxonômica

Identificou-se um total de cinquenta e oito espécies (Tabela 2), representadas por trinta e três gêneros, com predominância de *Gomphonema* (nove espécies), *Pinnularia* (quatro espécies), *Thalassiosira* (três espécies), *Cyclotella* (três espécies), *Diploneis* (três espécies) e *Placoneis* (três espécies).

Tabela 2: Composição florística e classificação taxonômica de diatomáceas encontradas nos sedimentos superficiais de intermaré da praia de Itupanema/Pará.

Divisão BACILLARIOPHYTA	Ordem Achnanthales
Classe COSCINODISCOPHYCEAE	Família Achnanthaceae
Ordem THALASSIOSIRALES	<i>Achnanthes elata</i> (Leuduger-Fortmorel) Gandhi
Família Thalassiosiracea	Família Cocconeidaceae
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	<i>Cocconeis</i> sp.
<i>T. oestrupii</i> (Ostenfeld) Hasle	Família Achnanthidiaceae
<i>Thalassiosira</i> sp.	<i>Achnanthidium exiguum</i> (Grunow) Czarnecki
<i>Tryblioptychus cocconeiformis</i> (Grunow ex Cleve) Hendey	<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson) Round & Bukhtiyorova
Família Stephanodiscaceae	Sub-Ordem NEIDIINEAE
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Família Amphipleuraceae
<i>C. striata</i> (Kützing) Grunow	<i>Frustulia</i> sp.
<i>C. stylorum</i> Brightwell	Família NEIDIACEAE
Família Heliopeltaceae	<i>Neidium</i> sp.
<i>Polymyxus coronalis</i> L. W. Bailey.	Família Pinnulariaceae
Sub-Classe BIDDULPHIOPHYCIDEA	<i>P. gibba</i> Ehrenberg
Ordem BIDDULPHIALES	<i>P. mesolepta</i> (Ehrenberg) W. Smith
Família Biddulphiaceae	<i>P. viridis</i> (Nitzsch) Ehrenberg
<i>Terpsinoe musica</i> Ehrenberg	<i>Pinnularia</i> sp.
Sub-Classe COSCINODISCOPHYCIDAE	Família Diploneidaceae
Ordem PARALIALES	<i>Diploneis bombus</i> Ehrenberg
Família Paraliaceae	<i>Diploneis</i> sp1
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	<i>Diploneis</i> sp2
Ordem AULACOSEIRALES	Sub-Ordem SELLAPHORINEAE
Família Aulacoseiraceae	Família Sellaphoraceae
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	<i>Selaphora</i> sp.
Ordem COSCINODISCALES	<i>Fallacia</i> sp.
Família Coscinodiscaceae	Sub-Ordem NAVICULINEAE
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory) Hustedt	Família Naviculaceae
Família Heliopeltaceae	<i>Capartogramma crucicola</i> (Grunow ex Cleve) Ross
<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	Família Pleurosigmataceae

 Família Pleurosigmataceae

Pleurosigma sp.

Família Stauroneidaceae

Stauroneis sp1

Stauroneis sp2

Ordem BACILLARIALES

Família Bacillariaceae

Nitzschia amphibia Grunow

Ordem RHOPALODIALES

Família Surirellaceae

Surirella sp.

Classe FRAGILARIOPHYCEAE

Sub-Classe FRAGILARIOPHYCIDAE

Ordem FRAGILARIALES

Família Fragilariaceae

Staurosira crassa D. Metzeltin & H. Lange-Bertalot

S. obtusa (Hustedt) Garcia

Staurosirella pinnata (Ehrenberg) Williams & Round

Fragilaria sp1

Synedra sp1

Synedra goulardi Brébisson

Classe BACILLARIOPHYCEAE

Sub-Classe EUNOTIOPHYCIDAE

Ordem EUNOTIALES

Família Eunotiaceae

Eunotia sp1

Eunotia sp2

Sub-Classe BACILLARIOPHYCIDAE

Ordem CYMBELLALES

Família Rhoicospheniaceae

Encyonema minutum (Hilse) D. G. Mann

Encyonema silesiacum (Bleisch) D. G. Mann

Placoneis sp1

Placoneis sp2

Placoneis sp3

Família Gomphonemataceae

Gomphonema agnitum Hustedt

G. augur Ehrenberg

G. gibberum Hustedt

G. parvulum (Kützing) Kützing

G. turris Hustedt

Gomphonema sp1

Gomphonema sp2

Gomphonema sp3

Gomphonema sp4

Gomphosphenia reicheltii (M. Schmidt) Lange-Bertalot

Riqueza de Espécies

Observou-se variação na riqueza de espécies de diatomáceas ao longo dos transectos do sedimento superficial da praia de Itupanema. Maior riqueza (trinta e quatro espécies) ocorreu nas amostras 1 e 4 e a menor riqueza (vinte e três espécies) na amostra 3 do transecto 1. Em média a riqueza foi de vinte e nove espécies. É importante observar que a riqueza esteve constituída predominantemente por espécies bentônicas e epifíticas, em detrimento das espécies planctônicas (Figura 2).

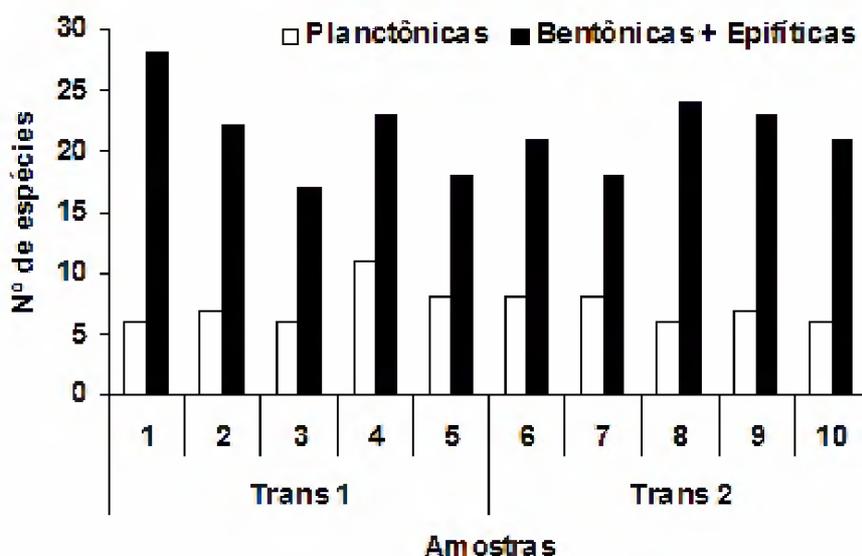


Figura 2. Número de espécies (planctônicas e bentônicas/epifíticas) nas amostras de sedimentos superficiais da praia de Itupanema.

Abundância, Frequência de Ocorrência e Ecologia das Espécies

Dentre as espécies identificadas, 82,75% são bentônicas/epifíticas e 17,25% planctônicas, comuns em água doce a oligo-mesohalina. Quanto à abundância, as espécies planctônicas *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Thalassiosira* sp. e *Thalassiosira eccentrica* e as bentônicas/epifíticas *Staurosirella pinnata*, *Encyonema silesiacum*, *Staurosira obtusa*, *Gomphonema parvulum*, *Planothidium lanceolatum*, *Encyonema minutum*, *Nitzschia amphibia* e *Frustulia* sp. (Vide Apêndice B), alcançaram, conjuntamente, valores de abundância relativa acima de 70%, sendo também muito frequentes (> 70%), nas amostras analisadas (Figura 3). Os dados ecológicos das principais espécies são observados na Tabela 3.

Tabela 3: Ecologia das principais espécies de diatomáceas encontradas nos sedimentos superficiais da Praia de Itupanema, Pará.

Espécies	Ecologia	Referência
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Salinidade indiferente, mesossapróbia, alcaliniófila, eutrófica, planctônica.	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Halófila, a-mesosapróbia, planctônica.	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Thalassiosira</i> sp.	Gênero principalmente marinho planctônico	Round <i>et al.</i> (1990) Aké-Castillo <i>et al.</i> (1999)
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg)	Eurialina, marinha, planctônica.	Moro & Fürstenberger (1997)
Cleve		
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) Mann	Salinidade indiferente, mesossapróbia, pH indiferente, epifítica, oligotrófica	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Encyonema minuta</i> (Hilse) Mann	Oligohalóbia, a-mesosapróbia, acidófila, epifítica, eutrófica	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Gomphonema</i> sp2	Gênero muito comum em água doce	Round <i>et al.</i> (1990)
<i>Frustulia</i> sp.	Gênero oligohalóbio, acidófilo, epifítico	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow	Oligohalóbia, b-mesosapróbia, alcaliniófila, perifítica, eutrófica	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) Williams & Round	Salinidade indiferente, oligossapróbia, litoral, perifítica/ticoplanctônica, eutrófica. Gênero de água doce, muitas vezes aderido aos grãos de areia.	Moro & Fürstenberger (1997) Round <i>et al.</i> (1990)
<i>Staurosira obtusa</i> (Hustedt) Garcia	Espécie epipsâmica (aderida aos grãos de areia). Ocorrendo em praia arenosa estuarina.	Garcia (2006)
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson.) Round & Bukht	Salinidade indiferente, b-mesosapróbia, alcaliniófila, perifítica, eutrófica	Moro & Fürstenberger (1997)

Entre as espécies muito freqüentes, vale ressaltar a presença das espécies planctônicas *Actinocyclus normanii* e *Polymyxus coronalis*, uma vez que alcançaram baixos valores de abundância (> 3%), ocorrendo em 100% das amostras. Entre as espécies bentônicas/epifíticas, *Achnantheidium exiguum*, *Staurosirella crassa* ambas com 90% de

freqüência e *Capartogramma crucicola* e *Gomphonema* sp1, estas com 80% de freqüência, são pouco representativas em termos de abundância, atingindo valores que não ultrapassam 4% (Figura 3).

Apenas *A. granulata* e *Thalassiosira* sp. foram as espécies planctônicas mais representativas em termos de abundância, alcançando valores maiores que 20%. A primeira atingiu valor mínimo na amostra 3 (arenosa), com 4,67%, e valor máximo na amostra 5 (argilosa), alcançando 30,33%. *Thalassiosira* sp. chegou ao valor mínimo na amostra 10 (arenosa), com 1,67% e máximo na amostra 5, com 20,33%. Embora ocorram com menor representatividade numérica, *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve e *Cyclotella meneghiniana* Kützing mostraram valores máximos de abundância iguais a 8,67% e 4,67%, respectivamente, nas amostras 5 e 6.

Entre as espécies bentônicas/epifíticas, *S. pinnata* é a mais abundante em praticamente todas as amostras, com exceção da amostra 5 (argilosa), na qual atingiu o menor valor de abundância 12,67%. Na amostra arenosa 10, atingiu valor máximo de abundância, com 42%.

Vale ressaltar que as espécies bentônicas/epifíticas *S. obtusa*, *E. silesiacum* e *E. minutum*, *Gomphonema parvulum*, *P. lanceolatum*, *N. amphibia* e *Frustulia* sp., embora com menor representatividade numérica, atingiram valores importantes de abundância. *S. obtusa* atingiu o valor máximo (10%) na amostra 10 e mínimo (1,67%) na amostra 6 (argilo-arenosa). *E. silesiacum* e *E. minuta* atingem valores máximos de 11% e 7%, respectivamente, nas amostras 8 (argilo-arenosa) e 4 (argilo-arenosa) e mínimos de 0,33% na amostra 1 (arenosa) e 0,67% na amostra 5 (argilosa). *Gomphonema parvulum* atingiu abundância máxima na amostra 8, com 7,67% e mínima na amostra 7, com 1,67%. *P. lanceolatum* atingiu valores máximos de 11,33% na amostra arenosa 3, ausente nas amostras 4 e 5. *Nitzschia amphibia* chegou a 4% na amostra 3 e 1,67% na amostra 4. *Frustulia* sp. atinge valor máximo de 9% na amostra 9 (argilo-arenosa), ausente nas amostras 3, 4 e 8.

Entre as espécies numericamente mais representativas, 91, 67% são de água doce e 8,33% são encontradas comumente nos estuários.

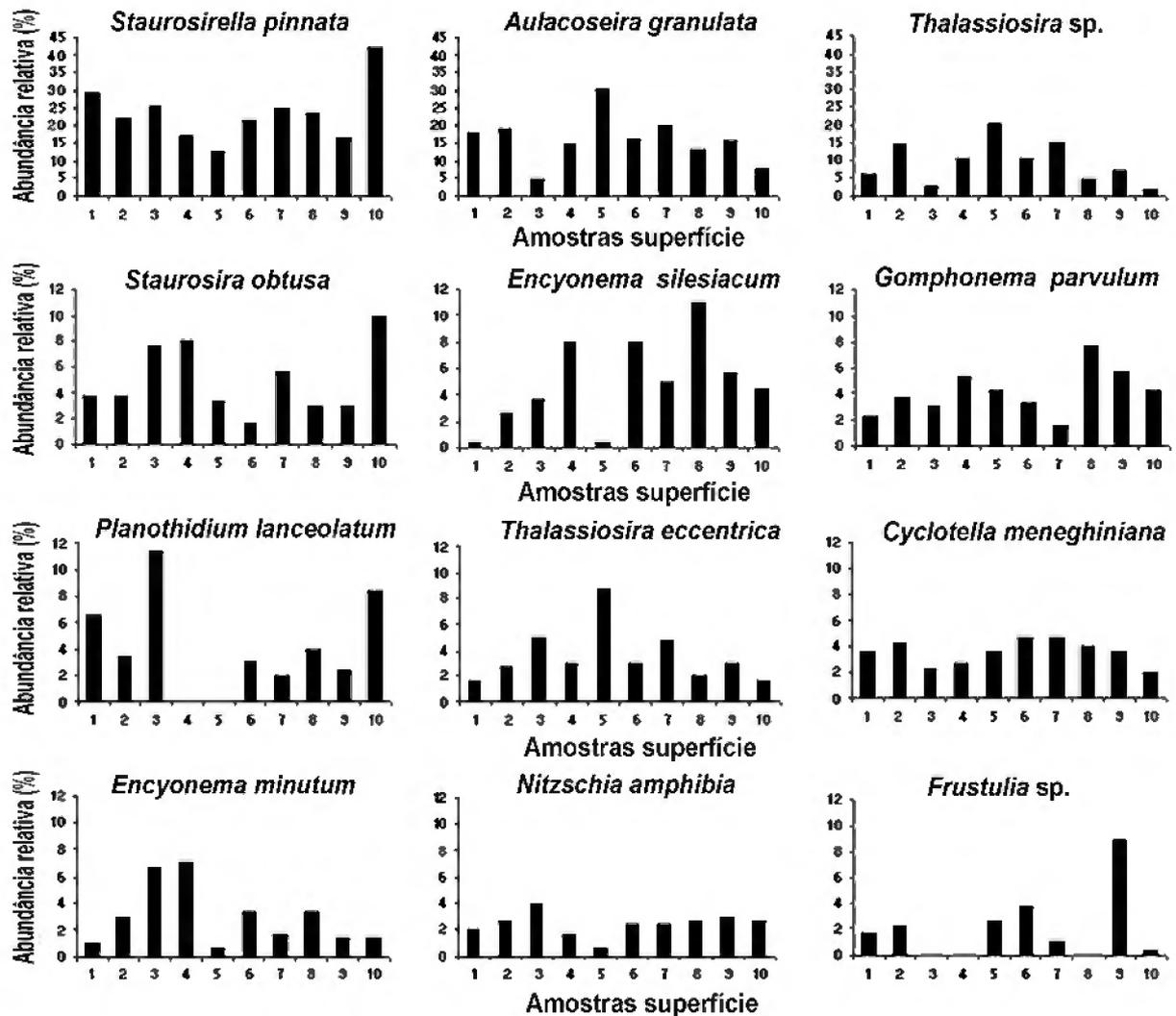


Figura 3: Abundância relativa das espécies numericamente mais representativas, ao longo das amostras.

Entre as espécies que ocorreram em apenas uma amostra, tem-se as planctônicas *A. senarius* e *Paralia sulcata* e as bentônicas *Cocconeis sp*, *Tryblioptychus cocconeiformis* Hendey, *Diploneis sp2*, *D. bombus*, *Fragilaria sp2*, *Gomphonema agnitum*, *Gomphonema sp4*, *Gomphonema turris*, *Placoneis sp1*, *Pleurosigma sp.*, *Surirella sp* e *Terpsinoemusica*.

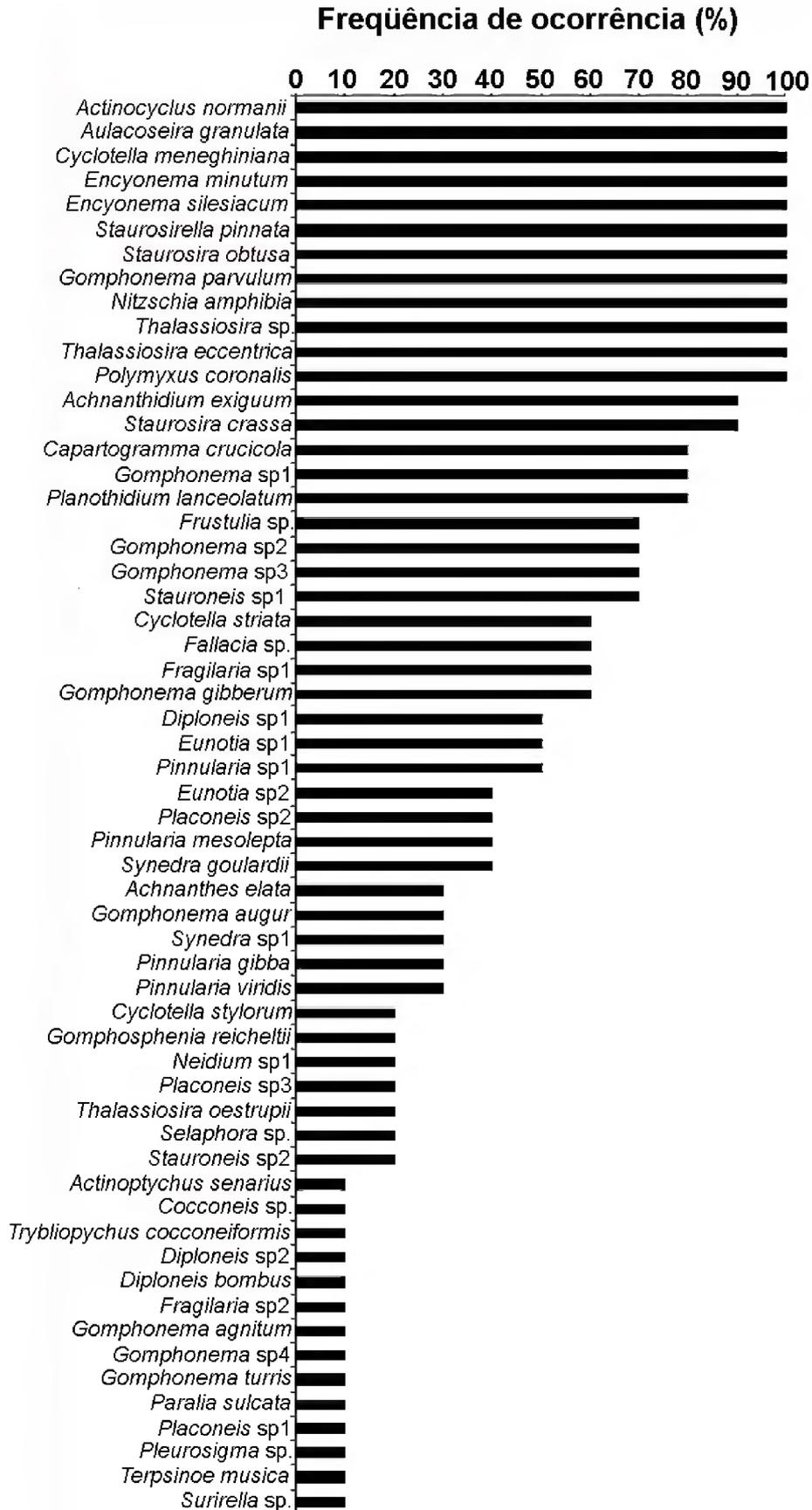


Figura 4: Frequência de ocorrência das espécies em sedimentos superficiais da praia de Itupanema, Pará.

Análise de Agrupamentos das Espécies

Na análise de agrupamento, com base na abundância das espécies de diatomáceas, foram formados três grupos distintos, que apresentam relação com a textura dos sedimentos, ao nível de corte de 69%, (Figura 7).

O grupo 1 foi formado apenas pela amostra argilosa 5. O grupo 2 foi formado pelas amostras 2, 4, 6, 7, 8 e 9, que apresentam composição sedimentar variada. O grupo 3 foi formado pelas amostras arenosas 3 e 10. O grupo 1 uniu-se ao grupo 3 com 62% de similaridade e ao grupo 2 ao redor de 59% de similaridade.

O grupo 2 demonstra, internamente, uma maior proximidade entre as amostras 2 e 6, unindo-se com 85% de similaridade; em seguida, liga-se com amostra 7, com 82% de similaridade, unindo-se posteriormente à amostra 4, em torno de 75%. Em seguida, ligam-se às amostras 9 e 8 com 73% e 72% de similaridade respectivamente. Por fim, o grupo consolida-se com a amostra 1 em torno de 68% de similaridade. No grupo 3, as amostras arenosas 3 e 10 são unidas com similaridade em torno de 69%.

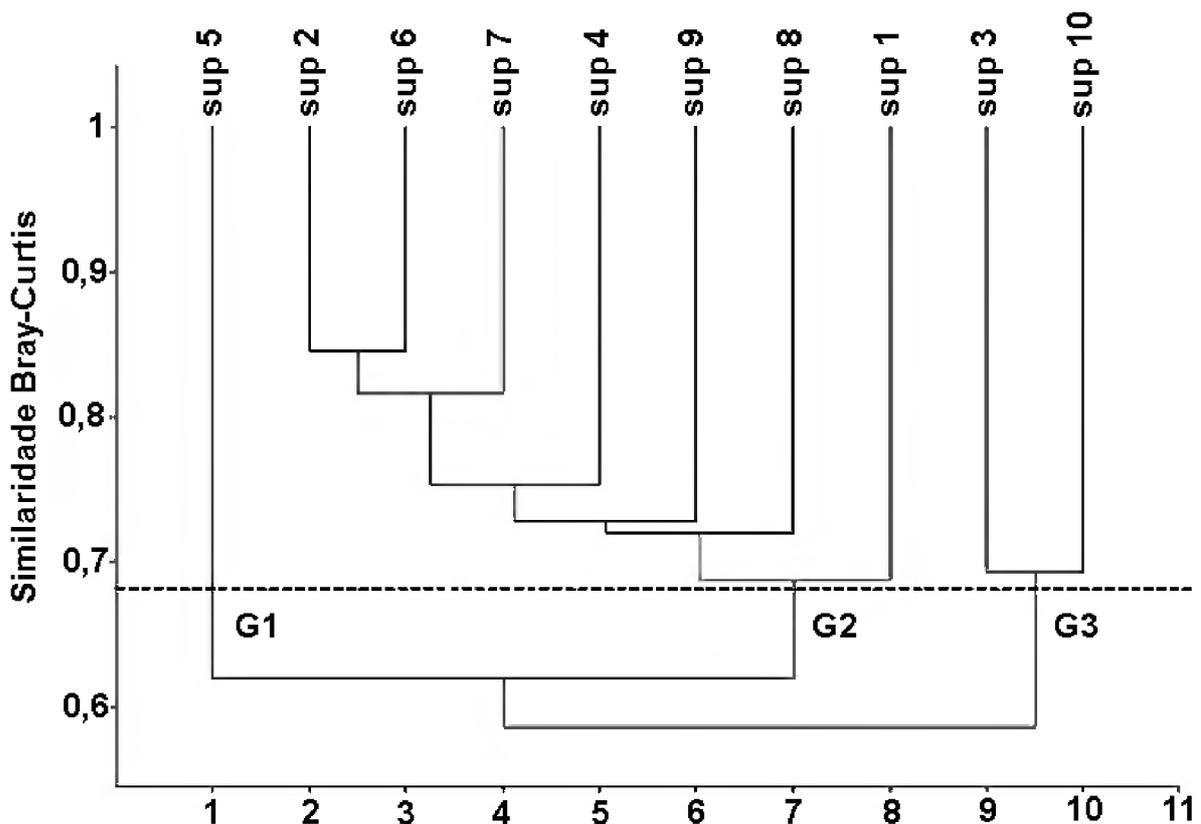


Figura 5: Análise de agrupamento das amostras de sedimentos superficiais da praia de Itupanema.

Na Análise de Correspondência (AC), os dois primeiros eixos explicaram 50,97% da variância total com seus respectivos “eigenvalues” (Tabela 4). Nesta análise, o eixo 1, com 31,023% da variância explicada, mostrou um padrão semelhante ao observado na análise de agrupamento. A amostra argilosa 5 está isolada à esquerda, associada aos táxons *A. granulata* e *Thalassiosira* sp. As amostras 1, 2, 4, 6, 7, 8 e 9 estão situadas ao centro do diagrama, com a maioria das espécies associadas a essas amostras, enquanto as amostras arenosas 3 e 10 estão situadas à direita, associadas com os táxons *S. pinnata* e *P. lanceolatum*.

O segundo eixo, ao explicar 19,949% da variância, mostra principalmente entre as amostras situadas ao centro, um maior distanciamento das amostras 1 e 9 que situam-se um pouco acima do centro, em relação às demais amostras, sendo a amostra 1 arenosa e a amostra 9 (argilo-arenosa), na qual estão associadas as espécies *Cocconeis* sp., *Tryblioptchus cocconeiformis*, *Diploneis* sp1 e *Frustulia* sp.

Em seguida, um maior distanciamento das amostras 4 (argilo-arenosa) e 8 (argilo-arenosa) situadas um pouco abaixo do centro, estando mais próximas a estas, as espécies *A. normanii*, *C. crucicola*, *E. minutum*, *E. silesiacum*, *Gomphonema* sp1, *Fragilaria* sp1, *Gomphonema parvulum*, *S. obtusa* e *S. goulardii* (Figura 6).

Tabela 4: “Eingenvalues” e variância explicada encontrados na AC das espécies nas amostras superficiais da Praia de Itupanema, Pará.

Eixos	Eingenvalues	Variância explicada (%)
Eixo 1	0.14455	31.023
Eixo 2	0.092951	19.949
Eixo 3	0.0851132	18.267
Eixo 4	0.0533951	11.459

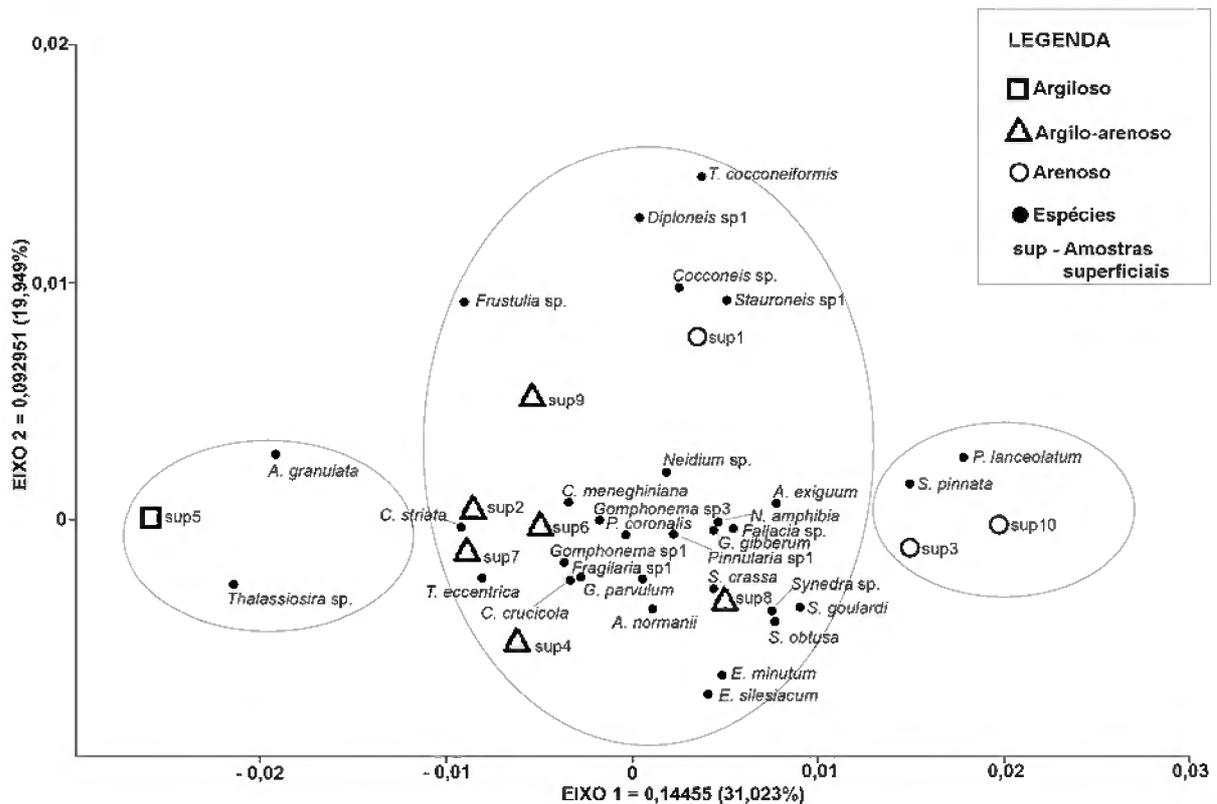


Figura 6: Ordenação dos táxons e amostras superficiais da praia de Itupanema.

Discussão

Na praia de Itupanema, a textura dos sedimentos parece ter relação com a abundância relativa e a distribuição das diatomáceas, em ambiente estuarino. Sedimentos finos (argila), evidenciando um ambiente de sedimentação de menor energia, favoreceram a deposição de táxons planctônicos, enquanto sedimentos grosseiros (areia), evidenciando um ambiente de sedimentação com maior energia, mostraram dominância de táxons bentônicos.

Nos sedimentos superficiais de Itupanema, embora as espécies planctônicas estivessem pouco representadas, em termos de riqueza de espécies, apresentaram os maiores valores de abundância nos sedimentos com maiores teores de argila. Assim, as espécies provenientes da coluna d'água, e depositadas em condições mais calmas nessas amostras argilosas, estariam menos sujeitas aos processos de abrasão e dissolução que, normalmente, ocorrem nas zonas de intermaré (Mitbavkar & Anil 2002).

Comparando-se as espécies de diatomáceas encontradas no fitoplâncton no rio Pará, que banha a praia de Itupanema (El-Robrini *et al.* 2006), com as espécies encontradas no sedimento desta praia, constatou-se que um número muito baixo de espécies encontradas na água deposita-se nos sedimentos, em que apenas as espécies *A. granulata*, *P. coronalis* e *C. stylorum* são comuns aos dois ambientes (água e sedimentos).

Os trabalhos de Moreira-Filho *et al.* (1974) e de Paiva *et al.* (2006), ambos realizados na Baía do Guajará, embora mostrem um aumento no número de espécies, este ainda permanece baixo, em comparação à praia de Itupanema. Há seis espécies comuns, *A. granulata*, *A. senarius*, *C. stylorum*, *T. eccentrica*, *P. coronalis* e *T. musica* definidos por Paiva *et al.* (op. cit.), enquanto Moreira-Filho *et al.* (op. cit.) também mostram seis espécies em comum - *A. normanii*, *A. senarius*, *C. meneghiniana*, *C. stylorum*, *A. granulata* e *P. coronalis*.

Dessa forma, a praia de Itupanema mostra-se um ambiente desfavorável à sedimentação de espécies provenientes da coluna d'água. Isto fica bastante evidente em relação à espécie *Polymyxus coronalis*, uma vez que esta espécie é encontrada no fitoplâncton da região com elevados valores de abundância, em torno de 50% (Paiva *et al.* op. cit.) e 30% (El-Robrini *et al.* op. cit.), porém sua abundância não excedeu os valores de 2% nos sedimentos superficiais do presente estudo.

Entre as espécies planctônicas, destacaram-se *A. granulata* e *Thalassiosira* sp., pois ambas obtiveram maiores valores de abundância nos sedimentos argilosos, nos quais na amostra 5 atingiram seus maiores valores de abundância, responsáveis conjuntamente por 50,66% da abundância total.

No fitoplâncton do rio Pará, *A. granulata* ocorreu com valores de abundância em torno de 10% (El-Robrini *et al.* op. cit.), enquanto nos sedimentos de Itupanema, com exceção das amostras arenosas, todos os valores de abundância superaram este valor, alcançando o máximo de 30% na amostra 5, argilosa. Vélez & Hooghiemstra (2005) reportaram esta espécie com maiores percentuais em raízes da zona litoral (36,17%) do que em sedimentos lacustres de fundo (22,89%) e no plâncton (23,85%), no nordeste da Colômbia.

Assim, as altas abundâncias de *A. granulata* encontradas nos sedimentos superficiais de Itupanema estariam relacionadas à resistência de sua frústula aos processos de abrasão e de dissolução em ambientes turbulentos. É uma espécie fortemente silicificada (Bradbury 2000; Vélez & Hooghiemstra op. cit.; O'Farrel *et al.* 2001; Gomes *et al.* 2003), apesar de ser pouco representada no fitoplâncton da região.

Thalassiosira é um gênero preferencialmente marinho ocorrendo algumas espécies em água doce (Aké-Castillo *et al.* 1999). Não há informações ecológicas sobre o táxon encontrado, uma vez que este não foi referenciado em outros trabalhos para a região. Entretanto, o mesmo foi muito freqüente e abundante na área de estudo, apresentando padrão de abundância semelhante ao de *A. granulata*, merecendo estudos mais detalhados a respeito de sua taxonomia e de sua ecologia.

As diatomáceas bentônicas, nos sedimentos superficiais de Itupanema, foram muito mais representativas que as espécies planctônicas em número de espécies, porém grande parte destas foi rara, com baixos valores de abundância, enquanto poucas espécies apresentaram abundâncias elevadas. Algumas destas estiveram associadas à vegetação existente na área de coleta, enquanto outras estiveram associadas aos sedimentos arenosos e argilosos.

A maior porcentagem da abundância total esteve concentrada, principalmente, na espécie *S. pinnata*, juntamente com *S. obtusa*, *E. silesiacum*, *Gomphonema parvulum*, *E. minutum* e *P. lanceolatum*. Nos sedimentos arenosos das amostras 3 e 10, *S. pinnata*, *S. obtusa*, e *P. lanceolatum* atingiram as maiores abundâncias, chegando a responder conjuntamente por 44,33% e 60,33% da abundância total, respectivamente. Diante disso, detectou-se uma possível afinidade ecológica destas espécies ao hábito epipsâmico.

Os táxons *E. silesiacum*, *Gomphonema parvulum* e *E. minutum* atingiram os maiores valores de abundância em sedimentos com menores teores de areia, possuindo matéria orgânica, restos vegetais e raízes em sua composição, relacionado, provavelmente, à presença de vegetação próxima, confirmando assim, o hábito epifítico de águas continentais destas espécies.

A presença de *Staurosirella pinnata* com altos valores de abundância em sedimentos superficiais tem sido evidenciada em diversos estudos, discutidos adiante. Há, porém, diferentes explicações para sua ocorrência. Round *et al.* (1990) consideram o gênero *Staurosirella* como sendo de água doce, ocorrendo muitas vezes aderido aos grãos de areia.

Gomes *et al.* (2005), na análise dos sedimentos superficiais da Lagoa do Boqueirão, inserida em uma planície costeira com sistema dulciaquícola, ao norte do Estado do Rio Grande do Norte, mostram que *S. pinnata* ocorreu como uma das espécies mais abundantes (41,06%), caracterizando os trechos mais rasos do sistema. A espécie foi classificada como perifítica e sua ocorrência está associada ao banco de macrófitas existente na região.

Em sedimentos superficiais na lagoa hipersalina Araruama, Rio de Janeiro, Sylvestre *et al.* (2001) observaram uma assembléia composta pelos táxons dominantes *Staurosira elliptica* (Schumann) Williams & Round e *Staurosirella pinnata*, em três áreas da lagoa,

sujeitas ao aporte de água proveniente de rios. Em Araruama, *S. elliptica* é epipsâmica, formando colônias em forma de fita. *S. pinnata* foi considerada como espécie ticoplanctônica, geralmente vivendo em águas doce a oligosalinas (0–5 de salinidade), ambas espécies foram associadas às zonas com forte variação na profundidade.

Hassan *et al.* (2006), em estudo na Lagoa Mar Chiquita, no sudeste de Buenos Aires, Argentina, encontraram *Staurosira construens* var. *venter* e *Staurosirella pinnata* como espécies dominantes nos pontos localizados no interior da lagoa, onde as condições ambientais eram bastante variáveis, com altas concentrações de sedimentos em suspensão. Ainda neste estudo, as duas espécies foram classificadas como táxons de águas salobra/doce e ticoplanctônicas. Vale ressaltar que nos três pontos em que as duas espécies foram mais abundantes, o tipo de sedimento era grosseiro, variando de areia grossa com conchas a areia grossa com silte.

Entretanto, em relação à distribuição de *S. pinnata*, percebe-se uma variabilidade muito grande dos ambientes, nos quais a espécie é referida, assim, como diferentes formas de vida (perifíticas, ticoplanctônicas e epipsâmicas), necessitando-se, portanto, de estudos mais refinados acerca de sua ecologia e de sua distribuição geográfica.

A ecologia da espécie *Staurosira obtusa* é pouco conhecida, sendo pouco citada em trabalhos no Brasil e no mundo. Esta espécie foi originalmente descrita por Hustedt (1956), sob o nome de *Fragilaria obtusa*, encontrada no Lago Maracaibo (Venezuela), classificado como lago tropical, altamente salino. Foi transferida para o gênero *Staurosira* por Garcia (2006), que reportou o gênero em amostras arenosas provenientes de uma praia, localizada no sistema estuarino da baía do Laranjal (RS-Brasil). Diante disso, pode-se considerar este como o segundo registro da espécie para o hábito epipsâmico no Brasil e o primeiro registro no Estado do Pará, uma vez que na praia de Itupanema, a espécie apresentou maiores valores de abundância, em amostras arenosas.

Round & Bukhtiyarova (1996), analisando as comunidades epipsâmicas de nove rios Britânicos, registraram o gênero *Planothidium* entre os maiores gêneros envolvidos na composição da flora epipsâmica destes rios. *P. lanceolatum* foi muito abundante, chegando a alcançar 74% de abundância, em um dos rios.

As assembléias de diatomáceas em sedimentos superficiais de lagoas rasas do SE da Inglaterra, enriquecidas artificialmente, mostram dominância de *Fragilaria* spp., gênero subdividido em diversos outros gêneros por Williams & Round (1987), entre eles *Staurosira* e *Starousirella*, muitas destas associadas ao hábito bentônico (Bennion 1995). Sua dominância em sedimentos superficiais pode ser explicada pela sua associação à zona litoral de águas

rasas, o que proveria um espaço considerável para a colonização de formas bentônicas, uma vez que esses sedimentos fazem parte da zona fótica.

Conclusões

Os resultados mostram a influência da relação areia/argila sobre a composição das diatomáceas, que pode explicar a prevalência de agrupamentos de espécies ora planctônicas, ora bentônicas na zona de intermaré da praia de Itupanema. Sedimentos finos (argilas) evidenciaram um ambiente de sedimentação de menor energia, favorecendo a deposição e preservação de táxons planctônicos, enquanto sedimentos grosseiros (areias) predominaram em um ambiente com maior energia, prevalecendo os táxons bentônicos.

A vegetação herbácea presente na zona intermaré da praia de Itupanema parece também exercer uma forte influência na sedimentação, atenuando a energia das ondas e das marés, contribuindo para a sedimentação lamosa, retendo os sedimentos finos (argila), diminuindo, desse modo, o abrasão na zona de intermaré, preservando os táxons planctônicos.

Agradecimentos

Aos pesquisadores Dra. Regina Célia Tavares Lobato e Dr. Rosildo Santos Paiva do Museu Paraense Emílio Goeldi pelas críticas ao manuscrito;

Ao pesquisador M.Sc. Paulo Roberto do Canto Lopes e à Companhia Vale do Rio Doce pelo financiamento à pesquisa e ao CNPq pela concessão de Bolsa de Mestrado ao primeiro autor.

Referências Bibliográficas

- Aké-Castillo, J. A.; Hernández-Becerril, D. U. & Castillo, M. E. M.. 1999. Species of the Genus *Thalassiosira* (Bacillariophyceae) from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Botanica Marina*, 42: 487-503.
- Alves, M. A. M. S *et al.* 2005. Morfodinâmica das praias de meso-macromarés da zona costeira do estado do Pará. In: X Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Guarapari, ES. CD-ROM de resumos, n. 0258. pdf.
- Bennion, H. 1995. Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds, and implications for reconstructing trophic status. *Diatom Research*, 10 (1): 1-19.
- Bradbury, J. P. 2000. Limnologic history of Lago de Pátzcuaro, Michoacán, Mexico for the past 48,000 years: impacts of climate and man. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 163: 69-95.
- Cooper, S. R. 1995. Diatoms in sediment cores from mesohaline Chesapeake Bay, U.S.A. *Diatom Research*. 10: 39-89.
- _____. 1999. Estuarine palaeoenvironmental reconstructions using diatoms. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds.). *The Diatoms: Applications for the environmental and sciences*. Cambridge: University Press. p. 352-73.
- El-Robrini, M.; Melo, N. F. A. C. & Santos, M. L. 2006. Resultados das análises de qualidade de água, sedimentos de fundo, comunidades aquáticas (plâncton, bentos & nécton) e bacteriologia no rio Pará, nas imediações do futuro terminal portuário graneleiro de Barcarena (porto de Vila do Conde, Barcarena-PA) (1ª campanha). Relatório Técnico – Universidade Federal do Pará, Belém, PA. 75 f.
- Fritz, S. C. *et al.* 1999. Diatoms as indicators of hydrologic and climatic change in saline. In: *The Diatoms: Applications for the environmental and sciences*. (Stoermer, E. F. & Smol, J. P., eds.). Cambridge: University Press. 41-72 p.
- Garcia, M. 2006. The transfer of *Fragilaria obtusa* Hustedt to the genus *Staurosira* Ehrenberg (Bacillariophyceae). *Phycological Research*. 54, (2): 87-93.
- Gomes, D. F. *et al.* 2003. Diatomáceas como indicadoras de mudanças ambientais da Baía de Iguape – Baixo Paraguaçu – (Bahia, Brasil). In: IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário. CD-ROM de resumos, n. 168. pdf.
- _____. *et al.* 2005. Heterogeneidade espacial da comunidade de diatomáceas nos sedimentos superficiais da lagoa do boqueirão (RN) como fator de calibração para interpretações paleolimnológicas. In: X Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. CD-ROM de resumos n. 0208. pdf.
- Hall, R. I. & Smol, J. P. 1999. Diatoms as indicators of lake eutrophication. In: *The Diatoms: Applications for the environmental and sciences* (Stoermer, E. F. & Smol, J. P., eds.). Cambridge: University Press. p. 352-73.

- Hassan, G. S.; Espinosa, M. A. & Isla, F. I. 2006. Modern diatom assemblages in surface sediments from estuarine systems in the southeastern Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of Paleolimnology*, 35: 39-53.
- Hendey, N. 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal waters – V. Bacillariophyceae (Diatoms). *Fischery Investigations Series*, London: Her Majesty's Stationery Office. 4 (5): 317 p.
- Hustedt, F. 1956. Diatomeen aus dem Lago de Maracaibo in Venezuela. *Ergebn Deutsch Limnol Venezuela Exped.* p. 93-140.
- Lemos, R. C. & Santos, R. D. 1996. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3 ed. Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 83 p.
- Lopes, P. C. 2005. Programa de arqueologia preventiva na área do projeto bauxita Paragominas/Pa. Relatório de escavação do sítio arqueológico PA-BA-84: ALUNORTE. Museu Paraense Emílio Goeldi/Coordenação de Ciências Humanas/Área de Arqueologia: Belém, 64 f.
- Margalef, R. 1958. Temporal sucession and espacial heterogenety in phytoplankton. In: *Pespectives in Marine Biology* (Buzzati-Traverso, A. A., ed.). Berkeley: Universidade California Press, p. 323-49.
- Martínez de Fabricius, A. L. *et al.* 2003. Distribution patterns of benthic diatoms in a Pampean river exposed to seasonal floods: the Cuarto River (Argentina). *Biodiversity and Conservation*, 12: 2443-54.
- Mitbavkar, S. & Anil. A. C. 2002. Diatoms of the microphytobenthic community: population structure in a tropical intertidal sand flat. *Marine Biology*, 140: 41-57.
- _____. 2006. Diatoms of the microphytobenthic community in a tropical intertidal sand flat influenced by monsoons: spatial and temporal variations. *Marine Biology*, 148: 693-709.
- Moreira-Filho, H.; Valente-Moreira, I. M. & Trippia-Cecy. I. I. 1974. Diatomáceas do rio Guamá (foz do rio – Belém-Estado do Pará). *Leandra*. 4-5: 123-35.
- _____. *et al.* 1990. Avaliação florística e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. *Estudos de Biologia*, 25: 5-48.
- Moro, R. S. & Fürstenberger, C. B. 1997. Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas. Ponta Grossa, Ed. UEPG. 282 p.
- _____. & Santi, V. 1999. Avaliação das técnicas de oxidação comumente empregadas na limpeza de valvas silicosas. *Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia*, São Paulo, 26: 17-25.
- Munsell Colors Company. 1975. Munsell Soil Coors Charts. Baltimore, Maryland USA.

- O'Farrell, I.; Tell, G. & Podlejski, A. 2001. Morphological variability of *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen (Ehr.) Simonsen (Bacillariophyceae) in the Lower Paraná River (Argentina). *Limnology*, 2: 65-71.
- Oliveira, R. D. 2002. Zoneamento Agroambiental do Município de Barcarena – Pará. Dissertação de Mestrado, Belém/Pará, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 110 p.
- Paiva, R. S. *et al.* 2006. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da Baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará-Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais*.
- Patrick, R. & Reimer, C. W. 1966. The Diatoms of United States: exclusive of Alaska and Hawaii. Philadelphia: Academy of Natural Sciences, 1(13): 688 p.
- Pielou, E. C. 1969. An introduction to mathematical ecology. Wiley. New York.
- Round, F. E.; Crawford, R. M. & Mann, D. G. 1990. The Diatoms: biology and morphology of the genera. New York: Cambridge University Press, 747 p.
- Round, F. E. & Bukhtiyarova, L. 1996. Epipsammic diatoms – Communities of British rivers. *Diatom Research*, 11(2): 363-72.
- Sylvestre, F. *et al.* 2001. Modern benthic diatom distribution in a hypersaline coastal lagoon: the Lagoa de Araruama (R.J.), Brazil. *Hydrobiologia*, 443: 213-31.
- Vélez, M. I. & Hooghiemstra. 2005. Fossil and modern diatom assemblages from the savanna lake El Piñal, Colombia: An environmental reconstruction. *Diatom Research*, 20 (2): 387-407.
- Vos, P. C. & De Wolf, H. 1993. Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia*, 269/270: 285-96.
- Williams, D. M. & Round, F. E. 1987. Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research*, 2(2): 267-88.

CAPÍTULO 3

MUDANÇAS HIDRODINÂMICAS NA PRAIA DE ITUPANEMA, SETOR ESTUARINO DO ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA, DURANTE O ÚLTIMO MILÊNIO

Artigo submetido para publicação à Revista Acta Botânica Brasílica

Mudanças hidrodinâmicas na Praia de Itupanema, Setor Estuarino do Estado do Pará, Amazônia, durante o último milênio²

Fábio Campos Pamplona Ribeiro⁴

Cristina do Socorro Fernandes de Senna³

Brenda Oliveira da Costa²

Lezilda Carvalho Torgan³

RESUMO – Cinco testemunhos sedimentares IT1 (42 cm), IT2 (20 cm), IT3 (36 cm), IT4 (42 cm) e IT5 (44 cm), foram coletados na planície de maré da praia de Itupanema (01° 31' 03" S e 48° 43' 27" W), que integra o setor Continental Estuarino do Estado do Pará, Amazônia. A análise diatomológica das amostras revelou 48 táxons, cujas abundâncias e frequências de ocorrência indicam 3 ecozonas. A ecozona inferior (sedimentos arenosos), idade A.D. 1020, datada em IT1, é correlacionada em IT3, IT4 e IT5. Os táxons bentônicos/epifíticos *Staurosira obtusa*, *Staurosira crassa* D. Metzeltin & H. Lange-Bertalot e *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round foram mais abundantes, indicando um ambiente deposicional raso, de alta energia. A ecozona intermediária é lamosa (26-10 cm), definida apenas em IT1, datada em A.D. 1430 (20-22 cm). Os mesmos táxons bentônicos/epifíticos subjacentes reduzem sua abundância, enquanto as espécies planctônicas *Thalassiosira* sp. e *T. eccentrica* e *Aulacoseira granulata*, tornam-se mais abundantes, evidenciando um ambiente deposicional mais calmo, de águas mais profundas. Na ecozona superior, correlacionada nos cinco testemunhos, com idade subatual e sedimentos argilo-orgânicos a orgânicos no topo, *Thalassiosira* sp., *A. granulata* atingem os maiores valores de abundância relativa, contrariamente aos valores observados para os táxons bentônicos/epifíticos, indicando ambiente deposicional mais calmo, porém com maior energia que o anterior, devido à alta abundância de *A. granulata*, fortemente silicificada. As mudanças nas relações areia/argila dos estratos sedimentares influenciam a proporção das espécies bentônicas/epifíticas e planctônicas, causadas provavelmente por mudanças hidrodinâmicas locais ocorridas durante o último milênio.

Palavras-chave: Diatomáceas, planície de maré, estuário Amazônico

² Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor do Curso de Botânica Tropical MPEG/UFRA. Bolsista do CNPq.

³ Museu Paraense Emílio Goeldi, de Ciências da Terra e Ecologia. Cx. Postal 399. CEP 66040-170, Belém-PA, Brasil.

³ Museu de Ciências Naturais - Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. Cx. Postal 1188. Porto Alegre, RS.

⁴ Autor para correspondência: Fábio Campos Pamplona Ribeiro fbpamplona@yahoo.com.br.

ABSTRACT – The five sediment cores IT1 (42 cm), IT2 (20 cm), IT3 (36 cm), IT4 (42 cm) and IT5 (44 cm) were collected at tidal plain of Itupanema Beach (01° 31' 03" S e 48° 43' 27" W), that integrates the estuarine continental sector of Pará State, Amazon. The diatom analysis revealed 48 taxa, whose variations on values of both abundance and frequency data indicated 3 ecozones. In inferior ecozone (sandy sediments), A.D. 1020 age (dated in IT1), is correlated in IT3, IT4 and IT5. The benthic/epiphytic taxa *Staurosira obtusa* (Hustedt) Garcia, *Staurosira crassa* D. Metzeltin & H. Lange-Bertalot and *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round were more abundant, indicate a shallow depositional environment, with high energy. The intermediary muddy ecozone (26-10 cm) occurred only in IT1, dated A.D. 1430 (20-22 cm). The same subjacent benthic/epiphytic taxa reduced its abundance, while the planktonic *Thalassiosira* sp., *T. eccentrica* and *Aulacoseira granulata*, become more abundant, evidencing a calmer depositional environment, within deeper waters. In the upper ecozone, correlated in the five cores, subactual age, with organic-clay to organic sediments in the top, *Thalassiosira* sp., *A. granulata* reached the highest values of relative abundance, in contrast to observed values for benthic/epiphytic taxa, indicating a calmer depositional environment, however with higher energy than the previous one, due to high abundance of *A. granulata*, strongly silicified. Changes in the ratio sand/clay of sedimentary stratus influenced the ratio of the benthic/epiphytic and planktonic species caused probably by local hydrodynamic changes occurred during the last millennium.

Key-words: Diatoms, tidal plain, estuary, Amazon Estuary.

Introdução

O termo palinomorfo integra microfósseis com dimensões menores que 200 μ m como as diatomáceas. Estas são excelentes bioindicadores paleoambientais e paleoecológicos, pois são muito sensíveis às variações físicas e químicas em ambientes aquáticos e terrestres, respondendo, em termos de composição, de diversidade e de abundância de táxons, às mudanças na estrutura e no funcionamento de ecossistemas ao longo de séries temporais sedimentares, atuando como arquivos naturais de modificações bioestratigráficas (Cooper 1999), conservando-se no sedimento, em ambientes redutores, graças à composição silicosa de suas frústulas (Cooper *op. cit.*).

As diatomáceas são as algas unicelulares que contribuem, marcadamente, para a produção primária em ecossistemas estuarinos e desempenham um importante papel na cadeia alimentar aquática (Pinckney & Zingmark 1993 apud Kasim & Mukai 2006), constituindo, desse modo, uma parte importante da comunidade microfítobentônica nas planícies de maré arenosas destes ecossistemas.

Segundo Mitbavkar & Anil (2002), as comunidades de diatomáceas nas planícies de maré são, comumente, compostas de espécies penadas que podem ser epipsâmicas (aderidas aos grãos de areia) ou epipélicas (formas móveis dentro dos sedimentos).

As planícies de maré arenosas são ambientes dinâmicos onde o movimento das águas gerado pelas marés e os processos associados à deposição e à resuspensão dos sedimentos afetam a composição das diatomáceas. Além disso, os processos hidrodinâmicos transportam diatomáceas planctônicas presentes no ambiente aquático para o sedimento intertidal. Os táxons planctônicos podem estar em suas formas vegetativas, ou em seus estágios de dormência e podem contribuir para a dinâmica da população (Mitbavkar & Anil *op. cit.*).

As diatomáceas são sensíveis a um grande número de variáveis ambientais e a estrutura da comunidade pode, rapidamente, responder às mudanças das condições físicas, químicas e biológicas no ambiente (Oliveira *et al.* 2001; Mitbavkar & Anil *op. cit.*). A abundância das diatomáceas é correlacionada aos fatores físicos, tais como o tipo do sedimento, de luz e de temperatura (Bennion 1995; Resende *et al.* 2005), a salinidade (Sylvestre *et al.* 2001; Hassan *et al.* 2006) e a profundidade (Sylvestre *et al.* *op. cit.*). Dentre os fatores químicos, destacam-se as concentrações de fósforo e de nitrogênio (Hillebrand & Sommer 2000; Rivera & Díaz 2004). Fatores biológicos como o pastoreio por invertebrados bentônicos também pode afetar a estrutura da comunidade (Smith *et al.* 1996; Trites *et al.* 2005).

No Brasil, os estudos que utilizaram as diatomáceas como bases nas reconstituições paleoambientais e paleoecológicas intensificaram-se na década de 80 (Nascimento *et al.* 2003). Sendo assim, os estudos voltados para a caracterização do Quaternário, utilizando as diatomáceas como marcadores, começaram nas regiões S e SE com Abreu *et al.* (1987) e Ireland (1988).

Nas últimas décadas, alguns trabalhos foram realizados na costa brasileira, onde a maioria dos trabalhos reconstruiu mudanças ambientais regionais, relacionadas a mudanças glaciais e interglaciais, ocorridas durante o Neógeno Superior englobando o Pleistoceno e o Holoceno (Ribeiro & Senna 2005).

Na região Norte, os trabalhos nesta linha de pesquisa ainda são escassos, sendo que Ribeiro & Senna (op. cit.) realizaram o primeiro estudo com diatomáceas preservadas em sedimentos holocênicos (6.850 anos A. P.) – voltados à indicação de paleoambientes – no qual as mudanças na assembléia diatomológica indicaram variações do nível do mar.

Assim, diante da carência de estudos paleoambientais e paleoecológicos na região Norte, utilizando diatomáceas, este trabalho objetiva: (i) determinar a composição, a abundância e a riqueza da diatomoflora em testemunhos sedimentares; (ii) determinar e correlacionar as seqüências bioestratigráficas dos testemunhos sedimentares; (iii) determinar ecozonas ao longo dos testemunhos sedimentares; (iv) correlacionar composição, abundância e riqueza de diatomáceas com variáveis ambientais (pH, EH, salinidade e nutrientes); (v) promover datações ^{14}C em sedimentos para correlações bioestratigráfica e biogeográfica de diatomáceas. Dessa forma, este trabalho pretende contribuir na reconstrução da história paleoecológica da praia de Itupanema, no estado do Pará.

Material e métodos

Área de estudo – A coleta dos testemunhos foi realizada na praia de Itupanema, nas coordenadas 01° 31' 03" S e 48° 43' 27" W. A Praia de Itupanema faz parte do município de Barcarena, localizado no nordeste do estado do Pará, inserido na microregião geográfica de Belém (Brasil 1974 apud Oliveira 2002), situado a 14 m de altitude, distando de Belém em linha reta 25 km, sendo delimitado pelas coordenadas 01° 11'30" e 01° 42'00" latitude sul e 48° 25'15" e 48° 50'10" de longitude oeste de Greenwich (Figura 1).

O município limita-se ao norte e a leste com a baía de Marajó, ao sul com os municípios de Abaetetuba, Moju e Acará e oeste com a baía de Guajará (Oliveira op. cit.).

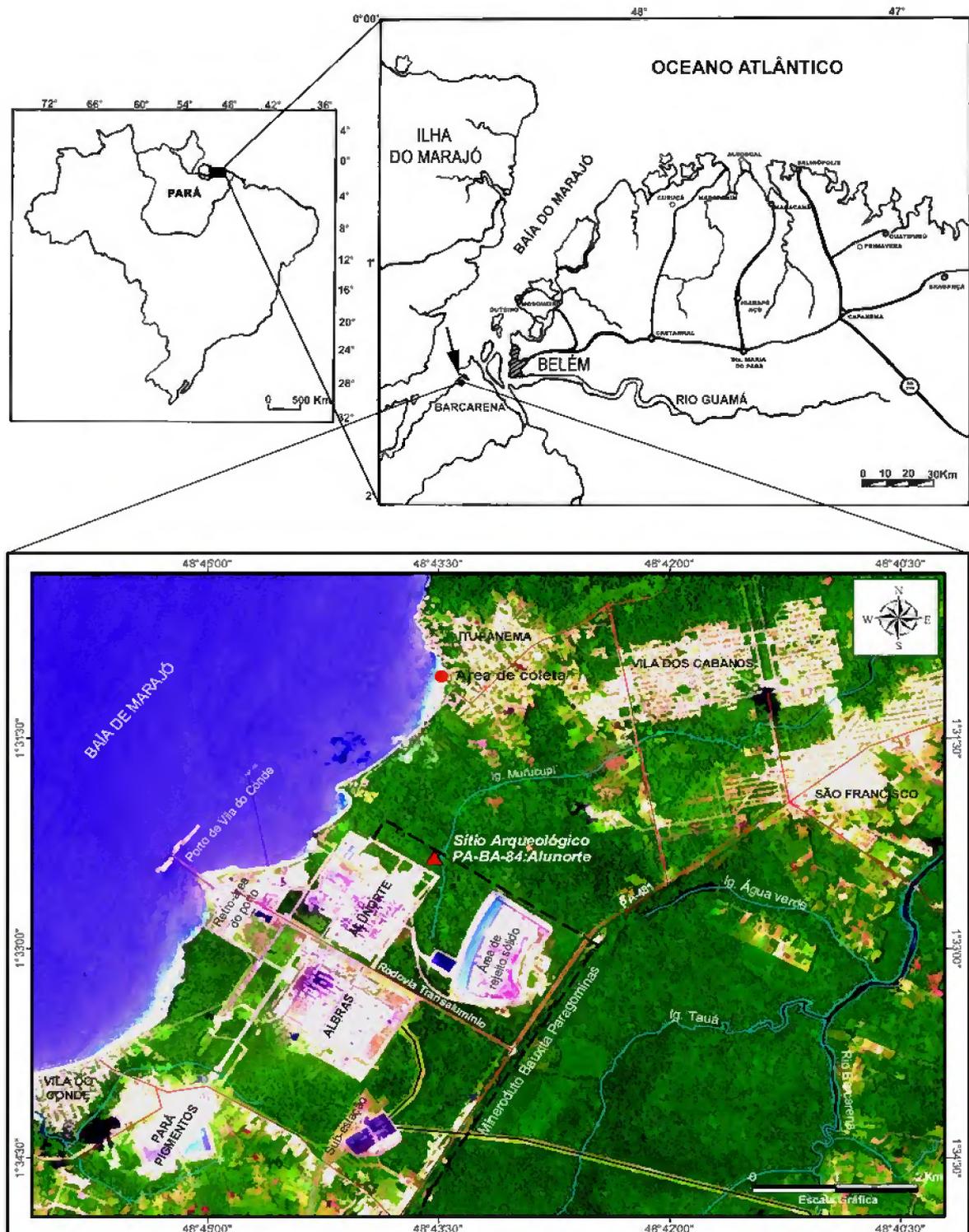


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, com destaque para o ponto de coleta, na Praia de Itupanema, Barcarena, Pará. Fonte: Lopes (2005).

O clima da microregião é do tipo Af_i de Köppen, caracterizado por chuvas abundantes, pluviosidade anual superior a 2.000 mm, com o período chuvoso, que se estende de dezembro a maio, e o período seco, que se estende de junho a novembro, quando os totais pluviométricos caem pela metade (IDESP 1983 apud Oliveira *ibidem*). Na hidrografia do

município, destaca-se a influência da baía de Marajó, que conecta o município ao oceano Atlântico, através da baía do Guajará e o rio Barcarena, às margens do qual se localiza a sede municipal (Oliveira *ibidem*).

A geologia da região de Barcarena é representada por dois períodos geológicos: o Quaternário e o Terciário. O período Terciário é representado por depósitos da formação Barreiras, constituídos de depósitos siliciclásticos (conglomerado, arenito, argilito) continentais, pouco ou mal selecionados de idade Pliopleistoceno (Oliveira *ibidem*). O Quaternário é representado por depósitos aluvionares recentes, constituídos por cascalhos, por areias e por argilas inconsolidadas. Predominam unidades geomorfológicas de baixas topografias: o Planalto Baixo Costeiro e a Planície Flúvio-Marinha constituídas de sedimento do Terciário e Quaternário, respectivamente (Oliveira *ibidem*).

A cobertura vegetal é constituída, principalmente, por duas tipologias vegetais: Floresta Ombrófila Densa e Floresta Aluvial. Entretanto, atualmente seu revestimento florístico nas áreas de terra firme caracteriza-se, principalmente, por florestas secundárias (Brasil 1974 apud Oliveira *ibidem*).

Na praia de Itupanema, em observações de campo, foram encontrados restos de troncos e de raízes de árvores em posição de vida como os gêneros de várzea *Pterocarpus* e *Mauritia* (buriti), assim como gêneros de mangue *Rhizophora* e *Avicennia*. O depósito é colonizado, atualmente, por espécies herbáceas com gramíneas, ciperáceas, com sete árvores de *Avicennia germinans* L., três de *Pterocarpus santalinoides* L Her' DC., e três de *Machaerium lunatum* (Lf) Ducke.

Em termos fisiográficos, a área de coleta integra o setor continental estuarino (Alves *et al.* 2005), cujas praias curtas e estreitas, com areias quartzosas e várzeas de maré holocênicas, estão ligadas à influência da baía do Guajará, do estuário do rio Pará e das falésias do Grupo Barreiras (Brasil *ibidem* apud Oliveira *ibidem*).

As praias são reflectivas e intermediárias, com uma orla caracterizada por sucessivos promontórios e enseadas (Farias 2004 apud Alves *et al.* op. cit.). Entretanto, na praia de Itupanema, ocorre na faixa intermaré, um depósito sedimentar com três setores. Um setor composto de lamas orgânicas com grande quantidade de restos vegetais (galhos, folhas e raízes), chegando a ter entre 30-50 cm expostos pela erosão da praia, um setor intermediário com sedimentos lamosos com areia e o terceiro com sedimentos arenosos com matéria orgânica e arenosos com lama.

Metodologia de campo – A análise diatomológica foi realizada em cinco testemunhos (IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5), coletados com trado de lama, na praia de Itupanema, em dezembro de 2004, paralelamente a linha de praia, na zona de intermaré, no depósito sedimentar, com as respectivas profundidades de 42, 20, 36, 42 e 44 cm, com as seguintes distâncias entre os testemunhos: IT1-IT2 = 7,5 m; IT2-IT3 = 15 m; IT3-IT4 e IT5 = 1,5 m.

Em campo, a descrição dos sedimentos baseou-se na cor, textura, estrutura e consistência segundo Lemos & Santos (1996). Ainda em campo, foram realizadas, medidas de pH, salinidade e EH nos sedimentos dos testemunhos (Tabela 2).

Metodologia de laboratório – No Laboratório de Palinologia e Paleoecologia da Amazônia (LAPPAM), as amostras sedimentares de 2 cm³ foram coletadas em intervalos de aproximadamente 3 cm, obedecendo à estratigrafia, processadas de acordo com a técnica de Florin (s/d apud Moro & Santi 1999). Foram montadas três lâminas permanentes com bálsamo do Canadá (índice de refração $\approx 1,54$), analisadas em microscópio de luz Zeiss, em aumento de 400 X e 1000 X.

A identificação e a obtenção de dados ecológicos das diatomáceas baseou-se em Patrick & Reimer (1966), em Hendey (1964), em Moro & Fürstenberger (1997) e em Moreira-Filho *et al.* (1990), associado ao registro de eletromicrografias em MEV Zeiss, modelo LEO 1450 VP no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Paraense Emílio Goeldi (LABMEV). Para a classificação sistemática das espécies, utilizou-se o sistema de Round *et al.* (1990). A abundância relativa de cada espécie foi calculada a partir da contagem de 300 valvas, obtendo-se o número de indivíduos/espécie.

Posteriormente, os testemunhos foram fatiados em intervalos de, aproximadamente, 5 cm totalizando trinta e cinco amostras para análise química. Essas amostras foram analisadas no Laboratório de Solos e Sedimentos do Museu Paraense Emílio Goeldi e foram quantificadas segundo técnicas convencionais de análise de solos (Tabela 1) descritas por Tomé Junior (1997) (Vide Apêndice D). As variáveis químicas analisadas foram Carbono (C), Matéria orgânica (M.O), Nitrogênio total (N), Fósforo disponível (P), Capacidade de troca de cátions (CTC), Sódio (Na), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Soma de Bases (S), Alumínio (Al) e Hidrogênio (H).

Tabela 1: Métodos aplicados às análises de solos.

Análise	Método
Carbono	Walkey-black
Matéria Orgânica	Cálculo – Carbono x 1,724
Nitrogênio total	Kejedhal (Digestão e Destilação)
Cálcio e Magnésio	Complexiometria (E.D.T.A)
Alumínio	Complexiometria (NaOH)
Sódio e Potássio	Fotometria de Chama
Fósforo	Colorimétrico
Acidez (H + Al)	Complexiometria (NaOH)
S (Soma das bases)	Cálculo dos elementos: Ca, Mg, Na e K
T (CTC)	Cálculo (Capacidade de Troca de Cátions)

As datações ^{14}C de duas amostras sedimentares (40-42 cm/IT1 e 20-22 cm/IT1) foram realizadas no Laboratório de Datação Radiocarbônica Beta Analytic, Flórida, EUA.

Índices ecológicos – Aplicaram-se estes dois índices ecológicos: A diversidade específica (H') calculada através do índice de “Shannon” (Margalef 1958), e a equitabilidade (E) através do índice de Pielou (1969). Para tal, foram empregadas as seguintes fórmulas:

$$H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i,$$

em que: ($p_i = n_i/N$) = Número de indivíduos de cada táxon;

n_i = Número total de organismos; e

$$E = H' / \log_2 S,$$

em que: S = Número de espécies.

Análises estatísticas – Na determinação do padrão de distribuição das espécies nos intervalos de profundidade, utilizou-se a Análise de Correspondência (AC) aplicado aos dados de abundância relativa. Para este tipo de análise, foram utilizadas apenas as espécies que alcançaram valor de abundância $>1\%$ em um mínimo de duas subamostras.

O padrão de distribuição das variáveis químicas nos intervalos de profundidade foi determinado com a Análise de Componentes Principais (ACP). Nas variáveis químicas que possuíam diferentes escalas métricas (Vide Apêndice D), os dados foram transformados por desvio padrão pela seguinte fórmula: $Z_i = x - \text{média} / \text{desvio padrão}$. Com o objetivo de diminuir o efeito de variáveis com mesmo padrão, utilizou-se a correlação de Pearson (r), selecionando-se apenas uma variável do par, quando a correlação alcançou valores positivos maiores de 0,80.

Os resultados de composição, de riqueza e de abundância relativa, expressos em gráficos, foram elaborados por meio do programa computacional EXCEL. As análises multivariadas, assim como os índices ecológicos, foram calculados por meio do programa PAST versão 1.4.

Resultados

Características sedimentares dos testemunhos – Os testemunhos sedimentares IT1 (42 cm), IT2 (20 cm), IT3 (36 cm), IT4 (42 cm) e IT5 (44 cm) foram diferenciados quanto à composição granulométrica e à presença de restos vegetais, o que constitui boa parte da matéria orgânica presente nos sedimentos (Figura 2).

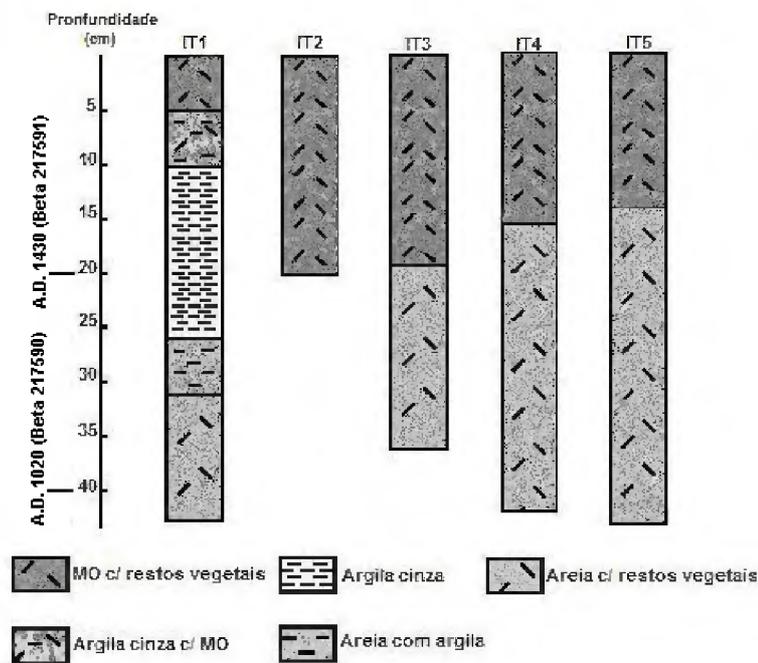


Figura 2: Os testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5, com datações radiocarbônicas, profundidades e diferentes estratos sedimentares descritos na legenda explicativa.

O testemunho IT1 apresentou cinco estratos, sendo o mais diversificado dentre os testemunhos analisados, tendo em vista a composição granulométrica dos sedimentos. O testemunho IT2 apresenta uma única camada de sedimentos orgânicos (20 cm), com restos vegetais. Os testemunhos IT3, IT4, IT5 são compostos por duas camadas mostrando bases arenosas (36-18 cm/IT3), (42-15,5 cm/IT4) e (44-14 cm/IT5), com maiores teores de restos vegetais em direção à superfície, entre (18-0 cm/IT3), (15,5-0 cm/IT4) e (14-0 cm/IT5).

A variação na composição granulométrica de cada testemunho e as observadas entre estes evidencia mudanças na hidrodinâmica estuarina, com fortes implicações na variação vertical e lateral dos ambientes de sedimentação.

Salinidade, EH e pH – Os valores de salinidade mensurados ao longo dos testemunhos apresentaram uma pequena oscilação, variando de 0 a 2, onde com exceção do testemunho IT2, a tendência observada foi o aumento desta salinidade em direção a base dos testemunhos.

Os valores de EH apresentaram-se sempre positivos variando de 73 (amostra IT-6) a 411 (amostra IT5-6).

Quanto ao pH, este foi ácido variando de 4,77 (amostras IT1-3 e IT5-3) a 5,89 (amostra IT4-4).

Tabela 2: Medidas de salinidade, EH e pH mensuradas ao longo dos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5.

Amostras	Profundidade	Salinidade	EH	pH
IT1-1	2	0	401	5.85
IT1-2	5	0	211	5.05
IT1-3	10	0	85	4.77
IT1-4	20	0	49	4.85
IT1-5	30	1	80	5.25
IT1-6	40	2	73	4.88
IT2-1	2	1	205	5.4
IT2-2	5	0	102	5.18
IT2-3	10	1	80	4.95
IT2-4	20	1	112	5.09
IT3-1	2	1	165	5.47
IT3-2	5	1	150	5.19
IT3-3	10	1	101	5.27
IT3-4	20	2	337	5.81
IT3-5	30	1	171	5.55
IT4-1	2	1	350	5.48
IT4-2	5	1	282	5.16
IT4-3	10	1	182	5.31
IT4-4	20	2	229	5.89
IT4-5	30	2	224	5.63
IT4-6	40	2	269	5.95
IT5-1	2	1	304	5.85
IT5-2	5	1	335	5.05
IT5-3	10	1	266	4.77
IT5-4	20	2	148	4.85
IT5-5	30	2	198	5.25
IT5-6	40	2	411	4.88

Análise diatomológica – Foram identificados um total de cinquenta e três táxons, entretanto, as espécies planctônicas *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Actinocyclus normanii* (Gregory) Hustedt, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Polymyxus coronalis* L. W. Bail, *Thalassiosira* sp e *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve e as bentônicas/epifíticas *Staurosira crassa* D. Metzeltin & H. Lange-Bertalot, *Staurosira obtusa* (Hustedt) Garcia e *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round (Vide Apêndice C), alcançaram, conjuntamente, valores de abundância relativa acima de 70%, ao longo dos testemunhos analisados.

Esses dados somados a outros relativos aos de ecologia e de distribuição, análise de nutrientes, tipo de sedimento, subsidiados por análises estatísticas multivariadas, indicaram mudanças paleoecológicas da área de estudo, delimitando assim, três ecozonas ao longo dos testemunhos. Os dados ecológicos das espécies citadas são observados na Tabela 2.

Tabela 3: Ecologia das principais espécies de diatomáceas encontradas nos sedimentos na Praia de Itupanema, Pará.

Espécies	Ecologia	Referência
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	Salinidade indiferente, mesossapróbia, alcalinófila, eutrófica, planctônica.	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Actinocyclus normanii</i> (Gregory) Hustedt	Mesohalóbia, pH indiferente, planctônica.	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	Halófila, a-mesosapróbia, alcalinófila, planctônica.	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Polymyxus coronalis</i> L. W. Bail.	Mesohalóbia, planctônica, típica no estuário Amazônico, presente atualmente no fitoplâncton da área de estudo.	Moreira-filho <i>et al.</i> (1974) Paiva <i>et al.</i> (2006) El-Robrini <i>et al.</i> (2006)
<i>Thalassiosira</i> sp.	Gênero principalmente marinho planctônico	Round <i>et al.</i> (1990)
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	Eurialina, marinha, planctônica.	Moro & Fürstenberger (1997)
<i>Staurosira crassa</i> D. Metzeltin & Lange-Bertalot	Espécie de água doce tipo coletada no rio Amazonas.	(Metzeltin & Lange-Bertalot, 1998).
<i>Starousira obtusa</i> (Hustedt) Garcia	Espécie epipsâmica (anexa aos grãos de areia). Encontrada em praia arenosa estuarina.	Garcia (2006)
<i>Staurosirella pinnata</i> (Ehrenberg) Williams & Round	Salinidade indiferente, oligossapróbia, litoral, perifítica, eutrófica	Moro & Fürstenberger (1997)

Testemunho Itupanema 1 – O testemunho IT1 apresenta cinco estratos sedimentares, sendo o mais diversificado dentre os testemunhos analisados, tendo em vista a composição granulométrica dos sedimentos. Porém, baseado na análise de diatomáceas, foi possível dividi-lo em três ecozonas (Figura 3). Neste testemunho, a assembléia diatomológica esteve representada por vinte e nove táxons bentônicos/epifíticos e treze táxons planctônicos.

A ecozona inferior, delimitada entre 26-42 cm, com sedimentos arenosos a arenolamosos, datada na base em A.D.1.020 (Beta 217.590), mostra maior abundância de diatomáceas bentônicas na base e no topo da ecozona, com *S. pinnata* (19,33%) e *S. obtusa* (30,67%), atingindo valores máximos de abundância em 37-39 cm, com forte redução no meio da ecozona (32-34 cm) com valores de 8,33 e 5%, respectivamente.

Contudo, no topo (27-29 cm) voltam a atingir valores altos de abundância (27,67 e 15% respectivamente). Embora *S. crassa* apresente valores mais baixos de abundância, seu maior valor ocorre nesta ecozona (9% - 29-27 cm). A espécie planctônica *Polymyxus coronalis* mostra um padrão de crescimento inverso ao das espécies bentônicas/epifíticas, atingindo maior abundância no meio da ecozona (57,7%) em 34-32 cm, decrescendo fortemente no topo (9,33%).

A ecozona intermediária (26-10 cm) é lamosa, os maiores teores de argila ocorrem a partir de 22 cm, datados em A.D. 1.430 (Beta 217.591). As diatomáceas bentônicas/epifíticas subjacentes reduzem sua abundância, ao contrário das diatomáceas planctônicas que crescem numericamente. *P. coronalis* atinge de 19,67% na base da ecozona, decrescendo no topo (8,67%). *A. granulata* aparece na base com 8%, crescendo fortemente em direção ao topo (18,67%). *Thalassiosira* sp., *T. eccentrica* e *C. meneghiniana* seguem o mesmo padrão de crescimento iniciando, respectivamente, na base da porção com (11,33%, 10,67% e 3,67%) e chegando ao topo com 21,67%, 14,67% e 8,33%.

A ecozona superior (10-0 cm), com sedimentos argilo-orgânicos a orgânicos no topo e idade subatual, com restos de vegetação arbórea e de palmeiras em posição de vida, mostra as diatomáceas planctônicas *Thalassiosira* sp. (33,67%) *A. granulata* (20,67%) e *C. meneghiniana* (10,67%) com os maiores valores de abundância relativa. Embora *P. coronalis* alcance 11,33% na base desta ecozona, sua abundância decresce fortemente no topo (2%). As diatomáceas bentônicas/epifíticas atingem baixos valores de abundância, com exceção a *S. pinnata*, chegando a 12% no topo.

Testemunho Itupanema 2 – O testemunho IT2 apresenta uma única camada de sedimentos orgânicos (20 cm), com restos vegetais, integrando, portanto, a ecozona superior de IT1, cuja idade é subatual. Neste testemunho, a assembléia diatomológica esteve representada por 35 táxons bentônicos/epifíticos e 14 táxons planctônicos (Figura 4).

Entre as espécies planctônicas mais abundantes estão *Thalassiosira* sp., *A. granulata*, *C. meneghiniana*, *T. eccentrica* e *P. Coronalis*, as duas últimas melhor representadas na base da ecozona, com valores de abundância de 10 e 15,3% respectivamente, chegando a baixos valores na superfície (0,7 e 2%). Ao contrário, *A. granulata*, *Thalassiosira* sp. e *C. meneghiniana* apresentaram padrões de crescimento inversos, com valores de abundância crescendo em direção à superfície, atingindo valores máximos de 25,3% (7-9 cm), 40,3% (2-4 cm) e 14% (7-9 cm) respectivamente, porém sofrem forte redução na superfície, com os menores valores de abundância, respectivamente, 10,3%, 10,3% e 4%. A diatomácea bentônica/epifítica *S. pinnata*, embora com baixos valores de abundância, ao longo do testemunho, ao redor de 3%, alcança na superfície altos valores de abundância, atingindo 25%.

Testemunhos Itupanema 3, 4 e 5 – Os testemunhos IT3, IT4 e IT5 são muito similares nas composições granulométricas, químicas e de diatomáceas. São divididos em apenas duas ecozonas com sedimentos predominantemente arenosos nas bases e com maiores teores orgânicos e restos vegetais em direção a superfície. Nos testemunhos IT3, IT4 e IT5, a assembléia diatomológica esteve constituída, respectivamente, por 20, 22 e 26 táxons bentônicos/epifíticos e por 13, 10 e 10 táxons planctônicos. No testemunho IT3, as diatomáceas estiveram ausentes na profundidade de 33-35 cm (Figuras 5, 6 e 7).

As ecozonas inferiores (36-18 cm/IT3), (42-15,5 cm/IT4) e (44-14 cm/IT5), com sedimentos arenosos, correlacionadas com a ecozona inferior de IT1, mostram maiores abundâncias de táxons bentônicos/epifíticos, entre eles *S. obtusa*, *S. crassa* e *S. pinnata*, que atingem altos valores de abundância. *S. obtusa* com valores máximos de abundância 53% (28-30 cm/IT3), 78,3% (26-24 cm/IT4) e 54% (30-32 cm/IT5) e mínimos de 50% (20-22 cm/IT3), 61,7% (33-35 cm/IT4) e 30% (40-42 cm/IT5). *S. crassa* com valores máximos de 33,67% (20-22 cm/IT3), 25,7% (19-21 cm/IT4) e 24,67% (25-27 cm/IT5) e mínimos de 26,33% (24-26 cm/IT3), 12,7% (24-26 cm/IT4) e 9,67% (40-42 cm/IT5).

Dentre as espécies bentônicas/epifíticas mais abundantes, *S. pinnata* apresentou os menores valores de abundância, com grandes oscilações nas porções arenosas, apresentando valores máximos de 11% (14-16 cm/IT3), 17% (19-21 cm/IT4) e 20% (35-37 cm/IT5) e mínimos de 5,33% (20-22 cm/IT3), 0,3% (33-35 cm/IT4) e 8,67% (40-42 cm).

Embora as espécies bentônicas/epifíticas dominem as porções arenosas dos referidos testemunhos, percebeu-se em IT5, na base da porção arenosa (40-42 cm), maiores abundâncias das espécies planctônicas, respondendo por cerca de 50% da abundância geral, destacando-se *Thalassiosira* sp. (15%), *A. granulata* (13,67%), *C. striata* (7,33 %) e *T. eccentrica* (7,33%).

As ecozonas superiores (18-0 cm/IT3), (15,5-0 cm/IT4) e (14-0 cm/IT5), com maior conteúdo orgânico, são correlacionadas com a zona superior em IT1 e com a única ecozona de IT2. Nestas, as diatomáceas bentônicas diminuem suas abundâncias em direção a superfície, porém *S. obtusa*, na base destas, ainda apresenta os maiores valores de abundância com (32,67% - 9-11 cm) em IT3, (46,7% - 11,5-13,5 cm) em IT4 e com (38,67% - 16-18 cm) em IT5. Dentre as espécies bentônicas/epifíticas, *S. pinnata*, apresenta um padrão inverso de crescimento, atingindo os maiores valores de abundância nas superfícies com 16%, 26,33% e 19,33% respectivamente, em IT3, IT4 e IT5.

Nestas ecozonas, as espécies planctônicas sofrem aumento na abundância, destacando-se *Thalassiosira* sp. e *A. granulata*, esta última atingiu nas bases das ecozonas, seus valores mínimos de abundância com 8%, 3% e 12%, respectivamente, em IT3, IT4 e IT5. Em seguida, sofre aumento progressivo atingindo valores numéricos máximos nas superfícies, com 43,67%, 26,3% e 28,33%, respectivamente, também em IT3, IT4 e IT5. *Thalassiosira* sp., apresentou o mesmo padrão de crescimento, contudo, sofre pequena redução na superfície, com os valores máximos ocorrendo em intervalos de subsuperfície, em que atingiu 10,67% (1-3 cm/IT3), 10% (1,5-3,5 cm/IT4) e 27,33% (4-6 cm/IT5).

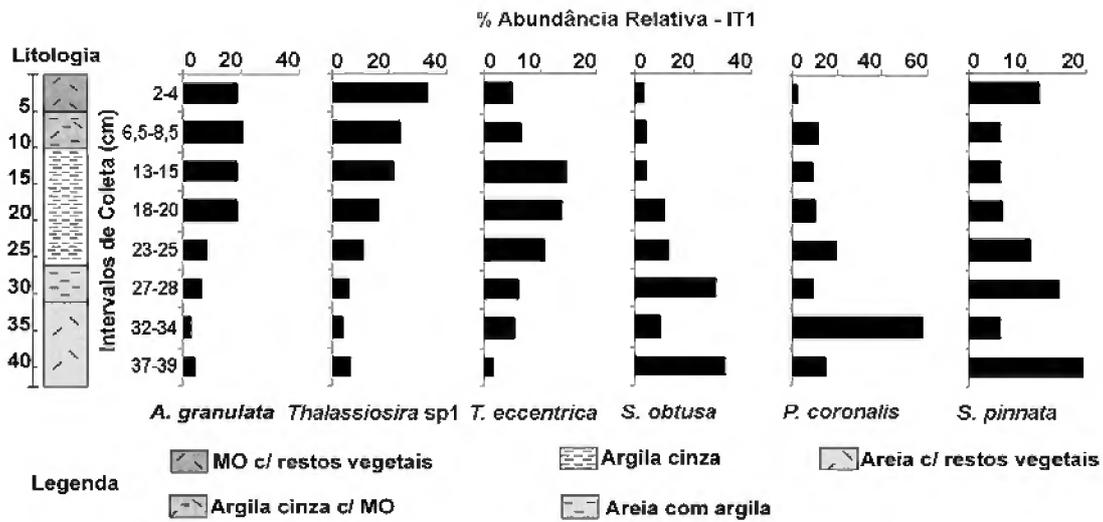


Figura 3: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT1.

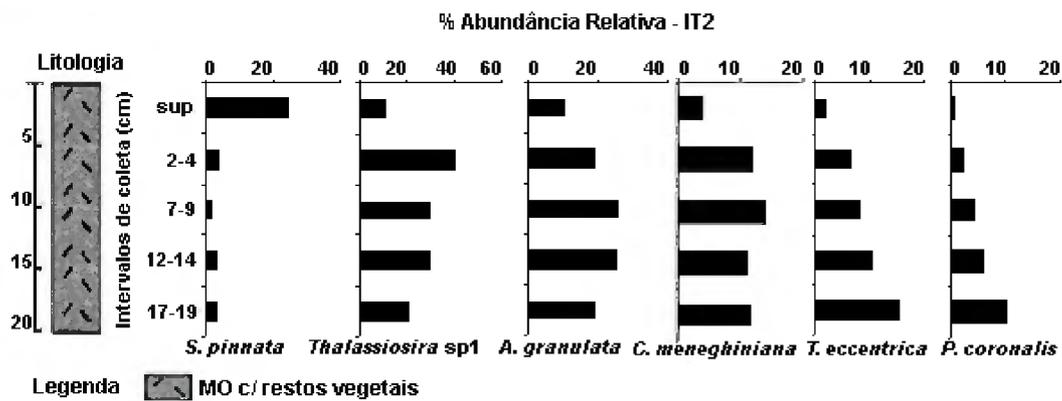


Figura 4: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT2.

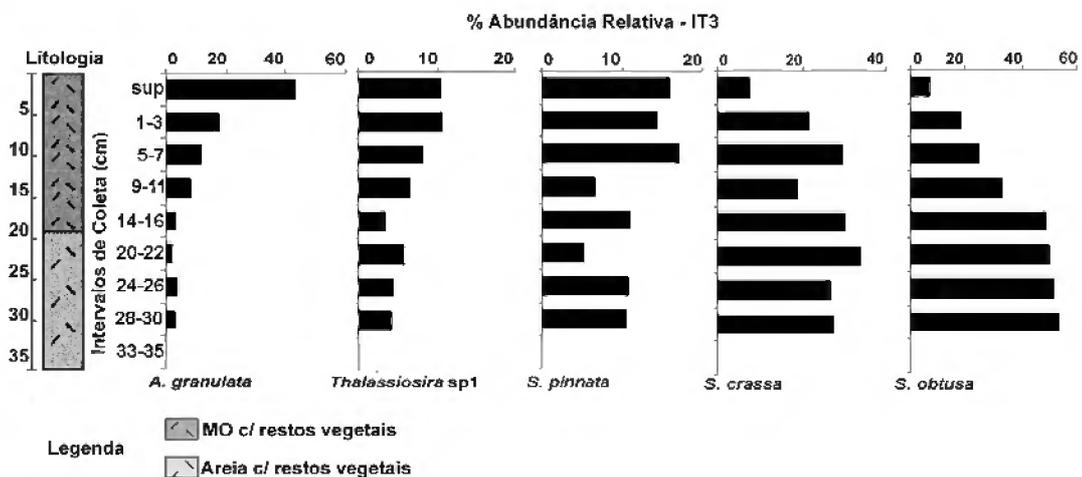


Figura 5: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT3.

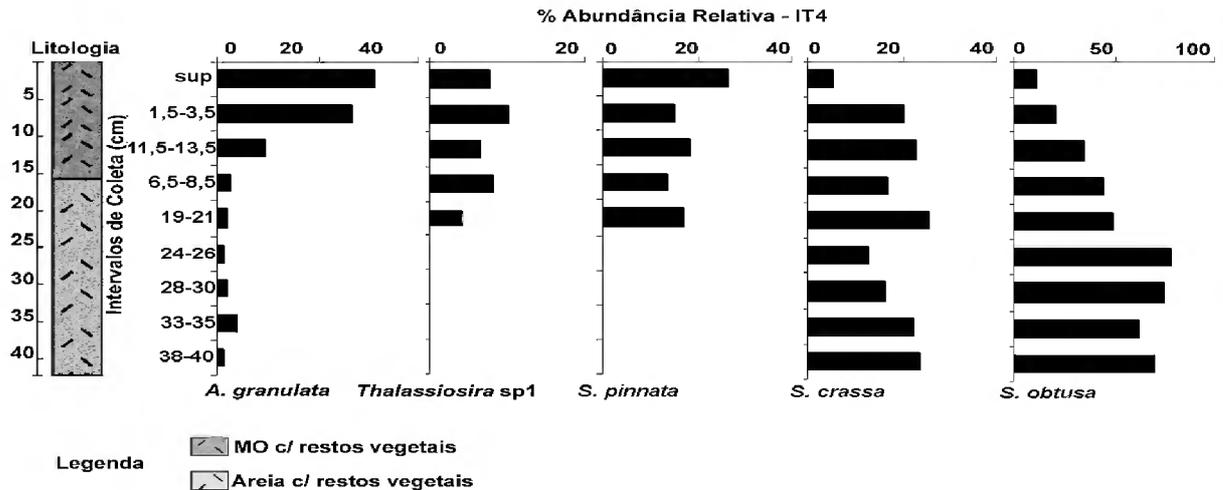


Figura 6: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT4.

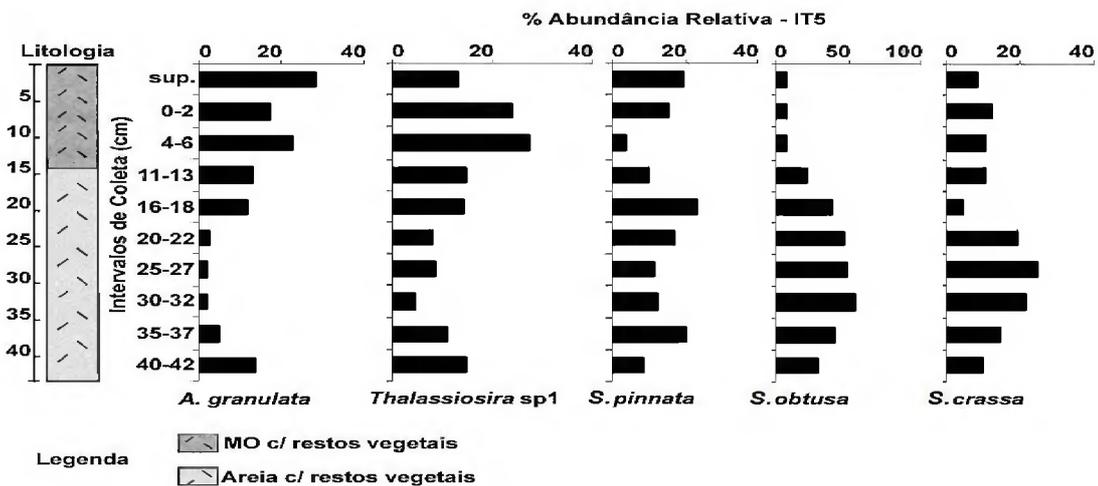


Figura 7: Litologia e distribuição das espécies de diatomáceas mais abundantes, presente no testemunho IT5.

Índices ecológicos – Em IT1, a riqueza atingiu o valor mínimo com dezesseis táxons em 32-34 cm e máximo de 27 (27-29 cm) no topo da porção arenosa. Quanto à diversidade e equitabilidade de diatomáceas, ambos os índices atingiram valores mínimos na ecozona arenosa (32-34 cm) com valores de $H' = 1.654$ e $E = 0.5967$. Nas ecozonas mais superiores, riqueza, diversidade e equitabilidade sofrem menor oscilação com valores máximos de 25, 2.506 e 0.7784, respectivamente, na porção argilosa.

Em IT2, os valores de riqueza de espécies variaram pouco nos intervalos de subsuperfície, iniciando com 24 espécies (19-17 cm), diminuindo em direção ao topo do testemunho, com o valor mínimo de dezesseis táxons (7-9 cm), com um aumento abrupto na superfície atingindo o valor máximo de trinta e três táxons. Na superfície, a diversidade e equitabilidade atingem seus maiores valores com $H' = 2.73$ e $E = 0.7807$. Os valores mínimos ocorreram em 2-4 cm com $H' = 1.988$ e $E = 0.6637$.

Nos testemunhos IT3, IT4 e IT5, os menores valores de riqueza, de diversidade e de equitabilidade ocorreram nas ecozonas arenosas destes testemunhos com oito táxons (38-40 cm /IT4), $H' = 0.8074$ (24-26 cm) e $E = 0.3674$. Assim, o maior valor de diversidade ocorreu nas ecozonas superiores com valor máximo $H' = 2.306$ na superfície de IT5 e para a equitabilidade ocorreu em 9-11 cm em IT3 com $E = 0.7946$. Uma exceção a este padrão foram os valores altos para riqueza, diversidade e equitabilidade na base da ecozona arenosa em IT5 com 15, 2.096 e 0.7738, respectivamente.

A análise da riqueza, da diversidade e da equitabilidade mostrou que os testemunhos IT1 e IT2 foram mais ricos, mais diversos e os organismos tiveram uma distribuição mais uniforme da abundância ao longo da coluna sedimentar, enquanto os testemunhos IT3, IT4 e IT5 apresentaram menor riqueza de espécies, principalmente, nas ecozonas mais arenosas, com baixa diversidade e equitabilidade, demonstrando, assim, que o ambiente era adverso para várias espécies, no qual apenas as espécies mais adaptadas resistiram a este ambiente, fato este, evidenciado nos baixos valores de equitabilidade. Nesse ambiente, poucas espécies responderam por grande parte da porcentagem da abundância total.

Análises estatísticas – Na Análise de Correspondência (AC), os dois primeiros eixos explicam 63.01% da variância total (Tabela 2). Nesta análise, desconsiderou-se o intervalo 32-34 cm de IT1, por se tratar de um “outlier”, aumentando assim a robustez da análise, pois a mesma é influenciada por resultados discrepantes.

O eixo 1, responsável por 39,97% da variância, diferenciou os intervalos mais basais (situados à direita), dos mais superficiais (situados à esquerda) mostrando assim um gradiente do substrato arenoso ao argilo-orgânico, também diferenciou as diatomáceas planctônicas das bentônicas com afinidade ao substrato arenoso (*S. crassa* e *S. obtusa*), situadas a direita (Figura 8).

A maior concentração de espécies planctônicas (*A. normanii*, *Cyclotella* sp1, *C. striata*, *C. stylorum*, *Paralia sulcata*, *Thalassiosira oestrupii*, *Triceratium favus*) esteve

correlacionada aos intervalos superficiais 0-2 e 11-13 cm de IT5 e ao intervalo 23-25 cm em IT1. Neste grupo, apenas o táxon epifítico *Eunotia* sp1 esteve representado.

A análise evidenciou, também, uma maior proximidade dos níveis mais superficiais de IT1 e IT2, nos quais as espécies *A. granulata* e *Thalassiosira* sp. e *C. meneghiniana* atingiram maiores abundâncias.

Alguns intervalos de subsuperfície dos testemunhos IT3 e IT4 estiveram mais próximos dos intervalos basais, demonstrando que nestes testemunhos, embora haja uma divisão evidente entre os substratos arenosos e orgânicos, há influência da areia na distribuição das diatomáceas. Enquanto nos níveis mais superficiais de IT5, esta influência é menor, evidenciada por sua proximidade aos níveis mais superficiais de IT1 e IT2.

As espécies *S. crassa* e *S. obtusa* estiveram associadas aos intervalos basais mais arenosos de IT4 e IT3 e IT5, porém, o que ficou evidenciado, foi a maior afinidade de *S. obtusa* aos intervalos arenosos mais profundos enquanto *S. crassa* esteve mais associada aos intervalos arenosos de menor profundidade de IT3, IT4 e IT5.

O eixo 2 responsável por 23,04% da variância, diferenciou principalmente a superfícies dos testemunhos, em que a maioria das espécies bentônicas/epifíticas (*Carpatogramma*, *Encyonema silesiacum*, *F. rhomboides*, *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing, *Gomphonema* sp3, *P. lanceolatum*, *Stauroneis* sp2, *S. pinnata*) foram mais abundantes (Figura 8).

Entre as superfícies, as superfícies dos testemunhos IT3, IT4 e IT5 estiveram mais próximas, enquanto IT2 esteve mais distante, com as espécies epifíticas/bentônicas *F. rhomboides*, *Gomphonema* sp3, *Gomphonema* sp2 e *Stauroneis* sp2 apresentando maior afinidade por esta amostra.

Tabela 4: “Eingenvalues” e variância explicada encontrados na Análise de Correspondência das espécies e intervalos nos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5.

Eixos (CA)	Eingenvalue	Variância explicada (%)
Eixo 1	0.43012	39.97
Eixo 2	0.24794	23.04
Eixo 3	0.103443	9.6125
Eixo 4	0.070394	6.5414

Na análise de componentes principais, os dois primeiros eixos explicam 86,283% da variância. O eixo 1, responsável por 64,638% da variância, esteve positivamente

correlacionado ao gradiente das principais variáveis químicas (C, CTC, Na e Al), no qual as amostras mais superficiais orgânicas dos testemunhos IT1, IT2 e a amostra IT4-2, situadas a direita do gráfico, apresentam os maiores valores para estas variáveis, enquanto os intervalos mais basais arenosos dos testemunhos IT3, IT4 e IT5, situados a esquerda, apresentam os menores valores.

O eixo 2, responsável por 21,645% da variância, agrupou as amostras principalmente em relação ao conteúdo de fósforo, no qual as amostras com maiores níveis deste elemento foram as amostras IT1-5 e IT1-6, em seguida com níveis menores, IT1-7 e IT5-1.

Este padrão de ordenamento mostra claramente uma diferenciação no nível das variáveis químicas nos testemunhos IT1 e IT2 em relação aos testemunhos IT3, IT4 e IT5.

Tabela 5: “Eigenvalues” e variância explicada encontrados na Análise de Componentes Principais das variáveis químicas e intervalos nos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5.

Eixos (ACP)	Eigenvalue	Variância explicada (%)
Eixo 1	3.23188	64.638
Eixo 2	1.08224	21.645
Eixo 3	0.271755	5.4351
Eixo 4	0.241259	4.8252

Baseado nos valores das correlações, as variáveis foram reduzidas a cinco: Carbono (C), Capacidade de troca de cátions (CTC), Fósforo (P), Sódio (Na) e Alumínio (Al). Assim, estas variáveis foram utilizadas na Análise de Componentes Principais para ordenamento das amostras (Tabela 5).

Tabela 6: Tabela de contingência com variáveis químicas. Com variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais (grifo nosso).

	C	M.O	N	P	CTC	Na	K	Ca	Mg	S	Al
C											
M.O	1										
N	0.91957	0.919575									
P	-0.40846	-0.40846	-0.3459								
CTC	0.764919	0.764928	0.917551	-0.20983							
Na	0.699573	0.699587	0.73982	-0.20791	0.771478						
K	0.550821	0.550838	0.593209	-0.21193	0.660445	0.972655					
Ca	0.98939	0.989391	0.940671	-0.36434	0.831743	0.746712	0.598281				
Mg	0.942714	0.942719	0.961871	-0.29836	0.916132	0.79287	0.648956	0.975179			
S	0.982143	0.982145	0.95375	-0.38332	0.857243	0.770072	0.627601	0.995566	0.980282		
Al	0.599094	0.5991	0.715742	0.048917	0.769404	0.715586	0.6053	0.661033	0.75564	0.670593	
H	0.39406	0.394073	0.668092	-0.039	0.888136	0.573437	0.519477	0.490065	0.636973	0.529266	0.616353

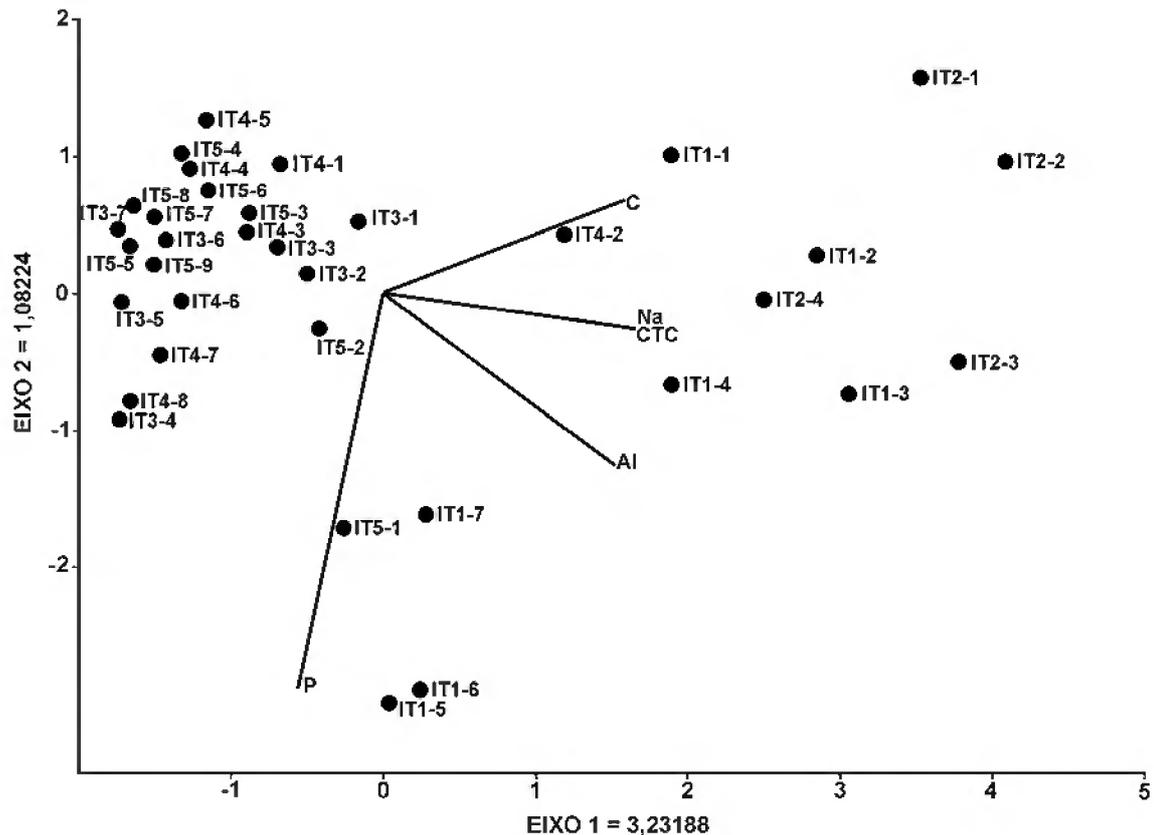


Figura 9: Ordenação da Análise de Componentes Principais das variáveis químicas (C, Na, CTC, Al e P) em diferentes profundidades dos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5.

Legenda das amostras: **Itupanema 1:** IT1-1 (0-5cm); IT1-2 (5-10 cm); IT1-3 (10-15 cm); IT1-4 (15-22 cm); IT1-5 (22-26 cm); IT1-6 (26-31 cm); IT1-7 (31-36 cm). **Itupanema 2:** IT2-1 (0-5 cm); IT2-2 (5-10 cm); IT2-3 (10-15 cm); IT2-4 (15-20 cm). **Itupanema 3:** IT3-1 (0-5 cm); IT3-2 (5-10 cm); IT3-3 (10-15 cm); IT3-4 (15-20 cm) IT3-5 (20-25 cm); IT3-6 (25-30 cm) IT3-7 (30-35 cm). **Itupanema 4:** IT4-1 (0-5 cm); IT4-2 (5-10 cm) IT4-3 (10-15,5 cm); IT4-4 (15,5-20 cm); IT4-5 (20-25 cm); IT4-6 (25-30 cm) IT4-7 (30-35 cm); IT4-8 (35-42 cm). **Itupanema 5:** IT5-1 (0-5 cm); IT5-2 (5-10 cm); IT5-3 (10-15 cm) IT5-4 (15-20 cm); IT5-5 (20-25 cm); IT5-6 (25-30 cm); IT5-7 (30-35 cm); IT5-8 (35-40 cm) IT5-9 (40-44 cm).

Discussão

Reconstruções paleoambientais e paleohidrodinâmicas – Baseado na combinação dos dados expostos anteriormente, algumas reconstruções paleoambientais e paleohidrodinâmicas podem ser propostas.

Na ecozona inferior datada em A.D.1020 (40-42 cm - Beta 217590), no testemunho IT1 e correlacionada com as ecozonas inferiores dos testemunhos IT3, IT4 e IT5, o ambiente de sedimentação da praia era raso com alta energia hidrodinâmica, a praia apresentava processo erosivo, na qual a área era desprovida de vegetação, deixando assim o substrato exposto à ação de ondas e de marés.

Esta hipótese é, principalmente, corroborada pelo tipo de sedimento, de composição e de estrutura da assembléia diatomológica e pelos teores das variáveis químicas evidenciadas nesta ecozona. As ecozonas basais apresentaram alto conteúdo arenoso e baixo conteúdo de matéria orgânica, principais indicativos da alta energia do ambiente de sedimentação. Nessas ecozonas, foram encontrados os menores valores de diversidade e de equitabilidade, assim como baixa riqueza. Todavia, no testemunho 1, esses valores apresentam-se maiores. Foram mensurados valores maiores de salinidade nas porções basais dos testemunhos, evidenciando um maior aporte de águas salinas.

A assembléia foi dominada principalmente pelas espécies *Staurosira obtusa* e *Staurosira crassa*, na qual *S. obtusa*, com maiores valores de abundância, demonstrou estar perfeitamente adaptada ao substrato arenoso. Garcia (2006), em trabalho realizado na Baía do Laranjal, uma praia arenosa estuarina localizada na Lagoa dos Patos, RS, reportou *S. obtusa*, como o primeiro registro da espécie para um hábito epipsâmico – vivendo aderida aos grãos de areia.

Nas ecozonas arenosas foi, também, observada a baixa representatividade tanto em número de espécies quanto na abundância das espécies planctônicas, provavelmente menos resistentes à abrasão e dissolução. Vélez *et al.* (2001) observaram a ausência de diatomáceas na base do testemunho do Lago El Caimito, em Chocó, costa pacífica da Colômbia, devido provavelmente à alta porosidade do depósito arenoso impedindo a preservação de palinomorfos.

Vélez *et al.* (2005), também observaram a ausência de diatomáceas em duas unidades sedimentares basais, de um testemunho coletado no Lago El Piñal, nordeste da Colômbia, com alto conteúdo de areia e baixo conteúdo orgânico, atribuindo a essa ausência, a natureza grosseira do sedimento (areia) e um ambiente deposicional de alta energia.

Garcia (op. cit.), na Praia Azul, situada em Santa Catarina, onde poucas espécies planctônicas tanto de água doce, quanto de água salgada, foram encontradas em amostras arenosas provenientes da praia, e segundo autora, estas espécies não estariam adaptadas a esse ambiente. Neste estudo, as estações de coleta com menores números de espécies, foram aqueles que estiveram mais próximas da zona de arrebentação das ondas, portanto, em uma zona de maior energia.

Na ecozona arenosa de IT1, vale ressaltar a presença de um provável evento de curta duração situado na profundidade de 32-34 cm, representando um ambiente de sedimentação calmo, com influência mínima de ondas e de marés, evidenciado pela elevada abundância da espécie planctônica *Polymyxus coronalis*.

A espécie é típica da região estuarina do rio Amazonas (Moreira-Filho *et al.* 1974), ocorre com mais de 50% de abundância relativa no microfitoplâncton da Baía do Guajará e foz do rio Guamá, ao longo do ano (Paiva *et al.* *ibidem*), enquanto na foz do rio Tocantins, que banha a praia de Itupanema, sua abundância diminui (30-35%), no período de estiagem (El-Robrini *et al.* 2006).

Assim, apenas um ambiente suficientemente calmo apresentaria condições suficientes para a preservação de uma espécie relativamente grande 44 a 128 μm (Navarro & Peribonio 1993), portanto com grande superfície disponível aos processos de abrasão e dissolução. Além disso, a espécie apresenta baixa representatividade nos sedimentos recentes de Itupanema.

Na ecozona intermediária datada em A.D. 1430 (20-22 cm - Beta 217591), representada apenas em IT1, representaria um ambiente de sedimentação de baixa energia, apresentando uma provável área protegida de intensa sedimentação de material lamoso. Os sedimentos desta ecozona são compostos por partículas finas (argilas), em que o pacote sedimentar apresentou 16 cm de espessura, com uma mistura de areia fina na base e com os últimos 12 cm compostos somente por material lamoso. Apresenta conteúdo de matéria orgânica em quantidades intermediárias entre as ecozonas inferior e superior.

Em relação à assembléia diatomológica, na ecozona intermediária, as espécies planctônicas apresentam maior representatividade em termos de abundância, são encontrados altos valores de riqueza, de diversidade e de equitabilidade, demonstrando ser um ambiente propício à preservação desses organismos.

Gomes *et al.* (2003), em trabalho realizado na Baía de Iguape, Bahia, caracterizaram o ambiente de sedimentação de um testemunho como de baixa energia hidrodinâmica, pela presença de sedimentos lamosos e com pequenos fragmentos vegetais, bem como pela boa preservação das valvas das diatomáceas. Nesses sedimentos, os autores encontraram maiores valores para a razão planctônicas: bentônicas.

Nas ecozonas superiores, com idades sub-recentes, tem-se um ambiente de sedimentação de baixa profundidade com maior energia hidrodinâmica que o anterior, porém de menor energia que as ecozonas arenosas inferiores representando uma fase erosiva da praia.

Nessas ecozonas, os sedimentos apresentaram os maiores conteúdos de matéria orgânica, e restos vegetais, provavelmente resultantes da decomposição da vegetação ainda existente na praia. Nelas, as espécies planctônicas ainda apresentam alta representatividade em termos de abundância, porém, dentre estas espécies, destacaram-se *A. granulata* e *Thalassiosira* sp., ambas espécies obtiveram maiores valores de abundância nos estratos orgânicos e prevaleceram nas superfícies, enquanto outras espécies sofreram bruscas reduções. Os índices de diversidade e de equitabilidade foram relativamente mais altos, assim como a riqueza de espécies.

A abundância de *A. granulata* é menor (10%) nas amostras de água do rio Tocantins, que banha a área de estudo (El-Robrini *et al.* 2006), porém, nas porções superiores dos sedimentos da Praia de Itupanema, alcançaram valores de abundância cerca de quatro vezes maior (43,67% - IT3). Isto se deve, principalmente, a composição altamente silicificada da carapaça deste gênero (Bradbury 1975 apud Wolin & Duthie 1999), permitindo que esta, resista ao atrito e abrasão em um ambiente de maior energia na superfície, em detrimento das espécies planctônicas mais frágeis como, por exemplo, *P. coronalis*.

A presença de *A. granulata* em sedimentos orgânicos indicou um ambiente aquático turbulento, pois possuindo altas taxas de afundamento, sua ecologia requer assim turbulência para manter sua presença na coluna d'água (Bradbury op. cit. apud Wolin & Duthie op. cit.). O aumento da turbulência e um maior aumento na disponibilidade dos nutrientes, poderia favorecer esse gênero sobre outras espécies planctônicas (Wolin & Duthie op. cit.).

Vélez & Hooghiemstra (2005), no nordeste da Colômbia, mostraram que a espécie ocorre tanto em ambiente limnético, como em ambiente mixohalino, em águas agitadas, moderadamente eutróficas e alcalinas, fato corroborado pelos dados ecológicos, com percentagens maiores em raízes da zona litoral (36,17%), do que em sedimentos lacustres de fundo (22,89%) e plâncton (23,85%).

Quanto a *Thalassiosira* sp., foi uma espécie muito freqüente e abundante, presente em praticamente todas as ecozonas de todos os testemunhos. Entretanto, maiores informações ecológicas sobre a espécie não foram possíveis uma vez que, chegou-se apenas a categoria de gênero em sua identificação e em outros trabalhos para a região, sua presença não foi constatada. Diante disto, a espécie merece estudos mais detalhados a respeito de sua taxonomia, morfologia, ecologia e distribuição.

Nas ecozonas superiores, apenas a espécie ticoplanctônica *Staurosirella pinnata*, obteve maior representatividade, se destacando principalmente nas superfícies com altos valores de abundância. Sua presença é evidenciada em diversos estudos com sedimentos superficiais como, por exemplo, no estudo de Gomes *et al.* (2005), em análise dos sedimentos superficiais da Lagoa do Boqueirão, Estado do Rio Grande do Norte, encontraram *S. pinnata* como uma das espécies mais abundantes, com 41,06% de abundância, sendo a espécie considerada típica de litoral, vivendo nas margens de lagos pouco profundos, geralmente associadas ao perifiton, portanto, sua presença foi associada aos bancos de macrófitas.

Em sedimentos superficiais na lagoa hipersalina Araruama, Rio de Janeiro, Sylvestre *et al.* (2001) observaram em três áreas da lagoa, uma assembléia composta por dois táxons dominantes *Staurosira elliptica* (Schumann) Williams & Round e *Staurosirella pinnata*. Em Araruama, *S. elliptica* é epipsâmica, formando colônia em forma de fita. *S. pinnata* foi considerada como espécie ticoplanctônica, geralmente vivendo em águas doce a oligosalinas (0–5 de salinidade), mas capaz de sobreviver em leves variações ocasionais na pressão osmótica (Cholnoky 1968 apud Sylvestre *et al.* 2001).

A dominância dessas espécies, nestas áreas da lagoa, foi relatada com flutuações na batimetria, uma vez que estes pontos são influenciados pelo aporte de água proveniente de rio, imprimindo forte variação na profundidade.

Bennion (1995) relatou que as assembléias de diatomáceas em sedimentos superficiais, de lagoas rasas enriquecidas artificialmente do SE da Inglaterra, mostraram uma dominância de *Fragilaria* spp (gênero subdividido por Williams; Round, 1987 em diversos gêneros, entre eles *Staurosira* e *Starousirella*), muitas destas associadas ao hábitat bentônico. Desta maneira, sua dominância em sedimento superficial pode ser explicada pela sua associação à zona litoral de águas rasas, o que proveria um espaço considerável para a colonização de formas bentônicas, uma vez que esses sedimentos fazem parte da zona fótica.

Em síntese, os resultados mostraram que as mudanças nas relações areia/argila dos estratos sedimentares influenciaram a proporção das espécies planctônicas/epifíticas, causadas provavelmente por mudanças hidrodinâmicas locais ocorridas durante o último milênio.

Agradecimentos

Aos pesquisadores Dra. Regina Célia Tavares Lobato e Dr. Rosildo Santos Paiva do Museu Paraense Emílio Goeldi pelas críticas ao manuscrito;

Ao pesquisador M.Sc. Paulo Roberto do Canto Lopes e à Companhia Vale do Rio Doce pelo financiamento à pesquisa e ao CNPq pela concessão de Bolsa de Mestrado ao primeiro autor.

Referências bibliográficas

Abreu, V. dos S. *et al.* 1987. Estudo paleogeográfico do Quaternário de Morretes, R. S. Brasil. Pp. 177-89. In: **Anais do I Congresso ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**.

Alves, M. A. M. S. *et al.* 2005. Morfodinâmica das praias de meso-macromarés da zona costeira do estado do Pará. In: **X Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos, n. 0258. pdf.

Bennion, H. 1995 Surface-sediment diatom assemblages in shallow, artificial, enriched ponds, and implications for reconstructing trophic status. **Diatom Research** 10 (1): 1-19.

Cooper, S. R. 1999. Estuarine paleoenvironmental reconstructions using diatoms. Pp. 352-73. In: Stoermer, E. F. & Smol, J. P. (eds.). **The Diatoms: Applications for the environmental and sciences**. Cambridge: University Press.

El-Robrini, M.; Melo, N. F. A. C. & Santos, M. L. 2006. **Resultados das análises de qualidade de água, sedimentos de fundo, comunidades aquáticas (plâncton, bentos & nécton) e bacteriologia no rio Pará, nas imediações do futuro terminal portuário graneleiro de Barcarena (porto de Vila do Conde, Barcarena-PA) (1ª campanha)**. Relatório Técnico - Universidade Federal do Pará, Belém, PA. 75 f.

Garcia, M. 1996. The distribution of psammic algae on a marine beach at Praia Azul, Brazil. In: Frank E. Round. (Org.). **Proceedings of the Thirtieth Diatom Symposium**. Bristol: Biopress. 13: 183-205.

_____. 2006. The transfer of *Fragilaria obtusa* Hustedt to the genus *Staurosira* Ehrenberg (Bacillariophyceae). **Phycological Research** 54 (2): p. 87-93.

Gomes, D. F. *et al.* 2003. Diatomáceas como indicadoras de mudanças ambientais da Baía de Iguape – Baixo Paraguaçu – (Bahia, Brasil). In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos.

_____. *et al.* 2005. Heterogeneidade espacial da comunidade de diatomáceas nos sedimentos superficiais da lagoa do boqueirão (RN) como fator de calibração para interpretações paleolimnológicas. In: **X Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos, n. 0208. pdf.

Hassan, G. S.; Espinosa, M. A. & Isla, F. I. 2006. Modern diatom assemblages in surface sediments from estuarine systems in the southeastern Buenos Aires Province, Argentina. **Journal of Paleolimnology** **35**: 39-53.

Hendey, N. 1964. **An introductory account of the smaller algae of British coastal waters – V. Bacillariophyceae (Diatoms)**. Fishery Investigations Series, London: Her Majesty's Stationery Office **4** (5): 317 p.

Hillebrand, H. & Sommer, U. 2000. Effect of continuous nutrient enrichment on microalgae colonizing hard substrates. **Hydrobiologia**. **426**: 185-92.

Ireland, S. 1987. The Holocene sedimentary history of coastal lagoons of Rio de Janeiro state, Brasil. In: **Sea level Changes**. M. Tooley & I. Shennan (eds.). Oxford Brasil Blackwell Ltd. 260 p.

Kasim, M & Mukai, H. 2006. Contribution of Benthic and Epiphytic Diatoms to Clam and Oyster Production in the Akkeshi-ko Estuary. **Journal of Oceanography** **62**: 267-81.

Lemos, R. C. & Santos, R. D. 1996. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 83 p.

Lopes, P. C. 2005. **Programa de arqueologia preventiva na área do projeto bauxita Paragominas/Pa**. Relatório de escavação do sítio arqueológico PA-BA-84: ALUNORTE. Museu Paraense Emílio Goeldi/Coordenação de Ciências Humanas/Área de Arqueologia: Belém, 64 p.

Margalef, R. 1958. Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. Pp. 323-49. In: **Perspectives in Marine Biology** (Buzzati-Traverso, A. A., ed.). Berkeley: Universidade California Press.

Metzeltin, D. & Lange-Bertalot, H. 1998. Tropical diatoms of the South America I. **Iconografia Diatomologica** **5**: 695 p.

Miller, U. & Florin, M. B. 1989. Diatom analysis. Introduction to methods and applications. Pp. 133-57. In: **Geology and Paleoecology for Archaeologists** (Hackens, T. & Miller, U., ed.). PACT, 24.

Mitbavkar, S. & Anil, A. C. 2002. Diatoms of the microphytobenthic community: population structure in a tropical intertidal sand flat. **Marine Biology** **140**: 41-57.

Moreira Filho, H.; Valente-Moreira, I. M. & Trippia-Cecy, I. I. 1974. Diatomáceas do rio Guamá (foz do rio – Belém-Estado do Pará). **Leandra** **4-5**: 123-35.

Moreira-Filho, H. *et al.* 1990. Avaliação florística e ecológica das diatomáceas (Chrysophyta-Bacillariophyceae) marinhas e estuarinas nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Estudos de Biologia** **25**: 5-48.

Moro, R. S. & Fürstenberger, C. B. 1997. **Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas**. Ponta Grossa, Ed. UEPG. 282 p.

_____. *et al.* 2004. Paleoclimate of the Late Pleistocene and Holocene at Lagoa Dourada, Parana State, Southern Brazil. **Quaternary International** **114**: 87-99.

_____. & Santi, V. 1999. Avaliação das técnicas de oxidação comumente empregadas na limpeza de valvas silicosas. **Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia** **26**: 17-25.

Nascimento, L. R. *et al.* 2003. Estudo da evolução paleohidrológica do Lago Caçó (MA-Brasil) nos últimos 20.000 anos inferido através das diatomáceas. In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos.

_____.; Sifeddine, A. & Abrão, J. J. 2005. As diatomáceas do sedimento da Lagoa de Cima - Campos de Goytacazes - (RJ-Brasil) para o entendimento das mudanças ambientais ocorridas ao longo de 7.000 anos cal. A.P. In: **X ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos.

Navarro, J. N. & Peribonio, R. G. 1993. A light and scanning electron microscope study of the centric diatom *Polymyxus coronalis* (Bacillariophyta). **European Journal of Phycology** **28**: 167-172.

Oliveira, M. A. *et al.* 2001. Association of periphytic diatom species of artificial substrate in lotic environments in the Arroio Sampaio basin, RS, Brazil: relationships with abiotic variables. **Brazilian Journal of Biology** **61**(4): 523-40.

Oliveira, P. E. *et al.* 2003. Reconstrução paleoambiental do Holoceno da Lagoa Olho D'água (Recife, PE) através de análises diatomológica e palinológica. In: **IX Congresso da ABEQUA - Associação de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos.

Oliveira, R. D. 2002. **Zoneamento Agroambiental do Município de Barcarena – Pará**. Dissertação de Mestrado, Belém/Pará, Faculdade de Ciências Agrárias do Pará. 110 p.

Paiva, R. S. *et al.* 2006. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá (Pará-Brasil). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais**.

Patrick, R. & Reimer, C. W. 1966. **The Diatoms of United States: exclusive of Alaska and Hawaii**. Philadelphia: Academy of Natural Sciences, 1 (13): 688 p.

Pielou, E. C. 1969. **An introduction to mathematical ecology**. Wiley. New York.

Resende, P.; Azeiteiro, U. & Pereira, M. J. 2005. Diatom ecological preferences in a shallow temperate estuary (Ria de Aveiro, Western Portugal). **Hydrobiologia** **544**: 77-88.

Ribeiro, F. C. P. & Senna, C. S. F. 2005. O Uso das Diatomáceas como Bioindicadores Paleoambientais na Costa Brasileira. In: **X Congresso da ABEQUA – Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos.

Rivera-R., C. & Díaz-Q., C. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadores de condiciones ambientales. **Caldasia** **26** (2): 381-94.

Round, F. E.; Crawford, R. M. & Mann, D. G. 1990. **The Diatoms: biology and morphology of the genera**. New York: Cambridge University Press. 747 p.

Smith, D., R. G. Hughes & Cox, E. J. 1996. Predation of epipelagic diatoms by the amphipod *Corophium volutator* and the polychaete *Nereis diversicolor*. **Marine Ecology Progress Series 145**: 53-61.

Souza, G. S. *et al.* 2003. Distribuição estratigráfica das diatomáceas (Bacillariophyceae) em sedimentos do Quaternário de Dois Irmãos, Recife – Pernambuco. In: **IX Congresso da ABEQUA – Associação de Estudos do Quaternário**. CD-ROM de resumos.

Sylvestre, F. *et al.* 2001. Modern benthic diatom distribution in a hypersaline coastal lagoon: the Lagoa de Araruama (R.J.), Brazil. **Hydrobiologia 443**: 213-31.

Tomé Junior, J. B. 1997. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba, Agropecuária, 247 p.

Trites, M. *et al.* 2005. Diatoms from two macro-tidal mudflats in Chignecto Bay, Upper Bay of Fundy, New Brunswick, Canada. **Hydrobiologia 544**: 299-319.

Vélez, M. I. & Hooghiemstra, H. 2005. Fossil and modern diatom assemblages from the savanna lake El Piñal, Colombia: An environmental reconstruction. **Diatom Research 20** (2): 387-407.

_____ *et al.* 2001. Late Holocene environmental history of southern Chocó region, Pacific Colombia; sediment, diatom and pollen analysis of core El Caimito. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 173**: 197-214.

Williams, D. M. & Round, F. E. 1987. Revision of the genus *Fragilaria*. **Diatom Research 2** (2): 267-88.

Wolin, J. A. & Duthie, H. C. 1999. Diatoms as indicators of water level change in freshwater lakes. Pp. 352-73. In: **The diatoms: applications for the environmental and sciences** (Stoermer, E. F. & Smol, J. P., eds.). Cambridge: University Press.

Ybert, J. P. *et al.* 2003. Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 189**: 11-24.

CAPÍTULO 4

CONCLUSÕES

Do total de táxons identificados, 85,75% eram bentônicos/epifíticos e 17,25% planctônicos. Entretanto, as espécies planctônicas *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *Thalassiosira* sp. e *Thalassiosira eccentrica* (Ehrenberg) Cleve e as bentônicas *Staurosirella pinnata* (Ehrenberg) Williams & Round *Encyonema silesiacum* (Bleisch) Mann, *Staurosira obtusa* (Hustedt) Garcia, *Gomphonema* sp2, *Planothidium lanceolatum* (Breb.) Round & Bukht., *Encyonema minuta* (Hilse) Mann, *Nitzschia amphibia* Grun. e *Frustulia rhomboides* (Ehrenberg) De Toni alcançaram, conjuntamente, valores de abundância relativa acima de 70%, sendo também muito frequentes (> 70%).

Os resultados mostram a influência da relação areia/argila sobre a composição das diatomáceas, que pode explicar a prevalência de agrupamentos de espécies ora planctônicas, ora bentônicas na zona de intermaré da praia de Itupanema. Sedimentos finos (argilas) evidenciaram um ambiente de sedimentação de menor energia, favorecendo a deposição e a preservação de táxons planctônicos, enquanto sedimentos grosseiros (areias) predominaram em um ambiente com maior energia, prevalecendo os táxons bentônicos.

A vegetação herbácea presente na zona de intermaré da praia de Itupanema parece também exercer uma forte influência na sedimentação, atenuando a energia das ondas e das marés, contribuindo para a sedimentação lamosa, retendo os sedimentos finos (argila), diminuindo assim o abrasão na zona de intermaré e preservando os táxons planctônicos.

Foi identificado um total de cinquenta e três táxons, destacando-se as espécies planctônicas *Aulacoseira granulata*, *Actinocyclus normanii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Polymyxus coronalis*, *Thalassiosira* sp. e *Thalassiosira eccentrica* e as bentônicas/epifíticas *Staurosira crassa*, *Staurosira obtusa*, *Staurosirella pinnata*.

Os dados taxonômicos, a ecologia e a distribuição das espécies, quando integrados a outros relativos à análise de nutrientes, tipo de sedimento, subsidiados ainda por análises estatísticas multivariadas, indicaram mudanças paleoecológicas e paleoambientais na área de estudo, delimitando assim, três ecozonas.

Há cerca de 900 anos A.P., na praia de Itupanema, ocorria um ambiente raso de maior energia hidrodinâmica que a atual, com sedimentação arenosa, em condições erosivas, desprovido de vegetação, tendo em vista o baixo conteúdo de matéria orgânica nos sedimentos. Este ambiente é representado pelas ecozonas basais dos testemunhos, nas quais a assembléia de diatomáceas é dominada por táxons bentônicos *Staurosira obtusa* e *Staurosira crassa*, com provável afinidade ao habitat arenoso. Estas condições prevaleceram por cerca de 500 anos.

Ainda na ecozona arenosa, de base dos testemunhos e observada em IT1, foi evidenciado um provável evento de curta duração situado na profundidade de 32-34 cm, representando um ambiente de sedimentação calmo, com influência mínima das ondas e das marés, evidenciado pela elevada abundância da espécie planctônica *Polymyxus coronalis*.

As condições hidrodinâmicas mudaram há cerca de 400 anos A.P., estabelecendo-se um ambiente mais profundo e calmo, apresentando uma provável área protegida, com a intensa sedimentação de partículas menores (argila), com um pacote sedimentar apresentando 16 cm de espessura e uma mistura de areia fina na base e com os últimos 12 cm compostos somente por material lamoso. Este ambiente é representado pela ecozona intermediária, detectada apenas em IT1, com a assembléia de diatomáceas passando a ser dominada por táxons planctônicos *A. granulata*, *C. meneghiana*, *P. coronalis*, *Thalassiosira* sp. e *T. eccentrica*.

Nas ecozonas superiores dos todos os testemunhos, com idade sub-recente, o ambiente retornou a condições mais agitadas e erosivas, porém com menor energia que as ecozonas basais, mais próximas, portanto das condições ainda observadas hoje na praia de Itupanema. Nas ecozonas superiores, a assembléia foi dominada pelos táxons planctônicos, destacando-se a espécie fortemente silicificada *A. granulata*, acompanhada de *Thalassiosira* sp.

Portanto, os resultados mostram fortes evidências de que a distribuição de assembléias diatomológicas preservadas nos testemunhos é, fortemente, afetada pelos processos hidrodinâmicos, que ainda hoje influenciam a relação areia/argila, corroborado, principalmente, pela preservação dos gêneros planctônicos em sedimentos lamosos atuais, quanto pretéritos presentes nos testemunhos de sondagem.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Glossário de termos técnicos

Acidófila: organismo que ocorre em pH ao redor de 7, desenvolvendo-se melhor em pH abaixo de 7 (MORO; FÜRSTENBERGER, 1997, p. 9).

Aerófila: organismo característico de habitats não submersos.

Alcaliniófila: ocorre em pH ao redor de 7, com desenvolvimento ótimo acima de 7 (MORO; FÜRSTENBERGER, op. cit., p. 9).

Alfa-mesossapróbia: característica de zona de poluição mais forte, com nitrogênio na forma de aminoácidos (MORO; FÜRSTENBERGER, op. cit., p. 9).

Alóctone: o que não é originário da região.

Área central: área hialina localizada na região mediana da valva, transapicalmente expandida ou indistinta (BICUDO; MENEZES, 2005, p. 454).

Aréola: perfurações regularmente dispostas ao longo da valva, recobertas por uma membrana silícea com pequenos poros - 'velum' (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 454).

Auxósporos: nas diatomáceas, a célula resultante de fusão sexual, da autogamia ou ainda, do crescimento avantajado de uma célula sem interferência da sexualidade (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 455).

Bentônico: organismo que vive no fundo de ambientes aquáticos (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 455).

Beta-mesossapróbia: característica de zona de poluição mais branda, com nitrogênio na forma de compostos de amônia (MORO; FÜRSTENBERGER, op. cit., p. 9).

Cintura, cíngulo ou pleura: conjunto de elementos situados entre as valvas (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 457).

Eixo apical: eixo longitudinal mediano entre as extremidades da valva. Referente à medida de comprimento valvar (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 459).

Eixo transapical: eixo perpendicular ao apical, que passa pelo centro da valva. Referente à medida de largura valvar (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 459).

Epifítico: que ocorre sobre plantas ou outras algas (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 460).

Epilítico: que ocorre sobre rochas ou superfícies rochosas (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 460).

Epipélica: que ocorre sobre e em finos sedimentos (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 460).

Epipsâmico: que ocorre sobre grãos de areia (MORO; FÜRSTENBERGER, op. cit., p. 10).

Epiteca: nas diatomáceas, a maior valva da frústula e seus elementos e seus elementos do cíngulo (BICUDO; MENEZES, op. cit., p. 460).

Espinho: estrutura ocluída ou sólida que se projeta para o exterior da frústula (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 461).

Esternum da rafe (área axial): área hialina adjacente a rafe, que se estende ao longo do eixo Apical (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 454).

Estria: uma ou mais fileiras de aréolas ou poros, ou em alvéolos, podendo ser uni-, bi- ou multisseriadas (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 461).

Eurialina: ocorre em concentrações variáveis de sal, freqüentemente abrangendo duas ou mais categorias (MORO; FÜRSTENBERGER, *ibidem*, p. 8).

Eutrófica: características de águas com altas concentrações de nutrientes e alto conteúdo mineral (MORO; FÜRSTENBERGER, *ibidem*, p. 11).

Fitoplactônico: organismos fotossintéticos que vivem suspensos na coluna d'água (MORO; FÜRSTENBERGER, *ibidem*, p. 10).

Frústula: parede celular das diatomáceas, formada por elementos silicosos. Compreende a epivalva, hipovalva, epicíngulo e hipocíngulo (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 463).

Fultopórtula: tubo que se projeta para o exterior da valva, rodeado internamente por dois a cinco poros satélites separados por projeções elevadas de sílica. Estão relacionadas com a secreção de filamentos de mucilagem que unem as células em cadeia (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 463).

Hipoteca: nas diatomáceas, a menor valva da frústula junto com elementos do cíngulo (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 464).

Mesossapróbia: característica de zonas onde a oxidação da matéria orgânica está se processando (MORO; FÜRSTENBERGER, *ibidem*, p. 9).

Nódulo: espessamento interno da parede celular que ocorre na região mediana e nas extremidades da valva (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 467).

Oligohalóbia: de água doce, vivendo em ambientes com teores de sal muito restritos, inferiores a 5 g.l^{-1} (MORO; FÜRSTENBERGER, *ibidem*, p. 8).

Oligotrófica: característica de águas com baixa concentração de nutrientes e baixo conteúdo mineral (MORO; FÜRSTENBERGER, *ibidem*, p. 11).

Palinomorfos: microfósseis com dimensões menores que $200\mu\text{m}$ (Traverse, 1994 p. 3).

Perifítico: que ocorre sobre, mas não penetrando, o substrato ou objetos submersos (MORO; FÜRSTENBERGER, *ibidem*, p. 10).

Planctônico: que vive em suspensão na coluna d'água e é incapaz de vencer as correntes aquáticas (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 468).

Rafe: fenda alongada ou par de fendas, que percorre a parede valvar. Estrutura presente em uma ou ambas as valvas; associada ao movimento (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 469).

Ticoplanctônica: normalmente associada ao perifiton, mas pode ocasionalmente viver em suspensão na água (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 471).

Valva: uma das estruturas distais que se opõem, mais ou menos achatadas ou convexas, compondo a frústula das diatomáceas (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 472).

Vista pleural: vista na qual a cintura está exposta (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 472).

Vista valvar: vista na qual se observa a superfície valvar (BICUDO; MENEZES, *ibidem*, p. 473).

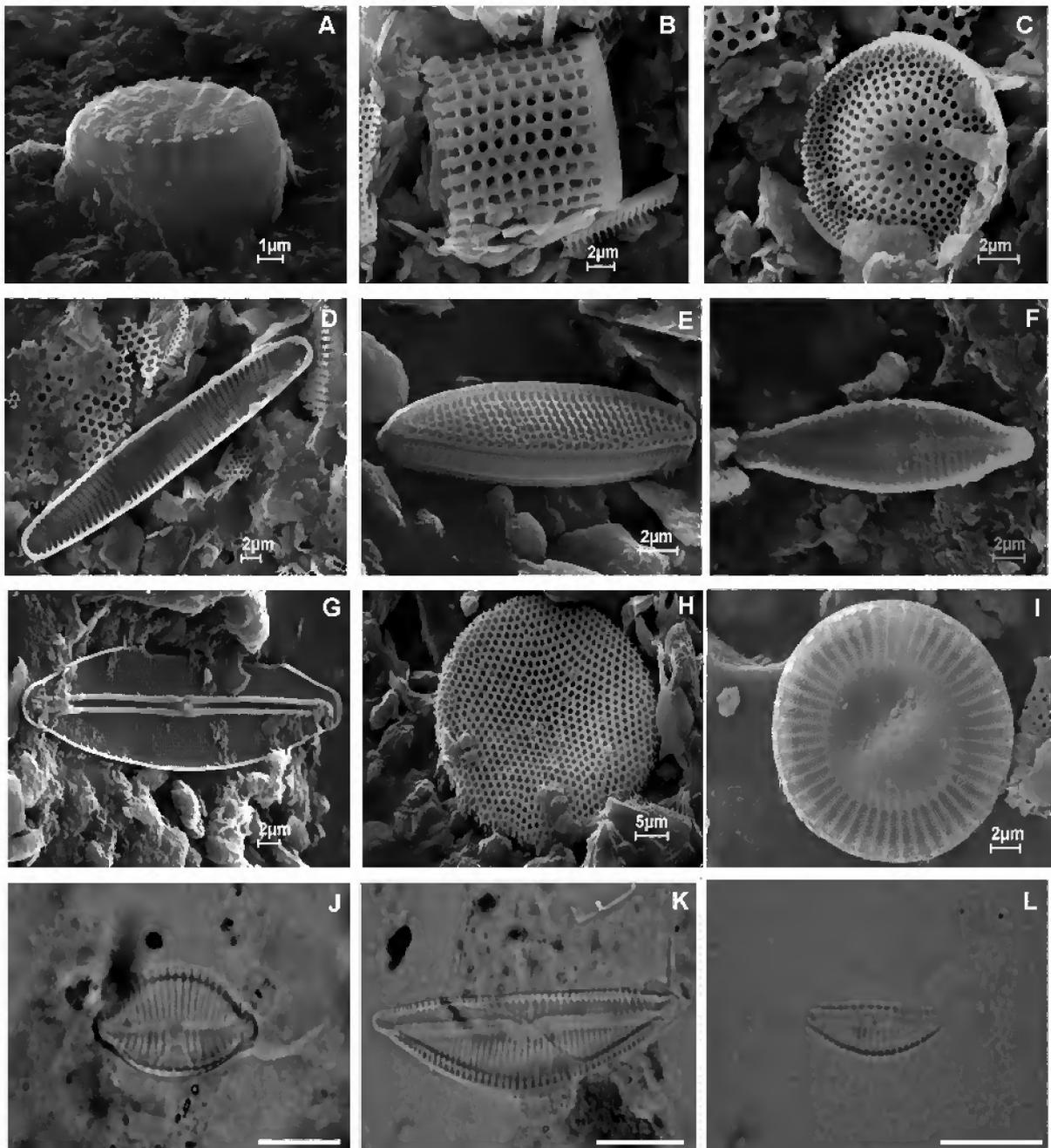
REFERÊNCIA

BICUDO; C. E. M.; MENEZES, M. (Orgs.). **Gênero de algas de águas continentais do Brasil**. São Paulo: RIMA, 2005, v. 1, 508 p.

MORO, R. S.; FÜRSTENBERGER, C. B. 1997. **Catálogo dos principais parâmetros ecológicos de diatomáceas não-marinhas**. Ponta Grossa, Ed. UEPG. 282 p.

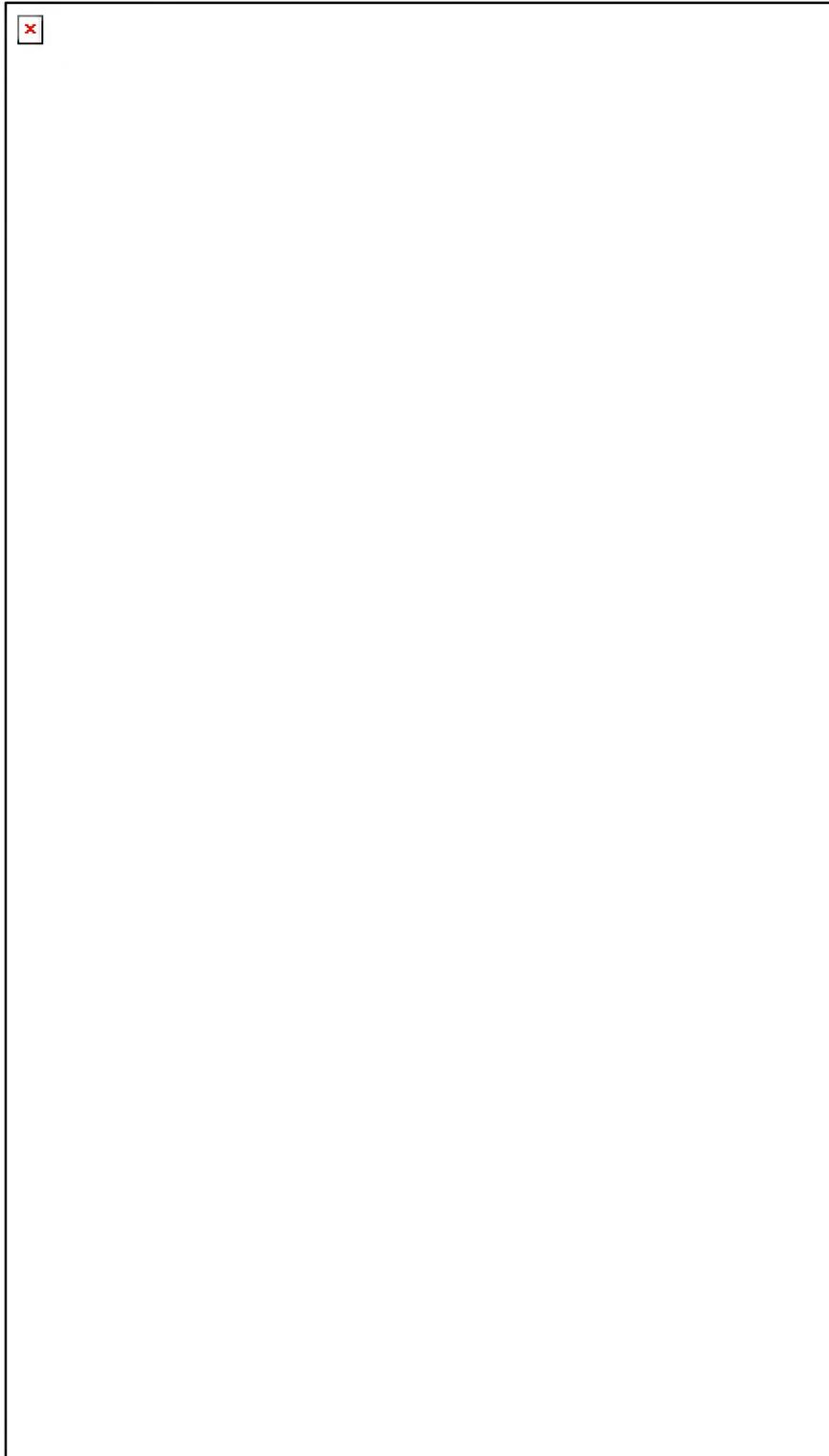
TRAVERSE, A. 1994. Sedimentation of paleynomorphs and palynodebris: an introduction. Pp. 1-8. In: TRAVERSE, A. (Ed.). **Sedimentation of organic partides**. Cambridge University Press.

APÊNDICE B – Espécies numericamente mais representativas encontradas nas amostras de sedimento superficial da praia de Itupanema



Prancha 1: (A) *Staurosirella pinnata*; (B) *Aulacoseira granulata*; (C) *Thalassiosira* sp.; (D) *S. obtusa*; (E) *Nitzschia amphibia*; (F) *Gomphonema parvulum*; (G) *Frustulia* sp.; (H) *T. eccentrica*; (I) *Cyclotella meneghiniana* (Microscopia eletrônica de varredura); (J) *Planothidium lanceolatum*; (K) *Encyonema silesiacum*; (L) *Encyonema minuta* (Microscopia de luz). Escala das barras – 10 μ m.

APÊNDICE C – Espécies numericamente mais representativas presentes nos testemunhos IT1, IT2, IT3, IT4 e IT5 coletados na Praia de Itupanema



Prancha 1: (A) *Aulacoseira granulata*; (B) *Actinocyclus normanii*.; (C) *Cyclotella meneghiniana*; (D) *Polymyxus coronalis*, (E) *Thalassiosira* sp; (F) *T. eccentrica*; (G) *Staurosira crassa*; (H) *S. obtusa*; (I) *Staurosirella pinnata* (Microscopia eletrônica de varredura).

APÊNDICE D – Variáveis químicas quantificadas segundo técnicas convencionais de análise de solos descritas por Tomé Junior (1997)

Amostras	Profundidade (cm)	C (g/kg)	M.O (g/kg)	N (g/kg)	P (g/kg)	CTC (Cmol _c /Kg)	Na (Cmol _c /Kg)	K (Cmol _c /Kg)	Ca (Cmol _c /Kg)	Mg (Cmol _c /Kg)	S (Cmol _c /Kg)	Al (Cmol _c /Kg)	H (Cmol _c /Kg)
IT1-1	0 - 5	123,77	213,39	26,87	1,21	38,76	0,19	0,22	10,82	3,788	15,01	0,87	22,88
IT1-2	5 - 10	113,63	195,9	25,25	1,21	40,69	0,22	0,26	9,91	4,053	14,44	2,74	23,51
IT1-3	10 - 15	103,48	178,41	28,16	2,62	40,61	0,23	0,27	9,177	4,4	14,07	3,61	22,93
IT1-4	15 - 22	41,6	71,71	13,92	2,22	23,31	0,22	0,27	4,985	2,366	7,83	3,65	11,83
IT1-5	22 - 26	26,38	45,48	10,36	7,86	13,89	0,12	0,11	2,497	1,175	3,89	2,88	7,12
IT1-6	26 - 31	23,33	40,23	2,07	7,46	13,58	0,14	0,16	3,611	1,969	2,62	3,08	7,88
IT1-7	31 - 36	33,48	57,72	2,01	5,34	16,37	0,13	0,15	4,012	2,084	6,37	2,4	7,6
IT2-1	0 - 5	269,48	464,58	32,04	-	29,64	0,25	0,24	20,96	6,071	27,52	2,12	0
IT2-2	5 - 10	237,18	408,9	31,72	-	26,03	0,28	0,32	16,8	4,93	22,33	3,7	0
IT2-3	10 - 15	141,02	243,12	27,19	2,42	50,34	0,26	0,33	12,72	4,599	17,9	3,32	29,18
IT2-4	15 - 20	94,35	162,66	22,01	1,61	34,01	0,21	0,24	8,245	3,309	11,99	3,08	18,94
IT3-1	0 - 5	33,48	57,72	1,81	1,71	11,6	0,09	0,11	2,668	1,141	4	1,54	6,06
IT3-2	5 - 10	18,26	31,48	1,42	2,32	9,08	0,07	0,09	2,317	0,943	3,41	1,63	4,04
IT3-3	10 - 15	16,23	27,99	1,23	2,32	6,98	0,09	0,14	1,409	0,794	2,42	1,15	3,41
IT3-4	15 - 20	9,13	15,74	0,65	5,14	4,34	0,05	0,06	0,954	0,496	1,55	0,53	2,26
IT3-5	20 - 25	6,09	10,49	0,32	3,73	2,62	0,03	0,04	0,599	0,331	0,99	0,38	1,25
IT3-6	25 - 30	10,15	17,49	0,78	2,52	3,35	0,04	0,05	0,678	0,414	0,56	0,87	1,92
IT3-7	30 - 35	7,1	12,24	0,39	2,52	2,85	0,03	0,05	0,499	0,364	0,93	0,67	1,25
IT4-1	0 - 5	30,44	52,47	1,42	1,51	8,29	0,08	0,1	2,237	1,125	3,53	0,82	3,94
IT4-2	5 - 10	25,36	43,73	1,81	1,51	10,56	0,37	0,58	2,548	1,208	4,69	1,25	4,62
IT4-3	10 - 15,5	13,19	22,74	1,1	2,02	6,16	0,06	0,08	1,385	0,794	2,31	1,11	2,74
IT4-4	15,5 - 20	8,12	13,99	0,52	1,51	3,52	0,05	0,05	0,832	0,48	1,41	0,67	1,44
IT4-5	20 - 25	3,04	5,25	0,39	0,81	2,39	0,08	0,11	0,526	0,331	1,04	0,53	0,82
IT4-6	25 - 30	10,15	17,49	0,97	3,33	3,87	0,04	0,05	0,848	0,43	1,37	0,91	1,59
IT4-7	30 - 35	5,07	8,75	0,45	4,23	3,34	0,05	0,06	0,646	0,38	1,13	0,77	1,44
IT4-8	35 - 42	22,32	38,48	0,45	5,24	2,95	0,06	0,07	0,938	0,546	1,6	0,34	1,01
IT5-1	0 - 5	20,29	34,98	1,36	6,25	12,34	0,18	0,24	2,758	1,175	4,26	1,25	6,83
IT5-2	5 - 10	18,26	31,48	1,94	2,92	11,73	0,11	0,15	2,658	1,026	4,04	1,68	6,01
IT5-3	10 - 15	16,23	27,99	1,04	1,92	6,4	0,06	0,08	1,416	0,711	2,26	1,06	3,08
IT5-4	15 - 20	10,15	17,49	0,45	1,41	3,82	0,04	0,05	0,922	0,513	1,52	0,67	1,63
IT5-5	20 - 25	4,06	7	0,39	2,62	2,15	0,03	0,03	0,531	0,314	0,9	0,53	0,72

IT5-6	25 – 30	4,06	7	0,39	1,81	3,07	0,08	0,12	0,529	0,331	1,05	0,67	1,35
IT5-7	30 – 35	11,16	19,24	0,52	2,32	3,34	0,03	0,04	0,581	0,298	0,94	0,67	1,73
IT5-8	35 – 40	9,13	15,74	0,45	2,32	2,53	0,03	0,04	0,557	0,281	0,9	0,48	1,15
IT5-9	40 - 44	7,1	12,24	0,58	3,02	2,82	0,05	0,05	0,817	0,562	1,47	0,48	0,87

ANEXOS

ANEXO A – Normas gerais para publicação de artigos na Revista *Rodriguésia*⁴

Escopo

A *Rodriguésia* é uma publicação trimestral do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, que publica artigos e notas científicas, em Português, Espanhol ou Inglês em todas as áreas da Biologia Vegetal, bem como em História da Botânica e atividades ligadas a Jardins Botânicos.

Encaminhamento dos manuscritos

Os manuscritos devem ser enviados em 3 vias impressas e em CD-ROM à:

Revista Rodriguésia

Rua Pacheco Leão 915. Rio de Janeiro – RJ.

CEP: 22460-030. Brasil.

E-mail: rodriguesia@jbrj.gov.br

Os artigos devem ter no máximo 30 páginas digitadas, aqueles que ultrapassem este limite poderão ser publicados após avaliação do Corpo Editorial. O aceite dos trabalhos depende da decisão do Corpo Editorial. Todos os artigos serão submetidos a 2 consultores *ad hoc*.

Aos autores será solicitado, quando necessário, modificações de forma a adequar o trabalho às sugestões dos revisores e editores. Artigos que não estiverem nas normas descritas serão devolvidos.

Serão enviadas aos autores as provas de página, que deverão ser devolvidas ao Corpo Editorial em no máximo 5 dias úteis a partir da data do recebimento. Os trabalhos, após a publicação, ficarão disponíveis em formato digital (PDF, Adobe Acrobat) no site do Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (<http://rodriguesia.jbrj.gov.br>).

Formato dos manuscritos

Os autores devem utilizar o editor do texto Microsoft Word, versão 6.0 ou superior, fonte Times New Roman, corpo 12, em espaço duplo.

⁴ Disponível em www.jbrj.gov.br/publica/rodriguesia. Data de acesso: dezembro de 2006.

O manuscrito deve ser formatado em tamanho A4, com margens de 2,5 cm e alinhamento justificado, exceto nos casos indicados abaixo, e impresso em apenas um lado do papel. Todas as páginas, exceto a do título, devem ser numeradas, consecutivamente, no canto superior direito. Letras maiúsculas devem ser utilizadas apenas se as palavras exigem iniciais maiúsculas, de acordo com a respectiva língua do manuscrito. Não serão considerados manuscritos escritos inteiramente em maiúsculas.

Palavras em latim devem estar em itálico, bem como os nomes científicos genéricos e infragenéricos.

Utilizar nomes científicos completos (gênero, espécie e autor) na primeira menção, abreviando o nome genérico subsequente, exceto onde referência a outros gêneros cause confusão. Os nomes dos autores de táxons devem ser citados segundo Brummitt & Powell (1992), na obra “Authors of Plant Names”.

Primeira página - deve incluir o título, autores, instituições, apoio financeiro, autor e endereço para correspondência e título abreviado. O título deverá ser conciso e objetivo, expressando a idéia geral do conteúdo do trabalho. Deve ser escrito em negrito com letras maiúsculas utilizadas apenas onde as letras e as palavras devam ser publicadas em maiúsculas.

Segunda página - deve conter Resumo (incluindo título em português ou espanhol), Abstract (incluindo título em inglês) e palavras-chave (até 5, em português ou espanhol e inglês). Resumos e abstracts devem conter até 200 palavras cada. O Corpo Editorial pode redigir o Resumo a partir da tradução do Abstract em trabalhos de autores não fluentes em português.

Texto – Iniciar em nova página de acordo com seqüência apresentada a seguir: Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Agradecimentos e Referências Bibliográficas. Estes itens podem ser omitidos em trabalhos sobre a descrição de novos táxons, mudanças nomenclaturais ou similares. O item Resultados pode ser agrupado com Discussão quando mais adequado. Os títulos (Introdução, Material e Métodos etc.) e subtítulos deverão ser em negrito. Enumere as figuras e tabelas em arábico de acordo com a seqüência em que as mesmas aparecem no texto. As citações de referências no texto devem seguir os seguintes exemplos: Miller (1993), Miller & Maier (1994), Baker *et al.* (1996) para três ou mais autores ou (Miller 1993), (Miller &

Maier 1994), (Baker *et al.* 1996). Referência a dados ainda não publicados ou trabalhos submetidos deve ser citada conforme o exemplo: (R.C. Vieira, dados não publicados). Cite resumos de trabalhos apresentados em Congressos, Encontros e Simpósios se estritamente necessário.

O material examinado nos trabalhos taxonômicos deve ser citado obedecendo a seguinte ordem: local e data de coleta, fl., fr., bot. (para as fases fenológicas), nome e número do coletor (utilizando *et al.* quando houver mais de dois) e sigla(s) do(s) herbário(s) entre parêntesis, segundo o *Index Herbariorum*.

Quando não houver número de coletor, o número de registro do espécime, juntamente com a sigla do herbário, deverá ser citado. Os nomes dos países e dos estados/províncias deverão ser citados por extenso, em letras maiúsculas e em ordem alfabética, seguidos dos respectivos materiais estudados.

Exemplo:

BRASIL. BAHIA: Ilhéus, Reserva da CEPEC, 15. XII. 1996, fl. e fr., R. C. Vieira *et al.* 10987 (MBM, RB, SP).

Para números decimais, use vírgula nos artigos em Português e Espanhol (exemplo: 10,5 m) e ponto em artigos em Inglês (exemplo: 10.5 m). Separe as unidades dos valores por um espaço (exceto em porcentagens, graus, minutos e segundos).

Use abreviações para unidades métricas do Systeme Internacional d'Unités (SI) e símbolos químicos amplamente aceitos. Demais abreviações podem ser utilizadas, devendo ser precedidas de seu significado por extenso na primeira menção.

Referências Bibliográficas - Todas as referências citadas no texto devem estar listadas neste item. As referências bibliográficas devem ser relacionadas em ordem alfabética, pelo sobrenome do primeiro autor, com apenas a primeira letra em caixa alta, seguido de todos os demais autores. Quando houver repetição do(s) mesmo(s) autor(es), o nome do mesmo deverá ser substituído por um travessão; quando o mesmo autor publicar vários trabalhos num mesmo ano, deverão ser acrescentadas letras alfabéticas após a data. Os títulos de periódicos não devem ser abreviados.

Exemplos:

Tolbert, R. J. & Johnson, M. A. 1966. A survey of the vegetative shoot apices in the family Malvaceae. *American Journal of Botany* 53(10): 961-970.

Engler, H. G. A. 1878. Araceae. *In*: Martius, C. F. P. von; Eichler, A. W. & Urban, I. Flora brasiliensis. Munchen, Wien, Leipzig, 3(2): 26-223.

_____. 1930. Liliaceae. *In*: Engler, H. G. A. & Prantl, K. A. E. Die Natürlichen Pflanzenfamilien. 2. Aufl. Leipzig (Wilhelm Engelmann). 15: 227-386.

Sass, J. E. 1951. Botanical microtechnique. 2ed. Iowa State College Press, Iowa, 228 p.

Cite teses e dissertações se estritamente necessário, isto é, quando as informações requeridas para o bom entendimento do texto ainda não foram publicadas em artigos científicos.

Tabelas - devem ser apresentadas em preto e branco, no formato Word for Windows. No texto as tabelas devem ser sempre citadas de acordo com os exemplos abaixo:

“Apenas algumas espécies apresentam indumento (Tab. 1)...”

“Os resultados das análises fitoquímicas são apresentados na Tabela 2...”

Figuras - não devem ser inseridas no arquivo de texto. Submeter originais em preto e branco e três cópias de alta resolução para fotos e ilustrações, que também podem ser enviadas em formato eletrônico, com alta resolução, desde que estejam em formato TIF ou compatível com CorelDraw, versão 10 ou superior. Ilustrações de baixa qualidade resultarão na devolução do manuscrito.

No caso do envio das cópias impressas a numeração das figuras, bem como textos nelas inseridos, devem ser assinalados com Letraset ou similar em papel transparente (tipo manteiga), colado na parte superior da prancha, de maneira a sobrepor o papel transparente à prancha, permitindo que os detalhes apareçam nos locais desejados pelo autor. Os gráficos devem ser em preto e branco, possuir bom contraste e estar gravados em arquivos separados em disquete (formato TIF ou outro compatível com CorelDraw 10). As pranchas devem possuir no máximo 15 cm larg. x 22 cm comp. (também serão aceitas figuras que caibam em uma coluna, ou seja, 7,2 cm larg.x 22 cm comp.). As figuras que excederem mais de duas vezes estas medidas serão recusadas. As imagens digitalizadas devem ter pelo menos 600 dpi de resolução.

No texto as figuras devem ser sempre citadas de acordo com os exemplos abaixo:

“Evidencia-se pela análise das Figuras 25 e 26...”

“Lindman (Fig. 3) destacou as seguintes características para as espécies...”

Após feitas as correções sugeridas pelos assessores e aceito para a publicação, o autor deve enviar a versão final do manuscrito em duas vias impressas e em uma eletrônica.

ANEXO B – Normas gerais para publicação de artigos na Acta Botanica Brasílica⁵

1. A *Acta Botanica Brasílica* publica artigos originais em todas as áreas da Botânica, básica ou aplicada, em Português, Espanhol ou Inglês. Os trabalhos deverão ser motivados por uma pergunta central que denote a originalidade e o potencial interesse da pesquisa, de acordo com o amplo espectro de leitores nacionais e internacionais da Revista, inserindo-se no debate teórico de sua área.
2. Os artigos devem ser concisos, em **quatro vias, com até 25 laudas**, seqüencialmente numeradas, incluindo ilustrações e tabelas (usar fonte Times New Roman, tamanho 12, espaço entre linhas 1,5; imprimir em papel tamanho A4, margens ajustadas em 1,5 cm). A critério da Comissão Editorial, mediante entendimentos prévios, artigos mais extensos poderão ser aceitos, sendo o excedente custeado pelo(s) autor(es).
3. Palavras em latim no título ou no texto, como por exemplo: *in vivo*, *in vitro*, *in loco*, *et al.* devem estar em itálico.
4. O título deve ser escrito em caixa alta e baixa, centralizado, e deve ser citado da mesma maneira no Resumo e Abstract da mesma maneira que o título do trabalho. Se no título houver nome específico, este deve vir acompanhado dos nomes dos autores do táxon, assim como do grupo taxonômico do material tratado (ex.: Gesneriaceae, Hepaticae, etc.).
5. O(s) nome(s) do(s) autor(es) deve(m) ser escrito(s) em caixa alta e baixa, todos em seguida, com números sobrescritos que indicarão, em rodapé, a filiação Institucional e/ou fonte financiadora do trabalho (bolsas, auxílios etc.). Créditos de financiamentos devem vir em **Agradecimentos**, assim como vinculações do artigo a programas de pesquisa mais amplos, e não no rodapé. Autores devem fornecer os endereços completos, evitando abreviações, elegendo apenas um deles como Autor para correspondência. Se desejarem, todos os autores poderão fornecer e-mail.

⁵ Disponível em www.botanica.org.br/arquivos/acta_normas.pdf. Data de acesso: dezembro de 2006.

6. A estrutura do trabalho deve, sempre que possível, obedecer à seguinte seqüência:

- **RESUMO** e **ABSTRACT** (em caixa alta e negrito) – texto corrido, sem referências bibliográficas, em um único parágrafo e com cerca de 200 palavras. Deve ser precedido pelo título do artigo em Português, entre parênteses. Ao final do resumo, citar até cinco palavras-chave à escolha do autor, em ordem de importância. A mesma regra se aplica ao Abstract em Inglês ou Resumen em Espanhol.

- **Introdução** (em caixa alta e baixa, negrito, deslocado para a esquerda): deve conter uma visão clara e concisa de: a) conhecimentos atuais no campo específico do assunto tratado; b) problemas científicos que levou(aram) o(s) autor(es) a desenvolver o trabalho; c) objetivos.

- **Material e métodos** (em caixa alta e baixa, negrito, deslocado para a esquerda): deve conter descrições breves, suficientes à repetição do trabalho; técnicas já publicadas devem ser apenas citadas e não descritas. Indicar o nome da(s) espécie(s) completo, inclusive com o autor. Mapas - podem ser incluídos se forem de extrema relevância e devem apresentar qualidade adequada para impressão. Todo e qualquer comentário de um procedimento utilizado para a análise de dados em **Resultados** deve, obrigatoriamente, estar descrito no item **Material e métodos**.

- **Resultados e discussão** (em caixa alta e baixa, negrito, deslocado para a esquerda): podem conter tabelas e figuras (gráficos, fotografias, desenhos, mapas e pranchas) estritamente necessárias à compreensão do texto. Dependendo da estrutura do trabalho, resultados e discussão poderão ser apresentados em um mesmo item ou em itens separados. As figuras devem ser todas numeradas seqüencialmente, com algarismos arábicos, colocados no lado inferior direito; as escalas, sempre que possível, devem se situar à esquerda da figura. As tabelas devem ser seqüencialmente numeradas, em arábico com numeração independente das figuras. Tanto as figuras como as tabelas devem ser apresentadas em folhas separadas (uma para cada figura e/ou tabela) ao final do texto (originais e 3 cópias). Para garantir a boa qualidade de impressão, as figuras não devem ultrapassar duas vezes a área útil da revista que é de 17,5'23,5 cm. Tabelas - Nomes das espécies dos táxons devem ser mencionados acompanhados dos respectivos autores. Devem constar na legenda informações da área de estudo ou do grupo taxonômico. Itens da tabela, que estejam abreviados, devem ter suas explicações na legenda. As ilustrações devem respeitar a área útil da revista, devendo ser inseridas em coluna simples ou dupla, sem prejuízo da qualidade gráfica. Devem ser apresentadas em tinta nanquim, sobre papel vegetal ou cartolina ou

em versão eletrônica, gravadas em TIF, com resolução de pelo menos 300 dpi (ideal em 600 dpi). Para pranchas ou fotografias - usar números arábicos, do lado direito das figuras ou fotos. Para gráficos - usar letras maiúsculas do lado direito. As fotografias devem estar em papel brilhante e em branco e preto. **Fotografias coloridas poderão ser aceitas a critério da Comissão Editorial, que deverá ser previamente consultada, e se o(s) autor(es) arcar(em) com os custos de impressão.**

As figuras e as tabelas devem ser referidas no texto em caixa alta e baixa, de forma abreviada e sem plural (Fig. e Tab.). Todas as figuras e tabelas apresentadas devem, obrigatoriamente, ter chamada no texto. Legendas de pranchas necessitam conter nomes dos táxons com respectivos autores. Todos os nomes dos gêneros precisam estar por extenso nas figuras e tabelas. Gráficos - enviar os arquivos em Excel. Se não estiverem em Excel, enviar cópia em papel, com boa qualidade, para reprodução. As siglas e abreviaturas, quando utilizadas pela primeira vez, devem ser precedidas do seu significado por extenso. Ex.: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Usar unidades de medida de modo abreviado (Ex.: 11 cm; 2,4 µm), o número separado da unidade, com exceção de porcentagem (Ex.: 90%). Escrever por extenso os números de um a dez (não os maiores), a menos que seja medida. Ex.: quatro árvores; 6,0 mm; 1,0-4,0 mm; 125 exsiccatas. Em trabalhos taxonômicos o material botânico examinado deve ser selecionado de maneira a citarem-se apenas aqueles representativos do táxon em questão e na seguinte ordem: **PAÍS. Estado:** Município, data, fenologia, *coletor(es) n úmero do(s) coletor(es)* (sigla do Herbário).

Ex.: **BRASIL. São Paulo:** Santo André, 3/XI/1997, fl. fr., *Milanez 435* (SP).

No caso de mais de três coletores, citar o primeiro seguido de *et al.* Ex.: Silva *et al.* (atentar para o que deve ser grafado em CAIXA ALTA, Caixa Alta e Baixa, caixa baixa, **negrito**, *itálico*). Chaves de identificação devem ser, preferencialmente, indentadas. Nomes de autores de táxons não devem aparecer. Os táxons da chave, se tratados no texto, devem ser numerados seguindo a ordem alfabética. Ex.:

1. Plantas terrestres
2. Folhas orbiculares, mais de 10 cm diâm.
..... 2. *S. orbicularis*
2. Folhas sagitadas, menos de 8 cm compr.
..... 4. *S. sagittalis*

1. Plantas aquáticas
3. Flores brancas1. *S. albicans*
3. Flores vermelhas 3. *S. purpurea*

O tratamento taxonômico no texto deve reservar o itálico e o negrito simultâneos apenas para os nomes de táxons válidos. Basiônimo e sinonímia aparecem apenas em itálico. Autores de nomes científicos devem ser citados de forma abreviada, de acordo com índice taxonômico do grupo em pauta (Brummit & Powell 1992 para Fanerógamas). Ex.:

1. *Sepulveda albicans* L., Sp. pl. 2: 25. 1753. *Pertencia albicans* Sw., Fl. bras. 4: 37, t. 23, f. 5. 1870. Fig. 1-12

Subdivisões dentro de Material e métodos ou de Resultados e/ou discussão devem ser escritas em caixa alta e baixa, seguida de um traço e o texto segue a mesma linha. Ex.: Área de estudo - localiza-se ...

Resultados e discussão devem estar incluídos em conclusões.

- **Agradecimentos** (em caixa alta e baixa, negrito, deslocado para a esquerda): devem ser sucintos; nomes de pessoas e Instituições devem ser por extenso, explicitando o porquê dos agradecimentos.

- Referências bibliográficas

- Ao longo do texto: seguir esquema autor, data. Ex.: Silva (1997), Silva & Santos (1997), Silva *et al.* (1997) ou Silva (1993; 1995), Santos (1995; 1997) ou (Silva 1975; Santos 1996; Oliveira 1997).

- Ao final do artigo: em caixa alta e baixa, deslocado para a esquerda; seguir ordem alfabética e cronológica de autor(es); **nomes dos periódicos e títulos de livros devem ser grafados por extenso e em negrito**. Exemplos:

Santos, J. 1995. Estudos anatômicos em Juncaceae. Pp. 5-22. In: **Anais do XXVIII Congresso Nacional de Botânica**. Aracaju 1992. São Paulo, HUCITEC Ed. v.I.

Santos, J.; Silva, A. & Oliveira, B. 1995. Notas palinológicas. Amaranthaceae. **Hoehnea** 33(2): 38-45.

Silva, A. & Santos, J. 1997. Rubiaceae. Pp. 27-55. In: F.C. Hoehne (ed.). **Flora Brasílica**. São Paulo, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo.

Para maiores detalhes consulte os últimos fascículos recentes da Revista, ou os links da mesma na internet: www.botanica.org.br ou ainda artigos on line por intermédio de www.scielo.br/abb.

Não serão aceitas Referências bibliográficas de monografias de conclusão de curso de graduação, de citações resumos **simples** de Congressos, Simpósios, Workshops e assemelhados. Citações de Dissertações e Teses **devem ser evitadas ao máximo; se necessário, citar no corpo do texto**. Ex.: J. Santos, dados não publicados ou J. Santos, comunicação pessoal.