UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**CONTRIBUIÇÃO PALINOLÓGICA AO ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO
MANGUEZAL DO RIO ITANHAÉM, LITORAL SUL DE SÃO PAULO**

Paula Garcia Carvalho do Amaral

Orientadora: Profa. Dra. Marie-Pierre Ledru

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar

São Paulo
2003

Agradecimentos

Este trabalho é o resultado da colaboração de diversas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a sua realização. Seria impossível mencionar o nome de todas estas pessoas. No entanto, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos:

À Profa. Dra. Marie Pierre Ledru, pela orientação, confiança e amizade. Por mostrar que a pesquisa científica pode e deve ser realizada de maneira prazerosa e divertida. Foi realmente uma honra trabalhar ao seu lado durante os últimos dois anos.

À Profa. Dra. Fresia Ricardi Branco, pela co-orientação do trabalho, pela amizade e principalmente pelo entusiasmo em ajudar sempre que foi necessário.

À Família Branco, principalmente ao Prof. Samuel Murgel Branco e ao geólogo Fábio Branco, por me hospedarem na sua casa de praia durante todos os trabalhos de campo.

Ao Instituto de Geociências da UNICAMP, onde foram realizadas todas as etapas de preparação das amostras estudadas.

Ao Instituto de Geociências da USP e ao Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, pela infra-estrutura oferecida.

Ao Prof. Paulo Giannini, pelo apoio e pelas discussões sobre o trabalho.

Ao CNPq pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de mestrado.

À todos os amigos de pós-graduação, simplesmente por serem amigos de verdade, com os quais eu sei que posso contar sempre que precisar.

À amiga Lucelene (Val), pela amizade desenvolvida nestes últimos anos de convívio e por estar sempre super disposta a ajudar em tudo o que for necessário.

À minha grande amiga Ana Galletti, por confiar em mim mais do que eu mesma.

Aos meus pais e irmãos, por todo apoio, amor e carinho que eu sempre tive na minha casa.

Ao André (Frutinha), pela paciência, amor e por ser uma das pessoas mais incríveis que eu já conheci em toda a minha vida. Eu tenho muita sorte de ter alguém assim do meu lado!!!

Abstract

There are few studies about palynology of modern mangroves. Most of them were carried out in the Indo-Pacific region (India, Polynesia and north of Australia). Palynological studies of mangroves of the south Atlantic coast are scarce and poorly studied. In this context, the main objective of this research was to describe the modern mangrove evolution through the pollen record observed from core samples collected in the Itanhaém mangrove area, State of São Paulo (SE, Brazil).

The Itanhaém coastal plain is 50 km long and 15 km of maximum width. The area drained by the Itanhaém river is occupied, by rain forest upstream and by coastal forest ("restinga") downstream. The mangrove has an area of 3,5 km² and is located downstream the Itanhaém river estuary.

A 135 cm depth core was collected inside the mangrove and the core samples analyses were based on modern pollen rain results. The adopted sample interval was 4 cm. The chronology of the palynological record was established by four ¹⁴C ages.

The results show that there is a strong influence of rain forest *taxa* on the mangrove pollen spectra. This was observed in other analysis from mangroves of the southern and southeastern coast of Brazil. On the other hand, the northern mangroves are characterized by high percentages of mangrove *taxa* (*Rhizophora* and *Avicennia*). This difference can be explained by the distance between the mangrove and the rain forest. In the south and southeast regions the rain forest is very close to the mangroves areas.

We were able to build a conceptual model of evolution for the Itanhaém mangrove. The Itanhaém mangrove development started at least 1300 yr BP. The mangrove expansion should have occurred within the regional increase of the intertidal zone, provoked by the estuary sedimentary filling.

At about 1000 yr BP, the mangrove expanded until areas where the core was collected and colonized this area around 300 yr AP. These results show that the evolution of the Itanhaém mangrove is related to the sedimentary dynamic of the estuary.

This work differs from previous analysis that usually interpret the palynological record in terms of climatic changes.

Resumo

O registro palinológico de manguezais atuais é, de uma maneira geral, pouco estudado. A maioria dos trabalhos foram realizados na região Indo-Pacífica (Índia, Polinésia e Norte da Austrália), de modo que pouco se sabe sobre registros palinológicos deste ecossistema na região do Atlântico Sul. Os trabalhos realizados na costa brasileira são restritos a poucas áreas, tendo em vista a ampla distribuição de bosques de mangue ao longo do litoral do Brasil. Neste contexto, esta pesquisa buscou contribuir para o conhecimento da evolução de um ecossistema de manguezal, através da análise palinológica de testemunho coletado em sedimentos do manguezal de Itanhaém, litoral sul de São Paulo.

A planície costeira de Itanhaém possui cerca de 50 km de comprimento e largura máxima de 15 km. A margem do rio Itanhaém e de seus afluentes são ocupadas, a jusante, por densa mata de restinga, em sua maior parte em condições primárias de conservação e, a montante, próximo das encostas da serra do mar, por floresta tropical (mata atlântica). Próximo à foz do rio Itanhaém existe uma área de aproximadamente 3,5 km² ocupada por manguezal pouco degradado.

Além da análise palinológica de um testemunho raso (135 cm) coletado na área de manguezal, foi realizada a calibração dos ecossistemas presentes (manguezal, restinga e mata atlântica) em termos de chuva polínica moderna.

Ao longo do testemunho, foram coletadas amostras para a análise palinológica em intervalos de 4 cm e foram selecionados quatro níveis, de acordo com mudanças no tipo de sedimento, para datações ¹⁴C.

Pelos resultados obtidos, através da análise palinológicas das amostras do testemunho, foi possível observar uma forte influência dos gêneros de mata tropical no registro polínico do manguezal. Estes dados, aliados a dados da bibliografia, mostraram diferenças significativas no registro palinológico de manguezais das regiões sudeste-sul e norte-nordeste. Trabalhos realizados na região norte-nordeste apresentaram registros com super-representação de pólenes de *Rhizophora*, enquanto que os trabalhos feitos na região sudeste-sul indicaram pouca quantidade de pólenes de associação típica de mangue (*Rhizophora/Avicennia*) e grande quantidade de *taxa* polínicos de mata. Esta diferença pode ser explicada pela distância que separa os manguezais da mata atlântica.

A análise dos dados obtidos permitiu a elaboração de um modelo para explicar a evolução do manguezal de Itanhaém. O manguezal de Itanhaém deve ter surgido nesta região há pelo menos 1300 anos AP. Há cerca de 1000 anos AP este ecossistema deve ter se expandido até áreas próximas ao local onde o testemunho foi coletado e colonizado a área do testemunho por volta de 330 anos AP.

A evolução do manguezal de Itanhaém estaria relacionada à dinâmica sedimentar do estuário. Desta forma, o desenvolvimento e expansão da vegetação de mangue teria ocorrido com o aumento da faixa de intermaré do estuário, provocado por progradação de deltas de cabeceira de baía.

Índice	
Introdução	1
Objetivos	2
Capítulo I – O ecossistema estudado: manguezal	3
1.1. O manguezal	3
1.2. Registros polínicos em manguezais	6
1.3. Chuva polínica moderna em bosques de mangues	8
1.4. Revisão bibliográfica dos trabalhos de palinologia em manguezais do Brasil	10
1.4.1. <i>Região Norte-Nordeste</i>	11
1.4.1.1. <i>Península Bragança, Pará</i>	11
1.4.1.2. <i>Lago do Aquiri, Maranhão</i>	14
1.4.2. <i>Região Sudeste-Sul</i>	17
1.4.2.1. <i>Guaratiba, Rio de Janeiro</i>	17
1.4.2.2. <i>Baixada Santista, São Paulo</i>	18
1.4.2.3. <i>Itacorumbi, Santa Catarina</i>	20
Capítulo II. Área de estudo	23
2.1. Localização da área	23
2.2. Sedimentação Quaternária na região de Itanhaém	23
2.3. Nível relativo do mar	26
2.4. Clima	27
2.5. Vegetação	27
2.5.1. Manguezal	27
2.5.2. <i>Vegetação de restinga</i>	29
2.5.3. <i>Floresta tropical (mata atlântica)</i>	30
2.5.4. <i>Vegetação secundária (impacto humano na vegetação)</i>	31
Capítulo III. Material e métodos	35
3.1. Amostragem	35
3.1.1. <i>Coleta de chuva polínica moderna</i>	35
3.1.2. <i>Testemunhagem</i>	37
3.2. Tratamento das amostras	38
3.2.1. <i>Tratamento químico das amostras</i>	38
3.2.2. <i>Montagem das lâminas</i>	40
3.3. Identificação e contagem dos grãos	41
3.4. Construção de diagramas polínicos	42
3.5. Cálculo de concentração (grãos/grama de sedimento)	43
Capítulo IV. Resultados	45
4.1. Chuva polínica moderna	45
4.1.1. <i>Elaboração e descrição do diagrama</i>	45
4.1.2. <i>Significado dos resultados de chuva polínica moderna</i>	48
4.2. Análise do testemunho	51
4.2.1. <i>Descrição do testemunho</i>	51
4.2.3. <i>Significado das fácies sedimentares observadas no testemunho</i>	52
4.2.4. <i>Datações</i>	53
4.2.5. <i>Elaboração e descrição dos diagramas</i>	54

4.2.6. Significado dos resultados da análise palinológica do testemunho	60
Capítulo V – Conclusões gerais	64
Referências Bibliográficas	66
Anexo I – Descrição dos grãos de pólen e esporos	

Índice de figuras

Figura 1: Distribuição atual dos manguezais no globo terrestre (Kiener, 1973 apud Thanikaimoni, 1987).	3
Figura 2: Figura 2: Ilustração geral do manguezal e de seu substrato. A fauna residente no substrato do manguezal, assim com a fauna terrestre e nectônica, podem causar mistura vertical dos sedimentos a uma profundidade de até aproximadamente 60 cm.	8
Figura 3: Diagrama de porcentagem dos diferentes grupos de vegetação e de porcentagem dos taxa de mangue da península Bragança, Pará (modificado de Behling <i>et al.</i> , 2001).	13
Figura 4: Diagrama de porcentagem dos taxa e grupos de vegetação analisados no testemunho do Lago Aquiri, Maranhão (modificado de Behling & Costa, 1994).	15
Figura 5: Diagrama polínico elaborado por Coelho <i>et al.</i> (2001) a partir de testemunho coletado no manguezal de Guaratiba (RJ).	18
Figura 6: Diagrama polínico para o testemunho coletado em Itanhaém (modificado de Absy & Suguio, 1975).	19
Figura 7: Diagramas polínicos dos três testemunhos analisados por Slompo (1997).	21
Figura 8: Mapa geológico de Itanhaém (modificado de Sugui e Martin, 1978b).	25
Figura 9: Perfil esquemático da vegetação do manguezal de Itanhaém (modificado de Lamberti, 1969).	29
Figura 10: Dados de chuva polínica. Diagrama de porcentagem dos taxa	46

mais representativos.

Figura 11: Modelo de dispersão da chuva polínica ao longo da planície costeira do rio Itanhaém. A distância entre o manguezal e a mata atlântica da encosta da serra do mar é de aproximadamente 15 km (modificado de Grindrod, 1988). 50

Figura 12: Seção colunar elaborada a partir do testemunho coletado no manguezal de Itanhaém. 51

Figura 13: Bloco diagrama com as possíveis posições do testemunho coletado no manguezal de Itanhaém. 53

Figura 14: Diagrama de porcentagem com os taxa mais freqüentes no registro do testemunho do manguezal de Itanhaém. 56

Figura 15: Diagrama polínico por agrupamento ecológico (testemunho do manguezal de Itanhaém). A freqüência de ocorrência dos grãos de pólen que definem os agrupamentos ecológicos estão representadas em porcentagem. A unidade de concentração de grãos de pólen está representada em grãos por grama de sedimento. 57

Figura 16: Evolução do manguezal do rio Itanhaém. 62

Introdução

O manguezal é um ecossistema de transição entre os ambientes marinho e terrestre e ocupa a zona de intermaré dos estuários. O termo estuário é polêmico e engloba diferentes definições (oceanográficas, geológicas, biológicas). Neste estudo, foi utilizado o termo estuário para designar corpos d'água semi fechados com livre acesso para o oceano, onde a água do mar é diluída e misturada à água doce das drenagens vindas do continente (Pritchard, 1967 *apud* Reinson, 1992).

Os manguezais podem ocupar diversos tipos de substrato, incluindo recifes de corais e areia. Porém, são mais comuns e abundantes em sedimentos de granulação fina (Grindrod, 1988).

Em substratos lamosos, os manguezais apresentam pleno desenvolvimento, com árvores de maior porte e maior biomassa no ecossistema. Os bosques de mangue que se desenvolvem sobre este tipo de substrato são os de maior interesse para estudos palinológicos, pois são propícios para a deposição e preservação dos grãos de pólen. Além disso, o substrato lamoso dos manguezais é normalmente anóxico e esta condição garante a boa preservação do registro polínico.

Entretanto, alguns aspectos da sedimentação dentro do manguezal devem ser levados em consideração ao se realizar a análise palinológica. Como os manguezais ocupam a zona de intermaré, os sedimentos podem ser redistribuídos por correntes de maré, causando mistura do registro palinológico. Outro aspecto importante a ser considerado é a remobilização dos sedimentos por agentes bioturbadores.

Os estudos dedicados à interpretação do registro palinológico em manguezais tem demonstrado que, apesar das limitações impostas pela bioturbação e redistribuição dos sedimentos pela ação da maré, os resultados da análise palinológica podem fornecer informações importantes sobre a história da vegetação neste ecossistema, além de contribuir com dados para a reconstrução de alterações do nível do mar e da evolução sedimentar costeira (Suguio, 1999; Grindrod *et al.*, 2002).

O ecossistema de manguezal é encontrado na costa brasileira desde o extremo norte, no Rio Oiapoque (04°20'N), até o litoral centro-sul catarinense, Laguna (28°30'S). A ampla ocorrência deste ecossistema ao longo do litoral do Brasil constitui um ótimo campo de pesquisa para trabalhos de reconstrução paleoambiental a partir do registro polínico. Porém, trabalhos com este enfoque são pouco numerosos e restritos à algumas localidades. Neste contexto é que foi escolhido o tema de trabalho, tentar

reconstituir a evolução do manguezal a partir da análise palinológica de um testemunho realizado em zona atualmente colonizada por este tipo de ecossistema.

A área escolhida para este estudo foi o estuário do rio Itanhaém, localizado no município de Itanhaém (24°16' 59" S, 46°47' 20" W), parte integrante da Baixada Santista (litoral sul de São Paulo). A Baixada Santista localiza-se a sul do Trópico de Capricórnio, sendo constituída pelos municípios de Bertioga, Guarujá, Santos, São Vicente, Cubatão, Praia Grande, Mongaguá, Itanhaém e Peruíbe (Lamparelli *et al.*, 1999). As áreas de manguezais da Baixada Santista representam 52% do total deste ecossistema no litoral do Estado de São Paulo.

Objetivos

A base de interpretação de um registro palinológico que visa reconstituir mudanças paleoambientais (climática e dinâmica vegetacional) deve ser feita a partir da calibração atual da área a ser estudada. Isto significa que antes de começar qualquer estudo de reconstituição, deve-se conhecer quais são os fatores que influem na dinâmica atual do local de estudo, como por exemplo, os tipos de vegetação presentes na área e o clima da região (duração da estação seca, temperaturas médias invernais, etc). Com isso, definiram-se como objetivos desta pesquisa:

1. Descrever a chuva polínica moderna ao longo de uma transecta, do litoral à serra do Mar, através dos quatro tipos de vegetação presentes na área (mangue, restinga, mata secundária e mata atlântica);
2. Identificar os *taxa* indicadores de cada um dos quatro tipos de vegetação encontrados;
3. Estudar os palinomorfos, de modo a identificá-los principalmente quanto à família e, quando possível, quanto ao gênero.
4. Correlacionar os palinomorfos encontrados com as espécies vegetais presentes, isto é, calibrar a área de estudo em termos de chuva polínica moderna;
5. Interpretar um testemunho raso (135 cm de profundidade) de sedimentos quaternários, visando estudar possíveis mudanças climáticas e/ou da dinâmica costeira (nível relativo do mar e sedimentação)

Capítulo I – O ecossistema estudado: manguezal

1.1. O Manguezal

O manguezal é um ecossistema costeiro, de transição entre os ambientes terrestre e marinho, sujeito a influência constante das marés e característico de regiões tropicais e subtropicais (Lamparelli, 1999). O substrato deste ecossistema é constituído por sedimentos lodosos, ricos em matéria orgânica. Neste tipo de substrato há o desenvolvimento de flora típica, representada por uma associação de árvores e arbustos (ex. *Rhizophora mangle*, *Avicennia* sp.), adaptada à variações de salinidade e a baixos teores de oxigênio (Suguio, 1998). Os manguezais ocorrem em regiões abrigadas e apresentam condições propícias para alimentação, proteção e reprodução de muitas espécies de animais, sendo considerado importante transformador de nutrientes em matéria orgânica, bem como gerador de bens e serviços (Schaeffer-Novelli, 1991). O termo manguezal é utilizado para designar o ecossistema (flora e fauna associada), enquanto mangle é o termo usualmente utilizado para nomear as espécies vegetais que compõem este ecossistema (Schaeffer-Novelli, comunicação verbal).

Os manguezais se distribuem na faixa tropical – subtropical, entre o Trópico de Câncer (23° lat. N) e o Trópico de Capricórnio (23° lat. S), verificando-se também algumas ocorrências de bosques de mangle em latitudes mais altas, porém, com menor desenvolvimento estrutural, isto é, árvores de menor porte, menor biomassa no ecossistema, etc. (Cintron & Schaeffer-Novelli, 1983). A distribuição atual dos manguezais, assim como os limites latitudinais de ocorrência de bosques de mangle, podem ser observados na Figura 1.

Figura 1: Distribuição atual dos manguezais no globo terrestre (Kiener, 1973 *apud* Thanikaimoni, 1987)

A comunidade vegetal dos manguezais é adaptada às características especiais e peculiares do ambiente (zona de intermaré de estuário), as quais condicionam a sobrevivência de poucas espécies. As árvores do manguezal possuem mecanismos que permitem extrair água doce da água do mar e excretar o excesso de sal pelas folhas (Schaeffer-Novelli, 1991). O sistema de raízes destas árvores é pouco profundo, uma vez que os nutrientes provêm das marés e da decomposição da matéria orgânica em superfície e que o substrato é extremamente pobre em oxigênio.

A maior diversidade em espécies de manguê está na região tropical Indo-Pacífica (sudeste asiático e norte da Austrália). Esta região contém por volta de 40 espécies de plantas, com algumas espécies endêmicas (Grindrod *et al.*, 2002). No Brasil, os bosques de manguê são compostos somente por sete espécies (*Avicennia germinans*, *Avicennia Schaueriana*, *Conocarpus erectus*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa*) distribuídas em três famílias (Rhizophoraceae, Avicenniaceae e Combretaceae).

O desenvolvimento dos manguezais está condicionado a diferentes fatores ambientais que variam em intensidade e periodicidade (Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990). Além da energia solar, as variáveis que definem o grau de desenvolvimento de um manguezal são: amplitude de marés, aporte de água doce, aporte de sedimentos, temperatura, nutrientes, energia do mar e precipitação pluvial. Além destas variáveis, as feições fisiográficas da região costeira, tais como o relevo, também são importantes fatores na configuração dos bosques de manguê. O balanço de todos estes componentes é que determinará a tipologia dos manguezais. O crescimento dos bosques de manguê é o resultado da melhor combinação entre estas variáveis (Schaeffer-Novelli, 1991).

Por se tratar de um ecossistema de transição entre os ambientes marinho e terrestre, o manguezal está sujeito à diversos processos naturais, como por exemplo, variações do nível do mar e erosão costeira, que podem mudar sua configuração e interferir no seu desenvolvimento. Atualmente, os impactos gerados pelo homem, como a canalização de rios, construção de aterros e descarga de efluentes, vem causando mudanças significativas neste ecossistema.

Os manguezais se distribuem na costa brasileira desde o extremo norte, no Rio Oiapoque (04°20'N), até o litoral centro-sul catarinense, Laguna (28°30'S) (Cintron & Schaeffer-Novelli, 1983). Sabendo-se quais são as variáveis que interferem no desenvolvimento de um manguezal, é razoável supor a existência de bosques de

mangue com características distintas ao longo do litoral brasileiro. Isto ocorreria devido à variação das características climáticas, geológicas e geomorfológicas de cada região. Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) dividiram a costa brasileira em oito segmentos (segmento I a VIII). Esta divisão teve como objetivos agrupar áreas de mesmo comportamento climático (temperatura e pluviosidade), fisiográfico e geológico e descrever as ocorrências de manguezais e suas diferenças estruturais para correlacionar as condições ambientais ao tipo de floresta de mangue em cada um destes segmentos. Assim os segmentos propostos foram:

- segmento I: compreende a região que vai do Cabo Orange (04°30'N) ao Cabo Norte (01°40'N);
- segmento II: do Cabo Norte à Ponta Curuçá (00°36'S);
- segmento III: da Ponta Curuçá à Ponta Mangues Secos (02°15'S),
- segmento IV: da Ponta Mangues Secos ao Cabo Calcanhar (05°08'S);
- segmento V: do Cabo Calcanhar ao Reconcavo Baiano (13°00'S);
- segmento VI: do Reconcavo Baiano ao Cabo Frio (23°00'S) ;
- segmento VII: de Cabo Frio à Torres (29°20'S); e
- segmento VIII: de Torres ao Chuí (33°35'S).

Segundo Schaeffer-Novelli *et al.* (1990) e Schaeffer-Novelli (1991), os manguezais mais extensos ocorrem no litoral norte do país, do Estado do Amapá até o Estado do Maranhão. Esta região é caracterizada por uma planície costeira extensa, marés de grande amplitude, clima de temperaturas médias elevadas, alta precipitação pluvial ao longo do ano e considerável aporte de água doce, nutrientes e sedimentos. A sul desta área, estas variáveis diminuem em intensidade, o que condicionaria, gradativamente, um menor desenvolvimento dos bosques de mangue. No litoral sudeste e sul, até a região de Laguna (SC), a serra do Mar delimita uma estreita faixa de planície costeira, e os manguezais ocorrem associados às desembocaduras dos principais rios, à baías e à lagunas. O município de Laguna (SC), marca o limite meridional de ocorrência de manguezais na costa brasileira (Villwock, 1993). As condições climáticas a sul de Laguna (SC) não são favoráveis ao desenvolvimento de manguezais. Nesta região, as margens das lagunas passam a ser colonizadas por alguns tipos de gramíneas e herbáceas tolerantes à salinidade elevada.

1.2. Registros polínicos em manguezais

Grãos de pólen e esporos preservados nos sedimentos constituem um dos indicadores mais utilizados para estudos de mudanças ambientais, ocorridas durante o Quaternário, em locais recobertos ou circundados por flora. O objetivo das pesquisas palinológicas é relacionar pólen, esporos e outros microfósseis, encontrados em amostras de solo e sedimentos, com sua origem vegetacional (Blasco, 1984). O registro palinológico preservado em lagos, turfeiras, estuários, etc., refletem mudanças ecológicas locais e/ou regionais da vegetação, induzidas, principalmente, por mudanças climáticas (Bradley, 1999).

As variações climáticas do Pleistoceno e Holoceno provocaram mudanças na vegetação, as quais foram registradas pelo conteúdo polínico dos solos e sedimentos. A análise palinológica tornou-se uma ferramenta importante dentro dos estudos paleoclimáticos do Quaternário em regiões continentais, complementando os dados provenientes de testemunhos marinhos e de gelo (Bradley, 1999). Porém, é importante lembrar que o registro palinológico do Quaternário também engloba mudanças na cobertura vegetal causadas por alterações antropogênicas, tais como o uso da terra para monoculturas, queimadas, etc. Estas mudanças também podem ser registradas pelas assembléias polínicas. Por isso, é importante saber qual é a escala temporal e espacial do estudo polínico, para poder separar os sinais climáticos dos causados por outros fatores.

As reconstituições paleoambientais/paleoclimáticas através da palinologia são possibilitadas por quatro atributos básicos dos grãos de pólen (Faegri & Iversen, 1989; Bradley, 1999):

- determinação da família, gênero e algumas vezes espécie vegetal, através das características morfológicas dos grãos de pólen;
- produção em grande quantidade e alta capacidade de dispersão pelo vento, água, insetos ou animais;
- são extremamente resistentes à degradação em determinados ambientes sedimentares;
- refletem a vegetação no tempo da deposição do pólen.

A comunidade vegetal dos manguezais possui todos os atributos básicos para um estudo palinológico de reconstituição da evolução do ecossistema. Uma das características importantes e mais marcantes deste ecossistema é a adaptação de

somente algumas espécies às particularidades do ecossistema. Isto garante ao estudo palinológico algumas vantagens. A distinção taxonômica das espécies de mangue em relação aos demais tipos de vegetação, a grande quantidade de grãos de pólen produzida por alguns dos taxa indicadores deste ecossistema, a morfologia dos grãos, as boas condições de preservação do registro polínico, isto por se tratar de um ambiente anóxico, e as condições ecológicas relativamente bem definidas (Blasco, 1984; Grindrod *et al.* 2002), fazem do manguezal um objeto de estudo tentador para as reconstituições paleoambientais através da palinologia.

Estudos palinológicos tem revelado a presença de manguezais no Terciário e Quaternário (Muller, 1964 *apud* Caratini *et al.*, 1973; Morley, 1999), documentando a evolução e distribuição deste tipo de vegetação no tempo geológico. Contudo, os depósitos sedimentares que contém pólen fósseis de mangue são pouco freqüentes e registram, em sua maioria, somente o Holoceno (Grindrod, 1988). Por se tratar de um ecossistema restrito à zona de intermaré, o registro de paleomangues nos permite não só fazer inferências sobre o clima, como também tentar estabelecer a posição das paleo-linhas de costa, desenhadas pelas flutuações do nível relativo do mar e aporte sedimentar (Blasco, 1984; Thanikaimoni, 1987; Grindrod, 1988; Behling, 1994; Suguio, 1999 ; Grindrod *et al.*, 2002).

Porém, as características intrínsecas ao ecossistema de manguezal podem trazer problemas de interpretação do registro polínico. Os sedimentos depositados nos manguezais estão sujeitos à redistribuição por ação diária das marés e à mistura através de bioturbação. Caranguejos podem remover os sedimentos situados a mais de 40 cm de profundidade para a superfície. As correntes de maré podem misturar as assembléias de mangue com as de regiões vizinhas (Behling *et al.*, 2001).

Os agentes biológicos responsáveis pela remobilização dos sedimentos de manguezais são apresentados na Figura 2. Um perfil através dos sedimento irá revelar sistemas de raízes vivas e mortas, folhas e galhos enterrados e evidências de ocupação pela fauna, representada principalmente por artrópodes (caranguejos, cracas, etc.) e moluscos (Grindrod, 1988).

Segundo Grindrod (1988), a principal precaução a ser tomada, ao se desenvolver trabalhos de reconstituição paleoambiental em manguezais, é a escolha adequada do local de amostragem. Deve-se evitar as zonas mais intensamente bioturbadas. Estas zonas podem ser detectadas através de uma amostragem preliminar.

Diversos trabalhos tem demonstrado ser possível reconstituir a história da evolução de manguezais através da análise do registro palinológico. Um balanço entre os pontos positivos e negativos inerentes ao ecossistema demonstra que, tomadas certas precauções quanto à amostragem, ao conhecimento da deposição atual dos pólenes de mangue e ao controle temporal das amostras por datações radiocarbono, o registro polínico pode ser utilizado para inferir mudanças ocorridas neste ecossistema (Blasco 1984; Grindrod, 1988; Behling *et al.*, 2001).

Figura 2: Ilustração geral do manguezal e de seu substrato. A fauna residente no substrato do manguezal, assim com a fauna terrestre e nectônica, podem causar mistura vertical dos sedimentos a uma profundidade de até aproximadamente 60 cm (modificado de Grindrod, 1988).

1.3. Chuva polínica moderna em bosques de mangues

O estudo dos mecanismos de dispersão, transporte e deposição de pólenes e esporos, em ambientes atuais, é fundamental para utilização destes elementos como indicadores paleoambientais. A compreensão destes mecanismos indicará o quanto

pólen e esporos depositados em sedimentos de uma determinada região refletem a vegetação circunvizinha.

Os diferentes tipos de vegetação possuem alguns elementos característicos que podem defini-las. Os representantes de tipos específicos de vegetação são chamados de *taxa* indicadores e os estudos de chuva polínica moderna são necessários para definir esses *taxa*. Os pólen das espécies indicadoras devem mostrar boa preservação, dispersão e produção para terem boa representabilidade no registro sedimentar. As plantas de origem destes pólen devem ser bem representadas na vegetação. Uma vez definida a associação de *taxa* indicadores, esta pode ser utilizada como indicadora de parâmetros climáticos responsáveis por mudanças de vegetação, tais como a duração da estação seca ou a temperatura média no inverno (Ledru, 2002).

A deposição atual dos grãos de pólen (chuva polínica moderna) em manguezais é indispensável para interpretação das assembléias fósseis. Para a realização deste tipo de estudo, são coletadas amostras dos sedimentos superficiais de diferentes regiões, com cobertura vegetal distinta. Além das amostras de sedimentos, também pode-se utilizar coletores naturais ou artificiais, em pontos específicos da região a ser estudada, para a captura do material polínico que está atualmente sendo disperso e depositado. A partir da análise do conteúdo polínico destes coletores, pode-se ter uma idéia de quanto o sinal deixado pelos palinomorfos corresponde à vegetação do entorno.

Muller (1959) coletou amostras superficiais de sedimentos costeiros (terrestres e marinhos) ao longo do delta do rio Orinoco (Venezuela) e analisou a distribuição dos grãos de pólen de plantas terrestres e de pântanos, incluindo *taxa* de mangue (*Rhizophora* e *Avicennia*). Pelas análises realizadas por Muller (1959), foi possível fazer inferências sobre aspectos de produção e dispersão destes *taxa*.

A distribuição de pólen de *Avicennia* e *Rhizophora* mostra diferenças na produção destes na planta de origem. Poléns de *Avicennia* são encontrados nos sedimentos em pequenas quantidades. Isto é consequência de sua pequena produção e, talvez, menor poder de dispersão pela água e pelo vento devido à sua estrutura. Em contraste, pólen de *Rhizophora* são abundantes nos sedimentos próximos a costa, assim como em locais mais distantes. No norte do Brasil, pólen de *Rhizophora* foram registrados a 70 km de distância da sua fonte (Marchant *et al.*, 2002). As espécies de *Rhizophora* produzem grande quantidade de grãos e sua dispersão pelo vento e pela água é bastante eficiente.

Caratini *et al.* (1973) realizaram um estudo de chuva polínica moderna no manguezal de Pichavaram (Índia). Neste trabalho, foram definidas três diferentes zonas dentro do manguezal (zona de *Rhizophora*, zona de *Avicennia* e a zona posterior do manguezal, isto é, zona de transição do manguezal com outros ecossistemas vegetais costeiros). O espectro polínico observado nos sedimentos superficiais mostrou diferenças entre a vegetação atual e sua representação polínica nos sedimentos. Estas diferenças foram relacionadas, principalmente, à super-representação de pólenes de *Rhizophora* nas assembléias estudadas e à sub-representação de pólenes de *Avicennia*. Outros *taxa* comuns de mangues apresentaram boa correlação entre o espectro polínico e a vegetação e alguns não estavam representados no registro polínico. Outra observação importante feita pelos autores, foi a alta taxa de ocorrência de pólenes alóctones (por volta de 25%). Assim como no trabalho de Muller (1959), a super-representação de determinados *taxa* e a sub-representação, ou não representação, de outros no registro polínico, parecem indicar as diferentes taxas de produção e estratégias de dispersão das plantas de origem destes pólenes.

O número de trabalhos dedicados à chuva polínica atual em ecossistema de intermaré ainda é muito pequeno (Caratini *et al.*, 1973; Dodson, 1982; Crowley *et al.*, 1994; Willard *et al.*, 2001; Behling *et al.*, 2001). Os aspectos particulares destes ecossistemas tornam clara a necessidade da sua calibração em termos de chuva polínica moderna para as reconstituições paleoambientais.

1.4. Revisão bibliográfica dos trabalhos de Palinologia em manguezais do Brasil

Diversos trabalhos sobre os manguezais do Brasil, enfocando diferentes aspectos deste ecossistema, vem sendo realizados por diferentes grupos de pesquisa em vários estados brasileiros. Dentre estes estudos estão incluídos trabalhos de mapeamento dos bosques de mangue, sobre características estruturais (biomassa, porte das árvores, etc), funcionais e sobre estimativas de produção do ecossistema. Além disto, há trabalhos voltados às respostas dos manguezais aos impactos produzidos por ação antrópica (Schaeffer-Novelli, 1987). No entanto, são poucos os trabalhos sobre palinologia em manguezais brasileiros, assim como, estudos de chuva polínica moderna dentro deste ecossistema.

Uma análise dos dados da literatura mostra diferenças significativas entre o registro palinológico dos manguezais das regiões sudeste-sul e norte-nordeste. A

diferença mais notável entre os mangues destas regiões parece ser a pequena quantidade de pólenes de *Rhizophora* e *Avicennia* (associação típica de mangue) no registro polínico dos mangues da região sudeste-sul e a super-representação de pólenes de *Rhizophora* no registro dos mangues do norte-nordeste.

Neste tópico serão apresentadas sínteses de trabalhos realizados na costa brasileira, que utilizaram registros palinológicos de manguezais atuais. Em função das observações mencionadas acima, os trabalhos apresentados a seguir foram divididos em dois grupos:

- trabalhos realizados na região norte e nordeste do Brasil
- trabalhos realizados na região sudeste e sul do Brasil.

1.4.1. Região Norte-Nordeste

1.4.1.1. *Península Bragança, Pará (00°46'00" – 1°00'00"S a 46°36'00" – 46°44'00"W)*
(Behling et al., 2001)

Behling et al. (2001) estudaram a dinâmica do manguezal da península Bragança, Estado do Pará. Através do estudo da chuva polínica moderna e da análise palinológica de três testemunhos rasos (o maior deles com 640 cm de profundidade), foi possível reconstruir mudanças ambientais ocorridas nesta região durante o Holoceno. Os testemunhos foram feitos em três diferentes zonas dentro do manguezal: no bosque de *Avicennia* (BDA), em área de "salt marsh" (Campo Salgado - CS) e em área dominada por *Rhizophora* (Furo Chato). Para o estudo da chuva polínica moderna foram instalados 25 coletores artificiais em cinco áreas da península, com diferentes tipos de vegetação (Bosque de *Avicennia*, área de mistura entre *Rhizophora* e *Avicennia*, área dominada por *Rhizophora*, "salt marsh" e restinga). Os coletores captaram pólenes depositados ao longo de um período de um ano.

Os resultados de chuva polínica moderna encontrados por Behling et al. (2001) indicaram que as taxas de acumulação de grãos de pólen (número de grãos/cm²/ano) variam entre as cinco diferentes áreas amostradas. Altas taxas de acumulação foram obtidas para as áreas com cobertura vegetal de mistura entre *Rhizophora* e *Avicennia* e para áreas dominadas por *Rhizophora* (média de 15.370 grãos/cm²/ano e 14.040 grãos/cm²/ano, respectivamente). Já nas áreas de bosque de *Avicennia*, "salt marsh" e restinga, as taxas de acumulação obtidas foram significativamente menores (média de

2500 grãos/cm²/ano, 1050 grãos/cm²/ano e 1380 grãos/cm²/ano, respectivamente).

Na contagem total dos grãos de pólen das amostras de chuva polínica coletadas nas áreas de mistura entre *Rhizophora* e *Avicennia* e nas áreas dominadas por *Rhizophora*, a porcentagem de pólenes de *Rhizophora* varia de 90 a 100%. Esta porcentagem diminui nas demais áreas. Grãos de pólenes de *Rhizophora* representam cerca de 60 a 85% da soma total dos pólenes depositados na área do bosque de *Avicennia*, de 35 a 40% dos pólenes da área de “salt marsh” e de 15 a 25% dos da área de restinga.

As porcentagens de pólenes de *Avicennia* são altas somente nas áreas dominadas por este gênero. Dentro do bosque de *Avicennia*, a porcentagem de grãos de pólenes de *Avicennia* varia de 15 a 35%. Em áreas de mistura de vegetação *Rhizophora* e *Avicennia*, esta porcentagem cai para 2 a 5%. Nas demais áreas a média de porcentagem de grãos de pólenes de *Avicennia* é menor que 1%.

Os resultados obtidos através do estudo da chuva polínica moderna indicaram que, dentre os taxa de mangue, as espécies de *Rhizophora* produzem grandes quantidades de grãos de pólenes enquanto que as espécies de *Avicennia* e *Laguncularia* produzem quantidade relativamente pequena. Isto é plausível, pois as espécies de *Rhizophora* são polinizadas pelo vento e por esse motivo a planta deve produzir um número elevado de grãos para garantir a sua polinização. Por sua vez, as espécies de *Avicennia* e *Laguncularia* são polinizadas por insetos. Por isso, uma pequena quantidade de grãos é suficiente para que a polinização seja bem sucedida.

Os resultados da análise palinológica dos três testemunhos apresentaram-se semelhantes aos das amostras de chuva polínica no que diz respeito às diferentes porcentagens dentre os taxa de mangue, (altas porcentagens de *Rhizophora* e baixas porcentagens de *Avicennia* e *Laguncularia*). Para garantir o controle temporal das amostras analisadas, foram feitas em cada testemunho três datações ¹⁴C (base, meio e topo do testemunho)

No diagrama abaixo (Figura 3) são apresentados os resultados obtidos através da análise do conteúdo polínico do testemunho do bosque de *Avicennia*. É importante ressaltar que o diagrama aqui apresentado é parte do diagrama original de Behling *et al.* (2001). Este diagrama apresenta os taxa agrupados em tipos de vegetação. Estes tipos foram agrupados em gêneros de manguezal, outras árvores e arbustos (compreendem taxa de floresta, restinga), palmeiras, herbáceas, aquáticas e taxa não identificados. Além disso, no mesmo diagrama podem ser observadas diferenças de porcentagem

entre os *taxa* de mangue.

Figura 3: Diagrama de porcentagem dos diferentes grupos de vegetação e de porcentagem dos *taxa* de mangue da península Bragança, Pará (modificado de Behling *et al.*, 2001).

Os três testemunhos analisados indicaram a dominância dos pólenes de mangue sobre os tipos polínicos de mata (floresta e/ou restinga), plantas aquáticas, herbáceas e palmeiras. No testemunho do bosque de *Avicennia* (BDA), grãos de pólen de *Rhizophora* apresentaram porcentagens que variam de 80 a 90% da soma total de pólenes, e porcentagens de 85 a 97% no testemunho coletado na área dominada por *Rhizophora* (Furo Chato). Pólenes de *Avicennia* apresentaram baixas porcentagens nos testemunhos analisados. A representatividade dos pólenes de *Avicennia* nos testemunhos coincide com o que foi observado nas amostras de chuva polínica moderna. No testemunho BDA, as porcentagens de pólenes de *Avicennia* variam de 2 a 5% e no Furo Chato de 3 a 7 %. As frequências de pólenes de *Laguncularia* também

apresentaram-se baixas (1 a 2% nos testemunhos BDA e Furo Chato). Os resultados obtidos para o testemunho coletado na área de “salt marsh” (Campo Salgado – CS) apresentaram algumas diferenças. Nas amostras do intervalo de 64 a 34 cm de profundidade (sedimento mais siltoso), o conteúdo polínico mostrou-se destruído e, por este motivo, não foi incluído nas contagens. Este intervalo foi interpretado como um hiato. Na parte basal do testemunho, abaixo do hiato, a porcentagem dos grãos de *Rhizophora* no testemunho CS variou de 85 a 95%, e os valores dos grãos de *Avicennia* variaram de 1 a 6%. Acima do hiato, estas porcentagens mudaram significativamente, com decréscimo dos pólenes de *Rhizophora* para 55% e aumento dos pólenes de *Avicennia* para 27%.

A partir da análise de todos os dados obtidos, os autores concluíram que o desenvolvimento da vegetação típica de manguezal não ocorreu ao mesmo tempo em toda a península. A vegetação de mangue teria começado a se desenvolver há aproximadamente 5120 anos AP na região do campo salgado (CS, atual “salt marsh”), há 2170 anos AP no atual bosque de *Avicennia* (BDA) e há 1440 anos AP na região do Furo Chato. Os dados obtidos também permitiram aos autores sugerirem uma elevação do nível relativo do mar durante a porção intermediária do Holoceno. Esta elevação seria indicada pela presença de *taxa* de mangue em altas concentrações na área onde atualmente é uma região de “salt marsh”, acima do nível de intermaré. Posteriormente, durante o Holoceno Tardio, teria ocorrido uma fase com rebaixamento do nível relativo do mar, resultando na mudança do ecossistema de manguezal para a atual área de “salt marsh”.

1.4.1.2. Lago do Aquiri, Maranhão (3°10'S, 44°59'W) (Behling & Costa, 1994)

O trabalho descrito a seguir não foi realizado num manguezal atual e sim em uma lagoa costeira no Estado do Maranhão. Porém, optou-se por apresentar uma pequena síntese do trabalho, pois a análise palinológica dos sedimentos testemunhados no Lago Aquiri permitiu a identificação de um paleo-manguezal nesta região. Com isto, foi possível fazer inferências sobre o nível relativo do mar e a linha de costa na época de deposição dos sedimentos amostrados. Behling & Costa (1994) estudaram o conteúdo polínico de um testemunho de 567 cm de profundidade no Lago Aquiri. Além das análises palinológicas das amostras, foram realizados estudos

sedimentológicos, mineralógicos e geoquímicos.

Datações ^{14}C foram obtidas em três níveis do testemunho: base, meio e próximo ao topo. As idades obtidas indicaram que os sedimentos foram depositados entre 6280 e 7450 anos AP. Para os sedimentos do topo do testemunho (0 a 22 cm de profundidade), os autores sugeriram tratar-se de um depósito recente, talvez gerado durante o último século. Isto indicaria um grande hiato deposicional entre 6280 anos AP (idade obtida a 25 cm de profundidade) e o último século (período correspondente à deposição dos 22 cm superiores de sedimentos).

A Figura 4 apresenta os resultados da análise palinológica dos sedimentos do Lago Aquiri. Neste diagrama são apresentadas as porcentagens dos principais tipos polínicos encontrados e dos *taxa* agrupados ecologicamente de acordo com os diferentes tipos de vegetação (*taxa* de florestas, plantas aquáticas, herbáceas e esporos).

Figura 4: Diagrama de porcentagem dos *taxa* e grupos de vegetação analisados no testemunho do Lago Aquiri, Maranhão (modificado de Behling & Costa, 1994).

O diagrama polínico foi dividido em duas zonas: AI e AII. Estas duas zonas foram estabelecidas com base na mudança das concentrações dos tipos polínicos. A zona AI (550 a 22 cm) mostrou porcentagens de grãos de *Rhizophora* entre 80 e 90% da soma total dos grãos de pólen. A presença de pólenes de *Avicennia* foi extremamente baixa, menor que 1%. Grande diversidade de *taxa* de floresta foi encontrado nos sedimentos, porém, em baixas quantidades (cerca de 5%).

A zona AII (22 a 0 cm) foi caracterizada pela abundância de pólenes de plantas herbáceas, com 80% de Poaceae e 15% de Cyperaceae. As plantas aquáticas foram relativamente bem representadas e pólenes de mangue foram raros. As características da zona AII evidenciaram um ecossistema vegetal completamente diferente em relação ao inferido para a zona AI. A zona A II parece refletir as condições atuais da região em volta do lago.

A vegetação atual no entorno da lago é caracterizada pela presença de Poaceae, *Eichornia*, *Mimosa* e *Salvinia*. A oeste do lago são observadas extensas áreas recobertas por palmeiras (Babaçu) e a leste por cerrados. Os manguezais não estão presentes no entorno do lago. As informações sobre a vegetação atual na área do lago foram fundamentais para a interpretação dos dados obtidos a partir das amostras palinológicas.

A presença de pólenes de espécies características de mangue em quantidade elevada permitiu interpretar que o ecossistema de manguezal, provavelmente, ocupava aquela região em épocas passadas. Aliando-se os dados palinológicos às datações obtidas ao longo do testemunho, pode-se dizer que o ecossistema de manguezal permaneceu na região até a porção intermediária do Holoceno. Isto indica que, neste período, o oceano se estendia para dentro do continente e que a linha de costa, quando comparada com a linha de costa atual, encontrava-se mais ao interior. A interrupção da sedimentação em 6280 anos AP foi provavelmente causada pela regressão da linha de costa, o que provocou o isolamento do manguezal e o corte do aporte sedimentar marinho, deixando a área exposta e sujeita à erosão.

1.4.2. Região Sudeste-Sul

1.4.2.1. Guaratiba, Rio de Janeiro

(Coelho et al., 2001)

O manguezal de Guaratiba localiza-se na Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, e uma estreita planície costeira separa a área do manguezal da Serra do Mar, a qual encontra-se coberta com densa floresta tropical.

Coelho *et al.* (2001) estudaram o conteúdo polínico de amostras provenientes de um testemunho de 530 cm de profundidade coletado em sedimentos inconsolidados do manguezal. O objetivo principal deste trabalho foi analisar as mudanças ambientais e climáticas na área de estudo durante o Holoceno tardio.

As amostras coletadas para o estudo palinológico foram selecionadas de acordo com as mudanças sedimentológicas observadas ao longo do testemunho. Para estabelecer o controle temporal das amostras, foi realizada uma datação radiocarbono, pela técnica AMS (Accelerator Mass Spectrometry), em amostra coletada na base do testemunho. Esta amostra foi datada em 6130 anos AP. A cronologia do restante do testemunho foi estabelecida através de interpolação utilizando-se taxa de sedimentação.

A distribuição dos pólenes ao longo do testemunho foi subdividida em quatro zonas, as quais evidenciariam oscilações de umidade na região. A separação destas zonas não é tão evidente na análise do diagrama apresentado no trabalho de Coelho *et al.* (2001) e mostrada na Figura 5. Não se sabe quais foram os taxa definidos para inferir as relações de umidade interpretada pelos autores. As zonas identificadas foram:

Zona I (6.300 a 4.650 anos AP): caracterizaria uma fase de clima úmido.

Zona II (4.650 a 1.350 anos AP): apresentaria condições de relativa redução umidade.

Zona III (1.350 a 10 anos AP): apresentaria características gerais de clima mais úmido, porém, o intervalo situado entre 775 anos AP (idade calendário igual a 1175 anos) e 213 anos AP (idade calendário igual a 1737 anos) evidenciaria pequena redução da umidade.

Zona IV (10 anos AP a recente): fase que documentaria o impacto antrópico na vegetação, com redução da floresta e conseqüente decréscimo na umidade do clima atual.

Na Figura 5 observam-se os resultados obtidos pelos autores. No diagrama apresentado, os palinórfos foram agrupados segundo grupos ecológicos (mangue, mata, herbáceas e aquáticas) e a frequência destes grupos foi expressa em porcentagem (número de *taxa* de cada grupo / total de grãos de pólen contados).

Figura 5: Diagrama polínico elaborado por Coelho *et al.* (2001) a partir de testemunho coletado no manguezal de Guaratiba (RJ).

A análise palinológica evidenciou forte influência dos *taxa* de mata atlântica e restinga dentro da área colonizada por manguezais. Os autores acreditam que esses resultados estão provavelmente relacionados ao transporte de grãos de pólen pelos rios. Diversos rios que atravessam a Serra do Mar desaguam na baía de Sepetiba. Estes rios transportariam grande quantidade de material polínico da mata para o manguezal.

1.4.2.2. Baixada Santista, São Paulo (Absy & Suguio, 1975)

Absy & Suguio (1975) analisaram o conteúdo palinológico e o significado paleoecológico das amostras de sedimentos de testemunhos coletados na Baixada Santista (SP). As amostras estudadas foram obtidas através de quatro furos de sondagem (dois na região de Santos, um no Guarujá e outro na região de Itanhaém), originalmente destinados para estudos geotécnicos.

O material coletado foi descrito como uma alternância de sedimentos de origem

marinha e continental. Os testemunhos estudados atingiram 25 a 50 metros de profundidade. As amostras selecionadas para o estudo polínico foram coletadas em diversas profundidades até um máximo de 41 m, com intervalo de amostragem variando de 1 a 3 m.

Dos quatro testemunhos estudados, os melhores resultados foram obtidos para o testemunho de Itanhaém. Nas amostras provenientes do furo de sondagem da região de Itanhaém, foi possível distinguir quatro zonas polínicas, as quais indicariam mudanças na vegetação.

A Figura 6 apresenta os resultados obtidos através das análises do conteúdo palinológico do testemunho de Itanhaém. No diagrama foram plotadas as porcentagens dos principais tipos de pólen encontrados. O diagrama aqui apresentado ilustra parte do diagrama original mostrado no trabalho de Absy & Suguio (1975).

Figura 6: Diagrama polínico para o testemunho coletado em Itanhaém (modificado de Absy & Suguio, 1975).

As zonas A-I, B-I, C-I e D-I foram caracterizadas e interpretadas da seguinte forma:

Zona A-I: predomínio de Poaceae e Asteraceae, além de altas porcentagens de *Ilex*, Melastomataceae e Proteaceae. O significado do conteúdo polínico desta zona foi interpretado como característico de vegetação aberta, o que poderia indicar períodos climáticos mais secos.

Zona B-I: presença de altas freqüências de pólenes de *Rhizophora* (10%) e aumento na freqüência de esporos. Nesta zona também foram observados foraminíferos. A presença destes microfósseis e de tipos polínicos de mangue indicaram um aumento na influência de água salgada, provavelmente relacionada à subida do nível relativo do mar no Holoceno. Os autores correlacionaram este evento a um caso similar observado na Guiana Inglesa, datado em 9000 anos AP (van der Hammen, 1963 *apud* Absy & Suguio, 1975).

Zona C-I: caracterizada por um decréscimo nas porcentagens de Poaceae e Asteraceae e aumento de pólenes arbóreos. Nesta zona os foraminíferos ainda são abundantes.

Zona D-I: declínio de elementos de floresta e aumento de tipos de pólenes de plantas herbáceas. Nesta zona, a freqüência de foraminíferos diminui em direção ao topo do testemunho. Os dados obtidos para esta zona sugeriram a ação do homem modificando a vegetação.

Não foi possível para os citados autores interpretar o registro palinológico dos demais testemunhos estudados. Isto porque as análises palinológicas dos outros testemunhos foram restritas a pequenos intervalos. Os resultados não foram mais conclusivos pela falta de dados geológicos e geocronológicos.

1.4.2.3. Itacorumbi, Santa Catarina (27°51'31"S, 48°31'33"W) (Slompo, 1997)

Slompo (1997) descreveu assembléias palinológicas em sedimentos quaternários no manguezal de Itacorumbi, Santa Catarina. Este estudo teve como objetivo principal caracterizar mudanças climáticas ocorridas no Holoceno.

Para este trabalho, a autora definiu nove estações de amostragem ao longo do rio Itacorumbi. A escolha dos locais de amostragem baseou-se na posição geográfica de cada uma das estações, grau de consolidação do substrato e tipo de vegetação local. A

coleta das amostras foi feita de três maneiras: abertura de trincheiras, onde a estabilidade do substrato permitisse, coleta de sedimentos superficiais e sondagens para coleta do material em subsuperfície. As sondagens foram feitas utilizando-se tubos de PVC.

Foram selecionados três testemunhos para o estudo palinológico. Estes foram escolhidos com base no comprimento obtido nas sondagens (50, 47 e 35 cm) e posição das estações (estação a montante, estação intermediária e estação a jusante). Para o estudo ao longo rio foram utilizadas nove amostras, provenientes das bases dos testemunhos e trincheira.

Além do estudo dos grãos de pólen, também foram analisados o conteúdo de esporos, organismos marinhos (acritarcas e foraminíferos) e tecidos (cutículas, filamentos e fragmentos vegetais ou animais não identificados).

Na Figura 7 observam-se os resultados obtidos por Slompo (1997) através da análise palinológica dos testemunhos. Os resultados são apresentados em frequência relativa, isto é, número de microfósseis de um grupo em relação ao total de microfósseis contados. As frequências estão expressas em porcentagem (%).

Figura 7: Diagramas polínicos dos três testemunhos analisados por Slompo (1997).

Com base nas concentrações polínicas e características granulométricas dos sedimentos, a autora identificou cinco intervalos deposicionais distintos e levantou a hipótese destes intervalos terem sido formados por pequenas oscilações do nível relativo do mar. Os cinco intervalos deposicionais foram denominados fases I, II, III, IV e V e apresentam as seguintes características:

- Fase I (base): altas frequências relativas de pólenes de mangue. Este intervalo está associado à deposição de sedimentos finos, ricos em matéria orgânica. Foi interpretado como ambiente deposicional calmo, onde teria se desenvolvido o manguezal.
- Fase II: fase com recuo da vegetação de mangue, a qual estaria associada à sedimentação mais arenosa. Esta fase foi interpretada como indicativa de possível abaixamento do nível relativo do mar, o que seria confirmado pela ausência de organismos marinhos
- Fase III: fase com oscilação positiva do nível relativo do mar relacionada a presença de acritarcas nas assembléias de microfósseis.
- Fase IV: caracterizada pelo aumento da quantidade de esporos, Poaceae e Asteraceae, e pelo conseqüente diminuição da quantidade de angiospermas (*Varia*), tecidos e *Rhizophora*. Esta fase foi interpretada como uma fase de clima mais seco, com retração da vegetação arbórea e predomínio da vegetação arbustiva e de herbáceas. Esta fase estaria relacionada a um evento de oscilação negativa no nível relativo do mar.
- Fase V (recente): condições ambientais semelhantes às descritas para a Fase I. Há aumento nas porcentagens de *Rhizophora*, *Avicennia* e Combretaceae. A presença de acritarcas mostra a influência marinha nesta fase de deposição.

A análise da distribuição dos pólenes ao longo do rio Itacorumbi não permitiu comparações devido à diferença de profundidade em que foram coletas as amostras estudadas.

A falta de datações absolutas dos sedimentos e a dificuldade de observação de estruturas sedimentares nas camadas superficiais do mangue não permitiram a elaboração de um modelo evolutivo para a planície costeira de Itacorumbi. Para a autora, estes possíveis episódios de oscilações negativas do nível relativo do mar ocorreram durante os últimos 2500 anos AP. Esta suposição foi feita com base no modelo proposto por Suguio & Martin (1986 *apud* Slompo 1997) para a costa de Santa Catarina.

Capítulo II - Área de Estudo

2.1. Localização da área

A área de estudo situa-se na cidade de Itanhaém (24°16' 59" S, 46°47' 20" W), litoral sul do Estado de São Paulo, a 110 km da capital. Os principais rios que drenam a planície costeira de Itanhaém são o rio Branco, o rio Preto e o rio Itanhaém. Este último formado pela confluência dos outros dois (Figura 8).

2.2. Sedimentação Quaternária na região de Itanhaém

A planície costeira de Itanhaém é limitada pelos municípios de Peruíbe a SW e Mongaguá a NE, alongando-se cerca de 50 km e com largura máxima de 15 km (Martin & Suguio, 1975; Suguio & Martin, 1978a). A evolução desta planície durante o Quaternário é relacionada, principalmente, a dois eventos transgressivos. O primeiro deles, ocorrido no Pleistoceno, com idade admitida próxima há 120.000 anos AP, é denominado transgressão Cananéia (Suguio & Martin, 1978a). Depósitos associados a este evento são constituídos de sedimentos arenosos de sistemas deposicionais marinhos costeiros. A observação de fotos aéreas permite identificar sucessões de alinhamentos de cordões litorâneos nestes depósitos.

O segundo evento transgressivo teria ocorrido no Holoceno, há 5100 anos AP, sendo denominado transgressão Santos (Suguio & Martin, 1978a). Os depósitos ligados a esse evento incluem sedimentos arenosos, em uma faixa que se estende do oceano aos depósitos marinhos pleistocênicos. Nas zonas atualmente drenadas pelos rios Branco, rio Preto e Itanhaém, encontram-se depósitos argilo-arenosos de origem lagunar (Suguio & Martin, 1978a; Suguio & Martin, 1978b). Seguindo a mesma linha de raciocínio de Giannini & Santos (1996) para a região de Peruíbe, a paleolaguna formada durante a transgressão holocênica provavelmente desenvolveu-se pelo afogamento de vales fluviais preexistentes e posteriormente foi assoreada. Atualmente há sedimentação moderna fluvial e de planície de maré superimposta a estes depósitos de laguna.

Com base em resultados de análise granulométrica e de minerais pesados, Giannini (1987, 1989) subdividiu a planície costeira de Peruíbe-Itanhaém, formada por sedimentos quaternários regressivos arenosos, em três faixas paralelas à linha de

costa: faixa de sedimentos de praia atual com 50 a 100 m de largura, faixa de sedimentos holocênicos interiores com até 1,5km de largura e faixa de sedimentos pleistocênicos.

A bacia dos rios Preto, Branco e Itanhaém constitui um sistema fluvio-paleolagunar e forma uma das únicas zonas de sedimentação areno-lamosa da planície.

Suguio & Kutner (1974), além de realizarem estudos sedimentológicos, analisaram também as diatomáceas presentes nos sedimentos amostrados através de testemunhos de sondagem. Os autores puderam identificar diferentes *ambientes* em que os sedimentos teriam sido depositados. A seqüência de sedimentos estudada sugere a deposição em *sistema fluvial* na base, superposta por sedimentos tipicamente marinhos, que mudam para depósitos com características de sistema deposicional fluvial. No topo da seqüência, segundo os autores, encontra-se o registro de um ecossistema de mangue.

Em relação à evolução sedimentar da região, pode-se observar duas gerações de areias regressivas dentro da planície costeira (Figura 8), sendo a mais antiga de idade pleistocênica superior e a mais recente holocênica. Estas duas gerações de areias pertencem a sistemas deposicionais do tipo planície costeira ou *strandplain*. O Holoceno é representado ainda por um sistema deposicional estuarino-lagunar, formado durante a transgressão holocênica e assoreado na regressão subsequente. A desembocadura do rio Itanhaém atua como um canal de maré, sujeito a inversões diárias em seu curso d'água. A área coberta por manguezal situa-se na zona de intermaré e possui 3,75 km².

LITOESTRATIGRAFIA

Holoceno Indiferenciado

- Sedimentos continentais elúvio-coluvionares (areias e argilas)
- Sedimentos de mangue e pântano (areias e argilas)

Holoceno _ Formação Santos

- Sedimentos fluvio-lagunares (areias e argilas)
- Sedimentos marinhos litorâneos (areias)

Pleistoceno - Formação Cananéia

- Sedimentos marinhos litorâneos retrabalhados em superfície pelo vento
- Sedimentos marinhos litorâneos (areias)

Cambriano a Arqueano

- Granitos foliados, granulação fina a média, contatos concordantes.
- Xistos variados - quartzo-mica xistos, biotita-quartzo xistos, muscovita-quartzo xistos, clorita e sericita-xistos (Grupo Açungui)
- Migmatitos heterogêneos, estruturas variadas, paleossoma xistoso (Complexo Embu).
- Migmatitos de estruturas variadas, paleossoma xistoso e/ou gnáissico (Complexo Costeiro).

CONVENÇÕES

Curvas de Nivel	Cidades	Contatos
Estradas	Drenagens	Falhas
Ferrovia	Pontos descritos	It-01 Testemunho

Figura 8: Mapa geológico de Itanhaém
(modificado de Suguio & Martin, 1978b).

2.3. Nível relativo do mar

No trabalho de Suguio *et al.* (1985) foram apresentadas oito curvas de variação do nível relativo do mar (NRM) nos últimos 7.000 anos em diversos trechos do litoral brasileiro. Para a elaboração destas curvas foram utilizados diversos tipos de indicadores do paleonível marinho.

Todas as curvas apresentam um comportamento similar. Estas curvas diferem apenas quanto à posição dos picos de nível do mar alto e baixo. Porém, no que diz respeito ao grau de definição, caracterizado pela quantidade e precisão dos dados disponíveis, este apresenta diferenças mais significativas (Angulo & Giannini, 1996).

Na região de Itanhaém, os dados de NRM são pouco numerosos. Curvas de NRM de regiões próximas, como a de Santos-Iguape (Suguio *et al.*, 1985), podem ser usadas como referência.

Angulo & Lessa (1996) discutiram a utilização de alguns dos indicadores de paleoníveis marinhos em reconstruções de NRM. A principal crítica diz respeito ao uso de informações procedentes dos sambaquis na elaboração de curvas de NRM e ao baixo grau de precisão destes indicadores. O uso de indicadores mais precisos, tais como carapaças de vermetídeos encontradas *in situ*, pode conferir melhor grau de definição para estas curvas. Além disto, por se tratar de carapaças calcáreas, estas podem ser datadas, dando um controle temporal aos paleoníveis marinhos.

Martin *et al.* (1997) reafirmaram a necessidade de um estudo com diversos indicadores de paleoníveis, sejam eles indicadores diretos ou indiretos. "Em muitos casos, um feixe de dados convergente é preferível a uma informação isolada, mesmo se essa pode, intrinsecamente, parecer melhor" (Martin *et al.*, 1997).

Angulo & Giannini (1996) discutiram a variação do nível relativo do mar nos últimos dois mil anos na região sul do Brasil. Neste trabalho, os autores analisaram diferentes curvas de NRM apresentadas para os estados da região sul do país.

A configuração distinta das curvas ocorreria devido a diferenças metodológicas na sua construção e no tipo e interpretação de indicadores de paleoníveis utilizados. Alguns indicadores devem ser utilizados com cautela, pois embora possam fornecer evidências de variações no nível do mar, não permitem precisar estes níveis. Por outro lado, carapaças carbonáticas de ostras e vermetídeos, quando *in situ*, podem indicar paleoníveis marinhos com precisão entre 0,1 a 1 m, dependendo das características físicas do meio (Laborel, 1986 *apud* Angulo & Giannini, 1996). De posse dos dados

disponíveis, os autores concluíram que o padrão de variação do NRM mais provável para a costa sul do Brasil foi o apresentado por Suguio *et al.* (1985) e por Angulo (1992). Este padrão caracteriza-se pelo declínio gradual do NRM nos últimos 2000 anos AP.

No litoral sul paulista, amostras (datadas) de vermetídeos das regiões de Itanhaém e Santos foram datadas, respectivamente, em 1105 ± 75 anos AP, para um paleonível de $1,6 \pm 0,4$ m, e 790 ± 90 anos AP, para um paleonível de $1,4 \pm 0,4$ m (Suguio *et al.*; 1985). Estes dados parecem concordar com o padrão de declínio gradual do NRM nos últimos 2000 anos AP.

2.4. Clima

A temperatura média anual de toda a baixada Santista é superior a 20°C e a precipitação anual varia de 2000 a 2500 mm. As maiores precipitações ocorrem durante os meses de verão (janeiro a março) e as precipitações mais baixas nos meses de inverno (julho a agosto). Entretanto, não há uma estação seca bem definida (precipitação durante o ano todo é >50 mm por mês). A baixada Santista apresenta alta umidade relativa do ar, com média em torno de 80% (Lamparelli, 1999).

2.5. Vegetação

Na planície costeira, toda a margem do rio Itanhaém, bem como de seus afluentes, é ocupada por densa mata de restinga, em sua maior parte em condições primárias de conservação (*foto 1*). Próximo às encostas da serra do mar, passa a ser ocupada por floresta tropical (mata atlântica). A área de manguezal da região (*foto 2*) é considerada pouco degradada. Em áreas localizadas, existe vegetação mais recente representada por matas secundárias e plantações.

2.5.1. Manguezal

Lamberti (1969) estudou a ecologia das plantas do manguezal de Itanhaém. Neste trabalho o autor dividiu o manguezal em:

- Espécies obrigatórias: vivem sob ação constante das marés e sobre solo predominantemente argiloso-lodoso (maioria das partículas do solo varia entre 0,002 a

0,02mm de diâmetro). São elas: *Avicennia schaueriana* (Avicenniaceae), *Laguncularia racemosa* (Combretaceae) e *Rhizophora mangle* (Rhizophoraceae).

- espécies facultativas ou marginais: desenvolvem-se em zonas ocasionalmente atingidas pelas marés de grandes amplitudes, e vivem sobre solo de composição predominantemente arenosa (granulometria entre 0,02 a 0,2mm de diâmetro). Entre as últimas, encontram-se: *Hibiscus tiliaceus* (Malvaceae), *Crinum attenuatum* (Amaryllidaceae), *Spartina brasiliensis* (Poaceae), *Fimbristylis glomerata* (Cyperaceae) e *Acrostichum aureum* (Polypodiaceae).

Na tabela 1 é apresentada a lista de plantas descritas por Lamberti (1969) para o manguezal de Itanhaém.

Tabela 1: Lista de plantas freqüentes no manguezal de Itanhaém (Lamberti, 1969)

Fanerógamas		
Espécie	Família	Hábito
* <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechmann (= <i>A. tomentosa</i> Jacq.)	Verbenaceae**	árvore
<i>Brassavola</i> sp.	Orchidaceae	epífita
<i>Crinum commelyni</i> Jacq. (= <i>C. attenuatum</i> Willd ex Schult.)	Amaryllidaceae	erva terrestre
<i>Encyclia longifolia</i> (Rodr.) Schltr.	Orchidaceae	epífita
<i>Fimbristylis glomerata</i> (Retz) Nees.	Cyperaceae	erva terrestre
<i>Hibiscus tiliaceus</i> Linn.	Malvaceae	arbusto
* <i>Laguncularia racemosa</i> Gaertn.	Combretaceae	árvore pequena
<i>Loranthus vulgaris</i> Mart. (= <i>Struthanthus vulgaris</i> Mart.)	Loranthaceae	hemi-parasita
<i>Rhipsalis</i> spp.	Cactaceae	epífita
* <i>Rhizophora mangle</i> Linn.	Rhizophoraceae	árvore
<i>Spartina brasiliensis</i> Raddi	Graminea***	erva terrestre
Criptógamas		
<i>Acrostichum aureum</i> Linn.	Polypodiaceae	erva terrestre
<i>Polypodium</i> spp.	Polypodiaceae	epífita

* espécies obrigatórias

** o gênero *Avicennia* pertence atualmente à família Avicenniaceae

***a nova nomenclatura botânica para Graminea é Poaceae

Através das observações de campo, Lamberti (1969) elaborou um perfil esquemático de distribuição da vegetação do manguezal em relação ao nível de maré alta e maré baixa (perfil esquemático sem escala horizontal, onde é destacado a relação entre o número e tamanho das espécies vegetais). Este perfil é apresentado na figura 9.

Perfil esquemático da vegetação do manguezal na região de Itanhaém
 MA = nível atingido pela maré alta; NM = nível médio da maré; MB = nível da maré baixa;
 Rh = *Rhizophora*; AV = *Avicennia*; Lag = *Laguncularia*; Hib = *Hibiscus*; Sp = *Spartina*;
 Cr = *Crinum*; Ac = *Acrostichum*

Figura 9: Perfil esquemático da vegetação do manguezal de Itanhaém (modificado de Lamberti, 1969).

2.5.2. Vegetação de restinga

A vegetação de restinga desenvolve-se em planícies arenosas. Este tipo de mata é caracterizado por grande variedade de palmeiras, cipós, orquídeas e bromélias que crescem sobre o tronco ou ramos das árvores maiores (Branco, 1984). A mata de restinga na região de estudo é parte integrante da mata Atlântica, porém as árvores são de menor porte e há menor diversidade de espécies. O termo restinga é utilizado neste trabalho para designar o tipo de vegetação que ocorre ao longo da planície costeira de Itanhaém, o qual é caracterizado por mata mais aberta, e que transiciona para mata de encosta da serra do mar, mata mais fechada.

A mata de restinga apresenta biodiversidade alta, podendo ser citados os gêneros: *Anacardium*, *Tapirira* (Anacardiaceae); *Cecropia* (Cecropiaceae), *Maytenus*,

Smilax (Rubiaceae); *Clusia* (Clusiaceae); *Ficus* (Moraceae); *Byrsonima* (Malpighiaceae); *Psidium*, *Melanopsidium* (Myrtaceae); *Jacaranda*, *Pyrostegia* (Bignoniaceae), *Myrsine* (Myrsinaceae), *Erythroxylum* (Erythroxylaceae); *Tibouchina* (Melastomataceae); *Inga*, *Cassia* (Mimosaceae); *Passiflora* (Passifloraceae); *Hippocratea* (Hippocrateaceae); entre outros.

2.5.3. Floresta tropical (mata atlântica)

Próximo a serra do mar, desenvolve-se a mata atlântica. Segundo Watanabe (1997), a mata atlântica ou floresta atlântica é definida como uma mata perenifólia de encosta montanhosa, ocupando as escarpas voltadas para o mar. O relevo serve de anteparo aos ventos do Atlântico, originando chuvas freqüentes, que contribuem para a manutenção da alta umidade nesta floresta. A mata atlântica é considerada uma das florestas mais diversificadas do mundo e distribui-se desde Natal (RN) até o município de Torres (RS).

Behling *et al.* (1997) descreveram a chuva polínica moderna da Mata Atlântica na reserva de Volta Velha, Estado de Santa Catarina. Os autores estudaram áreas de mata nativa e locais com floresta secundária. Nesta região, a floresta Atlântica nativa compreende 248 espécies agrupadas em 50 famílias. Nos registros polínicos, as famílias com maiores freqüências foram: Euphorbiaceae, Anacardiaceae, Myrtaceae, Arecaceae e Melastomataceae.

Em trabalho recente, Garcia (2003) fez o levantamento botânico do Parque Estadual da Serra do Mar no Núcleo Curucutu. O Núcleo Curucutu fica na divisa entre os municípios de São Paulo e de Itanhaém e engloba áreas com vegetação de mata Atlântica, campos de altitude e áreas antropizadas. Neste levantamento puderam ser registradas 521 espécies de plantas vasculares, divididas em 98 famílias: 13 famílias de pteridófitas (com 25 gêneros), 2 de gimnospermas (com 2 gêneros) e 83 de angiospermas (com 247 gêneros).

Dentro do conjunto de vegetação descrito no parque do Curucutu, 71,59% da flora total ocorre nos domínios de floresta. Garcia (2003) identificou, nos domínios de mata, 373 espécies pertencentes a 215 gêneros e a 88 famílias. As famílias com maior riqueza em número de espécies são apresentadas na Tabela 2 e representam 58,4% da flora florestal.

Tabela 2: Famílias com maior riqueza nos domínios de mata do Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Curucutu (Garcia, 2003)

Família	Número de gêneros	Número de espécies
Orchidaceae	24	34
Asteraceae	15	33
Rubiaceae	16	27
Myrtaceae	9	26
Melastomataceae	7	24
Gramineae	12	22
Bromeliaceae	6	12
Lauraceae	3	9
Cyperaceae	5	7
Hymenophyllaceae	2	6
Leguminosae	3	6
Malpighiaceae	4	6
Piperaceae	1	6

Entre os gêneros com maior riqueza de espécies estão: *Mikania* (Compositae), *Leandra* (Melastomataceae), *Vriesea* (Bromeliaceae), *Paspalum* (Gramineae), *Baccharis* (Compositae), *Ocotea* (Lauraceae), *Panicum* (Gramineae), *Psychotria* (Rubiaceae), *Miconia* (Melastomataceae), *Eugenia* (Myrtaceae), *Piper* (Piperaceae), *Tibouchina* (Melastomataceae), *Xyris* (Xyridaceae), *Myrcia* (Myrtaceae) e *Habenaria* (Orchidaceae).

O trabalho de Garcia (2003) foi fundamental para a presente pesquisa, pois forneceu subsídios para as interpretações do registro polínico. Este trabalho possibilitou a correlação dos dados palinológicos com a flora atual da mata atlântica a poucos quilômetros da área de manguezal.

2.5.4. Vegetação secundária (impacto humano na vegetação)

O rio Itanhaém e seus afluentes apresentam diversos pontos de extração de areia do leito do rio, denominados portos de areia (fotos 3 e 4).

O estabelecimento de portos de areia constitui um fator extremamente prejudicial ao ecossistema fluvial, por acarretar profundas alterações nas características hidrológicas e morfológicas dos rios, provocando zonas de intenso assoreamento do

leito e mudança das condições de sedimentação. Essas alterações podem induzir danos à preservação da vida bentônica, essencial à manutenção da fauna, e na vegetação nativa que rodeia as margens, promovendo a instalação de vegetação secundária, como *Hibiscus* (Malveceae), Poaceae, entre outros.

Foto 1: vista geral do Rio Montevideo, afluente da margem esquerda do braço morto do Rio Branco, onde pode-se observar a mata de restinga, ainda bastante preservada.

Foto 2: vista geral do manguezal próximo à foz do Rio Itanhaém.

Foto 3 (a e b): vistas do porto de areia situado na margem direita do braço morto do Rio Branco.

Foto 4: vista do porto de areia situado na margem esquerda do braço morto do Rio Branco.

Capítulo III - Material e métodos

3.1. Amostragem

3.1.1. Coleta de chuva polínica moderna

Informações de chuva polínica moderna em áreas com vegetações diferentes são essenciais para interpretar mudanças na flora pretérita e realizar reconstruções paleoecológicas (Anupama *et al.*, 2000). Desta maneira, a amostragem da chuva polínica foi realizada em uma transecta que passou pelos diferentes tipos de vegetação presentes ao longo do rio Itanhaém (mangue, restinga, floresta Atlântica e áreas degradadas)

O material coletado para o estudo de chuva polínica moderna compreende amostras de sedimentos superficiais da interface água/sedimento e amostras de solo (no caso da floresta tropical). Pequenas quantidades de solo e/ou sedimentos foram coletadas ao acaso, em uma área de aproximadamente 100 km². A coleta de material ao acaso em área significativa é feita para que não exista a super-representação de determinados *taxa*, ou seja, para evitar tendenciosidade. Antes da preparação química para a extração dos palinomorfos, as amostras foram homogeneizadas. A descrição desta metodologia pode ser encontrada, por exemplo, em Colinvaux *et al.* (1999).

Além das amostras de sedimentos superficiais, coletou-se a água armazenada nas bromélias, as quais são coletores naturais de chuva polínica. Quando possível, as amostras de sedimentos e de água armazenada nas bromélias foram coletadas no mesmo ponto, visando obtenção de resultados comparativos.

É importante lembrar que os resultados de chuva polínica moderna de amostras de solo e de coletores naturais (bromélias) irão apresentar espectros polínicos diferentes. Os resultados obtidos a partir da água armazenada nas bromélias estão sujeitos à super-representação de pólenes provenientes de árvores que crescem próximas a estas bromélias. Amostras de solo, por sua vez, além de apresentarem tendência em acumular grãos de pólenes das plantas que crescem próximas à área amostrada, estão sujeitas à oxidação dos grãos de pólenes (solos aeróbicos) e destruição dos mesmos por bioturbação (formigas, aracnídeos, fungos e bactérias). Com isto, há empobrecimento relativo em grãos menores e mais frágeis e um conseqüente enriquecimento em grãos de pólenes mais resistente e esporos de

pteridófitas e fungos (Colinvaux *et al.*, 1999)

Foram coletas 11 amostras para o estudo de chuva polínica moderna. A localização precisa de cada ponto de coleta foi obtida por meio de aparelho GPS e lançada em mapa (ver mapa 1). As coordenadas geográficas de cada ponto de coleta e o tipo de material amostrado é apresentada abaixo.

Tabela 3: Pontos de coleta de chuva polínica moderna (localização e descrição do tipo de material coletado)

Ponto de coleta	Coordenadas	Tipo de amostra, tipo de vegetação
Ponto 0	24°08'43,05"S; 46°47'08,06"W	Sítio do Professor Samuel Murgel Branco, porto de saída de barco para a coleta das amostras
Ponto 1	24°08'58,8"S; 46°47'27,7"W	amostra de água armazenada em bromélia, mata de restinga
Ponto 2	24°08'44,4"S; 46°47'13,2"W	amostra da interface água/sedimento, antigo porto de areia
Ponto 3 e 3a	24°08'23,04"S; 46°47'37,01"W	Rio Montividiu, coleta de amostra da interface água/sedimento (3) e água armazenada em bromélia (3a), mata de restinga.
Ponto 4	24°07'19,03"S; 46°47'37,5"W	Rio Branco, coleta de amostra da interface água/sedimento, ponto próximo a transição restinga/Mata Atlântica
Ponto 5 e 5a	24°07'46,9"S; 46°47'42,8"W	Rio Branco, amostra da interface água/sedimento (5) e água armazenada em bromélia (5a), mata de restinga
Ponto 6	24°10'51,6"S; 46°47'48,8"W	amostra da interface água/sedimento, manguezal
Ponto 7	24°11'19,3"S; 46°47'52,5"W	amostra da interface água/sedimento, manguezal, próximo a transição manguezal/vegetação costeira, área de grande influência antrópica.
Ponto 8	24°03'22,7"S; 46°47'52,5"W	amostra de solo, Mata Atlântica de encosta da Serra do Mar
Ponto 9	24°04'39,6"S, 46°48'26,8"W	amostra de solo, Mata Atlântica de encosta da Serra do Mar

3.1.2. Testemunhagem

A escolha do local a ser testemunhado baseou-se na observação do grau de bioturbação do substrato e distância em relação ao canal do rio Itanhaém e a canais de maré. Estes critérios foram escolhidos para tentar evitar ao máximo os problemas de mistura do material. O problema reside no fato que o manguezal do rio Itanhaém é pouco extenso e ocupa uma porção fortemente meandrante do rio. Devido a estas características, torna-se difícil encontrar um local muito distante do rio e dos canais de maré.

Outra dificuldade encontrada foi a entrada no manguezal com o equipamento para a amostragem. Portanto, o local escolhido (mapa da Figura 8) foi adequado para a amostragem, já que não havia bioturbação intensa e a distância ao rio, apesar de não ser grande (algumas dezenas de metros), foi suficiente.

Por meio de amostragem manual, foi possível recuperar um testemunho de 135 cm de profundidade. Após a abertura do testemunho, foi realizada sua descrição, com o auxílio de uma fita métrica para anotar a profundidade das mudanças. Foram descritos os seguintes aspectos:

- Cor
- Granulação e estrutura dos sedimentos
- Presença de raízes e outros fragmentos vegetais

Durante a descrição do testemunho tomou-se o cuidado de tentar identificar possíveis sinais de bioturbação nos sedimentos.

A amostragem foi feita em intervalos de 2 cm ao, longo de todo o testemunho. Porém, a análise palinológica foi feita a cada 4 cm. Foram selecionados quatro níveis, de acordo com mudanças no tipo de sedimento, para datações ^{14}C .

As amostras foram mantidas em geladeira até a fase de tratamento químico para evitar a proliferação de fungos e bactérias nos sedimentos. As alíquotas que não foram analisadas permanecem armazenadas em geladeira do Laboratório de Paleontologia do Departamento de Geologia e Recursos Naturais do Instituto de Geociências da UNICAMP.

3.2. Tratamento das Amostras

As amostras foram processadas segundo o método clássico descrito por Faegri & Iversen (1989) para sedimentos do Quaternário. O processamento das amostras compreendeu as seguintes etapas:

- 1) Dissolução de silicatos por HF (70%);
- 2) Remoção de colóides de sílica com HCl diluído (a quente);
- 3) Destruição de ácidos húmicos por solução de KOH 10% (ou NaOH);
- 4) Centrifugação e lavagem dos resíduos com água destilada;
- 5) Montagem de lâmina, com uma pequena fração do resíduo, para observação em microscópio biológico.

O tratamento químico das amostras foi realizado no Laboratório de Paleontologia do Departamento de Geologia e Recursos Naturais do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Este laboratório é coordenado pela Profa. Dra. Fresia Ricardi-Branco.

O procedimento adotado, desde o tratamento químico até a montagem das lâminas, apresenta-se descrito detalhadamente a seguir.

3.2.1. Tratamento químico das amostras

1. Pesagem das amostras.

Adotou-se um peso inicial de aproximadamente 5,0 g de amostra para a realização do tratamento químico. A escolha deste peso ocorreu devido ao desconhecimento da quantidade de amostra necessária para que o resíduo final tivesse material suficiente para ser analisado. Em amostras de turfeira, por exemplo, 1,0 g já é suficiente. As amostras foram colocadas na estufa (~60°C) por aproximadamente 3 horas.

2. Dissolução de silicatos por Ácido Fluorídrico (HF):

As amostras foram colocadas em recipiente com HF 70% em quantidade de ácido suficiente para cobri-las. Foram utilizados tubos de polipropileno. Todo o material de laboratório utilizado nesta etapa deve ser de plástico. As amostras permaneceram no

ácido por no mínimo 18 horas. Para a retirada do HF, centrifugou-se as amostras por 8 minutos na velocidade de 3000 rpm. Após a centrifugação, o HF foi descartado, tomando-se cuidado para não perder amostra durante a retirada do ácido.

3. Remoção de colóides de sílica com HCl (a quente).

Após a retirada do HF, foi adicionado HCl 50%. As amostras imersas em HCl foram deixadas em banho maria por 10 minutos. Nesta etapa, é importante mexer as amostras ocasionalmente para misturar o ácido à amostra e aumentar a eficiência da reação. Para a retirada do HCl, centrifugou-se as amostras por 8 minutos a 3000 rpm. O ácido foi descartado e adicionou-se novamente HCl ao material depositado no fundo do tubo, sendo este novamente colocado em banho maria. Esse processo (banho maria (10 min.) + centrifuga (8 min. a 3000 rpm)) foi repetido até o ácido sair incolor. Após a retirada do HCl, as amostras foram lavadas 2 vezes com água destilada.

4. Destruição de ácidos húmicos por solução de 10% de KOH

Para a retirada dos ácidos húmicos, utilizou-se KOH 10%. O ataque com KOH é análogo ao realizado com HCl (10 minutos em banho maria e centrifugação por 8 minutos). O procedimento foi repetido até que KOH saísse incolor. Posteriormente, as amostras foram lavadas 2 vezes com água destilada e colocadas em tubos menores (tubos 15 ml) para serem centrifugadas mais 3 vezes com água destilada

5. Separação dos palinomorfs por densidade

Após a lavagem do resíduo com água destilada, foi adicionado cloreto de zinco (ZnCl_2 - densidade = $2,00 \text{ g/cm}^3$) às amostras. A quantidade de ZnCl_2 foi mais ou menos igual à quantidade de amostra (quando necessário, o peso dos tubos foi igualado através da adição de mais líquido denso). O ZnCl_2 deve ser muito bem misturado à amostra.

As amostras com ZnCl_2 foram centrifugadas por 5 minutos à velocidade de 1000 rpm. Após a centrifugação, passou-se o sobrenadante para outro tubo de vidro e o precipitado foi descartado. Ao sobrenadante juntou-se HCl (25%) para abaixar a densidade e precipitar o material de interesse. Estas amostras foram centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos. Ao final deste processo, o ácido é descartado e o material precipitado lavado 3 vezes com água destilada.

Após o tratamento químico, as amostras foram deixadas em repouso por

aproximadamente 30 minutos, em uma solução de glicerina 10% para a re-hidratação dos pólen e esporos. Essa solução foi retirada com a centrifugação das amostras.

Ao resíduo final foi adicionado, em média, 5 gotas de glicerina (a quantidade de glicerina adicionada em cada amostra depende do volume final de amostra obtida após o tratamento químico. Quanto menor a quantidade de amostra, menor é a quantidade de glicerina adicionada).

6. Volume do resíduo final

O volume de resíduo de cada amostra foi medido com auxílio de micropipetas (200µl, 100µl e 50µl). Essa medida foi feita para posteriormente serem realizados os cálculos de número de grãos de pólen/massa de sedimento.

3.2.2. Montagem das lâminas

Inicialmente, foram desenhadas 2 linhas horizontais na lâmina com um pouco de cola. Estas linhas de cola serviram para apoiar a lamínula. Após a secagem da cola, outras duas linhas de cola foram feitas. Estas linhas serviram para colagem da lamínula na lâmina.

Em seguida, adicionou-se 50 microlitros de amostra no centro da lâmina e colocou-se a lamínula por cima, de modo a não proporcionar a formação de bolhas de ar entre a lâmina e a lamínula.

Fechou-se os lados de cima e de baixo com cola e foi anotado o número da amostra na lâmina.

Lâminas feitas desta maneira possibilitam a observação das vistas polar e equatorial de um mesmo grão. Para isto, basta mexer cuidadosamente, com um *clips* aberto, na superfície da lamínula durante a observação ao microscópico. Isto fará o grão de pólen girar e permitirá a observação das duas vistas do grão (polar e equatorial).

3.3. Identificação e contagem dos grãos

A identificação e contagem dos grão de pólen foram efetuadas em microscópio biológico no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Todas as lâminas foram observadas inteiramente sob aumento de 100 X (imersão em óleo). Em cada amostra, foram contados em média 250 a 300 grãos de *taxa* de árvores e herbáceas. Para as determinações dos tipos polínicos utilizou-se a coleção de referência da Profa. Dra. Marie Pierre Ledru, além de consultas a diversos atlas polínicos (Absy, 1975; Markgraf & D'Antoni, 1978; Thanikaimoni, 1987; Roubik & Moreno, 1991; Colinvaux *et al.*, 1999).

As determinações foram feitas no nível de família e gênero. *Taxa* problemáticos foram desenhados e fotografados para posterior comparação com exemplares de atlas e lâminas de referência. Durante as determinações observou-se a dificuldade de separação entre alguns gêneros e, por vezes, entre famílias.

Famílias como Asteraceae, Cyperaceae e Poaceae, por exemplo, dificilmente são separadas em gêneros. Isto acontece devido à semelhança morfológica entre os grãos destas famílias. Para a separação dos mesmos em gêneros, seria necessário uma coleção de referência específica. Em trabalhos de arqueologia, por exemplo, onde o objetivo das pesquisas pode ser a identificação de fases de colonização pelo homem pré-histórico, através da observação do aumento ou decréscimo de plantas cultivadas, tais como milho (*Zea*) e trigo (*Triticum*), ambos pertencentes à família Poaceae, a separação entre diferentes gêneros de Poaceae é importante. Como o objetivo desta pesquisa não foi este, a determinação da família da planta de origem já foi suficiente.

Em outros casos, a fragilidade da exina de alguns tipos de grãos e sua má conservação no registro palinológico, também dificultam as determinações. Muitas plantas aquáticas não puderam ser identificadas. Estas plantas foram agrupadas pelas principais feições morfológicas, com por exemplo, “grão monossulcado, microrreticulado com exina fina”, etc.

Neste trabalho optou-se por não separar as famílias Meliaceae/Sapotaceae e Melastomataceae/Combretaceae devido à similaridade dos grãos. Alguns autores conseguiram individualizar estas famílias e, por vezes, separaram-nas em gêneros. Behling *et al.* (2001) separou o gênero *Laguncularia* no registro polínico do manguezal da península Bragança, Pará. A separação de Melastomataceae e Combretaceae seria bastante importante na presente pesquisa, tendo em vista que um dos *taxa* índices de manguezal pertence à família Combretaceae (gênero *Laguncularia*). Todavia, na área de estudo, dentro da mata Atlântica e restinga, existe uma imensa diversidade em espécies de Melastomataceae (ver Tabela 2 com os dados do Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Curucutu), que pode fornecer grande contribuição de pólen ao registro polínico do manguezal. Por isto, a separação destas famílias tornou-se bastante delicada. A identificação pouco precisa destas famílias poderia conduzir a interpretações errôneas ao final do estudo. A coleção de referência utilizada não foi suficiente para a separação segura destas famílias. Somente com o auxílio dos atlas polínicos não foi possível conferir estas determinações. Para a família Melastomatacea, conseguiu-se individualizar somente o gênero *Miconia*, devido ao seu tamanho bastante reduzido (15X8µm). Os demais grãos desta família encontrados nas lâminas tinham tamanhos intermediários semelhantes (20µm), o que dificultou ainda mais na separação destes.

3.4. Construção dos diagramas polínicos

Os diagramas palinológicos devem sintetizar os resultados da pesquisa da forma mais clara possível, de modo a permitir ao leitor visualizar as variações quantitativas e qualitativas dos dados obtidos (Faegri & Iversen, 1989).

Dois tipos de diagramas foram utilizados para apresentar os resultados obtidos pela análise palinológica: diagramas de porcentagens individuais de cada *taxon* e diagramas de agrupamento ecológico.

No primeiro caso, foram plotados os tipos mais representativos e os *taxa* de importância ecológica para a determinação dos diferentes ecossistemas. Os resultados foram expressos em porcentagens de cada *taxon* em relação à soma total de grãos de pólen. Nesta soma foram incluídos os tipos polínicos de árvores, herbáceas e grãos indeterminados, sendo excluídos os pólenes de plantas aquáticas e os esporos.

Os esporos e os grãos de plantas aquáticas são excluídos da soma total nos

diagramas palinológicos, pois estes tem grande produção e significado local. Por exemplo, em um testemunho feito em sedimentos de lagoas é de se supor que os primeiros grãos de pólen depositados sejam os de plantas aquáticas que vivem na beira das lagoas. Algumas vezes, estes grãos são tão numerosos que não permitem a análise detalhada dos demais tipos polínicos, mascarando os resultados e não permitindo interpretações paleoambientais. Os esporos de pteridófitas também podem ser bastante numerosos no registro. Os esporos são normalmente mais resistentes à deteriorização quando o material fica exposto na superfície deposicional. Assim, há um enriquecimento residual destes grãos no registro devido à perda de tipos polínicos mais frágeis.

Nos diagramas por agrupamento ecológico foram representados os grupos de *taxa* índices de cada habitat (manguezal, restinga, etc.). A escolha destes *taxa* baseou-se nos resultados obtidos no estudo da chuva polínica moderna, nos dados do levantamento florístico realizado por Lamberti (1969) para o manguezal de Itanhaém e nos dados obtidos por Garcia (2003), para o domínio florestal da mata atlântica no Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Curucutu.

3.5. Cálculos de concentração (grãos / grama de sedimento)

Foram elaborados diagramas de concentração de grãos de pólen por grama de sedimento. Para o cálculo da concentração dos grãos foi utilizado o método descrito por Cour (1974). Este método baseia-se na seguinte equação matemática:

$$f (\%) = (v / V) * (l / L) * 100$$

v = volume de resíduo utilizado na confecção da lâmina palinológica;

V = volume total de resíduo após o tratamento químico;

l = largura total observada na lâmina durante a contagem dos grãos (dada pelo número de linhas observado X tamanho do campo da objetiva utilizada);

L = largura média utilizada em cada lâmina, definida pelas linhas longitudinais de contado entre o resíduo e a linha de cola traçada na lâmina.

A partir deste cálculo obtém-se a porcentagem de resíduo realmente observado em cada amostra. Este é um dado importante em análises palinológicas pois este parâmetro permite conhecer o grau de representabilidade da análise. Uma análise dificilmente é considerada significativa se a fração do resíduo realmente submetida a observação não tiver ao menos 0,1% do volume da amostra (Cour, 1974).

Calculada a fração observada de cada resíduo (f%), pode-se calcular a concentração de grãos de pólen por grama de sedimento. Este cálculo é feito a partir da equação:

$$r = (n \cdot 100 / f) / m$$

n = soma total de grãos de pólen contados em uma lâmina;

f = fração observada do resíduo;

m = peso inicial utilizado no tratamento químico da amostra

Com os resultados obtidos a partir destes cálculos, elaborou-se um gráfico de concentração para observar as mudanças ocorridas ao longo do perfil testemunhado.

Capítulo IV - Resultados

4.1. Chuva polínica moderna

Das onze amostras coletadas para o estudo da chuva polínica moderna, somente nove amostras foram analisadas (ver Figura 8 com a localização das amostras). A amostra referente ao ponto de coleta 1, amostra de água armazenada em bromélia, foi acidentalmente descartada durante o tratamento químico. A amostra do ponto 2, antigo porto de areia, mostrou-se pobre em palinomorfos. Além disto, os grãos de pólen presentes na lâmina apresentavam-se fragmentados, dificultando a identificação. Devido a este fato, a amostra do ponto 2 foi excluída das análises da chuva polínica moderna.

4.1.1. *Elaboração e descrição do diagrama*

A Figura 10 apresenta o diagrama elaborado a partir dos resultados obtidos pela análise de chuva polínica moderna nos principais tipos de vegetação presentes ao longo da planície costeira de Itanhaém. Neste diagrama foram plotados os taxa mais representativos e os taxa índices de cada tipo de vegetação. Os dados foram expressos em porcentagens relativas à soma total de grãos de pólen. Esta soma compreendeu grãos de pólen de plantas arbóreas (AP), herbáceas (NAP) e pólen indeterminados, sendo excluídos os taxa de plantas aquáticas e os grãos de esporos. A frequência relativa dos esporos e dos taxa de plantas aquáticas também foram calculadas com base na soma total de grãos de pólen.

Tipos polínicos com presença inferior a 1% foram representados no diagrama pelo sinal +. Os resultados derivados da amostra coletada na superfície do testemunho (It-01) também foram representados neste diagrama, pois equivale ao registro da chuva polínica moderna no local da testemunhagem. A observação dos resultados nos permitiu individualizar *taxa* indicadores de cada tipo de vegetação.

Figura 10: Dados de chuva polínica. Diagrama de porcentagem dos *taxa* mais representativos.

Pólen de *Rhizophora* e *Avicennia* foram registrados apenas nas amostras coletadas dentro do manguezal. Em relação a estes dois tipos polínicos, constatou-se que os pólen de *Rhizophora* são mais numerosos (2 a 1%) que os de *Avicennia* (0,4%). Isto foi observado em todos os locais amostrados. A diferença entre as frequências de ocorrência destes dois taxa está relacionada às estratégias de polinização destes dois gêneros de plantas e foi observada na maioria dos trabalhos de palinologia que estudaram registros polínicos de manguezais (ver Capítulo 1- Chuva polínica moderna em bosques de mangues).

A chuva polínica das amostras coletadas nos pontos 3, 4 e 5 (restinga), quando comparada aos demais pontos analisados, apresentou altas frequências de *Alchornea* (8 a 2%), *Cecropia* (4 a 3%), Myrtaceae (18 a 10%), *Rapanea* (4 a 1%), Asteraceae tubuliflorae (8 a 3%) e Amarantaceae/Chenopodiaceae (2 a 0,3%). Estes taxa caracterizam a vegetação de restinga nesta região.

A alta porcentagem de grãos de *Piper* no ponto 9 (21%) parece caracterizar a transição entre a mata de restinga, mais aberta, e a mata de encosta, mais densa. A presença de altas frequências de grãos de *Piper* em áreas de mudança de vegetação também foi observada por Behling & Costa (1997) no registro do Lago Aquiri (Maranhão).

A porcentagem de esporos nas amostras de chuva polínica foi substancialmente maior no ponto 8 (63%). Este valor é mais do que 20% superior aos valores observados nos demais pontos, onde a frequência de esporos varia de 7% a 32%. Antes de se interpretar este aumento de esporos em termos do tipo de vegetação, deve-se levar em conta as características das amostras coletadas para este estudo. Como já foi dito anteriormente, em amostras de solo pode acontecer oxidação e degradação de tipos polínicos mais frágeis, resultando em aumento relativo dos tipos mais resistentes, tais como os esporos. Porém, as observações de campo mostraram grande quantidade de pteridófitas em áreas mais úmidas da mata atlântica. Desta forma, pode-se dizer que áreas mais úmidas da mata atlântica são caracterizadas por altas frequências de esporos.

As amostras de sedimentos (3 e 5) e de água armazenada nas bromélias (3a e 5a) coletadas no mesmo ponto apresentaram resultados interessantes. Alguns taxa apresentaram frequências semelhantes em amostras de sedimento e de água das bromélias. Dentre estes, podem ser citados: *Cecropia* (3% nas amostras 3/3a e 3% nas amostras 5/5a), *Podocarpus* (1% nas amostras 3/3a e 1% nas amostras 5/5a) e

Weinmannia (1% nas amostras 3/3a e 0% nas amostras 5/5a). Entre os *taxa* que apresentaram maiores porcentagens nas amostras de água armazenada em bromélias estão: *Alchornea* (7% na amostra 3a e 3% na amostra 3; 8% na amostra 5a e 2% na amostra 5), *Rapanea* (4% na amostra 3a e 1% na amostra 3; 4% na amostra 5a e 1% na amostra 5) e *Arrabidaea* (2% na amostra 3a e 1% na amostra 3; 2% na amostra 5a e 1% na amostra 5). Plantas aquáticas apresentaram maiores concentrações nas amostras da interface água sedimento (6% na amostra 3 e 2% na amostra 3a; 14 na amostra 5 e 4% na amostra 5a).

4.1.2. Significado dos resultados de chuva polínica moderna

A frequência de ocorrência dos pólenes de Melastomataceae e Combretaceae evidenciou que é realmente necessário certo cuidado ao fazer as determinações destas duas famílias, principalmente em estudos de registros polínicos de manguezais sujeitos à forte influência da chuva polínica da mata Atlântica, como é o caso da maioria dos manguezais da região sudeste e sul do Brasil. As porcentagens mais elevadas foram encontradas nas áreas de mata Atlântica (10%), onde a diversidade de plantas da família Melastomataceae é elevada, e no manguezal (6%). Será que as altas frequências encontradas no manguezal não seriam devido à presença de *Laguncularia* (Combretaceae), que é um gênero típico de mangue? Esta é uma questão extremamente importante e para respondê-la seria necessário a realização de um maior número de lâminas de referência destas duas famílias, a fim de determinar com segurança as diferenças morfológicas entre os seus grãos de pólenes.

A separação entre as assinaturas polínicas da mata de restinga e da mata Atlântica da encosta da Serra do Mar não é muito clara. Isto porque a mata de restinga tem basicamente as mesmas famílias de plantas que a mata de encosta. Porém esta última é mais diversificada em espécies e representa uma mata mais fechada, com árvores de maior porte. Para uma melhor distinção (caracterização) destes dois tipos de vegetação através do registro polínico, seria necessário a coleta de mais amostras ao longo da serra do mar afim de caracterizar melhor a mata de encosta, além da realização de um estudo fitossociológico, tanto na mata de restinga quanto na mata de encosta. Porém, sabe-se que algumas árvores só são encontradas na mata de encosta, em áreas de maior altitude, como por exemplo é o caso do *Podocarpus* e *Weinmannia*. Estes *taxa* podem ser considerados como *taxa* índices da mata atlântica de encosta e

variações na sua frequência deve indicar mudanças dentro da mata atlântica de encosta.

A utilização de bromélias como coletores naturais de chuva polínica moderna parece ser uma boa alternativa nas regiões de mata tropical, onde estas plantas são facilmente encontradas. Porém, o ideal é que sejam realizados os dois tipos de amostragem para a comparação dos resultados.

De forma geral, o resultado mais importante constatado no estudo da chuva polínica moderna foi a influência exercida pela taxa de mata dentro do ambiente do manguezal. O sinal deixado pela vegetação do manguezal no registro polínico é mascarado pela intensa quantidade de tipos polínicos alóctones. Uma das hipóteses para este fato é a grande quantidade de grãos de pólen transportados pelos rios que passam pela mata atlântica de encosta e drenam a planície costeira. Outro fator importante é a pequena distância entre a área de manguezal e a mata atlântica da encosta da serra do mar. No caso de Itanhaém, a planície costeira não tem mais do que 15 km de largura. Logo, árvores e herbáceas presentes na mata de restinga ou nas encostas da serra do mar, cuja a polinização é realizada pelo vento, são facilmente registradas na área do manguezal. No entanto, o registro polínico da mata Atlântica pode ser estudado em sedimentos do manguezal, dado que este constitui zona preferencial para a deposição de pólen, devido à baixa energia das condições de sedimentação e substrato anóxico que possibilita a boa preservação dos grãos.

A assinatura polínica do manguezal de Itanhaém tem maior influência de pólen de origem regional do que daqueles de origem local. Isto é diferente do que se observa nos registros polínicos dos manguezais das regiões norte e nordeste, onde os taxa índice de mangue representam até 90% do espectro polínico (ver Capítulo I).

A partir dos resultados obtidos, através da análise da chuva polínica moderna, na região da planície costeira de Itanhaém, modificou-se o modelo apresentado por Grindrod (1988) para adaptá-lo às condições da área de estudo. Neste modelo são apresentados os diferentes componentes que podem ser registrados da chuva polínica em determinado local. Este modelo ilustra bem as conclusões aqui obtidas e pode ser observado na Figura 11. Os componentes presentes na chuva polínica do manguezal de Itanhaém são:

1. pólen de origem local, caracterizados pelos grãos de pólen de *Rhizophora* e *Avicennia*;
2. pólen de origem regional (alóctones) derivados de plantas presentes na mata

de restinga e mata atlântica das encostas da serra do mar, como por exemplo *Alchornea*, *Arrabidea*, *Cecropia*, *Ilex*, *Myrtaceae*, *Rapanea*, *Podocarpus* e *Weinmannia*;

3. pólen extra locais caracterizados por pólen proveniente de plantas da área de transição entre o manguezal e a restinga (por exemplo *Poaceae*);

4. pólen de longa distância, caracterizados pelo registro de grãos de pólen de *Alnus*.

Figura 11: Modelo de dispersão da chuva polínica ao longo da planície costeira do rio Itanhaém. A distância entre o manguezal e a mata atlântica da encosta da serra do mar é de aproximadamente 15 km (modificado de Grindrod, 1988).

4.2. Análise do testemunho

4.2.1. Descrição do testemunho

O testemunho foi descrito através da observação das mudanças de cor, granulação, estruturas sedimentares (sindeposicionais e penecontemporâneas) e presença de raízes e outros fragmentos vegetais. A variação sedimentológica do testemunho pode ser observada na Figura 12.

Figura 12: Seção colunar elaborada a partir do testemunho coletado no manguezal de Itanhaém.

A porção inferior do testemunho é composta por areia fina, com laminação plano paralela. A quantidade de areia diminui rumo ao topo do testemunho, o qual é formado por sedimentos pelíticos, ricos em matéria orgânica. Não foi observado bioturbação (tubos, pistas, etc) nos sedimentos do testemunho.

4.2.3. Significado das fácies sedimentares observadas no testemunho

Pelo menos três hipóteses podem ser levantadas para explicar a diferença sedimentológica entre a base e o topo do testemunho.

Na primeira hipótese, a base do testemunho, caracterizada por sedimentos arenosos (areia fina laminada), poderia representar fácies de submaré. Nesta hipótese, a parte superior do testemunho, constituída por sedimentos pelíticos ricos em matéria orgânica, seria uma fácies de intermaré lamoso. A passagem gradual entre estas duas fácies indica que estas estão geneticamente relacionadas. Neste caso, o empilhamento observado no testemunho seria progradacional.

A segunda hipótese é interpretar a fácies arenosa da base do testemunho como um depósito de intermaré arenoso. Nesta hipótese a sucessão observada representaria a passagem de um intermaré arenoso para um intermaré lamoso. Esta mudança nas condições de sedimentação do intermaré poderia ter sido provocada pelo fechamento parcial da desembocadura do estuário, gerado pela progradação da planície costeira. Isto teria produzido um estuário mais restrito, onde predominaria sedimentação pelítica na zona de intermaré.

A terceira hipótese é a que a fácies arenosas represente um depósito de leque de rompimento de dique marginal do canal do rio Itanhaém. Nesta hipótese a fácies de intermaré lamoso deveria recorrer abaixo da camada arenosa.

Para ilustrar melhor estas três hipóteses, foi elaborado o bloco diagrama apresentado na Figura 13. Nesta figura são indicadas as possíveis posições em que o testemunho estaria localizado, o número 1 seria referente à primeira hipótese apresentada, numero 2 à segunda e número 3 à terceira hipótese.

Figura 13: Bloco diagrama com as possíveis posições do testemunho coletado no manguezal de Itanhaém.

4.2.4. Datações

Foram retirados quatro níveis, com aproximadamente 5 cm de espessura, para datação pelo método ^{14}C . As amostras foram inicialmente enviadas ao Laboratório da Universidade de Paris VI, sob responsabilidade do Prof. Dr. J. F. Saliège, para serem datadas pelo método clássico da cintilação líquida. Por se tratarem de amostras com muita matéria orgânica, este método poderia ser utilizado sem problemas. Porém, o teor de matéria orgânica de algumas amostras era menor do que o suposto, de modo que não havia uma quantidade mínima de carbono necessária para serem datadas pelo método da cintilação líquida. Com isso, as amostras foram enviadas para o Laboratório Beta, nos Estados Unidos, para serem datadas pelo método AMS (Accelerator Mass Spectrometry). Os dados apresentados na Tabela 4 indicam que o intervalo de sedimentos testemunhado foi depositado nos últimos 1250 ± 50 anos AP.

Tabela 4: Idades ^{14}C obtidas para as amostras do testemunho It-01.

Amostra (nº do laboratório)	Prof (cm)	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	Idade ^{14}C anos AP
Beta – 177002 (AMS)	10 – 15	-28,4 ‰	Moderno
PaBO 29 (cintilação líquida)	37 – 42	-31,72 ‰	590±130
Beta – 177003 (AMS)	70 – 75	-28,4 ‰	450±40
Beta – 177004 (AMS)	120 - 125	-28,4 ‰	1250±50

Os resultados obtidos pelas datações ^{14}C demonstraram uma possível inversão de idades entre os intervalos de profundidade de 37 a 42 cm (590±130) e 70 a 75 cm (450±40). Porém, se considerarmos a precisão envolvida em cada datação, pode-se notar que há sobreposição das idades. Por se tratar de um ambiente de manguezal, deve-se considerar a possibilidade destes sedimentos estarem bioturbados, causando inversões nas idades. Todavia, os métodos de datação utilizados para a obtenção destas idades não foram os mesmos. O método AMS é mais preciso que o da cintilação líquida. Logo, esta inversão pode ter sido causada somente pela utilização de métodos distintos para a obtenção das idades.

Para se certificar da existência ou não de inversão de idades seria necessário a realização de um maior número de datações ao longo do perfil. Durante a descrição dos sedimentos do testemunho não foram notadas estruturas de bioturbação. Assim, adotou-se uma idade média para este intervalo e considerou-se que esta inversão é aparente e resulta da diferença de precisão dos métodos de datação utilizados e não devido à bioturbação.

4.2.5. *Elaboração e descrição dos diagramas*

Os resultados da análise palinológica, das amostras coletadas ao longo do testemunho (IT-01), são apresentados no diagrama da Figura 14. Os dados foram expressos em porcentagem de cada *taxon* em relação à soma de grãos de pólen de plantas arbóreas (AP), herbáceas (NAP) e indeterminados, sendo excluídos os *taxa* de plantas aquáticas e grãos de esporos. A frequência relativa dos esporos e *taxa* aquáticas foram calculadas em relação à soma total de grãos de pólen.

A confecção do diagrama apresentado envolveu :

- * plotagem dos resultados das datações 14C em relação a profundidade
- * descrição sedimentológica do testemunho
- * posicionamento de cada amostra analisada ao longo do testemunho
- * plotagem das porcentagens obtidas para cada taxon

Os tipos polínicos presentes no diagrama da Figura 14 foram ordenados por ordem alfabética, sendo apresentados primeiramente os *taxa* arbóreos (Angiospermas e Gimnosperma), seguidos dos *taxa* de herbáceas, aquáticas e esporos. *Taxa* com porcentagens menor que 1% foram representados pelo sinal +.

A partir da análise do diagrama apresentado na Figura 14, dos dados de chuva polínica moderna e das listas de tipos botânicos presentes na região (Lamberti, 1969; Garcia, 2003), foi elaborado um diagrama de agrupamento ecológico (Figura 15), onde os *taxa* foram agrupados afim de caracterizar as associações vegetais locais. Na Figura 15 também são apresentados os resultados de concentração de grãos de pólen por grama de sedimento.

Após a análise destes dois diagramas (figuras 14 e 15), o registro polínico do testemunho estudado pôde ser dividido em duas zonas. Estas duas zonas foram separadas pela variação das freqüências de pólen de mangue ao longo do testemunho. A primeira zona (Zona I) é caracterizada pela baixa freqüência de ocorrência de *taxa* índice de manguezal (0,3%) e a segunda (Zona II) pelo aumento progressivos destes *taxa*. A freqüência de ocorrência dos *taxa* de mangue não é constante ao longo da segunda zona, por isso esta foi subdividida em duas subzonas (IIa e IIb). A descrição de cada uma das zonas é apresentada a seguir.

Figura 15: Diagrama polínico por agrupamento ecológico (testemunho do manguezal de Itanhaém). A freqüência de ocorrência dos grãos de pólen que definem os agrupamentos ecológicos estão representadas em porcentagem. A unidade de concentração de grãos de pólen está representada em grãos por grama de sedimentos.

Zona I: entre 135 cm e 98 cm. Zona caracterizada principalmente pela baixa concentração de grãos de pólen, entre 470 a 140 grãos de pólen/grama de sedimento, e altas frequências relativas de esporos. Esta zona representa a parte basal do testemunho, composta por sedimentos arenosos com pouca matéria orgânica. Uma datação ^{14}C obtida próxima à base do testemunho apresentou idade de 1250 ± 50 anos AP.

Entre os *taxa* arbóreos presentes, as maiores porcentagens encontradas foram de Myrtaceae (13 a 29%), Melastomataceae/Combretaceae (2 a 11%), *Alchornea* (5 a 9%), *Cecropia* (7 a 2%), Palmae (3 a 5%) e *Rapanea* (3 a 2%). As Poaceae são dominantes entre a vegetação de herbácea, com 18 a 12 %.

A porcentagem de *taxa* de mangue, *Rhizophora* e *Avicennia*, foi muito baixa nesta zona. Pólens de *Rhizophora* foram registrados somente em duas amostras dentro deste intervalo e apresentaram frequências menores que 1%. A presença deste *taxon* indica que, durante o intervalo de tempo correspondente à deposição dos sedimentos desta parcela do testemunho (cerca de 1250 ± 50 anos AP), havia vegetação de mangue próximo à área onde foi coletado o testemunho. Entretanto o manguezal deveria ser restrito e com dimensão bem menor que a atual.

Aliando os dados da análise palinológica do testemunho, da chuva polínica moderna, de concentração de grãos de pólen ao longo do testemunho e composição sedimentológica da base do perfil, pode-se deduzir que esta zona poderia representar uma mata de restinga. As altas frequências de esporos de pteridófitas poderiam ser justificadas pelo fato destas plantas se desenvolverem mais rapidamente que a vegetação arbórea, muitas vezes permitem a preparação do solo para a colonização de outras espécies de plantas.

Zona II: entre 98 e 0 cm. Zona caracterizada pelo crescimento da concentração dos grãos de pólen e aumento progressivo nas frequências dos *taxa* de mangue. Três datações ^{14}C foram obtidas para este intervalo: 590 ± 130 anos AP, 450 ± 40 anos AP e moderno (após 1950).

Este intervalo foi subdividido em duas subzonas (IIa e IIb):

Subzona IIa: entre 98 e 33 cm de profundidade. Caracterizada por altas concentrações de grãos de pólen no sedimento (comparadas ao restante do testemunho). Nesta subzona há uma queda na frequência de esporos e aumento das frequências de diversos *taxa* arbóreos e de herbáceas.

Os taxa arbóreas com porcentagens elevadas continuam sendo Myrtaceae (21 a 11%), *Alchornea* (10 a 5%), Palmae (6 a 3%) e *Rapanea* (3 a 0,4%). Observa-se, em relação à Zona I, a queda da frequência dos taxa Melastomataceae/Combretaceae (máxima porcentagem na Zona I de 11%, passando para 8% na Subzona IIa) e *Cecropia* (de 7% na Zona I para 3% na Subzona IIa). Também observa-se aumento nas porcentagens de *Arrabidaea* (de 1% na Zona I para 4% na Subzona IIa), *Ilex* (2% para 4%), *Podocarpus* (0,3% para 3%) e *Weinmannia* (2% para 5%).

Entre os taxa de herbáceas, as Poaceae continuam com altas frequências (20 a 11%) e pode ser observado aumento de Asteraceae tubuliflorae (2% para 6%).

Quanto aos taxa de mangue há aumento progressivo das porcentagens de *Rhizophora* e a presença de *Avicennia* nesta subzona (<1%) foi observada somente em uma amostra (38 cm de profundidade) do topo desta subzona, localizada próxima à transição com a Subzona IIb.

Esta subzona indica o desenvolvimento da mata de restinga e da vegetação de manguezal, que teria começado a se expandir e ocupar áreas maiores. O aumento da porcentagem de sedimentos de granulação mais fina e a maior quantidade de matéria orgânica indicam uma mudança nas condições de sedimentação, as quais teriam passado de mais energéticas para menos energéticas. Esta mudança teria possibilitado a deposição de material mais pelítico e conseqüentemente teria favorecido a instalação de mangue e a preservação do grãos de pólen.

No topo da Subzona IIa (33 cm de profundidade) há uma rápida queda na concentração de grãos de pólen nos sedimentos. Esta queda caracteriza a transição da Subzona IIb para a Subzona IIa.

Subzona IIb: entre 33 e 0 cm de profundidade. É caracterizada pelo aumento expressivo da frequência dos taxa de mangue, *Rhizophora* (de 1 para 6%) e *Avicennia* (de 0 para 1%). O limite que separa esta subzona daquela imediatamente abaixo é bem marcado pelo decréscimo rápido da concentração de grãos de pólen nos sedimentos (451 para 175 grãos de pólen por grama de sedimento). As concentrações começam a subir novamente a partir da base da Subzona IIb (175 para 454 grãos de pólen por grama de sedimento).

Esta subzona demonstra que o aparecimento de taxa de mangue parece estar associado ao decréscimo da frequência de algumas espécies arbóreas. A observação do diagrama da Figura 14 permite notar que com o crescimento das porcentagens de *Rhizophora* e *Avicennia* há o desaparecimento dos taxa *Cecropia* e Proteaceae do

registro polínico (2 para 0% em ambos os casos).

Alguns *taxa* arbóreos apresentaram queda das porcentagens na transição entre as subzonas IIa e IIb e posterior aumento em direção ao topo da Subzona IIb. A frequência do *taxon* *Ilex* passou de 4% na Subzona IIa para 1% na transição entre as subzonas IIa e IIb. A porcentagem de *Ilex* volta a subir em direção ao topo da Subzona IIb (1% para 3%). O mesmo ocorre com a frequência de *Podocarpus* (3 para 0% na transição IIa e IIb e 0 para 3% rumo ao topo da Subzona IIb).

Em relação às herbáceas, observou-se o mesmo padrão (queda de frequência na transição entre as duas subzonas e posterior aumento rumo ao topo do testemunho). O *taxon* Poaceae passa de 20% na Subzona IIa para 11% na transição entre as subzonas IIa e IIb e para 21% próximo ao topo do testemunho. Cyperaceae apresentou queda de frequência de 2 para 1% na zona de transição e posterior aumento para 7% próximo ao topo do testemunho.

Esta zona marca a consolidação e expansão da vegetação de mangue no local onde foi realizado o testemunho, indicadas pelo aumento dos *taxa* índices do ecossistema de manguezal.

4.3.6. Significado dos resultados da análise palinológica do testemunho

Os resultados da palinologia e dados de datação radiocarbono indicam que o ecossistema de manguezal teria surgido há pelo menos 1300 anos AP na região de Itanhaém. A presença de pólen de *Rhizophora* na base do testemunho indicariam a presença de manguezal na região. Porém, este ecossistema deveria estar restrito a pequenas áreas.

Há cerca de 1000 anos AP este ecossistema deve ter se expandido até áreas próximas ao local onde o testemunho foi coletado e colonizado a área do testemunho por volta de 330 anos AP.

Aliando os dados palinológicos e sedimentológicos do testemunho foi elaborada uma hipótese para a evolução do manguezal de Itanhaém durante o Holoceno tardio.

O desenvolvimento do manguezal de Itanhaém estaria diretamente ligado à evolução sedimentar do estuário do rio Itanhaém.

Os atuais estuários da costa brasileira foram gerados durante a última transgressão. Este evento transgressivo foi induzido pela subida do nível relativo do mar posterior ao último máximo glacial, há aproximadamente 18000 anos AP. A

transgressão causou o afogamento de vales fluviais e a conseqüente formação de baías estuarinas. Com a desaceleração da subida do nível relativo do mar há o término da transgressão e início da fase regressiva.

A fase regressiva é caracterizada pela progradação dos sistemas deposicionais costeiros. Durante esta fase ocorre o assoreamento das baías estuarinas, podendo ocorrer o fechamento das desembocaduras dos estuários pela formação de barreiras arenosas nos sistemas costeiros de mar aberto. Atualmente os sistemas deposicionais da costa brasileira encontram-se ainda nesta fase.

Neste contexto, durante a fase transgressiva o estuário do rio Itanhaém deveria ser mais aberto. Nesta fase haveria o predomínio, em área, de fácies de submaré. A fácies de intermaré ocuparia uma faixa estreita do estuário, a qual poderia ser arenosa, pois estaria sujeita a ação de ondas. Considerando que os manguezais se desenvolvem em zonas protegidas da ação de ondas e preferencialmente em substrato lamoso, esta fase não seria favorável ao pleno desenvolvimento da vegetação de mangue. Condições propícias para o desenvolvimento deste ecossistema deveriam existir apenas em zonas localizadas (sub-baías).

Durante a fase de regressão há o preenchimento gradativo do estuário, por progradação de delta de cabeceira de baía. Com isso, há aumento da área de intermaré e o submaré fica restrito ao canal fluvial. O fechamento parcial da desembocadura do estuário pode aumentar a deposição de material pelítico na zona de intermaré, isto devido à menor influência da ação de ondas na deposição. Este fato favoreceria o desenvolvimento do manguezal (que tem sua plenitude sobre substratos pelíticos). Neste novo cenário é que o manguezal deve ter começado a colonizar áreas mais amplas do estuário do rio Itanhaém (Figura 16).

Figura 16: Evolução do manguezal do rio Itanhaém.

A Figura 16 apresenta uma síntese da hipótese elaborada para interpretar a evolução do manguezal do rio Itanhaém. Em I foi representada a formação do estuário durante a fase transgressiva (início por volta de 18000 anos AP). A presença ou não de vegetação de mangue não pode ser afirmada. Porém, se este tipo de ecossistema já existisse na área, deveria ocupar regiões mais protegidas no estuário (sub-baías). Em II foi indicado o início do preenchimento gradual do estuário pela a progração de deltas de cabeceira de baía. Isto teria se iniciado durante a fase de regressão. O fechamento

parcial da desembocadura do estuário teria aumentado a possibilidade da deposição de sedimentos pelíticos na faixa de intermaré. Estas novas condições teriam favorecido o início da expansão da vegetação de mangue dentro do estuário. O cenário descrito em III foi interpretado como a situação encontrada na base do registro palinológico do testemunho estudado (1300 anos AP). A situação atual do estuário seria representada pelo desenho IV.

Capítulo V – Conclusões Gerais

1. A análise de dados bibliográficos indicou diferenças significativas entre o registro palinológico de manguezais da região norte-nordeste e sudeste-sul. Nos manguezais da região norte-nordeste, o registro polínico apresenta quase 90% de *taxa* índices de mangue, enquanto que na região suldeste-sul, o sinal polínico da vegetação de mangue é mascarado pela intensa quantidade de tipos polínicos alóctones (*taxa* de restinga e mata atlântica de encosta da serra do mar).
2. Os resultados da análise da chuva polínica moderna e da análise do testemunho coletado no manguezal do rio Itanhaém equivalem ao padrão observado por outros autores em manguezais da região sul-sudeste. No registro polínico destes manguezais há intensa representação de tipos polínicos alóctones. A assinatura polínica do manguezal de Itanhaém apresenta maior influência de pólenes de origem regional do que de origem local.
3. A diferença dos registros polínicos dos manguezais existentes ao longo da costa brasileira pode ser explicada pela fisiografia da zona costeira (largura da planície costeira, a qual determina a distância entre o manguezal e a floresta tropical) e pela amplitude de maré (maior na região norte), que define o tamanho da área potencialmente ocupada por manguezais.
4. O estudo da chuva polínica moderna nos diferentes tipos de vegetação presentes na área de estudo permitiu a identificação dos *taxa* indicadores da vegetação de mangue (*Rhizophora* e *Avicennia*), restinga (*Alchornea*, *Rapanea*, *Amaranthaceae/Chenopodiaceae* e *Cecropia*) e mata atlântica da encosta da serra do mar (*Podocarpus* e *Weinmannia*).
5. A utilização de bromélias como coletores naturais de chuva polínica parece ser uma boa alternativa para o estudo da deposição atual de pólenes em matas tropicais, onde estas plantas são freqüentemente encontradas.

6. Através da análise palinológica do testemunho do manguezal de Itanhaém, foi possível elaborar um modelo de evolução para este ecossistema. O manguezal de Itanhaém deve ter surgido nesta região há pelo menos 1300 anos AP, porém, deveria ser restrito a pequenas áreas dentro do estuário. Há cerca de 1000 anos AP, este ecossistema deve ter se expandido até áreas próximas ao local onde o testemunho foi coletado e colonizado a área do testemunho por volta de 330 anos AP.

7. A evolução do manguezal de Itanhaém estaria associada à dinâmica sedimentar do estuário. Condições para o desenvolvimento pleno do manguezal surgiram com o assoreamento do estuário provocado por progradação de deltas de cabeceira de baía, aumentando a área de intermaré. O fechamento parcial da desembocadura do estuário poderia aumentar a deposição de material pelítico na zona de intermaré, o que favoreceria o desenvolvimento dos bosques de mangue.

8. Análises palinológicas realizadas em manguezais devem aliar as interpretações do registro polínico à dinâmica de sedimentação do sistema deposicional estuarino. A grande maioria dos trabalhos que utilizaram registros polínicos de manguezais interpretam mudanças do nível do mar a partir destes. Os manguezais desenvolvem-se em fácies de intermaré, de zona protegida da ação de ondas, do sistema deposicional estuarino. O surgimento e desaparecimento do manguezal podem ocorrer devido à mudanças na dinâmica sedimentar do estuário, que podem ocorrer com ou sem variação do nível relativo do mar. Desta forma, para a interpretação de antigos níveis do mar a partir de registros palinológicos de manguezal é necessário conhecer a evolução sedimentar do estuário em questão.

Referências Bibliográficas

- Absy, M.L. 1975. Pólen e Esporos do Quaternário de Santos (Brasil). *Hoehnea*, **5**: 1 – 26.
- Absy, M.L. & Suguio, K. 1975. Palynological content and significance of the drilled sediment samples from the Baixada Santista, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **47** (supl.): 287 - 290.
- Angulo, R.J. 1992. *Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 334 pp.
- Angulo, R.J. & Giannini, P.C.F. 1996. Variação do nível relativo do mar nos últimos dois mil anos na região sul do Brasil: uma discussão. *Boletim Paranaense de Geociências*, **44**: 67 - 75.
- Angulo, R.J. & Lessa, G. 1996. The brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. In: *XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia*, Anais, Salvador, pp. 285 - 288.
- Anupama, K., Ramesh, R. & Bonnefille, R. 2000. Modern pollen rain from Biligirirangan-Melagiri hills of southern Eastern Ghats, India. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **108**: 175 - 196.
- Behling, H., Cohen, M.C.L. & Lara, R.J. 2001. Studies on Holocene mangrove ecosystem dynamics of the Bragança Peninsula in north-eastern Pará, Brazil. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, **167**: 225 - 242.
- Behling, H. & Costa, M.L.d. 1994. Studies on Holocene tropical vegetation mangrove and coast environments in the state of Maranhão, NE Brazil. In: J. Rabassa & M.Salemme (Eds) *Quaternary of South America and Antarctic Peninsula*, **10**, pp. 93 - 118. A. A. Balkema, Netherlands.
- Behling, H. & Costa, M.L.d. 2001. Holocene vegetational and coastal environmental

- changes from the Lago Crispim record in northeastern Pará State, eastern Amazonia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **114**: 145 - 155.
- Behling, H., Negrelle, R.R.B. & Colinvaux, P.A. 1997. Modern pollen rain data from tropical Atlantic rain forest, Reserva Volta Velha, South Brazil. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **97**: 287 - 299.
- Blasco, F. 1984. Mangrove evolution and palynology. In: S.C. Snedaker & J.G. Snedaker (Eds) *The mangrove ecosystem: research methods*, pp. 36 - 49. UNESCO, United Kingdom.
- Bradley, R.S. 1999. *Paleoclimatology reconstruction climates of the Quaternary*. Harcourt / Academic Press, San Diego, USA, 613 pp.
- Branco, S.M. 1984. *O fenômeno Cubatão*. CETESB, São Paulo, 89 pp.
- Caratini, C., Blasco, F. & Thanikaimoni, G. 1973. Relation between the pollen spectra and the vegetation of a south indian mangrove. *Pollen et Spores*, **XV**: 281 - 292.
- Cintron, G. & Schaeffer-Novelli, Y. 1983. *Introduccion a la ecologia del manglar*. UNESCO-ROSTLAC, Montevideo, 109 pp.
- Coelho, L.G., Barth, O.M. & Chaves, H.A.F. 2001. Palynological records of environmental changes in Guaratiba mangrove area, Southeast Brazil, in the last 6000 years B.P. In: *VIII Congresso da Assoc. Bras. De Estudos do Quaternário*, Boletim de resumos, Imbé, pp 403 – 404
- Colinvaux, P., de Oliveira, P.E. & Patiño, J.E.M. 1999. *Amazon Pollen Manual and Atlas*. Harwood Academic Publishers. The Netherlands. 332 pp.
- Cour, P. 1974. Nouvelle techniques de détection des flux et des retombées polliniques: étude de la sedimentation des pollens et des spores a la surface du sol. *Pollen et Spores*, **XVI**: 103 -141.

- Crowley, G.M., Grindrod, J. & Kershaw, A.P. 1994. Modern pollen deposition in the tropical lowlands of northeast Queensland, Australia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **83**: 299 - 327.
- Dodson, J.R. 1982. Modern pollen rain and recent vegetation history on Lord Howe Island: evidence of human impact. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **38**: 1 - 21.
- Fægri, K. & Iversen, J. 1989. *Textbook of pollen analysis*. John Wiley & Sons, LTD, Chichester, 328 pp.
- Garcia, R.J.F. 2003. *Estudo florístico dos campos alto-montanos e matas nebulares do Parque Estadual da Serra do Mar, Núcleo Curucutu, São Paulo, SP, Brasil*. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 356 pp.
- Giannini, P.C.F. 1987. *Sedimentação quaternária na planície costeira de Itanhaém-Peruíbe (SP)*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 104 pp.
- Giannini, P.C.F. 1989. Evolução Quaternária da planície costeira de Itanhaém-Peruíbe (SP) segundo resultados granulométricos: um confronto de métodos de tratamento estatístico. *Boletim Paranaense de Geociências*, **38**: 1 - 50.
- Giannini, P.C.F. & Santos, E.R. 1996. Caracterização sedimentológica da lama negra de Perúibe (SP). In: *III Congresso Brasileiro de Termalismo*, Anais, Santa Catarina, pp. 1 - 20.
- Grindrod, J. 1988. The palynology of Holocene mangrove and saltmarsh sediments, particularly in northern Australia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **55**: 229 - 245.
- Grindrod, J., Moss, P. & van der Kaars, S. 2002. Late Quaternary Mangrove Pollen Records from Continental Shelf and Ocean Cores in the North Australian-Indonesian Region. In: P. Kershaw, B. David, N. Tapper, D. Penny & J. Brown

- (Eds.) *Bridging Wallace's Line: The environmental and cultural history and dynamics of the SE-Asian-Australian Region*. Catena Verlag GMBH, Reiskirchen pp. 360.
- Lamberti, A. 1969. Contribuição ao conhecimento da ecologia das plantas do manguezal de Itanhaém. *Boletim da Fac. Fil. Ciên. Letras da Universidade de São Paulo*, **23**: 7 - 217.
- Lamparelli, C.C (coord). 1999. *Mapeamento dos ecossistemas costeiros do Estado de São Paulo*. Secr. Meio Ambiente, CETESB, São Paulo, 108 pp.
- Ledru, M.-P. 2002. Late Quaternary history and evolution of the cerrados as revealed by palynological records. In: P.S. Oliveira and R.J. Marquis (Eds.) *The cerrados of Brazil: Ecology and natural history of a neotropical savanna*. Columbia University Press.
- Marchant, R., Almeida, L., Behling, H., Berrio, J.C., Brush, M., Cleef, A., Duivenvoorden, J., Kappelle, M., De Oliveira, P., Oliveira-Filho, A.T.d., Lozano-Garcia, S., Hooghiemstra, H., Ledru, M.-P., Ludlow-Wiechers, B., Markgraf, V., Mancini, V., Paez, M., Prieto, A., Rangel, O. & Salgado-Labouriau, M.L. 2002. Distribution and ecology of parent taxa of pollen lodged within the Latin American Pollen Database. *Review of Palaeobotany and Palynology*, **121**: 1 - 75.
- Markgraf, V. & D'Antoni, H.L. 1978. *Pollen Flora of Argentina – Modern Spore and Pollen Types of Pteridophyta, Gymnospermae, and Angiospermae*. The University of Arizona Press, Tuscon, 208 pp.
- Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.-M. & Suguio, K. 1997. Oscilações ou não oscilações eis a questão. In: *VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário na América do Sul*, Resumos expandidos, Curitiba, pp. 99 - 104.
- Martin, L. & Suguio, K. 1975. The State of São Paulo coastal marine Quaternary. The ancient shorelines. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **47** (supl.):249- 263.

- Morley, R.J. 1999. *Origin and evolution of tropical rain forest*. John Wiley & Sons, LTD, Chichester, 362 pp.
- Muller, J. 1959. Palynology of recent Orinoco delta and shelf sediments. *Micropaleontology*, **5**: 1 -32.
- Raymond, A. 1987. Interpreting ancient swamp communities: can we see the forest in the peat? *Review of Palaeobotany and Palynology*, **52**: 217 - 231.
- Reinson, G.E. 1992. Transgressive Barrier Island and Estuarine Systems. In: Walker, R.G. & James, N.P. (Eds.) *Facies models – response to sea level change*. Geological Association of Canada, Ontario, 454pp
- Roubick, D.W. & Moreno, J.E. 1991. *Pollen and Spores of Barro Colorado Island*. Missouri Botanical Garden. 268 pp.
- Schaeffer-Novelli, Y. 1987. Manguezais brasileiros: região sudeste-sul. In: *Simpósio sobre ecossistemas da costa sul a sudeste brasileira: síntese de conhecimentos*, ACIESP, Cananéia, pp. 78.
- Schaeffer-Novelli, Y. 1991. *Manguezais brasileiros*. Livre Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 42 pp.
- Schaeffer-Novelli, Y., Citrón-Molero, G., Adaime, R.R. & Camargo, T.M.d. 1990. Variability of mangrove ecosystems along the brazilian coast. *Estuaries*, **13**: 204 - 218.
- Slompo, C.T.J. 1997. Estudo palinológico dos sedimentos inconsolidados do mangue de Itacorumbi, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, **45**: 67 - 79.
- Suguio, K. 1998. *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1222 pp.
- Suguio, K. 1999. *Geologia do Quaternário e mudanças ambientais (passado + presente =*

- futuro?*). Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, São Paulo, 366 pp.
- Suguio, K. & Kutner, M.B. 1974. Sedimentação na área de Itanhaém, SP. In: *XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, Porto Alegre, pp. 95 - 106.
- Suguio, K. & Martin, L. 1978a. Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: *Intern. Symp. on Coastal in the Quaternary*, 1, São Paulo, pp. 1 - 55.
- Suguio, K. and Martin, L. 1978b. Itanhaém. Mapa Geológico. DAEE / FAPESP, São Paulo.
- Suguio, K., Martin, L., Bittencourt, A.C.S.P., Dominguez, J.M.L., Flexor, J.-M. & Azevedo, A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, **56**: 273 - 286.
- Thanikaimoni, G. 1987. *Mangrove palynology*. UNDP / UNESCO - Institut Français de Pondichery Tome XXIV, Paris, 100 pp.
- Villwock, J.A. 1993. A costa brasileira: geologia e evolução. In: *III Simpósio de ecossistemas da costa brasileira: subsídios a um gerenciamento ambiental*, Serra Negra, pp. 1 – 15.
- Watanabe, S.c. 1997. *Glossário de Ecologia*. Publicações ACIESP, São Paulo, 103 pp.
- Willard, D.A., Weimer, L.M. & Riegel, W.L. 2001. Pollen assemblages as paleoenvironmental proxies in Florida Everglades. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 113: 213 - 235.

Anexo I

Descrição dos grãos de pólen e esporos

Descrição geral dos principais taxa polínicos

Gymnospermas

Podocarpaceae

Podocarpus

Grão bissacado, simetria bilateral, exina tectada, sexina reticulada (reticulação homogênea), corpo central arredondado a elíptico

Dimensões: Diâmetro longitudinal – 58µm

Corpo – 30 X 35 µm

Descrição detalhada: Colinvaux *et al.* (1999)

Estampa 1: 12

Angiospermas - Dicotiledôneas

Amaranthaceae/Chenopodiaceae

Grão poliporado, exina tectada, sexina granulada

Tamanho médio dos grãos: 25 – 28µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991)

Estampa 2: 1

Aquifoliaceae

Ilex

Grão tricolporado, exina tectada, sexina clavulada

Tamanho médio dos grãos: 18 – 20µm

Descrição detalhada: Absy (1975); Roubik & Moreno (1991); Colinvaux *et al.* (1999)

Estampa 1: 9, 10

Asteraceae tubuliflorae

Grão tricolporado, exina tectada, sexina com espinhos

Tamanho médio dos grãos: 18µm

Descrição detalhada: Absy (1975); Thanikaimoni (1987)

Estampa 2: 2, 3

Avicenniaceae

Avicennia

Grão tricolporado, exina tectada, sexina reticulada

Tamanho médio dos grãos: 25 – 30µm

Descrição detalhada: Absy (1975); Thanikaimoni (1987)

Estampa 1: 1, 2, 3

Betulaceae

Grão 5-porado, exina tectada, sexina psilada

Tamanho médio dos grãos: 20µm

Descrição detalhada: Absy (1975)

Estampa 1: 19

Bignoniaceae

Arrabidaea

Grão tricolporado, tectado, sexina com reticulação fina (reticulação não é homogênea em todo o grão), colpos profundos

Tamanho médio dos grãos: 30 X 40µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991); Colinvaux *et al.* (1999)

Estampa 1: 4, 5

Cecropiaceae

Cecropia

Grão diporado, tectado, sexina psilada

Tamanho médio dos grãos: 10 X 8µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991); Colinvaux *et al.* (1999)

Estampa 1: 17

Cunoniaceae

Weinmannia

Grão tricolporado, exina tectada, sexina psilada

Tamanho médio dos grãos: 10 X 8µm

Estampa 1: 7, 8

Euphorbiaceae

Alchornea

Grão tricolporado, tectado, sexina com reticulação fina, presença de opérculo

Tamanho médio dos grãos: 18 - 22 µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991); Colinvaux *et al.* (1999)

Estampa 1: 11

Lentibulariaceae

Grão 16-colporado, exina tectada, sexina psilada

Tamanho médio dos grãos: 60 – 40µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991)

Estampa 2: 9

Melastomataceae/Combretaceae

Grão heterocolpado (3 colpos alternados com 3 pseudocolpos), exina tectada, sexina psilada

Tamanho médio dos grãos: 20 – 25µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991); Colinvaux *et al.* (1999)

Miconia

Grão heterocolpado (3 colpos alternados com 3 pseudocolpos), exina tectada, sexina psilada

Tamanho médio dos grãos: 10 X 8µm

Descrição detalhada: Colinvaux *et al.* (1999)

Estampa 1: 21, 22

Myrtaceae

Grão tricolporado, exina tectada, sexina granular, sincolpado

Tamanho médio dos grãos: 20µm

Estampa 1: 18

Myrsinaceae

Rapanea

Grão 4-colporado, exina tectada, sexina psilado

Tamanho médio dos grãos: 18 – 22µm

Descrição detalhada: Absy (1975); Colinvaux *et al.* (1999)

Estampa 1: 13, 14

Onagraceae

Grão tricolporado, colpos muito curtos, exina tectada, sexina verrugada

Tamanho médio dos grãos: 50 µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991)

Estampa 2: 35

Piperaceae

Piper

Grão monossulcado, exina tectada, sexina granular

Tamanho médio dos grãos: 8 - 12µm

Descrição detalhada: Roubik (1991)

Estampa 2: 33, 34

Proteaceae

Roupala

Grão triporado, exina tectada, sexina *scabrate*

Tamanho médio dos grãos: 25 – 30µm

Descrição detalhada: Absy (1975); Thanikaimoni (1987)

Estampa 1: 20

Rhizophoraceae

Rhizophora

Grão tricolporado, exina tectada, sexina microrreticulada

Tamanho médio dos grãos: 18 – 20µm

Descrição detalhada: Absy (1975); Thanikaimoni (1987)

Estampa 1: 23 – 26

Angiospermas – Monocotiledôneas

Cyperaceae

Grão monoporado, exina semitectada, sexina granular

Tamanho médio dos grãos: 20 – 25µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991)

Estampa 2: 30

Palmae (Arecaceae)

Grão monossulcado, exina tectada, sexina psilada a finamente reticulada

Tamanho médio dos grãos: 25 – 40µm

Descrição detalhada: Roubik & Moreno (1991)

Estampa 1: 6

Poaceae

Grão monoporado, exina tectada, sexina psilada

Tamanho médio dos grãos: 28 - 38µm

Descrição detalhada: Absy (1975); Roubik & Moreno (1991)

Estampa 2: 31, 32

Monossulcado (C1) tipo 1

Grão monossulcado, exina semitectada, sexina granular

Estampa 2: 36

Monossulcado (C1) tipo 2

Grão monossulcado, exina tectada, sexina reticulada

Estampa 2: 40

Pteridófitas

Cyatheaceae

Alsophila

Esporo trilete finamente reticulado

Tamanho médio: 25 – 30µm

Estampa 2: 39

Cyathea tipo 1

Esporo trilete psilado

Tamanho médio: 35 – 50µm

Estampa 2: 38

Polypodiaceae

Polypodium

Esporo monoete verrugado

Tamanho médio: 50 – 70µm

Estampa 2: 41

Schizaeaceae

Anemia

Esporo trilete *gemmate*

Tamanho médio dos grãos: 40µm

Estampa 2: 42

1. Avicenniaceae, *Avicennia* (VE)
2. Avicenniaceae, *Avicennia* (VE)
3. Avicenniaceae, *Avicennia* (VP)
4. Bignoniaceae, *Arrabidaea* (VP)
5. Bignoniaceae, *Arrabidaea* (VE)
6. Palmae
7. Cunoniaceae, *Weinmania* (VP)
8. Cunoniaceae, *Weinmania* (VE)
9. Aquifoliaceae, *Ilex* (VE)
10. Aquifoliaceae, *Ilex* (VP)
11. Euphorbiaceae, *Alchornea* (VP)
12. Euphorbiaceae, *Alchornea* (VE)
13. Myrsinaceae, *Rapanea* (VE)
14. Myrsinaceae, *Rapanea* (VP)
15. Melastomataceae/Combretaceae (VP)
16. Melastomataceae/Combretaceae (VP)
17. Cecropiaceae, *Cecropia*
18. Myrtaceae
19. Betulaceae, *Alnus*
20. Proteaceae
21. Melastomataceae, *Miconia* (VP)
22. Melastomataceae, *Miconia* (VE)
23. Rhizophoraceae, *Rhizophora* (VP)
24. Rhizophoraceae, *Rhizophora* (VE)
25. Rhizophoraceae, *Rhizophora* (VP)
26. Rhizophoraceae, *Rhizophora* (VE)

ESTAMPA 1

8

9

10

11

15

16

12

13

14

18

17

20

21

22

23

24

25

26

0 10µm

- 27. Amaranthaceae/Chenopodiaceae
 - 28. Asteraceae tubuliflorae (VP)
 - 29. Asteraceae tubuliflorae (VE)
 - 30. Cyperaceae
 - 31. Poaceae
 - 32. Poaceae
 - 33. Piperaceae, *Piper*
 - 34. Piperaceae, *Piper*
 - 35. Lentibulariaceae
- 36. Aquática, monossulcado tipo 1
 - 37. Onagraceae
 - 38. Cyatheaceae, *Cyathea*
 - 39. Cyatheaceae, *Alsophila*
- 40. Aquática, monossulcado tipo 2
 - 41. Polypodiaceae, *Polypodium*
 - 42. Schizaeaceae, *Anemia*

ESTAMPA 2

0 10µm